

## บทที่ 4

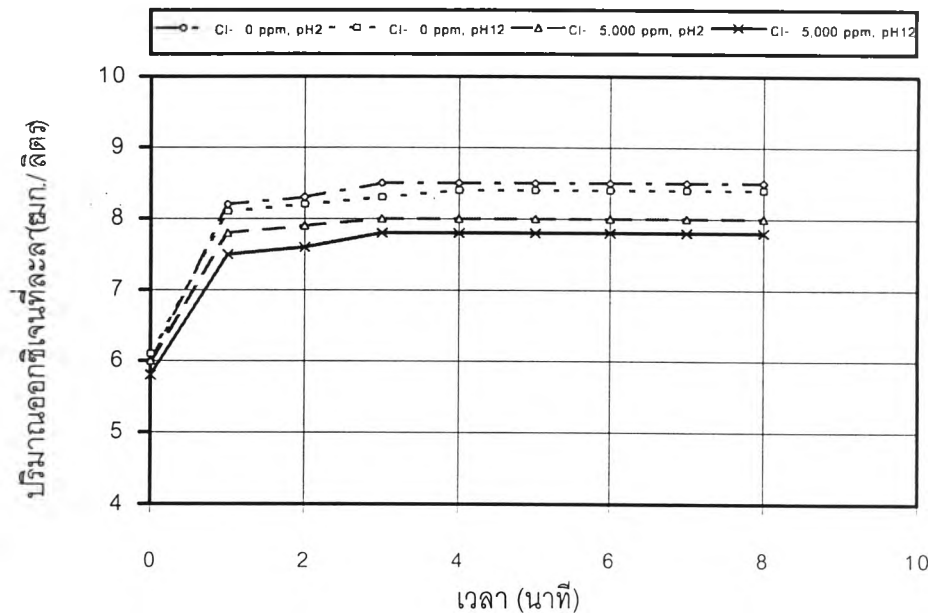
### ผลการทดลอง

#### 4.1 การหาเวลาทำให้ออกซิเจนจากอากาศอิมด้วในสารละลาย

ผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายที่เวลาต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1 และนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาผ่านอากาศและปริมาณออกซิเจนดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าต้องใช้เวลาอย่างต่ำ 3 และ 4 นาที ฟันอากาศเข้าไปในสารละลายที่มีคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายที่อุณหภูมิ 25 °C ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม

เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)			
	ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 พีพีเอ็ม		ความเข้มข้นคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม	
	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12
0	6.0	6.1	6.0	5.8
1	8.2	8.1	7.8	7.5
2	8.3	8.2	7.9	7.6
3	8.5	8.3	8.0	7.7
4	8.5	8.4	8.0	7.8
5	8.5	8.4	8.0	7.8
6	8.5	8.4	8.0	7.8
7	8.5	8.4	8.0	7.8
8	8.5	8.4	8.0	7.8



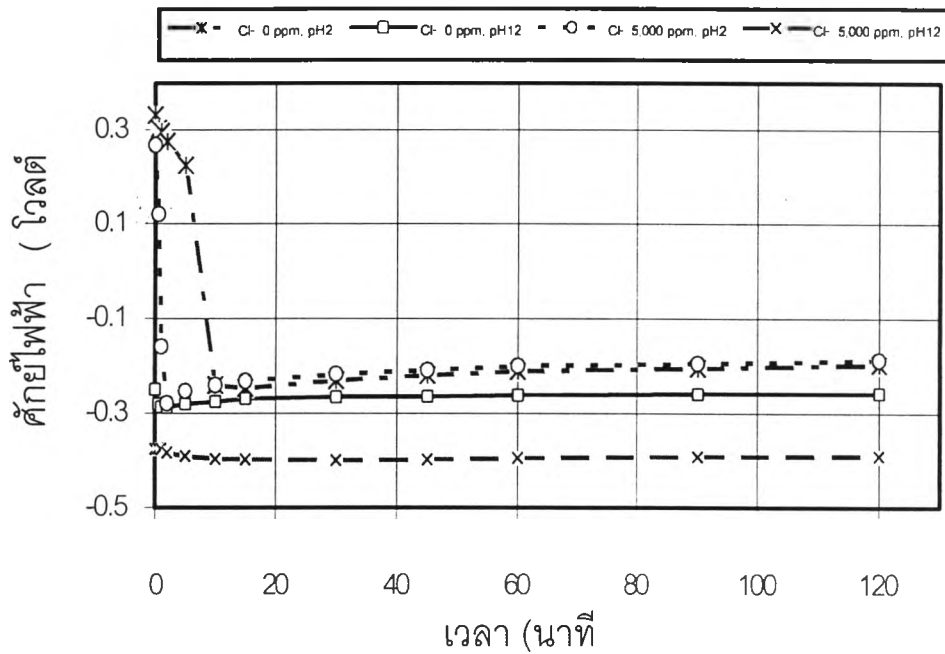
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายกับเวลาที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 25 °C

#### 4.2 การหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับแช่ชิ้นงานก่อนการสแกน

ผลการวัดค่า  $E_{ocp}$  ที่แปรผันกับเวลาหลังจากจุ่มชิ้นงานในสารละลายที่มีคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2 และ 12 แสดงดังตารางที่ 4.2 และนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_{ocp}$  กับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าค่า  $E_{ocp}$  มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง หลังจากแช่ชิ้นงานลงในสารละลาย ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเริ่มสแกนหลังจากจุ่มชิ้นงานในสารละลาย 1 ชั่วโมง ซึ่งจะตรงกับมาตรฐาน ASTM G5-94 [23] และ ASTM G61-86 [24]

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรมืด(open circuit potential ;  $E_{ocp}$ ) ของชิ้นงานในสารละลาย ณ เวลาต่างๆ ที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม ที่ อุณหภูมิ 25 °C

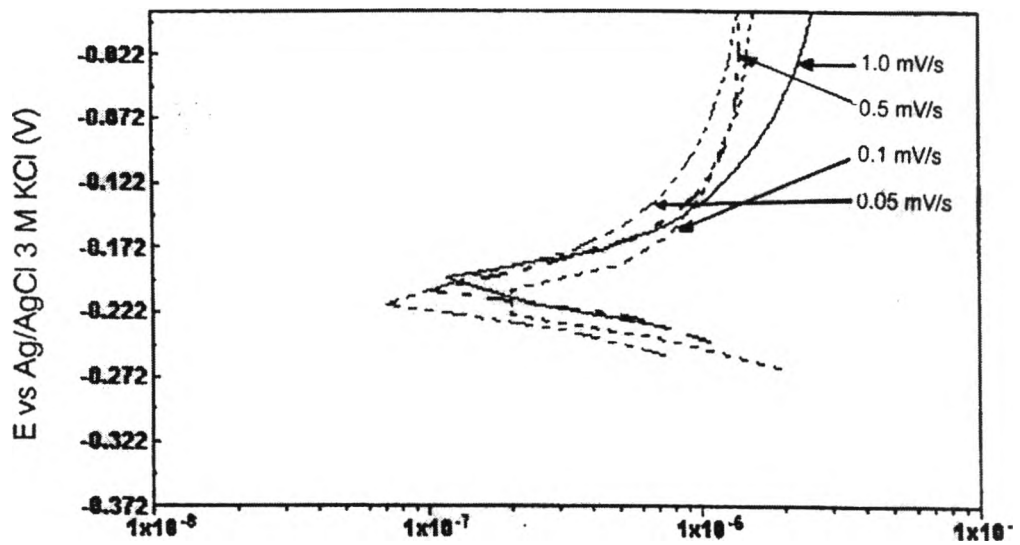
เวลาที่ใช้ (นาท)	ค่าศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)			
	ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 พีพีเอ็ม		ความเข้มข้นคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม	
	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12	ค่าพีเอช 2	ค่าพีเอช 12
0	0.332	-0.250	0.268	-0.376
0.5	0.302	-0.280	0.120	-0.374
1	0.296	-0.287	-0.160	-0.376
2	0.276	-0.288	-0.279	-0.383
5	0.225	-0.280	-0.253	-0.390
10	-0.241	-0.275	-0.241	-0.397
15	-0.247	-0.270	-0.233	-0.398
30	-0.231	-0.266	-0.218	-0.399
45	-0.220	-0.264	-0.209	-0.398
60	-0.212	-0.262	-0.200	-0.394
90	-0.205	-0.260	-0.195	-0.392
120	-0.198	-0.258	-0.188	-0.390



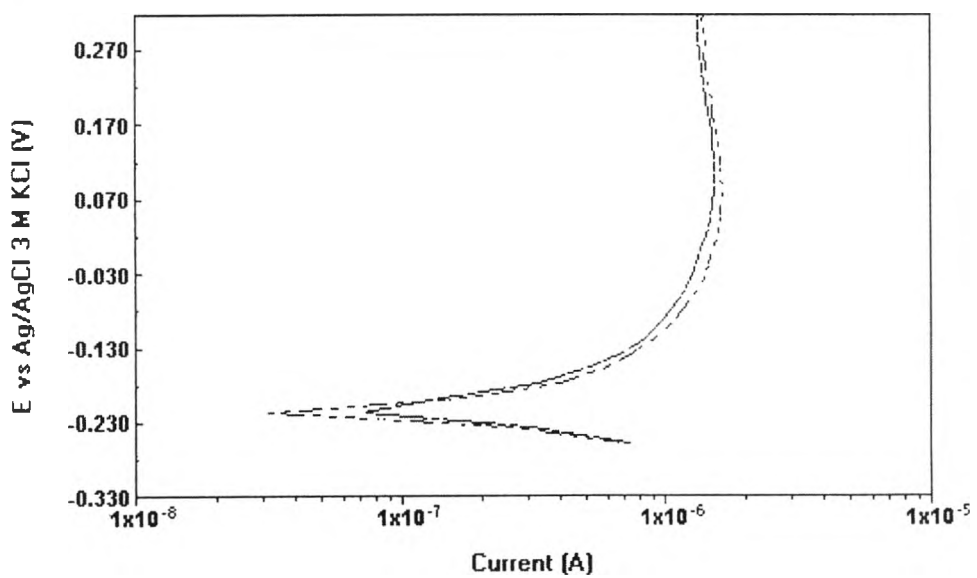
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าของชิ้นงานกับเวลาแช่ชิ้นงานในสารละลายที่ค่าพีเอช 2 และ 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม อุณหภูมิ 25°C

#### 4.3 การหาอัตราการสแกนที่เหมาะสมในการหาเส้นโพลาริเซชัน

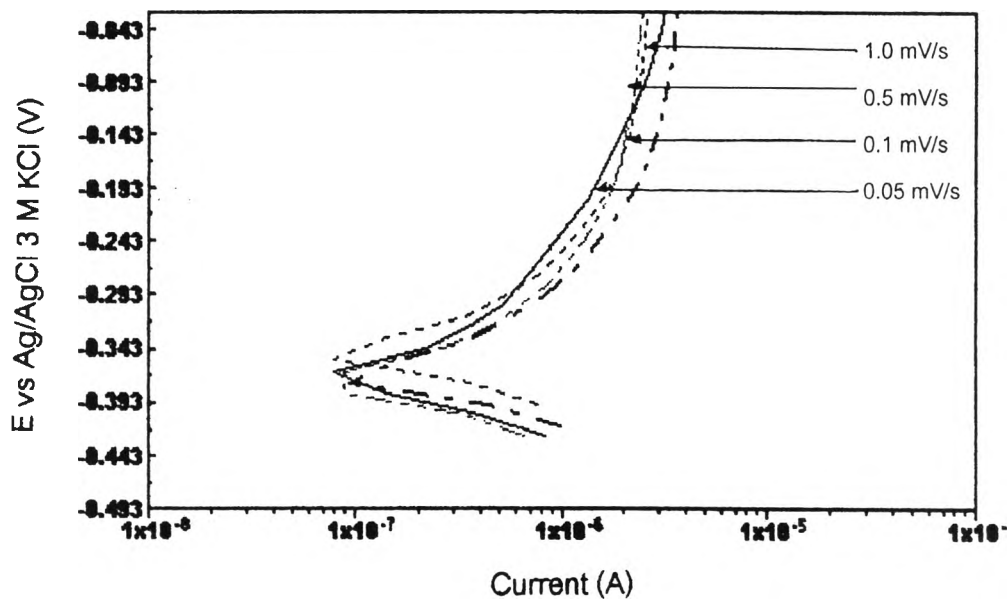
ผลการวัดเส้นโพลาริเซชันของตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายคลอไรด์ 0 และ 5,000 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด 2 และ 12 แสดงในรูปที่ 4.3 ถึง 4.10 พบว่าอัตราการสแกนที่เหมาะสมคือ 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที อัตราการสแกนที่ต่ำกว่านี้จะให้ลักษณะเส้นโพลาริเซชันที่มีค่า  $E_{corr}$  เกือบจะเป็นจุดเดียวกัน การเพิ่มอัตราการสแกนมากกว่านี้จะทำให้เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมไม่คงที่ ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจึงกำหนดใช้ค่าอัตราการสแกนเพื่อวัดเส้นโพลาริเซชันของชิ้นงานคือ 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ซึ่งอัตราการสแกนดังกล่าวต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM G5 ที่กำหนดอัตราการสแกน 0.6 โวลต์ต่อชั่วโมง



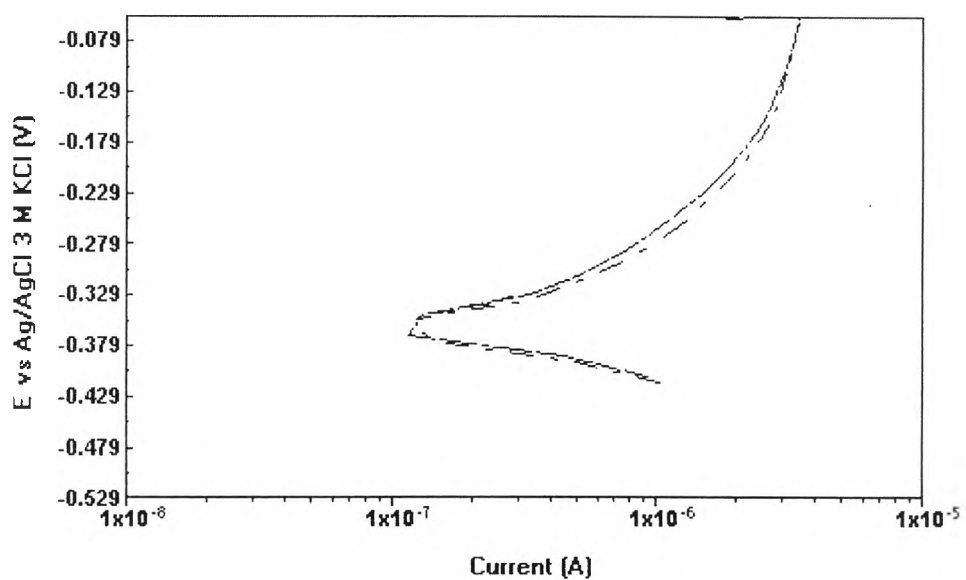
รูปที่ 4.3 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 1, 0.5, 0.1 และ 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



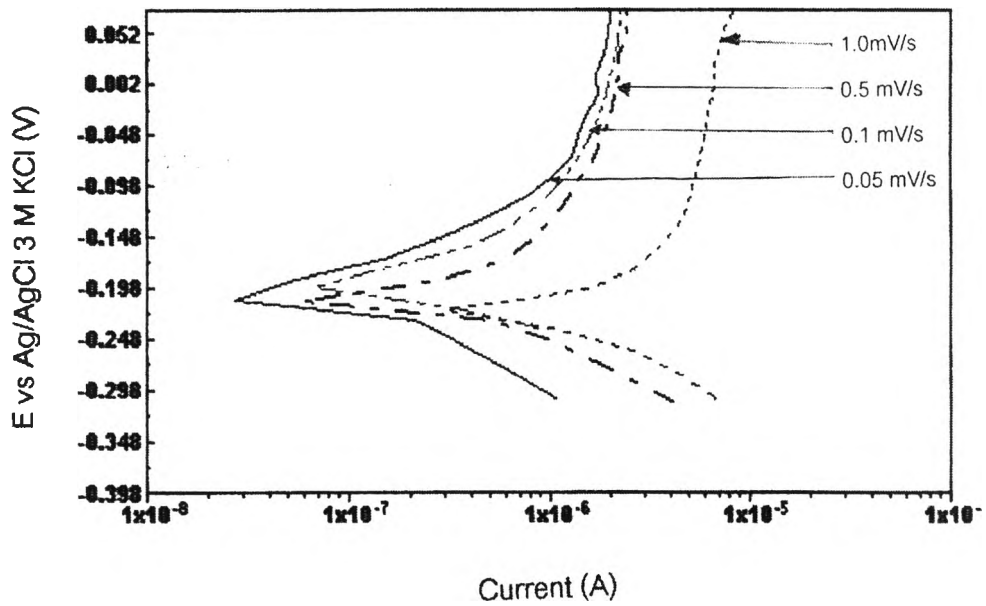
รูปที่ 4.4 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ที่ค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



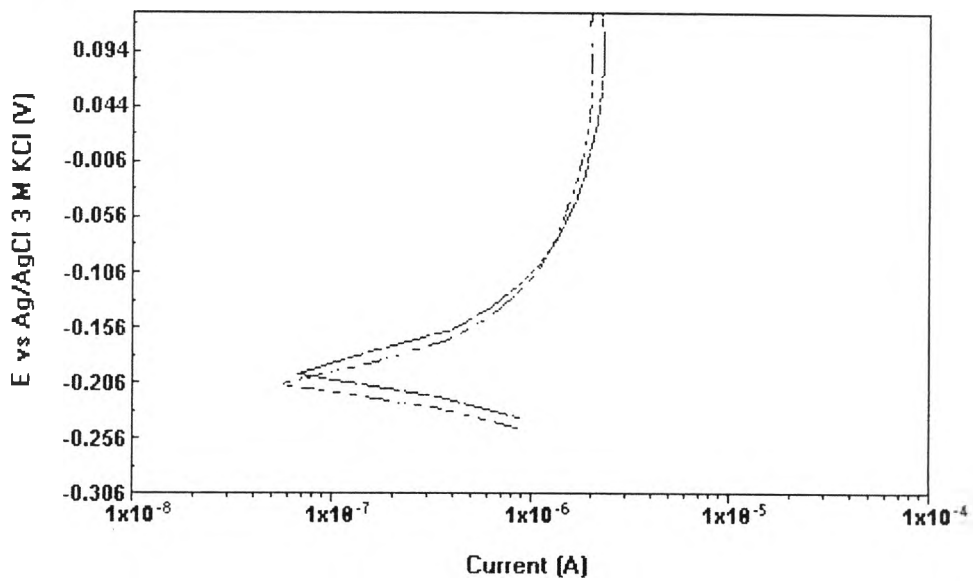
รูปที่ 4.5 ค่า  $E_{corr}$  ที่ค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 ฟี่เอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 1, 0.5, 0.1 และ 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



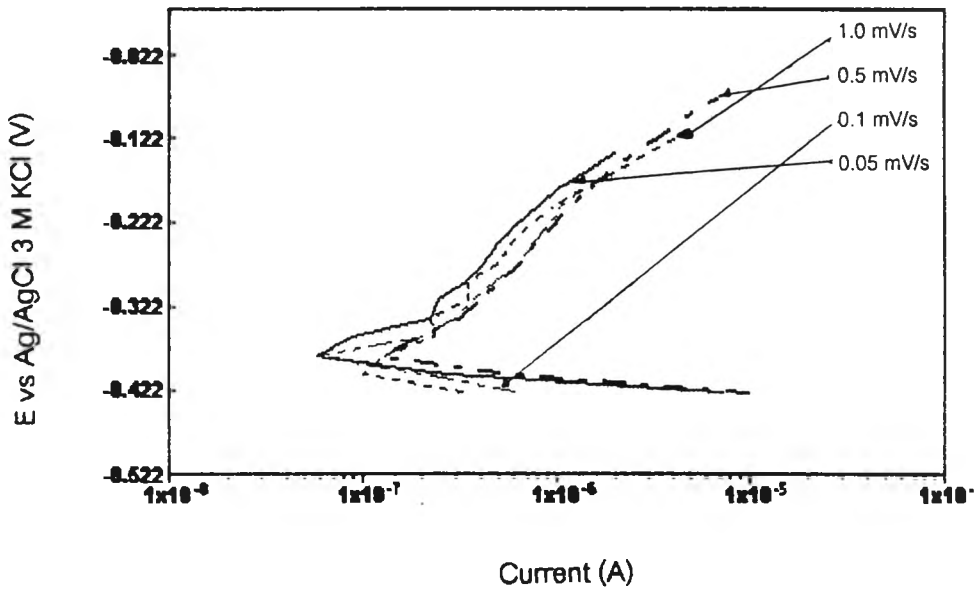
รูปที่ 4.6 ค่า  $E_{corr}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้งที่ค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 0 ฟี่เอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



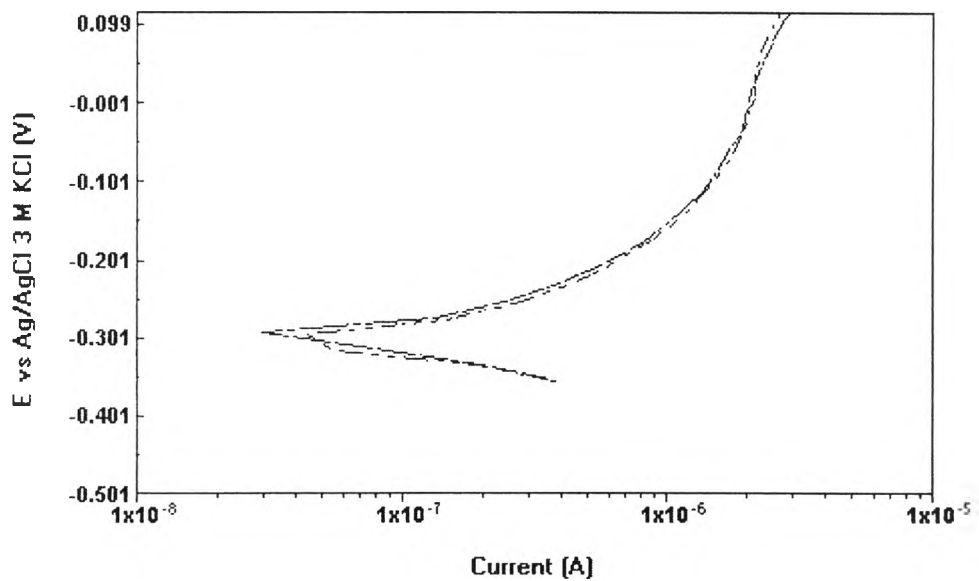
รูปที่ 4.7 ค่า  $E_{corr}$  ที่มีค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 1, 0.5, 0.1 และ 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.8 ค่า  $E_{corr}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้งที่มีค่าพีเอช 2 ความเข้มข้นคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม โดยใช้อัตราการสแกน 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.9 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่มีค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม โดยใช้ อัตราการสแกน 1 0.5 0.1 และ 0.05 มิลลิโวลต์ต่อวินาที



รูปที่ 4.10 ค่า  $E_{\text{corr}}$  ที่ได้จากการทดลองซ้ำ 2 ครั้งที่มีค่าพีเอช 12 ความเข้มข้นคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม โดยใช้ อัตราการสแกน 0.1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที





4.4 การหาเส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L เพื่อนำไปสร้างแผนภูมิพอร์เบซ

ผลการวัดเส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม ค่าพีเอช ระหว่าง 2-12 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงอยู่ในภาคผนวก ง จากเส้นโพลาริเซชันแต่ละเส้นนำมาหาค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_i$  และ  $E_{pr}$  ซึ่งวิธีการหาค่าแสดงอยู่ในภาคผนวก จ ผลการหาค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_i$  และ  $E_{pr}$  แสดงในตารางที่ 4.3 - 4.6 นำ  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_i$  และ  $E_{pr}$  กับค่าพีเอชของสารละลายไปสร้างแผนภูมิพอร์เบซดังแสดงในรูปที่ 4.11 - 4.14 ซึ่งจะเห็นว่าในแผนภูมิจะประกอบด้วยพื้นที่โลหะเสถียร การกัดกร่อนและพาสซีวิตี

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_i$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 0 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

ค่าพีเอช	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_i$	$E_{pr}$
2	1	-0.216	0.086	0.84	0.84
	2	-0.217	0.089	0.827	0.827
	3	-0.216	0.085	0.801	0.801
	เฉลี่ย	-0.216	0.088	0.823	0.823
4	1	-0.217	-0.124	1.251	1.251
	2	-0.206	-0.021	1.124	1.124
	3	-0.219	-0.021	1.080	1.080
	เฉลี่ย	-0.214	-0.058	1.152	1.152
6	1	-0.239	-0.126	0.911	0.911
	2	-0.243	-0.048	0.919	0.919
	3	-0.237	-0.006	0.919	0.919
	เฉลี่ย	-0.240	-0.060	0.916	0.916
8	1	-0.222	-0.20	0.883	0.883
	2	-0.201	-0.155	0.780	0.780
	3	-0.212	-0.178	0.783	0.783
	เฉลี่ย	-0.212	-0.178	0.815	0.815
10	1	-0.249	-0.129	0.732	0.732
	2	-0.240	-0.070	0.974	0.974
	3	-0.239	-0.070	0.848	0.848
	4	-0.241	-0.122	0.844	0.844
	5	-0.257	-0.087	0.738	0.738
	เฉลี่ย	-0.245	-0.096	0.827	0.827
12	1	-0.362	-0.264	0.639	0.639
	2	-0.381	-0.260	0.627	0.627
	3	-0.372	-0.258	0.571	0.571
	เฉลี่ย	-0.371	-0.261	0.612	0.612

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_i$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 50 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

ค่าความเป็นกรด	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_i$	$E_{pr}$
2	1	-0.205	0.065	0.797	0.797
	2	-0.213	0.096	0.793	0.793
	3	-0.209	0.114	0.773	0.773
	4	-0.211	0.111	0.840	0.840
	5	-0.222	0.101	0.831	0.831
	เฉลี่ย	-0.212	0.097	0.807	0.807
4	1	-0.198	0.128	1.045	1.045
	2	-0.181	0.063	1.074	1.074
	3	-0.201	0.103	1.072	1.072
	เฉลี่ย	-0.193	0.098	1.064	1.064
6	1	-0.282	-0.094	0.921	0.921
	2	-0.269	-0.073	0.900	0.900
	3	-0.256	-0.097	0.955	0.955
	4	-0.292	-0.091	0.933	0.933
	เฉลี่ย	-0.275	-0.089	0.927	0.927
8	1	-0.218	-0.187	0.921	0.921
	2	-0.232	-0.173	0.810	0.810
	3	-0.218	-0.170	0.817	0.817
	เฉลี่ย	-0.223	-0.177	0.849	0.849
10	1	-0.242	-0.106	0.739	0.739
	2	-0.231	-0.145	0.767	0.767
	3	-0.240	-0.170	0.814	0.814
	4	-0.228	-0.134	0.768	0.768
	5	-0.249	-0.118	0.768	0.768
	เฉลี่ย	-0.238	-0.135	0.771	0.771
	1	-0.359	-0.241	0.660	0.660
	2	-0.364	-0.247	0.668	0.668
	3	-0.368	-0.257	0.679	0.679
	4	-0.372	-0.264	0.641	0.641
	5	-0.359	-0.233	0.673	0.673
	เฉลี่ย	-0.364	-0.248	0.642	0.642

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_i$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 500 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

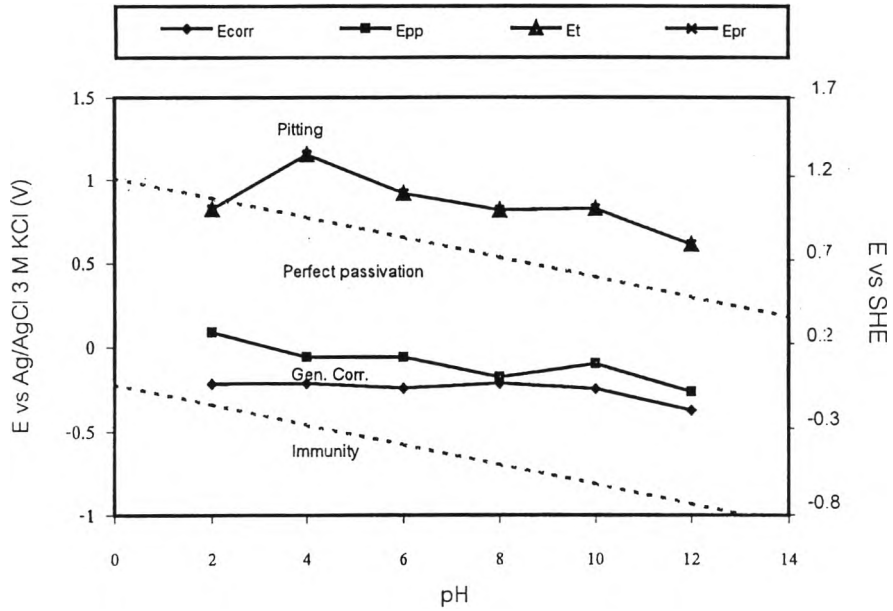
หน่วย: มิลลิโวลต์

ค่าพีเอช	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_i$	$E_{pr}$
2	1	-0.220	0.038	0.517	0.146
	2	-0.211	0.008	0.748	0.164
	3	-0.195	0.081	0.720	0.189
	เฉลี่ย	-0.208	0.042	0.662	0.166
4	1	-0.218	0.049	0.586	0.180
	2	-0.240	0.011	0.647	0.208
	3	-0.235	-0.006	0.640	0.107
	เฉลี่ย	-0.231	0.022	0.624	0.165
6	1	-0.227	-0.145	0.922	0.331
	2	-0.228	-0.137	0.930	0.272
	3	-0.227	-0.142	0.928	0.303
	เฉลี่ย	-0.227	-0.142	0.927	0.303
8	1	-0.215	-0.153	0.818	0.818
	2	-0.225	-0.161	0.791	0.791
	3	-0.237	-0.164	0.787	0.787
	เฉลี่ย	-0.226	-0.159	0.799	0.799
10	1	-0.251	-0.068	0.841	0.841
	2	-0.246	-0.145	0.708	0.708
	3	-0.279	-0.099	0.843	0.843
	เฉลี่ย	-0.259	-0.104	0.764	0.764
12	1	-0.399	-0.281	0.660	0.660
	2	-0.398	-0.302	0.503	0.503
	3	-0.396	-0.332	0.634	0.634
	4	-0.397	-0.292	0.590	0.590
	เฉลี่ย	-0.398	-0.302	0.597	0.597

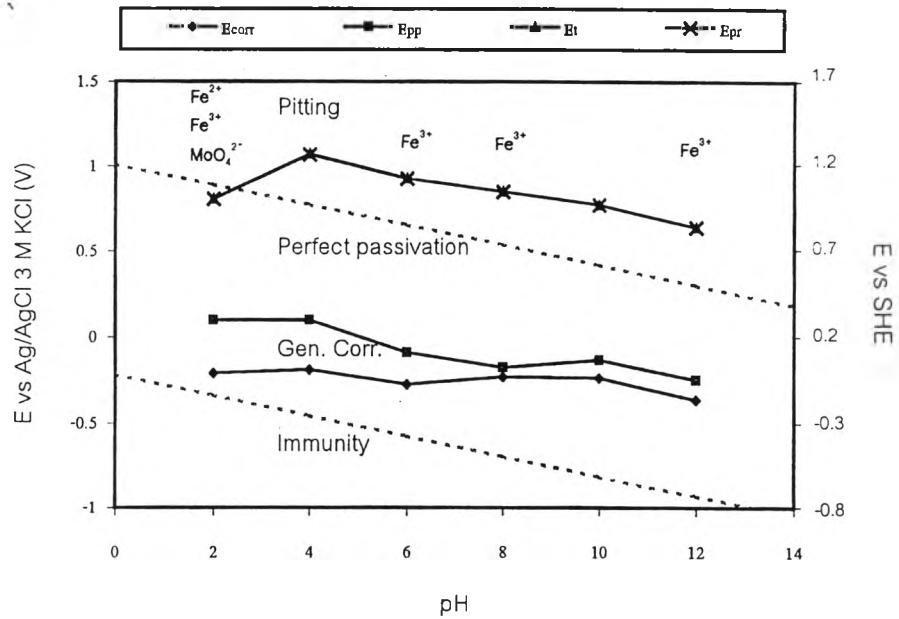
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการวัดค่า  $E_{corr}$ ,  $E_{pp}$ ,  $E_t$  และ  $E_{pr}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม ที่ค่าพีเอช 2, 4, 6, 8, 10 และ 12

หน่วย: มิลลิโวลต์

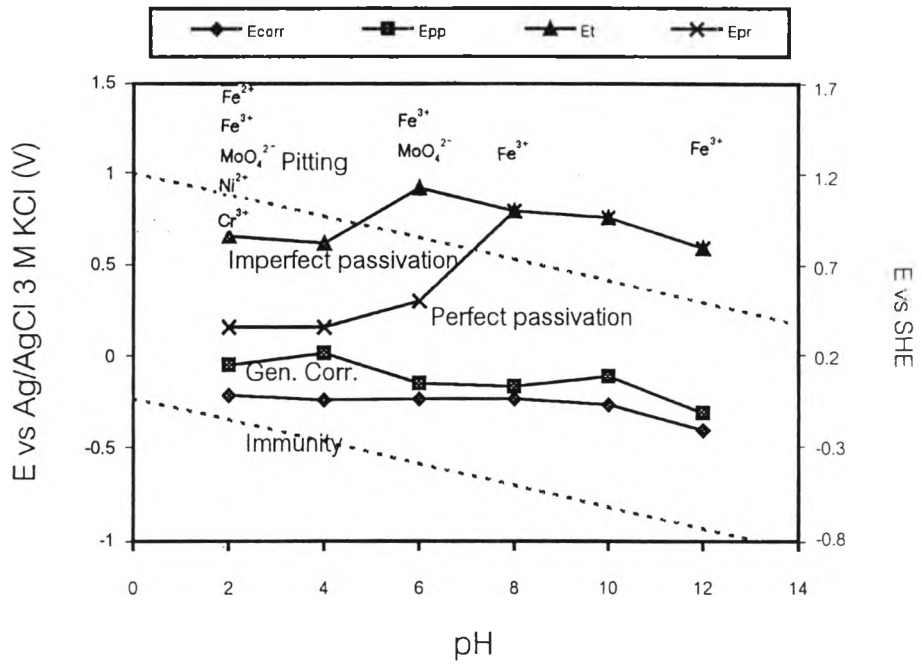
ค่าความเป็นกรด	วัดครั้งที่	$E_{corr}$	$E_{pp}$	$E_t$	$E_{pr}$
2	1	-0.201	0.101	0.642	0.164
	2	-0.203	0.093	0.474	0.133
	3	-0.205	0.008	0.611	0.174
	4	-0.215	0.010	0.489	0.135
	เฉลี่ย	-0.206	0.053	0.554	0.152
4	1	-0.230	-0.055	0.580	0.069
	2	-0.255	-0.061	0.452	0.134
	3	-0.247	-0.034	0.505	0.119
	เฉลี่ย	-0.244	0.050	0.512	0.107
6	1	-0.163	-0.111	0.622	0.245
	2	-0.196	-0.103	0.671	0.202
	3	-0.187	-0.109	0.622	0.132
	4	-0.198	-0.115	0.612	0.122
	เฉลี่ย	-0.186	-0.110	0.632	0.175
8	1	-0.188	-0.161	0.565	0.149
	2	-0.214	-0.152	0.642	0.165
	3	-0.201	-0.140	0.610	0.136
	4	-0.188	-0.108	0.620	0.092
	เฉลี่ย	-0.198	-0.140	0.609	0.136
10	1	-0.265	-0.067	0.667	0.101
	2	-0.242	-0.106	0.723	0.104
	3	-0.237	-0.114	0.624	0.145
	เฉลี่ย	-0.248	-0.096	0.674	0.117
12	1	-0.398	-0.287	0.542	0.159
	2	-0.282	-0.282	0.563	0.249
	3	-0.218	-0.218	0.564	0.240
	4	-0.294	-0.294	0.552	0.238
	เฉลี่ย	-0.388	-0.270	0.555	0.222



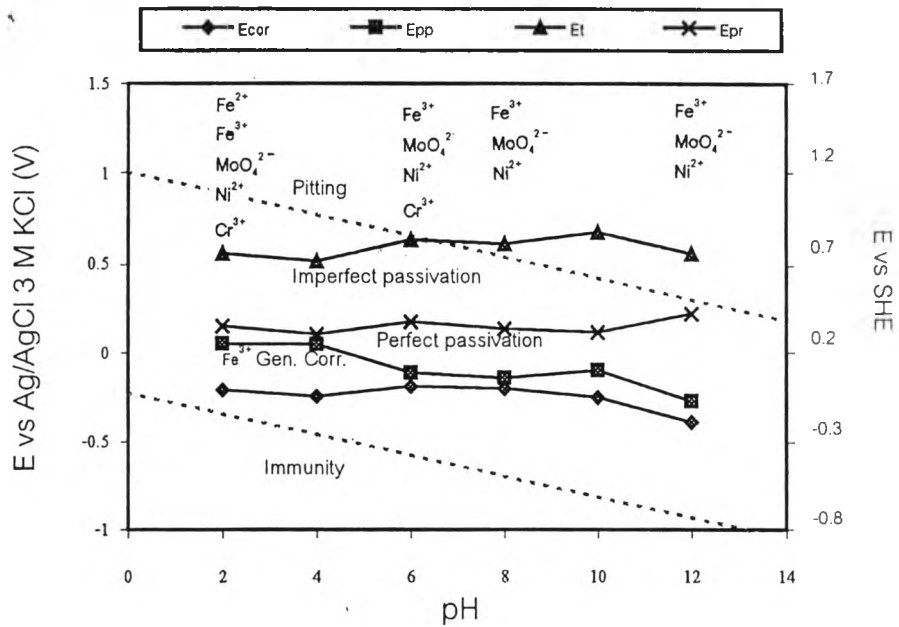
รูปที่ 4.11 แผนภูมิโพธิ์เบรต์ของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.12 แผนภูมิโพธิ์เบรต์ของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 50 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.13 แผนภูมิพอร์เบิร์ตซ์ของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 500 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C



รูปที่ 4.14 แผนภูมิพอร์เบิร์ตซ์ของเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ 5,000 พีพีเอ็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C

#### 4.5 การหาไอออนของโลหะในพื้นที่การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอและในพื้นที่การกัดกร่อนแบบรูเข็ม

ผลการตรวจสอบไอออนของโลหะแสดงในตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองระบุชนิดของไอออนในแผนภูมิให้สอดคล้องตามตำแหน่งในแผนภูมิพอร์เบทซ์ที่แสดงในรูป 4.11 - 4.14 เพื่อให้ได้แผนภูมิที่มีรายละเอียดมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบไอออนที่ละลายลงในสารละลายที่ใช้ทดสอบที่ศักย์ไฟฟ้า  $E_{corr}$  และ  $E_t$  ที่ค่าพีเอช 2, 6, 8 และ 12

ความเข้มข้นคลอไรด์ (พีพีเอ็ม)	ค่าความเป็นกรด	ไอออนที่ตรวจพบ	
		$E_{corr}$	$E_t$
0	2	-	-
	6	-	-
	8	-	-
	12	-	-
50	2	-	$Fe^{2+}$ $Fe^{3+}$ $MoO_4^{2-}$
	6	-	$Fe^{3+}$
	8	-	$Fe^{3+}$
	12	-	$Fe^{3+}$
500	2	-	$Fe^{2+}$ $Fe^{3+}$ $Cr^{3+}$ $Ni^{2+}$ $MoO_4^{2-}$
	6	-	$Fe^{3+}$ $MoO_4^{2-}$
	8	-	$Fe^{3+}$
	12	-	$Fe^{3+}$
5,000	2	$Fe^{3+}$	$Fe^{2+}$ $Fe^{3+}$ $Cr^{3+}$ $Ni^{2+}$ $MoO_4^{2-}$
	6	-	$Fe^{3+}$ $Cr^{3+}$ $Ni^{2+}$ $MoO_4^{2-}$
	8	-	$Fe^{3+}$ $Ni^{2+}$ $MoO_4^{2-}$
	12	-	$Fe^{3+}$ $Ni^{2+}$ $MoO_4^{2-}$