บทที่ 3 วิธีการศึกษา

บทนี้กล่าวถึงระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งประกอบด้วย รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณปริมาณคลอไรด์วิกฤติ กระบวนการหาค่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติ ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน ที่แช่ในสภาวะแวดล้อมทะเลเป็นเวลาถึง 7 ปี

3.1 รายละเอียดคอนกรีตที่แช่ในน้ำทะเล

ในการคำนวณหาค่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติเมื่อแช่ในสภาวะแวดล้อททะเล ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์วิกฤติจากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอไรด์ที่ตำแหน่งเหล็กที่ฝังในคอนกรีตและการเกิดสนิมในเหล็กเสริม โดยใช้ฐานข้อมูลจากตัวอย่างคอนกรีตที่แช่ในสภาวะแวดล้อมทะเล เป็นเวลา 2, 3, 4, 5 และ 7 ปี โดยรายละเอียดของตัวอย่างคอนกรีตมีดังนี้

ตัวอย่างที่มีการเตรียมเมื่อ 7 ปี ที่แล้วใช้คอนกรีตที่มี W/B เท่ากับ 0.45, 0.55 และ 0.65 และใช้เถ้าลอยที่ได้โดยตรงจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I ในอัตราส่วนร้อยละ 15, 25, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ซึ่งส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาแสดงในตารางที่ 3.1 หล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด 200x200x200 มม. และฝังเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 50 มม. ที่ระยะหุ้มคอนกรีต 10, 20, 50 และ 75 มม. ดังแสดงในรูปที่ 3.1 หลังจากบ่มคอนกรีตจนอายุครบ 28 วัน นำตัวอย่างคอนกรีตไปแช่บริเวณชายฝั่งทะเลโรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี โดยคอนกรีตสัมผัสกับน้ำทะเลในสภาพเปียกสลับแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 หลังจากแช่ตัวอย่างคอนกรีตครบ 2, 3, 4, 5 และ7 ปี ได้นำคอนกรีตมาทุบดูการเกิดสนิมในเหล็กที่ฝังในคอนกรีตโดยการวัดพื้นที่ของการเกิดสนิมเหล็ก และนำตัวอย่างคอนกรีตบริเวณรอบผิวเหล็กที่ฝังมาทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ตาม ASTM C1218 [7] ซึ่งเป็นปริมาณคลอไรด์อิสระที่อยู่ในโพรงของคอนกรีต

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

Mix	Mix proportions of concrete (kg/m^3)					W/B
	Cement	Fly Ash	Fine aggregate	Coarse aggregate	Water	
I45	478	-	639	1,024	215	0.45
I45F15	406	72	639	1,004	215	0.45
I45F25	359	119	639	990	215	0.45
I45F35	311	167	639	977	215	0.45
I45F50	239	239	639	957	215	0.45
I55	478	-	639	971	262	0.55
I55F15	406	72	639	948	262	0.55
I55F25	359	119	639	933	262	0.55
I55F35	311	167	639	918	262	0.55
I55F50	239	239	639	897	262	0.55
I65	478	-	639	922	311	0.65
I65F15	406	72	639	898	311	0.65
I65F25	359	119	639	881	311	0.65
I65F35	311	167	639	864	311	0.65
I65F50	239	239	639	840	311	0.65

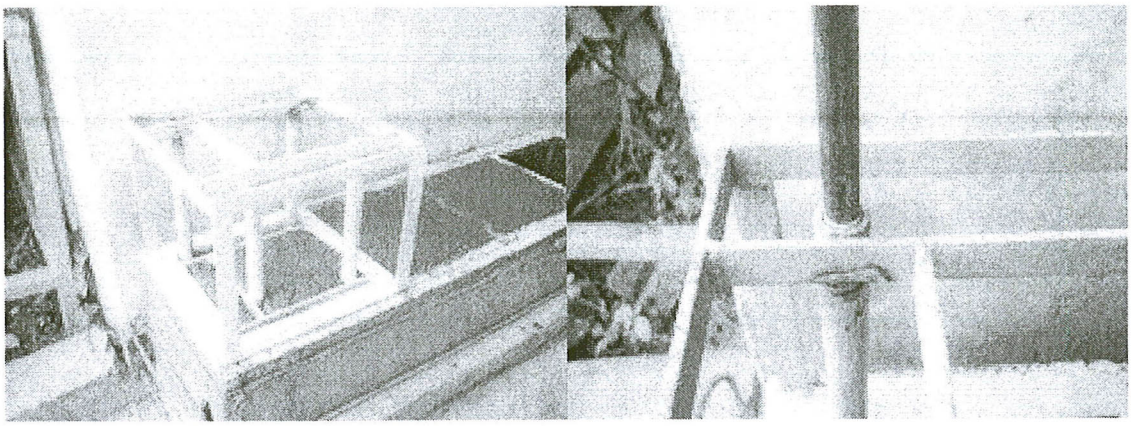
ความหมายของสัญลักษณ์ในแต่ละอัตราส่วนผสมมีความหมายดังนี้

" I45, I55 และ I65 " หมายถึง คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45, 0.55 และ 0.65 ตามลำดับ

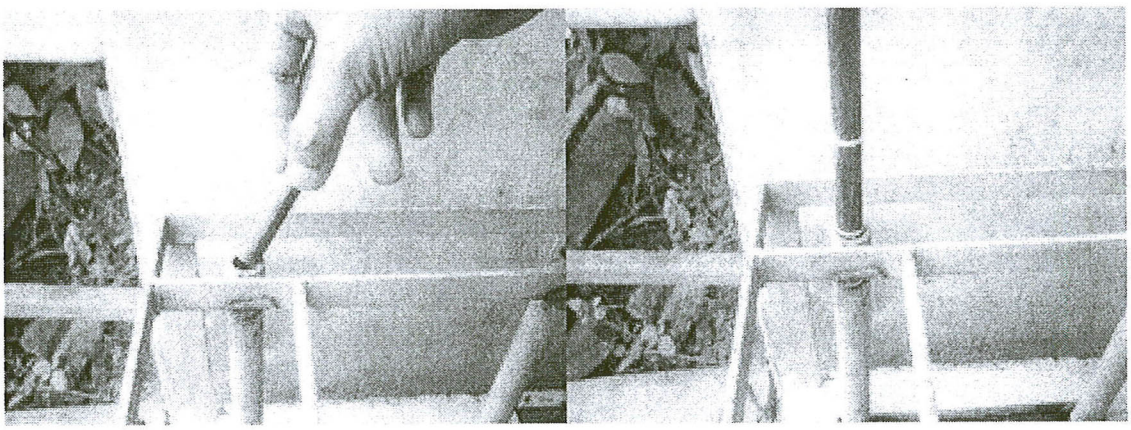
" F15, F25, F35 และ F50 " หมายถึง การแทนที่เถ้าถ่านหินในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I เท่ากับ ร้อยละ 15, 25, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสานตามลำดับ

ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์

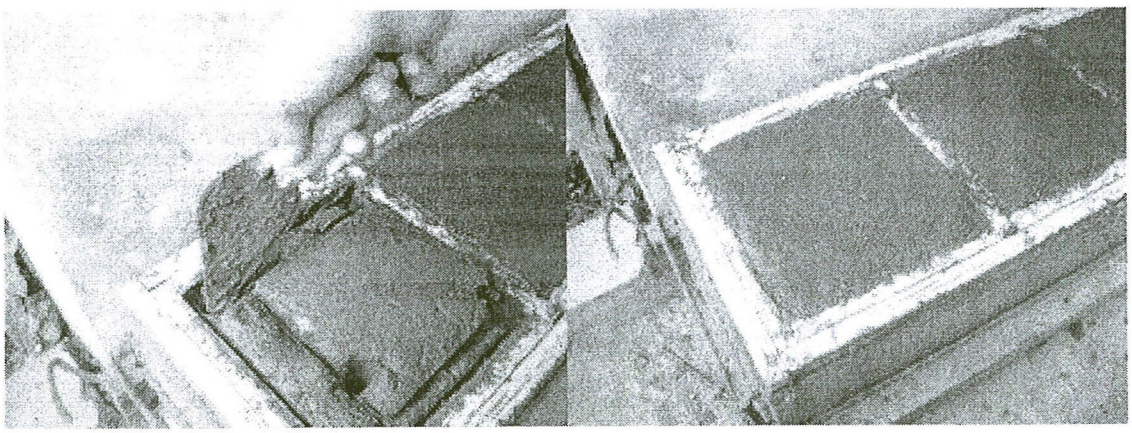
" I45F15 " หมายถึง คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ I แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45



(ก) วางแบบฝังเหล็กบนแบบหล่อคอนกรีต (ข) ใช้เหล็กนำร่องเพื่อดันคอนกรีตให้เกิดช่องว่าง

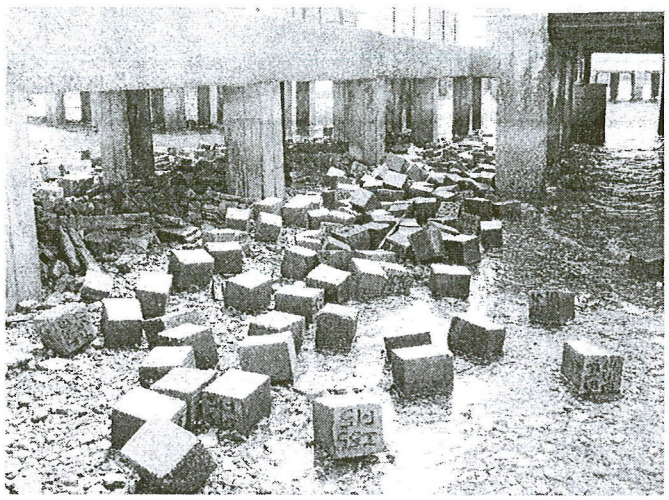


(ค) หย่อนเหล็กลงในคอนกรีต (ง) ตรวจสอบว่าเหล็กที่ฝังอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ



(จ) ใช้เกรียงเกลี่ยคอนกรีตสดให้เต็มแบบหล่อ (ฉ) ตกแต่งผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ

รูปที่ 3.1 การฝังเหล็กลงในคอนกรีต



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างคอนกรีตที่แช่ในน้ำทะเลในสภาพเปียกสลับแห้ง

3.2 การทดสอบปริมาณสารประกอบคลอไรด์ในคอนกรีต

การทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด 20 ซม. ที่ผ่านการแช่น้ำทะเลตามระยะเวลาที่กำหนด โดยนำคอนกรีตมาทำการทุบดูการเกิดสนิม (รูปที่ 3.3) และนำคอนกรีตบริเวณรอบผิวของเหล็กเสริมมาทำการบดและนำไปทดสอบหาปริมาณสารประกอบคลอไรด์ที่ละลายในน้ำ (Water-soluble chloride) ตามมาตรฐาน ASTM C 1218 [7] โดยการไตเตรทปริมาณคลอไรด์ที่อยู่ในคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งสามารถคำนวณร้อยละของคลอไรด์ได้ ดังสมการที่ 3.1

$$Cl,\% = \frac{3.545[(V_1 - V_2)N]}{W} \tag{3.1}$$

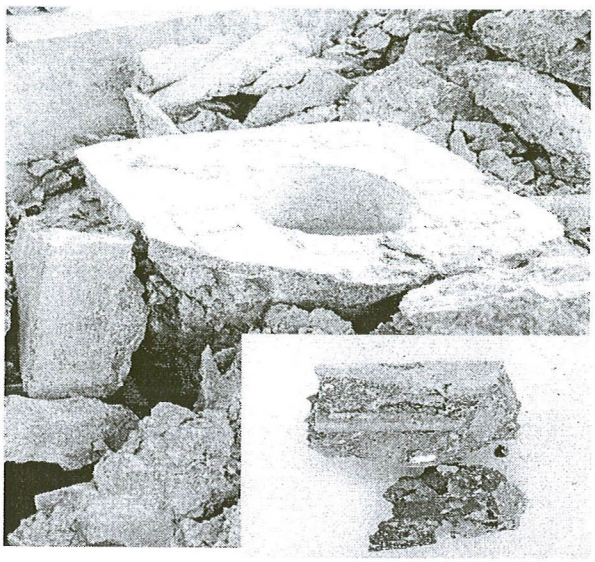
เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรของสารละลาย 0.05 N $AgNO_3$ ที่ใช้สำหรับการไตเตรทตัวอย่าง

V_2 คือ ปริมาตร ของสารละลาย 0.05 N $AgNO_3$ ที่ใช้สำหรับการไตเตรท Blank

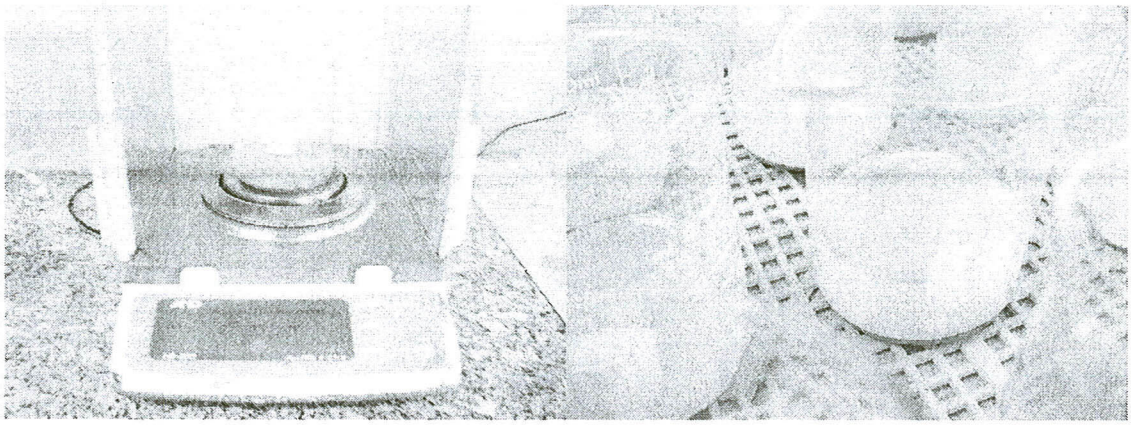
N คือ Exact normality ของสารละลาย 0.05 N $AgNO_3$

0.10 คือ Milliequivalents ของ NaCl ที่เติม (2.0 mL $\times$ 0.05 N)

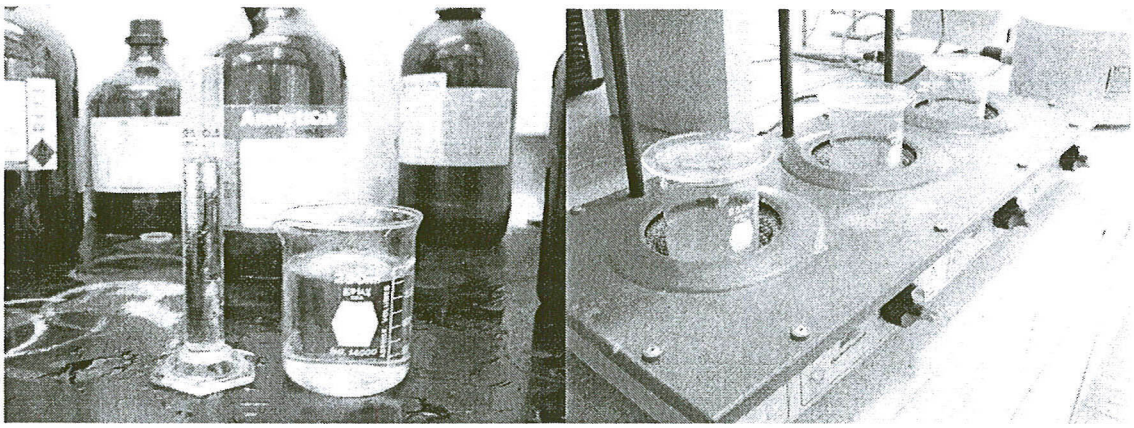
W คือ น้ำหนักของผงตัวอย่างคอนกรีต (กรัม)



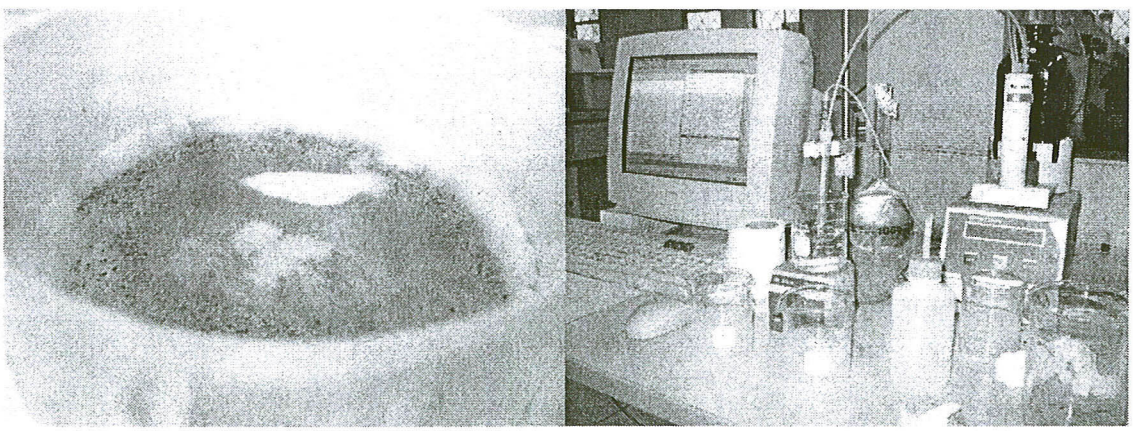
รูปที่ 3.3 คอนกรีตบริเวณที่ฝังเหล็กเพื่อใช้ทดสอบปริมาณคลอไรด์



(ก) ชั่งน้ำหนักผงคอนกรีต (ข) เติมน้ำกลั่น 75 ml



(ค) เติมสารละลายกรดไนตริก 25 ml (ง) ให้ความร้อน



(จ) กรองสารละลายตัวอย่าง (ฉ) ไตเตรทด้วยเครื่องไตเตรทอัตโนมัติ

รูปที่ 3.4 การทดสอบหาปริมาณสารประกอบคลอไรด์ในคอนกรีต

3.3 การทดสอบความเป็นสนิมของเหล็กที่ฝังในคอนกรีต

การสำรวจความเป็นสนิมของเหล็กที่ฝังในคอนกรีต ที่ระยะหุ้มต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเชื่องโยงความสัมพันธ์กับปริมาณคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้าไปในคอนกรีต และเพื่อศึกษาความเหมาะสมในการเลือกใช้ระยะหุ้มคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน เพื่อต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากสภาวะแวดล้อมทางทะเล

หลังจากเก็บตัวอย่างคอนกรีต ที่มีอายุการแช่น้ำทะเลครบตามกำหนด นำคอนกรีตรูปลูกบาศก์มาทำการกดให้แตก เพื่อเก็บเหล็กที่ฝังในคอนกรีตที่ระยะหุ้มต่างๆ มาสำรวจความเป็นสนิมของเหล็กโดยการวัดพื้นที่การเกิดสนิมบนเหล็กที่ฝังในคอนกรีต ใช้กระดาษกราฟใสที่มีช่องตารางขนาด 2×2 มม. ตัดให้มีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถทาบได้รอบเหล็ก จากนั้นใช้ปากกาเขียนเขียนแผ่นใสระบายบนกระดาษกราฟใสตรงตำแหน่งที่เกิดสนิม นำกระดาษกราฟใสที่ได้มานับพื้นที่การเกิดสนิม เทียบกับพื้นที่ผิวเหล็กเสริมทั้งหมด แล้วนำมาคำนวณร้อยละของพื้นที่ผิวของเหล็กที่เกิดสนิม ดังสมการที่ 3.2

$$C, \% = \left(\frac{RA}{SA} \right) \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ C คือ ร้อยละของพื้นที่ผิวของเหล็กที่เกิดสนิม

RA คือ พื้นที่ผิวเหล็กที่เกิดสนิม (มม.^{2})

SA คือ พื้นที่ผิวทั้งหมดของเหล็ก (มม.^{2})