

## บทที่ 4

### วิธีการศึกษา

#### 4.1 แผนการทดสอบ

ในการศึกษานี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, **Green Sand and Molding Waste (GSW)** และ **Shell Sand Waste (SSW)**
2. การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสม **Green Sand and Molding Waste (GSW)** และ **Shell Sand Waste (SSW)**

การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตประกอบด้วย 2 ส่วนคือ คุณสมบัติทางกล ได้แก่ ค่าการยุบตัวเริ่มต้น กำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต โมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน และคุณสมบัติด้านความทนทาน ได้แก่ การหดตัวแบบแห้ง การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) และอะซิติก ( $CH_3COOH$ ) และความทนทานต่อสารละลายโซเดียมซัลเฟต ( $Na_2SO_4$ )

#### 4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราภูเขา ของบริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน)
2. ผงฝุ่นทรายไล้แบบที่ใช้ในการทดสอบ เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหล่อ 2 ชนิด คือ **Green Sand and Molding Waste (GSW)** และ **Shell Sand Waste (SSW)** จากบริษัท โตโยต้าอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดชลบุรี
3. น้ำ ใช้น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7
4. ทราย ทรายที่ใช้ในการทดสอบเป็นทรายแม่น้ำที่มีขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C 33
5. หิน เป็นหินปูน (Limestone) มีขนาดใหญ่สุด 25 มิลลิเมตร และขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C 33
6. สารเคมีที่ใช้ดังต่อไปนี้
  - 6.1 กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.84 และปริมาณรีเอเจนต์ (เนื้อสาร) ร้อยละ 98 (โดยน้ำหนัก)

6.2 กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.05 และปริมาณรีเอเจนต์ (เนื้อสาร) ร้อยละ 99.5 (โดยน้ำหนัก)

6.3 โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

#### 4.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

##### 4.1.2.1 เครื่องมือวัด ได้แก่

1. เครื่องชั่ง
2. เวอร์เนียคาลิเปอร์
3. เทอร์โมมิเตอร์

##### 4.1.2.2 อุปกรณ์ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม

1. ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาขนาดผลและโมดูลัสความละเอียดของมวลรวม
2. ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซับน้ำ

##### 4.1.2.3 อุปกรณ์ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

1. เครื่องผสมคอนกรีต
2. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ขนาด 200 ตัน
3. ชุด Cap หัวคอนกรีต และเครื่องตีพิมพ์กำมะถัน
4. เครื่องวัดการหดตัวแบบดิจิตอล (Digital Length Comparator)
5. ห้องบ่มที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้
6. เครื่องจักรคอนกรีต เหล็กกระทง ทุ้ง เกรียงเหล็ก
7. ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต
8. ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
9. แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 สูง 20 เซนติเมตร
10. แบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 สูง 30 เซนติเมตร
11. แบบหล่อขนาด 7.5x7.5x28.5 เซนติเมตร
12. แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 10 และ 15 เซนติเมตร

#### 4.1.3 สถานที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.3.1 ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

4.1.3.2 โรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จของทางบริษัท เอเชียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัด

4.1.3.3 โรงฝึกงาน 1 โปรแกรมเทคโนโลยีก่อสร้าง สถาบันราชภัฏพระนคร

#### 4.1.4 รายละเอียดวิธีการทดสอบ

##### 4.1.4.1 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

การทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของ **Green Sand and Molding Waste (GSW)** และ **Shell Sand Waste (SSW)** เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทดสอบโดยบริษัท เอเชียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัด แสดงในตารางที่ 4.1

#### ตารางที่ 4.1

คุณสมบัติที่ทำการทดสอบ เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

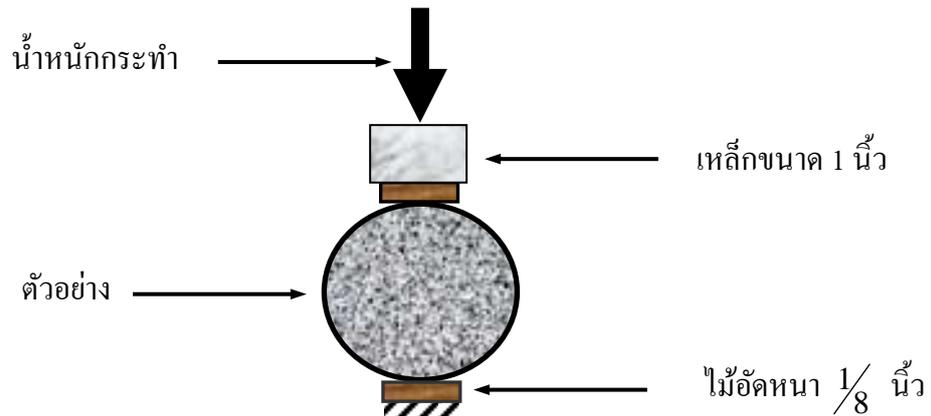
องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางกายภาพ
1. ซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ )	1. ความถ่วงจำเพาะ
2. อะลูมิเนียมไดออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	2. Bulk Density (กรัม/ตร.ซม.)
3. ไอรอนออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	3. ความละเอียด (ตร.ซม./กรัม)
4. แคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ )	4. ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
5. แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ )	5. ดัชนีกำลัง (Strength Index, (SI))
6. โพแทสเซียมออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ )	6. การกระจายขนาดคละ
7. โซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	7. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (LOI)
8. ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$ )	(ร้อยละ)
	8. ความต้องการน้ำ (ร้อยละ)

การทดสอบเพื่อหาลักษณะของอนุภาคด้วยเทคนิค **Scanning Electron Microscope (SEM)** ความเป็นผลึกของ GSW กับ SSW ด้วยวิธี X-Ray และการกระจายขนาดของอนุภาค (Particle Size Distribution) ทดสอบโดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.1.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

การทดสอบหาคุณสมบัติของคอนกรีตปกติและคอนกรีตที่ผสม **Shell Sand Waste (SSW)** หรือ **Green Sand Waste (GSW)** โดยมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM (**American Society for Testing and Materials**) ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพสดตามมาตรฐาน ASTM C 138 (Standard Method of Test for Weight per Cubic Foot, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete)
2. การทดสอบหาค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 143 (Standard Method for Slump of Portland Cement Concrete)
3. การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 403 (Standard Test Method of Time of Setting of Concrete Mixture by Penetration Resistance)
4. การทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C 469 (Standard Method of Test for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression)
5. การทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 สูง 20 เซนติเมตร โดยทำการหล่อ 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากถอดแบบที่อายุ 1 วัน จากนั้นนำไปทำการบ่มในน้ำจนถึงเวลาทดสอบที่ 3, 7, 28, 60, 90 และ 120 วัน ตามลำดับ ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงใช้วิธีทดสอบแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM C 39 (Standard Method Test for Compressive Strength of Cylinder Concrete Specimens) และ ASTM C 496 (Standard Method Test for Splitting Tensile Test of Cylinder Concrete Specimens) ตามลำดับ โดยที่ลักษณะของการติดตั้งเครื่องมือทดสอบแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การติดตั้งเครื่องทดสอบแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 496

6. การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) โดยทำการผสมคอนกรีตแล้วจึงนำมาเทลงแบบหล่อขนาด 75x75x285 มิลลิเมตร ถอดแบบออกหลังจากผสม 1 วัน จากนั้นนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน ระหว่างนั้นให้นำมาทำการวัดด้วยเครื่อง Digital Length Comparator ทุกๆ 3 วัน เมื่อครบกำหนด 28 วันให้นำขึ้นจากน้ำมาทำการบ่มในตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิที่  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ  $60 \pm 5$  ทำการวัดเช่นเดียวกับขณะที่ทำการบ่มในน้ำ โดยความยาวเริ่มต้น  $L_0$  และความยาวของแท่งตัวอย่าง ณ วันที่ทำการวัดต่อไปเป็น  $L_t$  แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการที่ (4.1) ทำการวัดไปจนกระทั่งความยาวที่เปลี่ยนไปมีแนวโน้มค่าคงที่

$$Strain = \frac{L_0 - L_t}{L_0} \quad (4.1)$$

7. ความทนทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลฟูริกและอะซิดิก โดยทำการผสมคอนกรีตแล้วจึงนำมาเทลงแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ถอดแบบหล่อเมื่อคอนกรีตมีอายุ 1 วัน จึงนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นจึงนำคอนกรีตมาทำการฝั่งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำมาชั่งหาน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำไปทำการแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกและอะซิดิกที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มอลิตี โดยทำการควบคุมอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของสารละลายกรดเท่ากับ 1 ต่อ 3 เพื่อให้กรดสามารถกระทำต่อทุกผิวของคอนกรีต เมื่อแช่ครบอายุที่ 7, 28, 60, 90 และ 120 วัน ตามลำดับ จึงนำมาทำการชั่งผิวตัวอย่างคอนกรีตและฝั่งให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำมาชั่ง

น้ำหนักที่เหลืออยู่ นำผลการทดสอบมาคำนวณหาร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักจากน้ำหนักที่ลดลงเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น

8. การทดสอบความทนทานต่อซัลเฟตในรูปของการขยายตัวของตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งอ้างอิงมาจากมาตรฐาน ASTM C 1012 เป็นแนวทางเบื้องต้น โดยเริ่มจากการหล่อแท่งตัวอย่างคอนกรีตขนาด 75x75x285 มิลลิเมตร และทำการถอดแบบที่อายุ  $23.5 \pm 0.5$  ชั่วโมงหลังการผสมจึงวัดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปทำการบ่มในน้ำปุณใสเป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ที่มีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 50 กรัมต่อลิตร ทำการวัดความยาวโดยใช้เครื่อง Digital Length Comparator วัดเป็นประจำทุกสัปดาห์และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาหน่วยการยืดหดจากความยาวที่เปลี่ยนไปเทียบกับความยาวเริ่มต้น

#### 4.1.4.3 สัดส่วนที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

สัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วย SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการแทนที่ทรายธรรมชาติด้วย GSW แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

จากสัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมเสร็จที่มีส่วนประกอบของ SSW และ GSW ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 และจากขอบเขตของศึกษาที่กำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ  $5 \pm 0.5$ ,  $10 \pm 0.5$  และ  $15 \pm 0.5$  เซนติเมตร ตามลำดับ ทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ดังที่แสดงในตารางเพื่อทำให้คอนกรีตผสมเสร็จมีค่าการยุบตัวดังกล่าวมีปริมาณแตกต่างกัน โดยกำหนดให้ต้องมีการทดสอบจากหน้างานจริง ในขณะที่ตัวเลขดังที่แสดงในตารางได้มาจากการทดสอบแล้วเบื้องต้นว่าคอนกรีตผสมเสร็จมีค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 2.5$  เซนติเมตร

#### 4.1.4.4 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

จำนวนตัวอย่างของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 4.4