บทที่ 3 วิธีการทดสอบ

บทนี้กล่าวถึง วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ การเตรียมวัสดุ เครื่องมือและตัวอย่างทดสอบ วิธีการทดสอบ ขั้นตอนดำเนินการศึกษาและสัญลักษณ์ที่ใช้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. วัสดุปอซโซลานใช้เถ้าถ่านหินจาก อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง
3. มวลรวมจากธรรมชาติได้แก่ ทรายแม่น้ำและหินปูนย่อยขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 19 มม.
4. มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า
5. น้ำสะอาด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1. แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม.
2. แบบหล่อแท่งคอนกรีตขนาด 7.5×7.5×28.5 ซม.
3. เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต
4. เครื่องทดสอบการขัดสี (รูปที่ 3.1)
5. เครื่องทดสอบความสามารถต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตแบบเร่งด้วยไฟฟ้า (รูปที่ 3.2)
6. เครื่องวัดการหดตัวแบบแห้ง (รูปที่ 3.3)
7. เครื่องย่อยคอนกรีตแบบ Swing hammer mills

รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบการขัดสี

รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบความสามารถต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตแบบเร่งด้วยไฟฟ้า

รูปที่ 3.3 เครื่องวัดการหดตัวแบบแห้ง

3.3 วิธีการศึกษา

3.3.1 การเตรียมวัสดุ

3.3.1.1 เถ้าถ่านหินใช้จาก อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย บดเถ้าถ่านหินด้วยเครื่องบดแบบตกกระทบจนมีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

3.3.1.2 มวลรวมจากเศษคอนกรีตเก่าใช้ก้อนคอนกรีตที่ผ่านการทดสอบกำลังอัดในห้องปฏิบัติการคอนกรีต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บดย่อยด้วยเครื่องย่อยคอนกรีตแบบ Swing hammer mills ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เพื่อคัดแยกมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ส่วนที่ผ่านตะแกรงคือมวลรวมละเอียดจากเศษคอนกรีต (Recycled fine aggregate: RFA) ส่วนที่ค้างบนตะแกรงและมีขนาดไม่เกิน 19 มม. คือมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีต (Recycled coarse aggregate: RCA)

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติจำเพาะของวัสดุ

3.3.2.1 ทดสอบความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าถ่านหินตามมาตรฐาน ASTM C188 (2009) ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัสดุต่อน้ำหนักของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากัน การทดสอบนี้ใช้น้ำมันก๊าดซึ่งเป็นของเหลวที่ไม่ทำปฏิกิริยากับวัสดุที่ทดสอบ

3.3.2.2 ทดสอบน้ำหนักเถ้าถ่านหินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ด้วยวิธี Wet sieve analysis ตามมาตรฐาน ASTM C430 (2001) โดยการร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ด้วยน้ำจากนั้นนำไปอบให้แห้งจะได้ส่วนที่เหลือจากการร่อนซึ่งเป็นน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงของวัสดุทดสอบ

3.3.2.3 ถ่ายภาพขยายกำลังสูงของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินบดละเอียดด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะรูปทรงของวัสดุประสาน

3.3.2.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF)

3.3.2.5 วิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินบดละเอียดด้วยเครื่อง Particle size analyzer microtrac II (Standard range analyzer: model 7997-10: size 0.7 to 700 microns)

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า

3.3.3.1 วิเคราะห์การกระจายขนาดและค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมด้วยตะแกรงตามมาตรฐาน ASTM C136 (2001) เพื่อวิเคราะห์ขนาดโดยเฉลี่ยของมวลรวมเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C33 (2001)

3.3.3.2 ทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C128 (2001) โดยน้ำหนักของมวลรวมคืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมวลรวมต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

3.3.3.3 ทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C127 (2001) ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมเป็นค่าที่แสดงถึงการดูดซึมน้ำเข้าไปเก็บไว้ในมวลรวม

3.3.3.4 ทดสอบปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C29 (2001) โดยหน่วยน้ำหนักของมวลรวมคือน้ำหนักของมวลรวมต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรมีหน่วย กก/ม^3 ส่วนปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมคือร้อยละของช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

3.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

3.3.4.1 ทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตสดตามมาตรฐาน ASTM C143 (2001) ด้วยกรวยตัดตอนบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 10.2 ซม. และด้านล่าง 20.3 ซม. ความสูง 30.5 ซม. มีหูจับและแผ่นเหล็กให้เท้าเหยียบด้านข้าง ตักคอนกรีตสดลงในแบบโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นให้มีปริมาตรเท่ากันกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้งกระจายให้ทั่วตลอดหน้าตัดเมื่อครบ 3 ชั้นปาดหน้าคอนกรีตให้อยู่ในระดับเดียวกันกับขอบกรวยแล้วทำการยกกรวยขึ้นในแนวดิ่ง วัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

3.3.4.2 ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39 (2001) เมื่อคอนกรีตมีอายุ 7, 28 และ 90 วัน โดยเคลือบผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบเสมอก่อนทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C617 (2001)

3.3.4.3 ทดสอบการต้านทานการขัดสีเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 และ 90 วัน นำก้อนคอนกรีตมาตัดด้วยเครื่องตัดคอนกรีตให้มีความสูง 6 ซม. โดยตัดส่วนบนของก้อนคอนกรีตทิ้งตากทิ้งไว้ในร่มไว้ 24 ซม. นำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการขัดสีตามมาตรฐาน ASTM C944 (2001)

3.3.4.4 ทดสอบการแทรกซึมของอิออนคลอไรด์เมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 และ 90 วัน ตัดด้วยเครื่องตัดคอนกรีตให้มีความสูง 5 ซม. เช็ดให้แห้งแล้วนำไปเคลือบผิวด้านข้างด้วยซิลิโคนทิ้งไว้ให้ซิลิโคนแห้งนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความสามารถต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตแบบเร่งด้วยไฟฟ้าตามมาตรฐาน ASTM C1202 (2001)

3.3.4.5 ทดสอบการหดตัวแบบแห้งกับแท่งคอนกรีตขนาด 7.5×7.5×28.5 ซม.บ่มทิ้งไว้ 24 ซม. เมื่อครบกำหนดนำขึ้นมาเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด วัดขนาดแล้วนำเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ 23±2°C และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50±5 นำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดการหดตัวแบบแห้งที่อายุทดสอบ 3, 7, 14, 21, 28 วัน และทุกๆ 7 วัน ติดต่อกันจนคอนกรีตมีอายุครบ 98 วัน

3.3.5 อัตราส่วนผสมคอนกรีตและตัวอย่างคอนกรีต

ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211.1 (2000) โดยควบคุมอัตราส่วนน้ำประสิทธิผลต่อวัสดุประสานที่ 0.48 และควบคุมค่าการยุบตัวให้อยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 ซม. และทำการปรับปริมาณ

ความชื้น ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม และค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหิน โดยน้ำหนักของมวลรวมถูกกำหนดให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวแบบแห้ง (Saturated surface dry) ขณะที่มวลรวมจากธรรมชาติและจากเศษคอนกรีตถูกเตรียมให้อยู่ในสภาวะผิวแห้งในอากาศ (Air dry) จึงมีการปรับปริมาณน้ำเนื่องจากความชื้นและการดูดซึมน้ำของมวลรวมตามจริง ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจะเป็นปริมาณน้ำที่ใช้จริง (Mixing water) ส่วนปริมาณน้ำประสิทธิผล (Effective water) จะเป็นปริมาณน้ำที่ใช้เมื่อมวลรวมอยู่ในสภาวะอิ่มตัวแบบแห้ง จากนั้นทำการผลิตคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากเศษคอนกรีตโดยแบ่งกลุ่มส่วนผสมในการผลิตออกเป็น 3 กลุ่มคือ

กลุ่มที่ 1 คือคอนกรีตควบคุม (CON) ใช้มวลรวมละเอียดจากทรายแม่น้ำและมวลรวมหยาบจากหินปูนย่อย

กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่ใช้มวลรวมละเอียดจากทรายแม่น้ำและมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตและปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตด้วยเถ้าถ่านหิน (กลุ่มคอนกรีต CS)

และกลุ่มที่ 3 คือกลุ่มที่ใช้มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตและปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตด้วยเถ้าถ่านหิน (กลุ่มคอนกรีต CRE)

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

Mixes	Mix Proportion (kg/m^3)								W/B*	Slump (cm)
	Cement	Fly Ash	Crushed Limestone	Sand	RFA	RCA	Mixing Water	Effective Water		
CON	380	-	1006	798	-	-	191.2	182.4	0.48	5
CS	380	-	-	798	-	900	214.4	182.4	0.48	6
CS20	304	76	-	794	-	896	214.2	182.4	0.48	9
CS35	247	133	-	792	-	893	214.1	182.4	0.48	9
CS50	190	190	-	790	-	891	214.0	182.4	0.48	5
CRE	380	-	-	-	666	900	256.9	182.4	0.48	5
CRE20	304	76	-	-	663	896	256.6	182.4	0.48	6
CRE35	247	133	-	-	661	893	256.3	182.4	0.48	7
CRE50	190	190	-	-	659	891	256.1	182.4	0.48	8

* อัตราส่วนระหว่างน้ำประสิทธิผลต่อวัสดุประสานเมื่อมวลรวมอยู่ในสภาวะอิ่มตัวแบบแห้ง (SSD)

3.4 สัญลักษณ์ที่ใช้

CON หมายถึงคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวผสมกับทรายแม่น้ำและหินปูนย่อยตามธรรมชาติ

CS หมายถึงคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวผสมกับมวลรวมละเอียดจากทรายแม่น้ำและมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตย่อย

CRE หมายถึงคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียวผสมกับมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบจากเศษคอนกรีตย่อย

{20, 35, 50} หมายถึงการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าถ่านหินบดละเอียดจาก อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ร้อยละ 20, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ