

การศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้เศษหินครกผสมหินคลุกเป็นมวลรวม  
STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR ROCK SCRAP MIXED WITH  
CRUSHED STONE CONCRETE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR ROCK SCRAP MIXED WITH  
CRUSHED STONE CONCRETE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้เศษหินครกผสมหินคลุกเป็นมวลรวม

|                               |              |          |
|-------------------------------|--------------|----------|
| นายกรณัฐธินิน พลินรัชต์ธนะเดช | รหัสประจำตัว | 60015001 |
| นายณัชชา จานเมือง             | รหัสประจำตัว | 60015017 |
| นายธนวัฒน์ ไชยชมภู            | รหัสประจำตัว | 60015024 |

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. แหลมทอง เหล่าคงถาวร

ปีการศึกษา 2562

### บทคัดย่อ

ในการทำครกหินจะนำเอาหินแกรนิตก้อนใหญ่มาสกัดและแต่งจนได้ครกหิน ทำให้มีเศษหินที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก เศษหินเหล่านี้ถูกนำไปใช้ถมที่เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่มีหินคลุกและเศษครกหินเป็นส่วนผสมมวลหายาบ โดยใช้เศษหินครกจากจังหวัดชลบุรี มาศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยทำการทดสอบหาขนาดคละของหินคลุกและหินแกรนิต และการทดสอบดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของหิน โดยค่ารับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (Uniaxial Compressive Strength) เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีหินแกรนิตเป็นส่วนผสม โดยมีอัตราส่วนผสมของหินคลุกและหินแกรนิต คือ 100-0 75-25 50-50 25-75 และ 0-100% โดยปริมาตรของทรายและปูนซีเมนต์ สำหรับกำลังรับแรงอัดออกแบบที่ 210 ksc และ 480 ksc จากผลการศึกษาพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 210 ksc เมื่อมีหินแกรนิตเข้าไปแทนที่ที่อัตราส่วนผสมต่างๆทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เช่น ส่วนผสมที่ 75%-25% 50%-50% และ 25%-75% ส่วนส่วนผสมที่ 0%-100% พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่างกับส่วนผสม 100%-0% ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 480 ksc เมื่อมีหินแกรนิตเข้าไปแทนที่ที่อัตราส่วนต่างๆเช่นเดียวกันพบว่าส่วนผสมที่ 75%-25% 50%-50% 25%-75% และ 0%-100% ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงจากเดิมที่ส่วนผสม 100%0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR ROCK SCRAP MIXED WITH CRUSHED STONE CONCRETE

|               |                   |             |          |
|---------------|-------------------|-------------|----------|
| KORANATTHANIN | PHALINRATTHANADET | Student ID. | 60015001 |
| NATCHA        | JANMUEANG         | Student ID. | 60015017 |
| TANAWAT       | CHAICHOMPU        | Student ID  | 60015024 |

Advisor, Assoc. Prof. Dr. Laemthong Laorongthaworn

Academic year 2019

### Abstract

In making a mortar, a large piece of granite is extracted and decorated until a mortar is formed, causing a large amount of rubble left over from production. These rock fragments are used for landfill only. Thus this research aims to study of compressive strength of concrete which are produced from crushed stone mixed with mortar scraps as coarse aggregate. Mortar scraps from Chon Buri Province were used. The concrete compressive strength of each sample was tested and analyzed. All samples of crushed stone and mortar scrap stone were tested by flatness index and stone length index. Concrete samples were produced with mixing ratio of crushed stone and mortar scrap stone as 100%-0% 75%-25% 50%-50% 25%-75% and 0%-100% by volume of sand and cement replacement, for 210 ksc and 480 ksc mix design. By the results, mortar crushed stone can enhance strength of 210 ksc. samples for each mix proportion, but it causes reducing compressive strength of 480 ksc samples for each mix proportion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่เกี่ยวข้องกับผู้ทำโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ข้อชี้แนะแก้ไข ให้ความอนุเคราะห์ต่อผู้ทำโครงการมาโดยตลอดผู้ทำโครงการขอกราบของพระคุณในความกรุณาของท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ท่านกรุณาสละเวลาในการให้ข้อมูล สนับสนุนการดำเนินการดำเนินการทำโครงการในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และคำให้แนะนำเรื่องอื่นๆ ที่ได้ให้ความกรุณาถามข่าวคืบหน้า และคอยเป็นกำลังใจให้ผู้ทำโครงการตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ในสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษารวมถึงคำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และช่วยเหลือทุกสิ่งอย่างแก่ผู้ทำโครงการ

กรณีฐนิน พลินรัชต์ณะเดช  
ณัชชา जानเมือง  
ธนวัฒน์ ไชยชมภู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

|  | หน้า     |
|--|----------|
| ใบรับรองโครงการ  | ก        |
| บทคัดย่อภาษาไทย  | ข        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                       | ค        |
| กิตติกรรมประกาศ  | ง        |
| สารบัญ   | จ        |
| สารบัญ (ต่อ)   | ฉ        |
| สารบัญรูปภาพ   | ช        |
| สารบัญตาราง  | ซ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                      | <b>1</b> |
| 1.1 กล่าวนำ  | 1        |
| 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                       | 2        |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย                              | 2        |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษา                                       | 3        |
| 1.5 วิธีการศึกษา   | 3        |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                            | 5        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง</b> | <b>6</b> |
| 2.1 องค์ประกอบของคอนกรีต                                 | 6        |
| 2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์                                  | 7        |
| 2.3 ปฏิกริยาของปูนซีเมนต์                                | 8        |
| 2.4 สารประกอบที่สำคัญของ Portland cement                 | 8        |
| 2.5 ตารางแสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์              | 9        |
| 2.6 การผลิตปูนซีเมนต์                                    | 10       |
| 2.7 คุณสมบัติของมวลรวมในคอนกรีต                          | 12       |
| 2.8 การผสมซีเมนต์  | 21       |
| 2.9 การบ่มคอนกรีต  | 21       |
| 2.10 คุณสมบัติคอนกรีตสด                                  | 22       |
| 2.11 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของซีเมนต์               | 22       |
| 2.12 คุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆของคอนกรีต                   | 23       |
| 2.13 การทดลองคุณสมบัติของปูนซีเมนต์                      | 23       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| <b>บทที่ 3 วิธีการศึกษา</b>  | 27   |
| 3.1 การทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ                         | 27   |
| 3.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูของมวลรวม                              | 33   |
| 3.3 การทดสอบความต้านทานต่อการขีดสีของมวลรวมโดยใช้เครื่องลอสแองเจลิส        | 37   |
| 3.4 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างระหว่างมวลรวม                         | 40   |
| 3.5 การทดสอบของดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของหิน                           | 43   |
| <b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>  | 50   |
| 4.1 ผลการทดสอบของดรชนีความแบนและดัชนีความยาวของมวลรวมที่ใช้ทดสอบ           | 50   |
| 4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต                                  | 54   |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>                       | 59   |
| 5.1 คุณสมบัติรับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีหินแกรนิตและหินคลุกเป็นมวลรวม | 59   |
| 5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินงาน   | 60   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ   | 60   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปภาพที่ 1.1 การตัดหินการทำอุตสาหกรรมหิน                                 | 1    |
| รูปภาพที่ 1.2 แผนการดำเนินงาน   | 4    |
| รูปภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของคอนกรีต  | 7    |
| รูปภาพที่ 2.2 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวกับจำนวนสารประกอบ        | 10   |
| รูปภาพที่ 2.3 แสดงกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์                                 | 12   |
| รูปภาพที่ 2.4 ขนาดคละของหิน   | 15   |
| รูปภาพที่ 2.5 เครื่องคัดแยกขนาดและเครื่องลอสแองเจลลิส                     | 16   |
| รูปภาพที่ 2.6 เครื่องคัดขนาดหิน ทราย                                      | 17   |
| รูปภาพที่ 2.7 ทรายหยาบ ทรายมาตรฐาน ทรายละเอียด                            | 17   |
| รูปภาพที่ 2.8 ความชื้น 4 ลักษณะ   | 18   |
| รูปภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด       | 20   |
| รูปภาพที่ 2.10 การแสดงการบ่มคอนกรีตด้วยกระสอบเปียก                        | 22   |
| รูปภาพที่ 3.1 ปริมาตรที่เพิ่มขึ้น เมื่อทรายมีความชื้น                     | 42   |
| รูปภาพที่ 3.2 การเรียงตัวของขนาดคละต่างๆกัน                               | 43   |
| รูปภาพที่ 3.3 เครื่องมิตทดสอบความแบน                                      | 46   |
| รูปภาพที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบความยาว                                      | 48   |
| รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัดที่การบ่ม 28 วัน 210 ksc | 55   |
| รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัดที่การบ่ม 28 วัน 480 ksc | 57   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 แสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์                                   | 9    |
| ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบของซีเมนต์                                  | 9    |
| ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการทำ (SIEVE ANALYSIS) ของหิน                                | 14   |
| ตารางที่ 3.1 แสดงมาตรฐานส่วนคละของมวลรวม  | 27   |
| ตารางที่ 3.2 แสดงมาตรฐานขนาดหินที่ใช้ออกแบบ                                       | 29   |
| ตารางที่ 3.3 แสดงมาตรฐานน้ำหนักสำหรับมวลรวมหยาบ                                   | 31   |
| ตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนน้ำหนักลูกเหล็กตามการจัดขนาดคละ                             | 39   |
| ตารางที่ 3.5 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ทดสอบ (Metal Thickness Gauge)                     | 45   |
| ตารางที่ 3.6 น้ำหนักตัวอย่างทดสอบตามขนาดตะแกรงและความกว้างของช่อง                 | 47   |
| ตารางที่ 3.7 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ทดสอบ ((Metal Length Gauge))                      | 48   |
| ตารางที่ 3.8 น้ำหนักทดสอบตามขนาดตะแกรงและช่องว่าง (Metal Length Gauge)            | 49   |
| ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีความแบนของหินแกรนิต (Flakiness Index)                        | 50   |
| ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีความยาวของหินแกรนิต (Elongation Index)                       | 51   |
| ตารางที่ 4.3 ค่าดัชนีความแบนของหินคลุก (Flakiness Index)                          | 52   |
| ตารางที่ 4.4 ค่าดัชนีความยาวของหินคลุก (Elongation Index)                         | 53   |
| ตารางที่ 4.5 การหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน กำหนดไว้ที่ 210 ksc | 54   |
| ตารางที่ 4.6 การหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน กำหนดไว้ที่ 480 ksc | 54   |
| ตารางที่ 4.7 แสดงชั้นคุณภาพพื้นฐานทรงลูกบาศก์                                     | 56   |
| ตารางที่ 4.8 แสดงชั้นคุณภาพพื้นฐานทรงกระบอก                                       | 58   |
| รายงานอ้างอิง   | 61   |
| ภาคผนวก   | 62   |
| ภาคผนวก ก มาตรฐานการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม ASTM C33                              | 63   |
| ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดสอบการรับแรงอัดประลัย                                   | 66   |
| ภาคผนวก ค ชั้นคุณภาพของคอนกรีต และ ค่ากำลังอัดทรงลูกบาศก์                         | 69   |
| ภาคผนวก ง มาตรฐานการทดสอบหาค่าดัชนีความยาว BS 812                                 | 75   |
| ภาคผนวก จ มาตรฐานการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน BS 812                                 | 79   |
| ภาคผนวก ฉ ภาพขั้นตอนการปฏิบัติการทดสอบ  | 84   |
| ประวัติผู้จัดทำ   | 91   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 กล่าวนำ

งานทางด้านวิศวกรรมโยธาเป็นงานที่มีบทบาทมากในการพัฒนาประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่กำลังพัฒนา เช่น การสร้างเขื่อน สะพาน ถนน บ้านเรือนที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น งานโยธาเหล่านี้จะมีการขยายตัวอย่างมากและต่อเนื่องสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา โครงสร้างต่างๆ ในงานก่อสร้างเหล่านี้จำเป็นต้องใช้คอนกรีตเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถ ออกแบบให้รับน้ำหนักได้ตามความต้องการมีความคงทนถาวรและมีอายุการใช้งานยาวนาน นอกจากนี้ยังมีการวิจัย ศึกษา คิดค้นเทคโนโลยีและวิธีการใหม่ๆ ที่จะสามารถนำคอนกรีตมาใช้ได้สะดวก ประหยัดค่าใช้จ่าย โดยที่สามารถคงคุณสมบัติในการรับกำลังในด้านต่างๆ ของคอนกรีตไว้ได้วัสดุผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้าง โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหินก่อสร้างหรือหินกรวด และทรายโดยรวมเรียกว่าวัสดุผสม(Aggregates) โดยจะต้องเป็นแร่ธาตุเฉื่อย (Inert Material) ที่ไม่ทำปฏิกิริยา กับซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) โดยมีหน้าที่ในการแทรกในเนื้อซีเมนต์เพสต์ประมาณสามในสี่ส่วนของ เนื้อคอนกรีตและจะต้องมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ดังนั้นวัสดุผสมจึงต้องมีส่วนที่ทำให้ราคาคอนกรีตถูกลงด้วย โดยที่คอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติที่เราต้องการคงเดิม (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)



รูปที่ 1.1 การตัดหินการทำอุตสาหกรรมหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หินแกรนิตจากเหมืองหินอุตสาหกรรม โรงโม่หิน ของบริษัทตากแกรนิต จำกัด เป็นหินก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เป็นผลผลิตจากการขุดเหมืองหินแกรนิตเนื้อแข็งนิยมนำมาผลิตเป็นครก โดยการผลิตครกหินแกรนิตนั้นจะทำการสกัดหินก้อนขนาดใหญ่ให้เป็นรูปทรงตามที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่การสกัดหินนั้นจะมีเศษหินเป็นจำนวนมาก คิดว่าเป็นเศษวัสดุที่หลงเหลือจากการผลิตและเป็นภาระที่จะต้องนำไปทิ้งหรือนำจำกัด โดยส่วนใหญ่ หินครกแกรนิตจะถูกนำไปเป็นส่วนผสมของหินคลุกสำหรับรองพื้นทางในงานถนนลาดยางหรือเป็นวัสดุผสมในงานคอนกรีต ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ในการศึกษาวิจัยคุณสมบัติของหินครกแกรนิตในการนำไป ทดแทนหินปูน เป็นส่วนผสมคอนกรีต เพื่อจะได้สามารถหาคุณสมบัติเปรียบเทียบในการรับ กำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของคอนกรีตลงได้ โดยจะส่งผลให้สามารถนำทรัพยากร เศษจากการทำครกหินแกรนิตที่ถือเป็นวัสดุเหลือใช้มาสร้างให้เกิดคุณค่าและจะส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโดยรวมต่อไป

## 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเหมืองหิน เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย แหล่งอุตสาหกรรมผลิตหินเพื่อการก่อสร้างเป็นหินที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศที่มีมูลค่าการผลิตมากกว่า 10,000 ล้านบาท และมีการใช้ประโยชน์จากหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างหลายด้านโดยเฉพาะใช้เป็นการรองพื้นถนนและใช้ในงานผสมคอนกรีต หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างจึงนับเป็นวัสดุพิเศษในการก่อสร้างต่างๆโดยเฉพาะ โครงการสาธารณูปโภคต่างๆทั้งภาครัฐและเอกชน ดังนั้นหินเพื่อการก่อสร้างจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนา และการขยายตัวต่อเศรษฐกิจของประเทศ จากการผลิตหินเพื่อการก่อสร้าง พบว่าจำนวนเหมืองการผลิตหินในประเทศไทย 318 แห่ง ส่วนใหญ่กระจายอยู่จังหวัดต่างๆ เช่น ตาก เชียงใหม่ สระบุรี ชลบุรี เป็นต้น โดยเฉพาะแหล่งผลิตหินในภาคเหนือ มีจำนวนอยู่ 118 แห่ง ซึ่งถือว่ามากที่สุดในประเทศไทย นอกจากการผลิตหินเพื่อการก่อสร้างแล้วยังมีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องครัวและวัสดุตกแต่งต่างๆ เพราะเหตุนี้จึงทำให้การผลิตหินเพื่อการก่อสร้างในภาคเหนือมีปริมาณการผลิตมากขึ้นทุกวันจึงทำให้เกิดการส่งออกไปยังจังหวัดต่างๆ เช่น จังหวัดชลบุรี เป็นแห่งการผลิตครกหิน อ่างศิลา ซึ่งเป็นครกหินแกรนิตในขณะที่ผลิตภัณฑ์นั้น จึงมีเศษจากการผลิตที่มีปริมาณมากขึ้นกลายเป็นขยะอุตสาหกรรมก่อให้เกิด ปัญหากับผู้ประกอบการในจัดเก็บหรือการทำลาย

ดังนั้นทางด้านงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษานำเศษผลิตภัณฑ์ครกหินแกรนิตเข้ามาปรับปรุงใช้ในงานคอนกรีตโดยการนำเศษครกหินเข้ามาแทนที่มวลรวมหยาบของคอนกรีตและศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งเน้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเศษผลิตภัณฑ์ครกหินแกรนิต

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินแกรนิตจากเหมืองหินแกรนิต
2. เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้หินแกรนิตจากเศษครกเป็นส่วนผสมแทนที่หินปูนเมื่อใช้หินแกรนิตและหินปูนใน อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำคอนกรีตที่ผสมหินแกรนิตจากเศษครกแทนที่หินปูนที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

#### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ทดสอบกำลังรับแรงอัด ภายใต้มาตรฐาน ASTM C 39
2. ในการศึกษาใช้วัสดุประสานปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
3. เศษครกหินแกรนิตที่ใช้ทดสอบจากจังหวัดตาก
4. ทดสอบความแข็งแรงของมวลรวมหยาบโดย ย่อยเศษครกหินแกรนิตให้ขนาดเท่ากับ หิน 1/2” 3/8” โดยวิธีการทุบแล้วนำเข้าเครื่อง Los Angeles หมุน จำนวน 500 รอบ
5. ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน
6. ขนาดตัวอย่างทดสอบกำลังอัดคอนกรีตผสมเศษครกหินแกรนิต 15.0×15.0×15.0cm.
7. กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐาน (ACI 211-1) เท่ากับ 210,480 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

#### 1.5 วิธีการศึกษา

- ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของครกหินแกรนิตซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องครัว
- ศึกษางานวิจัยและทฤษฎี ตลอดจนวิธีและมาตรฐานการทดสอบต่างๆที่จะทำให้การทดลองนั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
- ออกภาคสนามเพื่อทำการเก็บข้อมูลที่มาแหล่งการผลิตและเศษวัสดุเหลือใช้ และทำการเก็บตัวอย่างเศษครกหินแกรนิต
- นำตัวอย่างเศษครกหินแกรนิตที่เก็บได้จากภาคสนามมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ที่สถาบันฯ
- วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อใช้วัสดุผสมที่ต่างกันระหว่าง (crushed stone) และ (granite)
- ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 210 ksc ทำการทดสอบ 15 ตัวอย่าง และ 480 ksc ทดสอบอย่างละ 15 ตัวอย่างเช่นกัน
- ทำการทอนสัดส่วนการแทนที่ของมวลรวมหยาบที่ 210 ksc และ 480 ksc ในอัตราส่วนที่ 100% 75% 50% 25% และ 0% และทำการผสมตัวอย่างคิวบิกรวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง บ่มที่ 28 วัน และกดรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บตัวอย่างเศษครกหินแกรนิตจากร้านขายผลิตภัณฑ์ครก  
หินแกรนิต จังหวัดชลบุรี



ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ  
(Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates )



ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต  
(Concrete Mixed Design)



ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด  
(Test for Compressive Tensile Strength  
of Cubic Concrete Specimens)



ผลการทดสอบ



วิเคราะห์ผลการทดสอบ



อภิปรายผลการทดสอบและ  
สรุป

รูปที่ 1.2 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- นักศึกษามีความเข้าใจถึงความสำคัญถึงความสำคัญของมวธรรมคุณสมบัติของมวธรรมและสามารถทดลองคุณสมบัติได้ของมวธรรมเบื้องต้น สามารถเลือกมวธรรมได้ถูกต้องและตรงกับลักษณะงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

มีสิ่งก่อสร้างในปัจจุบันเป็นจำนวนมากที่สร้างขึ้นด้วยส่วนผสมของซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ เราเรียกส่วนผสมนี้ว่าคอนกรีต คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นทุกที ทั้งนี้เพราะไม้ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่เคยใช้มาแต่เดิมหายากขึ้นราคาแพง ไม่ทนทาน รับน้ำหนัก ได้น้อยไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้างอาคารหรือสิ่งก่อสร้างใหญ่ๆ และคอนกรีตสามารถหล่อ เป็นรูปร่างต่างๆ ตามต้องการได้ จึงสะดวกต่องานก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารหลายๆ ชั้น สะพาน โรงงาน ท่อระบายน้ำเชื่อมกันน้ำ เป็นต้น คอนกรีตจะแข็งแรงมากขึ้นถ้าใส่เหล็กไว้ ภายใน เราเรียกคอนกรีตชนิดนี้ว่า "คอนกรีตเสริมเหล็ก" (Reinforced concrete)

ในสมัยโบราณเมื่อยังไม่มีการค้าพบซีเมนต์วัสดุก่อสร้างที่ใช้กับงานก่อสร้างใหญ่ๆ เป็น ส่วนผสมของปูนขาว ทรายและน้ำ อาจมีวัสดุอื่นผสม เช่น น้ำอ้อย เป็นต้น เพื่อให้ปูนขาวและ ทรายยึดตัวกันดี ขึ้น เราเรียกส่วนผสมนี้ว่า "ปูนสอ" (Mortar) ในทางปฏิบัติคนสมัยก่อนมักจะ เรียกปูนสอว่า ซีเมนต์ คำว่าซีเมนต์มาจากภาษาละติน ซึ่งแปลว่า "ตัด" โดยใช้เรียกหินปูนที่ตัด เป็นชิ้นๆ เพื่อนำมาเผา เป็นปูนขาวแต่ซีเมนต์ในปัจจุบันหมายถึงตัวประสานวัสดุสองชนิด หรือหลายๆ ชนิดให้ติดแน่น ในกรณีของคอนกรีตหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซีเมนต์เป็นตัวทำให้ ทรายหิน และเหล็ก ยึดติดกันแน่น เมื่อแห้งและแข็งตัวดีแล้ว

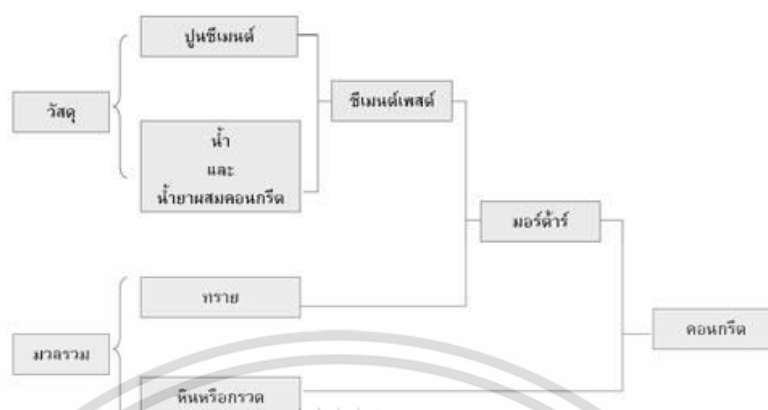
#### 2.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

จากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้เราพบว่า "คอนกรีต" ยังคงเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความนิยมใช้งาน ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีความเหมาะสมกว่าวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทั้งด้านราคาและด้านคุณสมบัติต่างๆ และอาจแยกพิจารณาคอนกรีตออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เป็นตัวประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต
2. ส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ ทราย หิน หรือ กรวด

เมื่อนำวัสดุต่างๆ ของคอนกรีตมาผสมกัน คอนกรีตจะเป็นของเหลวที่มีความหนืดเวลาหนึ่งซึ่ง สามารถนำไปเทลงแบบหล่อตามต้องการได้เมื่ออายุมากขึ้นคอนกรีตก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็งและในเวลาต่อมาก ก็จะเป็นของแข็งในที่สุดซึ่งสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะ เริ่มคงที่ การเรียกชื่อองค์ประกอบของคอนกรีตโดยทั่วๆ ไปวัสดุสำหรับใช้ผสมทำคอนกรีต ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตเมื่อผสมวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกันเราจะเรียกชื่อของวัสดุต่างๆ ที่ผสมกันดังนี้ ปูนซีเมนต์ผสมน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า

Cement paste (Cement Paste) Cement pasteผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ตาร์ (Mortar) มอร์ตาร์ ผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete) ดังแสดงตามรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

## 2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่มีใช้กันอยู่ในโลกสามารถแบ่งตามมาตรฐานการผลิตได้ 2 ประเภทได้แก่ (วินิต ช่อวิเชียร)

### 2.2.1. Portland cement ผลิตตาม มาตรฐานอุตสาหกรรม.15 แบ่งเป็น 5 ประเภท

**ประเภทที่ 1 Ordinary Portland Cement** สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการ คุณภาพพิเศษกว่าธรรมดาและสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรงหรือในที่ที่มีอันตรายจาก ซัลเฟตเป็นพิเศษหรือที่มีความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำ จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย เป็นปูนซีเมนต์ 5 ที่มีคุณภาพรับแรงอัดสูง สำหรับงานคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น อาคารขนาดใหญ่ สนามบิน สะพาน ถนนได้แก่ ปูนซีเมนต์ トラ TPI สีแดง , トラซัง , トラอินทรีย์เพชร

**ประเภทที่ 2 Modified Portland Cement** สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการลดอุณหภูมิเนื่องจากสภาพอากาศ ที่มีอุณหภูมิสูง งานคอนกรีตเหลว หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อน คอนกรีต กำแพงดินหนา ๆ หรือท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ๆ ต่อม่อ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร ปัจจุบันไม่มีการผลิต ในประเทศไทย

**ประเภทที่ 3 High Early Strength Portland Cement** ให้ค่าความต้านทานแรงอัดช่วงต้นสูงกว่าปูนซีเมนต์ TPI (สีแดง) เม็ดปูนมีความละเอียดมากกว่า เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการรับน้ำหนักได้เร็วหรือต้องการถอดแบบได้เร็วรวมทั้งใช้ทำผลิตภัณฑ์ คอนกรีตอัดแรงทุกชนิด เช่นงานเสาเข็ม งานตอม่อสะพานคอนกรีต งานพื้นสำเร็จรูป โรงหล่อ เสาเข็ม, พื้นสำเร็จรูปได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีดำ , トラเอราวิน , トラอินทรีย์ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ประเภทที่ 4 Low Heat Portland Cement** ใช้กับงานที่ต้องการคอนกรีตความร้อนต่ำ สามารถลดปริมาณความร้อน เนื่องจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำซึ่งจะสามารถลดการขยายตัวและหดตัวของคอนกรีตภายหลังการแข็งตัว ใช้มากใน การสร้างเขื่อน เนื่องจากอุณหภูมิ ของคอนกรีตต่ำกว่างานชนิดอื่นไม่เหมาะสำหรับโครงสร้างทั่วไปเพราะแข็งตัวช้า ปัจจุบัน ไม่มีผลิตในประเทศไทย

**ประเภทที่ 5 Sulfate Resistant Portland cement** ใช้ในบริเวณที่ดินหรือบริเวณใต้น้ำที่มีปริมาณซัลเฟตสูงมีระยะเวลา แข็งตัวช้า และมีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรงได้แก่ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีฟ้า, ตราช้างสีฟ้า, ตราอินทรีฟ้า

**2.2.2.ปูนซีเมนต์ผสม** ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม.80 ผลิตโดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดของ Portland cement ธรรมดา กับทรายประมาณ 25-30% จึงมีราคาถูกลง มีลักษณะแข็งตัวช้าไม่ยึดหรือหดตัวมากเหมาะสำหรับงานก่ออิฐ ฉาบปูน ทำถนน เทพื้น ตอม่อ หล่อภาชนะ คอนกรีตหล่อท่อกระเบื้องหลังคา งานอาคาร 2 ถึง 3 ชั้น ตึกแถวหรืองานที่ไม่ต้องการ กำลังอัดมาก ไม่เหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่ต้องการกำลังสูงได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรา TPI สีเขียว, ตรา เสือ, ตราอินทรีแดง

นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ อีก เช่น Portland pozzolana cement ซึ่งเหมาะสำหรับงานอาคารคอนกรีต ในทะเล ปูนซีเมนต์ผสมซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ซิลิกา (Portland cement ธรรมดา กับทราย 25 –30%) ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราภูเขา และตราอินทรี มีราคาถูก แข็งตัวช้า ไม่ยึดหรือหดตัวเหมาะกับงานก่ออิฐ ทำถนน เทพื้น ตอม่อ หล่อท่อ ภาชนะคอนกรีต กระเบื้องหลังคา และตึกแถว เป็นต้น

### 2.3 ปฏิกริยาของปูนซีเมนต์

เราทราบแล้วว่าปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญตัวหนึ่งในคอนกรีต เมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำจะเป็นของเหลว มีความหนืดเรียกว่า “เพสต์” เพสต์จะทำหน้าที่เสมือนกาวประสานมวลรวมเข้าไว้ด้วยกัน เมื่ออายุมากขึ้นเพสต์ก็จะเปลี่ยน สถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็ง และในเวลาต่อมาก็จะกลายเป็นของแข็งในที่สุด ซึ่งจะสามารถรับกำลังอัดได้มาก ขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุที่เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงเวลาหนึ่งความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่การที่ปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำแล้วเกิดการ ก่อตัวและแข็งตัวของปูนซีเมนต์ขึ้น เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “การเกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน” ซึ่งเกิดจากสารประกอบในซีเมนต์ทำ ปฏิกริยาทางเคมีกับน้ำเป็น ปฏิกริยาคายความร้อน ดังนั้นเราจึงรู้สึกว่าร้อนขึ้นเมื่อสัมผัสกับปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกริยากับน้ำ เราสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ง่ายๆ ได้ดังนี้  $Cement + Water \rightarrow C-S-H \text{ gel} + Ca(OH)_2 + heat$

### 2.4 สารประกอบที่สำคัญของPortland cement

Portland cement ประกอบด้วย หินปูน (Limestone) และดินเหนียว (clay) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ ( $Fe_2 O_3$  ) และโคโลไมต์ ( $MgCo_3$  ) เป็นจำนวนเล็กน้อย Portland cement ธรรมดาในบ้าน

เราที่ใช้กันทั่วไป (ตราเสือ ตราช้าง ตรางูเห่า) ปกติจะมีสีเทาแกมเขียว (greenish gray) และมีน้ำหนักประมาณ 92 ปอนด์/ฟุต<sup>3</sup> เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่ 7 สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียมซิลิกอน อลูมิเนียม และ เหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันทางเคมี และรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ด ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก ซึ่งจำนวน สารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ทำให้คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนไป เช่น ทำให้ปูนซีเมนต์มี กำลังรับแรงเร็วหรือช้า ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวอาจเร็วขึ้นหรือช้าลง ความร้อนที่ได้จาก การปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์อาจสูงหรือต่ำ เป็นต้น ดังแสดงในตาราง

## 2.5 ตารางแสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์และตารางแสดงคุณสมบัติของสารประกอบของซีเมนต์

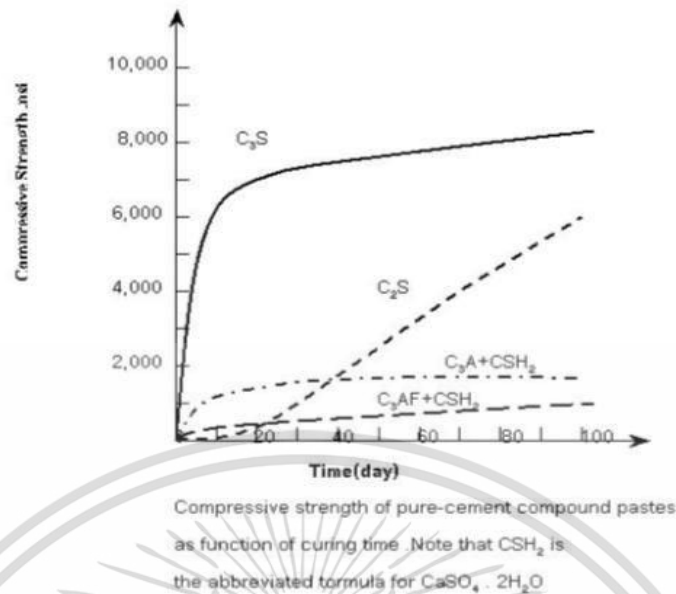
ตารางที่ 2.1 แสดงสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์

| ชื่อของสารประกอบ               | ส่วนประกอบทางเคมี   | ชื่อย่อ |
|--------------------------------|---|---------|
| ไตรแคลเซียม ซิลิเกต            | 3 CaO.SiO <sub>2</sub>  | C3S     |
| ไดแคลเซียม ซิลิเกต             | 2 CaO.SiO <sub>2</sub>  | C2S     |
| ไตรแคลเซียม อะลูมิเนต          | 3 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                  | C3A     |
| เตตราแคลเซียม อะลูมิโน เฟอไรต์ | 4 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C4AF    |

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบของซีเมนต์

| สารประกอบ | คุณสมบัติ   |
|-----------|---|
| C3S       | ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็วภายใน 14 วัน                           |
| C2S       | ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้ช้า ความร้อนเกิดขึ้นน้อย                   |
| C3A       | ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัวเกิดความร้อนสูง มีกำลังรับแรงเร็ว |
| C4AF      | มีผลน้อย ให้ความแข็งแรงเล็กน้อยเติมเข้าไปเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวกับจำนวนสารประกอบ

## 2.6 การผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนซีเมนต์มีทั้งแบบเผาแห้ง (Semi - dry process) และแบบเผาเปียก (wet process) ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตโดยรวม ๆ จะเหมือนกันแต่จะต่างกันในระดับที่ 2 ดังที่จะแสดงในรูปต่อไปซึ่งการผลิตจะมีกรรมวิธีดังต่อไปนี้ ในการผลิตปูนซีเมนต์เผาแห้งมีกรรมวิธีเป็นขั้นๆ คือ นำวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินาและธาตุซิลิกาซึ่งมีอยู่มากในดินดำ กับเหล็กซึ่งมีอยู่มากในศิลาแลง มาผสมกันตามสัดส่วนบดให้ละเอียดและนำมาตีกับน้ำจะเป็นน้ำดินแล้วนำไปเผาในหม้อเผา (Cement kiln) จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจับกันเป็นเม็ดเล็กๆ ที่เรียกว่า ปูนเม็ด (clinker) เมื่อนำปูนเม็ดไปบดรวมกับยิปซัมก็จะได้ปูนซีเมนต์ตามที่ต้องการ (วินิต ช่อวิเชียร)

ในการเตรียมวัตถุดิบตามวิธีนี้ จะต้องนำวัตถุดิบที่จะใช้การผลิตปูนซีเมนต์ ได้แก่ ดิน ขาว ดินดำ และศิลาแลง มาวิเคราะห์หาส่วนประกอบเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนที่จะใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ผสมวัตถุดิบดังกล่าวแล้วนำไปตีรวมกันกับน้ำในบ่อเตรียมดิน (Wash mill) ให้ละเอียดจนเป็นน้ำดิน (slurry) วัตถุประสงค์ของกรรมวิธีขั้นนี้ก็เพื่อที่จะย่อยดินขาวส่วนที่แข็งมากให้แหลกลงแล้วกรองผลิตผลที่ดีแล้วเพื่อกันเอาส่วนละเอียดไปใช้และควบคุมปริมาณของน้ำไม่ให้มีมากเกินไป เพราะจะทำให้หมดเปลืองเชื้อเพลิงโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนกากของดินนำไปบดให้ละเอียดใหม่ในหม้อบดดิน (tube mill) แล้วนำมากรองใหม่อีกครั้งหนึ่ง

อย่างไรก็ตามในการเตรียมวัตถุดิบดังกล่าวมาแล้วนี้ส่วนผสมของวัตถุดิบก็อาจจะคลาดเคลื่อนไปได้บ้าง เพราะความชื้นในดินตลอดจนความเปลี่ยนแปลงในส่วนผสมของดินอีกเล็กน้อยจึงต้องถ่วงน้ำหนักที่ได้บรรจุไว้

ในถัง (Slurry silo) โดยวิธีอัดลมลงไปเป่าให้เดือดพล่านเป็นเวลา 1 คืน แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ทางเคมีเป็นครั้งที่สอง ถ้าจำเป็นก็จะจัดการผสมน้ำดินนี้ให้ถูกส่วนตามที่ต้องการต่อไป แล้วสูบน้ำดินนี้ไปลงถังพัก (slurry agit tank)

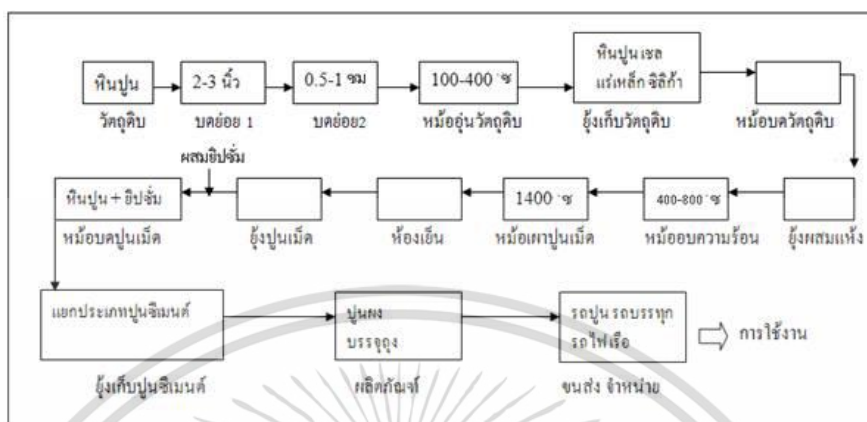
ซึ่งมีพายและลมสำหรับกวนและเป่าน้ำดิน เพื่อป้องกันไม่ให้ตกตะกอน และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในส่วนผสมให้มากที่สุดที่จะทำได้

ขั้นต่อมาให้เตรียมดินผงโดยเอาหินปูนแห้งมาบดกับดินดำแห้งให้ละเอียดและมีส่วนผสมทางเคมีกวนเข้ากับน้ำดิน เอาน้ำดินและดินผงผสมกันแล้วมาปั่นเม็ดแบบขนมบัวลอยเม็ดดินนี้จะมีความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ถ้าผลิตโดยกรรมวิธีเปียก (wet process) น้ำดินจะต้องมีความชื้นถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่จะบดเข้าหม้อเผา ด้วยความชื้นต่ำของน้ำดินและโดยการเพิ่มตระกัณเผาเม็ดดินเข้าอีกชุดหนึ่ง การใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงจะเป็นไปในอัตราต่ำ และมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบเผาเปียก ทำให้เชื้อเพลิงที่บดเข้าไปในหม้อเผาปริมาณเดียวกัน สามารถเผาปูนเม็ดได้เพิ่มขึ้นอีก 50 เปอร์เซ็นต์ หรือถ้า จะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าวิธีเผาเปียกใช้ความร้อนประมาณ 1,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม เมื่อใช้วิธีเผาแห้งใช้ความร้อนลดลงเหลือประมาณ 1,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สูบน้ำดังกล่าวไปเผาในหม้อเผา (cement rotary kiln) ซึ่งวางนอนอยู่บนแท่นคอนกรีตและหมุนรอบตัวเองอยู่บนลูกกลิ้งประมาณนาที่ละ 1 รอบ และน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ภายในหม้อเผาจะมีอิฐทนไฟ (refractory lining bricks) เพื่อเก็บความร้อนไว้ภายในและมีไช้เป็นชุด ๆ แขนงไว้ทำหน้าที่ต่าง ๆ กันเช่น สูบน้ำดินที่ไหลผ่านมา แล้วให้ปะทะกับลมร้อนที่จะผ่าออกทางปล่อง ทำให้น้ำระเหยออกจากน้ำดิน บดดินที่น้ำระเหยออกไปข้างแล้วให้เป็นเม็ดกลม ๆ มีขนาดเท่าปลายนิ้วมือหรือใกล้เคียงกันเม็ดดินที่ผ่านไช้เป็นชุด ๆ มานั้นจะถูกเผาให้ร้อนขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อร้อนถึง 800 - 1000 องศาเซลเซียส เม็ดดินก็จะเริ่มคายคาร์บอนไดออกไซด์ออก เมื่อเม็ดดินนี้ร้อนถึงประมาณ 1,450 องศาเซลเซียสก็จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีคือเม็ด ดินเปลี่ยนเป็นปูนเม็ดโดยขับปล้นปูนเม็ดซึ่งร้อนถึง 1,450 องศาเซลเซียสจะถูก ปล่อยลงไปในถังลดความเย็น (cooler) อันเป็นทำเลที่จะพ่นลมเข้าไปในปูนเม็ดเย็นตัวลงเพื่อให้เกิดไตรแคลเซียมซิลิเกต (C3S) มากที่สุดในขณะที่ปูนเม็ดเริ่มแข็งตัวแล้วจึงเก็บปูนเม็ดนี้ไว้ในถัง (storage) ต่อไปก็นำปูนเม็ดนี้ไปบดให้เป็นปูนซีเมนต์ผงในหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement mill) โดยใส่ยิปซัมผสมลงไปด้วยหม้อบดนี้มีเครื่องสามารถตั้งให้จำนวนปูนเม็ดที่บดเป็นปูนซีเมนต์แล้วมีความละเอียดและมีความแข็งตัวตามที่ต้องการด้วยในทุกๆ ชั่วโมง ซึ่งจะนำตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่บดนี้ไปทดลองหาเวลาแข็งตัวและความละเอียดตลอดจนเก็บไว้ส่วนหนึ่งเพื่อรวมกัน ประกอบ เป็นตัวอย่างสำหรับทดลองกำลังการยัดตัว และส่วนผสมทางเคมีของปูนซีเมนต์ที่บดแต่ละตัวด้วยปูนซีเมนต์ที่บดแล้วนำไปเก็บไว้ในถังเก็บปูนซีเมนต์ (cement silo) โดยอาศัยกำลังลมอัดไปแล้วจะนำมาบรรจุลงจำหน่ายได้ต่อไป

การอุ่นดินผงให้ร้อนใช้วิธีโปรยดินผงลงทางยอดหอคอยมีถึงดักแบบไซโคลนขนาดใหญ่เรียงอยู่เป็นชั้นๆ เพื่อนำลมร้อนที่ออกจากหม้อเผามาอุ่นดินผงให้ร้อนจัด เป็นการประหยัดความร้อนอย่างดีที่สุด ในกรรมวิธีการ

ผาปูนในปัจจุบันนี้ ความร่อยที่ออกจากไซโคลนนี้ยังจะถูกจัดส่งโดยท่อขนาดใหญ่ ไปอุ้มนวัตถุติบที่มีความชื้นให้แห้งเสียก่อนนำไปเก็บไว้ในย้งแบบไซโลอีกด้วย



รูปที่ 2.3 รูปแสดงกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

## มวลรวม

มวลรวมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของคอนกรีตและส่งผลถึงประสิทธิภาพในการยึดเกาะของซีเมนต์ด้วย โดยที่มวลรวมหรือวัสดุผสมคือวัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราย กรวด มวลรวมมีปริมาตร 70-80%ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด จึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากหินที่ใช้ผสมคอนกรีต ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต หรือกรวดทราย ได้แก่ ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือ หินบดละเอียด

## 2.7 คุณสมบัติของมวลรวมในงานคอนกรีต

- ความแข็งแรง (STRENGTH)
- รูปร่างและลักษณะผิว (PARTICLE SHAPE AND SURFACE TEXTURE)
- ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (CHEMICAL STABILITY)
- ขนาดใหญ่สุด (MAXIMUM SIZE)
- ขนาดคละ (GRADATION)
- ค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS, F.M.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้นและการดูดซึม (MOISTURE AND ABSORPTION)
- ความถ่วงจำเพาะ ถ.พ. (SPECIFIC GRAVITY)
- หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (UNIT WEIGHT AND VOID)

### 2.7.1. ความแข็งแรง (STRENGTH)

กำลังอัด (COMPRESSIVE STRENGTH) ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของมอร์ตาร์และมวลรวม ดังนั้นเมื่อมวลรวมมีความแข็งแรงสูงก็จะส่งผลให้คอนกรีตสามารถรับ กำลังอัดได้สูงขึ้น ด้วยมวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการ ของคอนกรีตความแข็งแรงของหินปูนมีค่าประมาณ 700 - 1500 กก./ ซม.2

### 2.7.2 รูปร่างและลักษณะผิว (PARTICLE SHAPE AND SURFACE TEXTURE)

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากกว่าของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมวลรวมที่มีผิวหยาบมีรูปร่างแบนยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมมน หรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเทได้(WORKABILITY) เดียวกัน มวลรวมที่มีรูปร่างแบนและยาวมีโอกาสที่จะแตกหักเนื่องจากแรงดัดได้ง่ายกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลมหรือเหลี่ยมส่งผลให้กำลัง (STRENGTH) ของคอนกรีตลดต่ำลงเช่นเดียวกับมวลรวมที่มีผิวเรียบลื่นทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนโดยเพสต์น้อยลงทำให้การแตกหักของคอนกรีตจะเกิดขึ้นในบริเวณส่วนที่เป็นซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำให้กำลังยึดเกาะน้อยกว่าความสามารถรับกำลังอัดของมวลรวมดังนั้นมวลรวมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแฉเหลี่ยมคม ไม่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาวควรมีผิวหยาบหรือด้านเพื่อช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

### 2.7.3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (CHEMICAL STABILITY)

มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอกมวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (ALKALI) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็นฟูน และขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าว โดยทั่วไปในคอนกรีตเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ALKALI -AGGREGATEREACTION (AAR)

### 2.7.4. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (MAXIMUM SIZE OF AGGREGATE)

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมวัด จากขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่าถัดไปจากตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15%

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการทำ SIEVE ANALYSIS ของหิน

| ขนาดตะแกรง        | น้ำหนักค้าง (กรัม) | % ค้าง     |
|-------------------|--------------------|------------|
| 1"                | 9                  | -          |
| 3/4"              | 1484               | 7.2        |
| 1/2"              | 7968               | 38.9       |
| 3/8"              | 8745               | 42.7       |
| เบอร์ 4           | 971                | 4.7        |
| เบอร์ 8           | 815                | 4.0        |
| ถาดรอง            | 508                | 2.5        |
| <b>รวมน้ำหนัก</b> | <b>20500</b>       | <b>100</b> |

ตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% คือ ตะแกรงเบอร์ 1/2 นิ้ว ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของมวลคือขนาดของตะแกรงเบอร์ใหญ่กว่าถัดไป ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของหินนี้คือ 3/4 นิ้ว

มวลรวมขนาดใหญ่ต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก เพื่อให้การเทได้ (WORKABILITY) เท่ากัน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นถ้าให้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัว (SLUMP) เท่ากันคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมขนาดใหญ่ก็จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่ามวลรวมขนาดเล็กแต่ทั้งนี้คุณภาพของหินต้องเป็นไปตามข้อกำหนดระยะห่าง เรื่องของ MICROCRACKING ซึ่งมีลักษณะเป็นรอยร้าวขนาดเล็กๆเกิดจากกรรมวิธีการผลิต หินมัก จะเกิดขึ้นกับหินที่มีขนาดใหญ่หินที่มี MICRO-CRACKINGเมื่อนำมาผสมทำคอนกรีตก็จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงได้ขนาดใหญสุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปมักจะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

### 2.7.5. ขนาดคละ (GRADATION)

ขนาดคละ คือ การกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาคมวลรวมในคอนกรีต ประกอบด้วย มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ซึ่งจะต้องมีขนาดใหญ่ เล็กคละกันไปคอนกรีตที่ใช้ มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอ เทเข้าแบบได้ง่ายไม่ออกหินออก ทราย ทำให้แน่นได้ง่าย การปาดแต่งผิวหน้า กำลังอัด และความทนทานยัง เป็นไปตามข้อกำหนดมวลรวมที่มี ขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เราเรียกว่า “ มวลรวมหยาบ ” ซึ่งได้แก่ หิน กรวด เป็นต้น มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 95-100% เราเรียกว่า “ มวลรวม ละเอียด ” ซึ่งได้แก่ ทราย หินบดละเอียด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ขนาดคละของหิน

มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะทำให้ช่องว่างเหลือน้อยที่สุดทำให้ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด ซึ่งช่วยให้คอนกรีตมีราคาต่ำ ลงได้คอนกรีตที่มีมวลรวมละเอียดมากเกินไป จะทำให้ความสามารถในการเทได้ (WORKABILITY) น้อยลง จึงต้องเพิ่มน้ำ และเพสต์ให้มากขึ้นแต่ก็ส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตคอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบมากเกินไปแม้ว่าความสามารถในการเทได้ (WORKABILITY) จะดี แต่ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการแยกตัว (SEGREGATE) ของคอนกรีตมวลรวมที่มีขนาดคละดีก็จะส่งผลให้คอนกรีตมี WORKABILITY ดี , STRENGTH ดี และราคาต่ำด้วยมวลรวมที่มีขนาดคละดี หมายถึงมวลรวมที่มีมวลรวมหยาบและละเอียดขนาดต่างกันคละเคล้ากัน ให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด อัตราส่วนของทรายต่อมวลรวม (S/A) อยู่ในช่วง 0.40-

0.50 โดยน้ำหนัก หินที่ใช้มี SIZE NUMBER 6 (หินกลาง) และ SIZE NUMBER 7 (หินเล็ก) นำมารวมกันในอัตราส่วน SIZE NO.6 / SIZE NO.7 เท่ากับ 50-65% โดยน้ำหนัก



(ก) รูปเครื่องคัดแยกขนาด



(ข) เครื่องทดสอบการกระแทกของวัสดุ

### รูปที่ 2.5 เครื่องคัดแยกขนาดและเครื่องทดสอบการกระแทกของวัสดุ

#### 2.7.6. ค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS) , (F.M.)

โมดูลัส ความละเอียดเป็นค่าที่บอกความละเอียดของทรายหาได้โดยการรวมค่า เปอร์เซนต์ค้างสะสม (CUMULATIVE PERCENTAGES RETAINED) บนตะแกรงเบอร์ 4,8,16, 30, 50 และ 100 แล้วหารด้วย 100

- ทรายสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.2 - 3.2
- ค่า F.M. น้อย (F.M. 2.2) แสดงว่า ทรายละเอียด
- ค่า F.M. มาก (F.M. 3.2) แสดงว่า ทรายหยาบ
- ค่า F.M. ที่เหมาะกับการงานคอนกรีต = 2.7

ทรายที่มีความละเอียด (F.M. 2.2) จำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้ (WORKABILITY) ที่เท่ากันเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า เมื่อน้ำหนักเท่ากันถ้าทรายมีความ หยาบ มากเกินไป (F.M. 3.2) ก็จะทำให้ความสามารถในการแทรกประสานเข้าไปในช่อง ระหว่างมวลรวม หยาบไม่ดีพอ ต้องใช้ปริมาณเพสต์เพื่อเข้าไปแทนที่ช่องว่างมากขึ้นอันทำให้คอนกรีตที่ได้มีราคาสูงขึ้น ด้วย



รูปที่ 2.6 เครื่องคั้ดแยกขนาดหินทราย

### 2.7.7. ความชื้นและการดูดซึ้ม (MOISTURE AND ABSORPTION)

มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนติดต่อกับผิวนอกจึงสามารถดูดความชื้นและน้ำบางส่วนดั่งนั้น มวลรวมที่เก็บอยู่ในสภาพธรรมชาติจึงมีความชื้นต่างๆ กัน ไปหากมวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำ ผสมเข้าไปทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกชื้นก็ทำให้อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์จริงสูงกว่าที่ควรจะเป็น



ทรายหยาบ

F.M. 3.15

ทรายมาตรฐาน

F.M. 2.65

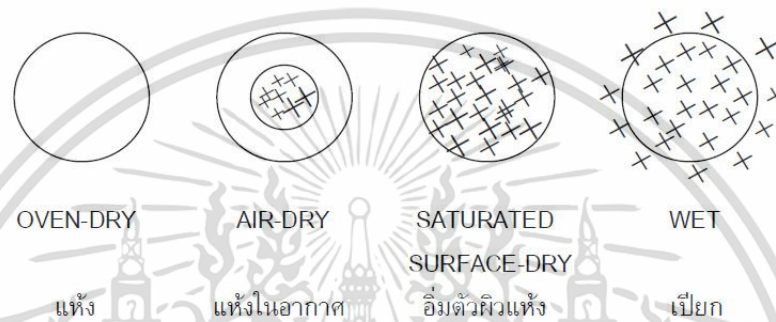
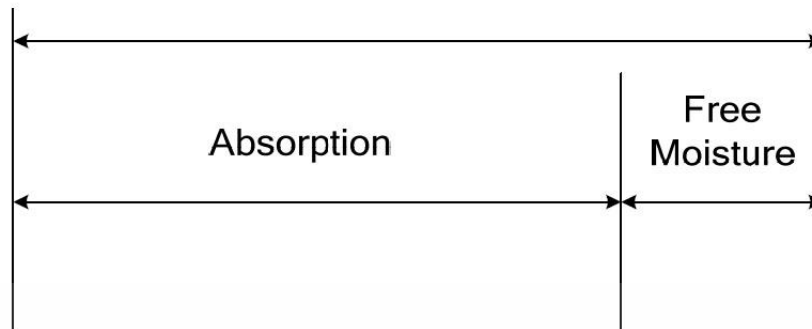
ทรายละเอียด

F.M. 2.10

รูปที่ 2.7 ทรายหยาบ ทรายมาตรฐาน ทรายละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจแบ่งสภาพความชื้นออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้



รูปที่ 2.8 ความชื้น 4 ลักษณะ

1. อบแห้ง (OVEN-DRY) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่
2. แห้งในอากาศ (AIR-DRY) ผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในรูพรุน
3. อิมตัวผิวแห้ง (SATURATED SURFACE-DRY) รูพรุนเต็ม ไปด้วยน้ำแต่ผิวแห้ง
4. เปียก (WET) รูพรุนเต็ม ไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้านด้วย

ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมทุกครั้งจะถือว่ามวลรวมอยู่ในสถานะ “อิมตัว” ผิวแห้ง(SSD)แล้ว จึงปรับปริมาณน้ำ ตามลักษณะของวัสดุที่เป็นจริง

$$\text{TOTAL MOISTURE} = \left( \frac{\text{น้ำหนักทราย} - \text{น้ำหนักทรายแห้ง}}{\text{น้ำหนักทรายแห้ง}} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

$$\text{ABSORPTION} = \left( \frac{\text{นน.ทรายอิ่มตัวผิวแห้ง} - \text{นน.ทรายแห้ง}}{\text{นน.ทรายแห้ง}} \right) \times 100 \quad (2.2)$$

FREE MOISTURE = TOTAL MOISTURE – ABSORPTION

ABSORPTION ของทราย = 0.7 โดยน้ำหนัก

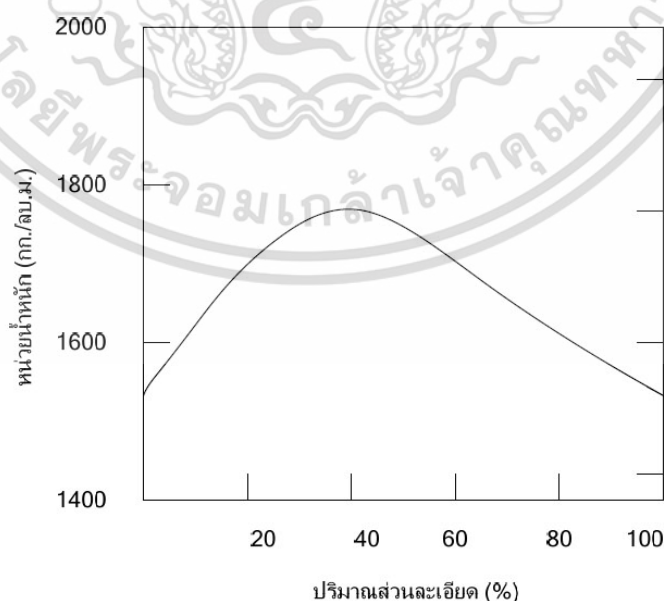
ABSORPTION ของหิน = 0.5 โดยน้ำหนัก

### 2.7.8. ความถ่วงจำเพาะ (SPECIFIC GRAVITY)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมคือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำหรือ ถ.พ. ของมวลรวม = น้ำหนักมวลรวม / น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ถ.พ. ทราย = 2.65 ถ.พ. หิน = 2.70 ถ.พ. ซีเมนต์ = 3.15 ค่า ถ.พ. ใช้ในการแปลงน้ำหนักของวัตถุนั้นให้เป็นปริมาตร เช่น ซีเมนต์หนัก 315 ก.ก. = 315 / 3.15 = 100 ลิตร

### 2.7.9. หน่วยน้ำหนัก และช่องว่าง (UNITWEIGHT AND VOID)

หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมในขนาดคละที่ต้องการต่อหน่วยปริมาตรหน่วย น้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวมที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุลงได้หน่วย น้ำหนัก ของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทยมีค่า 1,400-1,600 กก./ลบ.เมตรการนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม ดังรูป



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด

หน่วยน้ำหนักสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้มวลรวมละเอียด 30 - 40% โดยน้ำหนักของมวลรวม ทั้งหมด ดังนั้นถ้าคำนึงเฉพาะราคาคอนกรีต (ใช้ซีเมนต์เฟสตันน้อยที่สุด) เราควรใช้เปอร์เซ็นต์ทรายในช่วงดังกล่าว แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดด้วย

### ตามมาตรฐาน ASTM C33

หินที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีต ได้แก่ หินปูน หินแกรนิต กรวด แล้วนำมาแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การใช้งานขนาดของหินที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตใช้ SIZE NUMBER

- 6 ( 19 - 9.5 mm)
- 7 (12.5 - 4.75 mm)
- 67 (19 - 4.75 mm)

ทรายที่นำมาผสมทำคอนกรีตได้แก่ ทรายแม่น้ำมีขนาดเล็ก กว่า 4.75 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม.ในงานคอนกรีตทั่วไป ใช้ทรายเม็ดหยาบขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.07-4.75 มม. ใช้ในงานคอนกรีตเทพื้น ฐานราก และในที่ที่ต้องการให้รับแรงอัดมากๆ

## 2.8 การผสมซีเมนต์

การวัดส่วนผสมอาจทำได้ 2 วิธี คือ การตวงส่วนผสมโดยปริมาตรและการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนักการชั่งน้ำหนักจะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำกว่าการตวงปริมาตรมาก จึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่ งานคอนกรีตกำลังอัดปานกลาง-สูงในกรณีที่ดินทรายมีความชื้นเราก็สามารถปรับน้ำหนักส่วนผสมให้ถูกต้อง เนื่องจากความชื้นได้แต่วิธีการตวงทำไม่ได้

### 2.8.1. เวลาในการผสมคอนกรีต

เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการผสมคือ เวลาพอดีที่ทำให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อสม่ำเสมอทุกๆครั้งที่ผสมซึ่งจะได้จากการทดลองผสมก่อนใช้งานจริง ได้ข้อสรุปดังนี้

1. ถ้าส่วนผสมแห้ง ปูนซีเมนต์น้อย จะต้องผสมเป็นเวลานาน
2. ถ้ามวลรวมมีความเป็นเหลี่ยมมุม จะต้องใช้เวลาผสมนานกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลม

ในกรณีที่คอนกรีตถูกผสมเป็นเวลานานน้ำจะระเหยออกจากคอนกรีตนั้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถรับน้ำเข้าแบบลดลงและจะเริ่มก่อตัวขึ้น จะส่งผลดังนี้คือ มวลรวมที่มีกำลังต่ำจะแตกทำให้ส่วนละเอียดเพิ่มขึ้น ความสามารถที่จะลดลง และผลของแรงเสียดทานจะก่อให้เกิดอุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณฟองอากาศลดลงอีกด้วย

## 2.9 การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการเทและควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามที่ต้องการ หลักการทั่วไปของการบ่มคอนกรีตที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือลมไม่ให้คอนกรีตร้อนหรือเย็นมากเกินไปไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างโดยน้ำฝนหลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ เป็นต้น

### 2.9.1 การบ่มเปียก

ในกรณีทั่วไปคอนกรีตต้องได้รับการป้องกันการสูญเสียความชื้นจากแสงแดดและลม หลังจากเสร็จการเทจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแข็งแรง และหลังจากที่คอนกรีตเริ่มแข็งแรงแล้วผิวหน้าของคอนกรีตที่สัมผัสกับบรรยากาศยังคงความเปียกชื้นอยู่ซึ่งอาจทำได้ด้วยการปกคลุมด้วยกระสอบเปียกน้ำ ผ้าเปียกน้ำหรือฉีบน้ำให้ชุ่ม เป็นต้น คอนกรีตที่ใช้ Portland cement ประเภทที่ 1 ควรบ่มเปียกติดต่อกันอย่างน้อย 7 วัน ส่วนคอนกรีตที่ใช้ Portland cement ประเภทที่ 3 ควรบ่มอย่างน้อย 3 วัน ในกรณีของคอนกรีตที่มีวัสดุผสมปอซโซลานผสมควรบ่ม มากกว่า 7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุปอซโซลานที่ใช้ในคอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มอย่างถูกต้องจะไม่มีการพัฒนาการกำลังเท่าที่ควรเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันต้องการน้ำนอกจากนั้นการสูญเสียความชื้นจากผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่มจะทำให้เกิดการแตกร้าวด้วยกรณีใช้กระสอบ

หรือผ้าในการการบ่มคอนกรีต กระจกหรือผ้าที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่มีความหนาพอสมควรเพื่อไม่ให้แห้งเร็วเกินไป และต้องรดน้ำให้เปียกชุ่มอยู่ตลอดเวลาการบ่มด้วย



รูปที่ 2.10 รูปการแสดงการบ่มคอนกรีตด้วยกระจกเปียก

## 2.10 คุณสมบัติคอนกรีตสด

คอนกรีตสดที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ซึ่งคุณสมบัติต่อไปนี้ ซึ่งคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตสด จะส่งผลโดยตรงต่อกำลังและความทนทานของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2.10.1. ความสามารถเทได้ (WORKABILITY) คือ ความสามารถในการที่จะเทคอนกรีตเข้าสู่แบบให้แน่น และไม่เกิดการแยกตัวของส่วนผสม

2.10.2. การยึดเกาะ (COHESION) คือ การที่เนื้อคอนกรีตสามารถจับรวมตัวกันเป็นกลุ่ม หรือแยกออกจากกันได้ยาก

2.10.3. ความชื้นเหลว (CONSISTENCY) คือ สภาพความเหลวของคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่โดยการทดลองต่างๆ เช่น ค่ายุบตัว การไหล เป็นต้น

2.10.4. การแยกตัว (SEGREGATION) คือ การแยกออกของส่วนประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ

2.10.5. การเยิ้ม (BLEEDING) คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง เป็นการแยกตัวในแนวตั้งโดยที่วัสดุผสมที่หนักจะจมลงด้านล่างและวัสดุผสมที่เบาจะลอยขึ้นด้านบนสู่ผิวของคอนกรีต

## 2.11 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อโดยตรงกับคุณภาพของซีเมนต์

2.11.1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จากการทดลองพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์นั่นคือกำลังอัดของคอนกรีตจะมากขึ้นถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลง อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยที่สุดและเหมาะสมประมาณ 0.30 (W/C = 0.3) เนื่องจาก ปูนซีเมนต์ต้องใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2. ชนิดของปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์และขนาดเม็ดปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์มีการบดละเอียดเม็ดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัสจะมาก ทำปฏิกิริยาได้เร็ว ทำให้สามารถรับกำลังอัด ได้สูงในระยะเวลาเร็ว

## 2.12 คุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ ของคอนกรีต

2.12.1. TENSILE STRENGTH. ความต้านทานในด้านรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าต่ำมาก ประมาณ 10 % ของกำลังอัดประลัยความต้านทานในการรับแรงดึงของคอนกรีตจะช่วยให้การควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว งานคอนกรีตอัดแรง งานก่อสร้างเก็บของเหลว เป็นต้น

2.12.2. BOND STRENGTH. ความต้านทานต่อการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่หล่ออยู่ภายในเนื้อคอนกรีตขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม w/c ซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเพสต์ แรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมในแนวนอนจะน้อยกว่าแนวตั้ง เพราะน้ำที่เกิดจากการเยิ้มอาจไป เกาะอยู่ที่เหล็กเสริมตามแนวนอนได้เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงเกิดเป็นรูโพรงใต้เหล็กเสริมนั้น ทำให้ลดกำลังยึดเหนี่ยวลง

- SHEAR STRENGTH.
- IMPACT STRENGTH.
- ต้านทานการเสียดสีขึ้นกับ - w/c (กำลังอัด) สูงจะมีความต้านทานสูง
- Agg/C (มวลรวม/ซีเมนต์) สูงจะมีความต้านทานสูง
- ความต้านทานต่ำเมื่อใช้มวลรวมเบา
- ความต้านทานเพิ่มขึ้นถ้าเกิดการเยิ้มขึ้นเพียงเล็กน้อย
- ประการที่สำคัญที่สุด คือ การบ่มคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ

## 2.13 การทดลองคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

### 2.13.1. คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1 Finess Specific Surface ( พื้นที่ผิวจำเพาะ ) หมายถึง ความละเอียดของปูนซีเมนต์ โดยวัดพื้นที่ผิวของซีเมนต์ 1 กรัม มีพื้นที่ผิวรวมกันได้กี่ตารางเซนติเมตร สำหรับ Portland Type I จะมีความละเอียด 2800 - 3000 cm<sup>2</sup>/g ,Type III 4000 - 4800 cm<sup>2</sup>/g ค่าความละเอียดยิ่งมาก ค่า Compressive Strength ก็ยิ่งมากขึ้นด้วย และการเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะเร็วขึ้นทำให้เวลาในการ ก่อตัว ( Setting Time ) เร็วขึ้นด้วย

1.2 Soundness (ความอยู่ตัว) เป็นการทดลองการขยายตัวของปูนซีเมนต์ โดยใช้ Autoclave เพื่อดูว่า ปูนซีเมนต์มีการขยายตัวที่เปอร์เซ็นต์ถ้ามีการขยายตัวมาก (เนื่องจากมี MgO สูง) จะมีผลทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว

1.3 Time of setting (ระยะเวลาการก่อตัว) เป็นการหาระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ ถ้าใช้เวลาน้อยเกินไป แสดงว่าปูนแข็งตัวเร็ว จะทำให้การเทคอนกรีตลงในแบบ ไม่ทัน ถ้าใช้เวลามากเกินไปก็จะแข็งตัวช้า

1.4 Air Content of Mortar (ปริมาณอากาศในมอร์ตาร์) จำนวนปริมาตรของอากาศที่อยู่ในมอร์ตาร์ จะทำให้เกิดช่องว่างอยู่ภายใน ถ้ามีมากจะทำให้ค่าแรงอัดลดลง

1.5 Heat of Hydration เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำถ้าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าสูง จะทำให้คอนกรีตมีอุณหภูมิสูงด้วย ซึ่งเป็นผลให้เกิด การขยายตัวทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

1.6 False set (การก่อตัวผิดปกติ) คือการที่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำแล้วเกิดการแข็งตัวเร็วผิดปกติ ไม่สามารถที่จะเทลงแบบได้ทั้งนี้เกิดจากระหว่างที่บดซีเมนต์ มีความร้อนเกิดขึ้นสูง หรือเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในที่ที่อุณหภูมิสูง ทำให้ยิปซัมที่ใส่ไว้สำหรับควบคุมเวลาการก่อตัวของ ปูนซีเมนต์ต้องสูญเสียไปเนื่องจากความร้อน (Dehydration) ทำให้คุณสมบัติของยิปซัมในการควบคุม setting time เสียไป

1.7 Compressive Strength of Mortar เป็นการหาค่าแรงอัดของปูนซีเมนต์ในมอร์ตาร์ ที่อายุ 1 วัน, 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของปูนซีเมนต์ในด้านการรับแรงอัดและบ่งบอกถึงระยะเวลาของการถอดแบบอีกด้วย

#### 2.13.2. คุณสมบัติทางเคมี

2.1 Main Oxide ได้แก่  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และ  $\text{CaO}$  แสดงส่วนประกอบของสารประกอบซีเมนต์ โดยเป็นตัวบ่งชี้ถึงประเภทของปูนซีเมนต์ซึ่งจะมีปริมาณของสารประกอบ ที่แตกต่างกันออกไป

C3S ให้แรงอัดในทุกๆระยะ โดยเฉพาะระยะแรกให้แรงอัดมาก และให้แรงอัดเพิ่มขึ้น เล็กน้อยหลังจาก 28 วัน C2S ให้แรงอัดในระยะยาว แรงอัดที่เกิดขึ้นในระยะ 7 วันมีค่าต่ำหลังจาก 1 เดือนไปแล้ว จึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ C3A ให้แรงอัดเพียงเล็กน้อยระยะ 1 - 3 วัน แต่จะช่วยเร่งอัตราการให้แรงอัดระยะแรก ของ C3S ให้เร็วขึ้น C4AF เป็นสารประกอบที่ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเข้มและทนต่อการกัดกร่อนของ Sulphate

2.2 Sulphate Trioxide ( $\text{SO}_3$ ) ได้จากเชื้อเพลิงที่ใช้เผาปูนซีเมนต์วัตถุดิบและยิปซัมที่ใส่ในปูนซีเมนต์ ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ซึ่งเป็นสาร active สำหรับการควบคุมระยะเวลาในการก่อตัวถ้ามีมากจะเกิดการขยายตัว ทำให้คอนกรีตแตกร้าว และทำให้ปูนซีเมนต์เกิด False set แต่ถ้ามีน้อยเกินไปจะทำให้เกิด False set ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ

2.3 Insoluble residue เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ไม่ละลายในกรดต่าง เช่น ททรายและดิน ที่ปะปนอยู่ในปูนซีเมนต์ถ้ามีมากจะมีผลทำให้กำลังอัดลดลง การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

### 2.13.3 การควบคุมคุณภาพคอนกรีต

#### 1. การควบคุมวัสดุประกอบการควบคุมวัสดุในการผลิตปูนซีเมนต์สามารถควบคุมได้ดังนี้

- ปูนซีเมนต์
- หิน ทราย
- น้ำ
- น้ำยาผสมคอนกรีต
- วัสดุทดแทนซีเมนต์

#### 2. การออกแบบคุณสมบัติของส่วนผสมคอนกรีต

- พิจารณาศึกษาทบทวนข้อกำหนด
- การทบทวน ปรับปรุง เปลี่ยนแปลง ข้อกำหนด ให้เหมาะสม
- พัฒนาและเลือกคุณสมบัติของส่วนผสม
- การเสนอส่วนผสมเพื่ออนุมัติใช้งาน
- การประชุมหารือก่อนการเทคอนกรีต
- การรวบรวมข้อมูลลักษณะเฉพาะของคอนกรีต

#### 3. การควบคุม ณ โรงงานคอนกรีต หรือ ณ หน่วยงานผลิต

- การสุ่มตรวจสอบวัสดุที่เข้าโรงงาน
- การเก็บวัสดุบ่มเช่นการป้องกันสิ่งสกปรกเจือปนการระบายน้ำของมวลรวมการชั่งตวงส่วนผสม เช่น ระบบชั่งและระบบเคลื่อนย้ายวัสดุที่เชื่อถือได้, การตรวจสอบ (Calibrated) เครื่องชั่งและอุปกรณ์ตวงน้ำยา (Dispenser)
- ความถูกต้องในการชั่งตวง
- การบำรุงรักษาเครื่องจักรและกระบวนการผลิต

#### 4. การควบคุมคอนกรีต

- การสุ่มตัวอย่างคอนกรีตเพื่อทดลอง
- การทดลองคอนกรีตสด
- การสังเกต ณ หน่วยงานก่อสร้าง
- รายงานข้อมูลเทคนิคต่างๆ ในสนาม
- รายงานของพนักงานจัดส่ง
- การเปรียบเทียบผลทดลองระหว่างห้องปฏิบัติการ
- การจัดทำผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การบริการลูกค้า

- การตรวจสอบข้อร้องเรียนของลูกค้า
- การวิเคราะห์ข้อผิดพลาด
- เสนอแนะทางแก้ไขปัญหาและหาทางป้องกัน
- ป้อนข้อมูลส่งกลับไปหน่วยงานผลิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### วิธีการศึกษา

#### 3.1 การทดลองที่ 1 การทดสอบหาส่วนขนาดละเอียดและมวลรวมหยาบ

(Test for Tensile Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates)

ชนิดของมวลที่ใช้ในการผสมคอนกรีต เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของคอนกรีตทั้งในด้านความเหมาะสมต่อการใช้งาน ความทนทาน และกำลังของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วการเลือกใช้มวลรวมที่ขนาดแตกต่างกันอย่างพอเหมาะพอดี จะทำให้สามารถทราบคุณภาพคอนกรีตได้ตามที่ต้องการ โดยปกติมวลรวม ที่หาได้ตามธรรมชาติอาจจะมีขนาดละเอียดที่ไม่ดีนักฉะนั้นจึงต้องนำมวลรวมที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์ และหา เปอร์เซ็นต์ส่วนละเอียดเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้มวลรวมที่มีขนาดละเอียดที่เหมาะสม ช่วงขนาดละเอียดของมวลที่เหมาะสมสำหรับการผสมคอนกรีตมีดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงมาตรฐานส่วนละเอียดของมวลรวม

| ขนาดตะแกรงมาตรฐาน | เปอร์เซ็นต์ผ่าน | เปอร์เซ็นต์ค้าง |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1 1/2"            | 98-100          | 0-2             |
| 3/4"              | 68-80           | 20-32           |
| 3/8"              | 47-57           | 43-53           |
| No. 4             | 35-45           | 55-56           |
| No. 8             | 26-36           | 64-74           |
| No. 16            | 18-27           | 73-82           |
| No. 30            | 11-19           | 87-89           |
| No. 50            | 2-8             | 92-98           |
| No. 100           | 1-2             | 98-99           |

##### 3.1.1 ขนาดละเอียด(Gradation)

ขนาดละเอียด(Gradation) คือการกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาค ขนาดละเอียดของมวลร่วนนับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณเนื้อซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการนำไปห่อหุ้มมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ผลของขนาดคละต่อคุณสมบัติของคอนกรีตคือ

ปริมาณของซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตที่มีขนาดคละของมวลรวมดี มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้วมวลรวมที่ขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ใน ช่องว่างระหว่างมวลรวมที่ใหญ่กว่าให้มากที่สุด การที่มวลรวมมีขนาดคละที่ดีจะส่งผลให้ ช่องว่างระหว่าง มวลรวมมีปริมาณน้อยลง ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เพื่อยึดมวลรวมและอุดช่องว่างจึงลดลง ทำให้ลดปริมาณ ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ลงได้

- ความสามารถเทได้ (Workability) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมซึ่งมีขนาดคละดีจะมีปริมาณซีเมนต์ เพสต์ที่เหลือจากการเติมช่องว่างในมวลรวมมากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดคละเดี่ยว (Single Size) หรือขนาดคละขาดช่วง (Gap Grade) ดังนั้นปริมาณซีเมนต์เพสต์ดังกล่าวจะทำหน้าที่หล่อลื่นและลดแรง เสียดทานระหว่างมวลรวมทำให้ความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น

- การแยกตัว (Segregation) โดยปกติการแยกตัวของคอนกรีตมี 2 ชนิด คือ การแยกตัวของมอร์ตาร์ ออกจากเนื้อคอนกรีต ในคอนกรีตปกติทั่วไปที่ได้รับการจี้เขย่ามากเกินไป (Over vibration) ส่วนอีกประเภท หนึ่งคือ การเอี่ยม (Bleeding) โดยมีลักษณะคือ จะมีการจมลงของมวลรวม (องค์ประกอบที่หนักกว่า) ซึ่งจะ ดันให้น้ำบางส่วน (ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดของส่วนผสม) ลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งมี สาเหตุมาจากความสามารถของส่วนผสมที่จะกักน้ำที่แผ่กระจายอยู่เอาไว้ขณะที่มวลรวมที่หนักกว่าน้ำจมลง

### 3.1.3 การวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุผสมด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

เพื่อควบคุมตรวจสอบให้ขนาดคละของมวลรวมเป็นไปตามที่กำหนดไว้รวมทั้งใช้เพื่อหาอัตราส่วนผสมของมวลรวมขนาดต่างๆ เพื่อให้ได้ขนาดคละที่เหมาะสม การวิเคราะห์ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างมา ปริมาณหนึ่งมาร่อนบนตะแกรงขนาดต่างๆ ซึ่งวางเรียงกันตามขนาดช่องว่างของตะแกรงจากขนาดใหญ่สุดอยู่ข้างบนจนถึงขนาดเล็กสุด โดยใช้การเขย่าชุดตะแกรง ดังกล่าว

### 3.1.4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละ

สำหรับทราย ปริมาณอนุภาคละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 มีผลต่อความสามารถเทได้ การ แต่งผิวหน้าและการเอี่ยมของคอนกรีตสด(Bleeding) นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กยังช่วยให้ คอนกรีตเกาะรวมตัวกันได้ดีดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของอนุภาคละเอียดคือ ผ่านตะแกรง เบอร์ 50 อย่างน้อย 5% แต่ ต้องไม่ให้มีอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% เพราะอนุภาคขนาดเล็กนี้มักประกอบด้วยดิน เหนียว ซึ่งมีผลคือจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นในการผสมทำให้ปริมาตรของ คอนกรีตมีอัตราการ เปลี่ยนแปลงสูง(เกิดการหดตัว)

**3.1.5 สำหรับหิน** งานก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยพบว่าหินที่ใช้ผสมคอนกรีตมักเป็นหินเพียงขนาดเดียว (Single size) เช่น หิน 1 หรือ หิน 2 ซึ่งไม่ได้มีขนาดละเอียดที่ถูกต้องตามทฤษฎีสำหรับงานคอนกรีต ดังนั้นจึงมี ข้อเสนอแนะในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย คือ เมื่อใช้หินย่อยและทราย แม่น้ำที่เป็นวัตถุดิบหลักในประเทศไทยนั้น ปริมาณส่วนละเอียด ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณทราย ที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ไม่แยกตัวหรือเกิดการเยิ้มมากและได้กำลังอัดตาม ต้องการมีค่าแสดงในตาราง

**ตารางที่ 3.2 แสดงมาตรฐานขนาดหินที่ใช้ออกแบบ**

| ขนาดของหิน   | ปริมาณปูนซีเมนต์ + ปริมาณทราย |
|--------------|-------------------------------|
| 1'' - # No.4 | 38 % โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร |
| ¾'' - # No.4 | 40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร  |

สำหรับงานพิเศษบางประเภทเช่น งานคอนกรีตเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. นั้น ในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42% - 45% โดยปริมาตรเพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัว

### 3.1.6 ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus F.M.) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่

$$F.M. = (1/100) (\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐาน})$$

ค่าโมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เป็นตัวบ่งบอกว่าลักษณะทรายนั้นหยาบหรือละเอียดค่าโมดูลัสความละเอียดไม่สามารถใช้บอกขนาดละเอียดของมวลรวมได้ แต่สามารถใช้ควบคุมความสม่ำเสมอของ มวลรวมที่ผลิตจากแหล่งเดียวกันทรายที่มี F.M.=3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มี F.M.=2.3 เนื่องจากทรายที่มีความละเอียดมากจำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้เท่าๆ กัน ดังนั้นทรายที่เหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดในช่วง 2.25-3.25 และ 5.5-7.5 สำหรับหิน นอกจากนี้ค่าโมดูลัสความละเอียดยังบอกถึงขนาดโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมว่าค้ำอยู่บน ตะแกรงลำดับที่เท่าใดโดยเริ่มนับจากตะแกรงเบอร์ 100 ตัวอย่างเช่น ค่า F.M.=3 หมายถึง มวลรวมที่ค้ำบน ตะแกรงลำดับที่ 3 (เบอร์ 30) นับจากตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 เป็นขนาดเฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ของมวลรวม ซึ่งหาได้จากการคิดที่ว่า ถาดรองเป็นตะแกรง

ลำดับที่ 0 ตะแกรงเบอร์ 100 เป็นตะแกรงลำดับที่ 1 จนถึง ตะแกรงเบอร์ 4 เป็นตะแกรงลำดับที่ 6 ตามลำดับต่อนั้นทำการหาค่า F.M. จากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของ ขนาดตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ที่ ค้าง

โมดูลัสความละเอียดนอกจากใช้บอกถึงความละเอียดของมวลรวมแล้วยังมีประโยชน์ในการนำไปใช้หาอัตราส่วนผสมของมวลรวม(Combined Aggregate) แต่ละชนิดอีกด้วย ซึ่งทำได้โดยการทดลองหาอัตราผสมของมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียดเพื่อให้ได้ขนาดคละของมวลรวมผสมอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

### 3.1.7 ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการ และขนาดคละของ วัสดุผสม กล่าวคือมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิว(Surface Area) โดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็กเมื่อมีน้ำหนักมวลรวมเท่ากัน

ดังนั้นมวลรวมขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์ เพื่อเคลือบผิวมวลรวมน้อยกว่า เพื่อให้มีความสามารถเท่าเทียมกัน หรือถ้าใช้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่ากันกำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น เพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั่นเอง

ในทางปฏิบัติผู้ออกแบบควรตัดสินใจเลือกขนาดใหญ่สุดของมวลรวมโดยคำนึงถึง ดังนี้

1. ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม ต้องมีขนาดไม่เกิน  $1/5$  ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบหล่อ ไม่เกิน  $3/4$  ของระยะแคบสุดระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ และไม่เกิน  $1/3$  ของความหนาของพื้น
2. สำหรับกรณีใช้ปั๊ม ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต้องไม่เกิน  $1/5$  ของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อคอนกรีตปั๊ม
3. สำหรับกรณีคอนกรีตกำลังอัดสูง การวิบัติของคอนกรีต (Failure) จะเกิดที่มวลรวม แทนที่จะเกิดที่ซีเมนต์เพสต์เหมือนคอนกรีตกำลังอัดทั่วไป เพราะว่าในมวลรวมขนาดใหญ่นั้นมีโอกาสที่จะมีรอยร้าว ขนาดเล็กอยู่ (Micro cracks) ดังนั้นมวลรวมควรมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้ในงานคอนกรีตกำลังอัดสูง ดังนั้นขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไปควรมีขนาดไม่เกิน 40 มม. และควรมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้ในงานคอนกรีตกำลังอัดสูง

### 3.1.8 เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

#### เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งสามารถอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.5 กรัม และมีความถูกต้องไม่น้อยกว่า 0.1% ของน้ำหนักที่ชั่งทั้งหมด
2. ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 3" 1 1/2" 3/4" 3/8" และเบอร์ 4 สำหรับมวลรวมหยาบตะแกรงมาตรฐานขนาด No.4 No.8 No.16 No.30 No. 50 และ No. 100 สำหรับมวลรวมละเอียด
3. เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker) มวลรวมหยาบพร้อมตะแกรงมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker) มวลรวมละเอียด
5. ตู้อบไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิได้ ระหว่าง 105 °c – 110 °c

### 3.1.9 วัสดุทดลอง

1. ททรายจำนวน 1000 กรัม
2. หินจำนวน 3500 กรัม

ตารางที่ 3.3 แสดงมาตรฐานน้ำหนักสำหรับมวลรวมหยาบ (หินหรือกรวด)

| ขนาดโตสุดที่ผ่านตะแกรง | น้ำหนักอย่างน้อย (กรัม) |
|------------------------|-------------------------|
| 3/8 นิ้ว               | 1,000                   |
| 1/2 นิ้ว               | 2,000                   |
| 3/4 นิ้ว               | 5,000                   |
| 1 นิ้ว                 | 10,000                  |
| 1 1/2 นิ้ว             | 15,000                  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.10 วิธีการทดลอง

#### มวลรวมละเอียด

1. นำทรายที่ต้องการทดสอบและชั่งน้ำหนักมา 1000 กรัม ตัวอย่างทดลองต้องแห้งจนมีน้ำหนักคงที่
2. เททรายตัวอย่างลงในตะแกรงที่เรียงกันไว้ตามลำดับจากหยาบไปหาละเอียดปิดฝาและยึดให้แน่น
3. เดินเครื่องเขย่าประมาณ 10 นาที แล้วหยุดเครื่อง ชั่งน้ำหนักของทรายที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละ ชั้นอย่างละเอียด ถ้าผลรวมของน้ำหนักทั้งหมดของมวลรวมที่ค้างตะแกรงขนาดต่างๆ แตกต่าง ไปจากน้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบเกิน 0.30% ให้ทำการทดลองซ้ำ
4. จากน้ำหนักของมวลที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นนำไปหาค่า Fineness Modulus (F.M.) และ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะแกรง และเปอร์เซ็นต์ของ Cumulative retained หรือ Percentage of Coarser

#### 3.1.11 มวลรวมหยาบ

1. นำตัวอย่างหินที่ต้องการทดสอบและชั่งน้ำหนักมา 3500 กรัม ตัวอย่าง
2. นำหินไปใส่ในตะแกรงตามขนาดต่างๆ ที่ระบุไว้และเดินเครื่องเขย่า จนกว่าหินจะไม่ลอดผ่านตะแกรงอีก
3. นำหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นไปชั่งอย่างละเอียด
4. จากน้ำหนักของหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นนำไปหาค่า F.M. และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ของ Cumulative retained หรือ Percentage of Coarser

#### 3.1.12 การคำนวณ

1. คำนวณหาน้ำหนักของมวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Individual percent retained)
2. หาน้ำหนักของมวลเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด (Cumulative percent retained)
3. คำนวณหาค่า Fineness Modulus (F.M.) โดยใช้ค่าผลรวมของเปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรง ขนาดต่างๆ แล้วหารด้วย 100

#### 3.1.13 หมายเหตุ

ทรายทั่วไปแบ่งเป็นทรายละเอียดมาก ทรายละเอียดและทรายหยาบ แต่ละชนิดมีค่าพิกัดความละเอียดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรายละเอียดมาก ค่า F.M. = 0.50 – 1.50

ทรายละเอียด ค่า F.M. = 1.50 – 2.50

ทรายหยาบ ค่า F.M. = 2.50 – 3.50

ทรายที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.3 – 3.1

หินหรือกรวดที่ใช้ในงานคอนกรีต ควรมีค่าพิกัดความละเอียดอยู่ระหว่าง 5.5 – 8 ในการทำ Mixed Design จะใช้แค่ค่า F.M. ของทรายเป็นหลัก เนื่องจากมีผลทาง Workability มาก ทรายที่มีความละเอียดขนาดนั้น ค่า F.M. ต่ำ ทำให้ทำงานได้ดีกว่าค่า F.M. ของทรายที่ใช้จริงๆ ซึ่งจะต้องต่างจากที่กำหนดใน Mixed Design ไม่เกินกว่า 0.2 เพราะจะทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับ ค่า F.M. ของกรวดและหินนั้นไม่ใช้ในการ Mixed Design

### 3.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

#### (Specific Gravity and Absorption of Concrete Aggregate)

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต จำเป็นต้องรู้คุณสมบัติของมวลรวมที่จะนำมาใช้ได้แก่ ความ ถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของมวลรวมที่จะใช้ในส่วนผสม และเพื่อปรับ ปริมาณน้ำในสภาพที่เป็นจริง ให้เป็นไปตามที่คำนวณไว้

#### 3.2.1 ความถ่วงจำเพาะของงานคอนกรีตอาจแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. **Bulk Specific Gravity** คืออัตราส่วนของน้ำที่ของมวลที่มีปริมาตรที่กำหนด (รวมช่องว่างที่ดูด ซึบน้ำได้) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิมาตรฐาน (20 C หรือ 68 F) การหาค่า Bulk Specific Gravity สามารถหาได้ที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) และสภาพแห้งด้วยเตาอบ (Oven Dry ) คำนวณค่าสัดส่วนการผสมคอนกรีตโดยทั่วไปจะใช้ความ ถ่วงจำเพาะของมวลรวมที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.4-2.9

2. **Apparent Specific Gravity** คืออัตราส่วนของน้ำหนักของมวลที่มีปริมาตรที่กำหนด (ไม่รวม ช่องว่างที่ดูดซึบน้ำ) ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

สภาพความชื้นและการดูดซึมน้ำของมวลรวมอาจแบ่งได้ 4 สภาวะดังนี้

1. แห้งด้วยเตาอบ (Oven dry) ในสภาพนี้จะไม่มีความชื้นอยู่เลย ทั้งภายในและภายใน ช่องว่างของ มวลรวม ทำได้ด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 C – 110 C

2. แห้งด้วยอากาศ (Air dry) ในสภาพนี้ไม่มีความชื้นที่ผิว แต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน บ้างแต่ไม่ถึงสภาพอึดตัวยังคงดูดความชื้นได้เล็กน้อย

3. อึดตัวและผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ในสภาพนี้จะมีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างของมวล เต็มที่เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งาน เพราะจะไม่มีมีการคายน้ำหรือดูดน้ำจากคอนกรีต

4. ชื้นหรือเปียก (Damp or Wet) ในสภาพนี้ภายในช่องว่างของมวลจะอึดตัวไปด้วยความชื้น และที่ ผิวนอกจะมีน้ำหุ้มอยู่ด้วยปริมาณความชื้นทั้งหมดในสภาวะอึดตัวอึดตัวผิวแห้ง (Saturated Surface-dry ) เรียกว่าความจะในการดูดซึม (Absorption Capacity ) ปริมาณความชื้นที่ต้องการใช้เพื่อปรับสภาพของมวลรวมจากสภาวะแห้ง ด้วยอากาศเป็นสภาวะอึดตัวผิวแห้ง เรียกว่า Effective Absorption

### 3.2.2 สภาวะของวัสดุผสม

หน่วยน้ำหนักของวัสดุผสม หมายถึง น้ำหนักของวัสดุผสม (เป็นกิโลกรัม) ที่เติมลงไปจนเต็มภาชนะจุ 1 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักที่กล่าวนี้เป็นน้ำหนักของวัสดุรวมกับช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในการหา สัดส่วนการผสมหน่วยน้ำหนักเป็นตัวใช้สำหรับหาปริมาณช่องว่างในวัสดุผสมและสำหรับการเปลี่ยน ปริมาตรเป็นน้ำหนักหรือเปลี่ยนน้ำหนักเป็นปริมาตรหน่วยน้ำหนักของวัสดุชนิดหนึ่งๆ จะแปรเปลี่ยนไป ตามอัตราการแน่นตัว(ร่วนหรือแน่น) และปริมาณความชื้น

โดยปกติหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมที่ใช้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1440 -1940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

### 3.2.3 เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

เครื่องมือทดสอบสำหรับมวลละเอียด

1. เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กก. และอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1 กรัม
2. โถแก้วกันความชื้น
3. เครื่องวัดอุณหภูมิ
4. พิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) ซึ่งประกอบด้วยขวดโหลแห้งสำหรับบรรจุขนาด 1 ควอท ที่มีฝาแก้วปิดในแนวราบสนิทแน่นกับปากขวด
5. เตอบ

เครื่องมือทดสอบสำหรับมวลหยาบ

1. เครื่องชั่งขนาดใหญ่ และอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.1
2. ตะกร้าลวดตาข่ายแบบมาตรฐาน
3. ถังบรรจุน้ำสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เตาอบ
5. โถแก้วกันความชื้น

### 3.2.4 วัสดุทดลอง

1. ทราชนิกประมาณ 1,200-1,500 กรัม ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
2. หินหนักประมาณ 5,000 กรัม สำหรับหินไม่โตเกิน 1½ นิ้ว และประมาณ 8,000-10,000 กรัมสำหรับหินที่โตกว่า 2 นิ้ว

### 3.2.5 วิธีการทดลอง

สำหรับมวลละเอียด

1. แบ่งทรายที่เตรียมไว้เป็นสองส่วนเท่าๆกัน ซึ่งน้ำหนักและบันทึกค่า (แทนด้วย B)
2. นำทรายอีกส่วนหนึ่งเข้าเตาอบให้แห้งสนิทประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นลงตามปกติ จึงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า (เป็น A)
3. เทน้ำที่ทราบอุณหภูมิ ลงในขวดพิคโนมิเตอร์ให้สูงประมาณ  $\frac{3}{4}$  ของขวด นำทรายส่วน B เติมลงไป เข้าหรือคนให้ทั่วเพื่อไล่ฟองอากาศออกให้หมด จากนั้นจึงเติมน้ำลงไปให้เต็มพอดีปากขวดพร้อมกับทำให้ไม่มีอากาศเหลืออยู่เลย เช่นเดียวกัน แล้วจึงปิดฝาแก้ว นำไปชั่งและบันทึกค่าแทน W

### 3.2.6 สำหรับมวลรวมหยาบ

1. เตรียมวัสดุที่นำมาทำการทดสอบด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และนำไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 105-115 C และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชั่วโมง
2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 20-28 ชั่วโมง
3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผ้าผืนใหญ่ๆที่สามารถดูดซับน้ำได้ กลิ้งวัสดุไปมาเพื่อให้ผ้าซับน้ำจนสังเกตได้ด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีน้ำอยู่ที่ผิววัสดุ แม้ว่าที่จริงแล้วผิวอาจจะยังขึ้นอยู่ก็ตามหรือถ้าวัสดุเป็นก้อนใหญ่ๆอาจจับมาเช็ดเป็นก้อนๆก็ได้ แต่ต้องระวังไม่ให้เกิดการระเหยหายไของน้ำขณะที่อยู่ในขั้นตอนนี้
4. วัสดุที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 นี้เรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ให้นำตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน อุณหภูมิของน้ำควรอยู่ที่ 21.3-24.7 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบ อบด้วยอุณหภูมิประมาณ 105-115 C ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาใส่ในโถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นตัวลงตามปกติอีกประมาณ 1-3 ชั่วโมง หรือเย็นพอที่จะสัมผัสได้ จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่งการคำนวณ

### 3.2.7 สำหรับมวลรวมละเอียด

1. Bulk Specific Garvity  $= A / (Wc+B-W)$  (3.1)
2. Bulk Specific Garvity (Saturated Surface dry)  $= B / (Wc+B-W)$  (3.2)
3. Apparent Specific Garvity  $= A / (Wc+A-C)$  (3.3)
4. Absorption (%)  $= [(B-A)/A]*100\%$  (3.4)

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งหลังจากผ่านการอบแห้งสนิท

B = น้ำหนักมวลรวมภายใต้สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

Wc = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำชนิดเดียวกับที่ใช้ทดสอบเต็มปากขวด

W = น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำและมวลรวม

### 3.2.8 สำหรับมวลรวมหยาบ

1. Bulk Specific Garvity  $= A / (B-C)$
2. Bulk Specific Garvity (Saturated Surface dry)  $= B / (B-C)$
3. Apparent Specific Garvity  $= A / (A-C)$
4. Absorption (%)  $= [(B-A)/A]*100\%$

โดยที่ A = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว

B = น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สภาวะอิ่มตัว

C = น้ำหนักประมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

### 3.3 การทดลองที่ 3 การทดสอบความต้านทานต่อการขัดสีของมวลรวมโดยใช้เครื่องลอสแองเจลลิส

(Abrasion Test of Coarse Aggregate by Use of the Los Angles Machine)

ความคงทน(Durable) เป็นคุณสมบัติประการที่หนึ่งของคอนกรีตโดยเฉพาะในงานคอนกรีตที่ต้องการรับแรงกระแทกและเสียดสีมาก ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเกี่ยวข้องข้องโดยการขัดสีหรือทนต่อการสึกกร่อนได้ดี

คอนกรีตนอกจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างอาคารเช่น เสาคาน กำแพงรับแรงเฉือน (Shear wall) และเสาเข็มแล้วยังนำไปใช้ในงานถนน ลานจอดรถ พื้นโรงงาน พื้นสนามบินอีกด้วย ผิวหน้าของคอนกรีต นอกจากทำหน้าที่รับน้ำหนักจากล้อยานพาหนะเพื่อถ่ายลงสู่พื้นทางแล้วยังต้องมี ความสามารถรับแรงเสียดสีและแรงกระแทกจากล้อยานพาหนะที่กระทำอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ความสามารถ ของหินในการต้านทานการสึกกร่อนจึงเป็นค่าที่สำคัญอีกค่าหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้คอนกรีตมีความทนทานสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

การทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนของหินโดยเครื่องทดสอบลอสแองเจลลิสทำได้จากการวัดค่า ความสึกกร่อนที่เกิดขึ้นกับมวลรวม จากการกระแทกและการเสียดสีกับลูกเหล็กกลม ซึ่งมีขนาดตามที่กำหนด และมีจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดคละของตัวอย่างทดสอบในขณะที่ถึงหมุนรอบตัวเอง จะมีแผ่นเหล็กที่ตั้งฉากกับ ผนังของถัง จะพาตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กกลมอยู่สูงขึ้นไปจะตกลงมา กระแทกกับผนังด้านตรงข้ามในถัง เหล็กกระบวนกรนี้จะทำซ้ำกันไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนรอบที่กำหนดจากนั้นจะนำตัวอย่างทดสอบออกจาก ถังแล้วนำมาแยกขนาดด้วยตะแกรงเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อน

จากมาตรฐาน ASTM C 33 หินที่ใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องรับแรงเสียดทานมาก เช่น งานถนน คอนกรีต เมื่อผ่านการทดสอบโดยเครื่องลอสแองเจลลิสแล้วจะต้องมีส่วนที่สึกกร่อนไปไม่เกิน 35 % ของน้ำหนักเดิมจึงเหมาะสมกับการนำมาผสมเพื่อทำคอนกรีต

ถ้ามวลรวมหยาบมีความต้านทานต่อการสึกกร่อนที่ต่ำแล้ว ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต เพื่อให้มีคุณสมบัติในการรับแรงเสียดสีและแรงกระแทกตามความต้องการนั้น จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณน้ำ และปูนซีเมนต์โดยจะทำให้เกิดความชื้นเปลืองมากขึ้น นอกจากความต้านทานการสึกกร่อนของหินที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีต แล้วยังมีปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่ควรพิจารณาดังนี้คือ

1. กำลังอัดของคอนกรีต การเพิ่มความสามารถในการต้านทานการเสียดสีสามารถทำได้โดยการเพิ่ม กำลังอัดคอนกรีต จากการศึกษพบว่าคอนกรีตที่มีกำลังอัด 140 KSC (ทรงลูกบาศก์) จะมีอัตรา เสียดสี ประมาณ 5 เท่าของคอนกรีตที่มีกำลังอัด 280 KSC (ทรงลูกบาศก์) ส่วนคอนกรีตที่มีกำลังอัดระหว่าง 280-420 KSC (ทรงลูกบาศก์) จะมีความต้านทานการเสียดสีที่มากที่สุด

2. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ บริเวณผิวคอนกรีตด้านบนที่มีการเยิ้มจะมีความอ่อนแอที่สุด ดังนั้นการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ไม่ให้เกิน 0.45-0.50 จะช่วยลดการเยิ้มและเพิ่มความทนทานต่อการสึกกร่อนบริเวณผิวหน้าของคอนกรีต

3. หินและทราย นอกจากการเลือกใช้หินและทรายที่มีความแข็งแรงแล้ว ยังสามารถเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนได้โดยการเลือกหินที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

4. การเทและการแต่งผิวหน้า ควรจัดเขย่าคอนกรีตให้แน่นอย่างสม่ำเสมอในแบบหล່รวมทั้งต้องแต่งผิวหน้าให้เหมาะสม ซึ่งจะทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณภาพที่ผิวดีและช่วยลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตที่ได้มีคุณภาพที่ผิวดีและช่วยลดปริมาณฟองอากาศในคอนกรีต

5. การบ่มควรบ่มคอนกรีตด้วยวิธีการเหมาะสมและมีระยะเวลาบ่มที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์ที่สุด

6. ลักษณะผิวคอนกรีต ในกรณีที่มีการเสียดสีอย่างมากจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงมาก หรือใช้วัสดุอื่น เคลือบผิวหรือในบางโครงสร้างอาจจะต้องทำให้ผิวคอนกรีตเรียบมากๆ

7. รอยต่อ ควรออกแบบและก่อสร้างรอยต่อให้เหมาะสมเพื่อลดการกระแทก

### 3.3.1 เครื่องมือทดสอบและวัสดุทดสอบ

1. เครื่องลอสแอนเจลิส (Los Angeles Machine) เป็นเครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของ มวลรวมทำด้วยเหล็กรูปทรงกระบอก ปลายปิดทั้งสองข้าง มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน  $28" \pm 0.2"$  และความยาว ภายใน  $20" \pm 0.2"$  สามารถหมุนรอบแกนในแนวอนดด้วยความเร็ว 30-33 รอบต่อนาทีที่มีช่อง เปิดสำหรับใส่ตัวอย่างทดลอง ภายในมีแผ่นเหล็กขนาด  $3.5" \pm 0.1"$  ยื่นออกมาในแนวรัศมีตลอดความยาวของกระบอก

2. ลูกเหล็ก (Abrasive Charge) ประกอบด้วยลูกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ  $1\ 27 / 34"$  และ แต่ละลูกมีน้ำหนักระหว่าง 390-445 กรัม การเลือกจำนวนและขนาดของลูกเหล็กให้เลือกใช้ตามเกรดของ มวลรวมดังนี้

3. เครื่องชั่ง (Balance) วัดละเอียดถึง 0.1 %

4. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve) ขนาด  $1\ 1/2"$ ,  $1"$ ,  $3/4"$ ,  $1/2"$ ,  $3/8"$ ,  $1/4"$ , เบอร์ 4, เบอร์ 8 ตามมาตรฐาน ASTM Designation E11

5. มวลรวมหยาบที่เตรียมมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนน้ำหนักลูกเหล็กตามการจัดขนาดคละของตัวอย่าง

| แบบการจัดขนาดคละ<br>(Grading) | จำนวนลูกเหล็ก | น้ำหนักรวมของลูกเหล็ก<br>(กรัม) |
|-------------------------------|---------------|---------------------------------|
| A                             | 12            | 4975-5025                       |
| B                             | 11            | 4559-4609                       |
| C                             | 8             | 3310-3350                       |
| D                             | 6             | 2485-2515                       |

### 3.3.2 วิธีการทดลอง

- นำมวลรวมหยาบที่ทดสอบล้างน้ำแล้วนำไปอบจนแห้ง พร้อมกับคัดขนาดคละของมวลรวมหยาบให้ใกล้เคียงกับขนาดคละที่กำหนดไว้ในตารางการเตรียมตัวอย่างทดสอบ บันทึกน้ำหนักมวลรวมเรียบร้อยแล้ว ใส่ลงในเครื่องพร้อมลูกเหล็กตามจำนวนของแบบการจัด
- เปิดเครื่องลอสแอนเจนิสให้หมุนด้วยความเร็ว 30 ถึง 33 รอบ/นาที ไปจนครบ 500 รอบ จากนั้นนำมวลรวมออกมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12
- นำมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงดังกล่าวไปล้าง แล้วอบในเตาอบให้แห้งสนิท ที่อุณหภูมิ 105-110 C
- ชั่งน้ำหนักมวลรวมแห้ง วัดละเอียดถึง 1 กรัม
- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสึกกร่อน

### 3.3.3 การคำนวณ

$$\text{Percentage of wear} = \frac{[ (A-B) \cdot 100 ]}{A} \quad (3.5)$$

โดยที่ A = น้ำหนักของมวลรวมหยาบที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด มีหน่วยเป็นกรัม

B = น้ำหนักของมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 หลังจากการล้างและอบแล้ว มีหน่วยเป็นกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทดลองที่ 4 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างระหว่างมวลรวม

(Unit Weight and Voids in Aggregate)

การทดสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างในมวลรวม ค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) ใช้สำหรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักเป็นค่าปริมาตรหรือค่าปริมาตรเป็นค่าน้ำหนัก เมื่อใช้วิธีการ ออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร และมีความสัมพันธ์ในการหาปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids)

**3.4.1 หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)** หน่วยน้ำหนักเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงว่าในหนึ่งหน่วย ปริมาตรของมวลรวมจะมีน้ำหนักเท่าใดโดยหน่วย น้ำหนักแบ่งออกเป็น

- หน่วยน้ำหนักสมบูรณ์ (Absolute Unit Weight) เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่ง หน่วยปริมาตร โดยไม่รวมช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids) สามารถหาได้โดยการ คำนวณจากสูตรดังนี้

Absolute Unit Weight-Specific Gravity (SSD) x Unit Weight ของน้ำ

- หน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วย ปริมาตร โดยรวม ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids) สามารถหาได้จากการทดสอบตาม ASTM C 29 ทำโดยการใส่มวลรวมในถังเหล็กทรงกระบอก ซึ่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาตร ถึง แล้วคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk Unit Weight) จาก อัตราส่วนระหว่างน้ำหนัก มวล รวมกับปริมาตรของถัง

ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตรนั้นเป็นค่าหน่วย น้ำหนัก แบบ Bulk Unit Weight ทั้งนี้เพราะในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถทำให้มวลรวมอัดแน่นในเนื้อ คอนกรีตจนไม่มี ช่องว่างระหว่างมวลรวมได้ (Voids)

**ตัวอย่างที่ 1** การใช้ค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ในการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร งาน ก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ จะกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตร 1: 2 : 4 คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์          | = 1,235 กก./ลบ.ม  |
| หน่วยน้ำหนักของหินขนาด (3/4" - #4) | = 1,574 กก./ลบ.ม. |
| หน่วยน้ำหนักของทราย                | = 1,666 กก./ลบ.ม. |

### 3.4.2 การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร} &= 50/1,235 \\
 &= 0.04 \text{ลบ.ม.} \\
 \text{เพราะฉะนั้น ททราย 2 ส่วน} &= 2 \times 0.04 \\
 &= 0.08 \text{ลบ.ม.} \\
 \text{คิดเป็นน้ำหนักทราย} &= 0.08 \times 1,666 \\
 &= 133.3 \text{กก.} \\
 \text{หิน 4 ส่วน} &= 4 \times 0.04 \\
 &= 0.16 \text{ลบ.ม.} \\
 \text{คิดเป็นน้ำหนักหิน} &= 0.16 \times 1,574 \\
 &= 251.8 \text{กก.}
 \end{aligned}$$

ปริมาณน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถุงเพื่อให้ได้ค่ายุบตัว ประมาณ 10 ซม. เท่ากับ 30 ลิตร (จากการทดลอง)

ดังนั้นในการผสมคอนกรีตด้วยไม้เล็ก เพื่อให้ได้ส่วนผสม 1 : 2 : 4 โดยปริมาตรจะต้องใช้

|           |         |     |         |
|-----------|---------|-----|---------|
| ปูน 1 ถุง | 50 กก.  | หิน | 251 กก. |
| ทราย      | 133 กก. | น้ำ | 30 ลิตร |

ค่าหน่วยน้ำหนัก(Bulk Unit Weight) ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการอัดแน่น (Compact ability)

ของมวลรวมที่ถูกอัดลงในถังและปริมาณความชื้น

### 3.4.3 ความสามารถในการอัดแน่น ดังกล่าวขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดคละของมวลรวม (Gradation)
2. รูปร่างของมวลรวม (Shape)

ทั้งนี้เพราะมวลรวมที่มีขนาดคละดี มวลรวมขนาดเล็ก จะแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมขนาดใหญ่ ทำให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมีขนาดเล็ก ส่วนรูปร่างของมวลรวมนั้น จะมีผลอย่างมากต่อความสามารถที่มวลรวมจะถูกอัดให้อยู่รวมกัน

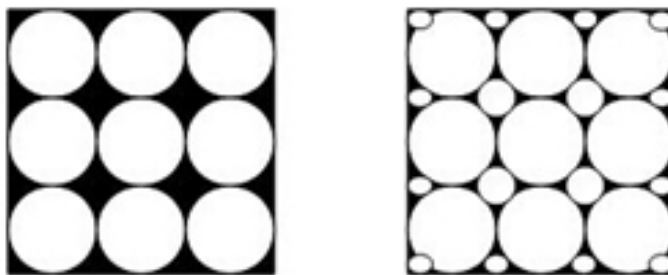
**3.4.4 ปริมาณความชื้น** เช่น ในกรณีทรายละเอียดที่มีความชื้นค่าหน่วยน้ำหนักอาจลดลงถึง 25% อันเนื่องจากแรงตึงผิว ของน้ำที่ผิวของทรายจะผลัดกันให้อนุภาคของทรายห่างออกจากกันทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาตรทรายที่เท่ากัน น้ำหนักของทรายที่มีความชื้นจะน้อยกว่า น้ำหนักทรายปกติ ซึ่งจะมีผลให้การหาหน่วยน้ำหนักและการหาส่วนผสมคอนกรีตด้วยการตวง ปริมาตรมีโอกาสผิดพลาด ดังนั้นการหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมควรทำในสภาพอบแห้ง (Oven-Dry)



รูปที่ 3.1 รูปปริมาตรที่เพิ่มขึ้น เมื่อทรายมีความชื้น

#### 3.4.5 ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids)

เป็นค่าที่แสดงถึงว่ามีอากาศปนแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมเท่าใด โดยทั้งนี้ไม่รวมช่องว่างภายในของมวลรวม (Pores in Aggregate) และยังบอกถึงอัตราการอัดแน่นของวัสดุผสมว่าแน่นเพียงใด นั่นคือ มวลรวมชนิดเดียวกัน (มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากัน) ถ้ามวลรวมมีค่าหน่วยน้ำหนักมากกว่า แสดงว่า มวลรวมนั้น มีช่องว่างระหว่างมวลรวมที่น้อยกว่า และการลดช่องว่างระหว่างมวลรวมทำได้โดยการเลือกใช้ มวลรวมที่มีขนาดคละไล้เรียงกัน ซึ่งจะทำให้ช่วยลดปริมาณซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 3.2 รูปการเรียงตัวของขนาดคละต่างๆกัน

จากการทดลองผสมมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ และทำการหาหน่วยน้ำหนักพบว่า หน่วยน้ำหนักจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณส่วนละเอียด 34%-40% โดยน้ำหนัก ณ จุดดังกล่าวมวลรวมจะมีความแน่นสูงสุด (ช่องว่างระหว่างมวลร่วนน้อยสุด) ดังนั้น เราจึงควรใช้สัดส่วนของส่วนละเอียดในช่วงดังกล่าวเพราะจะใช้ซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดด้วย

#### 3.4.6 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างระหว่างมวลรวม

มาตรฐานที่ใช้

ASTM C 29 Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate

#### 3.5 การทดลองที่ 5 การทดสอบหาดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของหิน

(Flakiness Index and Elongation Index)

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาดัชนีความแบน (Flakiness Index) และดัชนีความยาวของหิน (Elongation Index) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาลักษณะรูปร่างของหินดังกล่าวว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัสดุผสมคอนกรีตหรือไม่ ทั้งนี้รูปร่างของหินมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดโดยตรง

##### 3.5.1 รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวม

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบหรือมีรูปร่างแบนและยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าคอนกรีตที่ใช้

มวลรวมรูปร่างกลมหรือเหลี่ยมที่ระดับความสามารถเท่าได้ (Workability) เดียวกัน ซึ่งตามมาตรฐานอังกฤษ BS 812 Part 1 1975 ได้ให้คำนิยามของรูปร่างและลักษณะมวลรวมไว้ดังนี้

- **กลม (Rounded)** ลักษณะผิวของมวลรวมเกลี้ยงไม่มีเหลี่ยมเนื่องจากการเสียดสีกันเอง เช่น กรวดทรายจากแม่น้ำ หรือชายทะเล มวลรวมที่มีลักษณะก้อนกลมจะช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการปูนซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่า เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อยกว่า
- **บิดเบี้ยว (Irregular)** ลักษณะรูปร่างของมวลรวมไม่สม่ำเสมอโดยธรรมชาติ หรือถูกเสียดสีมาบ้างและมีเหลี่ยมมน เช่น กรวดทรายที่ได้จากบ่อหินเหล็กไฟ ที่ได้จากพื้นดินหรือขุดขึ้นมา
- **เหลี่ยม (Angular)** ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีเหลี่ยมเกิดจากด้านเรียบมาบรรจบกันและเห็นได้ชัด เช่น หินย่อยจากเครื่องโม่ทุกแบบ หินที่ตกตามไหล่เขา
- **แบน (Flat or Flaky)** ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความหนาแน่นน้อยมากเมื่อ เทียบกับความกว้างหรือความยาว ปกติจะเป็นเหลี่ยมด้วย เช่น หินที่มีลักษณะเป็นชั้น การพิจารณาว่ามวลรวมนั้นแบน (Flat or Flaky) ก็ต่อเมื่อมีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.6 เท่าของค่าเฉลี่ยขนาดของอนุภาคในแต่ละขนาดตระแกรง
- **ยาวเรียว (Elongated)** ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความยาวมาก เมื่อเทียบกับความกว้างและความหนา การพิจารณาว่ามวลรวมนั้นยาวเรียว (Elongated) ก็ต่อเมื่อมีความยาวมากกว่า 1.8 เท่าของค่าเฉลี่ยขนาดตระแกรงมาตรฐานซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคตระแกรง
- **แบนและยาวเรียว (Flaky and Elongated)** ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความยาวกว่าความกว้าง และมีความกว้างมากกว่าความหนา

### 3.5.2 อิทธิพลของรูปร่างมวลรวมต่อคอนกรีต

- **กำลังอัดและความสามารถในการเท (Strength and Workability)** รูปร่างของมวลรวม (Shape) มีความสำคัญต่อความสามารถเท่าได้ของคอนกรีตสดและกำลังอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยมวลรวมที่มีรูปร่างแบน (Flat or Flaky) หรือ ยาวเรียว (Elongated) จะมีพื้นที่ผิวโดยรวมมากกว่ามวลรวมปกติเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นมวลรวมที่มีรูปร่างแบนหรือยาวเรียวจึงต้องการปริมาณน้ำและปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้น เพื่อให้ได้ความสามารถในการเทได้ (Workability) เท่าๆกันหรือถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่าเดิม กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง เพราะต้องเพิ่มปริมาณน้ำหรือเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์นั่นเอง
- **ความคงทนทาน (Durability)** จากการที่มวลรวมมีรูปร่างแบนหรือยาวเรียว ถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่าเดิม นอกจากกำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง เพราะต้องเพิ่มปริมาณน้ำหรือเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แล้วยังมีผลให้ความคงทนทานของคอนกรีตลดลงอีกด้วย ทั้งนี้เพราะ

น้ำส่วนหนึ่งจะอยู่ในลักษณะเป็นแอ่งใต้หิน และบางส่วนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่วิวหน้าคอนกรีต หรือที่เรียกว่าการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว แอ่งน้ำดังกล่าวจะเป็นช่องว่างที่ต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต (Inter Connection Void) ทำให้คอนกรีตมีความสามารถซึมผ่านได้ ของน้ำ (Permeability) เพิ่มขึ้นและความทนทาน (Durability) ลดลง

### 3.5.3 การทดสอบหาดัชนีความแบนของหิน

มาตรฐานการใช้

BS 812 : Section 105.1 : 1989

Flakiness Index of Coarse Aggregate

อุปกรณ์

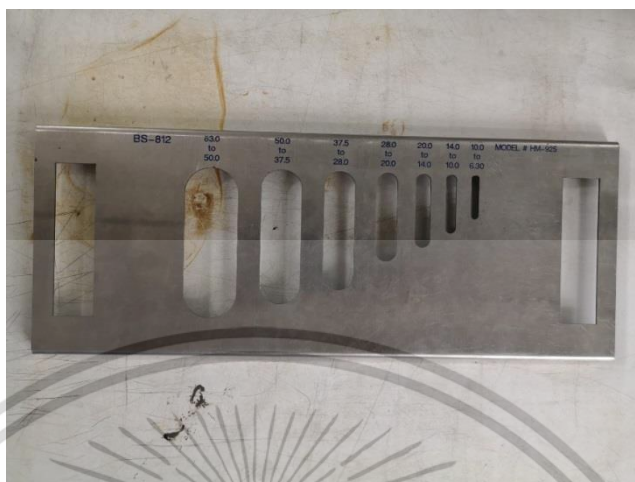
1. เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1% ของน้ำหนักมวลรวมที่ใช้ทดสอบ
2. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส
3. เครื่องแยกขนาดโคลที่มีขนาดและตะแกรงเหมาะสมกับวัสดุที่จะนำมาทดสอบ โดยใช้ชุดของตะแกรง ดังตารางที่

ตารางที่ 3.5 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ทดสอบ

| ตะแกรงชนิด Square Hole Perforated Plate 450 mm or 300 mm (มม.) |
|--|
| 63.0   |
| 50.0   |
| 37.5   |
| 28.0   |
| 20.0   |
| 14.0   |
| 10.0   |
| 6.3  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. เครื่องมือทดสอบความแบน (Metal Thickness Gauge) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 3.3 เครื่องมือทดสอบความแบน (Metal Thickness Gauge)

#### 3.5.4 วิธีทดสอบ

- นำมวลรวมมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 63.0 50.0 37.5 28.0 20.0 14.0 10.0 6.3 มม. จากนั้นแยกส่วนที่ค้างบนตะแกรงขนาด 63.0 มม. และส่วนที่ผ่านตะแกรง 6.3 มม. ออกไป
- ล้างหินให้สะอาดและอบให้แห้งสะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- ชั่งน้ำหนักมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงร้อนมาตรฐานแต่ละขนาดให้ได้ตามตารางที่ 2 แล้วบันทึกค่า
- คำนวณหาค่าน้ำหนักรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง 63.0 มม. และค้างตะแกรง 6.3 มม. บันทึกค่า M1
- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้างของตัวอย่างแต่ละขนาดเทียบกับน้ำหนักรวม
- ตัดขนาดคละที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของน้ำหนักรวมทิ้งไป แล้วรวมน้ำหนักที่เหลือใหม่บันทึกค่าเป็นค่า M2
- วัดความแบนของตัวอย่างทดสอบแต่ละขนาดให้ตรงกับขนาดของ Metal Thickness Gauge ดังตารางที่ 2 โดยการใช้มือแยกมวลรวมที่ไม่สามารถผ่านช่อง Metal Thickness Gauge ได้ออกแล้วชั่งน้ำหนักมวลรวมแต่ละขนาดที่ ผ่าน Gauge ต่อจากนั้นคำนวณหาค่าน้ำหนักรวม บันทึกเป็นค่า M3
- คำนวณหาค่าดัชนีความแบน

$$\text{Flakiness Index (FI)} = \frac{M3}{M2} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 น้ำหนักตัวอย่างทดสอบตามขนาดตะแกรงและความกว้างของช่อง Metal Thickness Gauge

| ตะแกรงมาตรฐานแต่ละขนาด |                   | น้ำหนักตัวอย่างน้อยสุดของตะแกรงแต่ละขนาด(กก.) | ความกว้างช่องว่างของ Metal Thickness Gauge (มม) |
|------------------------|-------------------|---|---|
| ผ่านทั้งหมด (มม.)      | ค้างทั้งหมด (มม.) |   |   |
| 63.0                   | 50.0              | 50.0  | 33.9 ± 0.30                                     |
| 50.0                   | 37.5              | 35.0  | 26.3 ± 0.30                                     |
| 37.5                   | 28.0              | 15.0  | 19.7 ± 0.30                                     |
| 28.0                   | 20.0              | 5.0   | 14.4 ± 0.15                                     |
| 20.0                   | 14.0              | 2.0   | 10.2 ± 0.15                                     |
| 14.0                   | 10.0              | 1.0   | 7.2 ± 0.10                                      |
| 10.0                   | 6.3               | 0.5   | 4.9 ± 0.10                                      |

### 3.5.5 การทดสอบหาดัชนีความยาวของหิน

มาตรฐานที่ใช้

BS 812 : Section 105.2 : 1990

Elongation Index of Coarse Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งที่ได้ละเอียดถึง 0.1 % ของน้ำหนักมวลรวมที่ใช้ทดสอบ
2. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
3. เครื่องแยกขนาดคละที่มีขนาดและตะแกรงเหมาะสมกับวัสดุที่จะนำมาทดสอบ โดยใช้ชุดของตะแกรง ดังตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ทดสอบ (Metal Length Gauge)

|   |
|---|
| ตะแกรงชนิด Square Hole Perforated Plate<br>450 mm or 300 mm (มม.) |
| 50.0  |
| 37.5  |
| 28.0  |
| 20.0  |
| 14.0  |
| 10.0  |
| 6.3   |

4. เครื่องมือทดสอบความยาว (Metal Length Gauge) ดังแสดงในรูปที่ 17

รูปที่ 3.4 เครื่องมือทดสอบความยาว (Metal Length Gauge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.6 วิธีทดสอบ

1. นำมวลรวมมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 50.0 37.5 28.0 20.0 14.0 10.0 6.3 มม. จากนั้นแยกส่วนที่ค้างบนตะแกรงขนาด 50.0 มม. และ 6.3 มม. ออกไป
2. ล้างหินให้สะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่งน้ำหนักมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงร้อนมาตรฐานแต่ละขนาดให้ได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 3.8 น้ำหนักตัวอย่างทดสอบตามขนาดตะแกรงและช่องว่างระหว่าง Metal Length Gauge

| ตะแกรงมาตรฐานแต่ละขนาด |                   | น้ำหนักตัวอย่างน้อยสุดของตะแกรงแต่ละขนาด(กก.) | ช่องว่างระหว่าง Metal Thickness Gauge (มม) |
|------------------------|-------------------|---|--|
| ผ่านทั้งหมด (มม.)      | ค้างทั้งหมด (มม.) |   |  |
| 50.0                   | 37.5              | 35.0  | $78.7 \pm 0.30$                            |
| 37.5                   | 28.0              | 15.0  | $59.0 \pm 0.30$                            |
| 28.0                   | 20.0              | 5.0   | $43.2 \pm 0.30$                            |
| 20.0                   | 14.0              | 2.0   | $30.6 \pm 0.30$                            |
| 14.0                   | 10.0              | 1.0   | $21.6 \pm 0.20$                            |
| 10.0                   | 6.3               | 0.5   | $14.7 \pm 0.20$                            |

4. คำนวณหาค่าน้ำหนักรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง 50.0 มม. และค้างบนตะแกรง 6.3 มม. บันทึกเป็นค่า M1
5. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ค้างของตัวอย่างแต่ละขนาดเทียบกับน้ำหนักรวม
6. ตัดขนาดคละที่มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 5% ของน้ำหนักรวมทิ้งไป รวมน้ำหนักที่เหลือใหม่บันทึกเป็นค่า M2
7. วัดความยาวของตัวอย่างทดสอบแต่ละขนาดให้ตรงกับขนาด Metal Length Gauge ตารางที่ 4 โดยการใช่มือแยกมวลรวมที่ไม่สามารถผ่านช่องว่างของ Metal Length Gauge ออกแล้วชั่งน้ำหนักมวลรวมแต่ละขนาดที่ **ไม่ผ่าน** Guage ต่อกันนั้นคำนวณหาค่าน้ำหนักรวม บันทึกเป็นค่า M3
8. คำนวณหาค่าดัชนีความยาว

$$\text{Elongation Index (EI)} = \frac{M3}{M2} \times 100 \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดสอบดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของหิน

(Flakiness Index and Elongation Index)

หลังจากเก็บตัวอย่างเศษครกหินจังหวัดชลบุรีของบริษัทศิลาแกรนิต จำกัด มาแล้วและทำการทดสอบตัวอย่างเพื่อหาค่าความแบน (FLAKINESS) และความยาว (ELONGATION) ของเศษครกหินแกรนิตและหินคลุกเช่นเดียวกัน เพื่อให้ได้มาตรฐาน BS 812 : Section 105.1 : 1989 และ BS 812 : Section 105.2 : 1990

#### ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนีความแบนของหินแกรนิต (Flakiness Index)

| ผ่าน   | ค้ำ    | นน.ทดสอบ<br>(กรัม) | เปอร์เซ็นต์ นน.<br>ทดสอบ | นน. ผ่าน<br>(กรัม) | นน. ค้ำ<br>(กรัม) |
|--------|--------|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 2 1/2" | 2"     | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 2"     | 1 1/2" | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 1 1/2" | 1"     | 572                | 26.26                    | 424                | 148               |
| 1"     | 3/4"   | 587                | 26.95                    | 228                | 336               |
| 3/4"   | 1/2"   | 552                | 25.34                    | 160                | 392               |
| 1/2"   | 3/8"   | 292                | 13.40                    | 53                 | 238               |
| 3/8"   | 4mm    | 175                | 8.034                    | 56                 | 118               |
| รวม    |        | 2178               | 99.984                   | 921                | 1232              |

$$\begin{aligned} \text{Flakiness index} &= \frac{1232}{2178} \times 100 && (3.7) \\ &= 56.56\% \end{aligned}$$

หมายเหตุ เศษครกหินที่นำมาทดสอบมีค่าเกินมาตรฐาน BS 812

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีความยาวของหินแกรนิต (Elongation Index)

| ผ่าน   | ค้ำ    | นน.ทดสอบ<br>(กรัม) | เปอร์เซ็นต์ นน.<br>ทดสอบ | นน. ผ่าน<br>(กรัม) | นน. ค้ำ<br>(กรัม) |
|--------|--------|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 2 1/2" | 2"     | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 2"     | 1 1/2" | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 1 1/2" | 1"     | 572                | 26.26                    | 290                | 282               |
| 1"     | 3/4"   | 587                | 26.95                    | 334                | 253               |
| 3/4"   | 1/2"   | 552                | 25.34                    | 364                | 188               |
| 1/2"   | 3/8"   | 292                | 13.40                    | 226                | 66                |
| 3/8"   | 4mm    | 175                | 8.034                    | 107                | 67                |
| รวม    |        | 2178               | 99.984                   | 1321               | 856               |

$$\text{Elongation index} = \frac{856}{2178} \times 100 = 39.30\% \quad (3.8)$$

หมายเหตุ: เศษครกหินแกรนิตที่นำมาทดสอบมีค่าผ่านมาตรฐาน BS 812

ตารางที่ 4.3 คำนวณค่าดัชนีความแบนของหินคลุก (Flakiness index)

| ผ่าน   | ค้ำ    | นน.ทดสอบ<br>(กรัม) | เปอร์เซ็นต์ นน.<br>ทดสอบ | นน. ผ่าน<br>(กรัม) | นน. ค้ำ<br>(กรัม) |
|--------|--------|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 2 1/2" | 2"     | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 2"     | 1 1/2" | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 1 1/2" | 1"     | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 1"     | 3/4"   | 62                 | 3.48                     | 11                 | 50                |
| 3/4"   | 1/2"   | 678                | 38.13                    | 176                | 502               |
| 1/2"   | 3/8"   | 516                | 29.02                    | 118                | 397               |
| 3/8"   | 4mm    | 514                | 28.90                    | 118                | 394               |
| รวม    |        | 1770               | 99.53                    | 423                | 1343              |

$$\text{Flakiness index} = \frac{1343}{1770} \times 100 = 75.87\% \quad (3.9)$$

หมายเหตุ หินคลุกที่นำมาทดสอบมีค่าที่เกินมาตรฐาน BS 812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าดัชนีความยาวของหินคลุก (Elongation Index)

| ผ่าน   | ค้ำ    | นน.ทดสอบ<br>(กรัม) | เปอร์เซ็นต์ นน.<br>ทดสอบ | นน. ผ่าน<br>(กรัม) | นน. ค้ำ<br>(กรัม) |
|--------|--------|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 2 1/2" | 2"     | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 2"     | 1 1/2" | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 1 1/2" | 1"     | 0                  | 0                        | 0                  | 0                 |
| 1"     | 3/4"   | 62                 | 3.48                     | 62                 | 0                 |
| 3/4"   | 1/2"   | 678                | 38.13                    | 635                | 43                |
| 1/2"   | 3/8"   | 516                | 29.02                    | 379                | 136               |
| 3/8"   | 4mm    | 514                | 28.90                    | 325                | 188               |
| รวม    |        | 1170               | 99.53                    | 1401               | 367               |

$$\text{Elongation index} = \frac{367}{1170} \times 100 \quad (4.0)$$

$$= 31.36\%$$

หมายเหตุ หินคลุกที่นำมาทดสอบมีค่าผ่านมาตรฐาน BS812

#### 4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีต (Uniaxial Compressive Strength)

ตารางที่ 4.5 การหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน กำหนดไว้ที่ 210 ksc.

| Age<br>(Day) | Spesimen |               | Area<br>(cm <sup>2</sup> .) | Load<br>(kN.) | Load<br>(kg.) | Strength<br>(ksc.) |
|--------------|----------|---------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------------|
|              | หินคลุก  | เศษครก<br>หิน |                             |               |               |                    |
| 28           | 100%     | 0%            | 225                         | 471.80        | 48093.78      | 213.75             |
|              | 75%      | 25%           | 225                         | 482.78        | 49213.04      | 218.72             |
|              | 50%      | 50%           | 225                         | 484.93        | 49432.21      | 219.69             |
|              | 25%      | 75%           | 225                         | 487.90        | 49734.96      | 221.04             |
|              | 0%       | 100%          | 225                         | 471.53        | 48066.25      | 213.63             |

#### หมายเหตุ

- ค่า Area (cm<sup>2</sup>.) คำนวณจากพื้นที่ (กxย)
- ค่า Load (kN.) เป็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องกด
- ค่า Load (kg.) คำนวณจากค่า Load (kN.) โดยการแปลงหน่วย kN. เป็น N. (นำมาคูณด้วย 1,000) ค่าจะ เป็น N. (แล้วนำมาหาร 9.81) ก็จะได้ค่า Load (kg.)
- ค่า Strength (ksc.) เป็นค่าแรงที่สามารถรับน้ำหนักใน 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งคำนวณได้จากการหาค่า Load (kg.) มาหารด้วยค่า Area (cm<sup>2</sup>.)

ตารางที่ 4.6 การหาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน กำหนดไว้ที่ 480 ksc.

| Age<br>(Day) | Spesimen |               | Area<br>(cm <sup>2</sup> .) | Load<br>(kN.) | Load<br>(kg.) | Strength<br>(ksc.) |
|--------------|----------|---------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------------|
|              | หินคลุก  | เศษครก<br>หิน |                             |               |               |                    |
| 28           | 100%     | 0%            | 225                         | 1061.75       | 108231.39     | 481.02             |
|              | 75%      | 25%           | 225                         | 1054.32       | 107474.00     | 477.66             |
|              | 50%      | 50%           | 225                         | 1052.78       | 107317.02     | 476.96             |
|              | 25%      | 75%           | 225                         | 1047.41       | 106769.62     | 474.53             |
|              | 0%       | 100%          | 225                         | 1032.14       | 105213.04     | 467.61             |

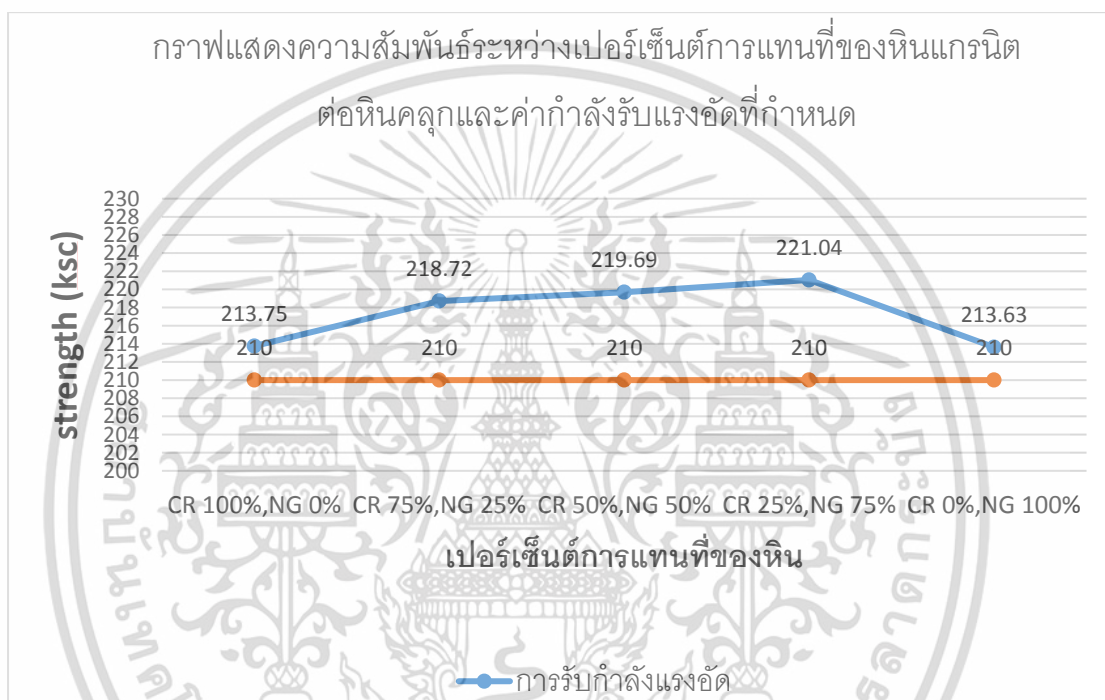
#### หมายเหตุ

- ค่า Area (cm<sup>2</sup>.) คำนวณจากพื้นที่ (กxย)
- ค่า Load (kN.) เป็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า Load (kg.) คำนวณจากค่า Load (kN.) โดยการแปลงหน่วย kN. เป็น N. (นำมาคูณด้วย 1,000) ค่าจะ เป็น N. (แล้วนำมาหาร 9.81) ก็จะได้ค่า Load (kg.)
- ค่า Strength (ksc.) เป็นค่าแรงที่สามารถรับน้ำหนักใน 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งคำนวณได้จากการหาค่า Load (kg.) หารด้วยค่า Area (cm<sup>2</sup>.)

เมื่อนำค่ากำลังอัดที่ 210 KSC ที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสูตรคอนกรีต และ กำลังอัดที่รับได้ จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูป



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดที่ 210 ksc

จากผลการทดลองหากจะนำคอนกรีตที่ ทำการศึกษาทดลองไปใช้งานจริง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ จะ ยึดค่ากำลังอัด (Compressive Strength) และ ค่ารับแรงอัดประลัย (Uniaxial Compressive Strength) ใน ระยะเวลาบ่มที่ 28 วันเป็นเกณฑ์หากยึดตามมาตรฐานชั้น C17/21 ตามตารางโดย มาตรฐานดังกล่าวสามารถนำไปเปรียบเทียบใช้ในงานต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ค อัตราส่วนผสม ของทุกสูตรสามารถนำมาใช้งานได้ทั้งหมด

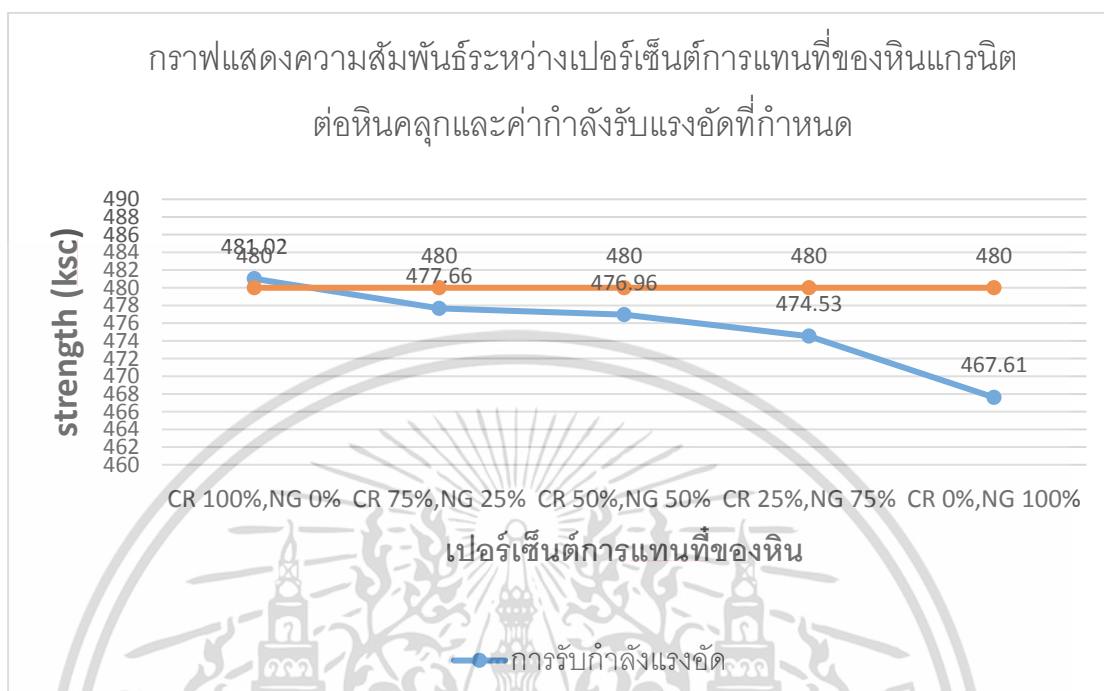
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงชั้นคุณภาพพื้นฐาน

| ชั้นคุณภาพ | กำลังอัด(ksc) |           | ขนาดปูน<br>(kg./m <sup>3</sup> ) |
|------------|---------------|-----------|----------------------------------|
|            | ทรงลูกบาศก์   | ทรงกระบอก |                                  |
| C14.5/18   | 180           | 140       | 250                              |
| C17/21     | 210           | 180       | 275                              |
| C19.5/24   | 240           | 210       | 300                              |
| C23/28     | 280           | 240       | 325                              |
| C25/30     | 300           | 250       | 335                              |
| C27/32     | 320           | 280       | 350                              |
| C30/35     | 350           | 300       | 375                              |
| C33/38     | 380           | 320       | 400                              |
| C35/40     | 400           | 350       | 420                              |
| C37/42     | 420           | 380       | 450                              |
| C40/45     | 450           | 400       | 475                              |
| C45/50     | 480           | 420       | 500                              |
| C50/55     | 500           | 450       | 525                              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่ากำลังอัดที่ 480 KSC ที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสูตรคอนกรีต และกำลังอัดที่รับได้ จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูป



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังการรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน  
ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดที่ 480 ksc

จากผลการทดลองหากจะนำคอนกรีตที่ ทำการศึกษาทดลองไปใช้งานจริง ซึ่งโดยส่วนใหญ่ จะ ยึดค่ากำลังอัด (Compressive Strength) และ ค่ารับแรงอัดประลัย (Uniaxial Compressive Strength) ใน ระยะเวลาบ่มที่ 28 วันเป็นเกณฑ์หากยึดตามมาตรฐานชั้น C45/50 ตามตาราง โดย มาตรฐานดังกล่าวสามารถนำไปเปรียบเทียบใช้ในงานต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ค อัตราส่วนผสม ของแต่ละสูตรจะมีบางสูตรที่ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะน้อยกว่าสูตร 100%,0% เช่นสูตร 75%,25% 50%,50% และ 25%,75% สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งหมด ยกเว้นสูตร 0%,100% ที่ค่า กำลังรับแรงอัดน้อยกว่าทุกสูตรนำไปใช้งานไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ชั้นคุณภาพมาตรฐาน

| ชั้นคุณภาพ | กำลังอัด(ksc) |           | ขนาดปูน<br>(kg./m <sup>3</sup> ) |
|------------|---------------|-----------|----------------------------------|
|            | ทรงลูกบาศก์   | ทรงกระบอก |                                  |
| C14.5/18   | 180           | 140       | 250                              |
| C17/21     | 210           | 180       | 275                              |
| C19.5/24   | 240           | 210       | 300                              |
| C23/28     | 280           | 240       | 325                              |
| C25/30     | 300           | 250       | 335                              |
| C27/32     | 320           | 280       | 350                              |
| C30/35     | 350           | 300       | 375                              |
| C33/38     | 380           | 320       | 400                              |
| C35/40     | 400           | 350       | 420                              |
| C37/42     | 420           | 380       | 450                              |
| C40/45     | 450           | 400       | 475                              |
| C45/50     | 480           | 420       | 500                              |
| C50/55     | 500           | 450       | 525                              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 คุณสมบัติรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตรับแรงที่มีหินแกรนิตและหินคลุกเป็นส่วนผสมมวลรวมหยาบ

จากการศึกษาคุณสมบัติของหินแกรนิตและหินปูนเพื่อผลิตคอนกรีตรับแรงในอัตราส่วนผสมที่ 0% 25% 50% 75% และ 100% โดยมีผลกำลังแรงอัดที่กำหนด 210 ksc และ 480 ksc ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1.) ที่กำลังรับแรงอัดกำหนดมาเอง 210 ksc ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน โดยที่อัตราส่วนการผสมของหินคลุกเป็นหลักต่อหินแกรนิต(ส่วนผสมมวลรวมหยาบ)ได้ดังนี้

- หินคลุก 100% ต่อหินแกรนิต 0% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 213.75 ksc
- หินคลุก 75% ต่อแกรนิต 25% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 218.72 ksc
- หินคลุก 50% ต่อหินแกรนิต 50% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 219.69 ksc
- หินคลุก 25% ต่อหินแกรนิต 75% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 221.04 ksc
- หินคลุก 0% ต่อแกรนิต 100% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 213.63 ksc

2.) ที่กำลังรับแรงอัดกำหนดมาเอง 480 ksc ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน โดยที่อัตราส่วนการผสมของหินแกรนิตเป็นหลักต่อหินปูน(ส่วนผสมมวลรวมหยาบ)ได้ดังนี้

- หินคลุก 100% ต่อหินแกรนิต 0% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 481.02 ksc
- หินคลุก 75% ต่อแกรนิต 25% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 477.66 ksc
- หินคลุก 50% ต่อหินแกรนิต 50% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 476.96 ksc
- หินคลุก 25% ต่อหินแกรนิต 75% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 474.53 ksc
- หินคลุก 0% ต่อแกรนิต 100% ได้ค่าเฉลี่ย Strength ที่ 467.61 ksc

พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยมีเศษครกหินแกรนิตเป็นมวลรวมหยาบใช้แทนที่หินคลุกในอัตราส่วนต่างๆตามที่ทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยกำหนดไว้ที่ 210 ksc พบว่า ที่อัตราส่วน 100%,0% และ 0%,100% นั้นมีค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่ารับกำลังอัดที่เพิ่มขึ้นคือที่อัตราส่วน 75%,25% 50%,50% และ 25%,75% ตามลำดับ

สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยมีเศษครกหินแกรนิตเป็นมวลรวมหยาบใช้แทนที่หินคลุกในอัตราส่วนต่างๆตามที่ทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยที่กำหนดไว้ที่ 480 ksc พบว่าที่อัตราส่วน 100%,0% สามารถรับแรงอัดได้ถึงที่กำหนดไว้ในอัตราส่วน 75%,25% 50%,50% 25%75% รับกำลังอัดได้ใกล้เคียงที่กำหนดไว้ ส่วนอัตราส่วน 0%,100% ไม่สามารถรับกำลังอัดได้ถึงที่กำหนดไว้ ผลเนื่องจากค่าดัชนีความแบนและดัชนีความยาวของเศษครกหินแกรนิตนั้นเกินค่ามาตรฐาน BS812: Section 105.1 : 1989

จากตาราง ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ที่ใช้งานในลักษณะโครงสร้างประเภทงานต่างๆได้กล่าวไว้ว่า กำลังอัดทรงลูกบาศก์ที่ 210-240 กก/ตร.ซม. นำไปใช้ในลักษณะโครงสร้างได้

เฉพาะ งานฐานราก ตอม่อ เสาคาน งานพื้นภายในบ้าน ของอาคารขนาดเล็ก เช่น บ้านชั้นเดียว บ้าน  
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองชั้น พื้นบ้าน ซึ่งผลการทดสอบของพวกเราที่กำหนดค่าแรงที่ 210 กก/ตร.ชม. เราได้ค่าที่ผ่านเกณฑ์ในการนำไปใช้ได้ดีที่สุด คืออัตราส่วนผสมมวลรวมหยาบ หินคลุก 25%กับเศษหินแกรนิต 75% สามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงที่สุดถึง 221.04 กก/ตร.ชม. ในการออกแบบนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้จริง แต่ในอัตราส่วนผสมมวลรวมหยาบต่างๆที่เหลือก็ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน ส่วนกำลังรับแรงอัดกำหนดมาเอง 480 กก/ตร.ชม. ซึ่งนำไปใช้ในอาคารสูงที่มีเหล็กหนาแน่น หรือถนนที่มีการจราจรหนาแน่น ในการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดมาสูงสูงได้เพียง 481.02 กก/ตร.ชม. ที่อัตราส่วนผสมหินคลุก 100% แต่เมื่อนำเศษหินแกรนิตไปเป็นส่วนผสมนั้นก็กลับได้ค่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์จึงไม่สามารถนำไปใช้ได้จริง เนื่องจากผิวของหินแกรนิตนั้นเรียบแบนไม่เหมือนหินคลุกที่มีเหลี่ยมการยึดเกาะของหินแกรนิตจึงไม่สามารถรับแรงได้ถึง 480 กก/ตร.ชม. จึงไม่เหมาะสมในการนำเศษหินแกรนิตมาเป็นส่วนผสมในโครงสร้างที่มีการรับกำลังแรงอัดมากได้ ดังนั้นควรเลือกเศษหินแกรนิตไปเป็นส่วนผสมของคอนกรีตได้เฉพาะโครงสร้างที่เป็นโครงสร้างเล็ก เช่น บ้านชั้นเดียว บ้าน2ชั้น เป็นต้น

## 5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินงาน

1. สูตรที่ใช้ออกแบบคอนกรีตได้เลือกสูตรที่ไม่ผ่านมาตรฐานจึงมีการออกแบบล่าช้า
2. หินแกรนิตที่นำมาทดสอบไม่ได้มีการผ่านการไม่หินมาจึงต้องนำมาทุบเองเพื่อทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทำให้มีการล่าช้าต่อการทดสอบ
3. ขั้นตอนการผสมคอนกรีตได้ทำการผสมโดยแรงงานคนจึงทำให้ล่าช้าในส่วนการผสม
4. ช่วงเวลาระหว่างรอการทดสอบรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตมีปัญหาในเรื่องของโรคระบาด Covid-19 ทำให้ติดขัดและล่าช้าในการทดสอบการทดลอง

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองการผสมคอนกรีตที่มีหินแกรนิตและหินคลุกเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนต่างๆมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือ ควรปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทราฮายาบ หินแกรนิตและหินปูน ผสมทรายให้แตกต่างออกไป ซึ่งอาจส่งผลทำให้ค่ากำลังแรงอัด (Compressive Strength) หรือ ค่ารับแรงอัด ประลัย (Uniaxial Compressive Strength) ของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

### รายการอ้างอิง

- [1] ปูนซีเมนต์ไทย, บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยจำกัดมหาชน, 2544
- [2] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร์. คอนกรีตเทคโนโลยี CPAC. พิมพ์ครั้งที่ 8. มกราคม 2543
- [3] วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Technology). พิมพ์ครั้งที่ 10.กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ป.สัมพันธ์พานิชย์; 2544
- [4] รศ.ดร. คมสัน มาลีสี และ รศ. สิริวัฒน์ ไชยชนะ ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี (Concrete Testing Labaoratory) พิมพ์ครั้งที่ 5 : โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีน เซอร์วิส ซัพพลาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

มาตรฐานการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม ASTM C33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขอบข่าย

1. มาตรฐานการทดสอบนี้ใช้สำหรับการทดสอบมวลรวมเฉพาะในงานคอนกรีต
2. มาตรฐานการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาการกระจายของขนาด (Particle Size Distribution) ของมวล รวมทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบโดยการร่อนด้วยตะแกรง ขนาดมาตรฐาน
3. ค่าพิถีความละเอียด (Fineness Modulus) ในการทดสอบนี้ ใช้สำหรับมวลรวมหยาบเท่านั้น
4. มาตรฐานการทดสอบนี้ใช้หน่วย SI (International System Units) เป็นหลัก

## นิยาม

“การกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม (Particle Size Distribution)” หมายถึง การที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ด วัสดุหลายขนาดต่างๆ กัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด ตะแกรงมาตรฐานในสเกล ลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละโดยมวลของมวลรวม ที่ผ่านตะแกรงเป็นแกนตั้ง ซึ่ง เรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม

“ขนาดระบุใหญ่สุด (Nominal Maximum Size)” หมายถึง ขนาดช่องผ่านของตะแกรงเล็กที่สุดที่มวลรวม สามารถผ่านได้ทั้งหมด หรือมีสัดส่วนการผ่านตะแกรงเป็นไปตามที่กำหนด

“พิถีความละเอียด (Fineness Modulus)” หมายถึง ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิกภาคโดยประมาณกับขนาด เฉลี่ย ของมวลรวม

“มวลรวม (Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ขึ้นไป

“มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

“มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ใน ส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร ขึ้นไป

## มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงถึงในมาตรฐานนี้ ประกอบด้วย

1. มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ. 1101: มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริม เหล็ก
2. มาตรฐาน American Society of Testing Materials ASTM C 33: Specification for Concrete Aggregates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมตัวอย่างมวลรวมละเอียดโดยการสุมตัวอย่างที่นำมาด้วยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering) นำไปอบที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนมีมวลคงที่แล้ว ซึ่งตัวอย่างมวลรวมหลังอบแห้ง
2. เตรียมตัวอย่างมวลรวมหยาบโดยการสุมตัวอย่างที่เก็บมาจากสนามด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) หรือ เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) นำไปอบที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนมีมวลคงที่แล้ว ซึ่งตัวอย่างมวลรวมหลังอบแห้งให้ได้ตามตาราง ก-1 โดยพิจารณาจากขนาดระบุใหญ่สุดของตัวอย่างมวลรวมหยาบ

ตาราง ก-1 มวลของตัวอย่างมวลรวมหยาบที่ใช้ในหารทดสอบ

| ขนาดระบุใหญ่สุด<br>(Nominal Maximum Size) | มวลตัวอย่างที่นำมาทดสอบ<br>ไม่น้อยกว่า (กิโลกรัม) |
|---|---|
| 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว)                  | 10  |
| 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)                 | 10  |
| 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)                 | 10  |
| 25.0 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)                   | 10  |
| 37.5 มิลลิเมตร (1.5 นิ้ว)                 | 10  |

### การทดสอบ

1. สำหรับมวลรวมละเอียด ให้เตรียมตะแกรงขนาดต่างๆ ที่จะใช้ทดสอบ ดังนี้ ขนาด 9.50 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ขนาด 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8) ขนาด 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16) ขนาด 0.60 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) ขนาด 0.30 มิลลิเมตร (เบอร์ 50) และขนาด 0.15 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)
2. สำหรับมวลรวมหยาบ ให้เตรียมตะแกรงขนาดต่างๆ ที่จะใช้ทดสอบตามตารางที่ ก-1 โดยพิจารณาจากขนาด ระบุใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 ผลการทดสอบการรับแรงอัด กำหนดค่าแรงที่ 280 ksc ที่การบ่ม 28 วัน

| ส่วนผสมหิน<br>คลุก-<br>หินแกรนิต<br>(%-%) | พื้นที่หน้าตัด<br>(cm ) | ชุดตัวอย่างทดสอบกำลังแรงอัด (KN) |        |        | กำลังแรงอัด<br>เฉลี่ย (KN) |
|---|-------------------------|----------------------------------|--------|--------|----------------------------|
| 100% - 0%                                 | 225                     | 472.94                           | 478.37 | 464.10 | 471.80                     |
| 75% - 25%                                 | 225                     | 481.33                           | 476.70 | 490.33 | 482.78                     |
| 50% - 50%                                 | 225                     | 480.52                           | 477.46 | 496.83 | 484.93                     |
| 25% - 75%                                 | 225                     | 492.24                           | 496.71 | 474.75 | 487.90                     |
| 0% - 100%                                 | 225                     | 486.77                           | 487.46 | 440.38 | 471.53                     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-2 ผลการทดสอบการรับแรงอัด กำหนดค่าแรงที่ 480 ksc ที่การบ่ม 28 วัน

| ส่วนผสมหิน<br>คลุก-<br>หินแกรนิต<br>(%-%) | พื้นที่หน้าตัด<br>(cm ) | ชุดตัวอย่างทดสอบกำลังแรงอัด (KN) |         |         | กำลังแรงอัด<br>เฉลี่ย (KN) |
|---|-------------------------|----------------------------------|---------|---------|----------------------------|
| 100% - 0%                                 | 225                     | 1046.63                          | 1070.43 | 1068.19 | 1061.75                    |
| 75% - 25%                                 | 225                     | 1050.48                          | 1052.77 | 1059.71 | 1054.32                    |
| 50% - 50%                                 | 225                     | 1043.47                          | 1058.85 | 1056.02 | 1052.78                    |
| 25% - 75%                                 | 225                     | 1053.87                          | 1038.43 | 1049.93 | 1047.41                    |
| 0% - 100%                                 | 225                     | 1061.72                          | 1052.47 | 982.24  | 1032.14                    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.  
ชั้นคุณภาพของคอนกรีต และ ค่ากำลังอัดทรงลูกบาศก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.-1 ชั้นคุณภาพของคอนกรีต และ ค่ากำลังอัดทรงลูกบาศก์ Mpa อายุ 28 วัน

| ชั้นคุณภาพ | ความต้านแรงอัด (เมื่ออายุ 28 วัน)<br>Mpa ไม่น้อยกว่า |   |
|------------|--|---|
|            | แท่งทรงกระบอก<br>ขนาด 150 mm. x 300 mm.              | แท่งทรงลูกบาศก์<br>ขนาด 150 mm. x 150 mm. |
| C14.5/18   | 14.5   | 18.0                                      |
| C17/21     | 17.0   | 21.0                                      |
| C19.5/24   | 19.5   | 24.0                                      |
| C23/28     | 23.0   | 28.0                                      |
| C25/30     | 25.0   | 30.0                                      |
| C27/32     | 27.0   | 32.0                                      |
| C30/35     | 30.0   | 35.0                                      |
| C33/38     | 33.0   | 38.0                                      |
| C35/40     | 35.0   | 40.0                                      |
| C37/42     | 37.0   | 42.0                                      |
| C40/45     | 40.0   | 45.0                                      |
| C45/50     | 45.0   | 50.0                                      |
| C50/55     | 50.0   | 55.0                                      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.-2 ชั้นคุณภาพของคอนกรีต และ ค่ากำลังอัดทรงลูกบาศก์ ksc อายุ 28 วัน

| ชั้นคุณภาพ | กำลังอัด(ksc) |           | ขนาดปูน<br>(kg./m <sup>3</sup> ) |
|------------|---------------|-----------|----------------------------------|
|            | ทรงลูกบาศก์   | ทรงกระบอก |                                  |
| C14.5/18   | 180           | 140       | 250                              |
| C17/21     | 210           | 180       | 275                              |
| C19.5/24   | 240           | 210       | 300                              |
| C23/28     | 280           | 240       | 325                              |
| C25/30     | 300           | 250       | 335                              |
| C27/32     | 320           | 280       | 350                              |
| C30/35     | 350           | 300       | 375                              |
| C33/38     | 380           | 320       | 400                              |
| C35/40     | 400           | 350       | 420                              |
| C37/42     | 420           | 380       | 450                              |
| C40/45     | 450           | 400       | 475                              |

#### ลักษณะการนำไปใช้งานของชั้นคุณภาพ

- ชั้น C14.5/18 สามารถนำไปใช้งาน
  - ด้านงานถนนที่ไม่มีจราจร
- ชั้น C17/21 สามารถนำไปใช้งาน
  - ด้านงานอาคารบ้านเล็ก เช่น บ้านชั้นเดียว และบ้าน 2 ชั้น
  - ด้านงานเทพื้นภายในบ้าน เช่น พื้นรอบอาคาร พื้นร้านค้า
  - ด้านงานทับแผ่นพื้นอาคารที่พักอาศัย
  - ด้านงานถนนที่มีการจราจรน้อย เช่น ลานจอดรถเก๋ง รถกระบะ ลานวัด ลานโรงเรียน
  - นำไปใช้งานในลักษณะชั้นคุณภาพ C14.5/18 ได้
- ชั้น C19.5/24 สามารถนำไปใช้งาน
  - ด้านงานถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น ถนน เทศบาล, อบต. และ อบจ.
  - ด้านงานอาคารขนาดกลาง เช่น โรงแรม อาคารสำนักงาน 2-4 ชั้น
  - นำไปใช้งานในลักษณะชั้นคุณภาพ C14.5/18 C17/21 ได้
- ชั้นคุณภาพ C23/28 สามารถนำไปใช้งาน
  - ด้านงานถนนที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น ถนนกรมทางหลวง สนง.ทางหลวงชนบท
  - ด้านงานโรงงานอุตสาหกรรม เช่น งานเทสระบายน้ำ พื้นลาดฟ้า พื้นห้องน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ด้านงานอาคารขนาดกลาง เช่น อาคารที่พักอาศัย อาคารเรียน 4 – 6 ชั้น
- นำไปใช้งานในลักษณะชั้นคุณภาพ C14.5/18 C17/21 และ C19.5/24 ได้

5. ชั้นคุณภาพ C25/30 สามารถนำไปใช้งานได้

- อาคารสูงมีเหล็กหนาแน่น เช่น โรงแรมสูง คอนโดมิเนียม 4-8 ชั้น
- ด้านงานโรงงานอุตสาหกรรม เช่น พื้นโกดังเก็บสินค้า และ พื้นร้านค้า
- นำไปใช้งานในลักษณะชั้นคุณภาพ C14.5/18 C17/21 C19.5/24 และ C23/28

ได้

6. ชั้นคุณภาพ C27/32 สามารถนำไปใช้งานได้

- ด้านงานอาคารสูงมีเหล็กหนาแน่น เช่น ศูนย์การค้า ศูนย์อาหาร คอมเพล็กซ์สูงกว่า 8 ชั้น

- นำไปใช้งานในลักษณะชั้นคุณภาพ C14.5/18 C17/21 C19.5/24 C23/28 และ C25/30 ได้

ส่วนชั้นคุณภาพ C30/35 C33/38 C35/40 C37/42 และ C40/45 สามารถนำไปใช้งานได้

ทุกประเภทของคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.-3 ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ที่ใช้งานในลักษณะโครงสร้างประเภทงานต่างๆ

| ที่  | ลักษณะโครงการ                      | ประเภทงาน   | ชนิดของคอนกรีต  |
|--|------------------------------------|---|---|
| 1  | โครงสร้าง : งานฐานราก ตอม่อ เสาคาน |   |   |
|  | 1.1 อาคารขนาดเล็ก                  | บ้านชั้นเดียว 2 ชั้น  | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 210-240 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม.                     |
|  |                                    | อาคารพาณิชย์ 2-4 ชั้น   | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 240-280 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม.                     |
|  | 1.2 อาคารขนาดกลาง                  | โรงแรม อาคารสำนักงาน 2-4ชั้น                                    | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 240-280 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม.                     |
|  |                                    | อาคารที่พักอาศัยอาคารเรียน 4-6ชั้น                              | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 280-380 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม.                     |
|  | 1.3 อาคารสูงที่มีเหล็กหนาแน่น      | โรงแรมสูง คอนโดมิเนียม 4-8 ชั้น                                 | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 280-380 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม.                     |
| ศูนย์การค้า ศูนย์อาหารคอมเพล็กซ์สูงกว่า 8 ชั้น |                                    | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 320-380 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม. |   |
| 2  | งานถนน                             |   |   |
|  | 2.1 ถนนที่มีการจราจรน้อย           | งานถนนที่มีการจราจรน้อย   | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 210-240 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม. ความหนา $10-15$ ซม. |
|  |                                    | ลานจอดรถแก่ง รถกระบะ ลาดวัด ลานโรงเรียน                         | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 320-380 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม. ความหนา $8-12$ ซม.  |
|  | 2.2 ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น        | ถนน เทสบาล อบต. อบจ.  | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 320-380 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม. ความหนา 15 ซม.      |
|  |                                    | ถนน.กรมทางหลวง,สนง.ทางหลวงชนบท                                  | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 320-380 กก/ตร.ซม. ค่ายุบตัว $10\pm 2.5$ ซม. ความหนา 15-25 ซม.   |
|  |                                    | ถนน ที่ต้องการเปิดจราจรภายใน 3 วัน                              | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 320-380 กก/ตร.ซม. $10\pm 2.5$ ซม. $7.5\pm 2.5$ ซม.              |

ตารางต่อ ค.-3 ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ที่ใช้งานในลักษณะโครงสร้างประเภทงานต่างๆ

| ที่          | ลักษณะโครงการ                         | ประเภทงาน   | ชนิดของคอนกรีต  |
|--------------|---------------------------------------|---|---|
|              | งานเทพื้น, เททับแผ่นพื้น              |   |   |
| 3            | 3.1 เทพื้นภายในบ้าน                   | พื้นรอบอาคาร, พื้นร้านค้า   | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 210-280 กก/ตร.ซม. $10 \pm 2.5$ ซม.                                    |
|              |                                       | งานทับแผ่นพื้นอาคารที่พักอาศัย  | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 210-280 กก/ตร.ซม. $10 \pm 2.5$ ซม.                                    |
|              | 3.2 โรงงานอุตสาหกรรม                  | พื้นโกดังเก็บสินค้า, พื้นปัมน้ำมัน  | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 280-380 กก/ตร.ซม. $10 \pm 2.5$ ซม.                                    |
|              |                                       | งานเทสระว่ายน้ำ, พื้นด้านฟ้า, พื้นห้องน้ำ   | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 240-380 กก/ตร.ซม. ผสมกับน้ำยากันซึม $10 \pm 2.5$ ซม.                  |
| คอนกรีตพิเศษ |                                       |   |   |
| 4            | 4.1 งานเทพื้นคอนกรีตอัดแรง<br>ภายหลัง | พื้น post-tension ที่การพัฒนากำลังอัดของ<br>คอนกรีตสูงขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 3 วัน | กำลังอัดทรงลูกบาศก์ได้ 280 กก/ตร.ซม. ที่ 3 วันเพื่อการดึงลวด ค่ายุบตัว<br>$0 \pm 2.5$ ซม. |



ภาคผนวก ง.  
มาตรฐานการทดสอบหาค่าตรรกะนิยามยาว BS 812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง. มาตรฐานการทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)

### 1. ขอบข่าย

มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุเม็ดหยาบ มาตรฐานการทดสอบนี้ได้ปรับปรุงมาจาก(BS.812 : 1967)

### 2. นิยาม

“ค่าดัชนีความยาวของวัสดุ” หมายถึง มวลของวัสดุที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้นคิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดสอบ

### 3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 2208 - 57: มาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

### 4. เครื่องมือ

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย

4.1 ช่องวัดความยาว (Length Gauge) ประกอบด้วยช่องขนาดต่างๆ หลายขนาด แต่ละช่องมีตัวเลขกำกับอยู่ 2 ตัวตัวเลขมาก หมายถึงส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้นผ่าน ตัวเลขน้อย เป็นส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้นๆ ค้างอยู่ตามรูปที่ 1

4.2 เครื่องเขย่าตะแกรงพร้อมด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ ให้เป็นไปตาม มยผ. 2208 - 57: มาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

4.3 ภาชนะสำหรับใส่วัสดุ

4.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง

4.5 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

### 5. การเตรียมตัวอย่าง

5.1 นำตัวอย่างวัสดุเม็ดหยาบทั้งหมดมาคลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วทำการแบ่งโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง

5.2 ถ้าวัสดุเม็ดหยาบชื้นหรือเปียก ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนแห้งแล้วปล่อยให้เย็นก่อนทำการทดสอบ

5.3 ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบเป็นวัสดุชนิดขนาดเดี่ยว (Single Size) ให้เตรียมตัวอย่างไว้ไม่น้อยกว่า 200 กรัม

5.4 ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบมีอยู่หลายขนาดปนกัน ให้ทำการร่อนด้วยเครื่องเขย่าผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ตามต้องการ โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ปริมาณของวัสดุเม็ดหยาบที่ใช้ร่อนผ่านตะแกรงต่างๆ ให้ใช้ตามตารางที่ 1 ของวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างตาม มยผ. 2208 - 57: มาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

5.5 นำวัสดุเม็ดหยาบขนาดต่างๆ ที่ร่อนแล้วไปชั่ง แล้วแยกเก็บไว้เพื่อทำการทดสอบ สำหรับวัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้ทิ้งไป

## 6. การทดสอบ

6.1 นาตัวอย่างที่ค้ำบนแต่ละตะแกรง ตามข้อ 5 มาทดลองลอดผ่านช่องวัดความยาว โดยใช้ส่วนที่ยาวที่สุดลอดผ่านตรงช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตะแกรงที่ค้ำนั้นทีละก้อน ให้ทำทุกๆ ขนาดของวัสดุ

6.2 นาส่วนที่ค้ำและส่วนที่ผ่านช่องวัดความยาวของวัสดุแต่ละขนาดไปชั่ง แล้วบันทึกไว้

## 7. การคำนวณ

คำนวณหาดัชนีความยาวได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีความยาว(EI)} &= \frac{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้ำช่องวัดความยาว}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้ำทั้งหมด}} \times 100 \\ &= \left( \frac{y}{x+y} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $X$  = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

$Y$  = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้ำช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

## 8. การรายงานผล

ให้รายงานค่าร้อยละของดัชนีความยาวเป็นเลขจำนวนเต็ม ตามแบบฟอร์มที่ บพ. มยผ. 2221 – 57: มาตรฐานการทดสอบหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)

## 9. ข้อควรระวัง

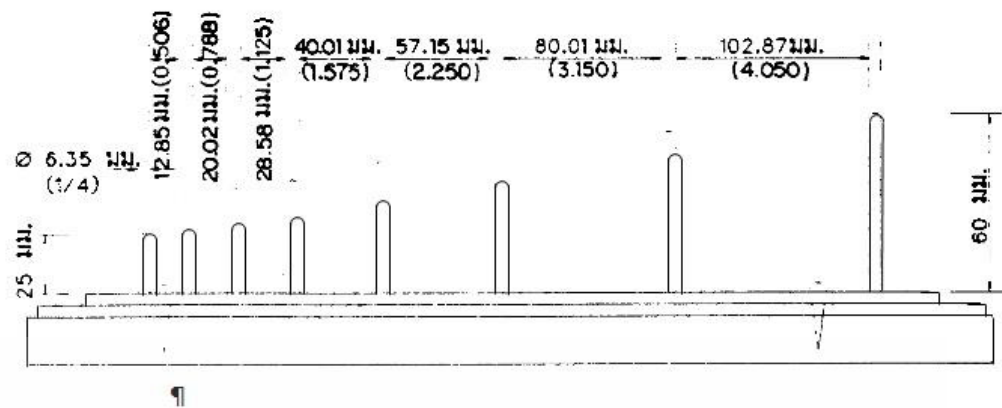
9.1 การทดลองสอดวัสดุผ่านช่องวัดความยาว ห้ามไม่ให้ใช้แรงดันเพื่อบังคับให้วัสดุผ่านช่อง

9.2 การทดลองลอดผ่านวัสดุผ่านช่องวัดความยาวทุกครั้ง ต้องให้แกนตามความยาวของวัสดุขนานกับด้านยาวของช่องห้ามไม่ให้เอียงวัสดุเพื่อลอดผ่านช่อง

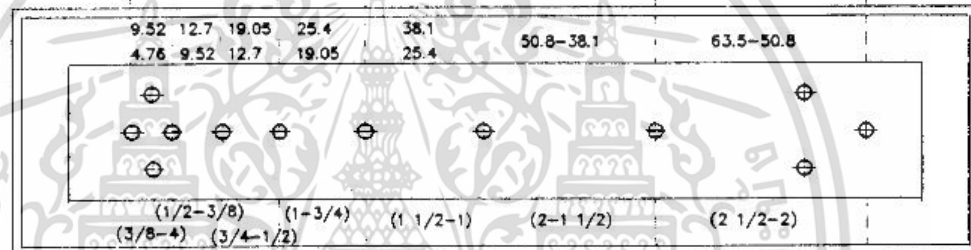
## 10. เอกสารอ้างอิง

10.1 มาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 211/2528: วิธีการทดลองการค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) (เทียบเท่า BS 812: 1967)

10.2 British Standard Institution. Method for Sampling and Testing of Mineral Aggregates, Sands & Fillers , British Standard 812: 1967



|            |            |       |       |         |      |         |      |
|------------|------------|-------|-------|---------|------|---------|------|
| ขนาดผ่าน   | 9.52       | 12.7  | 19.05 | 25.4    | 38.1 | 50.8    | 63.5 |
| ตะแกรง มม. | (3/8)(1/2) | (3/4) | (1)   | (1 1/2) | (2)  | (2 1/2) |      |
| ขนาดค้าง   | 4.76       | 9.52  | 12.7  | 19.05   | 25.4 | 38.1    | 50.8 |
| ตะแกรง มม. | (4)        | (3/8) | (1/2) | (3/4)   | (1)  | (1 1/2) | (2)  |



รูป ง-1 เครื่องมือวัดความยาว (Length Gauge)

ดรรชนีความยาว(Elongation Index)

| Sieve Size<br>U.S. Standard<br>Square Opening<br>(mm.) | Gauge length<br>(mm.) | Mass<br>Passing<br>(gm.) | Mass<br>Retained<br>(gm.) | Total<br>Mass<br>X+Y<br>(gm.) | Elongati<br>on<br>Index<br>% |
|--|-----------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 63.5 - 50.8 (2 1/2"-2")                                | 102.87 (4.050")       |                          |                           |                               |                              |
| 50.8 - 38.1 (2"-1 1/2")                                | 80.01 (3.150")        |                          |                           |                               |                              |
| 38.1 - 25.4 (1 1/2"-1")                                | 57.15 (2.250")        |                          |                           |                               |                              |
| 25.4 - 19.05 (1"-3/4")                                 | 40.01 (1.575")        |                          |                           |                               |                              |
| 19.05 - 12.7 (3/4"-1/2")                               | 28.58 (1.125")        |                          |                           |                               |                              |
| 12.7 - 9.52 (1/2"- 3/8")                               | 20.02 (0.788")        |                          |                           |                               |                              |
| 9.52 - 4.76 (3/8"-#4)                                  | 12.85 (0.506")        |                          |                           |                               |                              |
| Total  |                       |                          |                           |                               |                              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ.

มาตรฐานการทดสอบหาค่าตรรกะชั้นแบบ BS 812

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ. มาตรฐานการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

### 1. ขอบข่าย

มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) โดยปรับปรุงมาจาก BS.812 : 1967

### 2. นิยาม

“ค่าดัชนีความแบนของวัสดุ” หมายความว่า มวลของวัสดุที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า  $\frac{3}{5}$  เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้น คิดเป็นร้อยละ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดสอบ

### 3. มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 2208 - 57: มาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

### 4. เครื่องมือ

4.1 ช่องวัดความหนา (Thickness Gauge or Slot Sieve) ประกอบด้วยช่องขนาดต่างๆ หลายขนาด แต่ละช่องมีตัวเลขกำกับอยู่ 2 ตัว ตัวเลขมากหมายถึงส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้นผ่าน ส่วนตัวเลขน้อยเป็นส่วนของตะแกรงที่วัสดุนั้นๆ ค้างอยู่ ดังรูปที่ 1 หรือรูปที่ 2

4.2 เครื่องเขย่าตะแกรงพร้อมด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ ให้เป็นไปตาม มยผ. 2208 - 57: มาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

4.3 ภาชนะสำหรับใส่วัสดุ

4.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง

4.5 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

### 5. การเตรียมตัวอย่าง

5.1 นำตัวอย่างวัสดุเม็ดหยาบทั้งหมดมาคลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วทำการแบ่งโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง

5.2 ถ้าวัสดุเม็ดหยาบชื้นหรือเปียก ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ  $110 \pm 5$  องศาเซลเซียส จนแห้ง แล้วปล่อยให้เย็นให้เย็นก่อนทำการทดสอบ

5.3 ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบเป็นวัสดุชนิดขนาดเดียว (Single Size) ให้เตรียมตัวอย่างไว้ไม่น้อยกว่า 200 กรัม

5.4 ในกรณีที่วัสดุเม็ดหยาบมีอยู่หลายขนาดปนกัน ให้ทำการร่อนด้วยเครื่องเขย่าผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ตามต้องการ โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ปริมาณของวัสดุเม็ดหยาบที่ใช้ร่อนผ่านตะแกรงต่างๆ ให้ใช้ตามตารางที่ 1 ของวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างตาม มยผ. 2208 - 57: มาตรฐานการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

5.5 นำวัสดุเม็ดหยาบขนาดต่างๆ ที่ร่อนแล้วไปชั่ง แล้วแยกเก็บไว้เพื่อทำการทดสอบ สำหรับวัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้ทิ้งไป

## 6. การทดสอบ

6.1 นำตัวอย่างที่ค้ำบนแต่ละตะแกรง ตามข้อ 4 มาทดลองลอดผ่านช่องวัดความหนา โดยใช้ส่วนที่แบนที่สุดลอดผ่านตรงช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตะแกรงที่ค้ำนั้นที่ละก้อน ให้หาทุกๆ ขนาดของวัสดุ

6.2 นำส่วนที่ค้ำและส่วนที่ผ่านช่องวัดความยาวของวัสดุแต่ละขนาดไปชั่ง แล้วบันทึกไว้

## 7. การคำนวณ

คำนวณหาดัชนีความแบนได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีความแบน(FI)} &= \frac{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้ำช่องวัดความหนา}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้ำทั้งหมด}} \times 100 \\ &= \left( \frac{X}{X+Y} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (4.2)$$

เมื่อ  $X$  = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดช่องวัดความหนาทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

$Y$  = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้ำช่องวัดความหนาทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

## 8. การรายงานผล

ให้รายงานค่าร้อยละของดัชนีความยาวเป็นเลขจำนวนเต็ม ตามแบบฟอร์มที่ บพ. มยพ. 2222

– 57: มาตรฐานการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

## 9. ข้อควรระวัง

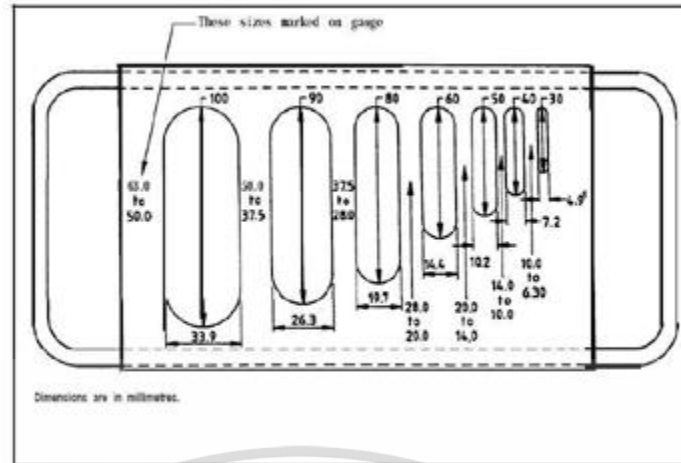
การทดลองสอดวัสดุผ่านช่องวัดความหนา ห้ามไม่ให้ใช้แรงดันมือบังคับให้วัสดุผ่านช่อง

## 10. เอกสารอ้างอิง

10.1 มาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 210/2518: วิธีการทดลองการค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

10.2 British Standard Institution. Method for Sampling and Testing of Mineral Aggregates, Sands & Fillers, British Standard 812: 1967

10.3 Norman W. Mcleod (1969). The Annual Meeting, Association of Asphalt Paving Technologists, Los Angeles California, Fed 10-12, 1969. A General Method of Design for Seal Coats and Surface Treatments



หมายเหตุ ขนาดของช่องคูตามตารางที่ 1  
รูป จ-1 เครื่องมือวัดความหนา ชนิดที่ 1  
(THICKNESS GAUGE OR SLOT SIEVE)



หมายเหตุ ขนาดของช่องคูตามตารางที่ 1  
รูป จ-2

| ขนาดของวัสดุ |         | ขนาดของเครื่องมือวัดความหนา |         |
|--------------|---------|-----------------------------|---------|
| ผ่าน         | ค้ำ     | มม.                         | นิ้ว    |
| 63.5         | (2 1/2) | 90                          | (2)     |
| 50.80        | (2)     | 38.10                       | (1 1/2) |
| 38.10        | (1 1/2) | 25.40                       | (1)     |
| 31.75        | (1 1/4) | 25.40                       | (1)     |
| 25.40        | (1)     | 19.05                       | (3/4)   |
| 19.05        | (3/4)   | 12.70                       | (1/2)   |
| 12.70        | (1/2)   | 9.52                        | (3/8)   |
| 9.52         | (3/8)   | 4.76                        | 4       |

ความกว้างของช่องเท่ากับ 0.6 เท่า  
ของขนาดเฉลี่ยของตะแกรง

รูป จ-3 เครื่องมือวัดความหนา ชนิดที่ 2  
(THICKNESS GAUGE OR SLOT SIEVE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรรชนีความแบน (Flakiness Index)

| Sieve Size<br>U.S. Standard<br>Square Opening<br>(mm.) | Width of<br>Slot sieve<br>(mm.) | Mass<br>Retained<br>X<br>(gm.) | Mass<br>Passing<br>Y<br>(gm.) | Total<br>Mass<br>X+Y<br>(gm.) | Flakiness<br>Index<br>% |
|--|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 63.5 - 50.8 (2 1/2"-2")                                | 34.29 (1.350")                  |                                |                               |                               |                         |
| 50.8 - 38.1 (2"-1 1/2")                                | 26.67 (1.050")                  |                                |                               |                               |                         |
| 38.1 - 25.4 (1 1/2"-1")                                | 19.05 (0.750")                  |                                |                               |                               |                         |
| 25.4 - 19.05 (1"-3/4")                                 | 13.34 (0.525")                  |                                |                               |                               |                         |
| 19.05 - 12.7 (3/4"-1/2")                               | 9.53 (0.375")                   |                                |                               |                               |                         |
| 12.7 - 9.52 (1/2"- 3/8")                               | 6.68 (0.263")                   |                                |                               |                               |                         |
| 9.52 - 4.76 (3/8"-#4)                                  | 4.29 (0.169")                   |                                |                               |                               |                         |
| Total  |                                 |                                |                               |                               |                         |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ.  
ภาพขั้นตอนการปฏิบัติการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ-1 ปรึกษาและหาพื้นที่หาเศษหินครกที่จะนำมาทดสอบ



รูป ฉ-2 การทดสอบความแข็งแรงของมวลรวมหยาบโดยเครื่องลอสแอนเจลิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ-3 การทดสอบ SIEVE ANALYSIS



รูป ฉ-4 การคัดขนาดของหินด้วยตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ-5 หินที่ค้ำบนตะแกรงต่างขนาด



รูป ฉ-6 เศษตรกหินแกรนิตและหินคลุกที่นำไปใช้ในการทดสอบผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

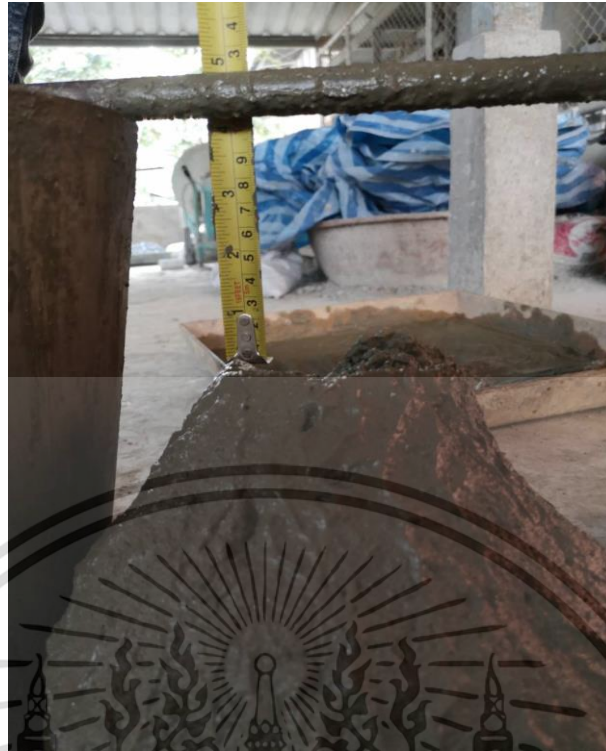


รูป ฉ-7 ชั่งส่วนผสมคอนกรีตตามที่ออกแบบ



รูป ฉ-8 ทำการผสมคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ-9 การทดสอบ SLUMP



รูป ฉ-10 เทคอนกรีตใส่แบบแล้วรอให้แข็งตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ฉ-11 หลังจากทำการป้อนน้ำนาคอนกรีตมาตากแดดให้แห้งสนิท



รูป ฉ-12 ทำการทดสอบแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้จัดทำ

### ประวัติผู้จัดทำ

#### ผู้จัดทำ

นายกรณ์รัฐนิน พลินรัชต์ธนะเดช (ชื่อเล่น : เติร์ก)

เกิดเมื่อ วันที่ 29 พฤษภาคม 2540 ที่อยู่ บ้านเลขที่ 109/5 ถนนพิทักษ์สันติราษฎร์ ตำบลวาริน อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 หมายเลขโทรศัพท์ 086-2553437 Email: [korantthanin@gmail.com](mailto:korantthanin@gmail.com)

#### ประวัติการศึกษา

- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
- กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา (ต่อเนื่อง) ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### ผู้จัดทำ

นายณัฐชา จานเมือง (ชื่อเล่น : เก็ด)

เกิดเมื่อ วันที่ 2 กรกฎาคม 2539 ที่อยู่ บ้านเลขที่ 166 หมู่ 2 ตำบลคู่งพงษ์ อำเภอสันติสุข จังหวัดน่าน 55210 หมายเลขโทรศัพท์ 093-2891466 Email: [ketnutcha1996@gmail.com](mailto:ketnutcha1996@gmail.com)

#### ประวัติการศึกษา

- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคน่าน
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคน่าน
- กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา (ต่อเนื่อง) ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### ผู้จัดทำ

นายธนวัฒน์ ไชยชมภู (ชื่อเล่น : บาส)

เกิดเมื่อ วันที่ 8 เมษายน 2539 ที่อยู่ บ้านเลขที่ 6 หมู่ 6 ตำบลรอบเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57000 หมายเลขโทรศัพท์ 088-2378121 Email: [bassinton@hotmail.com](mailto:bassinton@hotmail.com)

#### ประวัติการศึกษา

- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย
- กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา (ต่อเนื่อง) ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้