มยผ. 1506-51

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม (Half-Cell Potential)

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานนี้ครอบคลุมการวัดค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

1.2 ค่าที่มีการกล่าวถึงในมาตรฐานนี้กำหนดให้มีหน่วยตามระบบหน่วยระหว่างประเทศ (SI)

2. นิยาม

"ครึ่งเซลล์ (Half-Cell)" หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วยโลหะ และสารละลายของเกลือที่มีโลหะนั้นเป็นสารประกอบ

"ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential)" หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่วัดเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์มาตรฐาน หรือครึ่งเซลล์อื่นที่ระบุไว้

"อาโนด (Anode)" หมายถึง จุดที่เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชั่น

"คาโธด (Cathode)" หมายถึง จุดที่เกิดปฏิกิริยา รีดักชั่น

3. อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

3.1 ครึ่งเซลล์ (Half Cell) คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper-Copper Sulphate Half Cell) เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานที่ประกอบการทดสอบตามเอกสารนี้ ประกอบด้วย

(1) ท่อใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับ คอปเปอร์ หรือ คอปเปอร์ซัลเฟต และต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

(2) สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตอิ่มตัว เตรียมได้จากการละลายผลึกคอปเปอร์ซัลเฟตในน้ำกลั่นให้อิ่มตัว โดยที่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เหลือจะตกผลึกเป็นก้อนเมื่อสารละลายอิ่มตัวแล้ว

(3) พลาสติกหรือไม้ที่มีความพรุน ซึ่งต้องเปียก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 13 มิลลิเมตร

(4) แท่งทองแดง (คอปเปอร์) เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร อยู่ในท่อใส่สารละลายและจุ่มในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

3.2 วัสดุเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างคอนกรีตและอุปกรณ์ (Electrical Junction Device) เป็นตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์และโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทั่วไปใช้เป็นฟองน้ำเปียกด้วยสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดีและยึดติดที่ปลายของครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต

3.3 สารละลายสำหรับเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า (Electrical Contact Solution) ซึ่งช่วยให้มีความนำไฟฟ้าเพียงพอให้ผลการวัดเป็นมาตรฐาน โดยสารละลายนี้อาจได้จากการละลายน้ำยาทำความสะอาด ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในน้ำ 20 ลิตร และอาจต้องเติม สารไอโซโพรพิล (Isopropyl) หรือ ดีเนเจอร์แอลกอฮอล์ (Denatured Alcohol) เพื่อป้องกันการเกาะตัวของสารละลายกรณีอุณหภูมิระหว่างตรวจวัดต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

3.4 มาตรวัดศักย์ไฟฟ้า (Voltmeter) สำหรับการทดสอบหาค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม ควรมีพลังงานในตัวเอง (ใช้แบตเตอรี่) และมีความแม่นยำร้อยละ ± 3ในช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ทดสอบ ความต้านทานของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้าไม่ควรต่ำกว่า 10 เมกาโอห์ม เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่า 100 มิลลิโวลต์ มาตรวัดควรแสดงผลที่ละเอียด 0.02 โวลต์หรือละเอียดกว่า

3.5 สายไฟฟ้า (Electrical Lead Wires) สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ กับเหล็กเสริมในโครงสร้างซึ่งมีขนาดที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ ในวงจรเกิน 0.1 มิลลิโวลต์ โดยเลือกสายไฟ ให้มีขนาดใหญ่เพียงพอ และมีความยาวไม่มากจนเกินไป

4. วิธีการใช้งานเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

4.1 ต้องดูแลไม่ให้พลาสติกหรือไม้ที่มีความพรุนซึ่งอยู่ในครึ่งเซลล์แห้งเกินไป เพราะว่าช่องว่างในวัสดุดังกล่าวอาจอุดตันด้วยผลึกของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ตกตะกอน

4.2 กรณีที่การใช้ครึ่งเซลล์ให้ผลคลาดเคลื่อน ให้ทำความสะอาดแท่งทองแดง (Copper Rod) ในครึ่งเซลล์โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

4.3 ควรเปลี่ยนสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตทุกเดือน หรือก่อนทำการตรวจสอบโครงสร้างแต่ละครั้ง ไม่ควรใช้ขนสัตว์หรือวัสดุอื่นซึ่งอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์ทำความสะอาดแท่งทองแดง

5. ขั้นตอนประเมินการเกิดสนิมของเหล็กเสริมด้วยเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

5.1 การวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ควรวัด ณ ตำแหน่งของเหล็กเสริม โดยระยะห่างระหว่างจุดที่ตรวจวัดไม่ห่างกันมากหรือน้อยจนเกินไป

<u>ข้อแนะนำ</u>: ตำแหน่งการวัดที่ห่างกันมากอาจจะทำให้ผู้ตรวจสอบพลาดข้อมูลของจุดที่เกิดสนิม ในขณะเดียวกัน หากตำแหน่งที่วัดอยู่ใกล้กันมากจนเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่ตรวจสอบส่วนของโครงสร้างขนาดเล็กเช่นส่วนของเสาหรือคานจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกัน 50 ถึง 100 มิลลิเมตร. ในขณะที่การตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่เช่นสะพานระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการวัดอาจจะห่างกันประมาณ 0.5 ถึง 1 เมตร

5.2 ต่อสายไฟฟ้ากับเหล็กเสริมในโครงสร้าง โดยค่าความต้านทานของรอยต่อต้องต่ำเพียงพอและไม่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานของทั้งวงจร โดยควรขัดผิวเหล็กเสริมและสายไฟฟ้าก่อนเชื่อมต่อ ในหลายกรณี ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการกะเทาะคอนกรีตหุ้มเหล็กออก สายไฟฟ้าที่ต่อจากเหล็กเสริมต้องเชื่อมกับขั้วบวกของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า

5.3 โดยทั่วไปสายไฟฟ้าต้องต่อโดยตรงกับเหล็กเสริมในโครงสร้าง ยกเว้นกรณีมีหลักฐานที่เชื่อถือได้ว่ามีวัสดุนำไฟฟ้าอื่นที่เชื่อมต่อกับเหล็กเสริมในโครงสร้างและเชื่อมต่อได้ง่ายกว่า ให้ตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าจากการวัดค่าความต้านทานระหว่างโลหะที่ผิวอย่างน้อยสองจุดขึ้นไป

5.4 การเชื่อมต่อสายไฟเข้าระหว่างครึ่งเซลล์ และ เครื่องมือวัดการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

5.5 เชื่อมต่อปลายด้านหนึ่งของสายไฟฟ้ากับครึ่งเซลล์ และปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับขั้วลบของมาตรวัดศักย์ไฟฟ้า

5.6 ในกรณีผิวส่วนใหญ่ของโครงสร้างคอนกรีตแห้ง ต้องทำให้ผิวโครงสร้างคอนกรีตเปียกก่อนวัดศักย์ไฟฟ้า ให้ตรวจสอบเบื้องต้นโดยการต่อครึ่งเซลล์กับผิวคอนกรีตและสังเกตค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ กรณีที่ค่าศักย์ไฟฟ้าไม่คงที่ แสดงว่าผิวคอนกรีตแห้งเกินไป ให้ทำผิวคอนกรีตให้เปียกจนกระทั่งอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าได้ค่อนข้างคงที่ หรือ มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง ±0.02 โวลต์ เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 นาที โดยวิธีการทำให้ผิวคอนกรีตเปียกมี 2 วิธีดังนี้

วิธี ก

พ่นน้ำหรือสารละลายตามที่ระบุในหัวข้อ 4.6.2.3 และเช็ดละอองน้ำที่เหลืออยู่บนผิวคอนกรีตก่อนตรวจวัดความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ วิธีนี้เหมาะสำหรับผิวคอนกรีตที่ต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อยเพื่อทำให้มีสภาพเหมาะสมสำหรับการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

วิธี ข

ใช้ฟองน้ำที่ชุ่มด้วยสารละลายตามที่ระบุในหัวข้อ 4.6.2.3 วางบนผิวคอนกรีต และไม่จำเป็นต้องเอาฟองน้ำออกระหว่างการวัดค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ แต่ให้ตรวจวัดผ่านฟองน้ำนี้ วิธีนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่ไม่สามารถใช้วิธีอื่นได้

5.7 วัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์ที่อ่านได้ต้องมีความละเอียดในระดับ 0.01 โวลต์ และควรคำนึงถึงผลของอุณหภูมิในกรณีที่อุณหภูมิระหว่างทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงมาก

หมายเหตุ: วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถใช้กับโครงสร้างใต้น้ำได้ แต่ต้องระมัดระวังการตีความผลการตรวจสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิม การวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์สามารถบอกความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริม แต่อาจจะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของการเกิดสนิมที่แม่นยำ ความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุระหว่างครึ่งเซลล์และเหล็กที่เกิดสนิมเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการหาตำแหน่งที่เกิดสนิม ในกรณีของโครงสร้างใต้น้ำวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้มักให้ค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกันทุกจุด อย่างไรก็ตามผลการวัดที่ได้แสดงถึงการแนวโน้มความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมเหมือนทดสอบโครงสร้างอื่นที่ไม่ได้อยู่ใต้น้ำ

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ และข้อควรระวัง

6.1 ปัจจัยดังต่อไปนี้มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ด้วยวิธีที่ระบุในมาตรฐานนี้ และอาจทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้ หรือทำให้การตีความผลการทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

(1) ผิวคอนกรีตถูกปิดด้วยวัสดุต่างๆ เช่น ปูนฉาบ กระเบื้อง วัสดุกันซึม และสี

(2) เหล็กเสริมเคลือบผิวด้วยอีพอกซี หรือโลหะอื่น

(3) กระบวนการคาร์บอเนชั่นเกิดถึงตำแหน่งของเหล็กเสริม

(4) ความชื้นของผิวคอนกรีตไม่เพียงพอ ทำให้ค่าความต่างศักย์ครึ่งเซลล์มีค่าเป็นลบน้อยลงและอาจไม่สามารถตรวจจับการเกิดสนิมได้

6.2 เนื่องจากในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ต้องมีการเชื่อมต่อสายไฟของเครื่องมือกับเหล็กเสริมในโครงสร้าง จึงต้องมีการเจาะหรือกะเทาะผิวคอนกรีตบางส่วนออก ทั้งนี้ขั้นตอนนี้ต้องดำเนินการด้วยความระมัดระวังและต้องมีการซ่อมแซมโครงสร้างอย่างเหมาะสมภายหลังการวัด

ข้อแนะนำ: ในกรณีที่โครงสร้างมีส่วนที่เกิดสนิม จนเกิดการกะเทาะของผิวคอนกรีตแล้วสามารถต่อวงจรกับส่วนของเหล็กเสริมที่เกิดสนิมแล้วได้ โดยต้องมีการทำความสะอาดเหล็กเสริมก่อน

7. การสรุปผลการทดสอบและการแปลความผลการทดสอบ

7.1 ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากครึ่งเซลล์ คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต จากโครงสร้างที่อยู่เหนือน้ำ

<u>ข้อแนะนำ:</u> ข้อมูลในตารางที่ 1 เป็นข้อมูลจากผลสำรวจในต่างประเทศ ดังนั้นจึงควรต้องระมัดระวังในการแปลผลการวัดสำหรับวัสดุท้องถิ่น และควรมีการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าในกรณีใช้ครึ่งเซลล์ชนิดอื่นในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างคอนกรีต

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์
และความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้าง

(ข้อ 7.1)

ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต ($Cu/ CuSO_4$)	สภาพการเกิดสนิม
มากกว่า -0.20 โวลต์ CSE	ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
ระหว่าง -0.20 และ -0.35 โวลต์ CSE	ไม่แน่นอน
น้อยกว่า -0.35 โวลต์ CSE	ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่เกิดสนิมแล้ว

หมายเหตุ: CSE คือ ศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างเทียบกับครึ่งเซลล์ คอปเปอร์ – คอปเปอร์ซัลเฟต

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

7.2 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10 มิลลิโวลต์เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือชุดเดียวกันในการวัดแต่ละครั้ง

7.3 ความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้จากตำแหน่งเดียวกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 20 มิลลิโวลต์เมื่อวัดด้วยเครื่องมือคนละชุด

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures - Reported by ACI committee 228

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

8.3 ASTM C876-91 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete

ภาคผนวก 1 ข้อควรพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับการทดสอบ

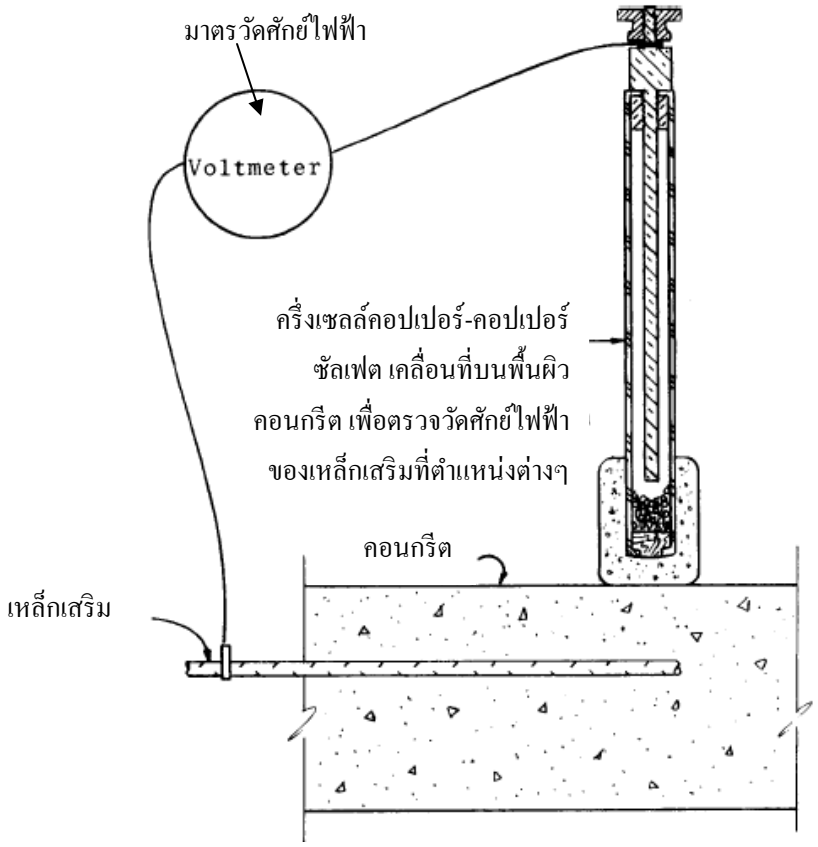
1. วิธีการวัดค่าการสึกกร่อนของเหล็กเสริม เป็นการประเมินความเป็นไปได้ ที่เหล็กเสริมในคอนกรีตจะเกิดสนิมจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

2. วิธีการวัดค่าการสึกกร่อนด้วยการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้ ใช้ได้กับเหล็กเสริมที่ไม่มีการเคลือบผิวด้วยอีพอกซีเท่านั้น

3. เนื่องจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ต้องเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ดังนั้นผิวโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตรวจวัดจึงควรมีความชื้นในระดับที่ทำให้คอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้

ภาคผนวก 2 ลักษณะวงจรของเครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

รูปที่ 1 แสดงวงจรของเครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ซึ่งมีส่วนประกอบดังที่ระบุในหัวข้อที่ 3 ในการใช้งานอุปกรณ์วัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์นี้ จะต้องมีการต่อวงจรกับเหล็กเสริม และมีการทำให้ผิวคอนกรีตสามารถนำไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง ดังที่อธิบายในข้อ 5.6

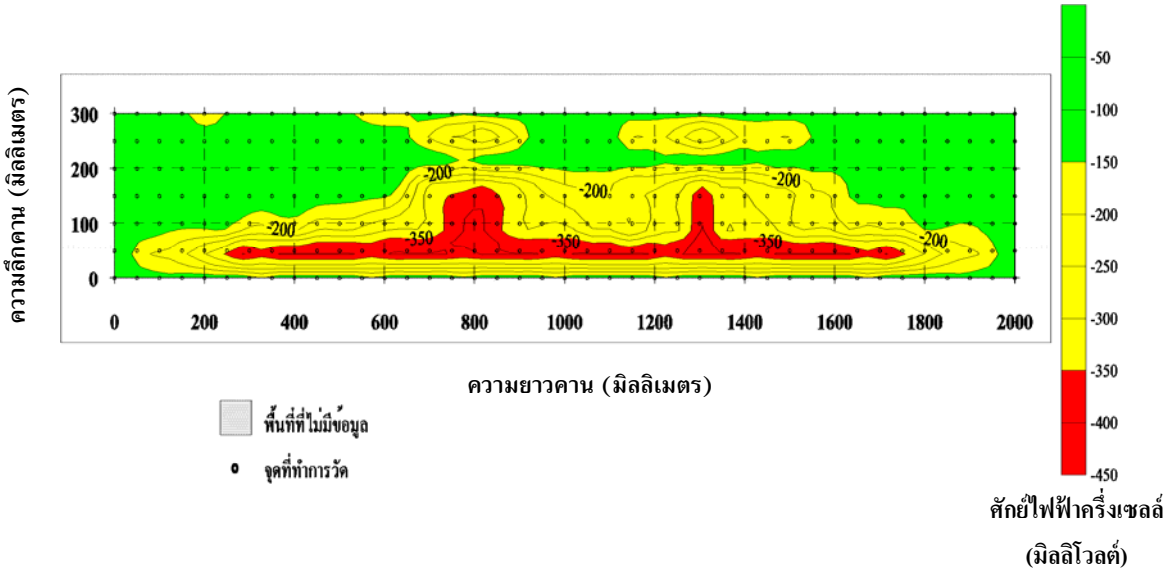


รูปที่ 1 วงจรของเครื่องวัดค่าต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ดังแสดงในมาตรฐาน ASTM 876

(ภาคผนวก 2)

ภาคผนวก 3 ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจวัด

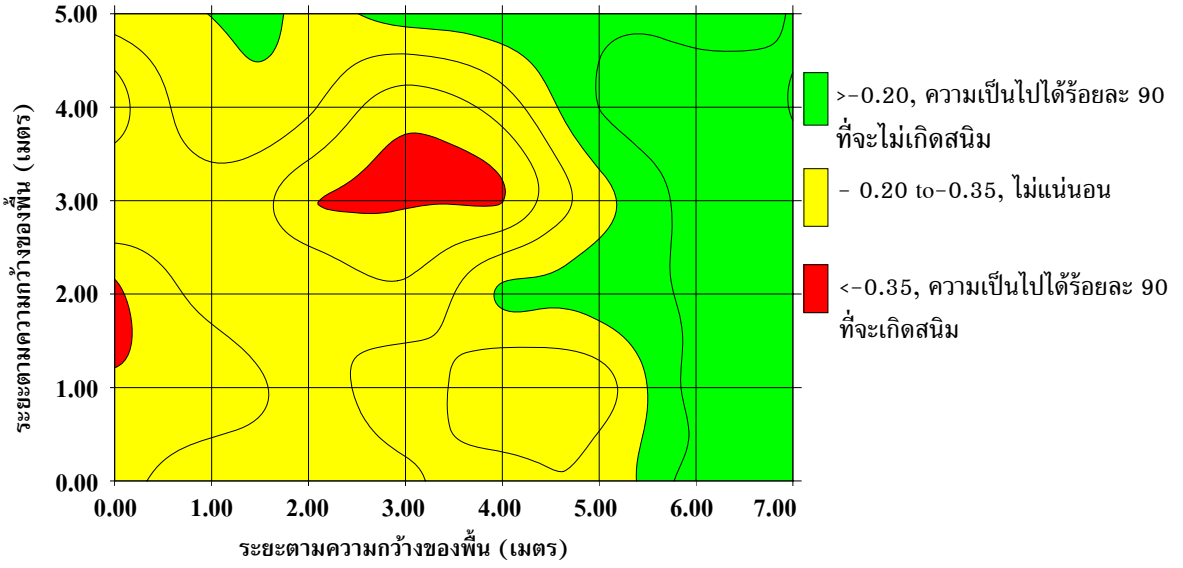
รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็กยาว 2 เมตร ลึก 30 เซนติเมตร โดยทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุก ๆ ระยะ 50 มิลลิเมตร ส่วนที่แสดงสีแดง (สีเข้ม) คือจุดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้ติดลบมากกว่า -350 มิลลิโวลต์ซึ่งเป็นจุดที่มีแนวโน้มที่กำลังเกิดสนิมอยู่มากที่สุด



รูปที่ 2 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

(ภาคผนวก 3)

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กกว้าง 5 เมตร ยาว 7 เมตร โดยวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุก ๆ ระยะ 1000 มิลลิเมตร ส่วนที่แสดงสีแดง (สีเข้ม) คือจุดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่วัดได้ติดลบมากกว่า -350 มิลลิโวลต์ซึ่งเป็นจุดที่มีแนวโน้มที่กำลังเกิดสนิมมากที่สุด



รูปที่ 3 ตัวอย่างเส้นชั้นความสูงของค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(ภาคผนวก 3)

ภาคผนวก 4 แบบฟอร์มบันทึกผลการทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อนเป็นสนิมของเหล็กเสริม

โครงการ: .... **สถานที่**: .... **ชนิดโครงสร้าง**: …..... ..... **ตำแหน่ง**: ……..…….. ..... **วันที่ทดสอบ**:	**บฟ. มยผ. 1506** **(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)** **การทดสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก** **วิธีทดสอบหาค่าการสึกกร่อน** **ของเหล็กเสริม**	ทะเบียนทดสอบ: ..... หน้าที่ ...../..... ผู้ทดสอบ: ..... ผู้ประเมินผล: ..... ผู้ตรวจสอบ: .....

ลำดับที่	**ตำแหน่งทดสอบ**	**ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (มิลลิโวลต์) (1)**	**สภาพการเกิดสนิม ตาม มยผ. 1506 (3)**	**หมายเหตุ**

หมายเหตุ: (1) ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของโครงสร้างเทียบกับครึ่งเซลล์คอปเปอร์-คอปเปอร์ซัลเฟต หน่วยเป็น มิลลิโวลต์

(2) ความน่าจะเป็นของการเกิดสนิมในโครงสร้างตามมาตรฐาน มยผ. 1506-51 แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

1. ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ > -200 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
2. ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์อยู่ระหว่าง -200 และ -350 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะไม่เกิดสนิม
3. ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ < -350 มิลลิโวลต์ : ความเป็นไปได้ร้อยละ 90 ที่จะเกิดสนิม