บทที่ 5

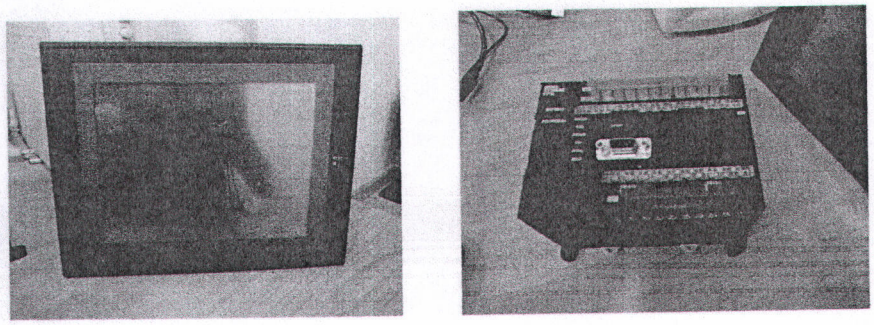
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาสร้างเครื่องมือเพื่อรับและจ่ายค่าการไหลของกระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิมเพื่อหาค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต โดยใช้การวัดค่าของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่มีค่าต่ำมาก โดยวิธีการของ 3LP device ด้วยหลักการ Potentiostate หรือ Galvanostatic ตัวอย่างที่ทดสอบใช้การจำลองสภาพแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กให้อยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมทะเลด้วยการใช้คลอไรด์เป็นส่วนผสมอยู่ ในคอนกรีตแทนน้ำทะเลจริงและเร่งการเกิดสนิมด้วยวิธีการทางไฟฟ้าที่แรงดันแตกต่างกัน เนื่องจากมีความจำกัดในด้านระยะเวลา

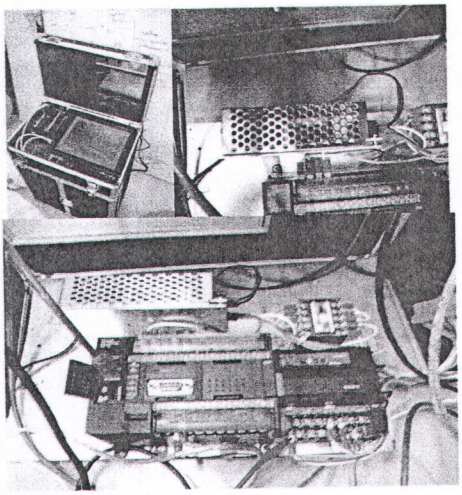
5.1 การออกแบบจัดสร้างเครื่องมือวัด

ในการจัดสร้างชุดเครื่องมือวัดค่าความเป็นสนิมเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็กจะจัดแบ่งตามขั้นตอนการสร้างต้นแบบดังต่อไปนี้

5.1.1 จัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

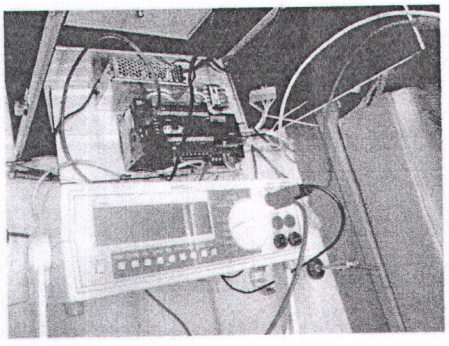


ภาพที่ 5-1 หน้าจอสั่งการและอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้สร้างเครื่องมือวัด

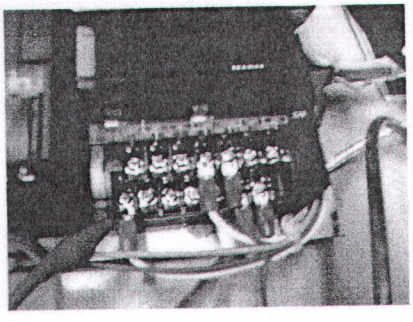


ภาพที่ 5-2 แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์การรับค่าสัญญาณจากการวัด

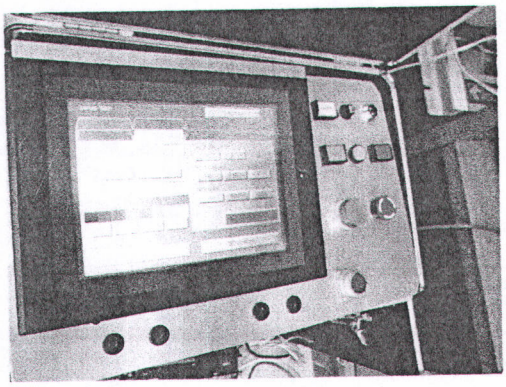
5.1.2 ออกแบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและต่อสายกับอุปกรณ์รับและส่งค่าโดยทำการต่อสายสัญญาณเข้ากับพีแอลซี



ภาพที่ 5-3 ทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

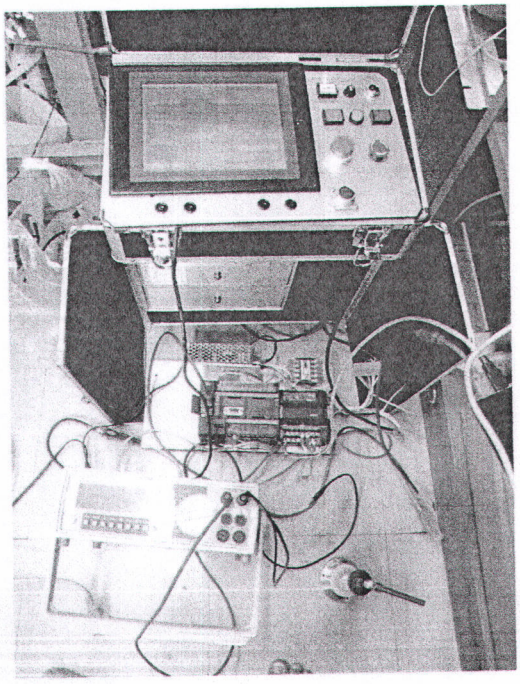


ภาพที่ 5-4 การรับค่าและส่งค่าอนาลอกเข้าสู่โปรแกรม



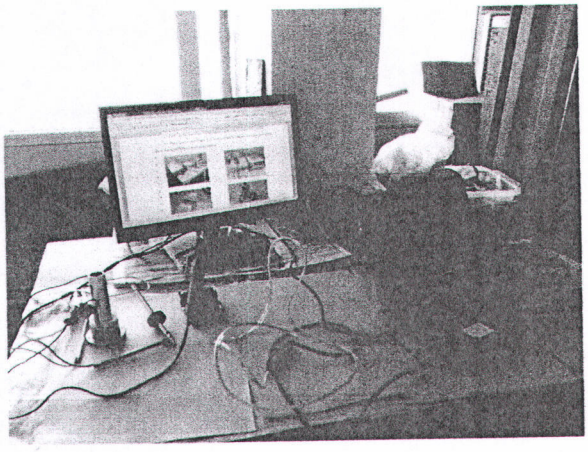
ภาพที่ 5-5 การรับค่าและส่งค่าอนาลอกเข้าสู่โปรแกรมจอ

5.1.3 ติดตั้งอุปกรณ์เข้าสู่ระบบการวัด

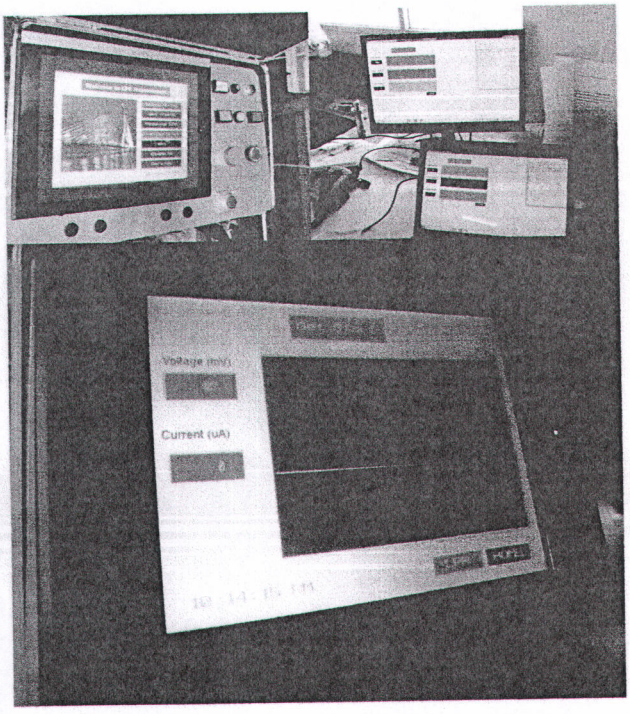


ภาพที่ 5-6 การรับค่าและส่งค่าอนาลอกเข้าสู่โปรแกรมเครื่อง

5.1.4 การเขียนโปรแกรมควบคุม

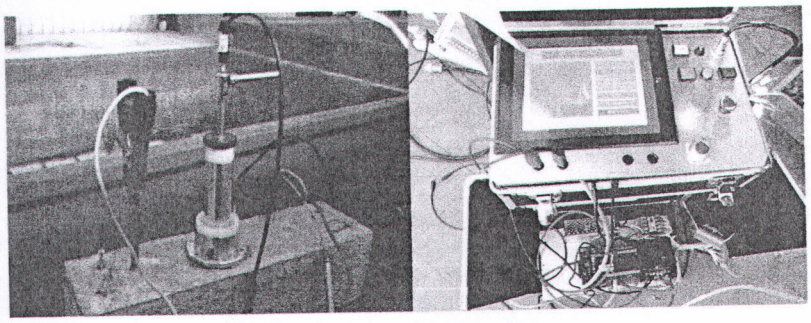


ภาพที่ 5-7 การเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งการอุปกรณ์การวัดค่า

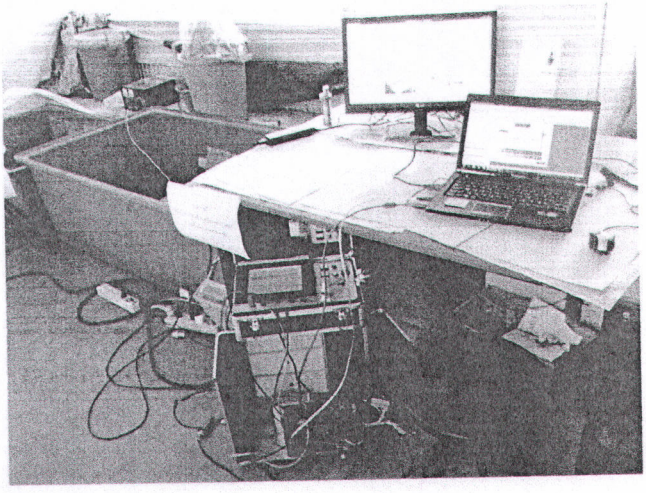


ภาพที่ 5-8 การเขียนโปรแกรมสั่งงานและแสดงผลการวัดค่าโพลาไลท์

5.1.5 ทดสอบการวัดและเก็บค่าโพลาไลท์เซชั่น



ภาพที่ 5-9 ทดสอบการส่งสัญญาณโพลาไลท์เข้าสู่คอนกรีตเสริมเหล็ก



ภาพที่ 5-10 แสดงการทดลองการวัดและแก้ไขโปรแกรม

5.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบเครื่องมือวัดค่าโพลาไลท์เซชั่น

ประกอบด้วย เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องผสมคอนกรีตขนาดเล็กแบบขนาดความจุ 0.15 $ม^3$
2. แบบหล่อคอนกรีตขนาด 10 x 10 x 35 ซ.ม.
3. ถังสำหรับแช่ตัวอย่างคอนกรีต
4. อุปกรณ์วัดค่ากำลังรับแรงอัด
5. เหล็กเส้นกลมผิวเรียบผ่านศูนย์กลาง 9 มม.
6. ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1

7. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ขนาดโตสุด 3/4”
8. ทรายละเอียด (Fine Aggregate)
9. สายสัญญาณ ควบคุม และสายลิงก์
10. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Clhoride, NaCL)
11. สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายอิเล็คโทรไลท์
12. DC Power Supply 0-30 Vdc สามารถปรับแหล่งจ่ายกระแสได้
13. Volt meter ที่มีความละเอียดในย่าน mV
14. Amp meter ที่มีความละเอียดในย่าน μA
15. สายวัดสัญญาณที่มีสารละลายตัวนำไฟฟ้า
16. โอห์มมิเตอร์ เพื่อวัดค่าความต้านทาน
17. เครื่องทดสอบการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า
18. เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรง
19. เครื่องทดสอบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์
20. สารอิเล็คโทรไลท์เจลสำหรับเป็นสื่อวัดค่าความต้านทาน
21. โปรแกรมเมเบิ้ลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (CP1L)
22. จอสั่งการ Touch Screen (NS7)
23. โมดูลแปลค่า อนาลอก เป็น ดิจิตอล
24. ชุดควบคุมกำลังไฟฟ้า

วิธีการ

5.3 วัสดุและปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

1.1 วัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

- ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้างของบริษัทปูนซิเมนต์ไทย
- วัสดุมวลรวมหยาบใช้หินปูนย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว
- มวลรวมละเอียดทรายแม่น้ำร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (SSD)
- เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม.

1.2 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดคอนกรีตให้มีกำลังรับแรงอัด 240 ก.ก./ซ.ม.^{2} โดยออกแบบตามมาตรฐานของ ACI มีอัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์เท่ากับ w/c เท่ากับ 0.40 และค่าการยุบตัวเท่ากับ 8 ซม. โดยมีปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตและคุณสมบัติของเหล็กเสริมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 5.1 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต ต่อปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร

วัสดุในการผสมคอนกรีต	ปริมาณน้ำหนัก(กก./ลบ.ม.)
ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	450
มวลรวมหยาบ	992
มวลรวมละเอียด	750
น้ำ	180
อัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์ (w/c = 0.40)	
สารละลายโซเดียมคลอไรด์	5% , 10% และ15% (ของน้ำหนักซิเมนต์)

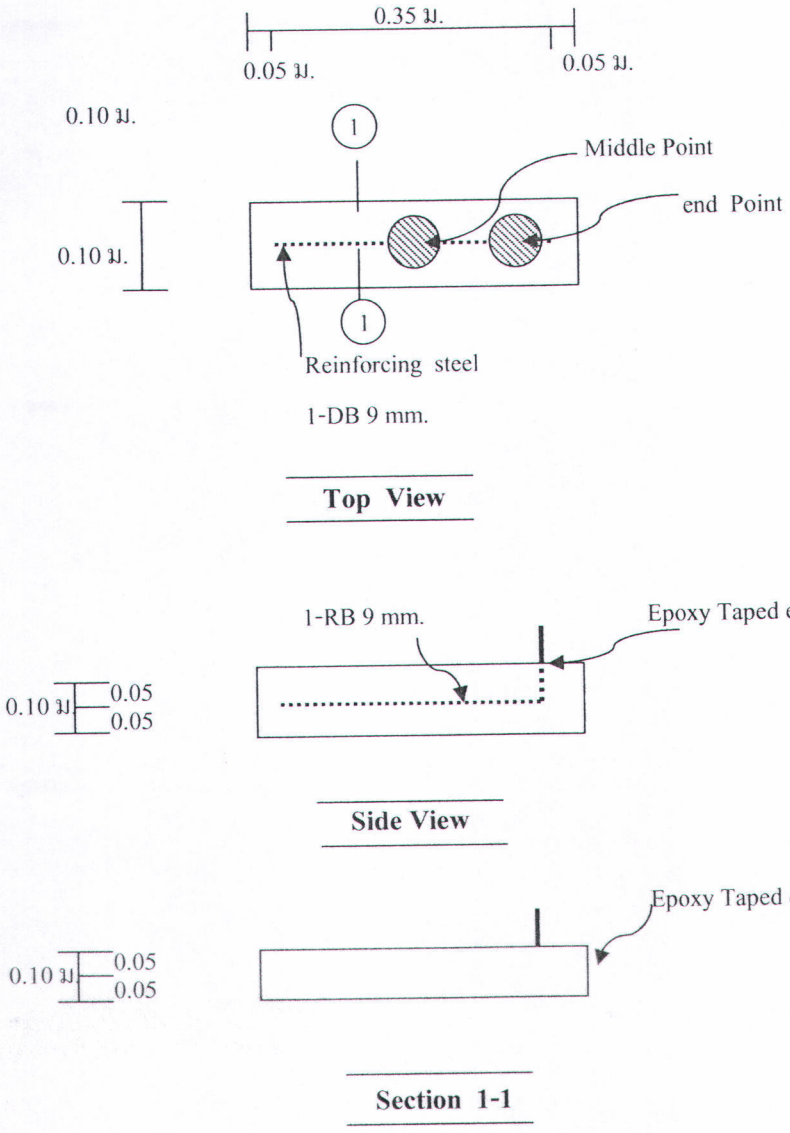
ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของเหล็กเสริมคอนกรีต

Diameter (mm.)	Cross section area ($mm.^2$)	Yield Strength ($kg/cm.^2$)	Ultimate strength ($kg/cm.^2$)
RB -9	28.3	2400	3900
DB-12 (SD30)	113.10	3000	4900

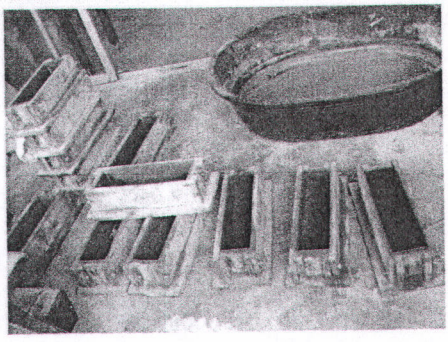
5.4 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

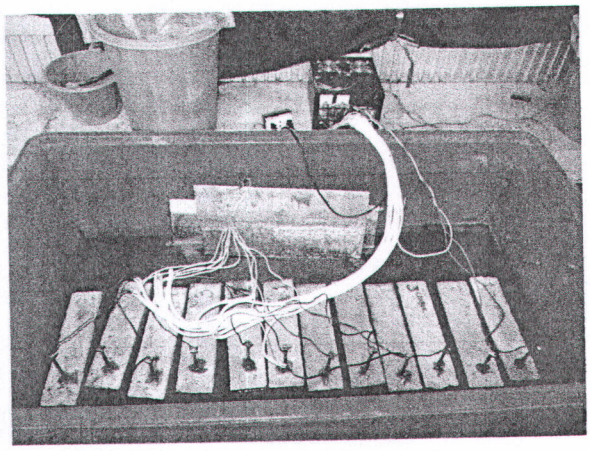
จัดทำตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 10 x 10 x 35 ซม. ดังแสดงตามภาพที่ 5.1 จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยมีปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 5.1 และน้ำที่ใช้ในการเตรียมคอนกรีตเป็นน้ำประปาโดยใช้เหล็กเสริมชนิด RB ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. โดยยื่นปลายเหล็กออกจากตัวอย่างเพื่อทำเป็นจุดเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้เร่งให้เหล็กเกิดสนิมและหลังเกิดกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีโดยในการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการผสมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในอัตราส่วนร้อยละ5 10 และ15 ต่อน้ำหนัก เพื่อการจำลองสภาพให้คานคอนกรีตเสริมเหล็กให้อยู่ในสภาวะสิ่งแวดล้อมทะเลด้วยการใช้คลอไรด์เป็นส่วนผสมอยู่ในคอนกรีตแทนน้ำทะเลจริง เนื่องจากความจำกัดด้านเวลาในการซึมผ่านของคลอไรด์ และทำการทดสอบค่ายุบตัวด้วยอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว (Slump test) โดยวิธีดังกล่าวเป็นที่ยอมรับได้ในงานวิจัยของต่างประเทศ (C. Arya et al., 1996) โดยทำการบ่มตัวอย่างในน้ำประปาเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจึงจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่เหล็กเสริมเพื่อช่วยเร่งให้เหล็กเกิดสนิมเร็วขึ้น



ภาพที่ 5-11 รายละเอียดคานคอนกรีตเสริมเหล็กและตำแหน่งการวัดค่าความ ต้านทานทางไฟฟ้า



ภาพที่ 5-12 การเตรียมแบบหล่อคานคอนกรีต

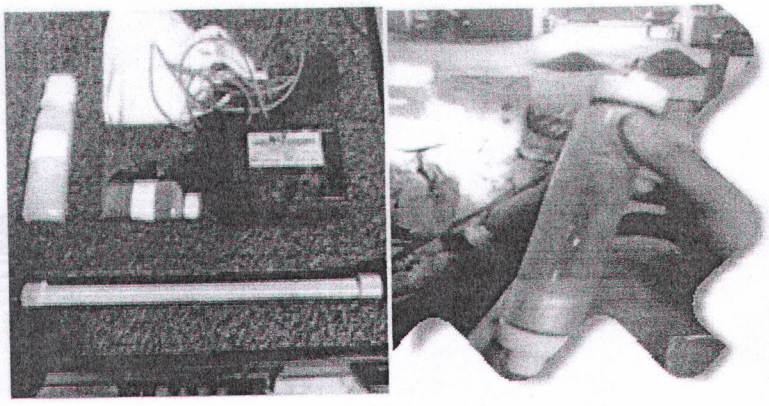


ภาพที่ 5-13 การเตรียมตัวอย่างคานคอนกรีตและการเร่งการเกิดสนิมด้วยกระแสไฟฟ้า

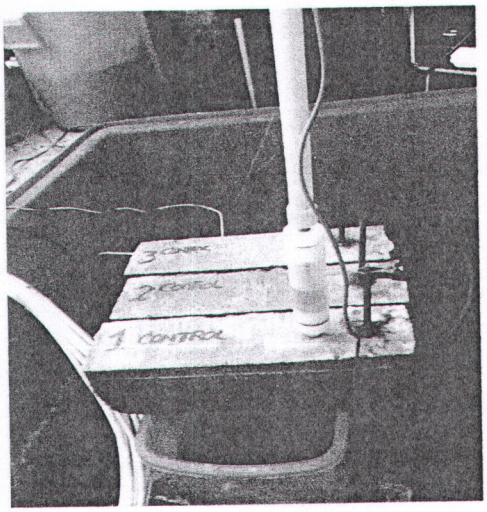
5.5 วิธีการวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้า

การวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (Half-Cell Potential) เพื่อตรวจสอบโอกาสในการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคานคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM-C876 ดังภาพที่ 5-14 และ 5-15



ภาพที่ 5-14 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือ Half-Cell สำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์



ภาพที่ 5-15 การวัดการเกิดสนิมด้วยวิธีความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งสองชุดที่ไม่ได้เร่งด้วยกระแสไฟฟ้าและชุดที่เร่งด้วยกระแสไฟฟ้า การเก็บค่าการวัดให้เก็บค่าทุกๆ 7 วันเป็นเวลา 2 เดือน และทำการเปรียบเทียบแต่ละตัวอย่างที่มีปริมาณคลอไรด์ร้อยละ 5, 10, 15 และ 0 ตามลำดับของชุดตัวอย่างที่เร่งด้วยกระแสไฟฟ้าและไม่ได้เร่งไฟฟ้า

ขั้นตอนและวิธีการวัดค่ามีดังนี้

1. ทำเครื่องหมายที่ตำแหน่งต่างๆบนคานที่ต้องการทำการวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ โดยกำหนดตำแหน่งตรงจุดตัดและบริเวณตรงกลางของเหล็กเสริมที่มีการเชื่อมต่อกับกระแสไฟฟ้าในดังแสดงในรูปภาพที่ 5-15

2. ราดน้ำให้ทั่วคานให้ชุ่มเพื่อให้น้ำซึมเข้าไปภายในคานคอนกรีตนำผ้าชนิดหนาชุบน้ำมาคลุมไว้เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำจากคาน และรีบทดสอบทันที

3. เตรียมเครื่องมือในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของคอนกรีตด้วยวิธีครึ่งเซลล์ (Half Cell Potential) โดยใส่ Copper (II) Sulphate ลงไปในหลอดเครื่องมือโดยให้สารละลายอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วใส่น้ำลงไปในขวดอุปกรณ์แล้วจึงประกอบอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน

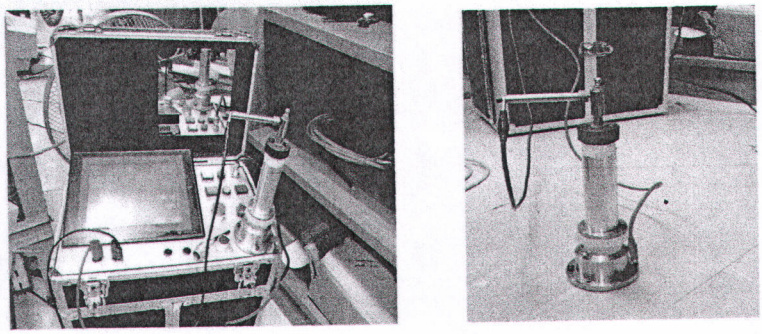
4. ต่อเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เข้ากับเหล็กที่ยื่นออกมาจากคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้ขั้วลบต่อเข้ากับเหล็กเสริมและขั้วบวกต่อเข้ากับเครื่องมือวัดและนำไปวางบนตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้แล้วอ่านค่าที่ได้แล้วจดบันทึกค่าโดยหาค่าเฉลี่ย 5 ครั้งต่อการวัดค่าหนึ่งจุด

5.6 การวัดค่าความต้านทานโพลาไรซ์

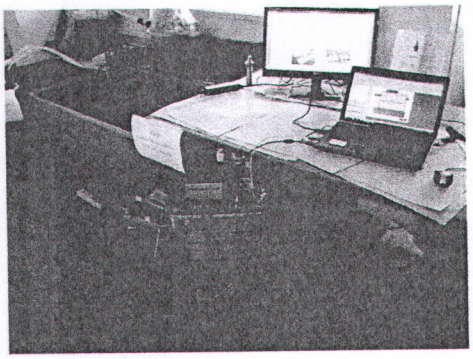
หลักการของเทคนิคความต้านทานโพลาไรซ์เป็นวิธีการที่ดีสำหรับใช้หาค่าอัตราการเกิดสนิม (Corrosion rate) ของเหล็กเสริมในคานคอนกรีตสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM G-59 เป็นเทคนิคคานฐานของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงใน Open Circuit Potential (OCP) ของเซลล์ตัวนำไฟฟ้าแบบ Short-Circuited เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านเซลล์ จะทำให้ไฟฟ้าครบวงจร ซึ่งวิธีการวัดของ LPR ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ Potentio statically มีวิธีการคือเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงทำให้ศักย์ไฟฟ้า (ΔE) เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งแปรผันไปตามค่าของกระแสไฟฟ้า (ΔI) ในขณะเวลานั้นโดยที่ค่าของแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต้องอยู่ภายในช่วง 10-30 มิลลิโวลท์เท่านั้น ค่าที่วัดได้ถึงจะมีความถูกต้อง ซึ่งค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (ΔE) และการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าต่อหน่วยคานที่ของขั้วไฟฟ้า (ΔI) ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่าง $\Delta E/\Delta I$ เรียกว่าความต้านทานโพลาไรซ์ (R_p) เพราะว่ากระแสไฟฟ้าจะแสดงในเทอมต่อหน่วยคานที่ของขั้วไฟฟ้าเป็น Polarized โดยที่ (R_p) มีหน่วยเป็นโอหม์คานที่ (ohms.cm^2) ตามมาตรฐาน ASTM G15

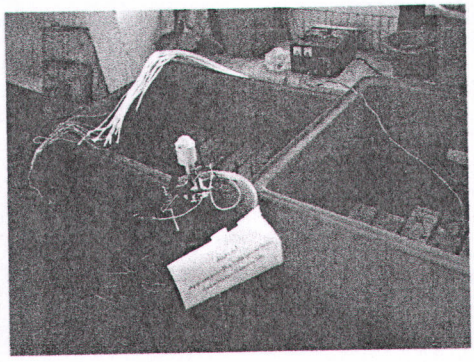
ขั้นตอนหลักในการใช้งานเครื่องมือ ในการวัดความต้านทาน Polarization ใน Potentiostatic Mode ดังต่อไปนี้

1. ทำการเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้ากับเหล็กเสริม(WE) ของคานตรงปลายเหล็กที่ยื่น ดังแสดงในภาพที่ 28
2. กำหนดบริเวณเหล็กเสริมสำหรับวัดค่าการเกิดสนิม โดยให้ผิวคอนกรีตอยู่ในสภาพที่เปียกและกำหนดตำแหน่งเครื่องมือให้อยู่ตรงกึ่งกลางเหนือเหล็กเสริมที่ต้องการทดสอบ
3. ตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็กอยู่ในสภาพเปียกชื้นตลอดเวลาในการวัดค่า
4. วัดค่า Open Circuit Potential, E_0 จะมีความสัมพันธ์กับ Reference electrode ในตัวอย่างเป็นการวัดแบบศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ตามภาพที่ 5-16



ภาพที่ 5.16 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือโดยใช้วิธีความต้านทานโพลาไรซ์





ภาพที่ 5.17 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือโดยใช้วิธีความต้านทานโพลาไรซ์

5. ทำการวัดกระแสไฟฟ้าจาก CE ไปยัง WE โดยใช้แรงดันที่มีความแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน -10 ถึง -30 mV ในการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าของ WE โดยเพิ่มแรงดันให้อยู่ในอัตราเท่าๆกัน บันทึกค่าของศักย์ไฟฟ้า (E) ที่จ่ายไปและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่อ่านค่าได้ในขณะนั้น

6. ทำซ้ำตามขั้นตอนเดิมโดยเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันอย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อค่าไปคำนวณหาค่าความชันของเส้นตรง (Slope) เป็นค่าความต้านทาน Polarization (R_p) ที่ตรงตำแหน่งนั้น ในขณะที่หากความชันที่คำนวณได้ไม่เป็นเส้นตรงให้ปรับแก้ค่าในช่วงนั้นโดยการวัดค่าใหม่

7. คำนวณหาคานที่ของเหล็กเสริมที่มีผลกระทบกับการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยดูจากคานที่ของเหล็กเสริมที่อยู่ใต้ Prob โดยอ้างอิงจากเส้นผ่านศูนย์กลางของProb นำมาคำนวณหาคานที่ผิวของเหล็กเสริม

8. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้า(E) กับกระแสไฟฟ้า (I) ต่อหน่วคาที่ของเหล็กและหาค่าความชันของเส้นตรง(Slope) เป็นค่าความต้านทาน Polarization (R_p)

9. คำนวณหาค่าอัตราการเกิดสนิม (i_{corr}) โดยพิจารณาจากค่า สัมประสิทธิ์ B ส่วนด้วยความต้านทาน Polarization (R_p) โดยที่ค่า B = 26 mV

10. นำค่าอัตราการเกิดสนิม (i_{corr}) ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไขของสภาวะของเกิดสนิม โดยพิจารณาจาก $i_{orr} < 0.1\ \mu A/cm^2$ แสดงถึงสภาวะที่เหล็กยังไม่เกิดสนิม และหาก $i_{orr} > 0.1\ \mu A/cm^2$ แสดงถึงสภาวะที่เหล็กเกิดสนิมแล้ว (C.Andrade, M.C.Alonso. et al,1990)