

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ดินขาวดิบจากแหล่งดิน จ.ระนอง
3. แก้วลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง
4. มวลรวมละเอียด ใช้ทรายแม่น้ำผ่านตะแกรงเบอร์ 4
5. มวลรวมหยาบ ใช้หินปูนย่อยขนาดโตสุด 3/8 นิ้ว
6. น้ำประปา
7. น้ำทะเลสังเคราะห์ (สารละลายเกลือทำน้ำทะเล ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เตาเผาไฟฟ้า (Electric Furnace) ขนาดความจุ 13 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิสูงสุด 1200 องศาเซลเซียส
2. เครื่องบดวัสดุแบบ (Ball Mill) ขนาดความจุ 5 ลิตร
3. เครื่อง Los Angeles และแท่ง Rod Mill ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.25x46.5 ซม.
4. อุปกรณ์หาค่าความละเอียดโดยการวัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ด้วยวิธี Air Blaine Permeability และอุปกรณ์หาความถ่วงจำเพาะ
5. ชุดอุปกรณ์ทดสอบหาปริมาณอากาศ และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในคอนกรีต
6. เครื่องถ่ายภาพกำลังขยายสูง (Scanning Electron Microscope)
7. เครื่องวิเคราะห์หาสถานะของผลึก (X-Ray Diffractometer)
8. เครื่องวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี (X-Ray Fluorescence Spectroscopy)
9. เครื่องผสมซีเมนต์มอร์ต้า (Mechanical Mixer) ควบคุมความเร็วรอบได้ไม่น้อยกว่า 140-290 รอบต่อนาที
10. โต๊ะทดสอบการไหลมอร์ต้า (Flow Table)
11. เครื่องผสมคอนกรีตแบบ Tilt ขนาด 0.15ลบ.ม. และชุดทดสอบการยุบตัว(Slump Test)

12. เครื่องทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า ขนาด 15 ตัน
13. เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ขนาด 75 ตัน
14. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของคลอไรด์ (Rapid Chloride Permeability)
15. เครื่องทดสอบความต้านทานการขัดสี ความเร็วรอบในการขัด 200 รอบ/นาที
16. เครื่องทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้าแบบ Copper-coper Sulfate Half Cell
17. ชุดอุปกรณ์เร่งการเกิดสนิมในเหล็กเสริม
18. แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 5.0x5.0x5.0 ซม., 7.5x7.5x7.5 ซม. และแบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม., แบบหล่อคอนกรีตขนาด 15x15x7.5 ซม. และแบบหล่อรูปทรงคานขนาด 6.25x6.25x30 ซม.

วิธีการ

1. การศึกษาเบื้องต้น

1.1 การเตรียมตัวอย่างวัสดุ

ในการศึกษานี้ได้ใช้ผลการศึกษาที่ผ่านมา (เจริญวุฒิ, 2546; จิรวรรณ, 2546) เป็นพื้นฐานในการเลือกวัสดุ ช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาในการบด โดยนำดินขาวจากแหล่งดิน จ.ระนอง มาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ด้วยเตาเผาไฟฟ้า ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข1 จากนั้นนำดินขาวมาบดด้วยเครื่องบดวัสดุแบบ Ball Mill โดยบดใน 2 ลักษณะคือ

1. บดเฉพาะดินขาวและเฉพาะเถ้าลอย
2. บดดินขาวร่วมกับเถ้าลอยโดยแปรผันส่วนผสมดินขาวต่อเถ้าลอย 5 ระดับคือ
20:0, 15:5, 10:10, 5:15, 0:20

1.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพของการบดเพื่อหาเวลาการบดที่เหมาะสม

บดดินขาวล้วนและดินขาวร่วมกับเถ้าลอย โดยแปรผันเวลาที่ใช้ในการบดคือ 1, 1½, 2.0 และ 2½ ชั่วโมง และตรวจสอบค่าความละเอียดโดยวัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธี Air Blaine Permeability ให้ได้ความความละเอียดอยู่ในช่วง 10,000-11,000 ตร.ซม./ก.

1.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี

1.3.1 สุ่มตัวอย่างดินขาวเพื่อทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้ขวดแก้วทดสอบความถ่วงจำเพาะ Le Chaterlier ตามมาตรฐาน ASTM C 168

1.3.2 สุ่มตัวอย่างดินขาวเพื่อทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF)

1.3.3 สุ่มตัวอย่างดินขาวเพื่อทดสอบหาสถานะทางผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

1.3.4 สุ่มตัวอย่างดินขาวและดินขาวบดร่วมกับเถ้าลอยเพื่อตรวจสอบรูปร่างและลักษณะอนุภาคโดยใช้เครื่องถ่ายภาพกำลังขยายสูง Scanning Electron Microscope (SEM)

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติของเพสต์ผสมดินขาวและเถ้าลอย

2.1 เตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์โดยใช้ดินขาวบดรวมกับเถ้าลอยที่ผ่านการบดในช่วงเวลาที่เหมาะสมซึ่งผันแปรอัตราส่วนผสมดินขาวต่อเถ้าลอย 5 ระดับ คือ 20:0, 15:5, 10:10, 5:15, 0:20 และใช้แทนที่ซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก

2.2 การทดสอบสถานะทางผลึกตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 91 วัน

2.3 การทดสอบภาพถ่ายกำลังขยายสูงตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 3, 7, 14, 28 และ 91 วัน

3. การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้าผสมดินขาวและเถ้าลอย

3.1 เตรียมตัวอย่างมอร์ต้าโดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1:2.75 โดยแบ่งการเตรียมตัวอย่างมอร์ต้าเป็น 2 ชุดคือ

1. ตัวอย่างมอร์ต้าที่เตรียมจากดินขาวหรือเถ้าลอยที่ผ่านการบดแยกในช่วงเวลาที่เหมาะสมผสมกับเถ้าลอยด้วยเครื่องผสมซีเมนต์มอร์ต้า
2. ตัวอย่างมอร์ต้าที่เตรียมจากดินขาวและเถ้าลอยที่ผ่านการบดรวมกันในช่วงเวลาที่เหมาะสม

โดยมอร์ต้าทั้ง 2 ชุดจะผันแปรอัตราส่วนระหว่างดินขาวต่อเถ้าลอย 5 ระดับ คือ 20:0, 15:5, 10:10, 5:15, 0:20 และใช้แทนที่ซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมของมอร์ต้าผสมดินขาวและเถ้าลอย แสดงในตารางผนวกที่ ก1

3.2 การทดสอบค่าการไหลของมอร์ต้าโดยใช้ทดสอบการไหลตามมาตรฐาน ASTM C 230 ควบคุมการไหลแผ่นของมอร์ต้าให้อยู่ในช่วงร้อยละ 110 ± 5 โดยแปรผันปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมเพื่อให้ได้ค่าการไหลแผ่นตามต้องการ

3.3 ทดสอบดัชนีกำลังจากการทำปฏิกิริยาร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Strength Activity Index) ตามมาตรฐาน ASTM C311 โดยเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าควบคุมกับมอร์ต้าที่ผสมดินขาวและเถ้าลอยทั้ง 2 ชุดทดสอบที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

4. การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมดินขาวและเถ้าลอย

4.1 การเตรียมตัวอย่างและออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตควบคุมตามมาตรฐาน ACI ให้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วง 300-350 กก./ตร.ซม. และควบคุมค่ายุบตัวให้อยู่ในช่วง 7.5 ± 2.5 ซม. ส่วนคอนกรีตที่ผสมดินขาวและเถ้าลอย จะใช้ดินขาวและเถ้าลอยที่ผ่านการบดรวมกันในช่วงเวลาที่เหมาะสมแทนที่ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก แปรผันอัตราส่วนของดินขาวต่อเถ้าลอย 5 ระดับคือ 20:0, 15:5, 10:10, 5:15, 0:20 โดยอัตราส่วนผสมคอนกรีตแสดงในตารางที่ 1

4.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมดินขาวและเถ้าลอยในสภาพสด

4.2.1 การทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) เป็นการทดสอบวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดตามมาตรฐาน ASTM C 143

4.2.2 การทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) เป็นการวัดค่าการยุบของคอนกรีตสดตามเวลา โดยทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีตสดทุกๆช่วงเวลา 15 นาทีจนคอนกรีตไม่มีค่ายุบตัว นำผลทดสอบมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ายุบตัวกับเวลาเปรียบเทียบกับระหว่างคอนกรีตควบคุมกับคอนกรีตผสมดินขาวและเถ้าลอย

4.2.3 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของคอนกรีต

4.2.4 การทดสอบปริมาณอากาศในคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C231

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมสำหรับคอนกรีตผสมดินขาวและเถ้าลอย

ประเภท ส่วนผสม	W/B	PC (Kg/m ³)	MK (Kg/m ³)	FA (Kg/m ³)	Water (Kg)	Lime Stone (Kg/m ³)	Sand (Kg/m ³)
คอนกรีตควบคุม	0.48	433	0	0	208	915	761
MK:FA/20:0	0.52	346	87	0	225	915	697
MK:FA/15:5	0.51	346	65	22	221	915	709
MK:FA/10:10	0.48	346	43	43	208	915	745
MK:FA/5:15	0.46	346	22	65	199	915	769
MK:FA/0:20	0.44	346	0	87	189	915	798

4.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมดินขาวและเถ้าลอยที่แข็งตัวแล้ว

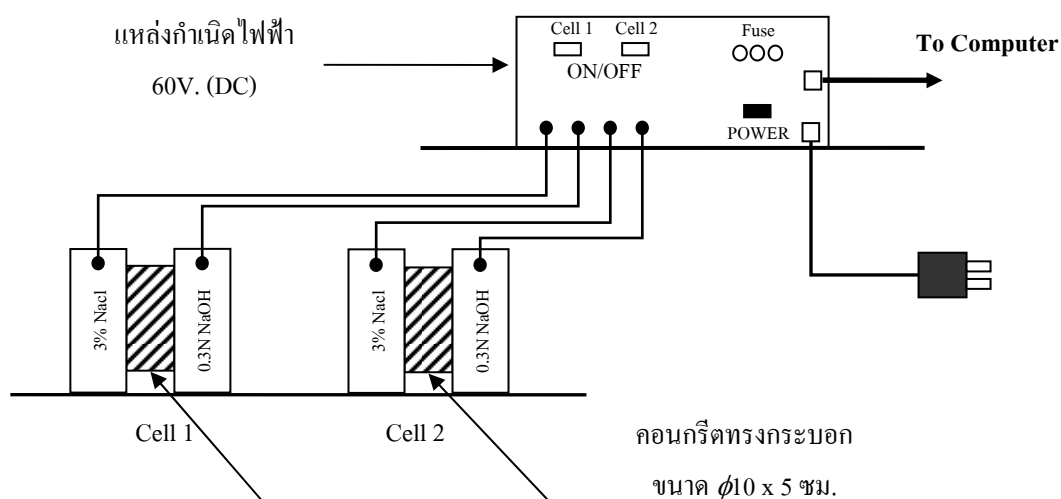
4.3.1 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength Test) ตามมาตรฐาน BS 1881:PART 4 เตรียมตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 7.5x7.5x7.5 ซม. เทคอนกรีตให้เต็มแบบ ทำการอัดแน่นด้วยโต๊ะเขย่า แต่งผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบและคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกจากคอนกรีต ถอดแบบหลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ ทดสอบกำลังอัดเมื่อคอนกรีตอายุได้ 24 ชั่วโมงหลังจากการหล่อ และที่อายุการบ่ม 7, 28, 56 และ 91 วัน โดยวางก้อนตัวอย่างให้ตรงศูนย์กลางของแท่นกด ให้น้ำหนักกดด้วยอัตราสามเท่าเสมอจนก้อนตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้และวัดพื้นที่หน้าตัดรับน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่ากำลังอัดเฉลี่ย

4.3.2 การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength Test) ตามมาตรฐาน ASTM C78 เตรียมตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อรูปคานขนาด 6.25 x 6.25 x 30 ซม. เทคอนกรีตให้เต็มแบบ ทำการอัดแน่นด้วยโต๊ะเขย่า แต่งผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบและคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกจากคอนกรีต ถอดแบบหลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ ทดสอบกำลังดัดเมื่อคอนกรีตอายุได้ 24 ชั่วโมง หลังจากการหล่อ และที่อายุการบ่ม 7, 28, 56 และ 91 วัน

4.3.3 การทดสอบความต้านทานการขัดสี (Abrasion Resistance Test) ทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C944-90a เตรียมตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อขนาด 15x15x7.5 ซม. เทคอนกรีตให้เต็มแบบ ทำการอัดแน่นด้วยโต๊ะเขย่า แต่งผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบและคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกจากคอนกรีต ถอดแบบหลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ ทดสอบความต้านทานการขัดสีที่อายุการบ่ม 28 และ 56 วัน โดยชั่งน้ำหนักก่อนทดสอบละเอียดถึง 0.1 กรัม เติมน้ำหนักเครื่องขัดสีซึ่งมีน้ำหนักกด 10 ± 0.1 กก. ครั้งละ 2 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เป่าคอนกรีตที่ถูกขัดออกให้สะอาด เมื่อสิ้นสุดการขัดให้ชั่งน้ำหนักก่อนตัวอย่างเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียไปจากการขัด

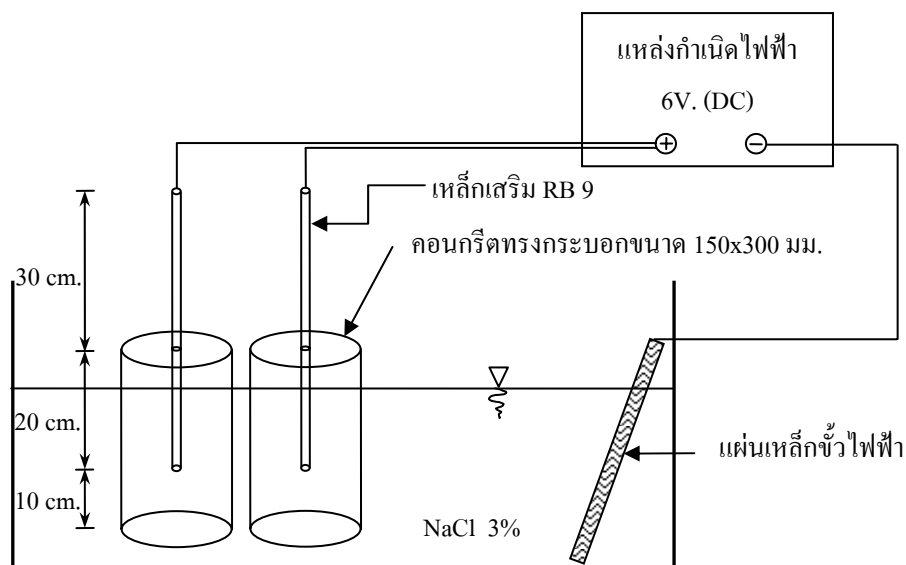
4.3.4 การทดสอบความซึมผ่านของคลอไรด์โดยวิธี Rapid Chloride Permeability Test ตามมาตรฐาน ASTM C1202 เตรียมตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. เทคอนกรีตให้เต็มแบบ ทำการอัดแน่นด้วยโต๊ะเขย่า แต่งผิวหน้าตัวอย่างให้เรียบและคลุมด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกจากคอนกรีต ถอดแบบหลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติ ทดสอบการซึมผ่านของคลอไรด์ที่อายุการบ่ม 28 และ 56 วัน โดยตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 5 ซม. นำมาวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังชิ้นตัวอย่างเทียบกับเวลา เพื่อหาค่าประจุไฟฟ้าทั้งหมด

ในหน่วยคลอมป์ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยผลรวมของประจุที่ไหลผ่านตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับความซึมได้ของคลอไรด์ไอออน และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานว่ามีความซึมผ่านได้ของคลอไรด์มากน้อยเพียงใด เครื่องมือทดสอบแสดงดังภาพที่ 1

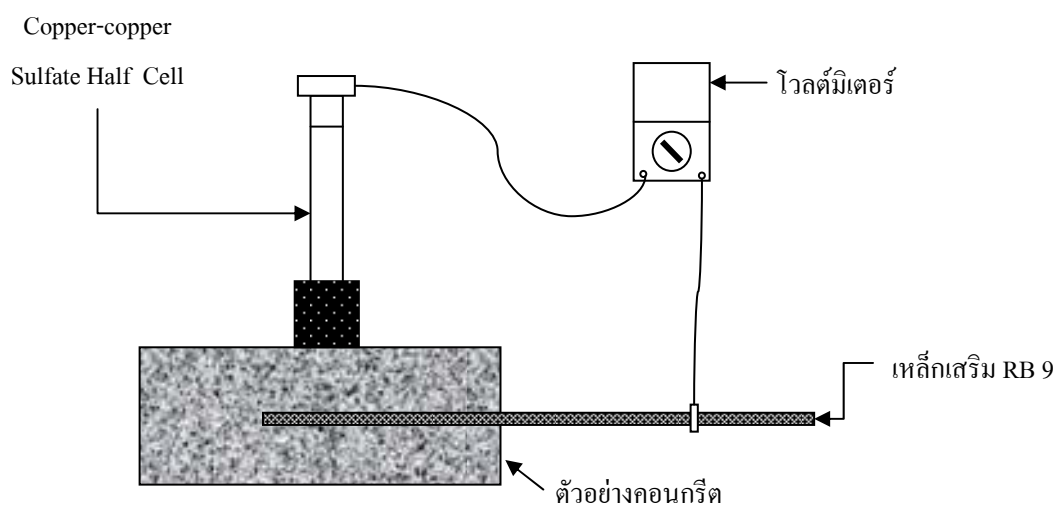


ภาพที่ 1 เครื่องมือทดสอบหาค่าความซึมผ่านของคลอไรด์ตามมาตรฐาน ASTM C1202

4.3.5 การทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้า (Half Cell Potential Test) ด้วยเครื่องมือวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแบบ Copper-copper Sulfate Half Cell ตามมาตรฐาน ASTM C876 เตรียมตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. แบ่งเทคอนกรีตลงในแบบเป็น 3 ชั้น อัดแน่นด้วยเหล็กกระทุ้งโดยกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง แล้วฝังเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. ในเนื้อคอนกรีตลึก 20 ซม. และยื่นออกมาเป็นระยะ 30 ซม. ถอดแบบหลังจากหล่อแล้ว 24 ชั่วโมง แล้วบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 27 วัน จากนั้นนำมาแช่ในสารละลาย NaCl 3% ดังภาพที่ 2 เร่งการเกิดสนิมในเหล็กเสริมด้วยการให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ความต่างศักย์ 6 โวลต์ และนำตัวอย่างขึ้นมาวัดค่า Half Cell Potential ที่ระยะ 5, 10 และ 15 ซม. จากปลายบนของตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ยดังภาพที่ 3 โดยวัดทุกๆ 3 วันใน 30 วันแรก และทุกๆ 7 วันใน 60 วันต่อมา รวมระยะเวลาที่แช่ตัวอย่างในสารละลาย NaCl 3% ทั้งหมด 91 วัน



ภาพที่ 2 กระบวนการเร่งการเกิดสนิมในเหล็กเสริมด้วยไฟฟ้า



ภาพที่ 3 จำลองการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (Half Cell Potential Test)

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างมอร์ต้าในการทดสอบจำนวน 66 ตัวอย่างและตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 258 ตัวอย่าง