

บทที่ 6

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์

จากผลการทดสอบการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตที่จำลองอยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์โดยนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน ASTM C 876 ดังตารางที่ 6-1 และโดยมีเงื่อนไขขอบเขตของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กถูกจำลองให้อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเลได้ถูกกำหนดให้มีส่วนผสมของปริมาณคลอไรด์ร้อยละ 0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ ตัวอย่างแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือชุดแรกกำหนดให้เร่งการเกิดสนิมด้วยวิธีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 8 โวลต์และชุดที่สองกำหนดให้ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าสำหรับวิธีการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากำหนดให้วัดตรงบริเวณมุมเหล็กเสริมและบริเวณตรงกลางของเหล็กเสริมซึ่งเป็นเหล็กเสริมท่อนเดียวกันดังผลการทดสอบตามตารางที่ 6-1 ถึงตารางที่ 6-5

ตารางที่ 6.1 ค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าครึ่งเซลล์และความน่าจะเป็นการกัดกร่อน ASTM C 876

Half-Cell Potential (mV)	Percentage Chance of active Corrosion
< -350	90 %
-200 to -350	50 %
> -200	10 %

ตารางที่ 6.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

ค่าของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่บริเวณจุดมุมของเหล็กเสริม							
ไม่มีการเร่งการเกิดสนิมด้วยกระแสไฟฟ้า							
เวลา เงื่อนไข	ระยะเวลา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	-521	-569	-608	-593	-538	-498	-457
5% Cl ⁻	-675	-647	-636	-613	-601	-611	-481
10% Cl ⁻	-760	-707	-642	-656	-521	-587	-550
15% Cl ⁻	-781	-772	-656	-663	-548	-649	-474



ตารางที่ 6-3 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

ค่าของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่บริเวณตรงกลางของเหล็กเสริม							
ไม่มีการเร่งการเกิดสนิมด้วยกระแสไฟฟ้า							
เวลา เงื่อนไข	ระยะเวลา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	-604	-594	-620	-606	-526	-497	-465
5% Cl ⁻	-632	-662	-632	-613	-604	-624	-499
10% Cl ⁻	-702	-712	-655	-469	-545	-597	-552
15% Cl ⁻	-762	-772	-669.4	-673	-558	-651	-482

ตารางที่ 6.4 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

ค่าของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่บริเวณจุดตัดกันของเหล็กเสริม							
ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิม							
เวลา เงื่อนไข	ระยะเวลา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	-367	-357	-535	-469	-550	-689	-669
5% Cl ⁻	-1027	-1037	-1089	-1056	-892	-1034	-1038
10% Cl ⁻	-1085	-1095	-945	-872	-740	-811	-694
5% Cl ⁻	-1068	-968	-1168	-1110	-868	-787	-757

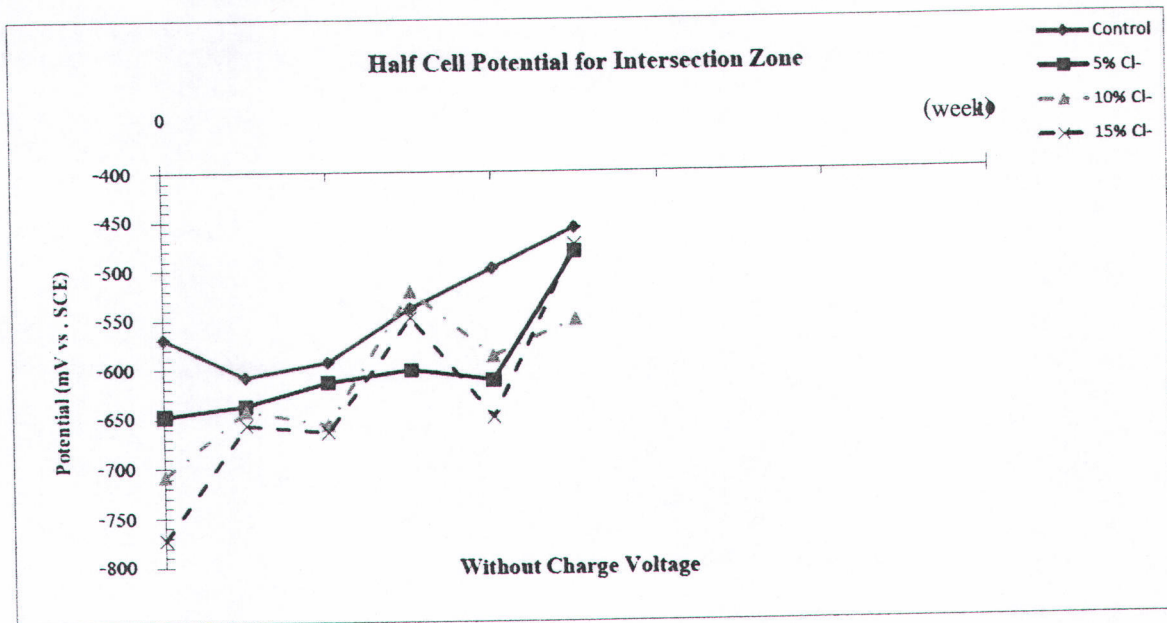
ตารางที่ 6-5 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

ค่าของศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ที่บริเวณตรงกลางของเหล็กเสริม							
ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิม							
เวลา เงื่อนไข	ระยะเวลา (สัปดาห์)						
	0	1	2	3	4	5	6
Control	-434	-444	-540	-496	-536	-688	-659
5% Cl ⁻	-937	-915	-1085	-999	-870	-1026	-1084
10% Cl ⁻	-1046	-1094	-928	-831	-757	-811	-700
15% Cl ⁻	-1060	-960	-1161	-1110	-875	-818	-713

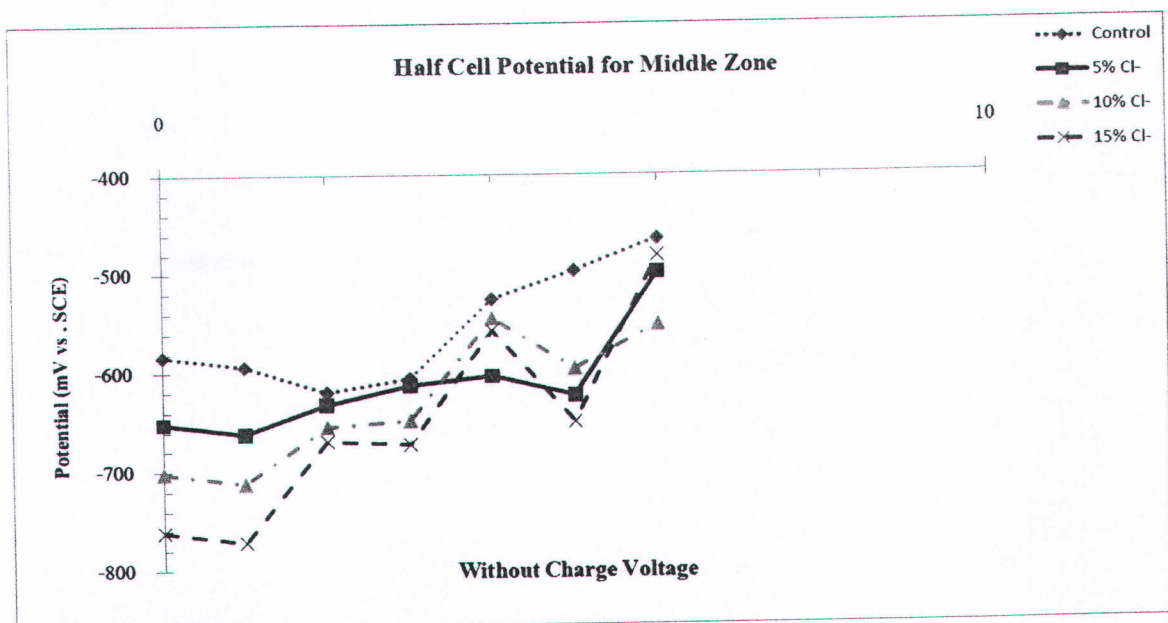


จากผลการทดสอบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กตามตารางที่ 6-1 ถึง 6-12 ของคอนกรีตที่ใช้กระแสไฟฟ้าและไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในแผ่นคานคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตที่มีคลอไรด์เป็นส่วนผสมที่ร้อยละ 5% 10% และ 15% ตามลำดับที่อายุของคอนกรีต 0 1 2 4 5 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ โดยทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งเดียวกันทุกครั้งทั้งบริเวณจุดมุมของเหล็กเสริมและบริเวณตรงกลางของเหล็กเสริม พบว่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ทุกตัวอย่างที่วัดค่าได้มีค่าติดลบสูงมากกว่า -350 mV ที่ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ 3 สัปดาห์ ทุกตัวอย่างมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันแสดงให้เห็นว่าเหล็กเสริมมีความน่าจะเป็นที่จะมีโอกาสเกิดสนิมสูงถึง 90% อ้างอิงจากตารางที่ 6-1 ดังแสดงในภาพที่ 6-1 ถึง 6-4 เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการบ่มของแผ่นคานของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นแนวโน้มของค่าศักย์ไฟฟ้าไม่แปรผันไปตามระยะเวลาและเมื่อพิจารณาถึงแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เร่งการเกิดสนิมด้วยกระแสไฟฟ้ามีแนวโน้มการเกิดสนิมสูงกว่าตัวอย่างแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ได้เร่งด้วยกระแสไฟฟ้าเนื่องจากเหล็กเสริมที่เร่งด้วยกระแสไฟฟ้าสูญเสียอิเล็กตรอนมากกว่า และในกรณีของบริเวณตำแหน่งที่ทำการวัดค่าความต่างศักย์แตกต่างกันที่จุดตัดและตรงกลางของเหล็กเสริมให้ค่าความต่างศักย์ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน

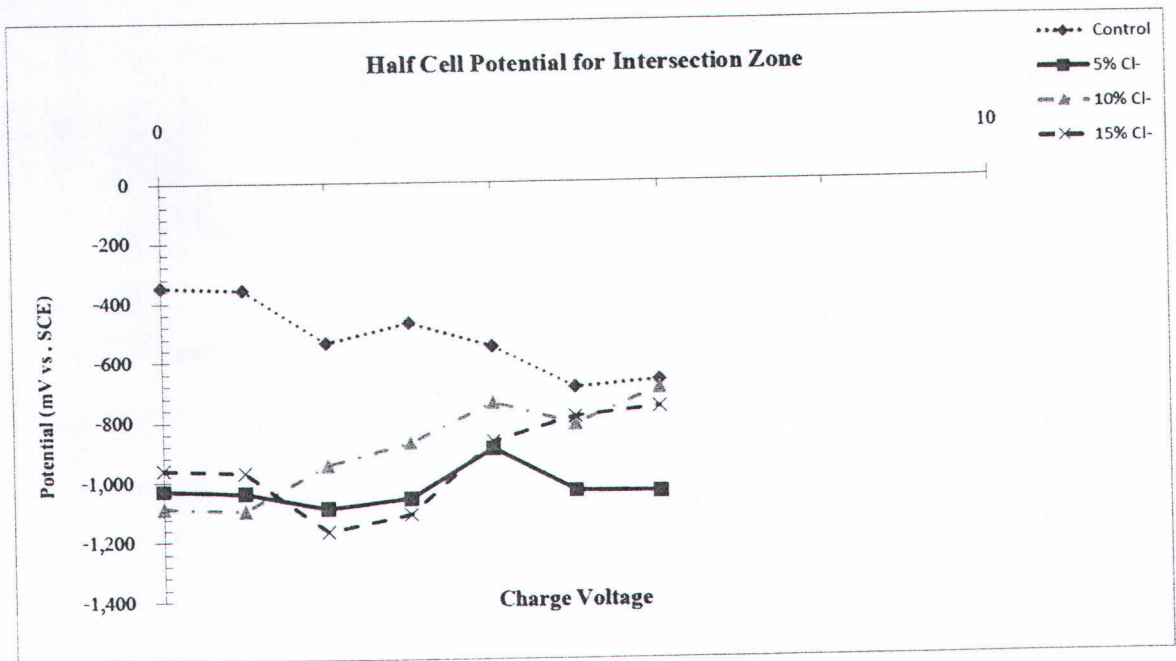
จากผลการทดสอบวัดค่าดังแสดงในภาพที่ 6-2 ถึง 6-5 เมื่อเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมของตัวอย่างแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่ได้เร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริมของคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตที่มีส่วนผสมของคลอไรด์เมื่อวัดค่าศักย์ไฟฟ้าตรงบริเวณจุดตัดกันและตรงกลางของเหล็กเสริมพบว่า แผ่นคานคอนกรีตที่มีเปอร์เซ็นต์ของคลอไรด์ในส่วนผสมที่มีค่าสูงจะมีแนวโน้มของการเกิดสนิมสูงกว่าโดยไม่แปรผันไปตามเวลาทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากผลกระทบจากปัจจัยที่หลากหลายเช่น ปริมาณความชื้นที่ไม่เพียงพอมีผลทำให้คอนกรีตมีความต้านทานสูงค่าความต่างศักย์จะต่ำ ความหนาของคอนกรีต คานผิวของคอนกรีตมีความต้านทานสูงมีผลทำให้ค่าความต่างศักย์ตรงจุดนั้นมีค่าต่ำ บริเวณผิวโดยรอบเหล็กเสริมที่เกิดสนิมจะมีความต้านทานสูงจะมีผลกระทบต่อค่าความต่างศักย์ที่ทำการวัดค่าในขณะนั้น สาเหตุทั้งหมดดังที่กล่าวมานี้มีผลต่อการตัดสินใจในการประเมินการเสื่อมสภาพของโครงสร้าง



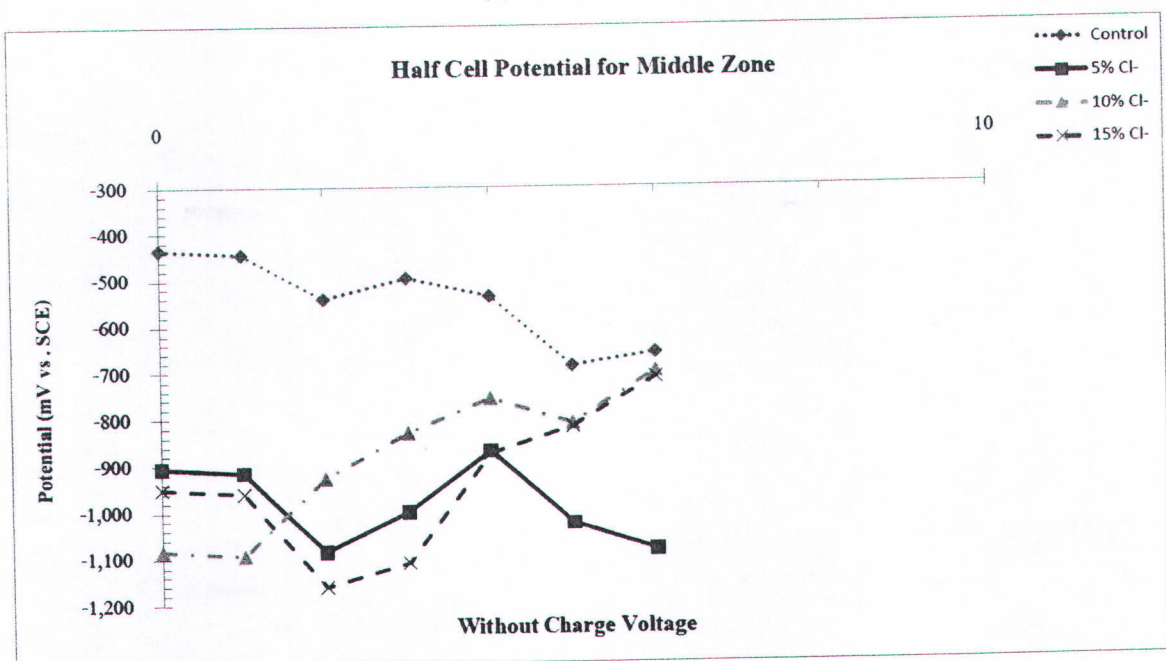
ภาพที่ 6-1 ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมของเหล็กในแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่เร่งการเกิดสนิมบริเวณตำแหน่งจุดมุมของเหล็กเสริม โดยวิธีการของ Half-Cell Potential



ภาพที่ 6-2 ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมของเหล็กในแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่เร่งการเกิดสนิมบริเวณตำแหน่งตรงกลางของเหล็กเสริม โดยวิธีการของ Half-Cell Potential



ภาพที่ 6-3 ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมของเหล็กในแผ่นคานคอนกรีตที่ใช้
กระแสไฟฟ้าแรงการเกิดสนิมบริเวณตำแหน่งจุดมุมของเหล็กเสริมโดยวิธีการของ
Half-Cell Potential



ภาพที่ 6-4 ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมของเหล็กในแผ่นคานคอนกรีตที่ใช้
กระแสไฟฟ้าแรงการเกิดสนิมบริเวณตำแหน่งจุดมุมของเหล็กเสริมโดยวิธีการของ
Half-Cell Potential

6.2 ค่าความต้านทานโพลาไรซ์เชิงเส้น (R_p)

หลักการของเทคนิคความต้านทานโพลาไรซ์เป็นวิธีการสำหรับใช้หาค่าอัตราการเกิดสนิม (Corrosion rate) ของเหล็กเสริมสอดคล้องตามมาตรฐาน ASTM G-59 เป็นวิธีการหาค่ากระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิมเพื่อนำเอาไปคำนวณหาอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีต ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการของ Linear polarization resistance (LPR) เป็นหลักการของ Potentiostatically ทำได้โดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงทำให้ศักย์ไฟฟ้า (ΔE) เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งแปรผันไปตามค่าของกระแสไฟฟ้า (ΔI) ซึ่งค่าเหล่านี้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (ΔE) และการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า (ΔI) ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่าง $\Delta E/\Delta I$ เรียกว่าความต้านทานโพลาไรซ์ (R_p) มีหน่วยเป็นโอห์มพื้นที่ (ohms.cm^2)

จากการผลการทดสอบค่าที่คำนวณได้ของค่าความต้านทานโพลาไรซ์เชิงเส้น (R_p) ดังแสดงในตารางที่ 6-5 ถึง 6-9 เมื่อพิจารณาความต้านทานโพลาไรซ์ ในกรณีไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิม และวัดค่าความต้านทานที่บริเวณจุดตัดกันและบริเวณตรงกลางของเหล็กเสริมดังแสดงตามภาพที่ 6-5 ถึง 6-8 เมื่อพิจารณาตัวอย่างคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตที่มีเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นพบว่าค่าความต้านทานโพลาไรซ์มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ทั้งบริเวณตำแหน่งจุดตัดกันและตรงกลางเหล็กเสริมโดยที่คอนกรีตควบคุมจะให้ค่าความต้านทานโพลาไรซ์ที่สูงกว่าทุกตัวอย่าง ทั้งนี้ไม่แปรผันไปตามระยะเวลาที่ทำการทดสอบวัดค่า และเมื่อพิจารณาในกรณีใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมตามพบว่าให้ค่าความต้านทานโพลาไรซ์มีแนวโน้มสอดคล้องกันแต่ค่าความต้านทานโพลาไรซ์มีแนวโน้มให้ค่าที่ต่ำกว่าประมาณ 2 อันดับขนาด ทั้งนี้มีข้อสังเกต ถ้าหากควบคุมการจ่ายศักย์ไฟฟ้าของการเกิดสนิม (E_{corr}) ไม่อยู่ในช่วง 10 – 30 mV จะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิม (i_{corr}) ที่อ่านค่าได้ทำให้เกิดการผิดพลาดในการคำนวณค่า (R_p) ซึ่งจะส่งผลให้ค่าเกิดการผิดพลาดทำให้ค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมตรงจุดนั้นคลาดเคลื่อนและการประเมินตรวจสอบ โครงสร้างจะไม่น่าเชื่อถือ

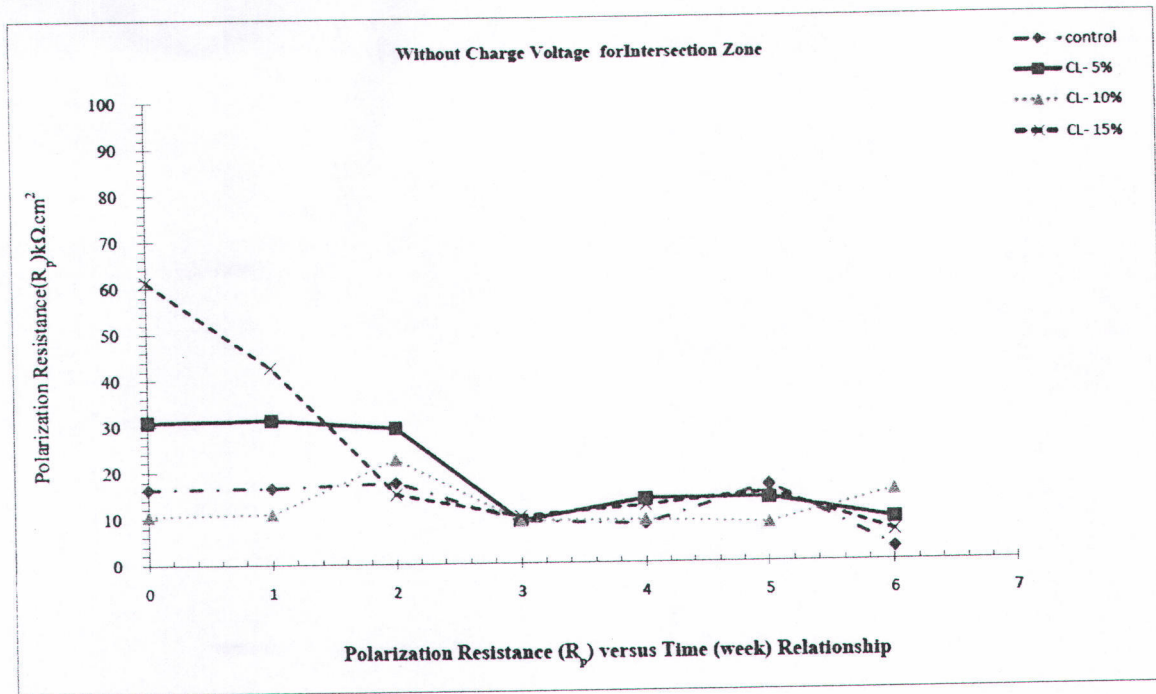


ตารางที่ 6-6 ค่าความต้านทานโพลาไรซ์เชิงเสถียร (R_p) ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพ
สิ่งแวดล้อมทะเล

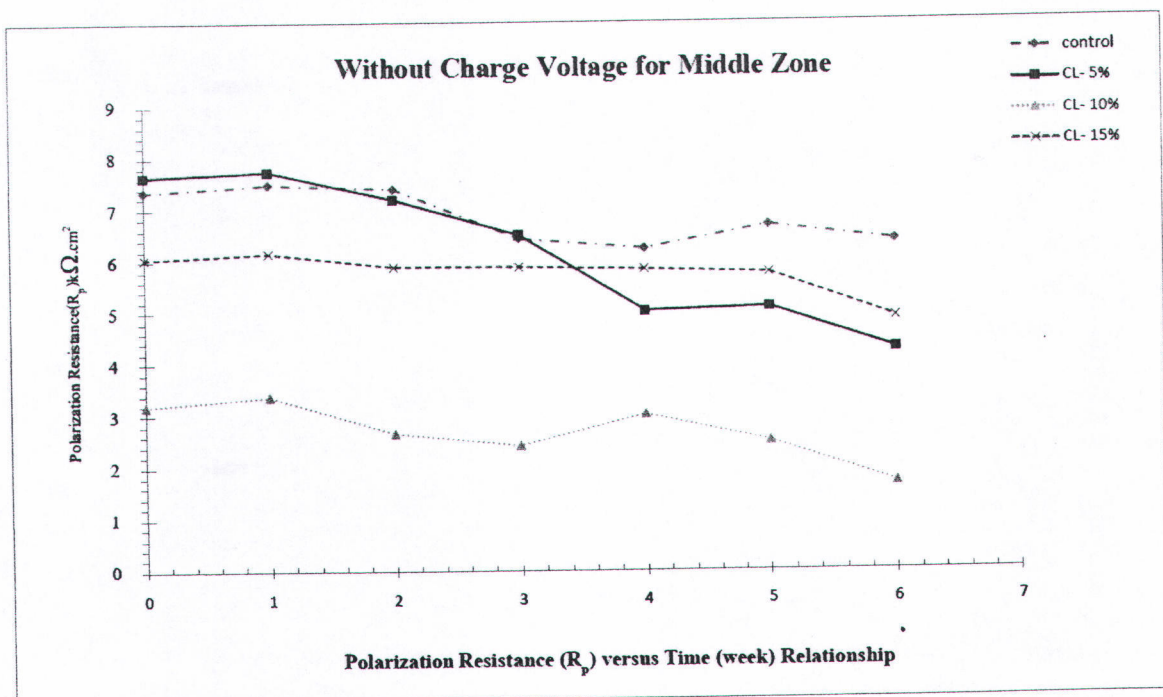
ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม								
เวลา (สัปดาห์)	ค่า R_p บริเวณจุดมุมของเหล็กเสริม ($K.\Omega.cm^2$)				ค่าของ R_p บริเวณตรงกลางเหล็กเสริม ($K.\Omega.cm^2$)			
	Control	1% Cl^-	10% Cl^-	15% Cl^-	Control	5% Cl^-	10% Cl^-	15% Cl^-
0	16.3	30.09	10.55	61.3	7.35	7.65	3.2	6.05
1	16.56	31.35	10.91	42.80	7.50	7.75	3.38	6.16
2	17.6	29.48	22.59	15.05	7.41	7.20	2.67	5.89
3	9.14	9.20	9.30	10.16	6.43	6.5	2.43	5.88
4	8.28	13.80	9.20	12.31	6.23	5.02	3.02	5.83
5	6.56	13.80	8.35	15.05	6.67	5.09	2.50	5.75
6	2.76	9.11	15.16	6.41	6.37	4.28	1.69	4.88

ตารางที่ 6-7 ค่าความต้านทานโพลาไรซ์เชิงเสถียร (R_p) ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพ
สิ่งแวดล้อมทะเล

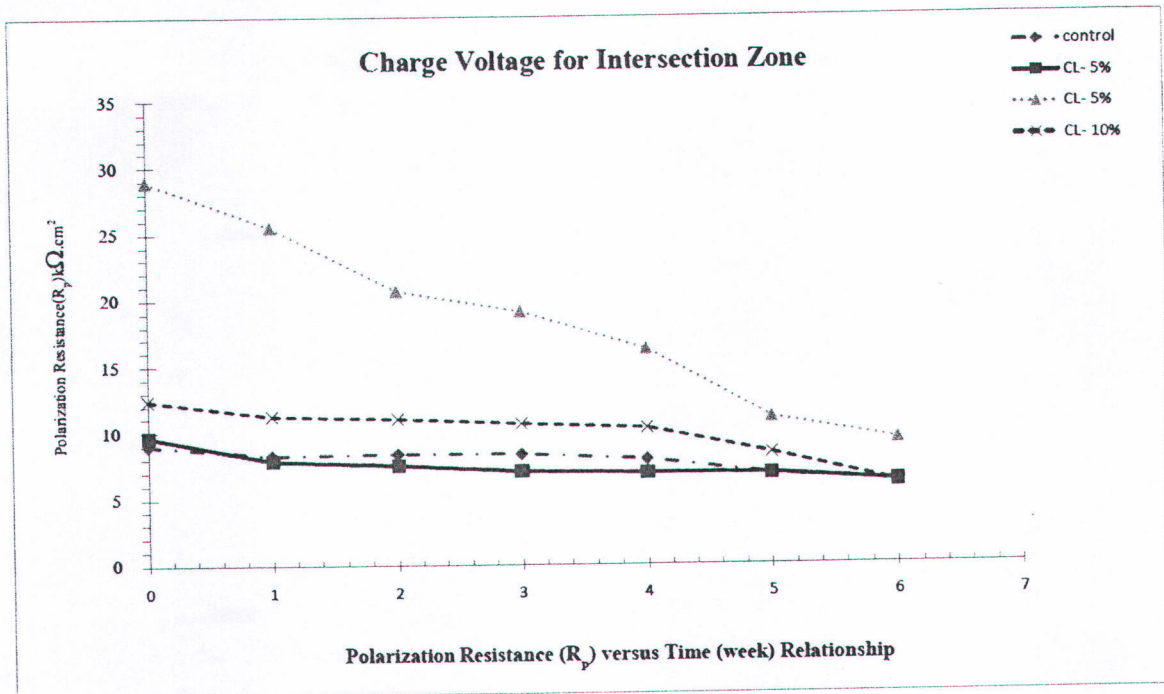
ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม								
เวลา (สัปดาห์)	ค่า R_p บริเวณจุดมุมของเหล็กเสริม ($K.\Omega.cm^2$)				ค่าของ R_p บริเวณตรงกลางเหล็กเสริม ($K.\Omega.cm^2$)			
	Control	5% Cl^-	10% Cl^-	15% Cl^-	Control	5% Cl^-	10% Cl^-	15% Cl^-
0	9.02	9.66	28.96	12.42	7.82	9.10	38.57	13.85
1	8.28	7.87	25.52	11.26	6.43	8.6	27.06	9.50
2	8.4	7.53	20.7	11.04	5.74	8.10	36.57	7.2
3	8.35	7.05	19.12	10.65	5.57	7.52	26.79	6.3
4	7.91	6.9	16.25	10.28	4.43	6.8	14.29	5.50
5	6.80	6.83	11.04	8.35	3.5	6.03	14.09	3.21
6	6.28	6.2	9.36	6.12	2.20	5.50	9.00	2.79



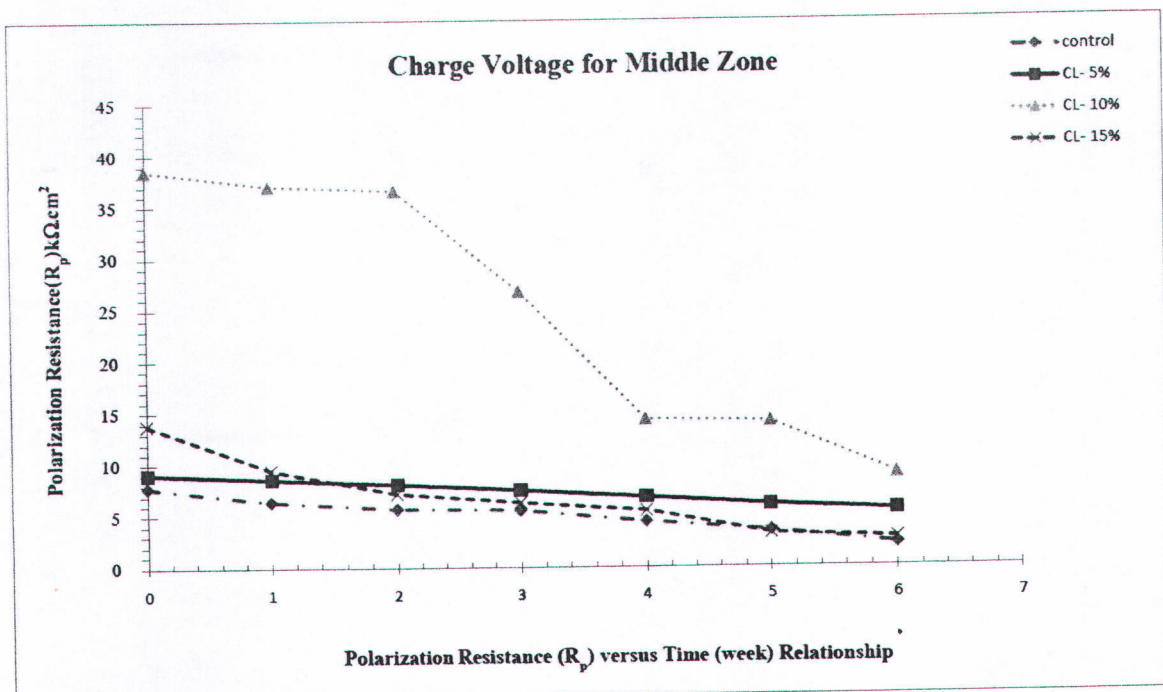
ภาพที่ 6-5 ความสัมพันธ์ของความต้านทานโพลาไรซ์ของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าตรงตำแหน่งมุมของเหล็กเสริม โดยวิธีการ LPR



ภาพที่ 6-6 ความสัมพันธ์ของความต้านทานโพลาไรซ์ของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าตำแหน่งตรงกลางของเหล็กเสริม โดยวิธีการของ LPR



ภาพที่ 6-7 ความสัมพันธ์ของความต้านทานโพลาไรซ์ขั้นของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าบริเวณตำแหน่งจุดมุมของเหล็กเสริมโดยวิธีการของ LPR



ภาพที่ 6-8 ความสัมพันธ์ของความต้านทานโพลาไรซ์ขั้นของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าบริเวณตำแหน่งจุดตัดกันของเหล็กเสริมโดยวิธีการของ LPR

1. ค่าอัตราการเกิดสนิม (i_{corr}) ของเหล็กเสริม

เมื่ออัตราการเกิดสนิมแสดงอยู่ในรูปความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าซึ่งการเกิดสนิมซึ่งแปรผันโดยตรงกับความต้านทานโพลาไรซ์ขั้น (R_p) (ASTM G59) แสดงไว้ดังสมการ

$$I_{\text{corr}} = \frac{B}{R_p} \quad (6-1)$$

และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการเกิดสนิม (i_{corr}) หาได้จากกานที่ของเหล็กเสริมตรงบริเวณที่วัดค่าซึ่งคำนวณได้ตามสมการ

$$i_{\text{corr}} = \frac{I_{\text{corr}}}{A} \quad (6-2)$$

จากผลการทดสอบค่าอัตราการเกิดสนิมของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์โดยนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการเกิดสนิมตามตารางที่ 6-8 โดยมีเงื่อนไขขอบเขตการวิจัยของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กถูกจำลองให้อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเลได้ถูกกำหนดให้มีส่วนผสมของปริมาณคลอไรด์ร้อยละ 0% 5% 3% และ 15% ของน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ ตัวอย่างแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกกำหนดให้เร่งการเกิดสนิมด้วยวิธีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 8 โวลต์และชุดที่สองกำหนดให้ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าสำหรับวิธีการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากำหนดให้วัดค่าบริเวณจุดตัดของเหล็กเสริมและบริเวณตรงกลางของเหล็กเสริมซึ่งเป็นเหล็กเสริมท่อนเดียวกัน

ตารางที่ 6-8 กระแสไฟฟ้าการเกิดสนิม เปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

อัตราการเกิดสนิม (I_{corr})	เงื่อนไขสถานะของเหล็กเสริม
$I_{\text{corr}} < 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	สถานะยังไม่เกิดสนิม
$I_{\text{corr}} 0.1-0.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	อัตราการเกิดสนิมต่ำถึงปานกลาง
$I_{\text{corr}} 0.5-1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	อัตราการเกิดสนิมปานกลางถึงสูง
$I_{\text{corr}} > 1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	อัตราการเกิดสนิมสูง

ที่มา : (C.Andrade, M.C.Alonso. et al,1990)

จากผลการทดสอบที่คำนวณหาอัตราการเกิดสนิมของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้เงื่อนไขตัวอย่างอยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเลโดยการแปรผันส่วนผสมของปริมาณคลอไรด์ของตัวอย่างสรุปได้ตามตารางที่ 6-8 ถึง 6-12



ตารางที่ 6-9 ค่าอัตราการเกิดสนิม (i_{corr}) ของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม								
เวลา (สัปดาห์)	ค่า i_{corr} บริเวณจุดมุมของเหล็กเสริม ($\mu A/cm^2$)				ค่าของ i_{corr} บริเวณตรงกลางเหล็กเสริม ($\mu A/cm^2$)			
	Control	5% Cl^-	3% Cl^-	15% Cl^-	Control	5% Cl^-	3% Cl^-	15% Cl^-
0	1.46	0.81	2.22	0.28	3.33	3.27	7.5	4.22
1	1.57	0.83	2.38	0.31	3.47	3.35	7.70	4.22
2	1.35	0.88	2.65	1.73	3.89	3.61	7.87	4.41
3	1.46	1.83	2.83	2.56	4.04	5.78	10.69	4.33
4	1.14	1.88	2.83	2.85	4.89	6.33	10.73	3.32
5	1.57	1.88	2.51	2.73	5.90	6.36	11.78	6.93
6	2.42	2.85	3.58	4.06	6.55	7.26	11.32	7.64

ตารางที่ 6-10 ค่าอัตราการเกิดสนิม (i_{corr}) ของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพสิ่งแวดล้อมทะเล

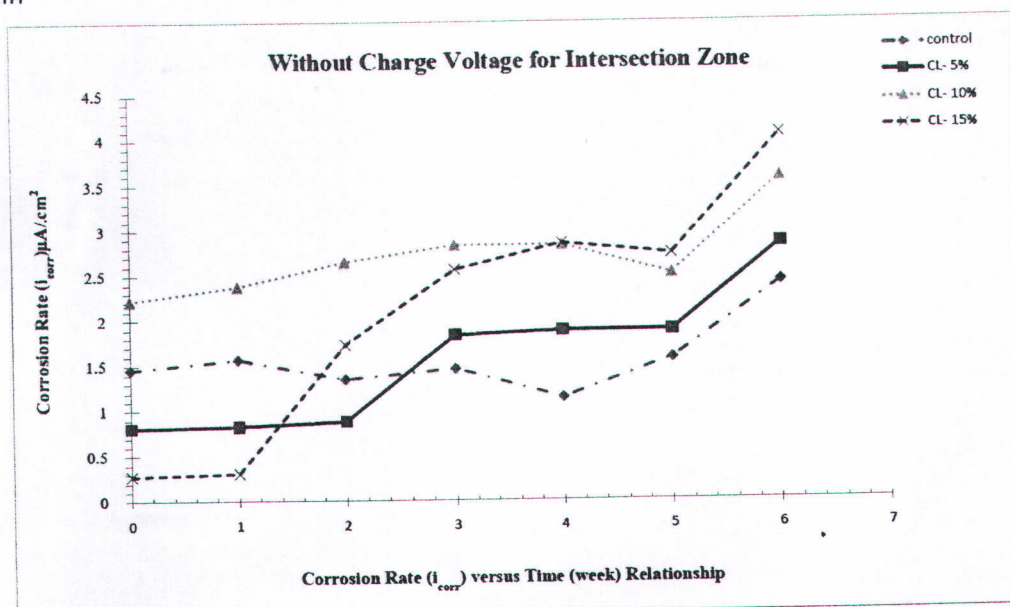
ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมของเหล็กเสริม								
เวลา (สัปดาห์)	ค่า i_{corr} บริเวณจุดมุมของเหล็กเสริม ($\mu A/cm^2$)				ค่าของ i_{corr} บริเวณตรงกลางเหล็กเสริม ($\mu A/cm^2$)			
	Control	5% Cl^-	10% Cl^-	15% Cl^-	Control	5% Cl^-	10% Cl^-	15% Cl^-
0	1.32	1.69	2.67	1.69	2.39	1.21	1.67	1.88
1	2.14	2.31	2.71	1.71	3.04	2.22	1.85	2.78
2	2.03	3.25	3.25	2.36	53.49	3.21	2.67	3.33
3	2.90	3.73	3.79	2.77	4.03	6.79	3.83	3.08
4	3.40	3.67	4.16	3.14	4.69	6.67	3.07	4.47
5	3.31	4.20	5.25	3.11	4.43	7.80	3.02	4.09
6	4.14	4.47	5.53	3.79	5.84	8.83	4.89	6.89

จากผลการทดสอบวัดค่าจากตัวอย่างแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กทั้ง 24 ตัวอย่างที่สภาวะแตกต่างกันและคำนวณได้ค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมพบว่าค่าอัตราการเกิดสนิมมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าของความต้านทานโพลาไรซ์ขั้นเชิงเส้นและจากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพสิ่งแวดล้อมของตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันพบว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุมให้ค่าอัตราการเกิดสนิมต่ำที่สุดมีค่าทุก

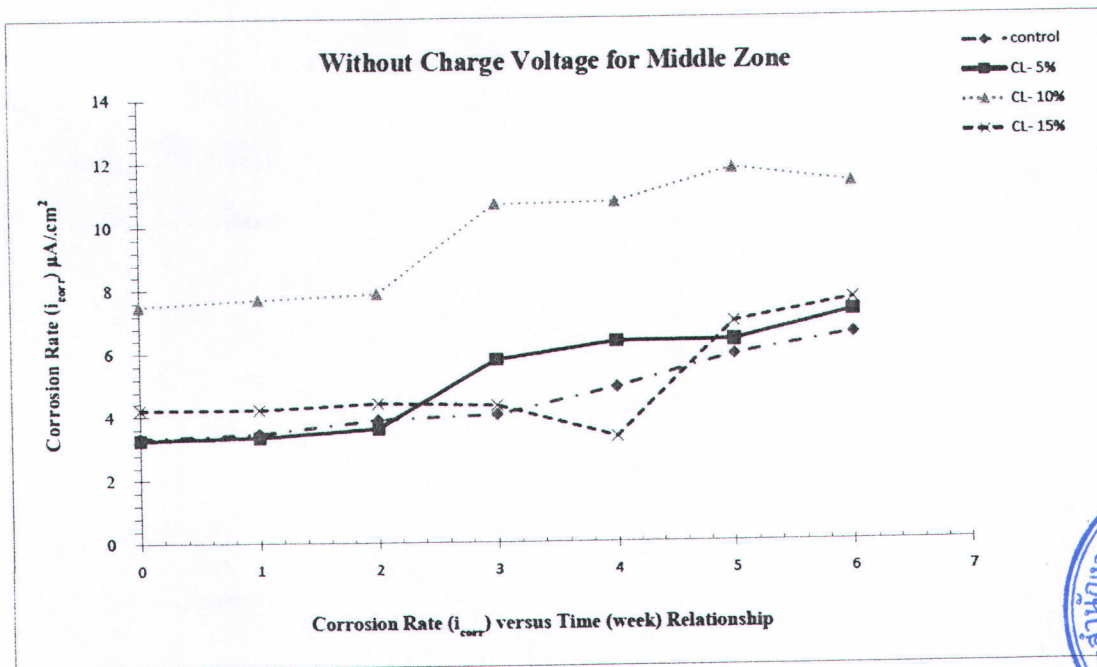


ระยะเวลามีค่าอยู่ในช่วง $0.5-1.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($i_{\text{corr}} > 0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) เปรียบเทียบกับข้อมูลในตารางที่ 14.1 แสดงให้เห็นว่า เหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมที่ระดับน้อยจนถึงระดับปานกลางโดยที่เหล็กเสริมเริ่มเกิดสนิมที่ระยะเวลา 1 สัปดาห์แต่ไม่ได้แปรผันไปตามระยะเวลา เมื่อพิจารณาค่าอัตราการเกิดสนิมพบว่าตัวอย่างแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเปอร์เซ็นต์คลอไรด์ผสมอยู่มากให้ผลของแนวโน้มการเกิดสนิมมากกว่าทุกกรณีในขณะที่ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมจะให้ค่าอัตราการเกิดสนิมที่มากกว่าอยู่ในช่วง $1-6 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($i_{\text{corr}} > 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมสูงมาก

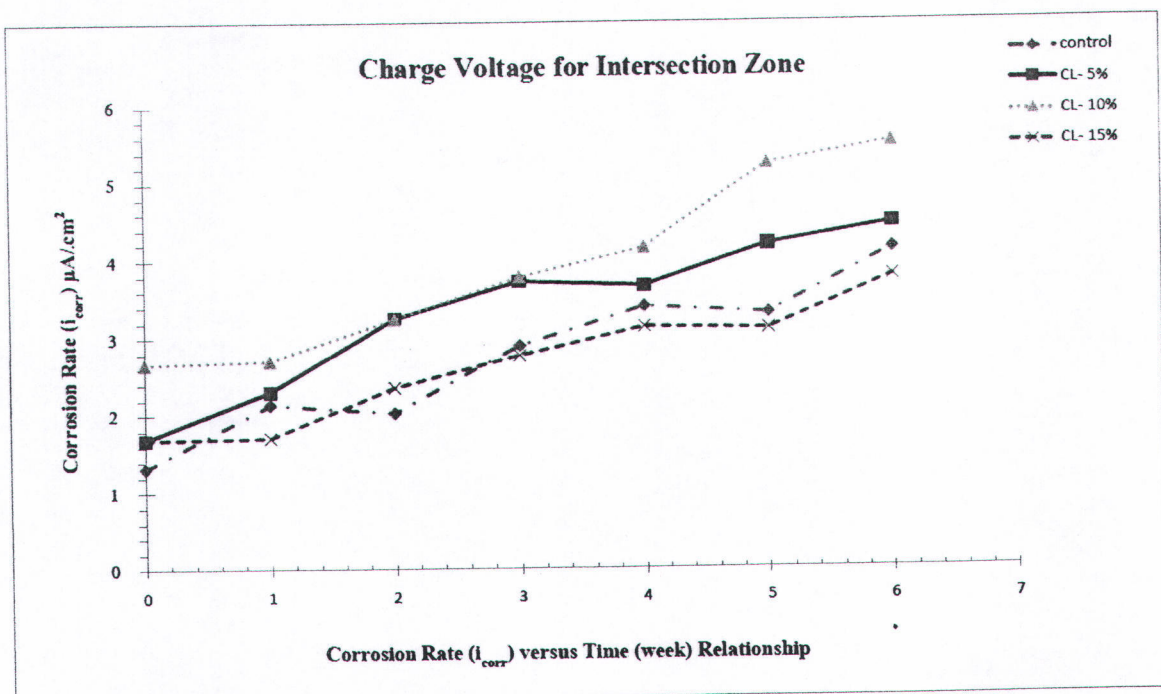
อย่างไรก็ตามค่าอัตราการเกิดสนิมที่คำนวณได้มีค่าไม่สม่ำเสมอเนื่องจากปัจจัยที่หลากหลาย ดังเช่น สภาพแวดล้อมในขณะทดสอบจะมีผลต่อการบันทึกค่าเช่น ปริมาณความชื้นในคอนกรีต อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน และเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าเช่น เครื่องที่ใช้วัดค่าต้องมีความละเอียดสูงมาก ในระดับนาโน เพราะค่าความต้านทานของคอนกรีตและเหล็กเสริมมีค่าต่ำมากการวัดค่าแต่ละครั้งต้องวัดทีเดียวทั้งระบบซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสื่อ Probe เพื่อส่งสัญญาณผ่านคอนกรีต ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าการไหลของกระแสไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าไปยังคานผิวเหล็กเสริมซึ่งเป็นการส่งสัญญาณในลักษณะที่ไม่มีการจำกัดขอบเขตของกระแสไฟฟ้าให้อยู่ภายใต้ขั้วไฟฟ้าส่งผลให้กระแสไฟฟ้าแพร่กระจายเกินออกไปทางด้านข้างซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ทราบ โดยเฉพาะเหล็กเสริมที่มีคานที่ขนาดกว้างมาก (S. Feliu, J.A. Gonzalez, C. Andrade., et al., 1988) เป็นเหตุให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องเพราะว่าพื้นผิวของเหล็กเสริมบริเวณที่โพลาไรซ์ (Polarized) ไม่ถูกต้องซึ่งทำให้การคำนวณค่าความหนาแน่นเกิดการผิดพลาด



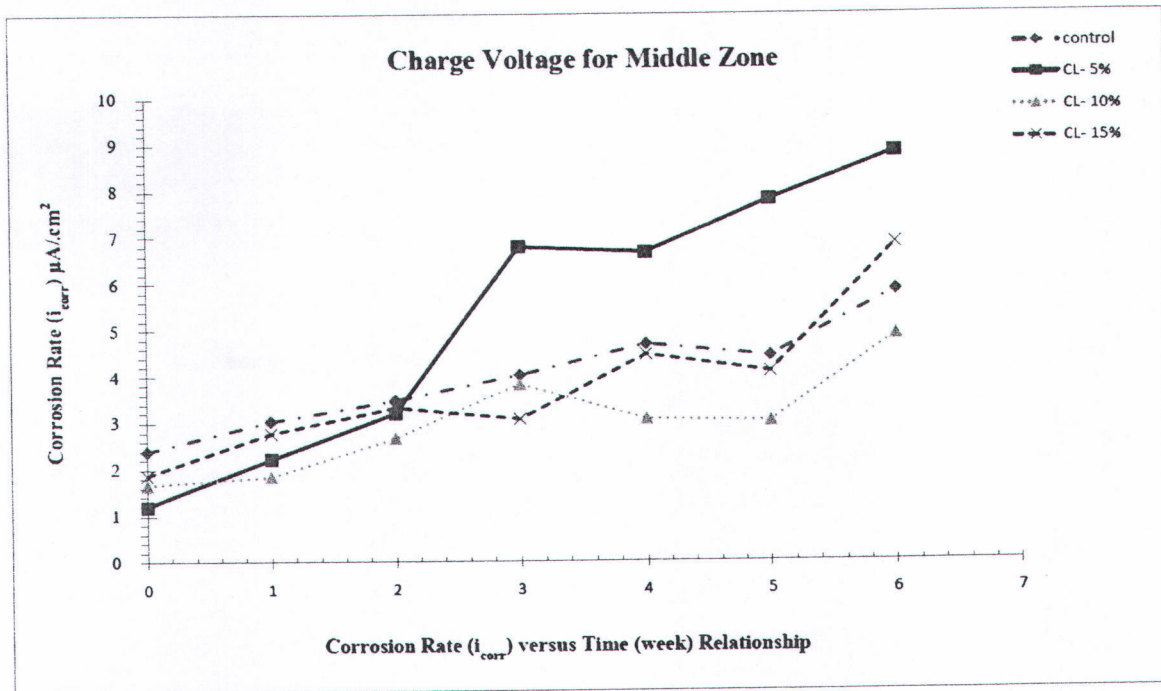
ภาพที่ 6-9 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าบริเวณตำแหน่งจุดมุมของเหล็กเสริมโดยวิธีการของ LPR



ภาพที่ 6-10 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ไม่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าบริเวณตำแหน่งตรงกลางของเหล็กเสริม โดยวิธีการของ LPR



ภาพที่ 6-11 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าบริเวณตำแหน่งจุดมุมของเหล็กเสริม โดยวิธีการของ LPR



ภาพที่ 6-12 ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริมที่ฝังอยู่ในแผ่นคานคอนกรีตที่ใช้กระแสไฟฟ้าเร่งการเกิดสนิมวัดค่าบริเวณตำแหน่งตรงกลางของเหล็กเสริมโดยวิธีการของ LPR

6.3 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบและศึกษาการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในแผ่นคานคอนกรีตที่อยู่ในสภาพการจำลองสิ่งแวดล้อมทะเลโดยการวิจัยในครั้งนี้ได้พัฒนาสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจสอบและวัดค่าคือ Half-Cell Potential สำหรับการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าการเกิดสนิมของเหล็กเสริม และเครื่องมือ 3LP device ใช้วิธีการของ LPR ที่ได้สร้างขึ้นเพื่อหาค่าความต้านทานโพลาไรซ์เชิงเส้น (R_p) และค่าอัตราการเกิดสนิมของเหล็กเสริม (i_{cor}) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์ของคลอไรด์มากกว่าจะมีโอกาสเกิดที่เหล็กเสริมเกิดสนิมมากกว่าโครงสร้างคอนกรีตที่มีคลอไรด์ปนเปื้อนอยู่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาด้วยเงื่อนไขที่เร่งการเกิดสนิมด้วยกระแสไฟฟ้าก็จะทำให้ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีค่าติดลบสูงมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ได้มีการเร่งด้วยกระแสไฟฟ้า อย่างไรก็ตามค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสามารถบอกความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมในเหล็กเสริมแต่ไม่ได้บอกสถานะในปัจจุบันว่ามีสนิมมากน้อยเพียงใดค่าที่วัดได้เป็นค่าที่สรุปในลักษณะแนวโน้มของการเกิดสนิม ซึ่งอาจเป็นค่าของการเกิดสนิมที่ไม่แท้จริงเนื่องจากอาจมีผลกระทบต่อการปัจจัยที่หลากหลาย เช่น สภาพความชื้นของคอนกรีตในขณะการทดสอบ ต้องควบคุมอย่างประณีตให้มีความสม่ำเสมอ และผิวของโครงสร้างคอนกรีตและความหนาของ

คอนกรีตที่มีความต้านทานสูงจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวคอนกรีตต่ำซึ่งมีผลทำให้การประเมินแนวโน้มของการเกิดสนิมมีความผิดพลาด หลังจากได้ทำการสร้างเครื่องมือวัดค่าโพลาไรซ์แล้วพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับการวัดแบบครึ่งเซลล์มาตรฐาน ผลที่ได้เป็นไปในทางเดียวกัน และสามารถวัดค่าอัตราการกัดกร่อนสอดคล้องกันตามผลการทดลองโดยเมื่อนำค่าที่ค่าความต้านทานโพลาไรซ์เซชันที่วัดจากแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กมาพิจารณาค่าความต้านทานโพลาไรซ์ของแผ่นคานคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่าค่าของความต้านทานโพลาไรซ์ที่มีค่าสอดคล้องกับระยะเวลาและอัตราการเกิดสนิมเหล็กตามสภาวะจำลอง

6.4 ข้อเสนอแนะ

6.4.1 การวัดค่าโพลาไรซ์เซชันยังอยู่ในสภาวะการจำลองการกัดกร่อน และโปรแกรมที่สร้างขึ้นยังต้องมีการปรับแก้ให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกมากขึ้น

6.4.2 ในการใช้Probe วัดแบบโดยตรงกับคอนกรีตนั้นยังมีความผิดพลาดเนื่องจากสภาวะแวดล้อมอื่น ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาตัวตรวจจับในลักษณะอื่นๆต่อไป

