

การศึกษาความคุ้มค่าในการใช้ทรายแม่น้ำงาวในผลิตภัณฑ์คอนกรีต



การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง

พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

อาจารย์ที่ปรึกษาและคณบดีวิทยาลัยการศึกษาคณะต่อเนื่อง ได้พิจารณาการศึกษา  
ต้นคว้าด้วยตนเอง เรื่อง “ความคุ้มค่าในการใช้ทรายแม่น้ำงาวในผลิตภัณฑ์คอนกรีต”  
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....  
(รองศาสตราจารย์ รังสรรค์ วงษ์บุญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ นพรัตน์)

คณบดีวิทยาลัยการศึกษาคณะต่อเนื่อง

พฤษภาคม 2556



## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ กิตติพงษ์ วุฒิจำนงค์ และ ดร. ชีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา และ คณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองสำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้ศึกษา ค้นคว้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ เทศบาลตำบลท่าข้าม ศูนย์วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรึกษา และตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า จนทำให้ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สมบูรณ์ และมีคุณค่า

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้ คณะผู้ศึกษาค้นคว้าขออุทิศ แต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน

เจนณรงค์ จันตา



<b>ชื่อเรื่อง</b>	การศึกษาความคุ้มค่าในการใช้ทรายแม่น้ำงาวในผลิตภัณฑ์คอนกรีต
<b>ผู้ศึกษาค้นคว้า</b>	เจนณรงค์ จันตา
<b>ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์ รุ่งสรรค์ วงษ์บุญ
<b>ประเภทสารนิพนธ์</b>	การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วศ.ม. สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง, มหาวิทยาลัยพะเยา, 2555
<b>คำสำคัญ</b>	คอนกรีต, มวลรวมละเอียด, แร่ขี้ต, ทรายแม่น้ำงาว

### บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติของทรายแม่น้ำงาว ตำบลหล้ายางงาว อำเภอเวียงแก่น จังหวัด เชียงราย ทดแทน ทรายแม่น้ำอิง ตำบลเมืองราย อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงรายว่ามีความเหมาะสม และความคุ้มค่าในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตเพียงใด โดยทำการทดสอบ คุณสมบัติเชิงกล และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกล เช่น สัดส่วนมวลรวมละเอียด ความถ่วงจำเพาะมวลรวมละเอียด การดูดซึมน้ำของมวลรวม ละเอียด และกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ 2.58, 2.42, 3.17 และ 241.66 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ จากผลการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาเป็น ส่วนผสมของคอนกรีตได้เป็นไปตามกำลังอัดของคอนกรีตที่ออกแบบไว้ ส่วนการศึกษาความ คุ้มค่า เมื่อเทียบปริมาณคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้ปริมาณทรายจำนวน 0.57 ลูกบาศก์เมตร จากอัตราส่วนคอนกรีตทั่ว ๆ ไป (1: 2: 4) จะทำให้คอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำงาว มีราคาถูกลง 102.56 บาทต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร จึงสรุปได้ว่าการใช้ทรายแม่น้ำงาวใน ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมีความเหมาะสมและคุ้มค่า

**Title** WORTHINESS OF SAND UTILIZATION OF NGAO RIVER AS CONCRETE PRODUCTS

**Author** Jennarong Janta

**Advisor** Associate Professor, Rangson Wongboon

**Academic Paper** Independent Study M. Eng in Construction Administration, University of Phayao, 2012

**Keywords** Concretes, Fine aggregate, Compressive strength, sand of the Ngao River

### ABSTRACT

The purpose of this study aimed to investigate the properties of sand of the Ngao River located in Lai-Ngao Sub-district, Wiang Kaen District, Chiang Rai Province instead of the Ing River located in Meng Rai Sub-district, Phaya Mengrai District, Chiang Rai Province, as well as the worthiness of utilizing the amounts of sand in admixture with concretes experimented by its mechanical properties, and economic worthiness. According to the analysis of its mechanical properties, it was stated that the grain size, specific gravity, and absorption of aggregate, as well as the confined compressive strength of concretes were respectively rated at 2.58, 2.42, 3.17, and 241.66 (kilogram per cubic meter). As a result of this study, those compared with the designed compressive strength of concretes could be adopted with the admixture of concrete. In terms of the worthiness of utilizing the amounts of sand compared with a cubic meter of the property of concrete in mixture with the amount of sand of 0.57 cubic meter, it also revealed that decreases on the price rates of sand-admixed concretes with 102.56 baht per a cubic meter taken from the Ngao River led to the suitability and worthiness of utilizing sand-admixed concretes.

## อักษรย่อ

SSD	= Saturated–Surface–Dry
KSC	= Kilogram per Square Centimeter
F.M.	= Fineness Modulus
ASTM	= American Society for Testing and Materials
BS	= British Standard



## สารบัญ

บทที่	หน้า
<b>1 บทนำ</b> .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย .....	2
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	3
ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย .....	3
<b>2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	4
ประวัติแม่ข่าย.....	4
ทฤษฎี.....	4
ปูนซีเมนต์.....	6
มวลรวม .....	7
น้ำ .....	12
สารผสมเพิ่ม.....	15
คุณสมบัติของคอนกรีต.....	20
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	25
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง .....	25
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	27

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย .....	40
ผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวม .....	40
ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต .....	41
ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต.....	41
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต.....	41
5 บทสรุป .....	44
สรุปผลการวิจัย .....	44
อภิปรายผลการวิจัย.....	45
ข้อเสนอแนะ .....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก .....	49
ภาคผนวก ก .....	50
ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า .....	60

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงคุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต.....	9
2	แสดงขนาดคละของมวลรวม (ASTM C33).....	10
3	แสดงสิ่งเจือปนต่าง ๆ .....	11
4	แสดงขอบเขตและผลกระทบของสิ่งเจือปนในน้ำ .....	14
5	แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ถูกปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโดยสารเพิ่มเติม ประเภทต่าง ๆ .....	17
6	แสดงการทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีต .....	21
7	แสดงองค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถเทได้.....	22
8	แสดงค่าการยุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่าง ๆ .....	23
9	แสดงค่าการยุบตัวสำหรับงานพิเศษบาง .....	23
10	แสดงจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทรายแต่ละชนิด .....	27
11	แสดงส่วนคละที่เหมาะสมในการผสมคอนกรีตของมวลรวม (Grading of combined Aggregate) .....	28
12	แสดงข้อกำหนดน้ำหนักของตัวอย่างมวลรวมหยาบที่ใช้ทดสอบหาส่วนคละ.....	30
13	แสดงวิธีแบ่งสีตามวิธีทดสอบให้ปริมาณตามขนาดมวลรวม.....	34
14	แสดงภาวะสำหรับดวงวัสดุผสม.....	35
15	แสดงน้ำหนักของมวลรวมโดยธรรมชาติโยทั่ว ๆ ไป.....	36
16	แสดงการคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก .....	36
17	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างของมวลรวม .....	40
18	แสดงผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต.....	41
19	แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำงาว ที่ 7 วัน .....	41
20	แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิงที่ 7 วัน.....	41
21	แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำงาวที่ 28 วัน.....	42
22	แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิงที่ 28 วัน.....	42
23	แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของทรายแม่น้ำงาวเปรียบเทียบกับทราย แม่น้ำอิง .....	44

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
24	แสดงรายละเอียดการสรุปผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วย ทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงที่ 7 วัน.....	44
25	แสดงรายละเอียดการสรุปผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วย ทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงที่ 28 วัน .....	45
26	แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบราคาทราย ณ อำเภอเวียงแก่น ของคอนกรีต ที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง.....	46
27	แสดงความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์.....	50
28	แสดงขนาดส่วนคละของหิน .....	50
29	แสดงขนาดส่วนคละทรายแม่น้ำงาว .....	50
30	แสดงขนาดส่วนคละทรายแม่น้ำอิง.....	51
31	แสดงความถ่วงจำเพาะของทรายแม่น้ำงาว .....	51
32	แสดงความถ่วงจำเพาะทราย แม่น้ำอิง.....	52
33	แสดงความถ่วงจำเพาะของหิน.....	52
34	แสดงหน่วยน้ำหนักของหิน.....	53
35	แสดงปริมาณน้ำเพื่อได้ค่ายุบตัวที่ต้องการ .....	53
36	แสดงปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน .....	53

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงกราฟการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตอายุ 7 วัน.....	42
2 แสดงกราฟการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตอายุ 28 วัน .....	43
3 แสดงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต .....	54
4 แสดงอุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต .....	58
5 แสดงตัวอย่างการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต.....	58



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้คอนกรีตถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในงานก่อสร้าง และการนำคอนกรีตมาใช้ในงานก่อสร้างนั้นคุณสมบัติของคอนกรีตถือเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ทำให้คนนิยมใช้งานคอนกรีตมากขึ้น

คุณสมบัติข้อหนึ่งของคอนกรีต คือ เรื่องราคาที่ถูกเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ ทั้งนี้ราคาของคอนกรีตก็ขึ้นอยู่กับราคาของส่วนผสมคอนกรีตได้แก่ ปูนซีเมนต์ วัสดุมวลรวมหยาบ และ วัสดุมวลรวมละเอียดและปัจจัยที่ส่งผลต่อราคาวัสดุ คือ ค่าขนส่ง ในพื้นที่อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแหล่งวัสดุมากจึงทำให้ราคาวัสดุในพื้นที่มีราคาที่สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ในจังหวัดเดียวกันมากซึ่งมีผลทำให้ราคาคอนกรีตสูงขึ้นตามไปด้วย

วัสดุมวลรวมละเอียดที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างคือ ทรายหยาบ โดยส่วนใหญ่ ทรายหยาบจะใช้ในการผสมคอนกรีต สำหรับงานก่อสร้างในพื้นที่อำเภอเวียงแก่นมีระยะทางการขนส่งจากแหล่งวัสดุ (บ่อทรายบ้านเวียงหวาย ตำบลเม็งราย อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย) ถึงที่ว่าการอำเภอเวียงแก่น เป็นระยะทาง 72 กิโลเมตร ทำให้ราคาวัสดุมวลรวมละเอียดมีราคาที่สูงขึ้น และการเลือกใช้ทรายหยาบในการผสมคอนกรีตจึงควรใช้โดยเปรียบเทียบได้จากคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด

จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ทรายจากแม่น้ำาว อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงรายเป็นส่วนผสมคอนกรีตโดยเปรียบเทียบจากคุณสมบัติของคอนกรีตที่ออกแบบกำลังต้านทานแรงอัดเดียวกันและเปรียบเทียบราคาของผลิตภัณฑ์คอนกรีตว่ามีความสามารถทดแทนกันได้อย่างคุ้มค่าหรือไม่

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต และศึกษาความคุ้มค่าในการใช้วัสดุผสมคอนกรีต โดยเปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง บ้านเวียงหวาย ตำบลเม็งราย อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย กับ คอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำาว บ้านห้วยยาว ตำบลห้วยยาว อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย

ความสำคัญของการศึกษา

1. เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยสาขาวิชาบริหารงานก่อสร้าง
2. เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมในการเป็นส่วนผสมคอนกรีต
3. เพื่อทดสอบวัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่มาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต
4. เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตที่คุณสมบัติเดียวกัน
5. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเรื่องคอนกรีตต่อไปในอนาคต

### สมมติฐานของการวิจัย

คอนกรีตที่ผสมด้วยทรายจากแหล่งวัสดุทั้ง 2 แหล่งมีคุณสมบัติในการรับกำลังต้านทานแรงอัดตามที่ออกแบบไว้ และการใช้ทรายจากแม่น้ำาว อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ทำให้ราคาของคอนกรีตถูกลง

### ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้บรรลุตามจุดมุ่งหมายผู้วิจัยจึงได้ทำการกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง
  - 1.1 คอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิง เป็นลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.
  - 1.2 คอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำาว เป็นลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.
2. ตัวแปรที่ต้องการศึกษา
  - 2.1 ตัวแปรต้น
    - 2.1.1 คอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิงกำลังต้านทานแรงอัด 240 กก/ตร.ซม
    - 2.1.2 คอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำาวกำลังต้านทานแรงอัด 240 กก/ตร.ซม.
  - 2.2 ตัวแปรตาม
    - 2.2.1 กำลังอัดที่ 7 และ 28 วัน
    - 2.2.2 ราคารวมของวัสดุผสมคอนกรีต

### ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตรงข้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด
2. การผสมคอนกรีตและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ทำการทดลองศูนย์บริการวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
3. วัสดุผสม

- 3.1 ใช้หินไม่ขนาด ๓/4
- 3.2 ทราวยหยาบจากแหล่งน้ำอิง
- 3.3 ทราวยหยาบแหล่งน้ำางว
- 3.4 น้ำประปา
4. ออกแบบส่วนผสมใช้มาตรฐานประเทศไทย

### นียมคัพทเฉพาะ

1. คอนกรีต (Concrete) หมายถึง วัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาจากการผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์มวลรวมละเอียด หยาบ และน้ำ รวมตัวกันเป็นก้อนแข็งเมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง สามารถรับแรงอัดได้มากตามอายุ (วินิตร ช่อวิเชียร, 2529, หน้า 1)
2. ขนาดคละ (Gradation) หมายถึง การกระจายของขนาดต่าง ๆ ของอนุภาคขนาดคละ ของมวลรวมนับเป็น คุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณเนื้อซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการ นำไปหล่อหุ้มมวลรวม (ชัชวาล เศรษฐบุตตร และคณะ, 2541, หน้า 31)
3. มวลรวมหรือวัสดุผสม หมายถึง วัสดุเฉื่อยอันได้แก่ หิน ทราวย กรวด ที่เป็น ส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตมีปริมาณ 70-80% ของปริมาณส่วนผสม (ชัชวาล เศรษฐบุตตร, 2537, หน้า 25)
4. วัสดุหยาบ หมายถึง วัสดุผสมส่วนให้ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 และอาจมีบางส่วน ที่ละเอียดผสมอยู่บ้าง แต่ไม่เกินปริมาณที่กำหนด (ประมต กุลประสูติ, 2529, หน้า 34)
5. มวลรวมละเอียด หมายถึง ทราวยที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 ม.ม. หรือสามารถ ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07ม.ม.หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 (คอนกรีตเทคโนโลยี, 2539, หน้า 122)
6. แรงอัด หมายถึง แรงที่กระทำจากภายนอกโดยกระจายอย่างสม่ำเสมอเต็ม พื้นที่หน้าตัด ผ่านจุด CENTROIL AXIS พื้นที่หน้าตัดตรงท่อนวัสดุ (เจษฎา สุวรรณ, 2529, หน้า 100)

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา โดยแยกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ประวัติแม่น้ำงาว
2. ทราย
3. ปูนซีเมนต์
4. มวลรวม
5. น้ำ
6. สารผสมเพิ่ม
7. คุณสมบัติของคอนกรีต

#### ประวัติแม่น้ำงาว

แม่น้ำงาว มีต้นกำเนิดอยู่ที่หมู่บ้านเชิงเม็งเดิม ปัจจุบันคือ บ้านราษฎร์กิติ หมู่ที่ 10 และบ้านประชาภักดี หมู่ที่ 25 ตำบลตบเต่า อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเรียกกันว่า ต้นน้ำงาว – งาว โดยน้ำที่ไหลลงมาทางทิศใต้คือน้ำงาว ส่วนน้ำที่ไหลลงมาทางทิศเหนือคือน้ำางาว เป็นแม่น้ำสายใหญ่ ที่ไหลผ่านพื้นที่ทั้งอำเภอเวียงแก่น มีแม่น้ำสาขาที่ไหลมารวมกัน มากถึง 12 สายคือ น้ำห้วยหวน น้ำห้วยจะยีน น้ำห้วยหัด น้ำห้วยหอม น้ำห้วยปอ ห้วยกูก ในเขตพื้นที่ตำบลปอ และน้ำางว น้ำห้วยसान น้ำห้วยชวาก น้ำห้วยด้ว น้ำห้วยงอน น้ำห้วยโป่ง ในเขตพื้นที่ตำบลท่าข้าม น้ำห้วยบง ในพื้นที่ตำบลหล้าางวาลงสู่แม่น้ำโขงที่บ้านท่าข้าม ตำบลหล้าางวาวรวมระยะทาง 47.6 กิโลเมตร

#### ทราย

##### ประเภทของทรายก่อสร้าง

1. **ทรายแม่น้ำ (River Sand)** คือ ทรายที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแส น้ำ ซึ่งทรายละเอียดนั้นจะถูกกระแสน้ำพัดพามารวมกันอยู่ที่ท้ายน้ำเป็นทรายที่มีความสะอาด ทรายชนิดนี้เกิดจากที่ราบลุ่มบริเวณแม่น้ำ ลักษณะของเม็ดทราย จะมีลักษณะเม็ดกลมมน เพราะเกิดจากการความเร็วของกระแสน้ำที่พัดพา ทรายชนิดนี้จะเหมาะกับการถมมาก เพราะ

ความกลมมนของเม็ดทรายนั่นเอง

**2. ทรายบ่อ (Pit Sand)** คือ ทรายที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันของลำน้ำเก่า ซึ่งเปลี่ยนเป็นดินโดยมีซากพืชซากสัตว์ทับถมเป็นหน้าดินซึ่งอาจอยู่ลึกประมาณ 2 - 10 เมตร เราอาจจะเคยได้ยินเขาพูดกันบ่อย ๆ ว่า "บ่อทราย" มันก็คือ การขุดทรายขึ้นมาจากชั้นของดิน ทรายที่อยู่ใต้ดิน เม็ดทรายจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม แหลมนคม ซึ่งจะผิแตกต่างจากทรายแม่น้ำเป็นอย่างมาก ดังนั้นทรายชนิดนี้จึงเหมาะกับการนำไปผสมคอนกรีตเป็นอย่างดี

แล้วทำไมถึงเหมาะกับการผสมคอนกรีตก็เนื่องจากว่า ทรายชนิดนี้เมื่อนำไปผสมคอนกรีตแล้ว จะสามารถแทรกตัวตามช่องว่างของเนื้อคอนกรีตได้ดี อันเนื่องมาจากลักษณะของเม็ดทราย จึงทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดีขึ้นด้วย

### วิธีการผลิตทรายก่อสร้าง

**1. ทรายแม่น้ำ** การนำขึ้นมาใช้นั้นจะใช้เรือดูด ดูดทรายขึ้นมาตามท่อแล้วทิ้งทรายลงบนตะแกรงของเรืออีกลำเพื่อแยกกรวดที่มีขนาดใหญ่ออกก่อน เมื่อเรือมาถึงท่าก็จะเปิดท้องเรือเพื่อทิ้งทรายลงไปแม่น้ำอีกครั้ง (ถ้าท้องเรือไม่สามารถเปิดได้ก็จะต้องใช้สายพานลำเลียงลงแม่น้ำ) หลังจากนั้นก็จะใช้เรือดูดทรายอีกครั้งหนึ่ง โดยผ่านตะแกรงเพื่อคัดแยกทรายหยาบกับทรายละเอียด หลังจากนั้นจึงใช้สายพานลำเลียงขนทรายไปยังที่เก็บหรือกองไว้เพื่อรอขนส่งออกไป

**2. ทรายบ่อ** กระบวนการผลิตทรายบ่อแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

**2.1** ผลิตโดยใช้วิธีแบบดั้งเดิม โดยการเปิดหน้าดินด้วยรถตักดินจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่แล้วจึงนำเรือมาดูด หรือใช้รถตักทรายขึ้นมาผ่านตะแกรงเพื่อแยกกรวดออก

**2.2** การใช้เครื่องจักรในการผลิตทราย โดยอาศัยการเปิดหน้าดินเหมือนวิธีแรก หลังจากนั้นจะผ่านขั้นตอนและเครื่องจักรต่าง ๆ ได้แก่

2.2.1 เรือดูดทราย ลำเลียงผ่านสายพานไปยัง Feedbox

2.2.2 Feedbox อยู่ส่วนบนสุดของเครื่องจักร ทำหน้าที่คัดแยกหินและราก ไม้

2.2.3 ตะแกรงร่อน ทำหน้าที่คัดทรายขนาดใหญ่เกินไปทิ้งไปก่อน

2.2.4 Classifying Tank รับทรายจากตะแกรงร่อนเพื่อทำหน้าที่คัดแยกขนาด และทำความสะอาดทราย โดยการใช้หลักการพัดพาของทรายที่ปนไปกับน้ำ โดยทรายขนาดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าทรายขนาดเล็ก มีทั้งหมด 11 สถานี ซึ่งแต่ละสถานีจะมีขนาดทรายที่แตกต่างกัน

2.2.5 ระบบควบคุม ทำหน้าที่แยกและผสมทรายในขนาดต่าง ๆ เพื่อให้ได้

คุณสมบัติทรายตามที่ต้องการ

2.2.6 Screw Washer ทำหน้าที่ทำความสะอาดทรายอีกครั้งหนึ่ง และลดความชื้นของทรายให้ได้ต่ำกว่า 20% หลังจากนั้นจึงส่งไปตามสายพานเพื่อนำไปกองไว้ใช้งานต่อไป

ความแตกต่างระหว่างทั้งสองวิธีคือ วิธีแบบดั้งเดิมจะได้ทรายที่ไม่สะอาดนัก ไม่เหมาะจะนำไปใช้งาน แต่ก็ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ ส่วนของการใช้เครื่องจักรนั้นจะทำให้ได้ทรายที่สะอาด และควบคุมคุณภาพทรายได้ซึ่งนอกจากจะผลิตทรายสำหรับผสมคอนกรีตแล้วยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระเบื้องและกระจกได้ด้วย แต่เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และระบบที่ซับซ้อนจึงทำให้ทรายมีราคาสูง

## ปูนซีเมนต์

### ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกา (ASTM C 150) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

**ประเภทหนึ่ง** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพเป็นพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศที่รุนแรงหรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นที่อันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว

**ประเภทสอง** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนา ๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงสูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

**ประเภทสาม** ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (high-early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรกเร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง มีเนื้อผงละเอียดกว่าเนื้อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตโดยการเปลี่ยนสัดส่วนผสม (เพิ่มสาร C3S และลด C2S) หรือโดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็ว

หรือรีบบรรเทา เช่น เสาค้ำคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะกับการทำคอนกรีตในอากาศหนาว คอนกรีตที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ประเภทนี้เพียง 3 วัน มีกำลังเท่ากับคอนกรีตธรรมดาที่หล่อไว้แล้ว 28 วัน ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ตราเอราวิณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

**ประเภทสี่** ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ อัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างช้า ๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะก่อตัวและแข็งตัว

**ประเภทห้า** ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate - resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ (มี C3A ต่ำสุด) สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่ที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำ หรือดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีระยะเวลาแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า ตราปลาฉลาม

## มวลรวม

**มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate)** คือ วัสดุเฉื่อย ได้แก่ หิน ทราย กรวด ที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมมีปริมาตร 70 - 80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่น่าจะเป็นที่สงสัยเลยว่า ทำไมคุณภาพของมวลรวมจึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้ความสนใจในเรื่องนี้อย่างมาก

ในอดีตมวลรวมถูกคิดว่าเป็นวัสดุเฉื่อยที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้น ในปัจจุบันนี้พบว่า มวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีก ประการแรกเนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีรูปร่างราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้น ในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้ปริมาณ ปูนซีเมนต์ลดน้อยลง ประการต่อมาคุณสมบัติของมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีตด้วยกำลัง และคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้น การใช้มวลรวมที่เหมาะสมไม่เพียงเป็นการประหยัดแต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนทานสูง ควรจะมีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้ คือ มีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในซีเมนต์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต และมวลรวมจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลัง

และความคงตัวของซีเมนต์เฟสค์

### ประเภทของมวลรวม

เราสามารถแบ่งมวลรวมตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) เกิดจากการกัดกร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ

2. มวลรวมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial Aggregate) เช่น มวลรวมบางประเภทที่ได้จากการเผาหิน เป็นต้น

ถ้าแบ่งมวลรวมตามความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักจะแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

1. มวลรวมเบา (Light Weight Aggregate) มีความหนาแน่น ตั้งแต่ 300 – 1100 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2. มวลรวมปกติ (Normal Weight Aggregate) มีความหนาแน่น ตั้งแต่ 2400 – 3000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

3. มวลรวมหนัก (Heavy Weight Aggregate) ได้แก่ ทรายที่มีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มม. หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

4. ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียด ซึ่งมีอยู่จำนวนมากในส่วนผสมคอนกรีตสามารถแบ่งได้เป็น

4.1 Silt จะมีขนาดประมาณ 0.07 มิลลิเมตร

4.2 Clay จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.02 – 0.06 มิลลิเมตร

### คุณสมบัติทั่วไป

มวลรวมที่ดีเมื่อผสมคอนกรีตแล้ว จะต้องทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถในการเทได้ง่าย แข็งแรงทนทาน และราคาประหยัด นอกจากนี้มวลรวมควรจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

#### 1. ความแข็งแรง (Strength)

มวลรวมควรมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือจะรับแรงกดได้ 700 – 3500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้

#### 2. ความต้านทานการกระแทกและการขัดสี (Impact and Ablation Resistant)

ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทก และการเสียดสีของมวลรวมมักจะถูกใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพของมวลรวม คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตที่จะต้องถูกกระทำจากการกระแทกหรือขัดสี เช่น งานผิวถนน, พื้นโรงงาน, พื้นสนามบิน เป็นต้น ดังนี้ มวลรวมที่ใช้ได้ดีควรมีความแข็งแรง เนื้อแน่น ปราศจากอนุภาคที่มี

ความอ่อนนุ่มหรือเป็นพรุนหรือแตกละเอียดได้ง่าย

### 3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkalis) ในปูนซีเมนต์ เกิดเป็นวัฏ การขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าวโดยทั่วไปในคอนกรีต ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Alkalis Aggregate Reaction (AAR)

### 4. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture)

รูปร่างและลักษณะผิว ของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด มากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบ หรือมีรูปร่างแบนและยาว จะต้องการปริมาณซีเมนต์ผสมมากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยมที่ระดับ สามารถเทได้เดียวกัน

### 5. ส่วนคละ

ส่วนคละของมวลรวมจะมีผลต่อความสามารถเทได้และปริมาณส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ในคอนกรีต การทำคอนกรีตที่ดีนั้น แต่ละก้อนของมวลรวมนั้นต้องห่อหุ้ม ซีเมนต์เพลสต์ไม่ว่ามวลรวมนั้นจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้มวลรวมหยาบ และ มวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมเมื่อนำมาผสมรวมกันแล้ว มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า จะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างก้อนของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าให้มากที่สุด ซึ่งจะมีผล ทำให้ประหยัดซีเมนต์เพลสต์ที่จะใช้ยึดมวลรวมเข้าด้วยกัน รวมทั้งอุดช่องว่างระหว่างมวลรวม ดังนั้นการใช้มวลรวมที่มีขนาดคละที่เหมาะสมจึงทำให้ลดปริมาณซีเมนต์เพลสต์ลง ทำให้ประหยัด ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ได้

### คุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

คุณสมบัติของมวลรวมจะส่งผลถึงคุณสมบัติของคอนกรีตดังแสดงในตาราง

ตาราง 1 แสดงคุณสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีต	คุณสมบัติของมวลรวมที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์
ความทนทาน การต้านทานต่อ Frizzing และ Thawing	- Soundness, ความพรุน, โครงสร้างของรูพรุนในเนื้อรวม, การซึมผ่านของน้ำ, ปริมาณการอัดตัว, การรับดึง, ลักษณะและ โครงสร้างของผิว, สิ่งเจือปน
การต้านทาน wetting และ Drying	- โครงสร้างของรูพรุนในเนื้อมวลรวม, โมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

### ตาราง 1 (ต่อ)

คุณสมบัติของคอนกรีต	คุณสมบัติของมวลรวมที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์
การต้านทานต่อ Heating และ Cooling	- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน
การต้านทานต่อการสึกกร่อน	- ความแข็งแรง
การทำปฏิกิริยากับ Alkali ในคอนกรีต	- ปริมาณของ Siliceous ที่เป็นส่วนประกอบ
กำลัง	- กำลัง, ลักษณะผิว, ความสะอาด, รูปร่างขนาดใหญ่สุด
Shinkage และ Creep	- โมดูลัสยืดหยุ่น, รูปร่างของมวลรวม, ขนาดคละ, ความสะอาด, ขนาดใหญ่สุดและสิ่งเจือปน
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อน	- สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อถูกความร้อน, โมดูลัสยืดหยุ่น
การนำความร้อน	- การนำความร้อน
ความร้อนจำเพาะ	- ความร้อนจำเพาะ
หน่วยน้ำหนัก	- ความถ่วงจำเพาะ, รูปร่าง, ส่วนคละขนาดใหญ่สุด
โมดูลัสยืดหยุ่น	- โมดูลัสยืดหยุ่น, Poisson Ratio
การสิ้นของผิวหน้า	- แนวโน้มการขัดมันของผิวหิน
การประหยัด	- รูปร่าง, ส่วนคละ, ขนาดใหญ่สุด, จำนวนชั้นตอนการผลิต, การยากง่ายในการหามวลรวม

ข้อกำหนดคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของมวลรวมสำหรับผลิตคอนกรีต

### ตาราง 2 แสดงขนาดคละของมวลรวม (ASTM C33)

มวลรวมละเอียด		มวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุด 1"		ขนาดใหญ่สุด 3/4 "
ขนาดตะแกรง	% ผ่าน	ขนาดตะแกรง	% ผ่าน	% ผ่าน
3/8 "	100	1½"	-	-
เบอร์ 4	95-100	1"	100	100
8	80-100	¾"	95-100	90-100
16	50-85	½"	-	-
30	25-60	3/8"	20-55	20-55
50	10-30	เบอร์ 4	0-10	0-10
100	2-10	เบอร์ 8	0-5	0-5

**ตาราง 3 แสดงสิ่งเจือปนต่าง ๆ**

สิ่งเจือปน	ผลต่อคอนกรีต	ข้อกำหนดสูงสุด (% โดยน้ำหนัก)	
		มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ
วัสดุที่ขนาดเล็กกว่า 75 $\mu\text{m}$ หรือตะแกรงเบอร์ 200	กระทบต่อความสามารถ เทได้ต้องเพิ่มน้ำใน		
-มวลผสมคอนกรีตสำหรับ งานทนการขัดสี	ส่วนผสม	3	1
- มวลผสมคอนกรีตทั่วไป		5	1
ก้อนหินและวัสดุเปราะต่าง ๆ	ผลกระทบต่อการเทและ การต้านทานการขัดสี	3	5
ถ่านหินลิกไนท์	ผลกระทบต่อความ ทนทานและการก่อให้เกิด รอยเปื้อนบนผิว	0.5-1	0.5
Chert (ที่ ถ.พ น้อยกว่า 2.4)	ผลกระทบต่อความ ทนทาน	-	5

#### ความสามารถต้านทานความเสียดสี

ทดสอบโดยเครื่องทดสอบลอสแอนเจลีส แล้วส่วนที่แตกออกต้องไม่เกิน 50%

#### การอยู่ตัว (Soundness)

การทดสอบการอยู่ตัวของมวลรวมเป็นการทดสอบการต้านทานการสลายตัวของมวลรวมในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต แต่โดยทั่วไปจะทดสอบในแมกนีเซียมซัลเฟต โดยแช่จำนวน 5 รอบ แล้วน้ำจะต้องสูญเสียบไปไม่เกิน 18%

#### สารอินทรีย์ที่เจือปนในมวลรวมละเอียด

การทดสอบโดยการแช่ทรายไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3% แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นเปรียบสีของสารละลายที่ได้จากแผ่นกระจกสีมาตรฐาน ถ้าสีที่ได้เข้มกว่าสีมาตรฐานเบอร์ 3 จะถือว่าทรายนั้นมีสารอินทรีย์ปนอยู่มาก ถ้าต้องใช้ผสมคอนกรีตจะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างอื่นประกอบด้วย

## น้ำ

### ความสำคัญของน้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ คือ

1. ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันรวมทั้งทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้

2. ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มมากขึ้น

3. ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

เราต้องการน้ำที่มีคุณภาพดี และปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีต กฎเกณฑ์ทั่วไปที่จะใช้น้ำผสมคอนกรีต คือ น้ำที่ดื่มได้นับว่าเป็นน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตได้เสมอ ส่วนปริมาณน้ำผสม นอกจากจะมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตเหลวแล้วยังมีผลต่อกำลังและความทนทานของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วย

### สิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนถ้าในน้ำที่มีสิ่งเจือปนอยู่มากเกินกว่าระดับหนึ่งอาจก่อปัญหาทางด้านคุณภาพ ได้แก่

1. กำลังและความทนทานของคอนกรีตลดลง
2. เวลาการก่อตัวเปลี่ยนแปลงไป
3. คอนกรีตเกิดการหดตัวมากกว่าปกติ
4. อาจมีการละลายสารประกอบในคอนกรีตออกมาแข็งตัวบนผิวคอนกรีต

(Efflorescence) สิ่งเจือปนที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีตมี 3 ประเภท คือ ตะกอน, สารละลายอนินทรีย์ และสารละลายอินทรีย์ หากมีสิ่งเหล่านี้ปริมาณน้อยก็อาจไม่ส่งผลร้ายแรง

หากมีปริมาณเกินกว่า 2000 ส่วนต่อล้าน (PPM.) อาจทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำมากกว่าปกติ การหดตัวของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น หรือทำให้เกิดซึ่เกลือบริเวณผิวของคอนกรีต (Efflorescence) ดังนั้น ถ้าน้ำที่ใช้ชุ่มมากควรปล่อยให้ตกตะกอนเสียก่อน แต่ตะกอนของเหล็กหรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ มักไม่ยอมตกตะกอน และในระหว่างการผสมคอนกรีต สารอนินทรีย์เหล่านี้จะเริ่มละลายตัว ผลก็คือ ซีเมนต์จะก่อและแข็งตัวช้านอกจากนี้ยังทำให้เกิดฟองอากาศ ปริมาณมากจนกำลังของคอนกรีตลดลงหรือในทางตรงกันข้าม บางครั้งอาจมีผลกระทบกระเทือนต่อการทำงานของสารกักกระจายฟองอากาศ

### สารละลายอินทรีย์

ตามปกติเราสามารถใช้น้ำที่มีสารละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 2000 ส่วนต่อล้านได้อย่างปลอดภัย ยกเว้นสารละลายบางอย่างเช่น โซเดียมซัลไฟด์เพียง 100 ส่วนต่อล้านอาจก่อปัญหาได้ ในทางตรงกันข้ามเราสามารถใช้น้ำทะเลที่มีเกลือละลายอยู่ถึง 35,000 ส่วนต่อล้าน (3.5%) ทำคอนกรีตได้หากมีการระมัดระวังอย่างเต็มที่ ในบางครั้งเรายังใช้สารละลายเป็นสารผสมเพิ่ม เช่น แคลเซียมคลอไรด์ซึ่งเป็นการเร่งการก่อตัวของสารละลายคาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนตหรือซัลไฟด์มากเกินไป อาจทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้

สารละลายของเกลืออินทรีย์บางชนิด อาจทำให้การก่อตัวและแข็งตัวของมวล เช่น เกลือของสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และดีบุก เช่นเดียวกับซัลเฟต อาร์ซีเนตและบอเรตส์ เราสามารถอนุมูลความเข้มข้นของสารละลายเหล่านี้ได้ถึง 500 ส่วนต่อล้าน สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงในระดับดังกล่าวจะพบได้ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งไม่ได้ผ่านระบบกำจัดสิ่งสกปรกหรือน้ำที่ซึมออกจากเหมืองแร่

เราสามารถใช้น้ำ ที่มีกรดโดยไม่มีผลเสียต่อคอนกรีต และหากระดับน้ำ PH ของน้ำอยู่ต่ำถึง 3.0 ก็มักก่อให้เกิดปัญหา น้ำที่มีความเป็นด่างสูงเช่น ปริมาณโซเดียมหรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เกิน 500 ส่วนต่อล้าน อาจก่อให้เกิดปัญหาการก่อตัวอย่างรวดเร็ว และกำลังคอนกรีตลดลง

### สารละลายอินทรีย์

สารละลายอินทรีย์ทำให้มีสี และให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ช้าลง สารประกอบหลายชนิดในน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมมักมีผลเสียต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน หรือก่อให้เกิดฟองอากาศในปริมาณที่สูงตามปกติจึงต้องระมัดระวังการใช้น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมยกเว้นน้ำที่ได้ผ่านการกำจัดจากโรงบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจะลดสารละลายอินทรีย์ลงในระดับที่ปลอดภัย

#### วิธีสังเกตง่าย ๆ ว่าน้ำนั้นใช้ผสมคอนกรีตได้หรือไม่ มีดังนี้

1. **ความสะอาด** น้ำต้องไม่มีสารเน่าเปื่อย ปฏิกูล หรือตะไคร่น้ำ
2. **สี** น้ำต้องใส ถ้ามีสีแสดงว่ามีสารแขวนลอยต่าง ๆ
3. **กลิ่น** น้ำต้องไม่มีกลิ่นเน่า ถ้ามีกลิ่นมักจะมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก
4. **รส** น้ำต้องไม่มีรส ถ้ามีรสกร่อยหรือเค็ม แสดงว่ามีเกลือแร่อยู่มาก ถ้ามีรสเปรี้ยว แสดงว่าเป็นกรด ถ้ามีรสฝาดแสดงว่าเป็นด่าง แต่โดยทั่วไปความเป็นกรดหรือด่างของน้ำมักไม่มากนักสามารถชิมรสแล้วรู้

### ข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต

ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับน้ำผสมคอนกรีตจะต้องมีขอบเขตระดับความเข้มข้นไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

1. ปริมาณของแข็งไม่มากกว่า 2,000 ppm.
2. ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6-8
3. ปริมาณซัลเฟตไม่มากกว่า 1,000 ppm.
4. ปริมาณคลอไรด์ไม่มากกว่า 500 ppm.

นอกจากนี้ยังมีขอบเขตความเข้มข้นของสิ่งเจือปนโดยละเอียดดังตารางที่ 4

**ตาราง 4 แสดงขอบเขตและผลกระทบของสิ่งเจือปนในน้ำ**

สิ่งเจือปน	ความเข้มข้นสูง (ppm.)	ผลกระทบ/ตัวอย่าง
ตะกอน	2,000	- ตะกอนดินเหนียว สารอินทรีย์
เหล็ก	500-1,000	- เพิ่มฟองอากาศ
เกลือคาร์บอเนต	1,000	- ลดเวลาการก่อตัว
เกลือโบคาร์บอเนต	400-1,000	- 400 ส่วนต่อล้านส่วนสำหรับเกลือโบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม
โซเดียมซัลเฟต	10,000	- อาจเพิ่มระยะแรกแต่ลดกำลังระยะยาว
แมกนีเซียมซัลเฟต	40,000	
โซเดียมคลอไรด์	20,000	- ลดเวลาการก่อตัว
แคลเซียมคลอไรด์	50,000	- เพิ่มกำลังระยะแรก
แมกนีเซียมคลอไรด์	40,000	- ลดกำลังสูงสุด
เกลือของเหล็ก	40,000	- การก่อตัว
ฟอสเฟต, อาร์ซีเนต, โบเรต	500	
เกลือของสังกะสี ทองแดง	500	
ตะกั่ว	10,000	- PH ไม่ต่ำกว่า 3.0
แมงกานีส และดีบุก	500	
กรดอินทรีย์	100	
โซเดียมไฮดรอกไซด์	500	
โซเดียมซัลไฟด์	-	- ควรหล่อคอนกรีตทดสอบ
น้ำตาล	-	- ผลต่อการก่อตัว

### คุณภาพน้ำที่ใช้ล้างมวลรวมและบ่มคอนกรีต

น้ำสำหรับล้างคอนกรีต ควรมีความสมบัติเหมือนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต เพราะน้ำจะเคลือบอยู่บนผิวของมวลรวมและสามารถเข้าไปทำอันตรายต่อคอนกรีตเหมือนกับน้ำที่ใช้ผสม ข้อที่ควรระวัง คือ ต้องคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างมวลรวมอยู่เสมอ เพราะในเมื่อล้างในช่วงหนึ่ง น้ำจะขุ่นการใช้ต่อไปอาจไม่ก่อให้เกิดผลดีอย่างไร กลับอาจให้เกิดความสกปรกเพิ่มขึ้น

ส่วนน้ำสำหรับบ่มคอนกรีต ไม่ควรมีสิ่งเจือปนที่ทำปฏิกิริยาต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่น สารพวกซัลเฟตหรือสารที่ทำให้เกิดคราบสกปรกอันส่งผลให้ผิวคอนกรีตเกิดรอยเปื้อนหรือเป็นตัวการทำให้อายุการใช้งานคอนกรีตได้ไม่ดีและหลุดร่อนในภายหลัง

### สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete Admixture) หมายถึง สารใด ๆ นอกเหนือไปจากน้ำ ปูนซีเมนต์ หิน และทราย อันใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตไม่ว่าจะก่อนหรือกำลังผสม เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตขณะยังเหลวอยู่ หรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพของวัสดุ สิ่งแวดล้อม และสภาพการทำงาน วัตถุประสงค์ทั่วไปของการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตก็คือ ปรับปรุงความสามารถให้ได้ แรงหรือหน่วยเวลาการก่อตัว ควบคุมหรือดัดแปลงการพัฒนา กำลังอัด ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน การทนต่อการกัดและซัลเฟต เป็นต้น หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่พึงระลึกไว้เสมอว่า สารผสมเพิ่มมิได้มีส่วนช่วยแก้ไขคอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่ดีหรือการปฏิบัติงานที่ไม่ถูกต้อง

ในปัจจุบันได้มีการขยายการใช้สารผสมเพิ่มไปทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษ กล่าวคือ ใช้ปูนซีเมนต์ทั่ว ๆ ไปผสมกับสารเพิ่มที่เหมาะสม ซึ่งจะปรับปรุงหรือเปลี่ยนคุณสมบัติของคอนกรีตบางประการได้ สารผสมเพิ่มที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นของเหลวแต่บางชนิดเป็นผงซึ่งแตกต่างกันตามวัสดุพื้นฐาน วัสดุเหล่านี้จะต้องไม่ทำลายคุณภาพของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารที่เป็นส่วนประกอบของซีเมนต์ แร่ธาตุในมวลรวมและต่อเหล็กเสริม ดังนั้น ก่อนที่จะใช้น้ำยาผสมคอนกรีตควรมีการศึกษาข้อจำกัดในการใช้งาน การตรวจสอบคุณภาพและทดสอบประสิทธิภาพ รวมทั้งควรใช้ใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลเสียได้

### ประเภทของสารเพิ่ม

สารผสมเพิ่มที่ผลิตออกจำหน่ายทั่ว ๆ ไป มีหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 4 กลุ่ม คือ

1. สารกักกระจายฟองอากาศ (Air – Entraining Agent) ใช้เพื่อเพิ่มความทนทาน กรณีที่คอนกรีตต้องสัมผัสกับสภาพที่เย็นจัด เช่น ในพื้นที่ห้องเย็น หรือในบริเวณที่มีหิมะปกคลุม บางช่วงเวลา และสารผสมเพิ่มนี้ยังปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว
2. สารเคมีผสมคอนกรีต (Chemical Admixture) เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น เพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสม ควบคุมการก่อตัวและการแข็งตัวหรือปรับปรุงความสามารถ ในการใช้งานของคอนกรีตเหลว เป็นต้น
3. สารประกอบแร่ธาตุเพิ่ม (Mineral Admixture) มีลักษณะเป็นผงละเอียดใช้ปรับปรุงความสามารถในการใช้งาน เพิ่มความคงทน ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการเกาะตัวดีขึ้น และยังสามารถใช้ทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ได้บางส่วน
4. สารผสมเพิ่มอื่น ๆ ได้แก่ สารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ไม่จำกัดอยู่ใน 3 ประเภทแรก ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างเท่านั้น

### การใช้สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มได้เข้ามามีบทบาทอย่างรวดเร็วในวงการก่อสร้าง ประเทศที่เจริญแล้ว ได้มีการนำสารผสมเพิ่มมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตกันอย่างมาก ตัวอย่าง เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้คอนกรีตที่ใส่สารผสมเพิ่มถึง 90% ในออสเตรเลีย ญี่ปุ่นและเยอรมัน มียอดการใช้ 8.0%, 8.0% และ 60% ตามลำดับ ส่วนในประเทศไทยวงการก่อสร้าง เพิ่งตื่นตัวเรื่องการใช้สารผสมเพิ่มอย่างจริงจังในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ทำให้ยอดคอนกรีตที่ผสมสารเพิ่มยังมีปริมาณไม่มาก แต่ยอดปริมาณการใช้ในปัจจุบันได้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมาก ก็ด้วยเหตุผลที่สำคัญก็คือ คอนกรีตที่ใส่สารผสมเพิ่มจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการทำงานมาก คือ คอนกรีตจะมีความสามารถเทได้หรือเหลวอยู่นานกว่าคอนกรีตทั่ว ๆ ไป ทำให้สะดวกทั้งด้านการลำเลียงและการทำให้คอนกรีตอัดแน่นในแบบ ซึ่งส่งผลดีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลงด้วย สิ่งสำคัญที่พึงระลึกไว้เสมอคือ สารผสมเพิ่มไม่สามารถช่วยแก้ไขคอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่ดี หรือการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง หากแต่ใช้เมื่อไม่สามารถปรับปรุงคอนกรีตด้วยการปรับปรุงส่วนผสม

ตาราง 5 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ถูกปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโดยสารเพิ่มเติมประเภทต่าง ๆ

คุณสมบัติที่ต้องการ	ประเภทของสารเพิ่มเติม					
	สารลดน้ำ	สารเร่ง	สารหน่วง	สารลดน้ำจำนวนมาก	สารกักฟองอากาศ	อื่น ๆ
การก่อตัวและการแข็งตัว	**	*		*		
- เร่งอัตราการพัฒนากำลังอัดช่วงต้น		*				
- เร่งการก่อตัว						
- หน่วงการก่อตัว			*			
ความสามารถเทได้และคุณสมบัติของคอนกรีตเหลวอื่นๆ						
- เพิ่มความสามารถเทได้โดยกำลังอัดไม่สูญเสียไป	*			*		
- ลดอุณหภูมิจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	**		**	**		
- ลดการเอื่อม					*	*
- ลดการแยกตัว					*	*
- เพิ่มความสามารถปั๊มได้				**	*	*
คอนกรีตแข็งตัวแล้ว						
- เพิ่มกำลังโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณซีเมนต์	*			*		
- ปรับปรุงความคงทน						
- ปรับปรุงความสามารถต้านทานการซึมผ่านของน้ำ	**			*	*	
- ปรับปรุงแรงยึดระหว่างแรงคอนกรีต	*			*	**	*

หมายเหตุ: \* ผลทางตรง, \*\* ผลทางอ้อม

### ข้อระวังในการใช้งาน

ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อใช้สารผสมเพิ่มมักเนื่องมาจากความไม่เข้าใจว่าสารผสมเพิ่มชนิดหนึ่ง ๆ มีผลต่อคอนกรีตอย่างไรบ้าง ข้อพึงระมัดระวังที่ผู้ใช้ควรยึดปฏิบัติ คือ

1. สารผสมเพิ่มที่จะนำมาใช้ควรมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน เช่น ของประเทศไทย ควรเป็นไปตาม มอก.733 - 2530 “สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต” รวมทั้งต้องมีข้อมูลเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

- 1.1 ผลของสารผสมเพิ่มคอนกรีต
- 1.2 อิทธิพลอื่น ๆ ที่สารผสมเพิ่มมีต่อคอนกรีตไม่ว่าจะเป็นทางที่เป็นประโยชน์หรือผลเสีย
- 1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของสารเพิ่ม
- 1.4 ความเข้มข้นของส่วนประกอบที่สำคัญ
- 1.5 ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่อาจมีผลเสียต่อคอนกรีต เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต ซัลไฟด์ ฟอสเฟต น้ำตาล ไนเตรต และแอมโมเนีย
- 1.6 PH
- 1.7 ผลเสียต่อผู้ใช้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว
- 1.8 วิธีการเก็บและอายุการใช้งาน
- 1.9 การเตรียมและวิธีการผสมเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีต
- 1.10 ปริมาณที่ควรใช้ ปริมาณสูงสุดที่อาจใช้ได้ และข้อเสียที่เกิดจากการใช้เกินปริมาณกำหนด

2. ควรใช้สารผสมเพิ่มในปริมาณที่ผู้ผลิตแนะนำ พร้อมกับตรวจสอบผลว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบควรทำในสภาวะของการใช้งาน เพราะผลอันแท้จริงของสารผสมเพิ่มต่อคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ คือ ชนิดของซีเมนต์ คุณสมบัติของมวลรวมและสารไม่บริสุทธิ์ที่มีอยู่ ส่วนผสม วิธีและระยะเวลาการผสม ช่วงเวลาที่ใส่สารผสมเพิ่ม อุณหภูมิของคอนกรีตและสภาพการบ่ม

3. ควรใช้วิธีการวัดสารผสมเพิ่มที่แน่นอน ซึ่งสำคัญมากในกรณีของสารกักกระจายฟองอากาศและสารผสมเพิ่มเคมี ทั้งนี้เพราะสารที่ผสมมักมีปริมาณที่ต่ำกว่า 0.1% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ดังนั้นหากมีการผสมเกินปริมาณที่กำหนดอาจก่อให้เกิดผลเสียอย่างมาก

4. ผลของสารเพิ่มต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีต สารผสมเพิ่มทั่ว ๆ ไปมักมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตหลาย ๆ อย่างพร้อมกัน

## สารผสมเพิ่มอื่น ๆ

สารผสมเพิ่มประเภทนี้ ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในงานจำเพาะเจาะจงบางอย่าง เช่น

### 1. สารป้องกันซึม

ใช้ป้องกันการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่มีรูพรุนมาก ส่วนใหญ่ทำมาจากวัสดุประเภทสบูหรือน้ำมัน

### 2. สารกันความชื้น

เป็นพวกกรดไขมันหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม อาจทำให้น้ำไม่จับที่ผิวคอนกรีต แต่จะไม่สามารถทนน้ำที่มีแรงดันมากได้

### 3. สารช่วยให้ปั๊มง่าย

ช่วยให้คอนกรีตยึดเกาะตัวกัน เคลื่อนผ่านท่อปั๊มไปได้ ถึงแม้ว่าคอนกรีตนั้นจะมีปริมาณซีเมนต์ต่ำ

### 4. สารอุดประสานหรือสารกรอกฉืด

ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อการอัดฉีดเข้าไปในซอกหรือบริเวณแคบ ๆ โดยป้องกันการแยกตัว การเยิ้ม รวมทั้งเพิ่มการยึดเกาะเพื่อให้ปั๊มได้สะดวก เหมาะที่จะนำไปใช้กับงาน Stabilize ฐานราก อุดรอยร้าวหรือรอยต่อในงานคอนกรีต อุดช่องว่างในงานคอนกรีตอัดแรง ระบบ Bonding เป็นต้น

### 5. สารเพิ่มการขยายตัว

มีสารเคมีหลัก คือ Calcium Sulpho-Aluminate จะทำให้ซีเมนต์ธรรมดาเป็นซีเมนต์แบบขยายตัวเพื่อใช้ทดแทนการหดตัวของคอนกรีตในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป

### 6. สารลดการกัดกร่อนเหล็กเสริม

เป็นเกลือของสารเคมีที่มีประจุที่เกิดออกไซด์ได้

### 7. สารเชื่อมประสาน

ส่วนใหญ่ทำมาจาก Polymee Latex ใช้เพิ่มเสริมการยึดเกาะตัวระหว่างคอนกรีตเก่าและคอนกรีตใหม่หรือระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม

## คุณสมบัติของคอนกรีตสด

### คอนกรีตสด (Fresh Concrete)

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่อยู่ในสถานะที่ยังจะนำไปใช้งานได้ ก่อนที่จะเริ่มก่อตัว ซึ่งส่วนใหญ่ยังมีความเหลวเหมาะที่จะเทลงแบบและทำให้แน่นได้ คอนกรีตที่ดีควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. ผสมได้เพียงพอจนมีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทั้งไม่
2. มีความสามารถเทได้
3. ไม่เกิดการแยกตัวระหว่างการลำเลียงหรือขณะเทคอนกรีต
4. ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไปจนทำให้การแต่งหน้าผิวไม่สะดวกและผลต่อคุณภาพของคอนกรีตเมื่อแข็งตัว
5. มีเวลาในการก่อตัวนานพอที่สามารถทำงานได้
6. มีอุณหภูมิพอเหมาะไม่สูงเกินไปจนมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้และเวลาการก่อตัว
7. ควรมีปริมาณฟองอากาศพอเหมาะซึ่งมีผลต่อความสามารถเทได้
8. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เทด้วยปั๊มควรมีคุณสมบัติที่สำคัญคือต้องไม่แยกตัวเมื่อถูกแรงอัดจากปั๊มและไหลในท่อได้สะดวก
9. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เทฐานรากขนาดใหญ่การมีคุณสมบัติที่สำคัญคือมีค่าการยุบตัวสูงSlumploss ชั่ว และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (ชัชวาล เศรษฐบุตร์, 2539, หน้า 69)

### ความสามารถเทได้ (Workability)

ความจำกัดของความสามารถเทได้คือผลรวมของพลังงานหรือกำลังงานที่เอาชนะแรงเสียดทานในระหว่างอนุภาค ที่จะก่อให้เกิดการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์

โดยทฤษฎีพลังงานนี้จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาคของส่วนผสมในเนื้อคอนกรีต แต่ในทางปฏิบัติพลังงานที่ใส่เข้าไปนี้จะต้องเอาชนะทั้งแรงเสียดทานภายในระหว่างอนุภาค แรงเสียดทานระหว่างส่วนผสมของคอนกรีตกับไม้แบบและเหล็กเสริม นอกจากนี้พลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในการเขย่าไม้แบบ และเขย่าคอนกรีตที่อัดแน่นเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีตตามคำนิยาม สิ่งที่เราวัดความสามารถเทได้เป็นวิธีการที่เราประยุกต์มาใช้ให้เหมาะสมเท่านั้น

เนื่องจากกำลังอัดของคอนกรีตจะผันแปรหรือถูกกระทบโดยช่องว่างที่ปรากฏอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตที่แน่น ดังนั้นควรทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

นั่นคือจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเทได้เพียงพอเพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถอัดแน่นได้ดี โดยใช้พลังงานที่เหมาะสมภายใต้สภาพที่กำหนด

ช่องว่างที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตจะทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง และส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงอย่างมากโดยช่องว่างที่เกิดขึ้น 5% สามารถทำให้กำลังอัดคอนกรีตลดลงถึง 30% ช่องว่างที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตมีอยู่ 2 ประเภท

1. ช่องว่างเนื่องจากการจี๋เขย่าไม่ดี (Entrapped Air)
2. ช่องว่างที่เกิดจากน้ำในส่วนเกิน (Excess Water) ที่ระเหยออกไป

การลดช่องว่างนี้ทำได้โดยการเลือกใช้คอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า เลือกใช้มวลรวมที่มีส่วนคละดี คอนกรีตต้องมีความเหลวพอที่จะจี๋เขย่าแบบได้ง่าย รวมทั้งควรใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่มีประสิทธิภาพ และที่สำคัญที่สุดคือต้องมีการจี๋เขย่าคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2539, หน้า 63)

การทดสอบความสามารถเทได้ทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของคอนกรีตตามปกติทั่วไป นิยมใช้การทดสอบการยุบตัวซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่แพร่หลายที่สุด แต่ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกดังแสดงในตาราง ที่ 6

**ตาราง 6 แสดงการทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีต**

การทดสอบ	มาตรฐานการทดสอบ	ขอบข่ายการใช้
1. การอัดแน่น	BS 1881	คอนกรีตแข็ง-แข็งมาก
2. เวลา Vebe	BS 1881	คอนกรีตแข็ง-แข็งมาก
3. การยุบตัว	ASTM C 172/BS 1881	คอนกรีตทั่วไป
4. การจมตัวของลูกบอล	ASTM C 360	คอนกรีตเหลวบางกลาง
5. การไหลตัว	DIN 1048	คอนกรีตเหลวมาก

#### องค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มาเกี่ยวข้อง ดังนี้

## ตาราง 7 แสดงองค์ประกอบที่มีผลต่อความสามารถเทได้

องค์ประกอบ	ผลกระทบ
1. จำนวนน้ำในส่วนผสม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เพิ่มน้ำจะทำให้เกิดการหล่อลื่นในระหว่างอนุภาคมากขึ้น</li> <li>- น้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วมากขึ้นดังนั้นควรหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม</li> <li>- ปริมาณน้ำที่พอเหมาะสำหรับช่องว่างระหว่างมวลรวมจึงมีผลต่อการหล่อลื่น</li> </ul>
2. คุณสมบัติของหินทราย	<ul style="list-style-type: none"> <li>- หินทรายที่มีส่วนคละดีจะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ดี</li> <li>- หินที่กลมผิวเกลี้ยงจะให้การลื่นไหลดีกว่าหินที่แบนและผิวขรุขระ</li> <li>- ความพรุนของมวลรวมจะทำให้การดูดซึ่มสูงและลดความสามารถเทได้ลง</li> <li>- ถ้าต้องการให้ความสามารถเทได้เท่ากับมวลรวมที่ละเอียด ต้องใช้น้ำในส่วนผสมมากกว่ามวลรวมที่หยาบ</li> </ul>
3. ส่วนผสมของคอนกรีต	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ภายใต้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ค่าความสามารถเทได้จะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วนของมวลรวมต่อซีเมนต์ ( A/C) ลดลง</li> <li>- ส่วนผสมที่อัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมด (S/A) ต่ำสามารถก่อให้เกิดการแยกตัวได้รวมทั้งความสามารถในการเทได้จะต่ำลงด้วย</li> </ul>
4. ชนิดของปูนซีเมนต์	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ถ้าใช้ทรายในส่วนผสมมากอาจทำงานได้ง่ายขึ้น แต่สิ้นเปลืองปริมาณซีเมนต์มากขึ้น ถ้าจะคงกำลังอัดเท่าเดิม</li> </ul>
5. สารผสมเพิ่ม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากจะต้องการน้ำมาก</li> <li>- สารผสมเพิ่มที่เป็นผงละเอียด จะช่วยเพิ่มความลื่นไหลแทนส่วนของซีเมนต์</li> <li>- สารเพิ่มฟองอากาศ (Air Entraining Ageng) จะทำให้การลื่นไหลดีขึ้นแต่กำลังอัดลดลง</li> <li>- น้ำยาประเภทลดน้ำและยืดเวลาการก่อตัวจะช่วยการลื่นไหล</li> </ul>

**ค่าความยุบตัว** คือ ค่าระยะที่คอนกรีตยุบตัวจากเดิม โดยวัดที่จุดกึ่งกลางของคอนกรีตที่ยุบตัว ในการวัดให้วัดระยะยืดถึง 0.5 ซม. (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2539, หน้า 70 – 71)

#### รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีต

รูปแบบการยุบตัวของคอนกรีตโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. True Slump คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ ยุบตัวได้เสมอทั้งกองสามารถบอกค่ายุบตัวได้เลย

2. Shear Slump คอนกรีตเกาะกันไม่ดี จะยุบตัวพังลง และไหลหยุดไปข้างหนึ่ง ซึ่งส่วนผสมคอนกรีตไม่ดีพอไม่ควรนำมาใช้หล่อคอนกรีตที่ดีได้ค่าที่อ่านได้นี้จะใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตไม่ได้

3. Collapse Slump คอนกรีตเกาะกันไม่ดีเลย คอนกรีตจะยุบตัวลงแบนลงกับพื้นส่วนผสมอาจมีน้ำมากเกินไปไม่ควรนำมาใช้เป็นคอนกรีตที่ดีได้ (อุดมวิทย์ กาญจนวรรณ, 2537, หน้า 215-216)

#### ค่าคลาดเคลื่อนในการยุบตัว

มาตรฐานทั่วไปให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการยุบตัวมีค่า  $\pm 2.5$  ซม. เช่น ถ้าต้องการค่ายุบตัว 7.5 ซม. ค่าที่ยอมรับคือ  $7.5 \pm 2.5$  ซม. หรือ 5 – 10 ซม.

ค่ายุบตัวสำหรับงานชนิดต่าง ๆ และงานพิเศษแสดงอยู่ในตารางที่ 8 และ 9

**ตาราง 8 แสดงค่าการยุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่าง ๆ**

ชนิดของงานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว (ซม.)
ฐานราก	7.5 + -2.5
แผ่นพื้น, คาน, ผนังค.ส.ล	10.0 + -2.5
เสา	10.0 + -2.5
คาน ค.ส.ล. และผนังบาง ๆ	10.0 + -2.5

**ตาราง 9 แสดงค่าการยุบตัวสำหรับงานพิเศษ**

ชนิดของงานก่อสร้าง	ค่ายุบตัว (ซม.)
ถนน, สนามบิน	5.0 + -2.0
งานที่ใช้คอนกรีตปั๊ม	10.0 + -2.0
เสาเข็มเจาะระบบแห้ง	10.0 + -2.0
งานเทคอนกรีตใต้น้ำ	มากกว่า 15
งานเทคอนกรีตที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	มากกว่า 15

### การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Loss)

คอนกรีตสดจะแข็งตัวตามเวลาที่ผ่านไป ที่เป็นนี้เพราะน้ำที่ผสมคอนกรีตบางส่วน ถูกดูดซับไปโดยมวลรวม บางส่วนระเหยไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตที่ถูกแสงแดดและลม เช่น คอนกรีตที่ใช้ทั่วไปในประเทศไทย และบางส่วนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไฮเดรชันความแข็งตัวของคอนกรีตสามารถวัดได้ที่สูญเสียไปกับเวลาที่ผ่านไปโดยรู้กันในชื่อว่า “Slump Loss” ซึ่งแปรผันกับ

1. ปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม
2. ชนิดของปูนซีเมนต์
3. อุณหภูมิของคอนกรีต
4. ความสามารถเทได้เริ่มต้น

กล่าวคือถ้าอากาศร้อนการสูญเสียน้ำจะเร็ว ความสามารถเทได้จะลดลงหรือ ฝน อุณหภูมิอากาศสูง การก่อตัวจะเกิดขึ้นเวลาการทำงานและความสามารถเทได้จะลดลง เป็นต้น (ชัชวาล เศรษฐบุตร์, 2539, หน้า 66)



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะเป็นการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง ท่าทรายบ้านเวียงหวาย ตำบลเมืองราย อำเภอพญาเม็งราย จังหวัดเชียงราย กับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาว ท่าทรายบ้านหล้าข่าง ตำบลหล้าข่าง อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย โดยออกแบบที่กำลังอัดต้านทานแรงอัดเดียวกันการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตและความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมจากแหล่งวัสดุที่แตกต่างกัน

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

##### ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆของมวลรวม

##### 1. ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 118

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

จุดประสงค์ของการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์เพื่อนำค่าที่ได้ ออกมาไปออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต

##### เครื่องมือทดสอบ

1. ขวดเลอว์ชาแตรีแยร์ (Lechatelier)
2. น้ำมันก๊าด (Kerosene) ที่ไม่มีน้ำเจือปนอยู่เลย
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิให้ของเหลวภายในขวดคงที่อยู่ตลอดเวลา
4. กรวย (Funnel) ใช้ตวง ควรเป็นแบบก้านยาวเพื่อให้น้ำมันก๊าดจะไม่เปียกตรงส่วนบนของขวด
5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

##### การเตรียมตัวอย่าง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 หรือปูนซีเมนต์ชนิดอื่นตามสภาพจำนวน ประมาณ 200 กรัม

### วิธีการทดสอบ

1. เติมน้ำมันก๊าดลงไปในช่วงเลออร์ซาแตรีแอร์ โดยใช้กรวยก้านยาวพยายามอย่าให้น้ำมันก๊าดเปียกตรงส่วนบนของขวดให้ความสูงของน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่าง 0–1 ml.

2. นำไปใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งมีน้ำใส่อยู่อุณหภูมิของน้ำต้องใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องทดสอบเพื่อจะทำการปรับอุณหภูมิน้ำมันก๊าดให้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องทดสอบ โดยจะต้องต่างกันไม่เกิน 0.2 องศาเซลเซียส โดยตั้งไว้ระยะเวลาหนึ่งและคอยควบคุมอุณหภูมิห้องตามกำหนดแล้วให้อ่านค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดไว้

3. เติมน้ำปูนซีเมนต์ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องทดสอบ จำนวน 64 กรัมลงในขวดน้ำที่มีน้ำมันก๊าด ค่อย ๆ เติมน้ำปูนซีเมนต์ที่ละน้อย ระมัดระวังอย่าให้ปูนซีเมนต์ติดข้างขวดต้องให้ปูนซีเมนต์ลงไปในช่วง และจมอยู่ในน้ำมันก๊าดทั้งหมด แล้วทำการไล่ฟองอากาศออกจากปูนซีเมนต์ให้หมด โดยการเอียงขวดแล้วกลิ้งไปมาอย่างช้า ๆ โดยสังเกตจากฟองอากาศที่ค่อย ๆ ลอยขึ้นมาจนหมด

4. นำไปใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ (ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องทดลอง) โดยทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง ประมาณ 10–15 นาที แล้วอ่านค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าด ซึ่งความสูงของน้ำมันก๊าดจะอยู่ในช่วงระหว่าง 18–24 มิลลิเมตร ในตอนบนของขวดเสร็จแล้วนำขวดไปล้างออกด้วยน้ำมันก๊าดเท่านั้น

การคำนวณผล

หาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific Gravity of Cement) จากสมการ (Gc + Wc) / (Vc \* Yw)

เมื่อ Gc = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (Specific Gravity of Cement)

Wc = น้ำหนักของปูนซีเมนต์ (Weight of Cement)

Vc = ปริมาตรของปูนซีเมนต์ (Volume of Cement) จากการแทนที่โดยนำปริมาตรที่อ่านครั้งหลังลบออกจากปริมาตร ที่อ่านครั้งแรกของน้ำมันก๊าด, กรัม/ลบ.ซม.

5. หินไม่, ตะแกรงเบอร์ 4–0.75 นิ้ว = หน้วยน้ำหนักของอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีค่าเป็น 1 กรัม/ลบ.ซม.

## การวิเคราะห์ข้อมูล

### 2. การวิเคราะห์ส่วนละเอียดของมวลรวมละเอียด (ทราย) (Grain Size Analysis Aggregate)

#### จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อหาการกระจายขนาดและส่วนละเอียดของมวลรวมละเอียด (ทราย)

#### เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่ง (Balance) ขนาดวัดได้ละเอียดถึง 0.1%
2. กล่องแยกตัวอย่าง (Sample Splitter) ใช้ชนิดของ Jones หรือโดยวิธีแบ่งสี่ (Quartering)
3. เต้าอบขนาดเหมาะสมกับงาน ต้องรักษาระดับอุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส
4. เครื่องร่อนตะแกรง (Sieve Shaker)
5. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve) ช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100
6. ถาดรองชุดตะแกรง (pan) แปลงลวดทองเหลืองและแปลงขนอ่อน

#### การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทรายที่จะนำมาทดสอบจะต้องผสมให้เข้ากันแล้วแยกจนได้ปริมาณที่ต้องการ

#### ตาราง 10 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทรายแต่ละชนิด

ชนิดทราย	น้ำหนักของตัวอย่าง
ทรายหยาบ (F.M. 2.50-3.50)	400-1000
ทรายละเอียด (F.M.1.5-2.50)	200-400
ทรายละเอียดมาก (F.M. 0.50-1.50)	100-200

**หมายเหตุ:** F.M. คือ โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยเป็นตัวบอกลักษณะ ทรายหยาบ ทรายละเอียด หรือทรายละเอียดมาก ปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 2.1 - 3.0 ค่าโมดูลัสความละเอียดนี้มีประโยชน์ในการนำไปใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบแล้วจะต้องไม่มีทรายค้างบนตะแกรงใด ๆ เกินกว่า 200 กรัม

ตาราง 11 แสดงส่วนคละที่เหมาะสมในการผสมคอนกรีตของมวลรวม (Grading of combined Aggregate)

ตะแกรงเบอร์ (Sieve No.)	เปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Finer)
1½	98-100
¾	68-80
3/8	47-57
4	35-45
8	26-26
16	18-27
30	11-19
50	2-8
100	1-2

#### วิธีการทดสอบ

1. ก่อนนำไปร่อน จะต้องอบทรายจนได้น้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส
2. นำตะแกรงเปล่าและภาตรองไปชั่งให้ละเอียด 0.01 กรัม และประกอบตะแกรงให้เรียบร้อย
3. เทตัวอย่างลงบนตะแกรงที่ซ้อนกัน จากขนาดช่องเปิดใหญ่ลงไปหาเล็กแล้วนำไปร่อนบนเครื่องร่อนให้ร่อนจนน้ำหนักที่ผ่านตะแกรงใด ๆ ในช่องการร่อน 1 นาทีที่มีปริมาณน้อยกว่า 1% ปกติแล้วจะต้องร่อนนานประมาณ 10 นาที
4. นำตะแกรงที่ร่อนทรายแล้วแต่ละตะแกรงและภาตรองไปชั่งน้ำหนักให้ได้ละเอียด 0.01 กรัม
5. ใช้แปลงลวดทำความสะอาดตะแกรงเบอร์ 4,8,16,30 และ 50 แล้วใช้แปลงขนอ่อนทำความสะอาดตะแกรงเบอร์ 100 ควรหมั่นตรวจสอบสภาพตะแกรงบ่อย ๆ เพื่อป้องกันการใช้ตะแกรงขาดหรือหย่อนยาน
6. ถ้าใช้เครื่องร่อนไม่ได้ให้ร่อนด้วยมือโดยใช้วิธีการและหลักเกณฑ์เดิม
7. ควรเก็บตัวอย่างไว้หาปริมาณที่ตะแกรงเบอร์ 200 และเมื่อนำไปล้างเพื่อหาส่วนคละของทรายที่ล้างแล้วในกรณีที่ต้องการ

### การคำนวณ

1. หาน้ำหนักทรายที่ค้างโดยน้ำหนักตะแกรงเปล่าและถาดเปล่า ไปลบออกจากน้ำหนักของตะแกรงและถาดที่มีทรายของแต่ละตะแกรง
2. นำผลจาก (1) มาหาเปอร์เซ็นต์ค้าง โดยคิดเทียบน้ำหนักทรายตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมด (500 กรัม) เป็น 100 เปอร์เซ็นต์
3. นำผลจาก (2) มาหาเปอร์เซ็นต์ค้างสะสม โดยบวกสะสมกันลงมาสำหรับตัวเลขในบรรทัดแรกให้ใช้ตัวเลขของบรรทัดแรก (ใน 2) มาใส่ด้วย
4. นำผลจาก (3) มาหาเปอร์เซ็นต์ผ่านโดยลบ 100 ออกจากช่องเปอร์เซ็นต์ค้างสะสมของแต่ละบรรทัด
5. หาเปอร์เซ็นต์การผิดพลาด (Error) นำผลรวมทั้งหมดของช่องน้ำหนักทรายที่ค้างของแต่ละตะแกรงมาลบออกจากรูปร่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมด (500 กรัม) แล้วคิดเทียบเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดออกมา
6. หาโมดูลัสความละเอียดของทราย โดยรวมเปอร์เซ็นต์สะสมของตะแกรงแต่ละขนาดเข้าด้วยกันแล้วหารด้วย 100
7. นำค่าขนาดของตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ผ่านไปเขียนกราฟ (ซึ่งเป็นกราฟ Semi-log)
8. พิจารณาเปอร์เซ็นต์ผ่านของแต่ละตะแกรง หรือกราฟของตัวอย่างที่ทดสอบเปรียบเทียบกับตารางส่วนคละที่เหมาะสมกับตารางส่วนคละที่เหมาะสมจากตาราง (ซึ่งควรจะเขียนกราฟจากตัวอย่างในตารางส่วนคละที่เหมาะสม โดยใช้ตัวเลขช่วงต่ำที่สุดและมากที่สุดมาเขียนเป็น Cures ไว้ซึ่งจะได้ 2 Cures ด้วยกัน) และเส้นกราฟจากตัวอย่างที่ทดสอบควรอยู่ตามเส้นกราฟมาตรฐาน (Cures Grading) นี้จึงทำให้สรุปได้ว่าทรายนี้เหมาะสมที่จะนำมาผสมคอนกรีตให้มีคุณภาพที่ดีได้

### 3. การวิเคราะห์ส่วนคละของมวลรวมหยาบ (หิน) (Grain Size Analysis of Coarse Aggregate)

#### จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อหาส่วนคละ และขนาดของมวลรวมหยาบ (หิน)

#### เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่ง (Balance) ขนาดวัดได้ละเอียดถึง 0.1% ของช่วงน้ำหนักที่ต้องการชั่ง
2. เครื่องร่อนตะแกรง (Sieve Shaker)
3. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve) ช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเบอร์ 1½ นิ้ว, 1 นิ้ว, ¾ นิ้ว, ½ นิ้ว, 3/8 นิ้ว และขนาดเบอร์ 4(3/36 นิ้ว) และขนาดอื่นๆตามความเหมาะสมขนาดลวด

ตะแกรงและช่องเปิดจะต้องมีขนาดตามที่กำหนด ตามมาตรฐานไว้ตั้งตะแกรงลงในเครื่องร่อนขนาดใหญ่ที่มีขนาดตามที่มีขนาดกว้างยาวไม่ต่ำกว่า 45 ซม. และต้องเป็นแบบที่ไม่ต้องทำให้การสูญเสียมวลรวมไปในระหว่างการร่อน

4. ถาดรองชุดตะแกรง (pan) กว้างแยกตัวอย่าง (Sampling Split) แปรงสำหรับทำความเข้าใจความสะอาด

ตาราง 12 แสดงข้อกำหนดน้ำหนักของตัวอย่างมวลรวมหยาบที่ใช้ทดสอบหาส่วนคละ

ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม นีว (ม.ม.)	ใช้น้ำหนักมากที่สุด (ก.ก.)
3½ (88.90)	100
3 (76.20)	60
2½ (36.50)	35
2 (50.80)	20
1½ (38.10)	15
1 (25.40)	10
¾ (19.05)	5
½ (12.70)	2
3/8 (9.52)	1

#### วิธีทดสอบ

- นำมวลรวมหยาบตามขนาดและจำนวนตามกำหนดในตาราง และชั่งน้ำหนักของตะแกรงเปล่าแต่ละตะแกรงไว้ด้วย
- นำหินใส่ตะแกรงที่จัดตามขนาดไว้แล้วแล้วทำการร่อนให้ร่อนตัวอย่างมวลรวมจนกระทั่งไม่มีหินผ่านตะแกรงใด ๆ เลย โดยต้องอาศัยความสังเกตกับเวลา
- แยกตามขนาดที่ค้างบนตะแกรง และชั่งมวลรวมแต่ละขนาดโดยแยกกันเป็นส่วน ๆ แต่ละส่วนจะต้องไม่หนักมากจนทำให้ตะแกรงเสียหายได้ ในการร่อนตัวอย่างมวลรวมให้ร่อนจนมีตัวอย่างมวลรวมผ่านแต่ละตะแกรงน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ในช่วงการร่อน 1 นาที
- นำผลที่ได้มาใส่ในตารางผลการทดสอบ ซึ่งการคำนวณทำการเหมือนการคำนวณหาส่วนคละของทรายโดยคิดให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

### การคำนวณ

1. นำผลที่ได้มาใส่ในตารางทดสอบ การคำนวณเหมือนการคำนวณหาส่วนคละของทราย โดยให้คิดละเอียดไม่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และนำไปเขียนกราฟ (Grading Curves) หาโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ได้โดยการบวกเปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด จากใหญ่ที่สุดไปถึงขนาดตะแกรงเบอร์ 4 แล้วหารด้วย 100 ผลที่ได้เมื่อบวก 5 เข้าไป จะได้เป็นค่าโมดูลัสความละเอียดออกมา เลข 5 ที่บวกเข้าไปตอนหลังนั้นได้จากการบวกเปอร์เซ็นต์ส่วนค้างสะสมจากตะแกรงเบอร์ 4 ลงไปตามขนาดตะแกรงร่อนทรายจนถึงขนาดเล็กสุดแล้วหารด้วย 100

2. สรุปโดยการเปรียบเทียบเหมือนกับข้อที่ 8 จากบทการหาส่วนคละของทราย

### 4. ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด (Specific Gravity And Absorption of Aggregate)

#### จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อหาความถ่วงจำเพาะในสภาพต่าง ๆ โดยสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของทราย (Absorption) เพื่อนำค่าไปออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

#### เครื่องมือทดสอบ

1. ขวดหา ถ.พ. ซึ่งใช้ (Volumetric Flask)
2. เครื่องชั่งวัดได้ละเอียดถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์
3. แบบหล่อโลหะรูปกรวยหัวตัด (Sand Absorption Cone) เส้นผ่านศูนย์กลางปลายบน 38 ม.ม. เส้นผ่านศูนย์กลางล่าง 89 ม.ม. สูง 74 ม.ม. พร้อมเหล็กกระทุ้ง (Tampor) น้ำหนัก 340 บวก 15 กรัม ลักษณะเหล็กกระทุ้งนี้ที่ปลายเหล็กกระทุ้งเป็นรูปวงกลมแบนเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ม.ม.
4. ปั๊มสุบอากาศ (Vacuum Pamp) ขนาดสูบได้จนความดันลดลงเหลือเท่ากับ ความสูง 508 ม.ม. ของปรอท พร้อมท่อสูบและมาตรวัดความดัน ชุดสูบอากาศนี้อาจเตรียมไว้สำหรับดูดอากาศที่ยังค้างอยู่ในขวด ถ.พ.
5. ซามใส่ทราย, ที่ตัก, เตาไฟฟ้า (hot Plate), เตาอบ (Oven) รักษาอุณหภูมิในช่วง 100–110 องศาเซลเซียสและเครื่องเป่าลมร้อน (Dryer)

### การเตรียมตัวอย่าง

1. แบ่งตัวอย่างทราย (ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4) ออกจากกองมา 1,200 ถึง 1,500 กรัม โดยใช้กองแยกตัวอย่างหรือ โดยวิธีแบ่งสี่ ให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของทรายในกอง นำไปอบให้แห้งที่สะสมไว้แห้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วเทตัวอย่างทรายลงในภาชนะเติมน้ำมันจนท่วมทรายปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ระบายน้ำทิ้งแล้วตั้งภาชนะทรายบนเตาเพื่อเร่งให้แห้งเร็วขึ้น เมื่อความชื้นลดลงพอประมาณแล้วให้เอาผ้าซับความชื้นออกอีกในช่วงนี้อาจใช้ลมพัด หรือเครื่องเป่าลมร้อนเป่าเหนือบริเวณที่ทรายแผ่กระจายอยู่ ควรกวนตัวอย่างทรายตัวอย่างตลอดเวลาเพื่อให้ทรายแห้งได้ทั่วจนกระทั่งทรายทั้งกองอยู่ในสภาพ Saturated Surface Dry (SSD) วิธีนี้ใช้เวลาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แต่ก็อาจหา ถ.พ. และการดูดซึมน้ำได้โดยใช้เวลาแช่น้ำเพียง 30 นาทีก็ได้ และการดูดซึมน้ำใช้เวลา 30 นาที นี้ใช้มากในงานผสมคอนกรีต แต่ถ้าต้องการสัดส่วนในการผสมคอนกรีตของทรายในสภาพจริงและทรายเปียกชื้นอยู่แล้ว ก็ไม่ต้องอบและแช่น้ำ 24 ชั่วโมง นำมาทดสอบได้เลย

2. จุดที่ทรายอยู่ในสภาพที่อิมตัวผิวแห้งนั้นก็มีวิธีพิจารณาดังต่อไปนี้ วิธีในรูปแบบกรวยมีการทดสอบโดยการรอกตัวอย่างทรายลงในแบบตัวอย่างรูปกรวยหั่วตัดจนเต็มกรวยกระทันหันๆ ด้วยเหล็กกระทันหันโดยถือเหล็กกระทันหันให้สูงจากตัวอย่างเป่าลมร้อนประมาณ 5 มิลลิเมตรปล่อยน้ำหนักเหล็กกระทันหันเองจำนวน 25 ครั้ง เมื่อกระทันหันครบ 25 ครั้งแล้วให้ยกเอาแบบโลหะออกในแนวตั้งถ้ายังมีความชื้นอิสระอยู่ทรายจะรักษารูปกรวยไว้ให้ใช้เครื่องเป่าให้ทั่วกองทราย แล้วจึงทำการทดสอบแบบกรวยต่อไปโดยทดสอบเป็นระยะๆ จนเมื่อยกแบบออกแล้วทรายจะไหลออกมาที่ฐานไม้ใช้หลายมาแบนราบที่กอง ที่จุดนี้คือจุดที่ทรายอยู่ในสภาพที่อิมตัวผิวแห้ง

### วิธีทดสอบ

1. นำตัวอย่างทรายอยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้งจำนวน 500 กรัม เทใส่ลงใน Volumetric Flask ml. (CC) โดยใช้กรวยตวง ตวงทรายใส่จนหมด ระวังอย่าให้หกออกมาเพราะจะทำให้ค่าที่ชั่งไว้ผิดพลาดแล้วนำน้ำสะอาดมาเทจนท่วมทรายแต่ต้องระวังเกินขอบขนาด 500 ml.

2. ทำการไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่างทรายให้มากที่สุด ทำโดยเอนขวดพอประมารแล้วหมุนขวดไป-มา หรือจะแกว่งในขวดแล้วนำไปสูบลมเอาอากาศออก

3. เติมน้ำเข้าไปอีกจนพอดีขีดขอบขนาด 500 ml. โดยสังเกตห้องน้ำเป็นหลักแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

4. เทตัวอย่างทรายพร้อมน้ำออกใส่ลงชามที่มีขนาดใหญ่พอ โดยเมื่อเทน้ำออกจนหมดแล้วไม่ล้นหกออกมา นำไปอบที่อุณหภูมิ 100–110 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนน้ำแห้งคั่งที่ล้น นำมาชั่ง

5. ทำการชั่ง Volumetric Flask ที่มีเฉพาะน้ำใส่อยู่ในขีด 500 ml.

#### การคำนวณ

1. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) ได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้  
ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมแห้ง (Oven Dry) =  $A / (D + B - C)$   
ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface Dry) =  $B / (D + B - C)$

ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ (Apparent)

เมื่อ  $A$  = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง, กรัม

$B$  = น้ำหนักตัวอย่างที่จุดอิ่มตัวผิวแห้ง, กรัม

$C$  = น้ำหนักขวดหา ถ.พ. รวมทั้งน้ำหนักในขวดที่มีอุณหภูมิเดียวกับน้ำที่ใช้ในการทดสอบ, กรัม

2. การดูดซึม (จากสภาพแห้ง) ของทรายอาจหาหาได้โดยการใช้สูตรการดูดซึมน้ำ (Percent Absorption) =  $(B - A) \times 100 / A$

#### 5. ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (หิน) (Specific Gravity And Absorption of Coarse Aggregate)

##### จุดประสงค์การทดสอบ

หาความถ่วงจำเพาะในสภาพต่าง ๆ และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของหิน เพื่อนำไปออกแบบส่วนผสม

##### เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งวัดได้ละเอียดถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์
2. ตะกร้าลวดตะขாய (Wire Mesh Basket) เส้นผ่านศูนย์กลางตะกร้าประมาณ 200 มม. สูงประมาณ 65 มม.
3. ถังน้ำหนักใหญ่พอที่จะหย่อนตะกร้าลงในน้ำ พร้อมระบบแขวงตะกร้าจากจุดชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่ง
4. ตู้อบพอเหมาะกับการใช้งาน สามารถรับอุณหภูมิอยู่ในช่วง 100–110 องศาเซลเซียสได้
5. ชาม, ถาดและผ้าสำหรับซับน้ำ

### การเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนโดยใช้กลองแยกมวลรวม หรือโดยวิธีแบ่งสีตามวิธีทดสอบให้ปริมาณตามขนาดมวลรวม ดังนี้

**ตาราง 13 แสดงวิธีแบ่งสีตามวิธีทดสอบให้ปริมาณตามขนาดมวลรวม**

ขนาดของมวลรวม	น้ำหนัก (กรัม)
3/16 ถึง 3/8 นิ้ว	1000-1500
3/4 ถึง 3/4	1500-2000
3/4 ถึง 1 1/2 นิ้ว	2500-3500
1 1/2 ถึง 3 นิ้ว	4000-6000
ใหญ่กว่า 3 นิ้ว	มากกว่าที่จะเป็นตัวแทนได้

**หมายเหตุ:** วิธีนี้ใช้เวลาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แต่อาจหา ถ.พ. และการดูดซึมน้ำโดยใช้เวลาแช่น้ำ 30 นาทีก็ได้

### วิธีทดสอบ

1. ล้างตัวอย่างในน้ำโดยเขย่าและกวนแรง ๆ ให้ฝุ่นหรือดินโคลนที่เกาะตามผิวมวลรวมหลุดออก นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส น้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในอากาศ แล้วนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลาให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำใช้ผ้าที่ไม่มีน้ำเกาะผิวมวลรวมแม้แต่ผิวจะยังชื้นอยู่ ถ้ามวลรวมเป็นก้อนใหญ่ให้เด็ดที่ละก้อน แต่ถ้ามวลรวมเล็กอาจเด็ดกันทั้งกองเลย ควรระวังอย่าให้น้ำระเหยจากมวลรวมที่เด็ดไว้แล้วจนแห้งเกินไป นำมวลรวมที่เด็ดแล้วมาชั่ง ค่าที่ได้เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาพแห้งการชั่งทุกครั้งในการทดสอบนี้ควรให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2. เมื่อชั่งแล้วให้ใส่มวลรวมในตะกร้าแล้วนำไปชั่งในน้ำระวังอย่าให้ติดช่องตะขாய และระวังอย่าให้มีฟองอากาศ โดยลั่นตะกร้าในน้ำเบา ๆ

นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียสจนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ทิ้งไว้ 1-3 ชั่วโมง) แล้วชั่งน้ำหนัก

### การคำนวณ

1. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะรวม(Bulk Specific Gravity) ได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้  
ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมแห้ง (Oven Dry)

$$= A / (B - C)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมแห้ง(SSD)} = B / (B - C)$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ ( Apparent)} = B / (A - C)$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้งซึ่งในอากาศ, กรัม

B = น้ำหนักตัวอย่างที่จุดอิ่มตัวผิวแห้งซึ่งในอากาศ, กรัม

C = น้ำหนักของตัวอย่างซึ่งในน้ำ, กรัม

2. การดูดซึม (จากสภาพแห้ง) หาได้โดยการใช้สูตร  $(B - A) \times 100/A$

### 6. หน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม (Unit Weight And of Aggregate)

#### จุดประสงค์

เพื่อหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณของช่องว่าง(เป็นเปอร์เซ็นต์)ของวัสดุผสมหยาบและวัสดุละเอียด

#### เครื่องมือทดสอบ

1. ภาชนะสำหรับตวงวัสดุผสม ด้านบนปิด ด้านล่างเป็นพื้นโลหะเพื่อสามารถใส่น้ำได้โดยไม่ซึมออกและแข็งแรงทนทาน มีหูหิ้วได้มีขนาดและวัสดุผสมในการทดลองดังนี้

ตาราง 14 แสดงภาชนะสำหรับตวงวัสดุผสม

ขนาด ภาชนะ (ft <sup>3</sup> )	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (in)	ความสูง ภายใน (in)	ความหนาต่ำสุดของโลหะที่ ใช้ทำภาชนะตวง (in)		ขนาดโตสุด ของมวลรวม
			ผนัง	พื้น	
1	14.0 + (-0.1)	11.2 + (-0.1)	0.12	0.20	3
1/2	10.0 + (-0.1)	11.0 + (-0.1)	0.12	0.20	1 1/2
1/3	8.0.0 + (-0.1)	11.5 + (-0.1)	0.12	0.20	1
1/10	6.0 + (-0.1)	6.1 + (-0.1)	0.12	0.20	1/2

2. เหล็กกระทงเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 ม.ม. ยาว 600 ม.ม. ปลายเหล็กกระทงเป็นรูปครึ่งวงกลม

3. เครื่องชั่ง ชั่งได้ละเอียดถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์

ตาราง 15 แสดงน้ำหนักของมวลรวมโดยธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไป

ชนิดมวลรวม	สถานะชั้น	หน่วยน้ำหนัก (ก.ก./ม.)	
		หลวม	อัดแน่น
1.ทราย	แห้ง	1440-1600	1520-1840
	ชื้น	1360-1520	-
2.กรวด, ตะแกรงเบอร์ 4-0.75 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1471-1570	1580-1710
3.กรวด, ตะแกรงเบอร์ 4-1.50 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1520-1650	1600-1710
4.ส่วนผสมของทรายและกรวดขนาดใหญ่ ขนาด 1-1.5 นิ้ว	แห้ง	-	1760-2000
	ชื้น	1600-1840	-
5.หินโม่, ตะแกรงเบอร์ 4-0.75 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1410-1500	1520-1650
6.หินโม่, ตะแกรงเบอร์ 4-1.5 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1540-1580	1600-1700

ตาราง 16 แสดงการคำนวณหาหน่วยน้ำหนัก

อุณหภูมิ		Lb / (ft <sup>3</sup> )	Kg / m <sup>3</sup>
F	C		
60	1506	62.336	999.01
65	1803	62.336	998.54
70	21.1	62.031	997.97
73.4	32.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
85	29.4	62.166	995.83

### วิธีทดสอบ

- นำวัสดุมวลรวมจำนวนหนึ่ง โดยการสุ่มตัวอย่างมาอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้ว  
ทิ้งไว้ให้เย็น
- ทำการหาขนาดความจุของกระบอกตวง (Volume, V) โดยช่างภาชนะเป่าแก้ว  
แล้วใส่น้ำจนเต็มพอดีใส่แผ่นกระดาษรีดน้ำเสมอขอบภาชนะ และพยายามอย่าให้มีฟองอากาศ  
นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักในภาชนะ

3. หาความจุของกระบอกตวง โดยเอาน้ำหนักหารด้วยหน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิตั้งแต่

4. เช็ดน้ำในกระบอกตวงให้แห้งแล้วใส่มวลรวมไปเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นหนาประมาณหนึ่งในสามของความสูง เมื่อใส่ชั้นแรกเสร็จให้เอานิ้วเกลี่ยให้ราบ แล้วกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง ให้ทั่วบริเวณแล้วจึงเติมชั้นสอง เกลี่ยและกระทุ้งอีก เติมชั้นสามให้สั้นกระทุ้งแล้วใช้เหล็กกระทุ้งปัดส่วนเกินออก สำหรับมวลรวมขนาดโตกว่า 2 นิ้วให้อัดแน่นด้วยการยกด้านข้างกระบอกตวงข้างหนึ่งขึ้นประมาณ 2 นิ้ว ปล່อยให้กระแทกกับพื้นแข็ง ๆ แล้วยกอีกข้างหนึ่งขึ้นแล้วปล່อยให้กระแทกพื้นเช่นนี้สลับกันข้างละ 25 ครั้ง รวมเป็น 50 ครั้งต่อหนึ่งชั้น และกระทำเช่นนี้ทั้งสามชั้น

5. หาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมในกระบอกตวง

6. ควรทำอย่างน้อยสามตัวอย่าง แล้วนำค่ามาเฉลี่ยกัน

#### การคำนวณ

1. หาปริมาตรความจุของกระบอกตวง (Volume) โดยสมการ

$$V = Ww/Yw$$

$Ww$  = น้ำหนักเฉพาะน้ำในกระบอกตวง, กิโลกรัม

$Yw$  = น้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิตั้งแต่, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$V$  = ปริมาตรของกระบอกตวง, ลูกบาศก์เมตร

2. หาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม Unit Weight of Aggregate จากสมการ

$$Yt = W/V$$

เมื่อ  $Yt$  = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$W$  = น้ำหนักของมวลรวม, ลูกบาศก์เมตร

$V$  = ปริมาตรของมวลรวม, ลูกบาศก์เมตร

3. หาปริมาณช่องว่าง (%) จากสมการ  $(Gd \times Yw) - Yt \times 100/Gd \times Yw$

เมื่อ  $Gd$  = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมในสภาพแห้ง

#### ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

1. รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา

1.1 กำลังอัด

1.2 ค่ายุบตัว

1.3 ขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้

1.4 ใส่สารผสมเพิ่มหรือไม่

2. ปริมาณน้ำที่ใช้และน้ำหนักซีเมนต์
  - 2.1 หาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ
  - 2.2 หาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เพื่อให้กำลังอัดตามที่ต้องการจากกราฟอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และกำลังอัด
  - 2.3  $\text{หาน้ำหนักซีเมนต์} = \text{ปริมาณน้ำ} / \text{ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์}$
3. หาปริมาตรซีเมนต์  
 $\text{ปริมาตรซีเมนต์} = \text{น้ำหนักปูนซีเมนต์} / \text{ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์}$
4. หาปริมาตรทราย  
 $\text{ปริมาตรทราย} = (300 \text{ หรือ } 400) - \text{ปริมาตรปูนซีเมนต์}$  (ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3)
5. หาน้ำหนักทราย  
 $\text{น้ำหนักทราย} = \text{ปริมาตรทราย} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของหิน}$
6. หาปริมาตรหิน  
 $\text{น้ำหนักหิน} = \text{ปริมาตรหิน} \times \text{ความถ่วงจำเพาะของหิน}$
7. หาปริมาตรน้ำยาที่ใช้
  - \* คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีปริมาตร 1000 ลิตร
  - \*\* ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ

### ขั้นตอนที่ 3 วิธีการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

#### วัตถุประสงค์

เพื่อหาความสามารถเทได้ หรือความสามารถในการเทคอนกรีตสดลงแบบมาตรฐานที่ใช้ ASTM C 143 STANDARD TEST METHOD OF SLUMP OF PORTLAND CEMENT CONCRETE

#### อุปกรณ์

1. โคนรูปกรวยตัดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 10 ซม. และด้านล่าง 20 ซม. สูง 30 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กยื่นออกมาให้เท่าเหยียบทั้งสองข้าง
2. เหล็กกระทุ้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 156 มิลลิเมตร ยาว 60 ซม. ปลายกลมบน
3. แผ่นเหล็กสำหรับรอง
4. ช้อนตัก เกรียงเหล็ก ตลับเมตรหรือไม้วัด

### วิธีทดสอบ

1. นำอุปกรณ์จุ่มน้ำให้เปียก
2. วางแผ่นเหล็กลงราบกับพื้น นำกรวยขึ้นวางใช้เท้าเหยียบปลายทั้ง 2 ข้าง
3. ใช้ช้อนตักคอนกรีตใส่ลงในกรวยโดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นให้มีปริมาณเท่ากัน  
ชั้นที่ 1 ใส่คอนกรีตในกรวยประมาณ 6-7 ซม. กระทบด้วยเหล็กกระทบ 25 ครั้ง ในการกระทบ  
ต้องกระทบให้ทั่วพื้นที่ ใส่คอนกรีตชั้นที่ 2 จนได้ส่วนสูงประมาณ 15 ซม. กระทบให้ทะลุถึง  
คอนกรีตชั้นที่ 1 เล็กน้อย ใส่คอนกรีตชั้นที่ 3 จนเต็มกระทบให้ทะลุคอนกรีตชั้นที่ 2 เพียง  
เล็กน้อยปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบรวมทั้งทำความสะอาดบริเวณกรวยและแผ่นเหล็กกรอง
4. คึงโคนขึ้นตรง ๆ ไม่หมุน
5. วางโคนลงข้าง ๆ คอนกรีตแล้ววัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

### ขั้นตอนที่ 4 รายละเอียดการทดสอบ

1. เริ่มจากการผสมคอนกรีตตามออกแบบที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 240 กก./ลบ.ชม.
2. นำคอนกรีตที่ผสมแล้วมาทดสอบค่าการยุบตัว
3. เทคอนกรีตกลับกระบะที่ผสมทิ้งไว้
4. นำคอนกรีตใส่แบบที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ 25 ชม.
5. แกะคอนกรีตออกจากแบบ นำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วันตามลำดับ

### สถานที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ

สถานที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้ศูนย์วิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นสถานที่ในการทดสอบ

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินการทดลองบรรลุไปตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ จึงได้ทำการทดลองตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวม
2. ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
3. การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต
4. ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

#### ผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวม

ตาราง 17 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลรวม

คุณสมบัติของมวลรวม	ค่าที่ได้จากการทดสอบ	
	ทรายแม่น้ำงาว	ทรายแม่น้ำอิง
ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	3.15	3.15
การวิเคราะห์ส่วนผสมมวลรวมละเอียด	2.58	2.85
การวิเคราะห์ส่วนผสมมวลรวมหยาบ	2.95	2.95
ความถ่วงจำเพาะมวลรวมละเอียด	2.42	2.60
การดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด	3.17	2.20
ความถ่วงจำเพาะมวลรวมหยาบ	2.70	2.70
การดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (%)	1.10	1.10
หน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม ( $\text{kg-m}^3$ )	1502.5	1502.5
ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ	¾"	¾"

### ผลการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต

คอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำงาวได้ค่ายุบตัว 6.5 เซนติเมตร คอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิงได้ค่ายุบตัว 8.0 เซนติเมตร

### ผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ตาราง 18 แสดงผลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีต	ใช้ทรายแม่น้ำงาว	ใช้ทรายแม่น้ำอิง
ปูนซีเมนต์ (กิโลกรัม)	310	310
น้ำ (ลิตร)	190	190
ทราย (กิโลกรัม)	730	780
หิน (กิโลกรัม)	1110	1110

### ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

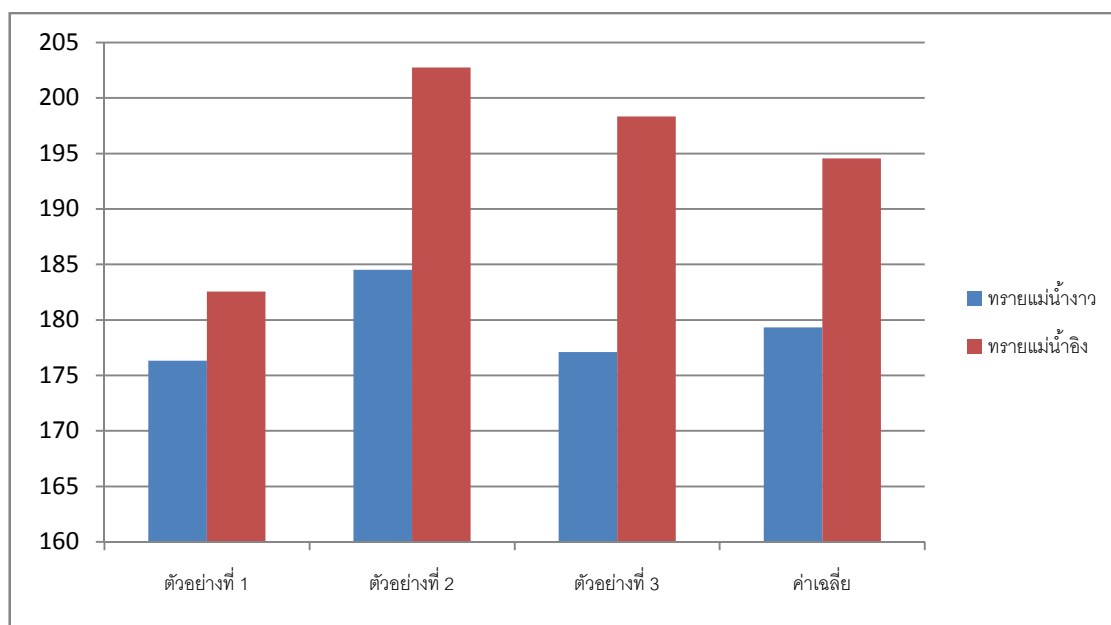
ตาราง 19 แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำงาวที่ 7 วัน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	วันที่ทดสอบ	อายุคอนกรีต	กำลังอัด
1	14/12/55	22/12/55	7 วัน	176.33
2	14/12/55	22/12/55	7 วัน	184.52
3	14/12/55	22/12/55	7 วัน	177.11
ค่าเฉลี่ย				179.32

ตาราง 20 แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิงที่ 7 วัน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	วันที่ทดสอบ	อายุคอนกรีต	กำลังอัด
1	14/12/55	22/12/55	7 วัน	182.56
2	14/12/55	22/12/55	7 วัน	202.75
3	14/12/55	22/12/55	7 วัน	198.35
ค่าเฉลี่ย				194.55

กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตระหว่างคอนกรีตผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง ที่อายุคอนกรีต 7 วัน



ภาพ 1 แสดงกราฟการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตอายุ 7 วัน

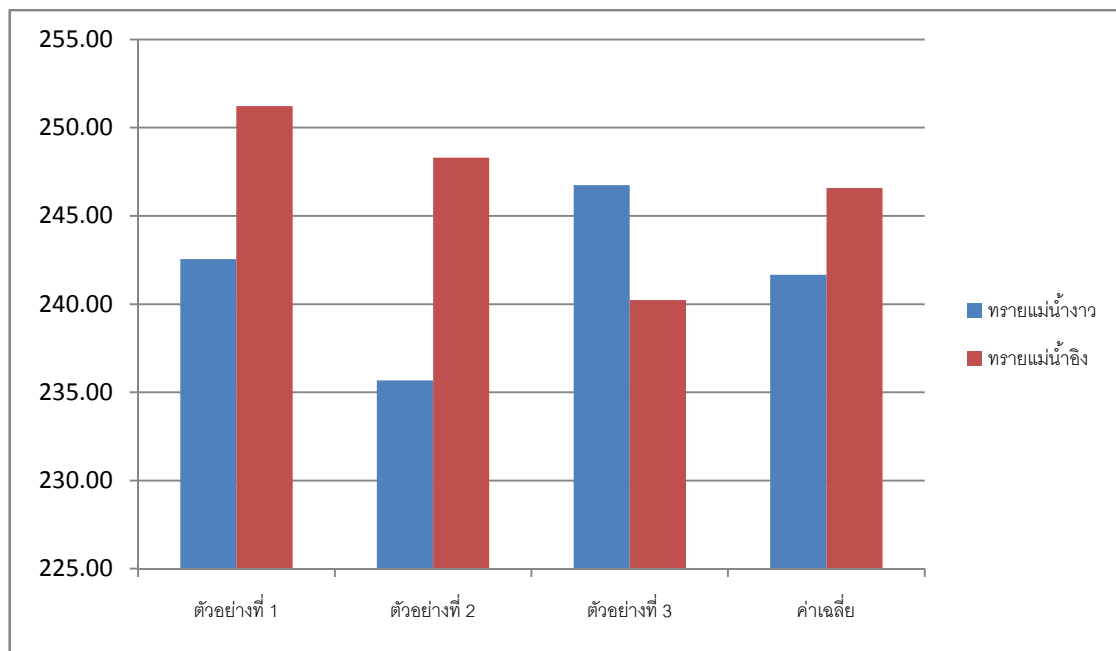
ตาราง 21 แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำงาวที่ 28 วัน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	วันที่ทดสอบ	อายุคอนกรีต	กำลังอัด
1	14/12/55	12/1/56	28 วัน	242.55
2	14/12/55	12/1/56	28 วัน	235.68
3	14/12/55	12/1/56	28 วัน	246.75
ค่าเฉลี่ย				241.66

ตาราง 22 แสดงการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิงที่ 28 วัน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	วันที่ทดสอบ	อายุคอนกรีต	กำลังอัด
1	14/12/55	12/1/56	28 วัน	251.23
2	14/12/55	12/1/56	28 วัน	248.30
3	14/12/55	12/1/56	28 วัน	240.22
ค่าเฉลี่ย				246.58

กราฟเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตระหว่างคอนกรีตผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง ที่อายุคอนกรีต 28 วัน



ภาพ 2 แสดงกราฟการเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตอายุ 28 วัน



## บทที่ 5

### บทสรุป

จากผลการทดลองในบทที่ 4 ผู้ทำการวิจัยได้สรุปและวิเคราะห์ผลตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ ออกมาเป็นตอนดังนี้

#### สรุปผลการวิจัย

1. สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติของทรายแม่น้ำงาวเปรียบเทียบกับทรายแม่น้ำอิง ดังแสดงในตารางที่ 23

ตาราง 23 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของทรายแม่น้ำงาวเปรียบเทียบกับทรายแม่น้ำอิง

รายละเอียดการทดสอบ	ทรายแม่น้ำงาว	ทรายแม่น้ำอิง
โมดูลัสความละเอียด	2.58	2.85
ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม	2.42	2.60

2. สรุปผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมทรายแม่น้ำอิง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 24 และตารางที่ 25

ตาราง 24 แสดงรายละเอียดการสรุปผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงที่ 7 วัน

ตัวอย่างที่	อายุคอนกรีต	คอนกรีตผสมด้วยทราย	
		แม่น้ำงาว	ทรายแม่น้ำอิง
1	7 วัน	176.33	182.56
2	7 วัน	184.52	202.75
3	7 วัน	177.11	198.35
ค่าเฉลี่ย		179.32	194.55

ตาราง 25 แสดงรายละเอียดการสรุปผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงที่ 28 วัน

ตัวอย่างที่	อายุคอนกรีต	คอนกรีตผสมด้วยทราย	
		แม่น้ำงาว	แม่น้ำอิง
1	28 วัน	242.55	251.23
2	28 วัน	235.68	248.30
3	28 วัน	246.75	240.22
ค่าเฉลี่ย		241.66	246.58

### อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง ผลการทดสอบที่ 7 วันมีผลการทดสอบดังนี้ ตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวมีค่าเฉลี่ย 179.32 KSC และค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงมีค่าเฉลี่ย 194.55 KSC จากการทดสอบที่ 7 วันจะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวจะมีกำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงอยู่ 7.83 %

จากผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตระหว่างคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง ผลการทดสอบที่ 28 วันมีผลการทดสอบดังนี้ ตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวมีค่าเฉลี่ย 241.66 KSC และค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงมีค่าเฉลี่ย 246.58 KSC จากการทดสอบที่ 28 วันจะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวจะมีกำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิงอยู่ 2% และผลการทดสอบพบว่าทรายทั้ง 2 แหล่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำไปเป็นส่วนผสมคอนกรีตได้

จากหนังสือคอนกรีตเทคโนโลยี โดย (ชัชวาล เศรษฐบุต, 2539, หน้า 36) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของทรายว่า ทรายสำหรับผลิตคอนกรีตควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.3-3.2 ทรายที่มีค่าโมดูลัสสูง คือทรายจะมีความหยาบมาก เช่น ทรายที่มีค่าโมดูลัส 3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มีค่าโมดูลัส 2.3 เป็นต้น ทรายที่มีความละเอียดมากจำเป็นต้องใช้น้ำมาก เพื่อให้ได้ความสามารถเท่า ๆ กัน

จะเห็นได้ว่าทรายที่ใช้ในการผสมคอนกรีตก็มีต่อการรับกำลังอัดของคอนกรีต โดยทรายหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 หากมีค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำกว่า 2.5 จะถือว่าเป็นทรายละเอียดและเมื่อนำมาผสมคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตรับกำลังอัดได้น้อยลงกว่าที่ออกแบบไว้

### ตรวจสอบความคุ้มค่าในการใช้ทรายแม่น้ำงาวในผลิตภัณฑ์คอนกรีต

ตาราง 26 แสดงรายละเอียดการเปรียบเทียบราคาทราย ณ อำเภอเวียงแก่น ของคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำงาวกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายแม่น้ำอิง

แหล่งทราย	ราคาทราย (บาท/ลบ.ม.)	ราคาค่าขนส่ง (บาท/ลบ.ม.)	รวมราคา (บาท/ลบ.ม.)
ทรายแม่น้ำงาว	135.51	0	135.51
ทรายแม่น้ำอิง	135.51	179.93	315.44
ส่วนต่างของราคาทราย			179.93

หมายเหตุ: ราคาทรายเป็นราคาตามพาณิชย์จังหวัดเชียงรายประจำเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2555 ค่าขนส่งตามตารางค่าขนส่งของการจัดทำราคากลางของหน่วยงานของรัฐที่ระยะทาง 62 กิโลเมตร ราคาน้ำมันดีเซล ณ บั้มปตท. ในอำเภอเมือง 30.00-30.99 บาท/ลิตร

คอนกรีตทั่วไป (1: 2: 4) ใช้ทรายจำนวน 0.57 ลูกบาศก์เมตร ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นราคาทรายที่ต่างกันเท่ากับ (ส่วนต่างของราคาทราย/ลบ.ม.) X (จำนวนทรายที่ใช้/คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร) จะได้  $179.93 \times 0.57 = 102.56$  บาท/คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ทำให้การใช้ทรายแม่น้ำงาวเป็นส่วนผสมคอนกรีตจึงมีความเหมาะสมและคุ้มค่า

### ข้อเสนอแนะ

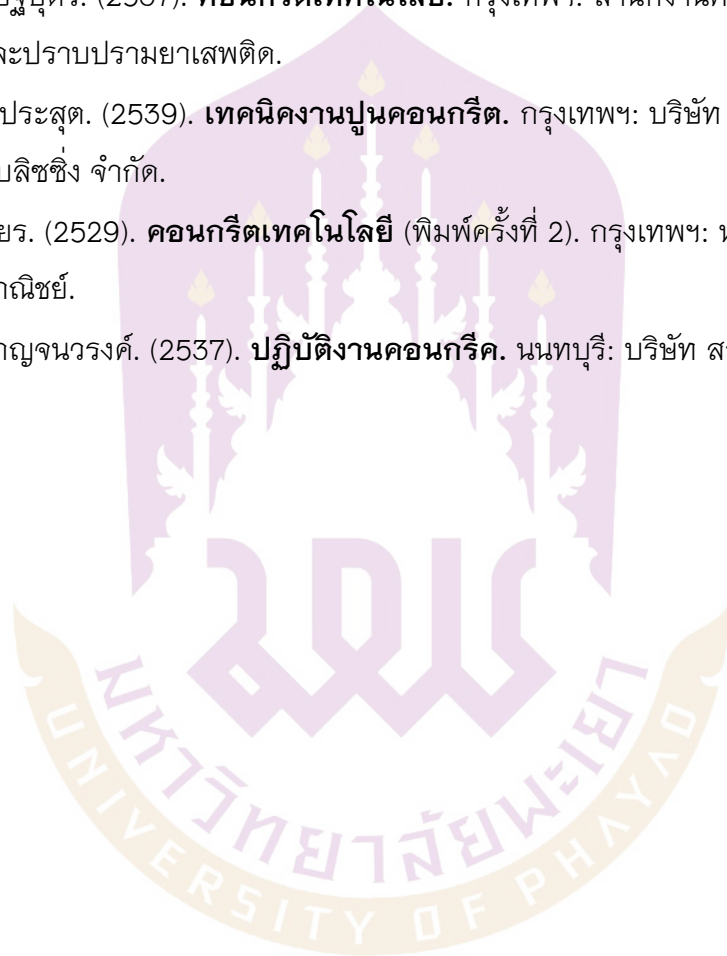
ความคุ้มค่าของการทดลองนี้คือการนำทรายที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีการใช้เป็นทรายถม และทรายรองพื้นอยู่แล้ว และจากผลการทดลองยังสามารถนำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตได้ แต่เนื่องจากทรายแม่น้ำงาวมีค่า F.M. เท่ากับ 2.58 คือเป็นทรายที่ค่อนข้างละเอียด เพื่อให้การออกแบบกำลังอัดนั้นอาจต้องเพิ่มซีเมนต์ และน้ำ เพื่อให้กำลังอัดเป็นไปตามที่ออกแบบ และความคลาดเคลื่อนลดน้อยลง



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- ชัชวาล เศรษฐบุตตร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ: บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง.
- ชัชวาล เศรษฐบุตตร. (2537). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด.
- ประณต กุลประสูต. (2539). **เทคนิคงานปูนคอนกรีต**. กรุงเทพฯ: บริษัท อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2529). **คอนกรีตเทคโนโลยี (พิมพ์ครั้งที่ 2)**. กรุงเทพฯ: หจก. สัมพันธ์พาณิชย์.
- อุดมวิทย์ กาญจนวงค์. (2537). **ปฏิบัติงานคอนกรีต**. นนทบุรี: บริษัท สกายบุคส์ จำกัด.





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง 27 แสดงความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

CEMENT	
Weigth of Sample in gm	64
Intial Reading in cc	250.18
Final Reading in cc	270.5
Volume in cc	20.6
Temperater in cc	20.6
Specific Gravity	3.15

ตาราง 28 แสดงขนาดส่วนคละของหิน

SIEVE No	SIEVE	WEIGHT	WEIGHT	WEIGHT	PERCENT	CUMULATIVE	PERCENT
	OPENING	SIEVE	SIEVE+AGG	AGGREGATE..	RETAIN	PERCENT	FINER
	(mm)	(gm)	(gm)	(gm)	(%)	(%)	(%)
1 ½ "	38.10	113.00	113.00	0	0.000	0.000	100
1 "	25.40	113.00	113.00	0	0.000	0.000	100
¾ "	19.00	113.00	280	160	3.201	3.201	96.799
½ "	12.70	113.00	1700	1580	31.613	34.814	65.186
3/8 "	9.50	113.00	1580	1460	29.212	64.026	35.974
#4	4.75	113.00	1680	1560	31.212	95.238	4.762
#8	2.36	113.00	238	118	2.361	97.599	2.401
PAN	0.00	113.00	240	120	2.401	100.000	0.000
รวม				5000.00		294.878	
				F.M. =	2.95		

ตาราง 29 แสดงขนาดส่วนคละทรายแม่น้ำาว

SIEVE No	SIEVE	WEIGHT	WEIGHT	WEIGHT	PERCENT	CUMULATIVE	PERCENT
	OPENING	SIEVE	SIEVE+AGG	AGGREGATE..	RETAIN	PERCENT	FINER
	(mm)	(gm)	(gm)	(gm)	(%)	(%)	(%)
3/8"	9.50	155.00	161.10	6.10	1.22	1.22	98.78
#4	4.75	155.00	185.70	30.70	6.14	7.36	92.64
#8	2.36	155.00	181.30	26.30	5.26	12.62	87.38
#16	1.18	155.00	194.40	39.40	7.88	20.50	79.50
#30	0.60	155.00	257.00	102.00	20.40	40.90	59.10
#50	0.30	155.00	345.00	190.00	38.00	78.90	21.10
#100	0.15	155.00	245.50	90.50	18.10	97.00	3.00
PAN	0.00	155.00	170.00	15.00	3.00	100.00	0.00
รวม				500.00		258.50	
				F.M. =	2.585		

ตาราง 30 แสดงขนาดส่วนนคละทรายแม่ น้ำอิ้ง

SIEVE	SIEVE	WEIGHT	WEIGHT	WEIGHT	PERCENT	CUMULATIVE	PERCENT
No	OPENING	SIEVE	SIEVE+AGG	AGGREGATE..	RETAIN	PERCENT	FINER
	(mm)	(gm)	(gm)	(gm)	(%)	(%)	(%)
3/8"	9.50	113.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.75	113.00	115.00	2.00	0.40	0.40	99.60
#8	2.36	113.00	149.00	36.00	7.20	7.60	92.40
#16	1.18	113.00	220.00	107.00	21.40	29.00	71.00
#30	0.60	113.00	265.00	152.00	30.40	59.40	40.60
#50	0.30	113.00	267.00	154.00	30.80	90.20	9.80
#100	0.15	113.00	154.00	41.00	8.20	98.40	1.60
PAN	0.00	113.00	121.00	8.00	1.60	100.00	0.00
รวม				500.00		285.00	
				F.M. =	2.85		

ตาราง 31 แสดงความถ่วงจำเพาะของทรายแม่ น้ำอิ้ง

determination	1	2	remark
1. นน.ชวด (gm)	174.60	158.00	** ควบคุมอุณหภูมิ
2. นน.ชวด + น้ำ (gm)	671.50	654.00	ที่ 20 c
3. นน.ทราย SSD (gm)	500.00	500.00	
4. นน.ชวด + น้ำ + ทราย (gm)	963.00	950.00	
5. นน.ทรายแห้ง (Oven-Day) (gm)	484.30	485.00	
Bulk Specif Gravity (Oven-Day)	2.32	2.38	
Bulk Specif Gravity (SSD)	2.40	2.45	
Apparent Specif Gravity	2.51	2.57	
Absorption ( )	3.24	3.09	
Average Bulk Specif Gravity (Oven-Day)		2.35	
Average Bulk Specif Gravity (SSD)		2.42	
Average Apparent Specif Gravity		2.54	
Average Absorption		3.17	

### ตาราง 32 แสดงความถ่วงจำเพาะทราย แม่น้ำอิง

determination	1	2	remark
1. นน.ขวด (gm)	262.00	269.50	** ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 c
2. นน.ขวด + น้ำ (gm)	1,256.50	1,263.00	
3. นน.ทราย SSD (gm)	500.00	500.00	
4. นน.ขวด + น้ำ + ทราย (gm)	1,564.00	1,571.00	
5. นน.ทรายแห้ง (Oven-Day) (gm)	489.00	489.50	
Bulk Specif Gravity (Oven-Day)	2.54	2.55	
Bulk Specif Gravity (SSD)	2.60	2.60	
Apparent Specif Gravity	2.69	2.70	
Absorption ( )	2.25	2.15	
Average Bulk Specif Gravity (Oven-Day)		2.54	
Average Bulk Specif Gravity (SSD)		2.60	
Average Apparent Specif Gravity		2.70	
Average Absorption		2.20	

### ตาราง 33 แสดงความถ่วงจำเพาะของหิน

determination	1	2	remark
1. Weight of SSD Sample (gm)	5,000.00	5,000.00	
2. Weight of Container (Basket) in Water (gm)	1,603.00	1,603.00	
3. Weight of Container + Sample in Water (gm)	4,745.00	4,755.00	
4. Weight of Sample in Water(gm)	3,142.00	3,152.00	
5. Weight of Oven Dry Sample in air (gm)	4,944.00	4,946.00	
Bulk Specif Gravity (Oven-Day)	2.66	2.68	
Bulk Specif Gravity (SSD)	2.69	2.71	
Apparent Specif Gravity	2.77	2.79	
Absorption ( % )	1.12	1.08	
Average Bulk Specif Gravity (Oven-Day)		2.67	
Average Bulk Specif Gravity (SSD)		2.70	
Average Apparent Specif Gravity		2.78	
Average Absorption		1.10	

ตาราง 34 แสดงหน่วยน้ำหนักของหิน

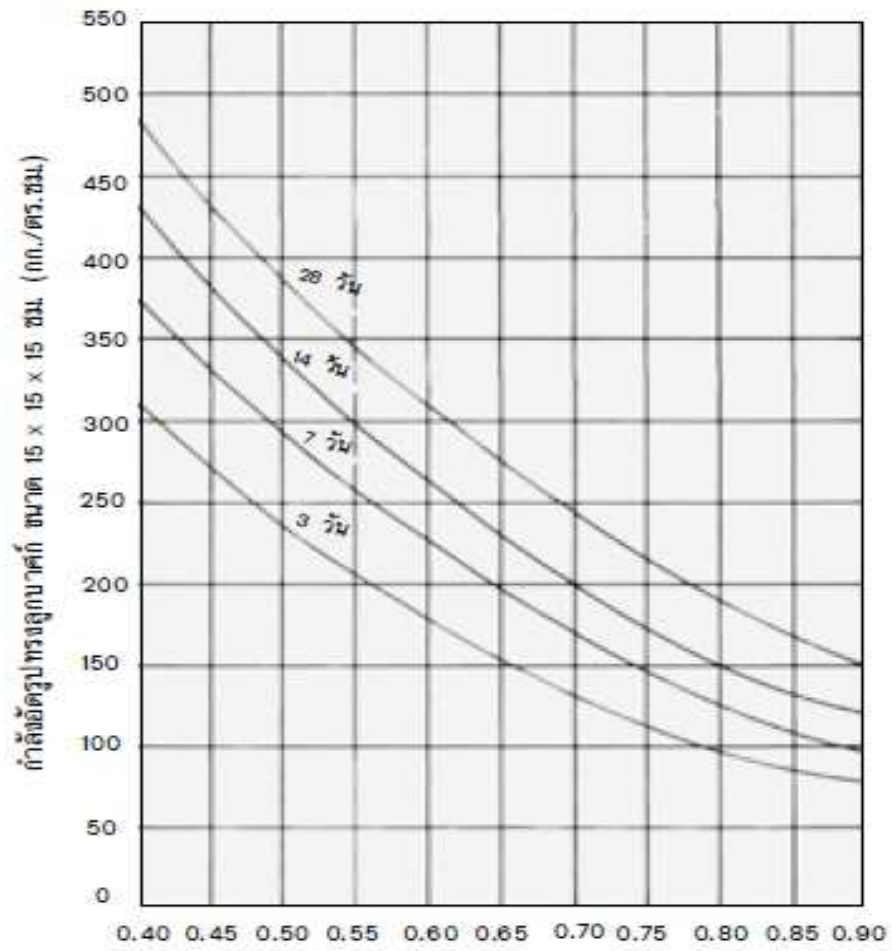
SAMPLE NO.	1	2
1. Weight of Container + Glass (kg)	16.50	16.55
2. Weight of Container + Water + Glass (kg)	26.80	26.80
3. Temp 24 C	997.32	997.32
4. Volume m <sup>3</sup>	0.01	0.01
5. Weight of Container + Sample (kg)	29.59	29.60
6. Weight of Container (kg)	14.50	14.55
7. Weight of Sample Alone (kg)	15.00	15.05
8. Unit Weight of Sample Alone (kg/m <sup>3</sup> )	1,500	1,505
Average	1,502.5	

ตาราง 35 แสดงปริมาณน้ำเพื่อได้ค่ายุบตัวที่ต้องการ

ค่ายุบตัว (ชม.)	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	
	หินย่อยขนาด	หินย่อยขนาด
	1 <sup>#</sup> -#4	3/4 <sup>#</sup> -#4
7.5±2.5	180	190
10.0±2.5	190	200
12.5±2.5	200	210

ตาราง 36 แสดงปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน

ขนาดหิน	ปริมาณปูนซีเมนต์ + ปริมาณทราย
1 <sup>#</sup> ±#4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
3/4 <sup>#</sup> ±#4	40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร



ภาพ 3 แสดงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต

### การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(ใช้ทรายแม่น้ำาว)

ออกแบบคอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 240 กก./ตร.ซม.โดยมีส่วนเพื่อ  
(Margin) 60 กก./ตร.ซม.ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  ซม. ใช้หิน 3/4" - #4

ไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลการออกแบบ

1. กำลังที่ต้องการออกแบบ  $240 + 60 = 300$  กก./ตร.ซม.

2. ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  ซม.

3. ใช้หิน 3/4" - #4

4. ไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 2 หาปริมาณน้ำที่ใช้และหาน้ำหนักซีเมนต์

1. หาปริมาณน้ำจากตาราง 18.9 ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  ซม. ใช้หิน 3/4" - #4

ไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต

ใช้น้ำ 190 ลิตร / ลบ.ม.คอนกรีต

ได้ค่า W/C = 0.61

- น้ำหนักซีเมนต์ =  $190/0.61 = 311$  กก.

ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาตรซีเมนต์

$$= 311 / 3.15 = 99 \text{ ลิตร}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาตรทราย

เนื่องจากใช้หิน 3/4" - #4

ปริมาตรซีเมนต์ + ปริมาตรทราย = 40% หรือ 400 ลิตร

ปริมาตรทราย =  $400 - 99 = 301$  ลิตร

ขั้นตอนที่ 5 หาน้ำหนักทราย

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย  $\times$  ความถ่วงจำเพาะของทราย

$$= 301 \times 2.60 = 782.6$$

ขั้นตอนที่ 6 หาปริมาตรหิน

ปริมาตรหิน = 1000 - ปริมาตรซีเมนต์ - ปริมาตรน้ำ - ปริมาตรทราย

จะได้  $1000 - 99 - 190 - 301 = 410$

ขั้นตอนที่ 7 หาน้ำหนักหิน

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะหิน

จะได้  $410 \times 2.7 = 1107$

**ใช้ความละเอียดที่ 5 กก.**

สรุปส่วนผสมคอนกรีตใน 1 ลบ.ม. ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์ 310 กก.

น้ำ 190 ลิตร

ทราย 780 กก.

หิน 1110 กก.

**การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต(ใช้ทรายแม่น้ำอิง)**

ออกแบบคอนกรีตกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 240 กก./ตร.ซม.โดยมีส่วนเผื่อ (Margin)

60 กก./ตร.ซม.ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  ซม. ใช้หิน 3/4" - #4

ไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลการออกแบบ

1. กำลังที่ต้องการออกแบบ  $240 + 60 = 300$  กก./ตร.ซม.

2. ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  ซม.

3. ใช้หิน 3/4" - #4

4. ไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ 2 หาปริมาณน้ำที่ใช้และหาน้ำหนักซีเมนต์

- หาปริมาณน้ำจากตาราง 18.9 ค่ายุบตัว  $7.5 \pm 2.5$  ซม. ใช้หิน 3/4" - #4

ไม่ใช้น้ำยาผสมคอนกรีต

ใช้น้ำ 190 ลิตร / ลบ.ม.คอนกรีต

ได้ค่า W/C = 0.61

- น้ำหนักซีเมนต์ =  $190/0.61 = 311$  กก.

ขั้นตอนที่ 3 หาปริมาตรซีเมนต์

$$= 311 / 3.15 = 99 \text{ ลิตร}$$

ขั้นตอนที่ 4 หาปริมาตรทราย

เนื่องจากใช้หิน 3/4" - #4

ปริมาตรซีเมนต์ + ปริมาตรทราย = 40% หรือ 400 ลิตร

$$\text{ปริมาตรทราย} = 400 - 99 = 301 \text{ ลิตร}$$

ขั้นตอนที่ 5 หาน้ำหนักทราย

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย × ความถ่วงจำเพาะของทราย

$$= 301 \times 2.42 = 728.42$$

ขั้นตอนที่ 6 หาปริมาตรหิน

ปริมาตรหิน = 1000 - ปริมาตรซีเมนต์ - ปริมาตรน้ำ - ปริมาตรทราย

$$\text{จะได้ } 1000 - 99 - 190 - 301 = 410$$

ขั้นตอนที่ 7 หาน้ำหนักหิน

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน × ความถ่วงจำเพาะหิน

$$\text{จะได้ } 410 \times 2.7 = 1107$$

**ใช้ความละเอียดที่ 5 กก.**

สรุปส่วนผสมคอนกรีตใน 1 ลบ.ม. ได้ดังนี้

ปูนซีเมนต์	310	กก.
น้ำ	190	ลิตร
ทราย	730	กก.
หิน	1110	กก.



ภาพ 4 แสดงอุปกรณ์ทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต



ภาพ 5 แสดงตัวอย่างการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต



ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

## ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

ชื่อ นามสกุล	เจนณรงค์ จันตา
วัน เดือน ปี เกิด	28 สิงหาคม 2522
ที่อยู่ปัจจุบัน	44 หมู่ที่ 5 ตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย 57310
ที่ทำงานปัจจุบัน	เทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย 57310
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นายช่างโยธา 5
ประวัติการศึกษา	วท.บ (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พ.ศ. 2546

