

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

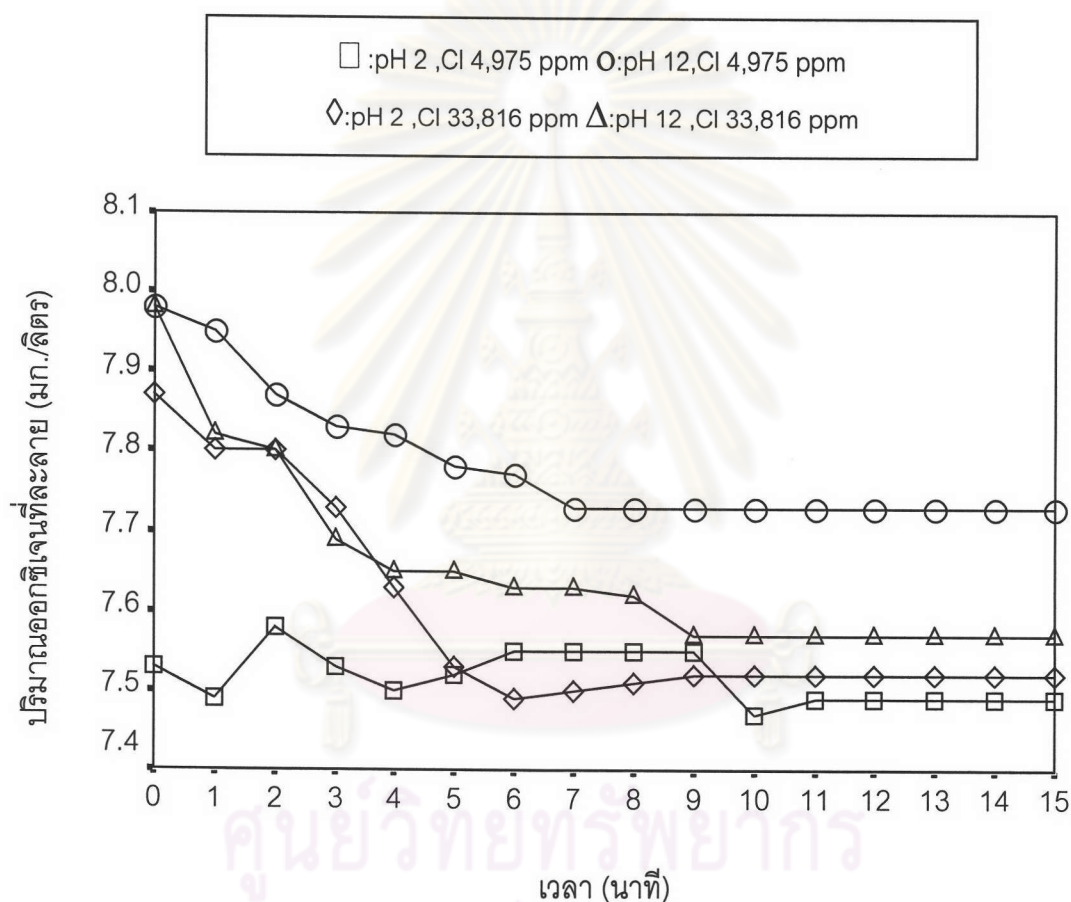
#### 4.1 การหาเวลาทำให้ออกซิเจนจากอากาศอิมตัวในสารละลาย

ผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายที่เวลาต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.1 และนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาผ่านอากาศและปริมาณออกซิเจนดังแสดง ในรูปที่ 4.1 พบว่าต้องใช้เวลาอย่างต่ำ 10 และ 12 นาที ฟันอากาศเข้าไปในสารละลายที่มีคลอไรด์ ความเข้มข้น 4,975 และ 33,816 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายที่อุณหภูมิ 25 °C ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 และ 33,816 พีพีเอ็ม

เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลาย (มิลลิกรัม / ลิตร)			
	ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม		ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม	
	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12
0	7.53	7.98	7.87	7.98
1	7.49	7.95	7.80	7.82
2	7.58	7.87	7.80	7.75
3	7.53	7.83	7.73	7.69
4	7.5	7.82	7.63	7.65
5	7.52	7.78	7.53	7.65
6	7.55	7.77	7.49	7.63
7	7.55	7.73	7.50	7.63
8	7.55	7.73	7.51	7.62
9	7.55	7.73	7.52	7.57
10	7.47	7.73	7.52	7.57
11	7.49	7.73	7.52	7.57
12	7.49	7.73	7.52	7.57

เวลาที่ใช้	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลาย (มิลลิกรัม / ลิตร)			
(นาที)	ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม		ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม	
	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12
13	7.49	7.73	7.52	7.57
14	7.49	7.73	7.52	7.57
15	7.49	7.73	7.52	7.57



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายกับเวลาที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 และ 33,816 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 25 °C

#### 4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับแช่ชิ้นงานก่อนการสแกน

ผลการวัดค่า  $E_{ocp}$  ที่แปรผันกับเวลาหลังจากจุ่มชิ้นงานในสารละลายที่มีคลอไรด์ความเข้มข้น 4,975 และ 33,816 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2 และ 12 แสดงดังตารางที่ 4.2 และนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_{ocp}$  กับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าค่า  $E_{ocp}$  มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง หลังจากแช่ชิ้นงานลงในสารละลาย ดังนั้นในการทดลองขั้นตอน

ไปถึงเริ่มสแกนหลังจากจุ่มชิ้นงานในสารละลาย 1 ชั่วโมง ซึ่งจะตรงกับมาตรฐาน ASTM G5-94

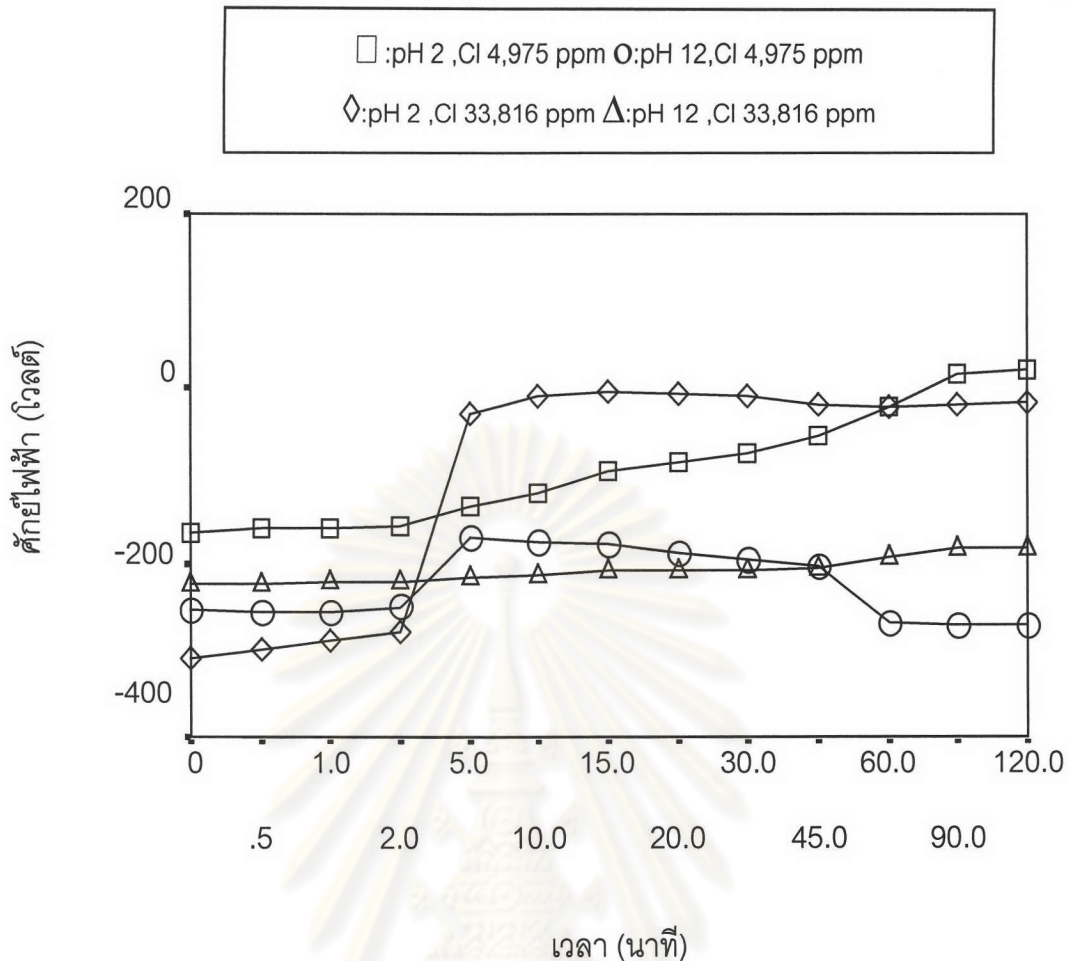
[22] และ ASTM G61-86 [23]

ตารางที่ 4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรถัด(Open Circuit Potential ;  $E_{ocp}$ ) ของชิ้นงานในสาร

ละลาย ณ เวลาต่างๆ ที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 และ 33,816

พีพีเอ็มที่อุณหภูมิ 25 °C

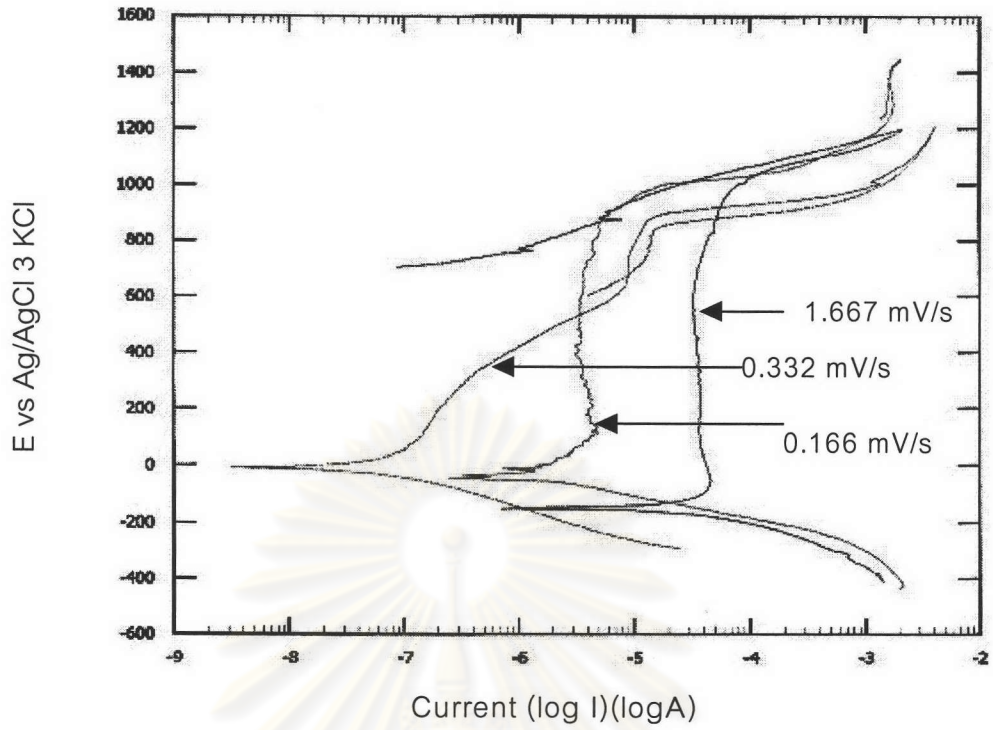
เวลาที่ใช้ (นาท)	ค่าศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)			
	ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม		ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม	
	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12
0	-165	-255	-310	-223
0.5	-160	-256	-300	-223
1	-160	-257	-290	-222
2	-159	-250	-280	-222
5	-135	-170	-30	-215
10	-120	-176	-10	-213
15	-95	-179	-5	-209
20	-85	-187	-6	-209
30	-75	-196	-10	-206
45	-55	-203	-20	-205
60	-22	-270	-22	-194
90	16	-272	-19	-184
120	20	-272	-17	-182



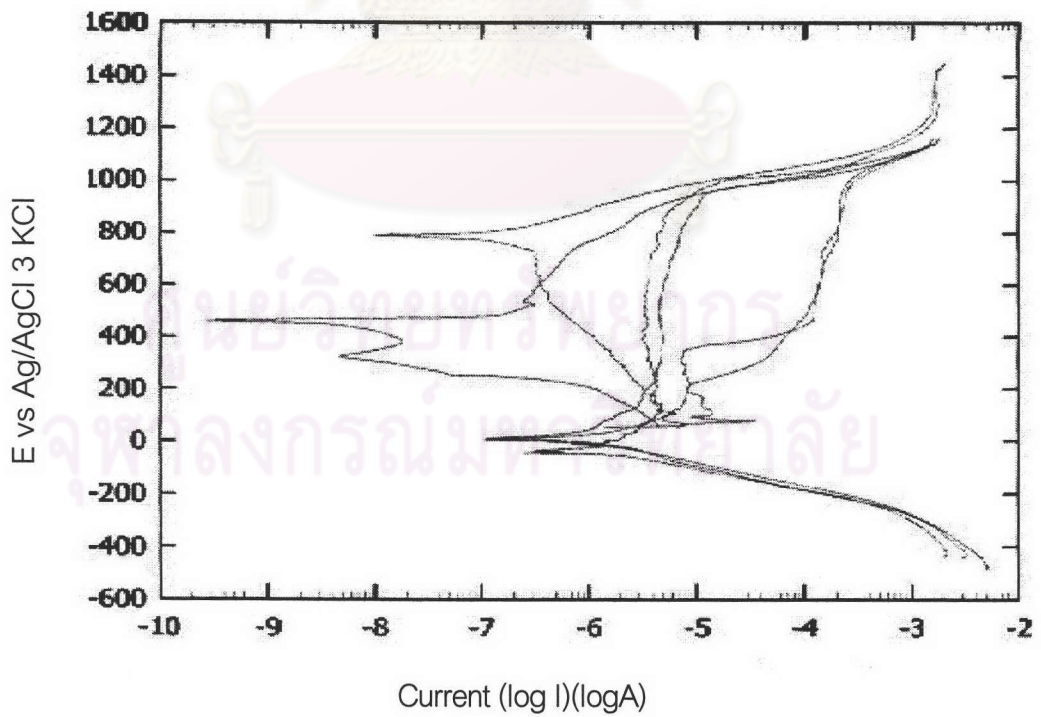
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าของชิ้นงานกับเวลาแช่ชิ้นงานในสารละลายที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 และ 33,816 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 25°C

#### 4.3 การหาอัตราการสแกนที่เหมาะสมในการหาเส้นโพลาริเซชัน

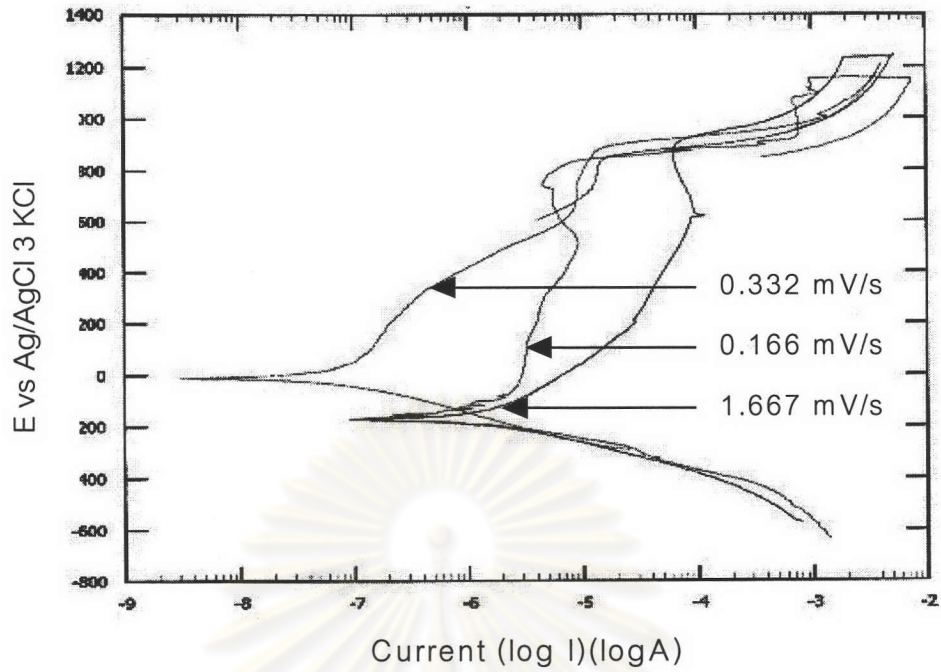
ผลการวัดเส้นโพลาริเซชันของตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายคลอไรด์ 4,975 และ 33,816 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด 2 และ 12 แสดงในรูปที่ 4.3 ถึง 4.10 พบว่าอัตราการสแกนที่เหมาะสมคือ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที อัตราการสแกนที่ต่ำกว่านี้จะให้ลักษณะเส้นโพลาริเซชันที่มีค่า  $E_{corr}$  เกือบจะเป็นจุดเดียวกัน การเพิ่มอัตราการสแกนมากกว่านี้จะทำให้เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมไม่คงที่ ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจึงกำหนดใช้ค่าอัตราการสแกนเพื่อวัดเส้นโพลาริเซชันของชิ้นงานคือ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ซึ่งอัตราการสแกนดังกล่าวต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM G5 ที่กำหนดอัตราการสแกน 0.6 โวลต์ต่อชั่วโมง



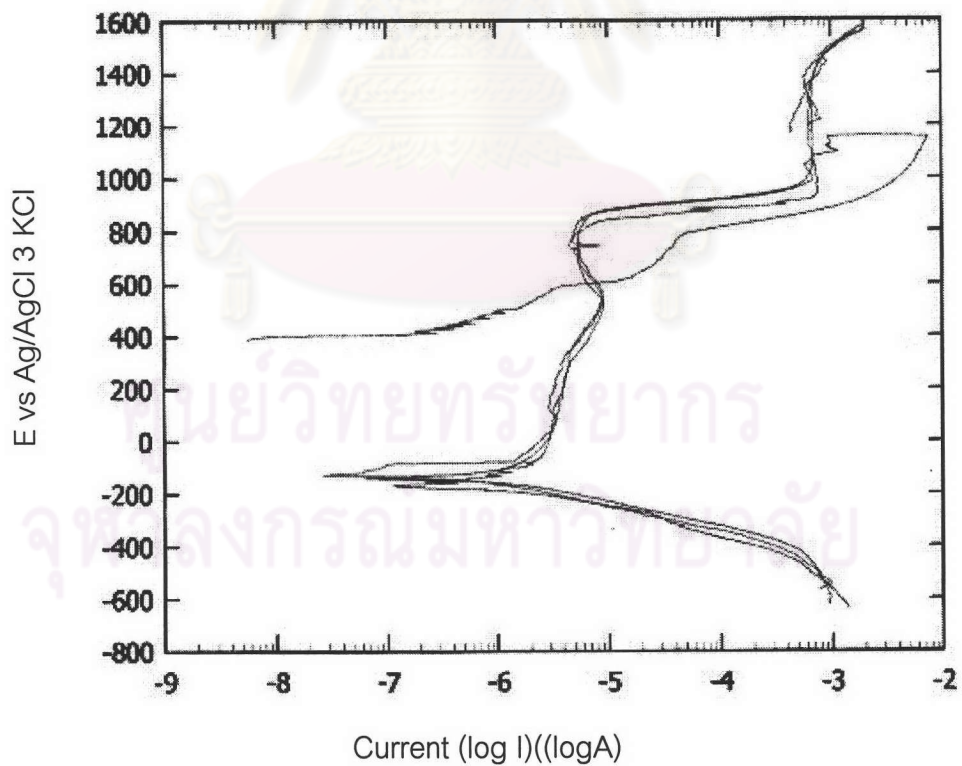
รูปที่ 4.3 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 1.667, 0.332 และ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



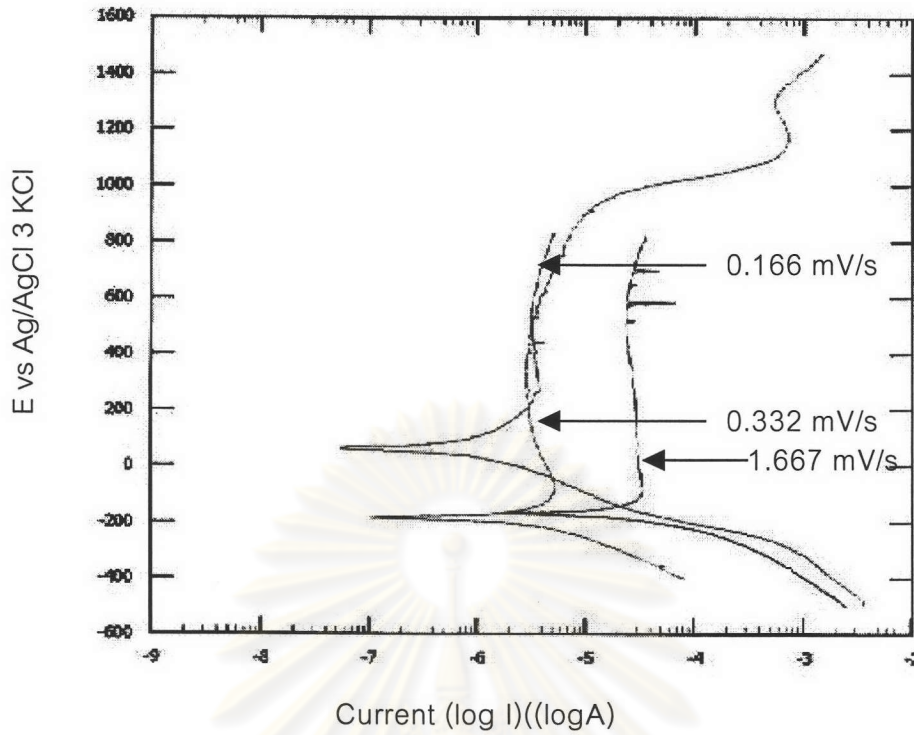
รูปที่ 4.4 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ที่ค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



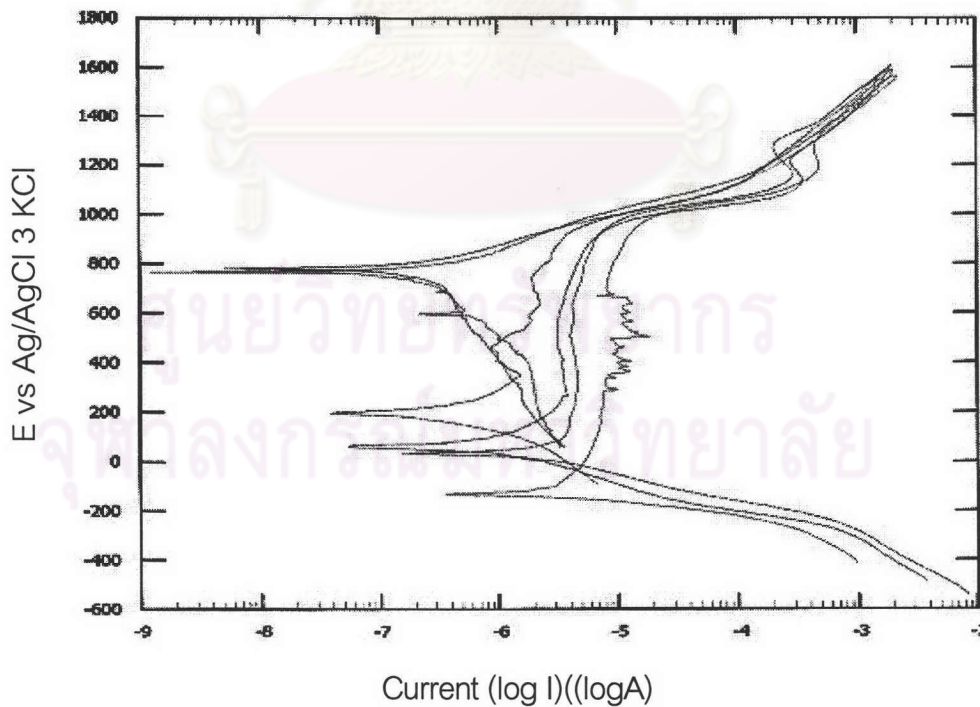
รูปที่ 4.5 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 1.667, 0.332, และ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



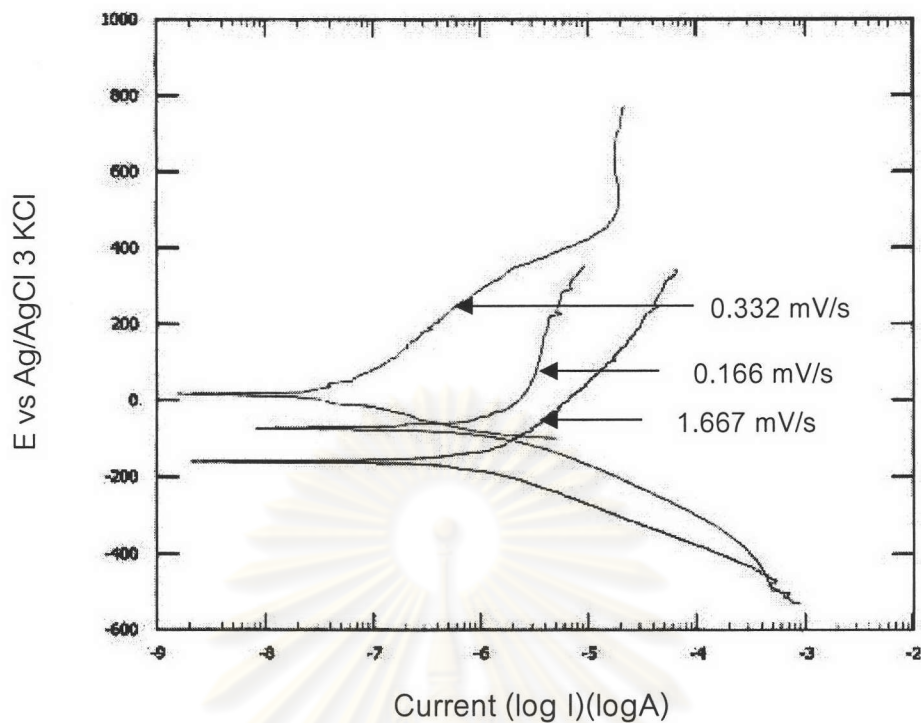
รูปที่ 4.6 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้งที่ค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



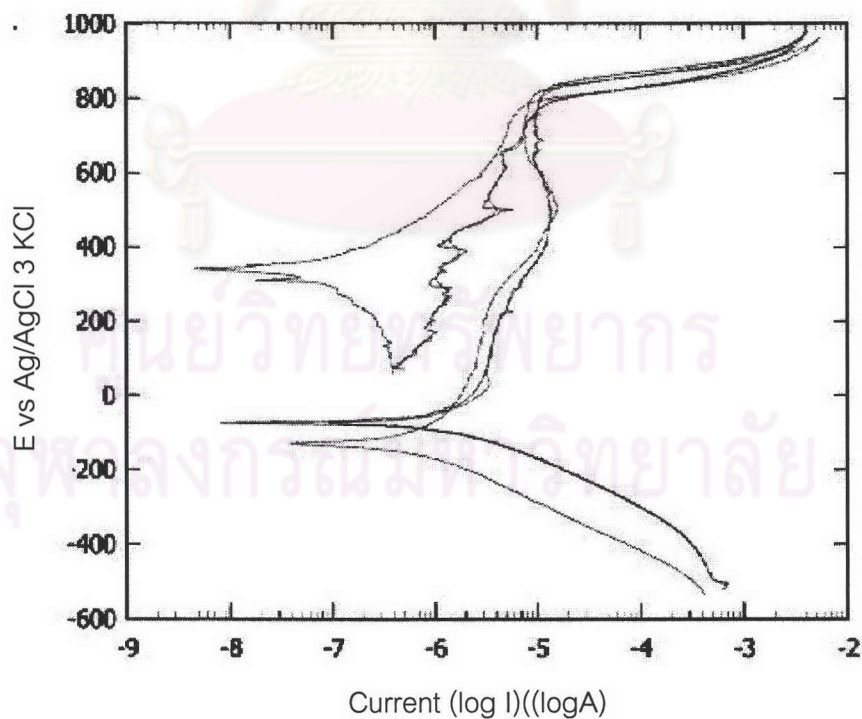
รูปที่ 4.7 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่มีค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตรา  
การสแกน 1.667, 0.332, และ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.8 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้งที่มีค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816  
พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.9 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่มีค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็มโดยใช้อัตราการสแกน 1.667, 0.332, และ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.10 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้งที่มีค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



#### 4.4 การหาเส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เพื่อนำไปสร้างแผนภูมิพอร์เบธ

ผลการวัดเส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายคลอไรด์ 4,975, 9,900, 19,607 และ 33,816 พีพีเอ็ม ค่าพีเอช ระหว่าง 2 - 12 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงอยู่ในภาคผนวก ง จากกราฟที่ได้จากการทดลอง โดยใช้เส้นโพลาริเซชันแต่ละเส้นนำมาหาค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  ซึ่งวิธีการหาค่าแสดงอยู่ในภาคผนวก จ ผลการหาค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  แสดงในตารางที่ 4.3 - 4.6 นำ  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  กับค่าพีเอชของสารละลายไปสร้างแผนภูมิพอร์เบธ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 - 4.14 ซึ่งจะเห็นว่าในแผนภูมิจะประกอบด้วยพื้นที่โลหะเสถียร การกัดกร่อนและพาสซีวิตี



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

ค่าพีเอช	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_t$	$E_{pr}$	$I_{pass}$
2	1	2	120	980	960	8.0E-05
	2	4	130	1,060	860	7.2E-05
	3	9	140	1,010	980	9.3E-05
	เฉลี่ย	5	130	1,016	933	8.2E-05
4	1	-72	100	1,230	1170	8.2E-05
	2	-40	100	1,250	1250	8.9E-05
	3	-96	100	1,270	1250	8.5E-05
	เฉลี่ย	-69	100	1,250	1,223	8.5E-05
6	1	15	70	1,260	1100	9.2E-05
	2	37	70	1,240	1230	9.2E-05
	3	21	50	1,280	1180	9.1E-05
	เฉลี่ย	24	63	1,260	1,170	9.2E-05
8	1	70	90	1,060	1060	9.2E-05
	2	35	80	1,350	1320	9.0E-05
	3	21	90	1,270	1150	9.0E-05
	เฉลี่ย	42	86	1,226	1,176	9.1E-05
10	1	-98	50	1,230	1190	9.5E-05
	2	-55	40	1,230	1200	9.0E-05
	3	-51	50	1,260	1220	8.4E-05
	เฉลี่ย	-68	46	1,240	1,203	9.0E-05
12	1	-33	40	940	880	7.2E-05
	2	-167	40	830	600	9.2E-05
	3	-28	40	1,400	1340	9.4E-05
	เฉลี่ย	-142	40	1,056	940	8.6E-05

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

ค่าพีเอช	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_t$	$E_{pr}$	$I_{pass}$
2	1	23	100	1,020	954	8.5E-05
	2	20	110	980	980	7.5E-05
	3	39	100	1,050	1050	6.8E-05
	เฉลี่ย	27	103	1,016	994	7.6E-05
4	1	-75	90	1,230	1180	8.2E-05
	2	-33	90	1,100	1100	9.5E-05
	3	-72	90	1,180	1180	9.4E-05
	เฉลี่ย	-60	90	1,170	1,153	9.0E-05
6	1	-7	40	1,190	1160	6.2E-05
	2	20	40	1,220	1220	9.6E-05
	3	-40	50	1,170	1130	9.4E-05
	เฉลี่ย	-9	43	1,193	1,170	8.4E-05
8	1	-18	80	1,180	1100	8.5E-05
	2	53	80	1,200	1140	2.0E-06
	3	-9	80	1,250	1180	9.0E-05
	เฉลี่ย	9	80	1,210	1,140	5.9E-05
10	1	-71	40	1,360	1360	1.0E-06
	2	-12	50	1,050	1050	4.0E-06
	3	-90	20	1,200	1120	9.5E-05
	เฉลี่ย	-57	36	1,203	1,176	3.3E-05
12	1	-110	50	890	800	9.4E-05
	2	-46	30	890	700	8.0E-05
	3	-95	40	940	870	9.3E-05
	เฉลี่ย	-83	40	906	790	8.9E-05

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

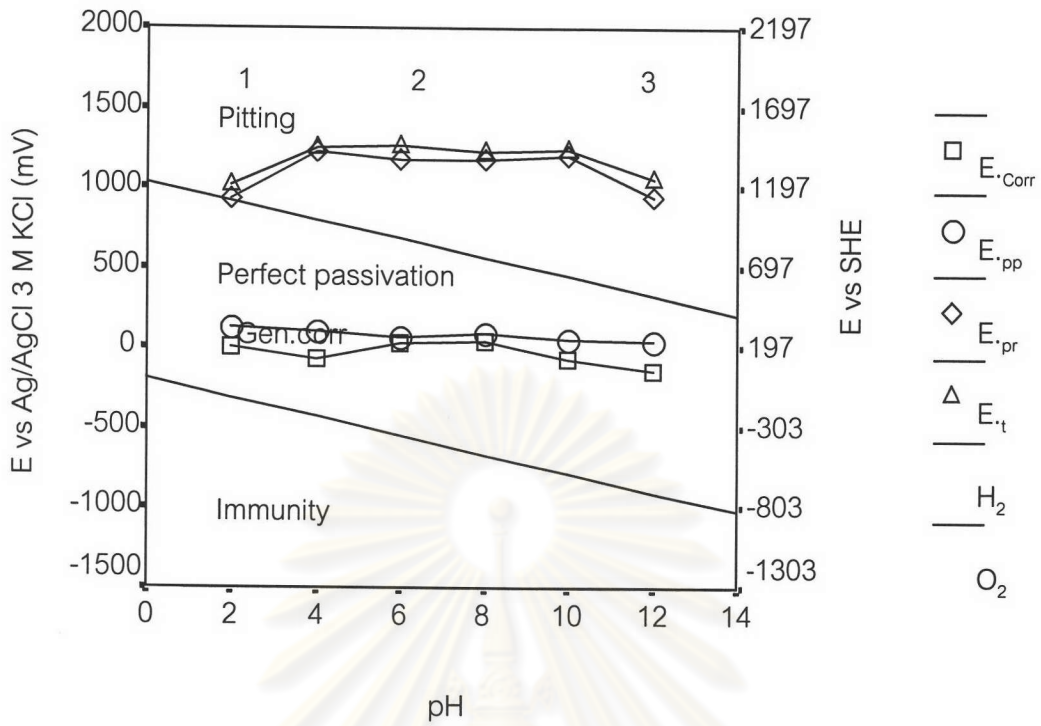
ค่าพีเอช	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_t$	$E_{pr}$	$I_{pass}$
2	1	30	80	1,010	960	8.0E-05
	2	50	90	980	980	8.0E-05
	3	-50	80	1,010	970	8.3E-05
	เฉลี่ย	10	83	1,000	970	8.1E-05
4	1	-39	80	1,160	1160	9.2E-05
	2	-60	50	1,170	1120	9.0E-05
	3	-10	80	1,150	1100	9.1E-05
	เฉลี่ย	-36	70	1,160	1,126	9.1E-05
6	1	-90	30	1,230	1120	9.0E-05
	2	-44	30	1,150	1090	9.8E-05
	3	30	40	1,200	1130	9.3E-05
	เฉลี่ย	-34	33	1,193	1,113	9.4E-05
8	1	1	60	1,200	1180	9.0E-05
	2	3	50	1,120	1050	1.0E-06
	3	4	60	1,180	1100	9.8E-05
	เฉลี่ย	2	56	1,166	1,110	6.3E-05
10	1	-82	30	1,240	1180	9.2E-05
	2	-102	40	1,200	1160	1.0E-06
	3	-62	40	1,160	1140	9.7E-05
	เฉลี่ย	-82	36	1,200	1,160	6.3E-05
12	1	-6	20	850	680	6.0E-05
	2	-114	30	850	800	8.9E-05
	3	-139	40	870	800	8.8E-05
	เฉลี่ย	-86	30	856	760	7.9E-05

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสาร

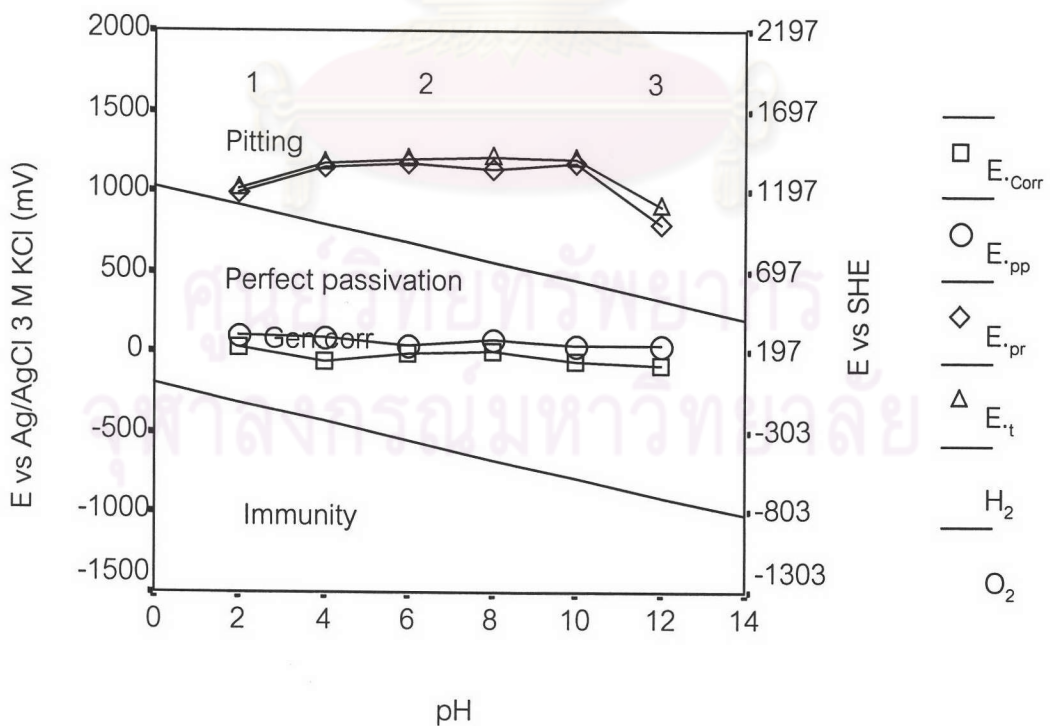
ละลายที่มีคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

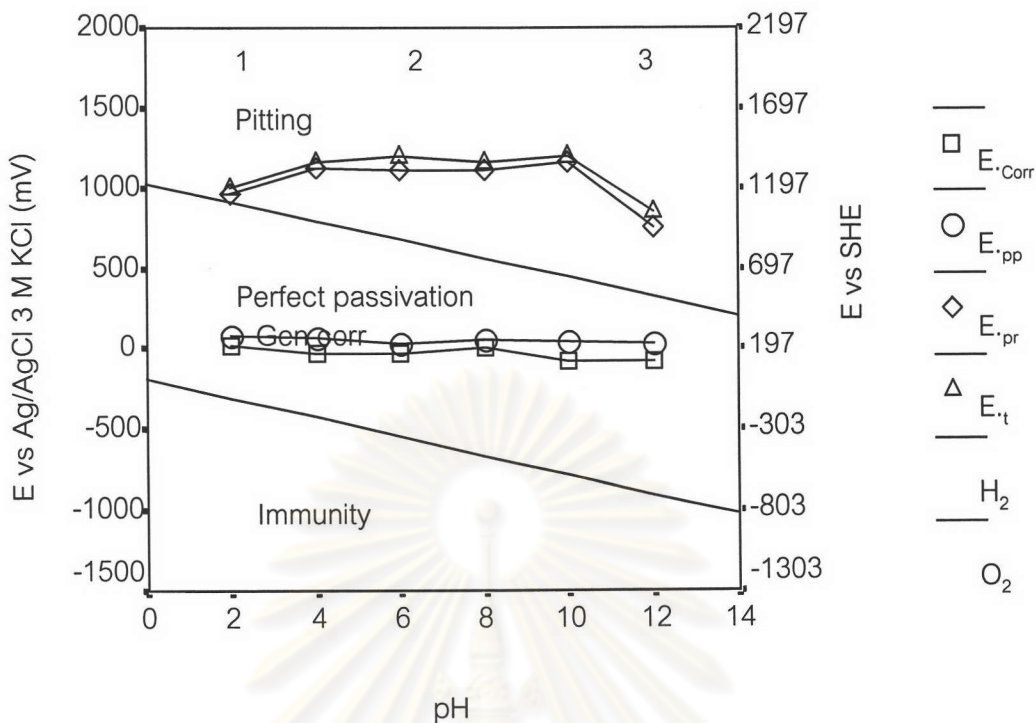
ค่าพีเอช	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_t$	$E_{pr}$	$I_{pass}$
2	1	58	70	980	970	7.2E-05
	2	58	80	980	980	6.9E-05
	3	-222	80	980	960	8.5E-05
	เฉลี่ย	-35	76	980	970	7.5E-05
4	1	-40	70	1,100	1090	8.0E-05
	2	-94	60	1,180	1100	1.0E-06
	3	-110	70	1,160	1080	8.0E-05
	เฉลี่ย	-81	66	1,146	1,090	5.4E-05
6	1	28	30	1,150	1080	5.6E-05
	2	-98	40	1,150	1060	9.8E-05
	3	-92	30	1,180	1080	9.0E-05
	เฉลี่ย	-54	33	1,160	1,073	8.1E-05
8	1	-90	50	1,100	1050	9.9E-05
	2	-31	50	1,200	1160	8.1E-05
	3	1	50	1,180	1120	9.2E-05
	เฉลี่ย	-40	50	1,160	1,110	9.1E-05
10	1	-160	20	1,150	1040	5.9E-05
	2	-42	30	1,170	1080	9.3E-05
	3	-72	40	1,200	1120	1.0E-06
	เฉลี่ย	-91	30	1,173	1,080	5.1E-05
12	1	-140	10	850	600	8.4E-05
	2	-74	50	850	760	7.9E-05
	3	-108	50	830	780	8.2E-05
	เฉลี่ย	-107	36	843	713	8.2E-05



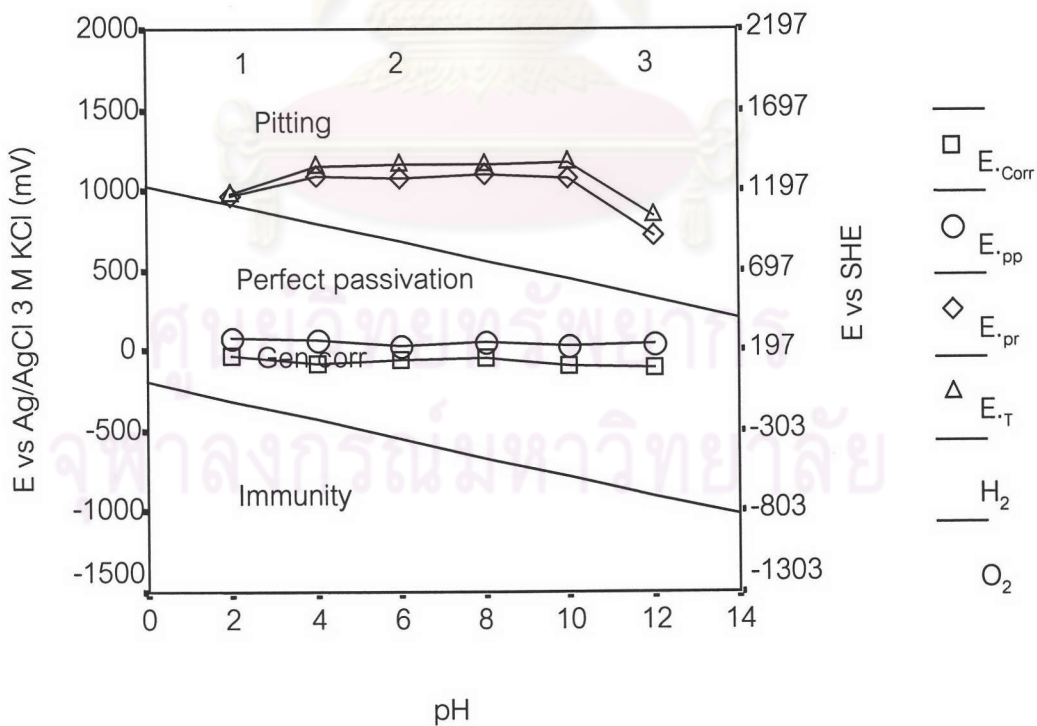
รูปที่ 4.11 แผนภูมิพอร์เบิร์ตของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.12 แผนภูมิพอร์เบิร์ตของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.13 แผนภูมิพอร์เบซ์ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.14 แผนภูมิพอร์เบซ์ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C

#### 4.5 การหาไอออนของโลหะในพื้นที่การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอและในพื้นที่การกัดกร่อนแบบรูเข็ม

ผลการตรวจสอบไอออนของโลหะที่ละลายอยู่ในสารละลายที่ทำการทดสอบ แสดงในตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองระบุชนิดของไอออนในแผนภูมิให้สอดคล้องตามตำแหน่งในแผนภูมิพอร์เบซซ์ที่แสดงในรูป 4.11 - 4.14 เพื่อให้ได้แผนภูมิที่มีรายละเอียดมากยิ่งขึ้นหมายเลขที่แสดงในแผนภูมิเป็นหมายเลขแสดงไอออนที่ละลายในแต่ละพีเอชดูได้จากตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบไอออนที่ละลายลงในสารละลายที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ 4,975, 9,900, 19,607 และ 33,816 พีพีเอ็ม ที่ใช้ทดสอบที่ศักย์ไฟฟ้า  $E_{corr}$  และ  $E_i$  ที่ค่าพีเอช 2, 6 และ 12

ความเข้มข้นคลอไรด์ พีพีเอ็ม	ความเป็นกรด - ด่าง	ไอออนที่ตรวจพบ	
		$E_{corr}$	$E_i$
4,975	2(1)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
	6(2)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
	12(3)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
9,900	2(1)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
	6(2)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
	12(3)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
19,607	2(1)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}, MoO_4^{2-}$
	6(2)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
	12(3)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
33,816	2(1)	$Fe^{3+}$	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, (CrO_4^{2-}), Ni^{2+}, MoO_4^{2-}$
	6(2)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$
	12(3)	-	$Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}$