

## กรณีศึกษา การตรวจสอบอาคารคอนกรีตที่เกิดสนิม เนื่องจากคาร์บอนเนชันในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล

ผศ.ดร.รัชวีร์ ดีละวัฒน์

ดร.ประวิณ ชมปรีดา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

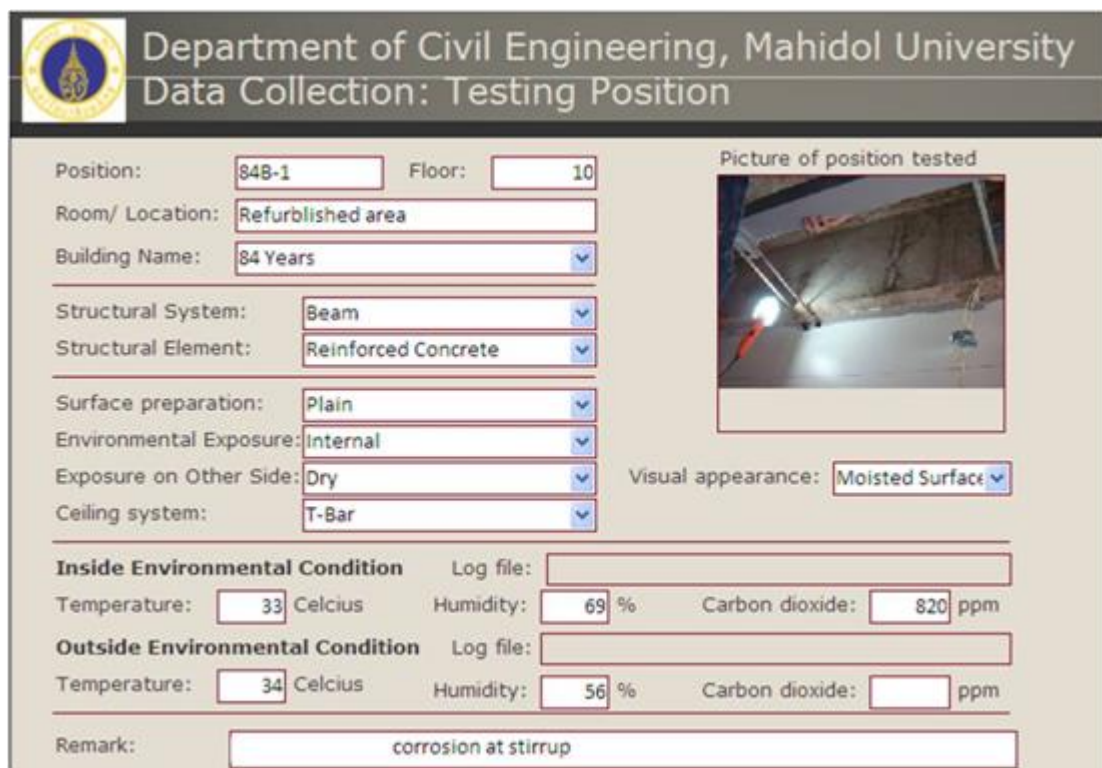
อาคารที่มีการใช้งานมานานและไม่ได้มีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง อาจมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน โดย ในอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในแถบกรุงเทพฯและปริมณฑล มักพบการเกิดสนิมของเหล็กเสริมเนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน ซึ่ง หากไม่ได้มีการตรวจสอบและการบำรุงรักษาที่เหมาะสม สนิมของเหล็กจะเกิดเพิ่มมากขึ้น ทำให้พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมมีขนาดเล็กลง และนำไปสู่การสูญเสียกำลังรับน้ำหนักและความปลอดภัยของโครงสร้างได้

การตรวจสอบสนิมในโครงสร้างคอนกรีตอาจทำได้โดยตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) เพื่อตรวจสอบรอยร้าวหรือการกะเทาะของคอนกรีตที่ผิวหน้าเนื่องจากการเกิดสนิมเหล็ก หรืออาจทำการตรวจสอบละเอียดมากขึ้นโดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลายหรือ กิ่งทำลาย การเลือกเครื่องมือทดสอบผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีความรู้ถึงแนวทางในการนำไปใช้ และข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลมาใช้ในการประเมินผลให้แม่นยำขึ้น ซึ่งบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอกรณีศึกษาจากการตรวจสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ในแถบ


กรุงเทพฯ และปริมณฑล จำนวน 18 อาคาร โดยเลือกอาคารที่มีมาตรฐานการออกแบบและการควบคุมงานที่ใกล้เคียงกัน โดยอาคารที่นำมาตรวจสอบมีอายุการใช้งานในช่วง 10-60 ปี

## การวางแผนการตรวจสอบ

การตรวจสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้จำเป็นต้องมีการวางแผนที่เหมาะสม โดยควรมีการวางแผนในการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ และตำแหน่งทดสอบให้ชัดเจน ซึ่งในขั้นตอนนี้ อาจต้องมีการสำรวจอาคารต่างๆ ด้วยสายตาอย่างคร่าวๆ นอกจากนี้การเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญ ควรมีการเก็บข้อมูลให้เป็นระบบ แต่ละตำแหน่งที่ทำการทดสอบ ควรเก็บข้อมูลสภาพสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ทำการทดสอบ ลักษณะโครงสร้าง รูปถ่ายลักษณะของรอยร้าว เป็นต้น เพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเอาระบบการเก็บข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูลมาใช้แสดง ในรูปที่ 1



Department of Civil Engineering, Mahidol University  
Data Collection: Testing Position

Position:	<input type="text" value="84B-1"/>	Floor:	<input type="text" value="10"/>	
Room/ Location:	<input type="text" value="Refurbished area"/>			
Building Name:	<input type="text" value="84 Years"/>			
Structural System:	<input type="text" value="Beam"/>			
Structural Element:	<input type="text" value="Reinforced Concrete"/>			
Surface preparation:	<input type="text" value="Plain"/>			Visual appearance: <input type="text" value="Moisted Surface"/>
Environmental Exposure:	<input type="text" value="Internal"/>			
Exposure on Other Side:	<input type="text" value="Dry"/>			
Ceiling system:	<input type="text" value="T-Bar"/>			
<b>Inside Environmental Condition</b>		Log file: <input type="text"/>		
Temperature:	<input type="text" value="33"/> Celcius	Humidity:	<input type="text" value="69"/> %	Carbon dioxide: <input type="text" value="820"/> ppm
<b>Outside Environmental Condition</b>		Log file: <input type="text"/>		
Temperature:	<input type="text" value="34"/> Celcius	Humidity:	<input type="text" value="56"/> %	Carbon dioxide: <input type="text"/> ppm
Remark:	<input type="text" value="corrosion at stirrup"/>			

รูปที่ 1 ระบบการจัดเก็บข้อมูลการทดสอบที่พัฒนาขึ้น

### การตรวจสอบเบื้องต้น

จากการสำรวจเบื้องต้น โดยใช้วิธีตรวจสอบด้วยสายตา พบว่าปัญหาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมส่วนใหญ่มักเกิดบริเวณชั้นใต้คาน้ำของ อาคารและบริเวณใต้กันสาดหรือชั้นลอย ซึ่งสาเหตุหลักเนื่องมาจากการเสื่อมสภาพของแผ่นกันซึม ระบบระบายน้ำไม่มีการบำรุงรักษาทำให้มีน้ำขัง ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนในบริเวณอื่นๆที่พบมักเกิดจากการมีระยะหุ้มเหล็กน้อยเกินไป



### รูปที่ 2 การเกิดสนิมของเหล็กเสริมบริเวณฝ้าเพดานของชั้นบนสุดเนื่องจากการ เสื่อมสภาพของแผ่นกันซึม

#### การตรวจสอบละเอียด

หลังจากที่กำหนดตำแหน่งทดสอบและวางแผนขั้นตอนการทดสอบแล้ว ได้ทำการทดสอบดังต่อไปนี้

Cover meter เหมาะ สำหรับใช้ตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตว่ามีระยะหุ้มเหล็กเพียงพอหรือไม่ และมีความแปรผันของระยะหุ้มเหล็กมากน้อยเพียงใด และควรนำความลึกที่วัดได้นี้มาเปรียบเทียบกับความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน จากการตรวจสอบพบว่าหลายตำแหน่งที่ทำการทดสอบที่มีปัญหาการเกิดสนิมมีระยะ หุ้มเหล็กต่ำกว่าเกณฑ์และระยะหุ้มเหล็กมีค่าน้อยกว่าความลึกของปฏิกิริยา คาร์บอนเนชันที่ทำการทดสอบ ส่งผลให้ Passive layer ที่หุ้ม เหล็กถูกทำลายและทำให้เกิดสนิมขึ้น นอกจากนี้บางตำแหน่งพบว่ามีความแปรผันของระยะหุ้มเหล็กค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเกิดจากการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้างที่ไม่ดีพอ ข้อควรระวังในการทดสอบคือ ถ้าคอนกรีตถูกหุ้มด้วยปูนฉาบและสี ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือทดสอบจะมีค่าแตกต่างจากค่าที่วัดความลึกของเหล็ก เสริมใน โครงสร้างจริงค่อนข้างมาก ดังนั้นการใช้เครื่องมือ Cover Meter ทดสอบระยะหุ้มเหล็ก ควรทดสอบบนผิวคอนกรีตโดยตรง นอกจากนี้ควรมีการสอบเทียบค่าระยะหุ้มเหล็กที่อ่านได้จากเครื่องมือ Cover Meter กับความลึกของเหล็กเสริมในโครงสร้างเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้น

Rebound hammer เหมาะ สำหรับใช้ตรวจสอบความสม่ำเสมอของคอนกรีต โดยวิธีนี้จะวัดค่าความแข็งของผิวคอนกรีต ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการบ่งชี้ถึงกำลังอัดของคอนกรีต การทดสอบนี้มีข้อควรระวังสำหรับการทดสอบคอนกรีตที่คาร์บอนเนต เนื่องจากการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการพบว่าคอนกรีตที่คาร์บอนเนตแล้วจะให้ค่า Rebound Number เพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นการใช้ค่า Rebound number ปรับแก้เป็นค่ากำลังอัดคอนกรีตโดยตรงอาจไม่เหมาะสมนัก เพราะจะทำให้คอนกรีตที่ทำการทดสอบมีค่ากำลังอัดที่สูงเกินจริง

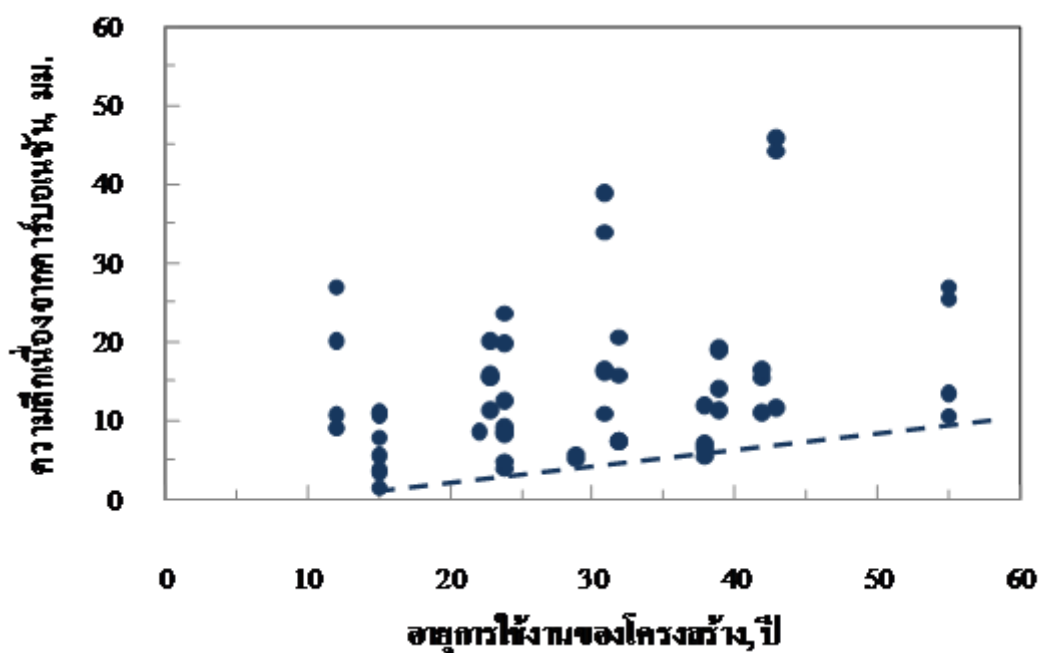
□ Two-probe resistivity test และ Four-probe resistivity test เหมาะสำหรับใช้ทดสอบความต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิวคอนกรีต วิธีการทดสอบนี้มักถูกใช้ควบคู่กับ Half-cell potential เพื่อตรวจสอบโอกาสการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต โดยทั่วไปถ้าคอนกรีตมีความชื้นที่ผิวคอนกรีตต่ำ เครื่องมือทดสอบ Two-probe resistivity test หรือ Four-probe resistivity test จะ แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิวคอนกรีตสูง แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาของสนิมเกิดได้ยาก ส่งผลให้เหล็กเสริมมีโอกาสเกิดสนิมต่ำ รูปที่ 2 (ด้านซ้าย) แสดงการทดสอบ Two-probe resistivity จาก ผลการทดสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 18 แห่งพบว่าคอนกรีตที่แห้งส่วนใหญ่จะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิว คอนกรีตที่สูงมาก ในขณะที่คอนกรีตที่มีคราบชื้นบางตำแหน่งพบว่ามีความต้านทานไฟฟ้าบริเวณ ใกล้พื้นผิวคอนกรีตที่ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าบริเวณดังกล่าวมีแนวโน้มการเกิดสนิมที่ค่อนข้างสูง ข้อควรระวัง จากการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการพบว่า คอนกรีตที่คาร์บอนเตจะให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิวคอนกรีตเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งจากการตรวจสอบอาคารด้วยสายตาพบว่าบางตำแหน่งที่เกิดการหลุดร่อนของ คอนกรีต เนื่องจากการเกิดสนิมของเหล็กเสริมนั้น เมื่อนำเครื่องมือทดสอบ Resistivity มาทำการตรวจสอบ พบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิวคอนกรีตมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นการใช้เครื่องมือทดสอบ Resistivity เพียงอย่างเดียว และพบว่าคอนกรีตมีค่าความต้านทานไฟฟ้าบริเวณใกล้พื้นผิวคอนกรีตที่สูง ยังไม่อาจสรุปได้ว่าคอนกรีตบริเวณที่ทำการทดสอบมีโอกาสเกิดสนิมต่ำ ซึ่งวิศวกรผู้ใช้เครื่องมือทดสอบ Resistivity ควรระวังในการประมวลผล

□ ความลึกเนื่องจากคาร์บอนชั้น เหมาะสำหรับตรวจสอบว่า Passive layer ของเหล็กเสริมมีโอกาสถูกทำลายหรือไม่ ซึ่งถ้าค่าความลึกเนื่องจากคาร์บอนชั้นที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่า กับระยะหุ้มเหล็ก แสดงว่า Passive layer ของเหล็กเสริมมีโอกาสถูกทำลาย และเหล็กเสริมของคอนกรีตบริเวณที่ทำการทดสอบมีโอกาสเกิดสนิมขึ้น การทดสอบอาจทำได้โดยเจาะเข้าไปในโครงสร้างคอนกรีต และฟ้นสารละลาย Phenolphthalein ลงไป และวัดความลึกของคอนกรีตที่เปลี่ยนจากสีชมพูหรือสีม่วงเป็น ไม่มีสี ผลการทดสอบโดยรวมแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าความลึกของคาร์บอนชั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุอาคารที่เพิ่มขึ้น ความลึกของคาร์บอนชั้นยังพบว่าขึ้นกับสภาพพื้นผิวคอนกรีต อาทิเช่น การทาสี มี

# วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



แนวโน้มทำให้ความลึกของคาร์บอนเนชันลดลง เป็นต้น ดังนั้นการวัดความลึกเนื่องจากคาร์บอนเนชันควรระบุรายละเอียดสภาพพื้นผิว คอนกรีตให้ชัดเจนเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล นอกจากนี้ยังพบว่าบางตำแหน่งมีค่าความลึกคาร์บอนเนชันสูงผิดปกติ เช่น อาคารที่มีอายุเพียง 11 ปี บางตำแหน่งมีความลึกคาร์บอนเนชันเกือบ 30 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการทดสอบบริเวณใกล้เคียงกันพบว่ามีความลึกคาร์บอนเนชันเพียง 10 มิลลิเมตร ดังนั้นควรทำการทดสอบร่วมกับวิธีการทดสอบอื่นๆ อาทิเช่น ที่ตำแหน่งดังกล่าวซึ่งมีค่าความลึกคาร์บอนเนชันสูงผิดปกติ เมื่อทำการทดสอบร่วมกับความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณใกล้เคียงผิวคอนกรีตพบว่า มีโพรงภายในคอนกรีต อาจเกิดจากการบดอัดคอนกรีตบริเวณเหล็กเสริมระหว่างการก่อสร้างไม่ดีพอ ข้อควรระวังในการทดสอบ ควรทำความสะอาดบริเวณที่ทดสอบก่อนพ่นสารละลาย Phenolphthalein เพื่อไม่ให้ฝุ่นจากการเจาะที่ติดบนผิวคอนกรีตรบกวนการอ่านค่า นอกจากนี้แต่ละบริเวณที่ทำการทดสอบ ควรมีการวัดค่าความลึกเนื่องจากคาร์บอนเนชันหลายตำแหน่ง เพื่อให้การทดสอบมีความแม่นยำขึ้น เนื่องจากคุณภาพคอนกรีตของโครงสร้างจริงอาจไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ความลึกเนื่องจากคาร์บอนเนชันอาจมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก



รูปที่ 3 ความลึกเนื่องจากคาร์บอนเนชันของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำการทดสอบ

## สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310  
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

□ ความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณผิวคอนกรีต เหมาะสำหรับใช้ตรวจสอบโพรงภายในคอนกรีต หรือความต่อเนื่องของโพรงภายในคอนกรีต โดยที่ถ้าคอนกรีตมีความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณผิวคอนกรีตสูง แสดงว่าคาร์บอนไดออกไซด์มีโอกาสแพร่เข้าไปในคอนกรีตได้เร็ว นอกจากนี้ความชื้นและออกซิเจนมีโอกาที่จะทำปฏิกิริยากับเหล็กแล้วเกิดเป็น สนิมขึ้นได้ง่าย การทดสอบอาจทำได้โดยเจาะรูเข้าไปในคอนกรีต จากนั้นใช้เครื่องมือทดสอบความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณผิวคอนกรีตทำการดูด อากาศออกจากรูจนมีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จากนั้นจึงหยุดดูดอากาศและทำการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้น ภายในรูซึ่งเกิดจากการที่อากาศภายนอกพยายามไหลผ่านคอนกรีตเข้ามาในรู วิธีการทดสอบนี้ใช้เวลาในการติดตั้งและทดสอบไม่เกิน 5 นาที รูปที่ 4 แสดง การติดตั้งเพื่อทดสอบความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณผิวคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่าตำแหน่งที่มีรอยร้าว มีโพรงภายในคอนกรีต หรือมีรอยต่อระหว่างปูนฉาบกับคอนกรีตส่วนที่เป็นโครงสร้าง จะให้ค่าความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณผิวคอนกรีตสูงมาก ในขณะที่คอนกรีตทั่วไปที่มีคุณภาพดีจะให้ค่าความสามารถซึมซาบอากาศบริเวณผิว คอนกรีตอยู่ในเกณฑ์ดี การทดสอบนี้เหมาะสำหรับใช้ทดสอบร่วมกับวิธีการทดสอบอื่นๆ

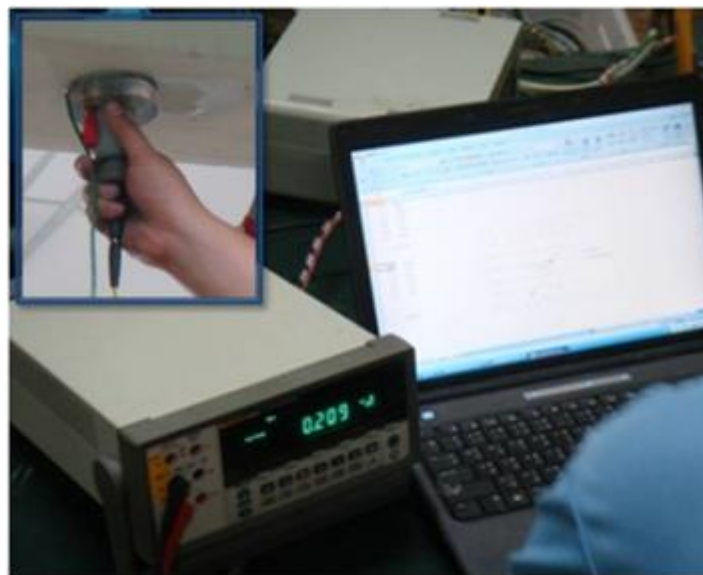


รูปที่ 4 การติดตั้งเพื่อทดสอบความสามารถในการซึมซาบอากาศ

□ Half-cell potential เหมาะสำหรับการทดสอบโอกาสการเกิดสนิม และการทดสอบ Linear polarization เหมาะสำหรับการทดสอบอัตราการผลิตสนิม ตัวอย่างการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งการทดสอบ Half-cell potential เป็น การทดสอบการเกิดสนิมที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยปลายด้านหนึ่งต้องมีการต่อสายไฟเข้ากับเหล็กเสริมในคอนกรีตที่ทำการวัด ในขณะที่ปลายอีกด้านต่อเข้ากับ Electrode ซึ่งทาบบนผิวคอนกรีต ณ ตำแหน่งที่ต้องการวัด โดยที่ค่า Half-cell potential มีค่ายิ่งต่ำแสดงให้ว่าบริเวณดังกล่าวมีโอกาสเกิดสนิมสูง ส่วนการทดสอบ Linear polarization นั้นเป็นการวัดอัตราการผลิตสนิมโดยตรง ซึ่งอาจต้องใช้เวลาในการทดสอบนานกว่าการทดสอบ Half-cell potential และชุดอุปกรณ์ทดสอบมีราคาแพงกว่าชุดทดสอบ Half-cell potential ก่อนข้างมาก การทดสอบ Linear polarization เหมาะสำหรับการใช้ในการยืนยันตำแหน่งของการเกิดสนิม ซึ่งถ้า Linear polarization แสดงค่า Corrosion current density ที่สูงแสดงว่าบริเวณคอนกรีตเสริมเหล็กดังกล่าวมีอัตราการผลิตสนิมที่สูง จากผลการทดสอบอาคารทั้ง 18 แห่งพบว่าค่า Half-cell potential ที่มีค่าต่ำควบคู่กับค่า Linear polarization ที่มีค่าสูงแสดงถึงการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ชัดเจน สอดคล้องกับการตรวจสอบสนิมเหล็กของเหล็กเสริมด้วยสายตาของบริเวณดังกล่าว ข้อควรระวังในการทดสอบ ควรมีการตรวจสอบความต่อเนื่องของเหล็กเสริมก่อนการทดสอบ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบไม่ควรมีความต้านทานทางไฟฟ้าของเหล็กเสริมบริเวณที่ทำการทดสอบมากเกินไป และควรตรวจสอบขั้วของเครื่องมือที่ทำการทดสอบ เพื่อไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ นอกจากนี้จากการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการพบว่าคอนกรีตที่คาร์บอนेट และคอนกรีตที่ชื้น มีผลต่อค่า Half-cell potential และค่า Linear polarization ที่วัดได้ค่อนข้างมาก ดังนั้นการวัดค่า Half-cell potential และค่า Linear polarization ควรนำปัจจัยทางสภาพแวดล้อมมาร่วมในการประมวลผลด้วย เพื่อให้การประเมินความเป็นสนิมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความแม่นยำขึ้น



# วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



รูปที่ 5 การทดสอบ Half-cell potential (ซ้าย) และการทดสอบ Linear polarization (ขวา)

## สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310  
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

### กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติ (วช) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยนี้

### สรุป

การ ตรวจสอบการเกิดสนิมของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กควรมีการวางแผนในการเก็บ ข้อมูลที่ดี การสำรวจด้วยสายตาเบื้องต้นจะช่วยให้ในการกำหนดตำแหน่งทดสอบได้จากการตรวจสอบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในช่วงอายุ 10 – 60 ปี พบการเกิดสนิมของอาคารตลอดช่วงที่ทำการทดสอบ การใช้วิธีการตรวจสอบหลายวิธีที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีต ปัจจัยที่ทำให้เกิดสนิม และการทดสอบการเกิดสนิม ควบคู่กับการรู้ถึงข้อจำกัดของเครื่องมือทดสอบที่นำมาใช้ตรวจสอบ จะช่วยให้การประมวลผลการเกิดสนิมในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความแม่นยำ ขึ้น

รายละเอียดเพิ่มเติม <http://www.eg.mahidol.ac.th/dept/egce/index.php/research-galleries>