องค์ความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์กรมโยธาธิการและผังเมือง
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๖๕

การทดสอบหาสนิม ในเหล็กงานคอนกรีต

การจัดการความรู้ตามประเด็นยุทธศาสตร์
ด้านการบริการด้านช่าง

คำนำ

พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีบริหารบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546 กำหนดให้ส่วนราชการมีหน้าที่พัฒนาความรู้ในส่วนราชการ เพื่อให้มีลักษณะเป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ โดยต้องรับรู้ข้อมูลข่าวสารและสามารถประมวลผลความรู้ในด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และเหมาะสมกับสถานการณ์ รวมทั้งต้องส่งเสริมและพัฒนาความรู้ ความสามารถสร้างวิสัยทัศน์ และปรับเปลี่ยนทัศนคติของข้าราชการในสังกัดให้เป็นบุคลากรที่มีประสิทธิภาพและมีการเรียนรู้ร่วมกัน

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งมีภารกิจหลักด้านงานทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา ได้จัดทำหนังสือการจัดการความรู้ในเรื่อง “การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต” โดยรวบรวมและจัดเรียงทฤษฎีพื้นฐาน วิธีการทดสอบตามมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ. 1506-51) รวมถึงจัดทำภาพประกอบเพื่อให้ผู้ศึกษาเกิดความเข้าถึงพื้นฐานวิธีการ สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากหนังสือเล่มนี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารหนังสือการจัดการความรู้ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อบุคลากรของกรมที่ปฏิบัติงานด้านการทดสอบ และหน่วยงานอื่นๆ และผู้ที่สนใจศึกษาสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ต่อวิชาชีพและองค์กรสืบต่อไป

คณะผู้จัดทำ

มิถุนายน 2565

สารบัญ

บทที่

ส่วนที่ 1 บทนำ 1

การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย 1

ส่วนที่ 2 การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต 4

2.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ 4

2.2 เป้าหมายของการทดสอบ 4

2.3 ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ 5

2.3.1 ทฤษฎี 5

2.3.1.1 สนิม 5

2.3.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเหล็ก 5

2.3.1.3 การเกิดสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต 6

2.3.1.4 การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต 7

2.3.1.5 เกณฑ์การประเมินปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีต 7

2.3.1.6 การกัดกร่อนในเหล็กเสริม 8

2.3.1.7 คอปเปอร์–คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต อิเล็กโทรด 8

2.3.2 มาตรฐานการทดสอบ 10

2.3.3 ขั้นตอนการประเมินการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดค่า

ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10

2.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ 11

2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ 12

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ 13
2.5.1 การทดสอบแบบ Rod Electrode 13
2.5.2 การทดสอบโดยใช้หัววัดแบบ Wheel Electrode 19
2.6 การรายงานผลการทดสอบ 22
2.7 เกณฑ์การตัดสิน 23
2.8 ข้อแนะนำและข้อควรระวัง 23
2.9 แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล 24
บรรณานุกรม 25

ส่วนที่ 1
บทนำ

ในงานวิศวกรรมมีวิธีการตรวจสอบประเมินโครงสร้างแบบไม่ทำลายอยู่หลายวิธี มีวัตถุประสงค์สำหรับใช้ในการประเมินกำลังและคุณภาพของคอนกรีต นอกจากใช้ประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกแล้ว การตรวจสอบเหล่านี้ยังมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการประเมิน ความเสียหายและการเสื่อมสภาพทั้งจากสาเหตุภายนอกและภายใน เช่น ความเสียหายที่เกิดจากการทำลาย จากสิ่งแวดล้อม การทำลายทางเคมี อัคคีภัย หรือจากสาเหตุอื่น ๆ

การทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีการทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต (half–cell potential Test) เป็นการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดหนึ่ง มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1506-51) ได้กำหนดวัตถุประสงค์หลักของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายไว้ว่า เป็นการประเมินสภาพโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยพิจารณาทั้งความแข็งแรง (Load Carrying Capacity) ความสามารถใช้งาน (Serviceability) และความคงทน (Durability) ของโครงสร้าง เป้าหมายหลักของการทดสอบแบบไม่ทำลายนี้ คือ การประเมินโอกาสการเกิดสนิมในเหล็ก การประเมินระดับความเสียหายของโครงสร้าง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง หรือบำรุงรักษาโครงสร้างอย่างเหมาะสมต่อไป

การทดสอบแบบไม่ทำลายส่วนใหญ่เป็นการทดสอบอาศัยการประเมินจากผลการวัดค่าสมบติต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของโครงสร้าง หรือมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของการเสื่อมสภาพแบบต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อมเป็นส่วนใหญ่หัวใจของการทดสอบแบบไม่ทำลาย คือการเก็บข้อมูลประเมินสภาพของโครงสร้างให้เพียงพอ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างในนระดับที่มากเกินไป วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายบางชนิดอาจต้องเจาะรูขนาดเล็กในโครงสร้างคอนกรีต หรืออาจทำให้โครงสร้างคอนกรีตเสียหายในระดับหนึ่ง

การตรวจสอบด้วยเทคนิคการทดสอบแบบไม่ทำลายสามารถประยุกต์ใช้ในกรณีดังต่อไปนี้

ก. การตรวจสอบคุณภาพของงานก่อสร้างใหม่
ข. การแก้ปัญหางานก่อสร้างในระหว่างการก่อสร้าง
ค. การตรวจสอบสภาพของโครงสร้างเก่าเพื่อการวางแผนบำรุงรักษา
ง. การประเมินคุณภาพของงานซ่อมแซม

การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายขึ้นอยู่กับสมบติของโครงสร้างที่ต้องการทำการตรวจสอบ โดยตารางที่ 1 แสดงรายการวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างคอนกรีต เพื่อใช้เป็นแนวทางให้ผู้ตรวจสอบโครงสร้างเลือกใช้งาน โดยมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.1501-51 ถึง มยผ.1507-51) นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายในลำดับ 1 ถึง 7 และในองค์ความรู้นี้ได้เสนอวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายในลำดับ 8 - 9 เพิ่มเติมไว้ด้วย

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการ และผลที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

ลำดับที่	วิธีและหลักการ	ผลที่ได้
1	การตรวจพินิจ (visual inspection) – สังเกต แยกแยะการเสื่อมสภาพ และความเสียหายที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า	แผนที่แสดงรายละเอียดความบกพร่อง การเสื่อมสภาพ รอยร้าว รอยกะเทาะ การขัดสี หรือข้อบกพร่อง และความเสียหายอื่นๆ ที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า
2	วิธีค้อนกระแทก (rebound hammer) – ใช้หลักการ วัดการสะท้อนกลับของตุ้มน้ำหนักเหล็กโดยการใช้พลังงานที่เท่ากัน	- ตรวจสอบความสมบูรณ์ หรือความสม่ำเสมอของคุณภาพคอนกรีต ในบริเวณใกล้ผิว - ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต ที่อยู่ในองค์อาคารหรือโครงสร้าง
3	วิธีทดสอบประเมินค่ากำลังอัดคอนกรีตด้วยการยิงด้วยหัวหยั่งทดสอบ (Penetration Resistance)	ประเมินกำลังอัดของคอนกรีต
4	วิธีคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic pulse velocity) – วัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง จากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ	เปรียบเทียบสภาพ หรือความสม่ำเสมอของคุณภาพคอนกรีตในโครงสร้าง โดยเปรียบเทียบความเร็วของคลื่นในคอนกรีต อาจประยุกต์ใช้ในการประเมินกำลังอัดของคอนกรีต
5	วิธีการหาตำแหน่งและระยะหุ้มเหล็กเสริม (cover meter or reinforcing bar locator) – ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการเหนี่ยวนำเพื่อหาตำแหน่ง เหล็กเสริมในองค์อาคารหรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการวางอุปกรณ์หรือเครื่องมือบนผิวองค์อาคาร หรือโครงสร้าง	ตำแหน่งของเหล็กเสริมในองค์อาคาร หรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ประเมินระยะหุ้มและขนาดของเหล็กเสริม รวมถึงทิศทางของเหล็กเสริม
6	วิธีศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (half–cell potential) - วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเหล็กเสริม ในคอนกรีตกับขั้วอ้างอิงมาตรฐาน ค่าความต่าง ศักย์นี้เป็นค่าบ่งชี้ความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต	กำหนดบริเวณที่เหล็กเสริมมีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดสนิม โดยไม่จำเป็นต้องกะเทาะเปิดคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมออกดู

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการ และผลที่ได้จากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (ต่อ)

ลำดับที่	วิธีและหลักการ	ผลที่ได้
7	วิธีทดสอบเพื่อประเมินสภาพสมบูรณ์ของเนื้อคอนกรีตด้วยคลื่นเรดาร์ (Radar)	หาตำแหน่งของโลหะ หรือ เหล็กเสริม ที่อยู่ในคอนกรีต โพรงช่องว่างใต้พื้นผิวคอนกรีตและบริเวณที่มีความชื้นสูงในคอนกรีต รวมถึงหาความหนาขององค์อาคาร
8	ความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต (concrete resistivity) – โดยวิธีการใช้เครื่องมือที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 4 ขั้ว (four-electrode method) เพื่อวัด ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 2 ขั้วด้านใน จากกระแสไฟฟ้าที่ส่งออกจาก 2 ขั้วด้านนอก แล้วจึงคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าของคอนกรีต	
9	รังสีอินฟราเรด (infrared thermography) – รอยร้าว โพรงอากาศ หรือความบกพร่องภายในคอนกรีต ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของคอนกรีต ซึ่งจะแสดงออกมาให้เห็นได้ ในลักษณะของความแตกต่างของอุณหภูมิบนผิว	หาบริเวณที่เกิดการหลุดร่อน หรือ หลุดลอกของผิวคอนกรีต การหลุดร่อนของแผ่นไฟเบอร์สำหรับเสริมกำลัง หรือการหลุดร่อนของอีพอกซีที่เคลือบผิว หรือบริเวณที่น่าจะเกิดความบกพร่องภายใต้ผิวหน้าหาบริเวณที่เกิดการหลุดร่อน หรือ หลุดลอกของผิวคอนกรีต การหลุดร่อนของแผ่นไฟเบอร์สำหรับ เสริมกำลัง หรือการหลุดร่อนของอีพอกซีที่เคลือบผิว หรือบริเวณที่น่าจะเกิดความบกพร่องภายใต้ผิวหน้าคอนกรีต เช่น โพรง เป็นต้น

ส่วนที่ 2
การทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต
Half-Cell Potential Test

2.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

2.1.1 เพื่อศึกษาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

2.1.2 เพื่อวัดค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

2.1.3 เพื่อประเมินผลการทดสอบ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเสื่อมสภาพและประเมินคุณภาพของโครงสร้างคอนกรีต จัดทำรายงานการตรวจสอบสภาพโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อเสนอแนะวิธีการซ่อมแซมและป้องกันคอนกรีต

2.2 เป้าหมายของการทดสอบ

เพื่อประเมินโอกาสเกิดสนิมในเหล็กเสริม ให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบ

2.3 ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ

2.3.1 ทฤษฎี

2.3.1.1 สนิม

สนิมเป็นเหล็กออกไซด์ ซึ่งเป็นออกไซด์สีน้ำตาลแดงโดยปกติซึ่งเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของเหล็กและออกซิเจนในสภาวะที่มีน้ำหรือความชื้นในอากาศเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สนิมประกอบด้วยเหล็กไฮดรัส (III) ออกไซด์ ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) และเหล็ก (III) ออกไซด์-ไฮดรอกไซด์ (FeO (OH), $Fe(OH)_3$) และโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับการกัดกร่อนของเหล็ก

ถ้าหากโลหะเหล็กสัมผัสกับน้ำและอากาศเป็นเวลานานเพียงพอ เหล็กสามารถแปรสภาพกลายเป็นสนิมได้ทั้งหมด สนิมโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นขุยและเปราะ ปกคลุมทั่วผิวและสนิมที่ผิวจะไม่ปกป้องเนื้อเหล็กข้างล่างจากการกลายเป็นสนิม ต่างจากสนิมของทองแดงที่จะปกป้องไม่ให้เกิดสนิมมากขึ้นไปอีก สนิมเป็นกระบวนกัดกร่อนเหล็กและอัลลอยด์ของเหล็กและสามารถเกิดกับโลหะหลายชนิดแต่มักจะไม่เรียกว่าสนิม

สนิมหลายประเภทสามารถแยกแยะได้ด้วยสายตาหรือ สเปกโทรสโกปี โดยสนิมแต่ละประเภทจะก่อตัวภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ตัวอย่าง เช่น สนิมที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและคลอไรด์จะเกิดเป็นสนิมสีเขียวในเหล็กเสริมเสาตอม่อใต้ทะเล โดยทั่วไปสนิมจะมีสภาพในทางลบกับเหล็กแต่มีสนิมชนิดที่เรียกว่า สนิมเฉื่อย (Stable Rust) จะสร้างชั้นสนิมที่ไม่เกิดปฏิกิริยาและปกป้องเหล็กที่อยู่ภายใต้จากการเกิดสนิม

รูปที่ 1 สนิมในเหล็ก

รูปที่ 2 สนิมในทองแดง

2.3.1.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเหล็ก

เมื่อเหล็กสัมผัสกับน้ำและออกซิเจน เหล็กจะเกิดสนิมขึ้น และถ้าหากเกลือมาในสภาพแวดล้อม เช่น น้ำทะเลหรือละอองน้ำแกลือ สนิมจะเกิดได้รวดเร็วขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี เหล็กจะไม่เกิดปฏิกิริยากับน้ำบริสุทธิ์ หรืออากาศแห้ง สนิมที่เกิดขึ้นจะเรียกว่า **เฟอรัสออกไซด์** จะเกาะแน่นกับผิวเหล็กและปกป้องเหล็กจากการเกิดสนิม แต่ถ้าหากมีสารที่มาเกี่ยวข้องเพิ่มเติมคือ **ซัลเฟอร์ไดออกไซด์** และคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะส่งผลให้สนิมที่เกิดขึ้นคือ **ไอรอนไฮดรอกไซด์** ซึ่งต่างจาก **เฟอรัสออกไซด์** ไฮดรอกไซด์จะไม่เกิดยึดแน่นกับผิวของเหล็กที่จะเปราะเป็นขุยลอกร่อนออกจากเนื้อเหล็ก ทำให้เนื้อเหล็กภายใต้ออกมาสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิด ไอรอนไฮดรอกไซด์ อีกปฏิกิริยาจะเกิดจนกว่าเหล็กทั้งหมดจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นไอรอนไฮดรอกไซด์ หรือออกซิเจน, น้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะหายไปจากระบบ

เมื่อเหล็กเกิดสนิม ปริมาตรจะมากขึ้นทำให้เนื้อเหล็กมีแรงเกิดขึ้นในโครงสร้างอย่างมหาศาล และทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างได้

รูปที่ 3 เฟอรัสออกไซด์

รูปที่ 4 ไอรอนไฮดรอกไซด์

2.3.1.3 การเกิดสนิมในเหล็กเสริมคอนกรีต

เหล็กเสริมเกิดสนิมเป็นปัญหาที่พบมากในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นปัญหาซึ่งมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร ทำให้ความสามารถในการรับกำลังของคอนกรีตเสริมเหล็กลดต่ำลง การเกิดสนิมมักพบมากในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ทำลายคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็กเสริม หรือจากการก่อสร้างที่ไม่ได้มาตรฐาน ความเสียหายเนื่องจากการเป็นสนิมของเหล็กเสริมมีความสำคัญต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างเมื่อเหล็กเสริมในโครงสร้าง เกิดการกัดกร่อนเป็นสนิมหน้าตัดของเหล็กเสริมจะลดลงจนกระทั่งอาจไม่เพียงพอต่อ ความปลอดภัยในการใช้งาน นอกจากนี้การเกิดสนิมยังทำให้เกิดการแตกร้าวและหลุดออกของคอนกรีตหุ้มภายนอก เนื่องจากปริมาตรที่เพิ่มขึ้นจากการเกิดสนิมและจะทำให้เกิดแรงดึงในเนื้อคอนกรีตซึ่งทำให้คอนกรีตหุ้มที่มีความหนาน้อยเกิดการแตกร้าว เป็นผลทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างมากยิ่งขึ้น

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสนิมเหล็ก คือ ความชื้นและออกซิเจน ซึ่งต้องมีการซึมผ่านคอนกรีตเข้าไปจึงจะสามารถทำปฏิกิริยากับเหล็กได้ ดังนั้นคอนกรีตแต่ละประเภทมีความแน่นแตกต่างกันก็จะมีรูพรุนของคอนกรีตต่างกันไปด้วย

นอกจากนี้การเกิดสนิมเหล็กจากการปนเปื้อนคลอไรด์ในคอนกรีตเป็นสาเหตุที่พบได้บ่อย ที่ทำให้เกิดสนิมในเหล็กเสริม แหล่งกำเนิดคลอไรด์ส่วนมากจะพบในสภาพแวดล้อมที่อยู่ใกล้ทะเล และถนนที่มีการทับถมของคลอไรด์จากการใช้เกลือละลายน้ำแข็งซึ่งเกิดขึ้นจากหิมะในช่วงฤดูหนาวในเขตอากาศหนาวเย็น การเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตมีจุดเริ่มต้นจากคลอไรด์ที่อยู่ในคอนกรีตสัมผัสกับผิวเหล็ก จุดเริ่มต้นนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของเหล็กเสริม ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่สามารถเข้าถึงผิวหน้าของเหล็กมีอิทธิพลมากต่อการกัดกร่อน คลอไรด์ในปริมาณต่ำมากๆ ก็เพียงพอต่อการเริ่มต้นการกัดกร่อนหากโครงสร้างอยู่ในชั้นบรรยากาศที่ซึ่งออกซิเจนสามารถเข้าถึงเหล็กเสริมได้ง่าย

2.3.1.4 การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีต

คลอไรด์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้ ซึ่งคลอไรด์อาจมีอยู่ในคอนกรีตเองในขณะที่ผสมคอนกรีต เช่น คลอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หิน ทราย และน้ำยาผสมคอนกรีตบางชนิด หรือซึมผ่านเข้ามาในคอนกรีตจากสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งานโครงสร้าง โดยเฉพาะ โครงสร้างในสิ่งแวดล้อม ทางทะเล หากปริมาณคลอไรด์บริเวณเหล็กเสริมถึงระดับวิกฤตแล้ว ถ้ามีน้ำและออกซิเจนเพียงพอก็จะทำให้ เหล็กเสริมเกิดสนิมได้

การทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตจะใช้วิธีการทดสอบทางเคมี โดยการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C42 แล้วนำมาบดเป็นผงหรือการเก็บฝุ่นผงคอนกรีตที่ได้จากการเจาะคอนกรีต ด้วยสว่านที่ระดับความลึกต่าง ๆ จากผิวหน้า แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์รวมที่ละลายในกรดได้ด้วย วิธีการไตเตรชัน (tritration) ตามมาตรฐาน ASTM C1152 ซึ่งปริมาณคลอไรด์ที่ละลายในกรดได้ (acid-soluble chloride) จะถือว่าเท่ากับปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีต (total chloride)

2.3.1.5 เกณฑ์การประเมินปริมาณคลอไรด์ในโครงสร้างคอนกรีต

ในการพิจารณาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากคลอไรด์ของโครงสร้างคอนกรีต สามารถทำได้โดยการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตบริเวณผิวของเหล็กเสริมเปรียบเทียบกับปริมาณ คลอไรด์วิกฤติที่ทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมตามมยผ. 1332-55 (ตารางที่ 2) โดยหากปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้ มีค่าสูงกว่าปริมาณคลอไรด์วิกฤติที่ก่อให้เกิดสนิมของเหล็กเสริมให้ถือว่าเหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ นอกจากนี้การทดสอบปริมาณคลอไรด์ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของโครงสร้าง สามารถนำมาพิจารณาได้ว่า ปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตนั้นเป็นคลอไรด์ที่มีอยู่แล้วในคอนกรีตสดตั้งแต่ขณะที่ผสมคอนกรีต หรือเป็นคลอไรด์ที่ซึมผ่านเข้ามาจากสิ่งแวดล้อม หากเป็นคลอไรด์ที่มีอยู่แล้วในคอนกรีต ผลจากการทดสอบจะพบว่าปริมาณคลอไรด์ในคอนกรีตจะมีค่าสูงตลอดระยะความลึกจากผิวคอนกรีตในขณะที่ในกรณีของคลอไรด์ที่ซึมเข้าไป จากภายนอกจะพบว่าปริมาณคลอไรด์บริเวณผิวคอนกรีตจะมีค่าสูงและลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ปริมาณคลอไรด์วิกฤติของคอนกรีต (มยผ. 1332-55)

ประเภทของวัสดุประสาน	ปริมาณคลอไรด์วิกฤติ (ร้อยละของน้ำหนักวัสดุประสาน)
ปูนซีเมนต์ล้วน	0.45
ปูนซีเมนต์ผสมผงหินปูน - ที่มีอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ผงหินปูนต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.15	0.45
ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย - เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก เถ้าลอยต่อวัสดุประสานน้อยกว่า 0.15 - เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก เถ้าลอยต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0.15 แต่ไม่ถึง 0.35 - เมื่ออัตราส่วนโดยน้ำหนัก เถ้าลอยต่อวัสดุประสานตั้งแต่ 0.35 ถึง 0.50	 0.45 0.35 0.30
<u>หมายเหตุ</u> สำหรับปูนซีเมนต์ผสมทั้งผงหินปูนและเถ้าลอย โดยที่มีผงหินปูนต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.15 ให้ใช้ตามค่าปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย	

2.3.1.6 การกัดกร่อนในเหล็กเสริม

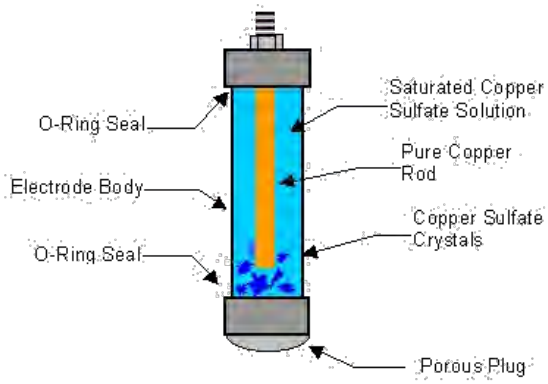
การกัดกร่อนเกิดจาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะซึ่งเป็นปฏิกิริยาการให้อิเล็กตรอน โดยอะตอมโลหะจะเปลี่ยนเป็นอิออนโลหะประจุบวกและเรียกโลหะที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนว่า ขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งเป็นขั้วลบ และเกิดปฏิกริริยารีดักชั่น (Reduction reaction) ของโลหะซึ่งเป็นปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนและเรียกสิ่งแวดล้อมที่รับอิเล็กตรอนว่า ขั้วคาโธด (Cathode) ซึ่งเป็นขั้วบวก นอกจากนั้นจะเรียกความชื้นหรือสารละลายที่ผิวโลหะว่า อิเลคโตรไลท์ (Electrolyte) ซึ่งมีหน้าที่ช่วยให้อิออนเดินทางจนครบเซลไฟฟ้าเคมี ดังนั้นเมื่อมีการให้และรับอิเล็กตรอนจนครบเซลล์ไฟฟ้าเคมี จะเรียกว่า เซลล์การกัดกร่อน

ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน คือ ออกซิเจน, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์เกิน 60% สารเคมีจำพวกเกลือ (chemical salts) หรือสารละลายอิเลคโตรไลท์, มลพิษและกรดแก๊สจากสิ่งแวดล้อม และสารเคมีอื่นๆ ที่จะช่วยเร่งปฏิกิริยา

2.3.1.7 คอปเปอร์–คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต อิเล็กโทรด

อิเล็กโทรด คือ โลหะที่สัมผัสกับส่วนประกอบของวงจรไฟฟ้าที่ไม่ใช่โลหะ

คอปเปอร์–คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต อิเล็กโทรด คืออิเล็กโทรดที่ประกอบไปด้วยโลหะ คือทองแดงและเกลือของโลหะคือคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเป็นอิเล็กโทรดที่นิยมใช้เป็นอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) ใช้ในการวัดศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดและเป็นอิเล็กโทรดอ้างอิงที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับการทดสอบระบบควบคุมการกัดกร่อนของการป้องกันแคโทด



รูปที่ 5 คอปเปอร์–คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต อิเล็กโทรด ที่ใช้ในการหาศักย์ไฟฟ้าวัดการกัดกร่อน

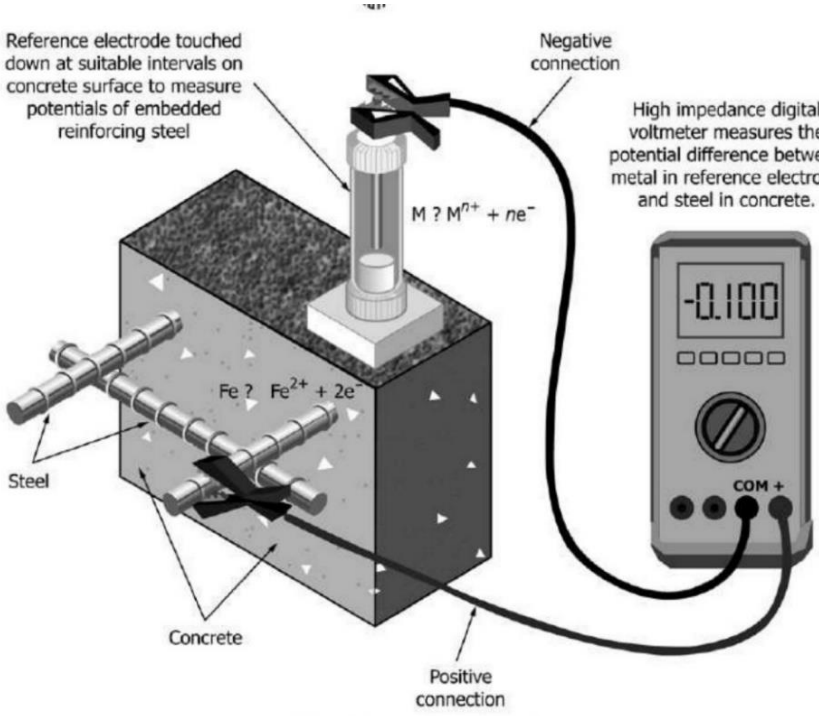


FIG. 6 Reference Electrode Circuitry

รูปที่ 6 แสดงวงจรของเครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ เพื่อประเมินอัตราการกัดกร่อนของสนิม ที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมคอนกรีต ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ครึ่งเซลล์ (Half-Cell) คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต วัสดุเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างคอนกรีตและอุปกรณ์ สารละลายสำหรับเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า มาตรวัดศักย์ไฟฟ้า และสายไฟในการใช้งานอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้จะต้องมีการต่อวงจรกับเหล็กเสริมและมีการทำให้ผิวคอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง

2.3.2 มาตรฐานการทดสอบ

มยผ. 1506-51	มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม
ASTM C876	มาตรฐานการทดสอบสำหรับศักยภาพในการกัดกร่อนของเหล็กเสริมที่ไม่เคลือบผิวในคอนกรีต

2.3.3 ขั้นตอนการประเมินการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

1) การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ควรวัด ณ ตำแหน่งของเหล็กเสริม โดยระยะห่างระหว่างจุดที่ตรวจวัดไม่ห่างกันมากหรือน้อยจนเกินไป

<u>ข้อแนะนำ</u> : ตำแหน่งการวัดที่ห่างกันมากอาจจะทำให้ผู้ตรวจสอบพลาดข้อมูลของจุดที่เกิดสนิม ในขณะเดียวกัน หากตำแหน่งที่วัดอยู่ใกล้กันมากจนเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่ตรวจสอบส่วนของโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น ส่วนของเสาหรือคานจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกัน 50 ถึง 100 มิลลิเมตร ในขณะที่การตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น สะพาน ระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกันประมาณ 0.5 ถึง 1 เมตร

2) ต่อสายไฟฟ้ากับเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยค่าความต้านทานของรอยต่อต้องต่ำเพียงพอและไม่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานของทั้งวงจร โดยควรขัดผิวเหล็กเสริมและสายไฟฟ้าก่อนเชื่อมต่อ ในหลายกรณี ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการกะเทาะคอนกรีตหุ้มเหล็กออก สายไฟฟ้าที่ต่อจากเหล็กเสริมต้องเชื่อมกับขั้วบวกของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า

3) โดยทั่วไปสายไฟฟ้าต้องต่อโดยตรงกับเหล็กเสริมในโครงสร้าง ยกเว้นกรณีมีหลักฐานที่เชื่อถือได้ว่ามีวัสดุนำไฟฟ้าอื่นที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมในโครงสร้างและเชื่อมต่อได้ง่ายกว่า ให้ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าจากการวัดค่าความต้านทานระหว่างโลหะที่ผิวอย่างน้อยสองจุดขึ้นไป

4) การเชื่อมต่อสายไฟเข้าระหว่างครึ่งเซลล์และเครื่องมือวัดการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

5) เชื่อมต่อปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้ากับครึ่งเซลล์และปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับขั้วลบของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า

6) วัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์โดยค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ที่อ่านได้ต้องมีความละเอียดในระดับ 0.01 โวลต์ และควรคำนึงถึงผลของอุณหภูมิในกรณีที่อุณหภูมิระหว่างทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงมาก

2.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากครึ่งเซลล์ คอปเปอร์–คอปเปอร์ซัลเฟต จากโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำ

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้าง

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต (Cu/ CuSO4)	**สภาพการเกิดสนิม**
มากกว่า -200 mV CSE	ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
ระหว่าง -200 และ -350 mV CSE	ไม่แน่นอน
น้อยกว่า -350 mV CSE	ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่เกิดสนิมแล้ว

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากครึ่งเซลล์ คอปเปอร์–คอปเปอร์ซัลเฟต จากโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำ
(ที่มา: ASTM C876-91(1999) Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete

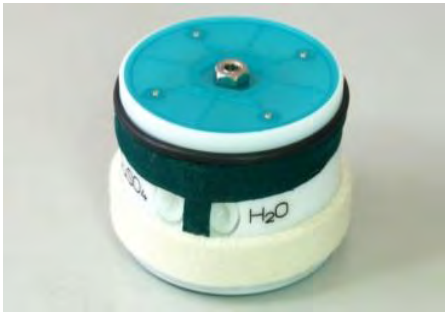
<u>หมายเหตุ:</u>

1. *CSE คือ ศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างเทียบกับครึ่งเซลล์ คอปเปอร์ - คอปเปอร์ซัลเฟต*
   วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถใช้กับโครงสร้างใต้น้ำได้แต่ต้องระมัดระวังการตีความผล การตรวจสอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิมการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถบอกความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แต่อาจจะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิมที่แม่นยำความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุระหว่างครึ่งเซลล์และเหล็กที่เกิดสนิมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการหาตำแหน่งที่เกิดสนิม ในกรณีของโครงสร้างใต้น้ำวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้มักให้ค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกันทุกจุด อย่างไรก็ตามผลการวัดที่ได้แสดงถึงการกิดแนวโน้มความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเหมือนทดสอบโครงสร้างอื่นที่ไม่ได้อยู่ใต้น้ำ

2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

(1) เครื่องทดสอบ

(2) ตัววัดแบบ Rod Electrode



(3) หัววัดแบบ WHEEL ELECTRODE

(4) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

(5) สารละลายซิตริกแอซซิด

(6) สายไฟฟ้าสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์

(7) โปรแกรมและสายเชื่อม

รูปที่ 7 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจสอบทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต

อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ ดังรูปที่ 7 ประกอบด้วย

(1) เครื่องทดสอบและบันทึกผลสำหรับการทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม มีความแม่นยำร้อยละ ± 3 ในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ทดสอบ

(2) ตัววัดแบบ Rod Electrode ประกอบด้วย

- ท่อใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
- ไม้ที่มีความพรุน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร
- แท่งทองแดง หรือ คอปเปอร์เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร อยู่ในท่อใส่สารละลาย

(3) หัววัดแบบ Wheel Electrode ใช้สำหรับทดสอบพื้นคอนกรีตที่มีขนาดกว้าง

(4) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

(5) สารละลายซิตริกแอซซิด ใช้สำหรับล้างทำความสะอาดแท่ง Electrode

(6) สายไฟฟ้า สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับเหล็กเสริมในโครงสร้างซึ่งมีขนาดที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์

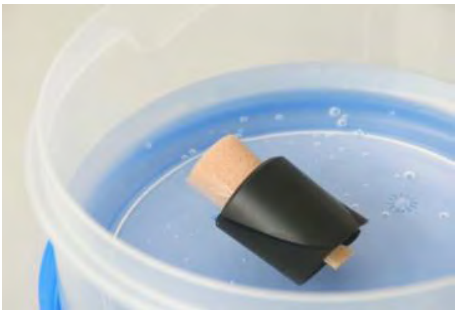
(7) โปรแกรมและสายเชื่อมต่อสำหรับถ่ายโอนข้อมูล

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

2.5.1 การทดสอบแบบ Rod Electrode

2.5.1.1 การเตรียมเครื่องมือทดสอบสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1) นำหัววัดด้านที่มีไม้ไปแช่น้ำก่อนทำการทดสอบประมาณ 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การนำหัววัดด้านที่มีไม้ไปแช่น้ำ

2) ผสมสารคอปเปอร์ซัลเฟต 4 ส่วน ต่อน้ำ 10 ส่วน

3) เติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตแบบเกร็ด ½ ช้อนชา ในหลอดทดสอบ ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 การเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

4) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ผสมไว้แล้วลงในหลอดทดสอบให้ได้ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของหลอดทดสอบ ดังรูปที่ 10 ควรเปลี่ยนสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตทุกเดือน หรือก่อนทำการตรวจสอบโครงสร้างแต่ละครั้ง

รูปที่ 10 การเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

5) ต่อสาย Rod Electrode ทางช่อง A และต่อสายที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมทางช่อง GND ของเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 11

รูปที่ 11 การต่อสายที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมทางช่อง GND ของเครื่องทดสอบ

2.5.1.2 วิธีการทดสอบ

(1) ทำการตีกริดบนที่แต่ละตำแหน่งทดสอบ ดังรูปที่ 12 ในกรณีที่ตรวจสอบส่วนของโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น ส่วนของเสาหรือคานจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกัน 50 ถึง 100 มิลลิเมตร ในขณะที่การตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น สะพาน ระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกันประมาณ 0.5 ถึง 1 เมตร

รูปที่ 12 การตีกริดบนที่แต่ละตำแหน่งทดสอบ

(2) หาตำแหน่งเหล็กเสริมในโครงสร้าง แล้วเจาะสกัดให้สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบได้ ดังรูปที่ 13 ขัดผิวเหล็กเสริมก่อนการเชื่อมต่อสายไฟฟ้ากับเหล็กเสริม โดยค่าความต้านทานของรอยต่อต้องต่ำเพียงพอและไม่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานของทั้งวงจร

รูปที่ 13 การเจาะสกัดผิวคอนกรีตให้สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบได้

(3) ในกรณีที่ผิวของโครงสร้างคอนกรีตแห้ง ต้องทำให้ผิวคอนกรีตเปียกก่อนวัดค่า ศักย์ไฟฟ้า ให้ตรวจสอบเบื้องต้นโดยการต่อศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์กับผิวคอนกรีตและสังเกตค่าศักย์ไฟฟ้า กรณีที่ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ไม่คงที่ แสดงว่าผิวคอนกรีตแห้งเกินไป ให้ทำผิวคอนกรีตให้เปียกจนกระทั่งอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ หรือมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง ±0.02 โวลต์ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาที โดยวิธีการทำให้ผิวคอนกรีตเปียกมี 2 วิธีดังนี้

<u>วิธีที่ 1</u>

พ่นน้ำหรือสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และเช็ดละอองน้ำที่เหลืออยู่บนผิวคอนกรีตก่อน ดังรูปที่ 14 แล้วจึงตรวจวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ วิธีนี้เหมาะสำหรับผิวคอนกรีตที่ต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อย เพื่อทำให้มีสภาพเหมาะสมสำหรับการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

รูปที่ 14 การพ่นน้ำหรือสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต และเช็ดละอองน้ำ

<u>วิธีที่ 2</u>

ใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตวางบนผิวคอนกรีต ดังรูปที่ 15 โดยไม่จำเป็นต้องเอาฟองน้ำออกระหว่างการวัดค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ แต่ให้ตรวจวัดผ่านฟองน้ำนี้ วิธีนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ไม่สามารถใช้วิธีอื่นได้

รูปที่ 15 การใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตวางบนผิวคอนกรีต

2.5.1.3 การตั้งค่าในเครื่องทดสอบ

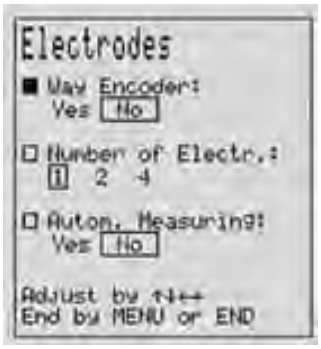
(1) ตั้งค่าการแสดงผลความต่างศักย์ให้เป็นระดับสีต่างๆ โดยการกดปุ่มเมนู เลื่อนแท็ปเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลง มาที่ Display แล้วกดปุ่ม Start ให้ปรับตั้งค่าไว้ที่ 0 ถึง -350 มิลลิโวลต์ เป็นค่าปรับตั้งที่เหมาะสมโดยทั่วไป ดังรูปที่ 16

รูปที่ 16 การตั้งค่าการแสดงผลความต่างศักย์ให้เป็นระดับสีต่างๆ

(2) ตั้งค่าหมายเลขการทดสอบโดยการกดปุ่มเมนู เลื่อนแท็ปเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลง มาที่ Object No แล้วกดปุ่ม Start และเปลี่ยนหมายเลขด้วยการกดปุ่มลูกศร ดังรูปที่ 17

รูปที่ 17 การตั้งค่าหมายเลขการทดสอบ

(3) ตั้งค่าหัววัดโดยการกดปุ่มเมนู เลื่อนแถบเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลงมาที่ Electrode แล้วกดปุ่ม Start แล้วเลือก Way Encoder ให้เป็น NO สำหรับการทดสอบโดยใช้ Rod Electrode ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 การตั้งค่าหัววัด

(4) ปรับตั้งความกว้างของคอลัมน์ X และระยะห่างระหว่างบรรทัด Y ดังรูปที่ 19 โดยให้สอดคล้องกับกริดที่กำหนดไว้บนโครงสร้างโดยการเลื่อนแถบเมนูโดยใช้ปุ่มลูกศรขึ้นหรือลงมาที่ XY grid แล้วกดปุ่ม Start และเปลี่ยนระยะห่างด้วยการกดปุ่มลูกศร

รูปที่ 19 การปรับตั้งความกว้างของคอลัมน์ X และระยะห่างระหว่างบรรทัด Y

(5) เมื่อกำหนดค่าทั้งหมดแล้วเสร็จให้กดปุ่ม END ดังรูปที่ 20

รูปที่ 20 การกดปุ่ม END เมื่อกำหนดค่าทั้งหมด

(6) เริ่มทำการทดสอบโดยการกดปุ่ม Start แล้ววางหัววัดบนจุดที่กำหนดไว้ให้ตำแหน่งโดยการวัดครั้งแรกที่มุมบนซ้าย ดังรูปที่ 21 การวัดในตำแหน่งต่อไปจะทำในทิศทางขวาตามระยะห่างที่กำหนดเมื่อทำเสร็จทุกจุดให้กดปุ่มลูกศรแล้ววัดแถวต่อไป ทำการทดสอบเช่นนี้จนครบทุกแถวที่กำหนด

รูปที่ 21 การวางหัววัดบนจุดที่กำหนดไว้

(7) เมื่อทดสอบครบหมดทุกจุดที่กำหนดไว้แล้วกดปุ่ม Store และกดปุ่ม END ที่เครื่องทดสอบดังรูปที่ 22

รูปที่ 22 การกดปุ่ม Store และกดปุ่ม END เมื่อทดสอบครบหมดทุกจุด

2.5.2 การทดสอบโดยใช้หัววัดแบบ Wheel Electrode

2.5.2.1 การเตรียม Wheel Electrode

(1) ต่อ Wheel electrode กับก้านต่อ ดังรูปที่ 23

รูปที่ 23 การต่อ Wheel electrode กับก้านต่อ

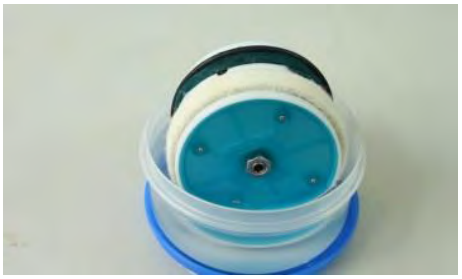
(2) ถอดสกรูที่ปิดช่องใส่สารละลายและช่องเติมน้ำออก

(3) ใส่คอปเปอร์ซัลเฟต 2 ช้อนชาลงไปในช่องเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เติมสารละลายอิ่มตัวของคอปเปอร์ซัลเฟตลงไปให้เต็ม

(4) เติมน้ำลงในช่อง H_2O จนเต็มและปิดสกรูกลับเข้าไป ดังรูปที่ 24 โดยต้องหมุนให้แน่นด้วยความระมัดระวัง

รูปที่ 24 การเติมน้ำลงในช่อง H_2O จนเต็มและปิดสกรูกลับเข้าไป

(5) ก่อนทำการวัดจะต้องวางอิเล็คโตรดในภาชนะน้ำกลั่นประมาณ 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 25 โดยหมุนด้านที่มีจุกไม้อยู่ข้างล่าง เพื่อให้จุกไม้ดูดซึมน้ำกลั่นก่อน



รูปที่ 25 การวางอิเล็คโตรดในภาชนะน้ำกลั่น

2.5.2.2 การต่อวงจรก่อนทำการทดสอบ

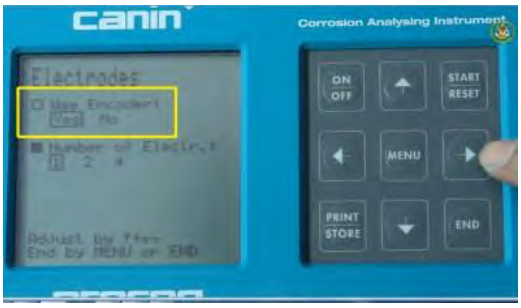
(1) ต่อสายสัญญาณ Wheel Electrode และชุดวัดระยะทางเข้ากับเครื่องทดสอบ

(2) ต่อสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมในโครงสร้างที่ต้องการทดสอบกับช่อง GND ในตัวเครื่อง ดังรูปที่ 26

รูปที่ 26 การต่อสายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมกับเครื่องทดสอบ

2.5.2.3 การตั้งค่าเครื่องทดสอบ

(1) ตั้งค่าเหมือนการทดสอบแบบ Rod electrode จะเปลี่ยนเฉพาะใน Menu Electrodes โดยเปลี่ยน Way Encoder ให้เป็น Yes ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 การตั้งค่าการทดสอบ

(2) การวัดครั้งแรกจะต้องทำโดยการกดปุ่ม“START”และเคลื่อนลูกล้อในทิศทางแนวดิ่งหรือแกน Y ตามลูกศร การวัดจะเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติในแถวที่ถูกเลือกไว้

(3) เมื่อสิ้นสุดเส้นทางการวัด กดปุ่มลูกศรขวา ตำแหน่งบนหน้าจอจะเคลื่อนไปทางขวาเพื่อเริ่มวัดใหม่และทิศทางของลูกศรจะเปลี่ยนเป็นแนวดิ่งโดยอัตโนมัติ เลื่อนลูกล้อไปทางขวามือ 1 ช่วงของกริดที่กำหนดและกดปุ่ม Start เพื่อทดสอบในแถวต่อไป ทำเช่นนี้จนครบทุกแถวบนกริด ที่กำหนดและควรเลื่อนล้อทดสอบอย่างช้าๆ เพื่อการวัดค่าความต่างศักย์ได้แม่นยำ ดังรูปที่ 28

รูปที่ 28 การเลื่อนล้อทดสอบ

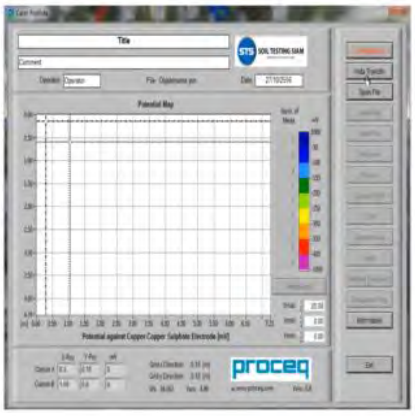
(4) นำข้อมูลที่ทดสอบได้ถ่ายโอนไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม CaninProVista แล้วดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ก. ต่อสายแปลงสัญญาณที่ปลายสาย RS 232 ที่เครื่องทดสอบและต่อสายสัญญาณที่เครื่องทดสอบ

ข. เปิดเครื่องทดสอบแล้วกดปุ่มเมนู และกดปุ่มลูกศรลง เลื่อนแท็ปเมนูมาที่ Data Output แล้วกด START แล้วเลือก Object to pc และกดปุ่ม Start อีกครั้ง

ค. เปิดโปรแกรมที่คอมพิวเตอร์แล้วเลือกคลิกที่ VistaTranfers

ง. เลือกหมายเลขการทดสอบในโปรแกรมและคลิกที่ Save Selected และเลือก Open File เพื่อเปิดไฟล์ที่บันทึกไว้แล้ว ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 การเปิดไฟล์ที่บันทึกไว้แล้ว

จ. นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้บนเส้นตารางกริดแสดงเป็นแผนภาพแสดงเส้น

2.5.2.4 กรณีไม่ใช้โปรแกรมประมวลผล ให้นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้บนเส้นตารางกริดโดยการจดบันทึกขณะทดสอบ นำมาแสดงเป็นแผนภาพแสดงเส้นชั้นความสูง หรือ Contour Map ของค่าความต่างศักย์

2.6 การรายงานผลการทดสอบ

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์ม มยผ.150 รูปที่ 30 ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่องที่ 1 แสดงรายละเอียดข้อมูลทั่วไป เช่น โครงการ สถานที่ ชนิดโครงสร้าง ตำแหน่ง วันที่ทดสอบ เลขทะเบียนทดสอบ และชื่อผู้ทดสอบ เป็นต้น

ช่องที่ 2 ลำดับที่ของการทดสอบ เพื่อให้รู้จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ

ช่องที่ 3 ตำแหน่งที่ทดสอบ แสดงสัญลักษณ์หรือตัวเลขทำให้ทราบตำแหน่งที่ทดสอบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลัง

ช่องที่ 4 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ แสดงศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของโครงสร้างเทียบกับครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟตหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ สำหรับความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ.1506-51 แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

(1) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์> -200 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม

(2) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์อยู่ระหว่าง -200 และ -350 มิลลิโวลต์ : ไม่แน่นอน

(3) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์< -350 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะเกิดสนิม

ช่องที่ 5 จำนวนจุด โดยจำนวนจุดที่วัดได้ตามเกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

ช่องที่ 6 หมายเหตุ ใช้สำหรับกรอกข้อที่น่าสนใจ เช่น ตำแหน่ง ลักษณะความเสียหาย เป็นต้น

<table>
<tr><td colspan="2">กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง
Half Cell Potential Method Test</td><td colspan="3">บฟ.ท.7
ทะเบียนทดสอบเลขที่ XXXXXXXX แผ่นที่ 1/1
วันที่ทดสอบ XXXXXXXX</td></tr>
<tr><td colspan="5">โครงการ : สื่อสาธิตวิธีการทดสอบหาสนิมในเหล็กงานคอนกรีต ①
ผู้ขอรับบริการ : XXXXXXXXXXXXXXX</td></tr>
<tr><td colspan="2">เจ้าหน้าที่ทดสอบ XXXXXXXXXX</td><td>เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล XXXXXXXXXXXX</td><td colspan="2">เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ XXXXXXXXXXXX</td></tr>
<tr><td>ลำดับที่</td><td>ตำแหน่งทดสอบ ③</td><td colspan="2">ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (มิลลิโวลต์)</td><td>หมายเหตุ</td></tr>
<tr><td rowspan="4">②
1</td><td rowspan="4">โครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นดาดฟ้า จุดที่ 1</td><td>④ เกณฑ์</td><td>จำนวนจุด</td><td rowspan="4">⑥
1.40 ตารางเมตร ทดสอบ 42 จุด</td></tr>
<tr><td>มากกว่า - 200 mV CSE</td><td>25 ⑤</td></tr>
<tr><td>ระหว่าง - 200 และ - 350 mV CSE</td><td>10</td></tr>
<tr><td>น้อยกว่า - 350 mV CSE</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2</td><td rowspan="4">โครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นดาดฟ้า จุดที่ 2</td><td>เกณฑ์</td><td>จำนวนจุด</td><td rowspan="4">1.20 ตารางเมตร ทดสอบ 36 จุด</td></tr>
<tr><td>มากกว่า - 200 mV CSE</td><td>22</td></tr>
<tr><td>ระหว่าง - 200 และ - 350 mV CSE</td><td>9</td></tr>
<tr><td>น้อยกว่า -350 mV CSE</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="5">สรุปผลการทดสอบ</td></tr>
</table>

รูปที่ 30 ตัวอย่าง Summary of Test Results
(ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง)

2.7 เกณฑ์การตัดสิน

ไม่มี

2.8 ข้อแนะนำและข้อควรระวัง

(1) ปัจจัยดังต่อไปนี้มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ด้วยวิธีที่ระบุในมาตรฐานนี้และอาจทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้หรือทำให้การตีความผลการทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

- ผิวคอนกรีตถูกปิดด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ปูนฉาบกระเบื้องวัสดุกันซึมและสี
- เหล็กเสริมเคลือบผิวด้วยอีพอกซีหรือโลหะอื่น
- กระบวนการคาร์บอเนชั่นเกิดถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม
- ความชื้นของผิวคอนกรีตไม่เพียงพอทำให้ค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์มีค่าเป็นลบน้อยลงและอาจไม่สามารถตรวจจับการเกิดสนิมได้

(2) เนื่องจากในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟของเครื่องมือกับเหล็กเสริมในโครงสร้างจึงต้องมีการเจาะหรือกะเทาะผิวคอนกรีตบางส่วนออก ทั้งนี้ ขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวังและต้องมีการซ่อมแซมโครงสร้างอย่างเหมาะสมภายหลังการวัด

(3) ข้อแนะนำ: ในกรณีที่โครงสร้างมีส่วนที่เกิดสนิมจนเกิดการกะเทาะของผิวคอนกรีตแล้วสามารถต่อวงจรกับส่วนของเหล็กเสริมที่เกิดสนิมแล้วได้โดยต้องมีการทำความสะอาดเหล็กเสริมก่อน

2.9 แบบฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูล

	กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ กรมโยธาธิการและผังเมือง Half Cell Potential Method Test	บฟ.ท.7	
		ทะเบียนทดสอบเลขที่	แผ่นที่ 1/1
		วันที่ทดสอบ	
โครงการ : ผู้ขอรับบริการ :			
เจ้าหน้าที่ทดสอบ	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล	เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	

ลำดับที่	ตำแหน่งทดสอบ	ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (มิลลิโวลต์)		หมายเหตุ
		เกณฑ์	จำนวนจุด	
		เกณฑ์	จำนวนจุด	

บรรณานุกรม

(1) ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures – Reported by ACI committee 228,1998

(2) ASTM C876-91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete , ASTM International ,1999

(3) BS 1881 - 201: 1986, Testing Concrete. Guide to the Use of Non-Destructive Methods of Test for Hardened Concrete , 1986

(4) กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential) (มยผ. 1506-51)”

(5) กรมโยธาธิการและผังเมือง, “มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทน และอายุการใช้งาน (มยผ. 1332-55)”

ที่ปรึกษา

นายพรพจน์ เพ็ญพาส
อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง
ผู้บริหารสูงสุดของส่วนราชการ (CEO)
นางสาวอัญชลี ตันวานิช
รักษาการในตำแหน่งที่ปรึกษาด้านการผังเมือง
ผู้บริหารสูงสุดด้านการจัดการความรู้ (CKO)

บรรณาธิการ

นางสาวอรอาภา โล่ห์วีระ
ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง
หัวหน้าคณะทำงานการจัดการความรู้ (CKM Team)
นายอุทิศ รักสัจจะ
ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
คณะทำงานการจัดการความรู้ (KM Team)

กองบรรณาธิการ

กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ

1. นางสาวอมลวรรณ พิศิษฐวานิช วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ
2. นายภูพิรัชย์ ศักดิ์จิรพาพงษ์ วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
3. นายณัฐวุฒิ สายราช นายช่างโยธาปฏิบัติงาน
4. นายสุพัฒน์ เอี่ยมพาหล พนักงานวิศวกรโยธา
5. นายโอจักรพรรดิ์ สุขชัยสิทธิ์ เจ้าหน้าที่สนับสนุนงาน

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง

1. นางสาวไพรินทร์ ดุราศวิน
   หัวหน้ากลุ่มงานวางแผนและประสานงาน คณะทำงานและเลขานุการ
2. คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
   2.1 นางสาวศญามน เจริญสุข นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ
   2.2 นางสาวจิตกุศล เปาประดิษฐ นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ
   2.3 นายเมธี รุจสกนธ์ นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ

...ดำเนินตามแผนการจัดการความรู้ กรมโยธาธิการและผังเมือง (DPT KM Action Plan)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๖๕ ประเด็นยุทธศาสตร์ด้านการบริการด้านช่าง

www.dpt.go.th

สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการพัฒนาเมือง
กองวิเคราะห์วิจัยและทดสอบวัสดุ
กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย www.dpt.go.th

กรมโยธาธิการและผังเมือง
๒๑๘/๑ ถนนพระรามที่ ๖ แขวงพญาไท
เขตพญาไท กรุงเทพ ๑๐๔๐๐