

รายการอ้างอิง

1. Robert N Gunn. Duplex Stainless Steels mmicrostructure, properties and applications. Abrington Publishing Cambridge England:1997.
2. P.Lacombe.,B.Baroux., G.Beranger., Stainless Steels. pp615-658, Scientific Editors., France:The company of UGIN 1993.
3. E.D.verink,Jr.. Simplified Procedure for Construction Pourbaix Diagrams. Corrosion 23 (December1967): 371 - 373.
4. M.Pourbaix. Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution. Bristol 3 : Pergamon press, 1966.
5. E.D.verink,Jr.. Application of Electrochemical Techniques in the Development of Alloys for Corrosive Service. R.Baboiian, Electrochemical Technique for Corrosion.43 - 51. Houston,Texas : NACE, 1977.
6. D.D.Macdonal , B.C.Syrett and S.S.Wing. The Use of Potential - pH Diagrams for Interpretation of corrosion. Corrosion 35 (January 1979): 1 - 11.
7. S.Nivitchanyong and S.Daopiset. Effect of Water Chlorination Addition to Stainless Steel Corrosion Resisitance. Proceedings, The First Stainless Steel congress in Thailand, December 15-17, 1997. Bangkok, Thailand.
8. M. Hubbel, R.Heiderbach and T.Rockett. Experimental Pourbaix Diagrams for 304 Stainless Steel. The international Corrosion Forum. 102/1 - 102/12 California, U.S.A, April 18 - 22, 1983.
9. B.Beverskog and I.Puidgomenech. Pourbaix Diagrams for the Ternary System of Iron -Chromium-Nikel. Corrosion 55 (November 1999) : 1077 - 1087.
10. ประทีป วงศ์บัณฑิต. การสร้างแผนภูมิพอร์เบซ์สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม 316 L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสมด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขา วิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
11. อรยา วังศรี. การสร้างแผนภูมิพอร์เบซ์สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสมด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

12. M.G.Fontana. Corrosion Engineering. Singapore. Third edition: Mc GrawHill,1987.4.
13. D.A. Jones. Principles and Prevention of corrosion. Singapore: Maxcimillian Publishing company,1985.
14. ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรยาพงศ์ การกัดกร่อนและการเลือกใช้วัสดุ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2545.
15. S.A.Bradford. Corrosion Control. Portland : Van Norstrand Reinhold,1993.
16. A.J.Sedriks. Corrosion of Stainless Steel. Second edition. New York : John Wiley & Sons,1996.
17. Pierre. R. Roberge.,Handbook of Corrosion Engineer. Quebec – Martin Burge McGraw-Hill,2000.
18. พิชัย ไตวิวิชญ์ ปฏิบัติการเคมีสำหรับนิสิตวิทยาศาสตร์ ปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .2532.
19. ASM Handbook, Volume13. Corrosion. Nineth edition, 1996.
20. G.C. Wipple and M.C. Wipple. Solubility of Oxygen in Sea Water. J. Am. Chem. Soc. 33 (1911) : 362.
19. Feigl and V.Anger. Spot Test in Inorganic Analysis. sixth edition. New York : Elsevier, 1972.
20. F.J.Welcher and R.B. Hahn. Semimicro Qualitative Analysis. U.S.A: American Book Company, 1969.
21. M. Hubbel, R.Heiderbach and T.Rockett. Experimental Pourbaix Diagrams for 304 Stainless Steel. The international Corrosion Forum. 102/1 - 102/12 California, U.S.A, April 18 - 22, 1983
22. Annual Book of ASTM, Vol 03.02. ASTM G 5 - 94, Philadelphia, Pensilvania : ASTM,1994.
23. Annual Book of ASTM, Vol 03.02. ASTM G61 - 86. Philadelphia, Pensilvania : ASTM,1993.
24. Underwood, E. Quantitative metallography. In Kathleen Mills (ed.), ASM Metal Handbook, 9th ed. Vol. 9 (1985): 123-134.
25. H. H. Strechblow and B. Titze, Corrosion Science 19 (1979) : 461.
26. G.C. Wipple and M.C. Wipple. Solubility of Oxygen in Sea Water. J. Am. Chem. Soc. 33 (1911) : 362.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการหาสัดส่วนโครงสร้างออสเตนไนต์ต่อเฟอร์ไรต์ในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

การหาสัดส่วนโครงสร้างออสเตนไนต์ต่อเฟอร์ไรต์ของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ด้วยวิธีการ Quantitative Metallography [24] เป็นการหาสัดส่วนจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดลองที่ผ่านการ Polishing และกัดกรด จากเครื่อง Image Analyzer วิธีการนี้เป็นการหาสัดส่วนโครงสร้างออสเตนไนต์ต่อเฟอร์ไรต์เป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เนื่องจากภาพโครงสร้างจุลภาคที่ได้เป็นแบบ 2 เฟส โดยเห็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์เป็นสีเทา-ดำ และโครงสร้างออสเตนไนต์เป็นสีขาว ซึ่งสามารถหาสัดส่วนโครงสร้างออสเตนไนต์ได้จากสมการ

$$\lambda = (L_3)_\gamma [1 - (V_v)_\gamma / (V_v)_\gamma]$$

เมื่อ

$$\lambda = \text{ระยะห่างของ } \gamma \text{ โดยเฉลี่ย}$$

$$(V_v)_\gamma = \text{อัตราส่วนโดยปริมาตรของ } \gamma$$

$$(L_3)_\gamma = \text{ระยะเฉลี่ยของ } \gamma \text{ ที่เส้นทดสอบลากผ่าน}$$

การหาค่า λ และ $(L_3)_\gamma$ สามารถหาได้จากการลากเส้นทดสอบตัดผ่านโครงสร้างจุลภาคที่ต้องการหาค่า volume fraction ดังแสดงในรูปที่ ก.1

ในการหาค่าสัดส่วนโครงสร้างออสเตนไนต์ คือ ต้องพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ที่เกิดขึ้น เพื่อหาขอบเขตความเชื่อมั่นสำหรับค่าสัดส่วนโครงสร้างของออสเตนไนต์เฉลี่ยในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ดังสมการต่อไปนี้

$$S = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X - \bar{X}]^2 \right\}^{1/2}$$

เมื่อ

$$n = \text{จำนวนครั้งการวัด}$$

$$X = \text{ค่าจากการวัดปริมาณแต่ละครั้ง}$$

$$\bar{X} = \text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของการวัดปริมาณ}$$

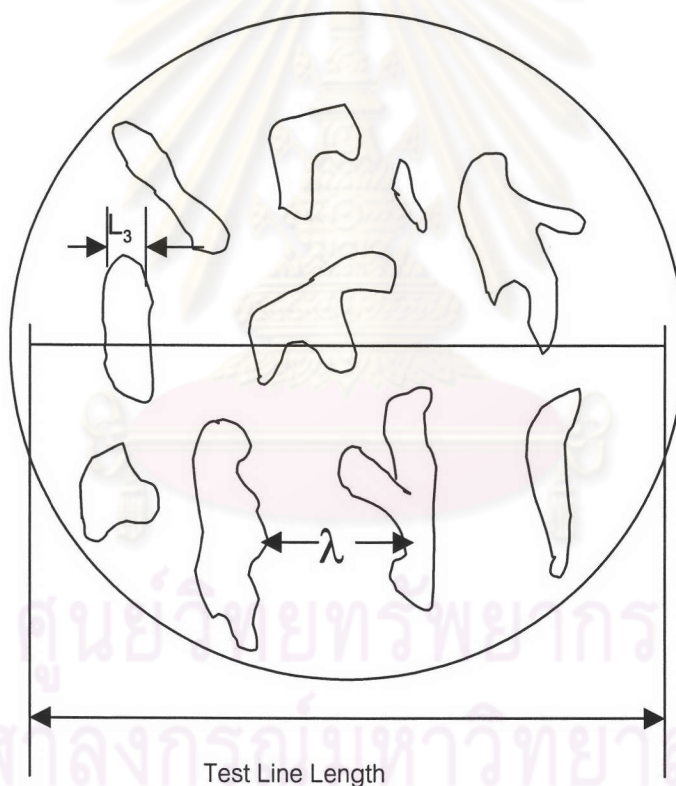
กำหนดระดับค่าความเชื่อมั่น 95% จะได้ขอบเขตความเชื่อมั่น (CI) ของค่าเฉลี่ยสัดส่วน โครงสร้างออสเตนไนต์ในโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ดังสมการต่อไปนี้

$$CI = \pm 1.96 s/\sqrt{n}$$

สัดส่วนโครงสร้างออสเตนไนต์เป็นสัดส่วนโดยปริมาตรในชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ได้ดังสมการ

$$V_v = \bar{X} \pm CI$$

$$\%Error = [CI/\bar{X}] * 100$$

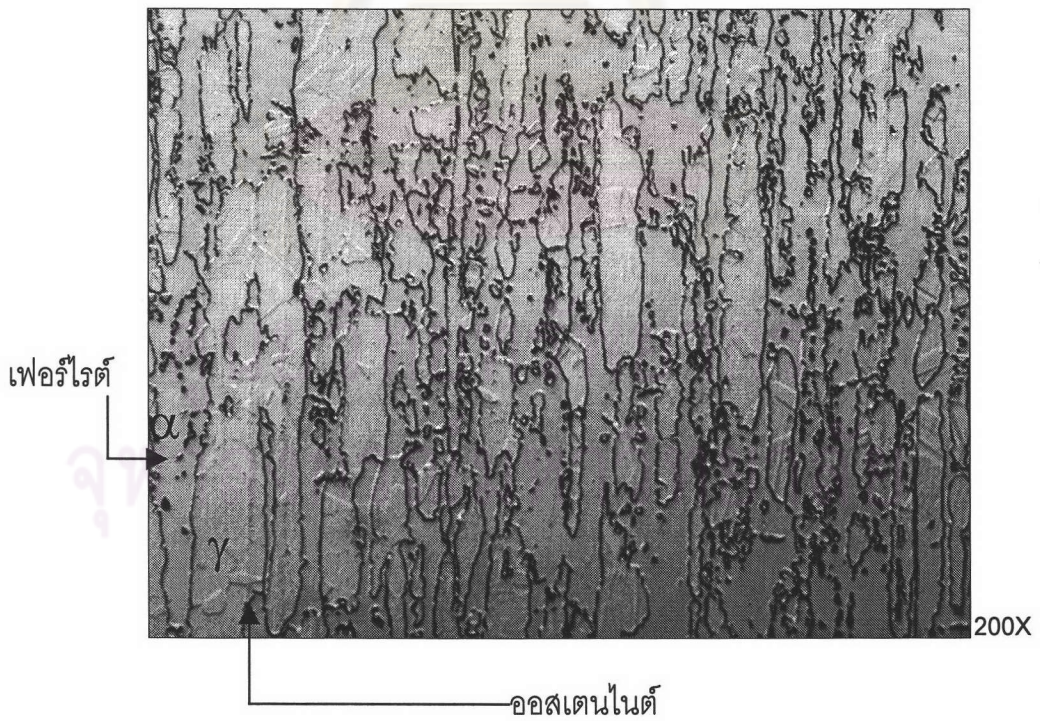


รูปที่ ก.1 ตำแหน่งการวัดค่า λ และ $(L_3)_\gamma$ จากเส้นทดสอบ

การแสดงผลอัตราส่วนปริมาณเฟสออสเตนไนต์ต่อเฟสเฟอร์ไรต์ ในตาราง ก1 ค่าที่ได้เกิดจากการวัด โดยการใช้เครื่อง Image Analyzer ซึ่งโครงสร้างจุลภาคที่แสดงดังรูปที่ 2ก และ 3ก เป็นโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ที่นำไปวัดปริมาณเฟสออสเตนไนต์ต่อเฟสเฟอร์ไรต์



รูปที่ ก.2 ภาพโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ ก.3 ภาพโครงสร้างจุลภาคเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ ขนาดกำลังขยาย 200 เท่า

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนโครงสร้างออกสแตนไนต์ต่อเฟอร์ไรต์ของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

● แทนปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์ ▽ แทนปริมาณโครงสร้างออกสแตนไนต์

ที่	%โครงสร้างที่วัดได้	%พื้นที่วัด	ที่	%โครงสร้างที่วัดได้	%พื้นที่วัด
1	● 55.88	37.57	14	● 55.57	31.09
	▽ 44.12	62.43		▽ 44.43	68.91
2	● 51.00	38.68	15	● 45.14	43.13
	▽ 49.00	61.31		▽ 54.86	56.87
3	● 56.41	36.51	16	● 48.61	39.61
	▽ 43.58	63.49		▽ 51.39	60.39
4	● 53.8	38.30	17	● 57.69	29.22
	▽ 46.19	61.70		▽ 42.31	70.78
5	● 50.00	42.50	18	● 52.31	31.27
	▽ 50.00	57.50		▽ 47.69	68.73
6	● 48.07	42.85	19	● 49.84	36.69
	▽ 51.92	57.15		▽ 50.16	63.31
7	● 60.69	30.42	20	● 43.92	37.98
	▽ 39.31	69.58		▽ 56.08	62.02
8	● 59.85	29.30	21	● 46.35	40.52
	▽ 40.15	70.70		▽ 56.64	59.43
9	● 62.05	31.11	22	● 48.76	41.17
	▽ 37.95	68.89		▽ 51.24	58.83
10	● 41.92	39.29	23	● 54.72	31.77
	▽ 58.08	60.71		▽ 45.28	68.23
11	● 44.93	45.89	24	● 53.60	37.92
	▽ 55.07	54.11		▽ 46.40	62.08
12	● 44.92	45.89	25	● 47.89	46.69
	▽ 55.08	54.11		▽ 52.10	53.31
13	● 50.03	49.09	26	● 50.35	41.22
	▽ 49.97	50.11		▽ 49.65	58.78

ตารางที่ ก.1 สัดส่วนโครงสร้างออกสเทนไนต์ต่อเฟอร์ไรต์ของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

● แทนปริมาณโครงสร้างเฟอร์ไรต์ ▽ แทนปริมาณโครงสร้างออกสเทนไนต์

ที่	%โครงสร้างที่วัดได้	%พื้นที่วัด	ที่	%โครงสร้างที่วัดได้	%พื้นที่วัด
27	● 55.88	37.57	34	● 55.57	31.09
	▽ 44.12	62.43		▽ 44.43	68.91
28	● 51.00	38.68	35	● 45.14	43.13
	▽ 49.00	61.31		▽ 54.86	56.87
29	● 56.41	36.5	36	● 48.61	39.61
	▽ 43.58	63.49		▽ 51.39	60.39
30	● 53.8	38.30	37	● 57.69	29.22
	▽ 46.19	61.70		▽ 42.31	70.78
31	● 44.93	45.89	38	● 53.60	37.92
	▽ 55.07	54.11		▽ 46.40	62.08
32	● 44.92	45.89	39	● 47.89	46.69
	▽ 55.08	54.11		▽ 52.10	53.31
33	● 50.03	49.09	40	● 50.35	41.22
	▽ 49.97	50.10		▽ 49.65	58.78

ค่าต่าง ๆ ทางสถิติของปริมาณเฟอร์ไรต์			ค่าต่าง ๆ ทางสถิติของปริมาณออกสเทนไนต์		
STDEV	● 5.048236	● 5.717418	STDEV	▽ 5.144228	▽ 5.79463
Average	● 51.253	● 38.9105	Average	▽ 48.82	▽ 61.0455
MEAN	● 50.35	● 38.68	MEAN	▽ 49.65	▽ 61.31
SUM	● 2050.12	● 1556.42	SUM	▽ 1952.8	▽ 2441.82

$$X = 53.60$$

$$n = 40$$

$$S = 0.52$$

$$CI = 0.16$$

$$\%error = 0.31\%$$

$$V_s = 50.35 \pm 0.16$$

หมายเหตุ ค่าที่แสดงการคำนวณในข้างต้นเป็นเพียงตัวอย่างเดี่ยวนั้น (ในที่นี้แทนค่าเฟอร์ไรต์)

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข แสดงปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท [25]

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของคลอไรด์ (พีพีเอ็ม)				
	0	5,000	10,000	15,000	20,000
0	14.6	13.8	13.0	12.1	11.3
1	14.2	13.4	12.6	11.8	10.8
2	13.8	13.1	12.3	11.5	10.8
3	13.5	12.7	12.0	11.2	10.5
4	13.1	12.4	11.7	11.0	10.3
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0
6	12.5	11.8	11.1	10.5	9.8
7	12.2	11.5	10.9	10.2	9.6
8	11.9	11.2	10.6	10.0	9.4
9	11.6	11.0	10.4	9.8	9.2
10	11.3	10.7	10.1	9.6	9.0
11	11.1	10.5	9.9	9.4	8.8
12	10.8	10.3	9.7	9.2	8.6
13	10.6	10.1	9.5	9.0	8.5
14	10.4	9.9	9.3	8.8	8.3
15	10.2	9.7	9.1	8.6	8.1
15	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0
17	9.7	9.3	8.8	8.3	7.8
18	9.5	9.1	8.6	8.2	7.7
19	9.4	8.9	8.5	8.0	7.6
20	9.2	8.7	8.3	7.9	7.4
21	9.0	8.6	8.1	7.7	7.3
22	8.8	8.4	8.0	7.6	7.1
23	8.7	8.3	7.9	7.4	7.0
24	8.5	8.1	7.7	7.3	6.9
25	8.4	8.0	7.6	7.2	6.7
26	8.2	7.8	7.4	7.0	6.6
27	8.1	7.7	7.3	6.9	6.5

ภาคผนวก ค

วิธีการตรวจสอบไอออนโลหะ

การตรวจสอบเชิงคุณภาพเพื่อหาไอออนในสารละลายด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้ตัวออกซิไดซ์หรือตัวรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับไอออนที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อให้เกิดการรวมตัวในรูปเกลือที่ละลายน้ำ หรือเกิดการตกตะกอนเป็นสีต่างๆ สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและมีความไวสูง โดยความเข้มข้นของไอออนที่สามารถตรวจสอบได้อยู่ในระดับ 0.01 ถึง 1 ไมโครกรัม

สำหรับการตรวจสอบไอออนที่เกิดจากการกักตัวของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์จะทำการตรวจสอบไอออนของธาตุองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่ เหล็ก โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม และแมงกานีส ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) ด้วย ไดเมทิลไกลออกซิม (Dimethylglyoxime)

1. หยดสารละลายที่ได้จากการทดลองจำนวน 1 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. หยดกรดทาร์ทาริก (tartaric acid) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงไปจำนวน 2 หยด เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดจากเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})
3. หยดสารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ลงไปจำนวน 1 หยด แล้วเขย่าให้เข้ากัน เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากนิกเกิลลัสไอออน (Ni^{2+})
4. หยดสารละลาย 1% ไดเมทิลไกลออกซิม ในแอลกอฮอล์จำนวน 3 ซีซี แล้วเขย่าให้เข้ากัน
5. หยดสารละลายแอมโมเนีย (NH_4OH) ความเข้มข้น 30% จำนวน 3 - 4 หยด เพื่อปรับสภาพสารละลายให้เป็นด่าง และเขย่าให้เข้ากัน สังเกตถ้าสารละลายมีสีแดงแสดงว่ามีเฟอร์รัสไอออนละลายอยู่

การตรวจสอบเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ด้วยโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์

1. หยดสารละลายที่ได้จากการทดลองจำนวน 1 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. หยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์จำนวน 5 หยดตามลงไปเขย่าให้เข้ากัน
3. หยดสารละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ ($K_4Fe(CN)_6$)ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตรลงไปจำนวน 1 หยด สังเกตถ้าสีของสารละลายถ้าเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินแสดงว่ามีเฟอร์ริกไอออนละลายอยู่

4. หยดสารละลายละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ ($K_4Fe(CN)_6$) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ลงไปจำนวน 1 หยด สังเกตถ้าสีของสารถ้าเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินแสดงว่ามีเฟอร์ริกไอออนละลายอยู่

การตรวจสอบโครมิกไอออน (Cr^{3+}) ด้วยสารละลายแอมโมเนีย (NH_4OH) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

1. หยดสารละลายที่ได้จากการทดลองจำนวน 1 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. หยดสารละลายแอมโมเนีย 30% จำนวน 4 หยด ถ้ามีโครมิกไอออนละลายอยู่จะเกิดการตกตะกอนลักษณะเป็นเจลสีเขียวของโครมิกไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$)
3. หยดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30 % จำนวน 4 หยด สังเกตโครมิกไฮดรอกไซด์ จะถูกออกซิไดซ์เป็นสารละลายสีเหลืองของโมโนโครเมตไอออน (CrO_4^{2-})

การตรวจสอบโมโนโครเมตไอออน (CrO_4^{2-}) ด้วยนิกเกิลไดเมทิลไกลออกซิม (Nikeldimethyglyoxime)

1. หยดสารละลายที่ได้จากการทดลองจำนวน 1 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. ปรับสารละลายให้มีสภาพเป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. นำไปให้ความร้อนจนแห้ง
4. หยดสารละลายสมดุของนิกเกิลไดเมทิลไกลออกซิม ในแอลกอฮอล์ (สีเขียว) จำนวน 1 หยด สังเกตถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงของนิกเกิลไกลออกซิม แสดงว่ามีโมโนโครเมตไอออนละลายอยู่

การตรวจสอบไดโครเมตไอออน ($[Cr_2O_7]^{2-}$) ด้วยเลดทุไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$)

1. หยดสารละลายที่ได้จากการทดลองจำนวน 1 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. หยดสารละลายเลดทุไนเตรท ($Pb(NO_3)_2$) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร 2 - 3 หยด และสังเกตถ้ามีไดโครเมตไอออนละลายอยู่ในสารละลายจะเกิดการตกตะกอนสีเหลืองของ $PbCrO_4$

การตรวจสอบนิกเกิลล์ไอออน (Ni^{2+}) ด้วยไดเมทิลไกลออกซิม (dimethylglyoxime)

1. ผสมสารละลายที่ได้จากการทดลองกับกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ อย่างละ 2 หยดเข้าด้วยกัน
2. หยดสารละลายอิมตัวของโซเดียมคาร์บอเนต ลงในสารละลายจำนวน 1 หยด เขย่าให้เข้ากัน
3. หยดสารละลายอิมตัวของโซเดียมคาร์บอเนต ลงในสารละลายจำนวน 1 หยด เขย่าให้เข้ากัน
4. หยดสารละลาย 1 % ไดเมทิลไกลออกซิมในแอลกอฮอล์จำนวน 2 หยด

5. หยดสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 30 % จำนวน 1 หยดสังเกตถ้ามีการตกตะกอนสีแดง แสดงว่ามีนิกเกิลลัสไฮดรอกไซด์ในสารละลาย

หรือทำการทดสอบหานิกเกิลลัสไฮดรอกไซด์อีกวิธีหนึ่ง โดยหยดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 30 % จำนวน 4 หยด เติมน้ำ NaOH 2 หยดเมื่อสารละลายเป็นด่าง จะสังเกตเห็นเกิดตะกอน สีเขียวอ่อนของ $Ni(OH)_2$ แสดงว่ามีนิกเกิลลัสไฮดรอกไซด์ (Ni^{2+}) [18]

การตรวจสอบแมงกานีสไอออน (Mn^{2+}) ด้วยสารละลายแอมโมเนียมซิลเวอร์ไนเตรท (Ammonical Silvernitrate)

1. หยดสารละลายที่ได้จากการทดลอง จำนวน 1 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. หยดสารละลายอิมิตัวของซิลเวอร์ไนเตรท จำนวน 2 หยด เพื่อให้คลอไรด์ตกตะกอน (สีขาว)
3. หยดสารละลายแอมโมเนียมซิลเวอร์ไนเตรท จำนวน 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน สังเกตถ้ามีการตกตะกอนสีน้ำตาลจนถึงดำของแมงกานีสออกไซด์ แสดงว่า มีแมงกานีสไอออนละลายอยู่ (การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมซิลเวอร์ไนเตรท มีวิธีการเตรียม คือ เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทอิมิตัว แล้วเติมด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 30% ลงไปจนซิลเวอร์ไนเตรทละลายหมด แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียลงไปอีกหนึ่งเท่า)

การตรวจสอบเปอร์แมงกาเนตไอออน (MnO_4^-) ด้วยกระดาษกรอง

1. ปรับสารละลายที่ได้จากการทดลองให้มีค่า pH เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง
2. หยดสารละลายลงในกระดาษกรอง 1 หยด รอ 3 นาที เพื่อให้เปอร์แมงกาเนตไอออนทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสในกระดาษกรองกลายเป็น MnO_2 ซึ่งจะเห็นเป็นวงสีน้ำตาลหรือสีดำ
3. ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำถ้ายังสังเกตเห็นสีดำจนถึงสีน้ำตาลบริเวณที่หยดสารละลายแสดงว่ามีเปอร์แมงกาเนตไอออนละลายอยู่

การตรวจสอบโมลิบดีนัมไอออน (MoO_4^{2-}) ด้วยเมทิลีนบลู

1. ผสมสารละลายที่ได้จากการทดลองจำนวน 1 ซีซี กับสารละลายเมทิลีนบลู (methylene blue) ความเข้มข้น 0.0012 % จำนวน 4 ซีซี ลงในหลอดทดลอง
2. หยดกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมล ต่อลิตร จำนวน 1 หยด
3. เติมน้ำซัลฟูริก (H_2SO_4) จำนวน 50 มิลลิกรัมลงไปและเขย่าจนละลายหมด
4. เตรียมสารละลายแบบเดียวกับข้อ 1 - 3 แต่ใช้สารละลายที่เก็บตัวอย่างก่อนการสแกนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผล

5. นำสารละลายทั้งสองไปต้มในน้ำเดือดทิ้งไว้ 3 นาที เปรียบเทียบกัน ถ้าพบว่าสารละลายที่ได้จากการทดลองมีสีหายไป หรือจางลงกว่าสารละลายเดิมที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบแสดงว่าสารละลายมีโมลิบดีนัมไอออนละลายอยู่



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

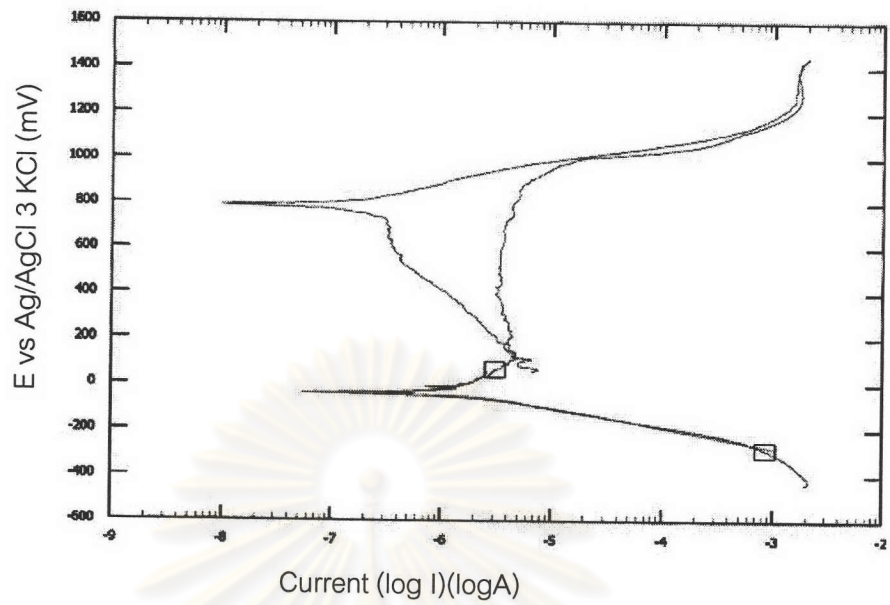
ภาคผนวก ง

เส้นโพลาริเซชันที่ได้จากการทดลอง

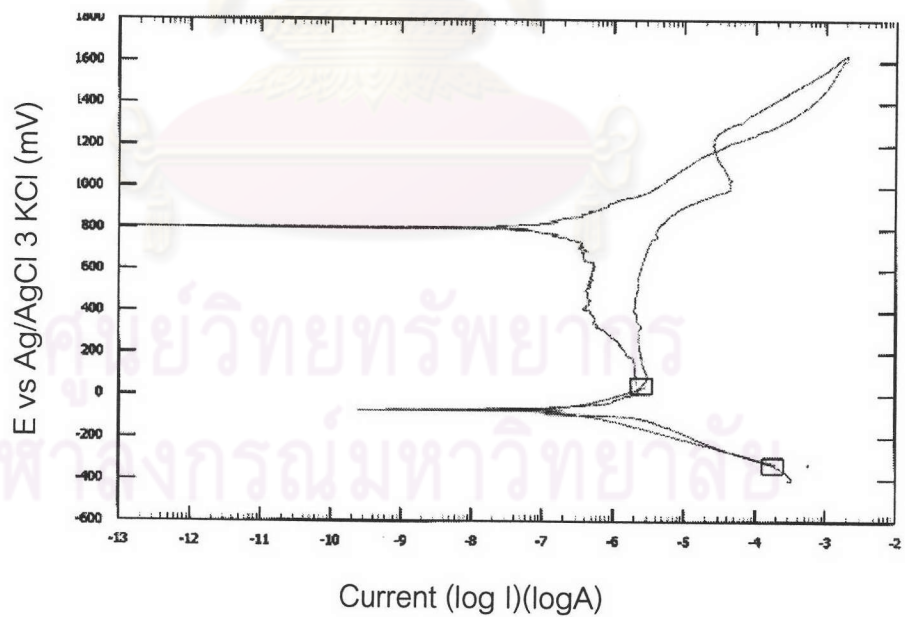
สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ

- ค่าพีเอชของสารละลายที่มีค่าเท่ากับ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12
- ความเข้มข้นของคลอไรด์มีค่าเท่ากับ 4,975, 9,900, 19,607 และ 33,816 พีพีเอ็ม
- สารละลายอิมิตัวด้วยออกซิเจนจากอากาศ
- อุณหภูมิของสารละลาย 25 องศาเซลเซียส
- อัตราการสแกนมีค่า 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- อัตราการกววนสารละลาย 450 รอบต่อนาที
- พื้นที่ของชิ้นงานจุ่มลงในสารละลายเท่ากับ 4 ตารางเซนติเมตร
- พื้นที่ของอิเล็กโทรดวัดกระแสจุ่มลงในสารละลายเท่ากับ 4 ตารางเซนติเมตร

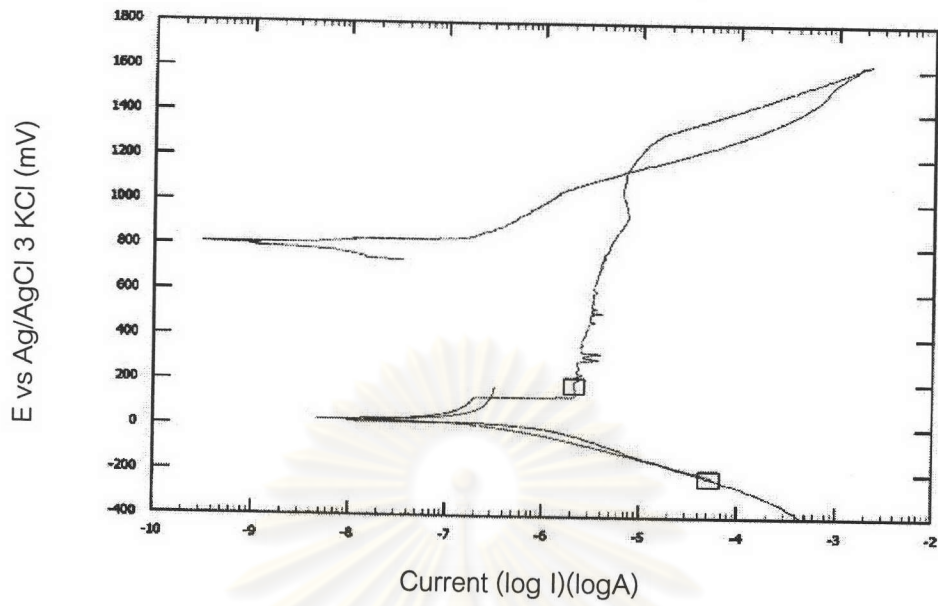
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



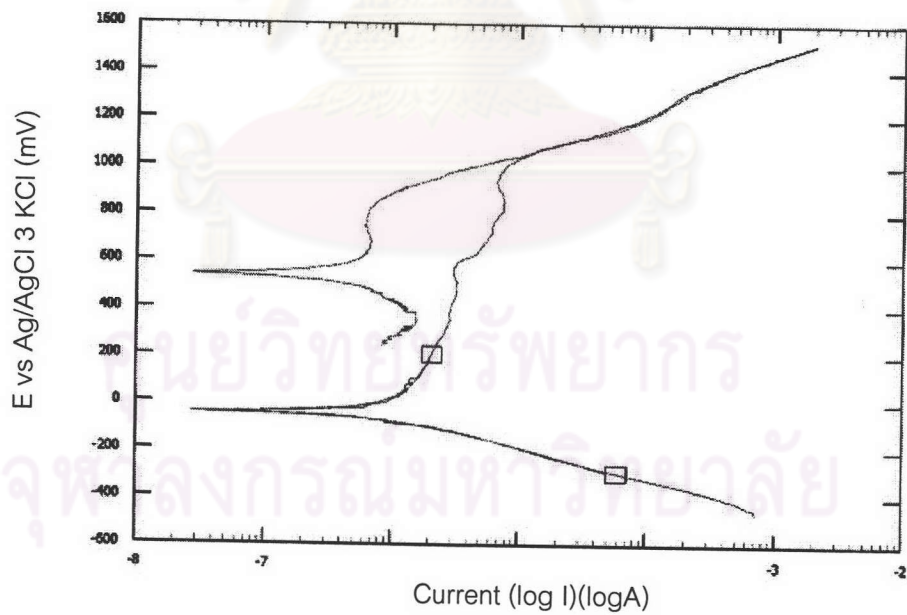
รูปที่ ง1 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม ,อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 2



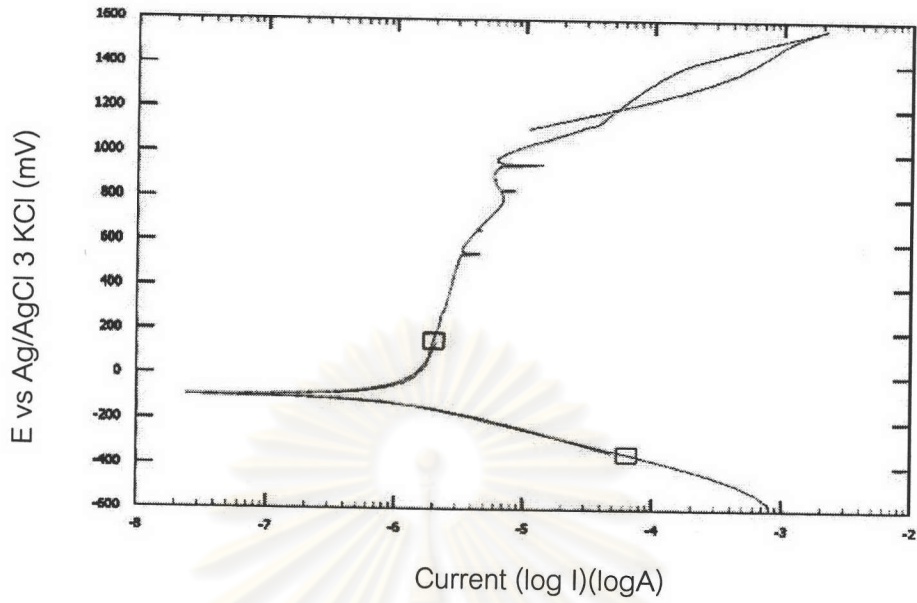
รูปที่ ง2 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม ,อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 4



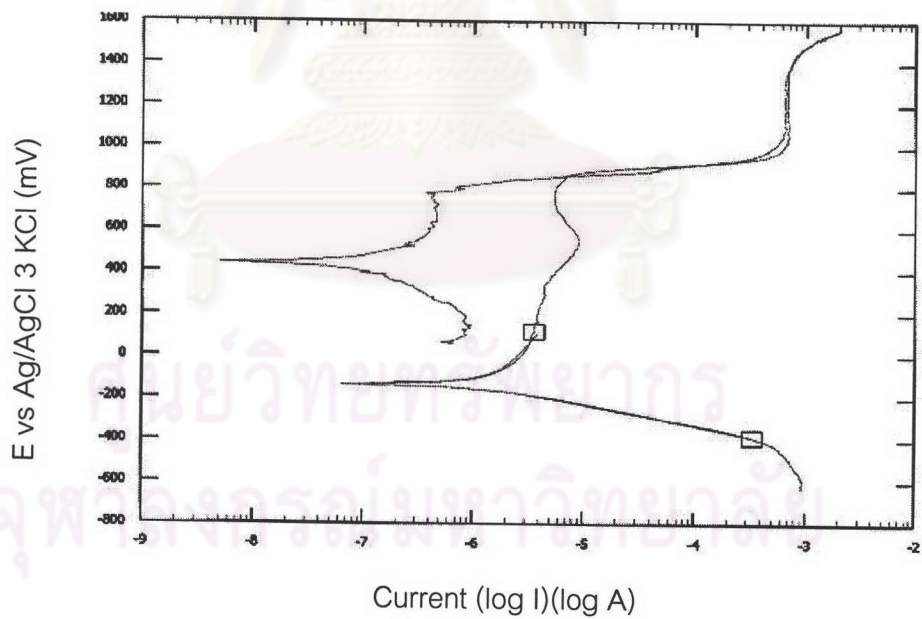
รูปที่ ๓3 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 6



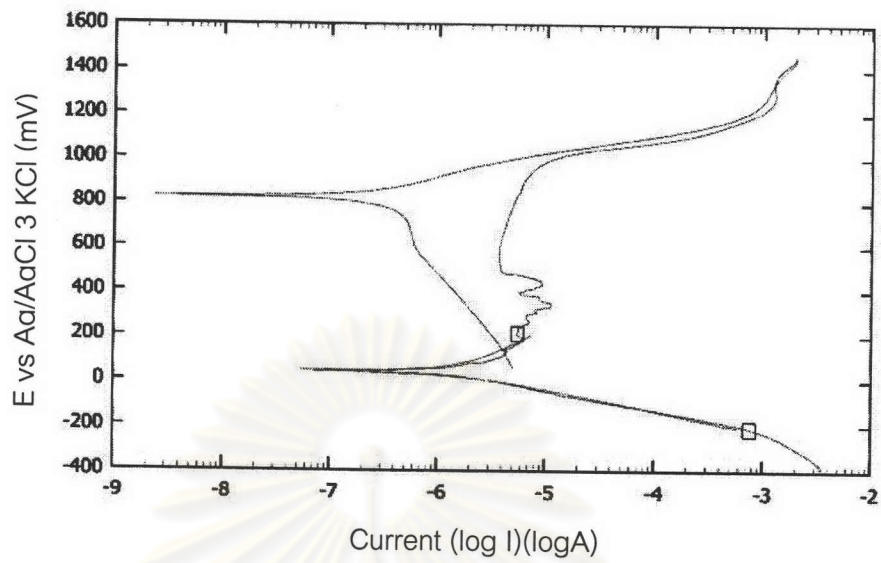
รูปที่ ๓4 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 8



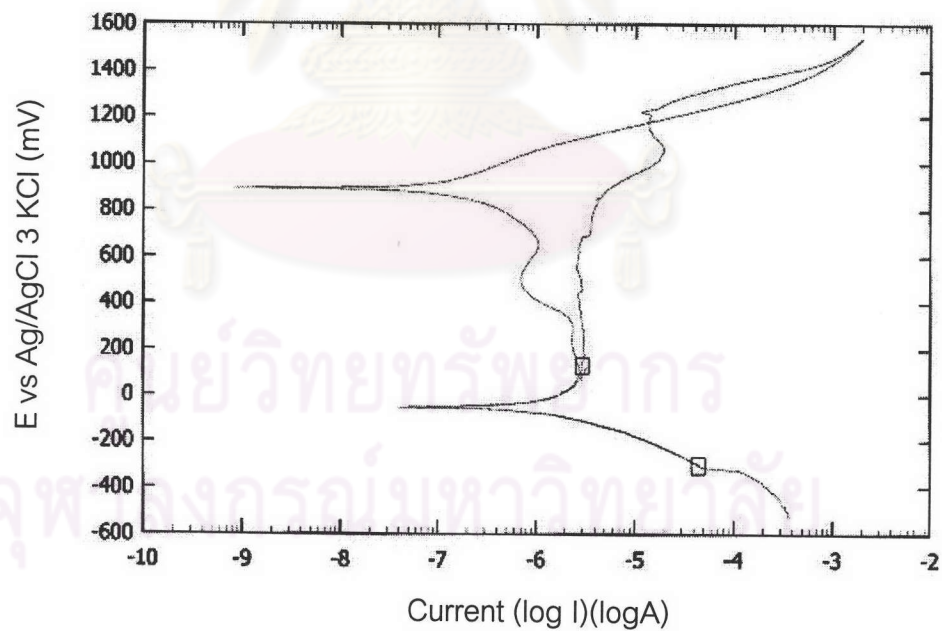
รูปที่ 5 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 10



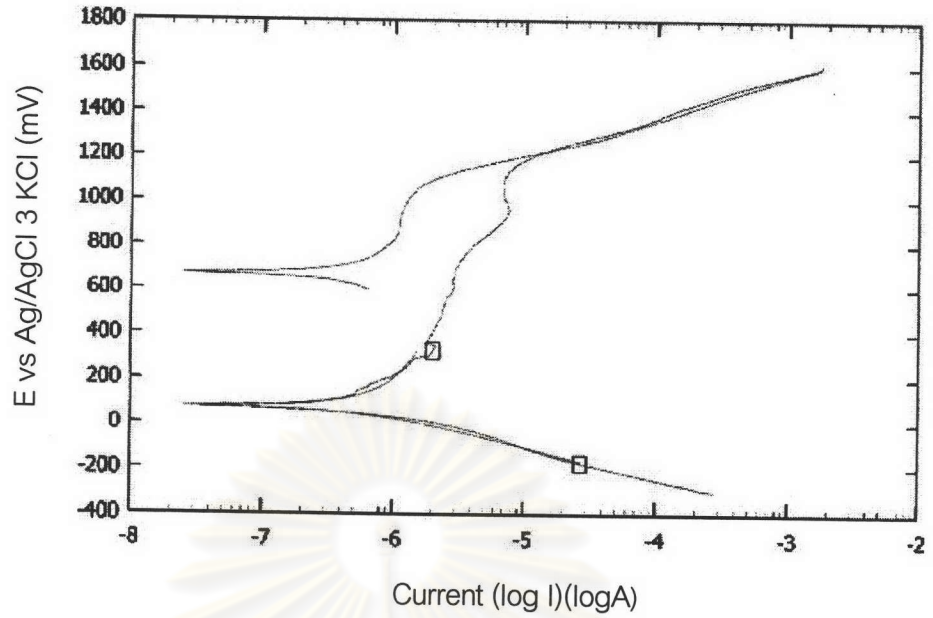
รูปที่ 6 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 4,975 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 12



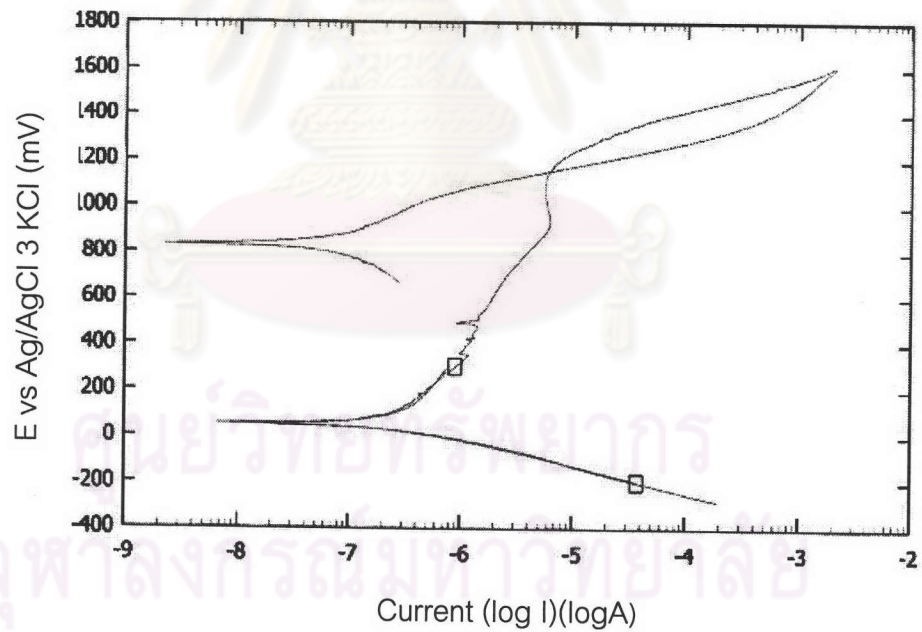
รูปที่ ๗7 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 2



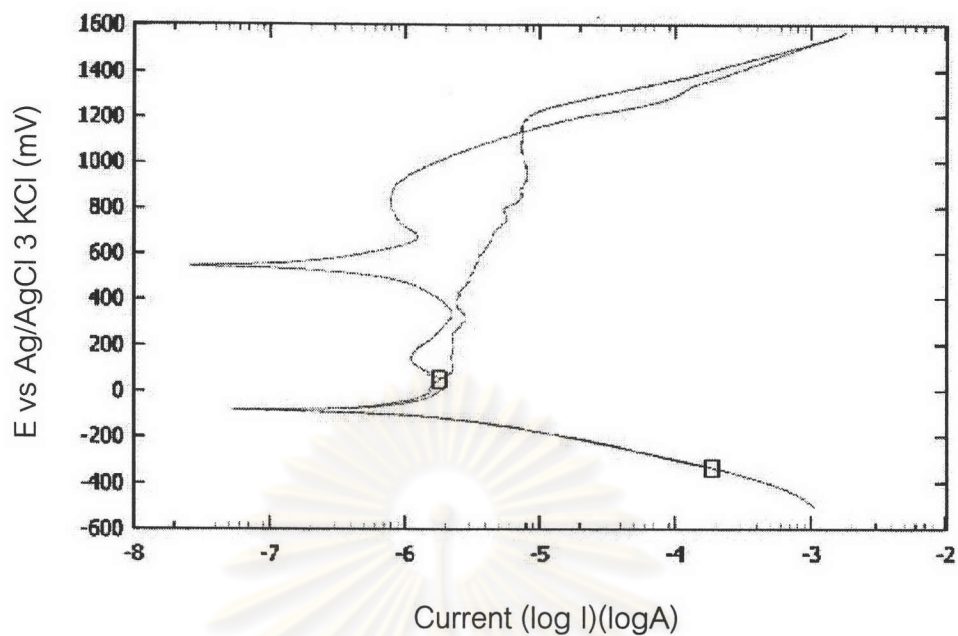
รูปที่ ๗8 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 4



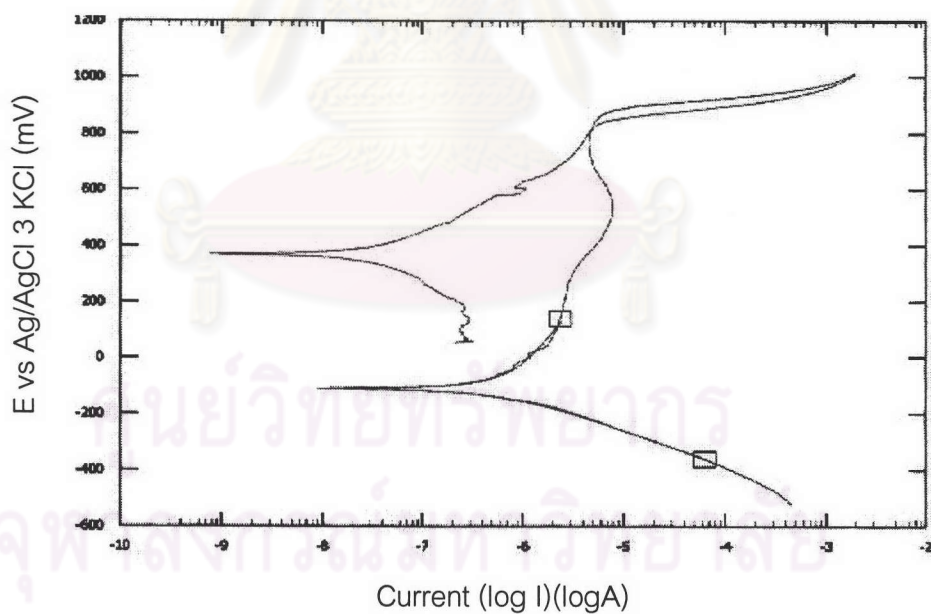
รูปที่ ๙9 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 6



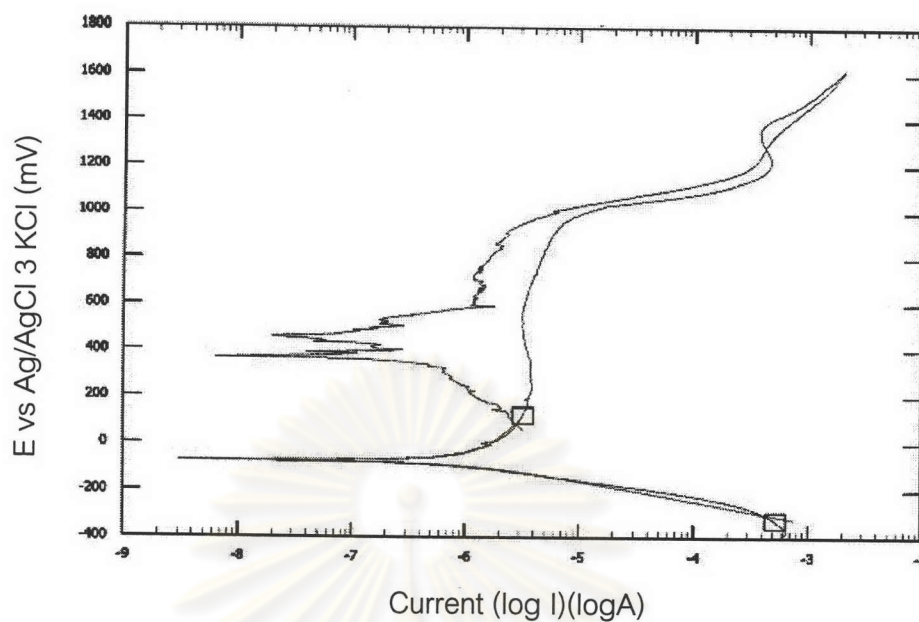
รูปที่ ๙10 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 8



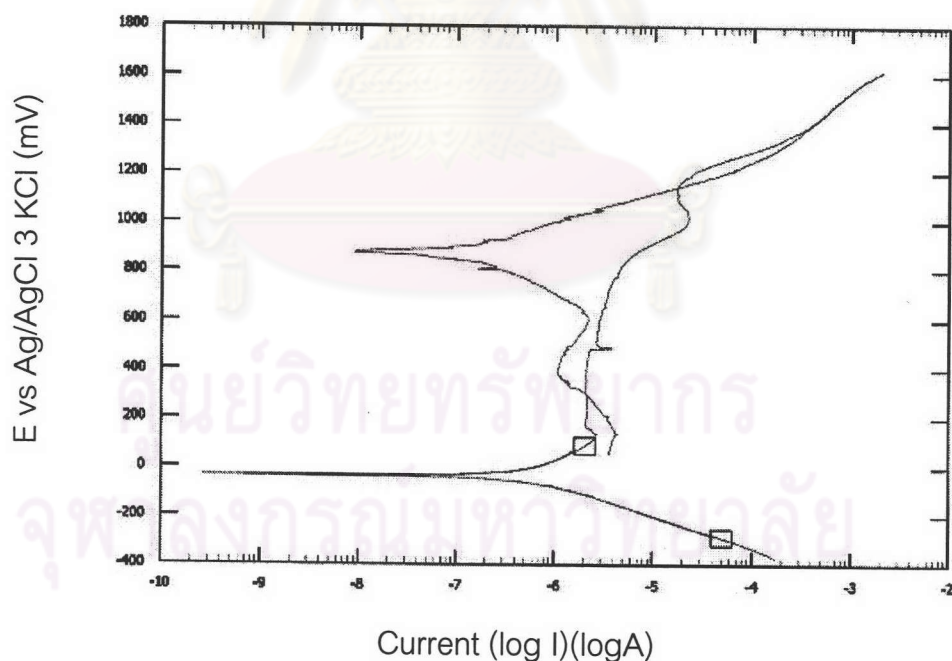
รูปที่ 11 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีไอซ์ 10



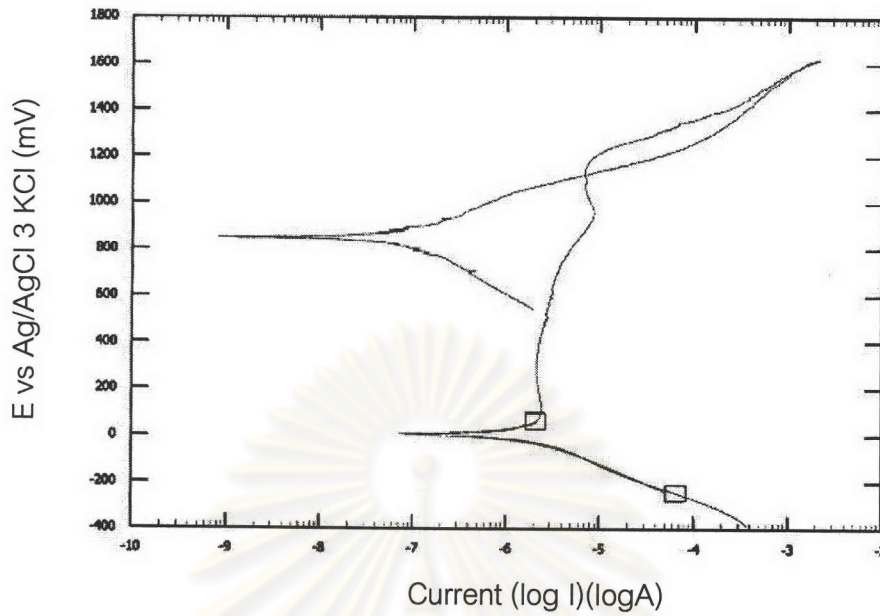
รูปที่ 12 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 9,900 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีไอซ์ 12



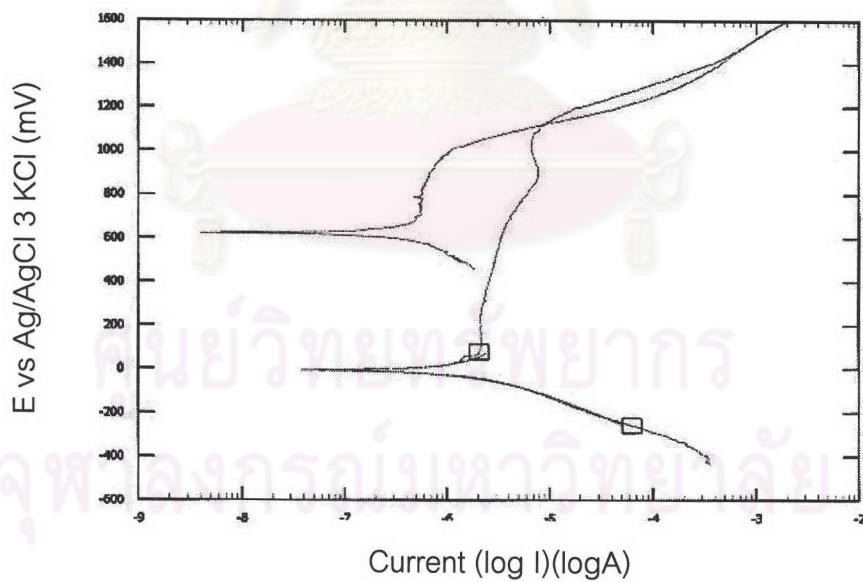
รูปที่ 13 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 2



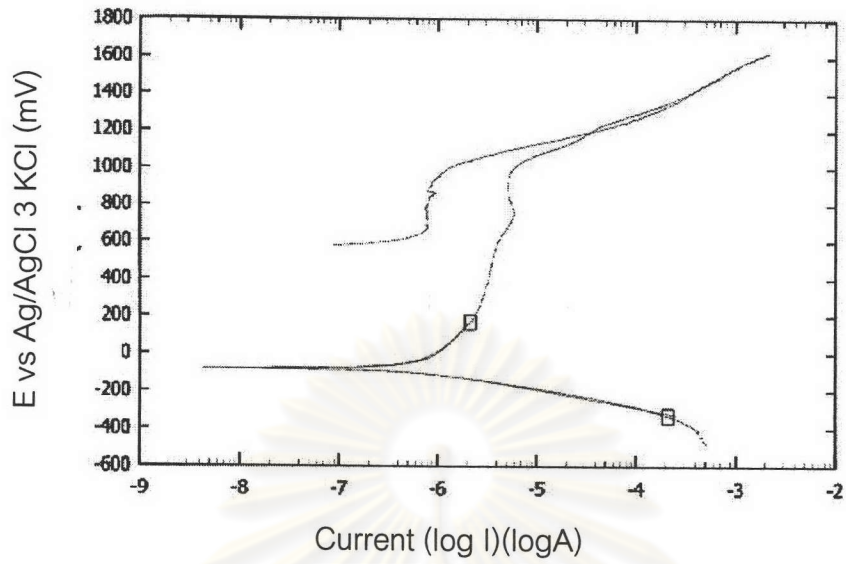
รูปที่ 14 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 4



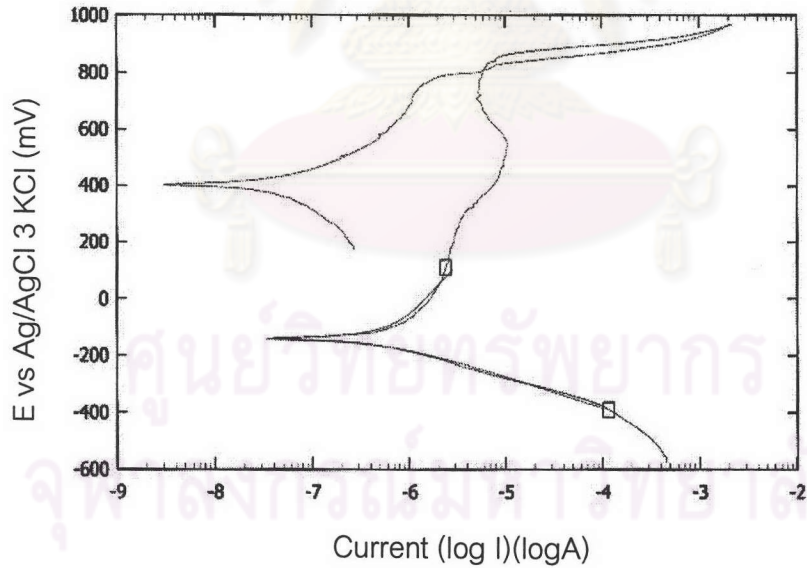
รูปที่ 15 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 6



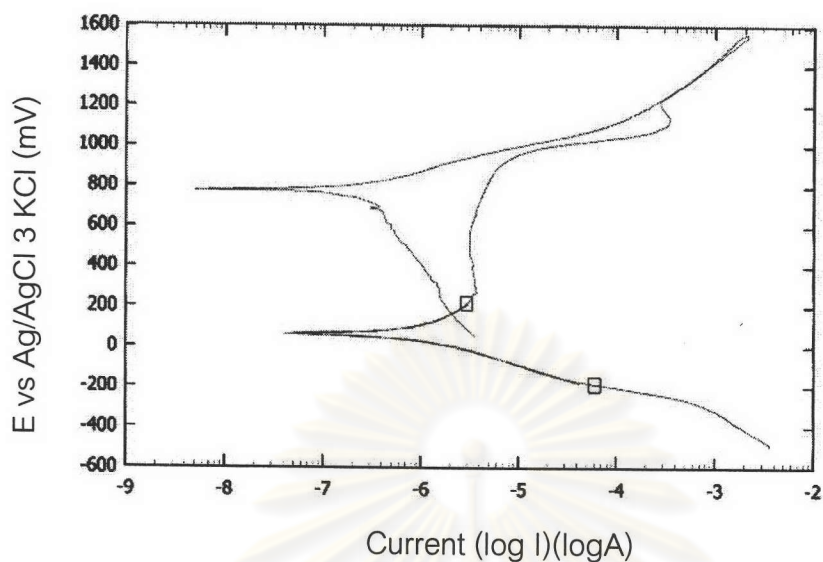
รูปที่ 16 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 8



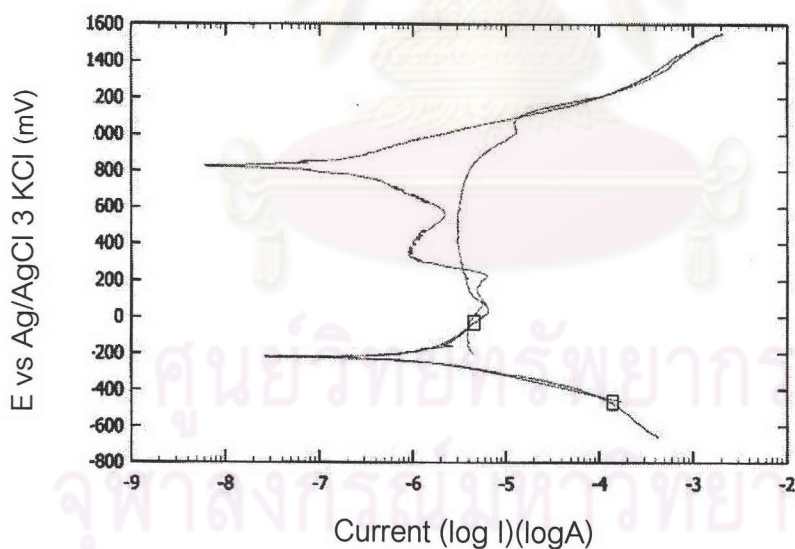
รูปที่ 17 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 10



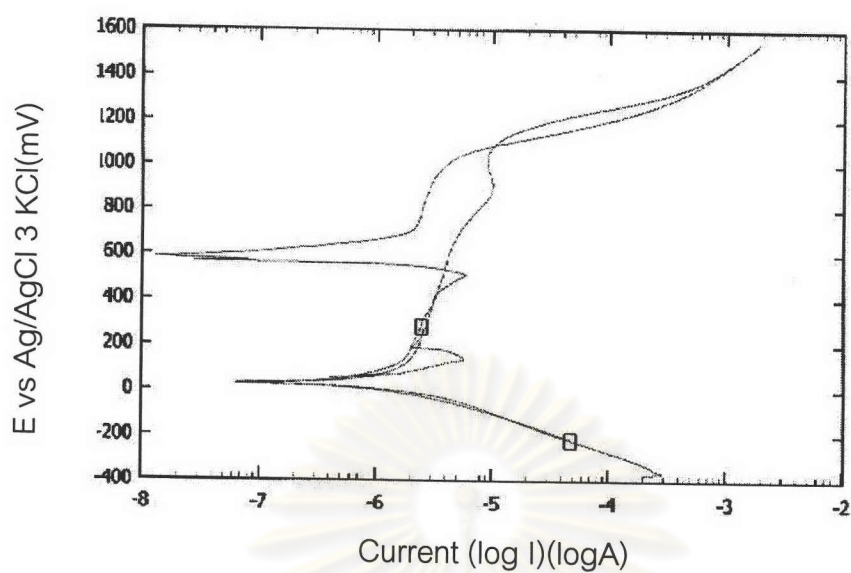
รูปที่ 18 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 19,607 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 12



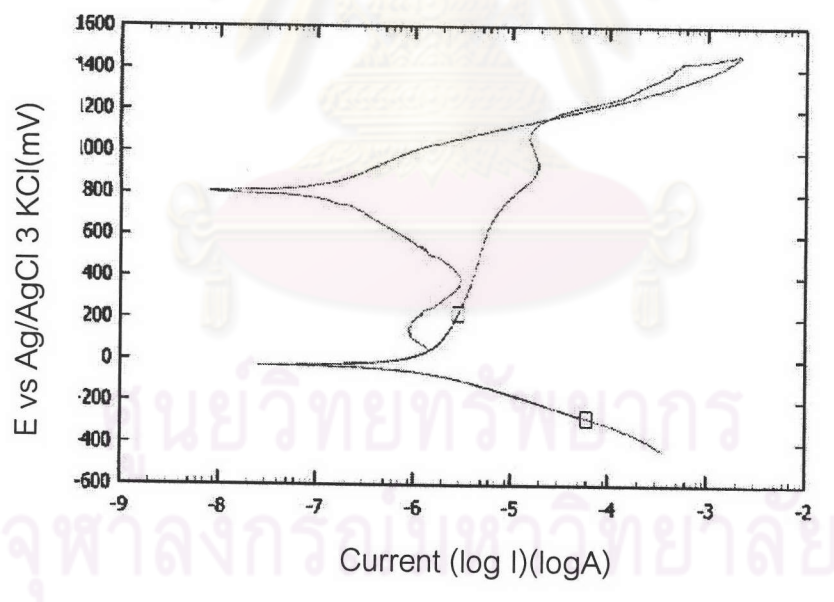
รูปที่ 19 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 2



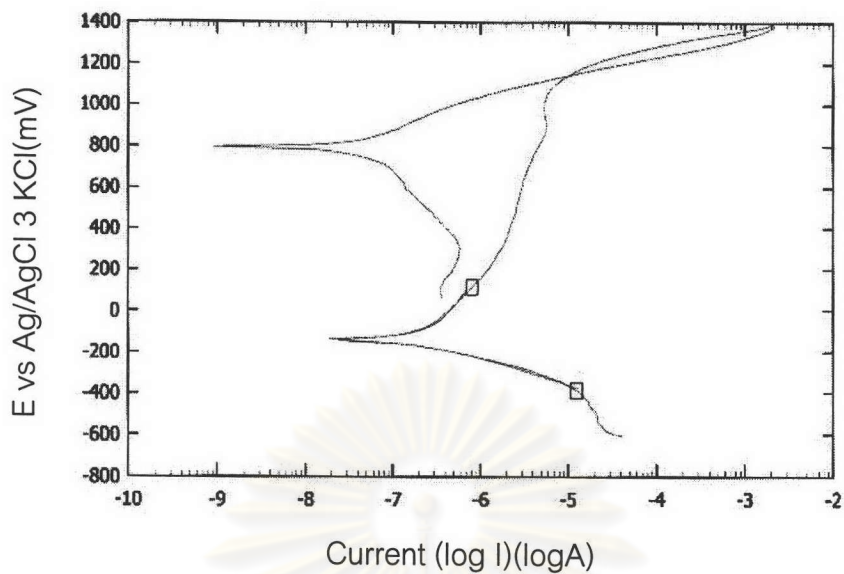
รูปที่ 20 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 4



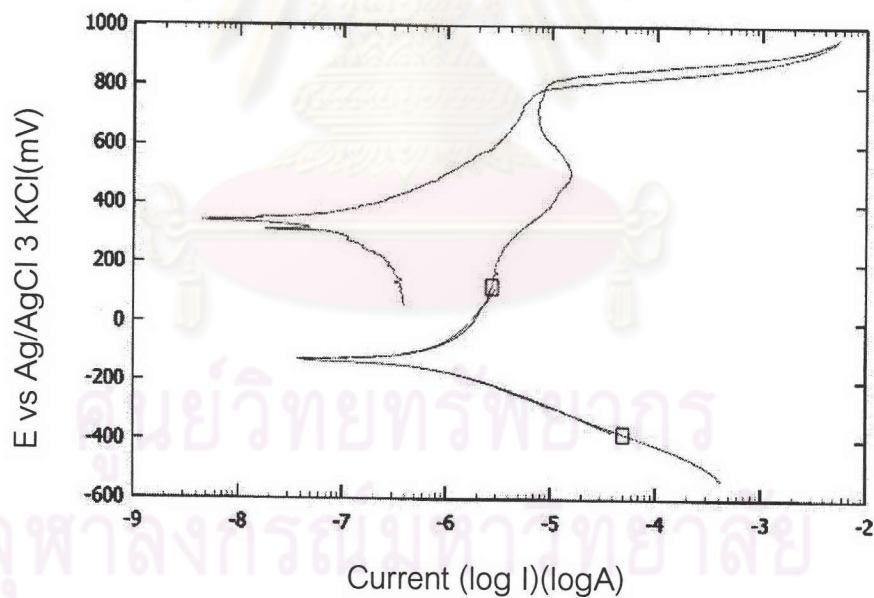
รูปที่ 21 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 6



รูปที่ 22 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 8



รูปที่ 23 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 10



รูปที่ 24 เส้นโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีความเข้มข้นคลอไรด์ 33,816 พีพีเอ็ม, อุณหภูมิของสารละลาย 25 °C และค่าพีเอช 12

ภาคผนวก จ

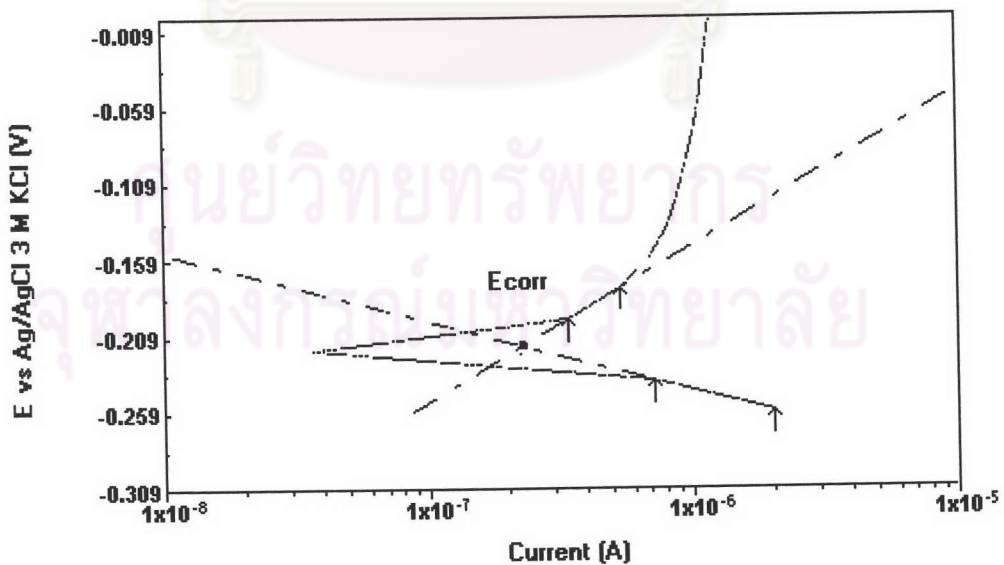
วิธีหาค่า E_{corr} , E_{pp} , E_t และ E_{pr}

ค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_t หาได้จากการใช้โปรแกรมลิเนียร์รีเกรสชัน (Linear regression program) ซึ่งติดตั้งอยู่ในเครื่องโพเทนชิโอสแตท ซึ่งมีวิธีการหาค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_t โดยการเรียกเพิ่มข้อมูลรูปเส้นโค้งโพลาริเซชันที่ต้องการหาค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_t แล้ว เปิดโปรแกรมลิเนียร์รีเกรสชัน จากนั้นกำหนดตำแหน่ง 2 จุดบนเส้นโค้งโพลาริเซชันแล้วใช้คำสั่งให้ทำลิเนียร์รีเกรสชัน โปรแกรมจะทำการคำนวณเส้นตรงระหว่างจุด 2 จุดที่กำหนดไว้ให้โดยอัตโนมัติรูปที่ จ1, จ2 และ จ3 แสดงการหาค่า E_{corr} , E_{pp} และ E_t ตามลำดับ [10]

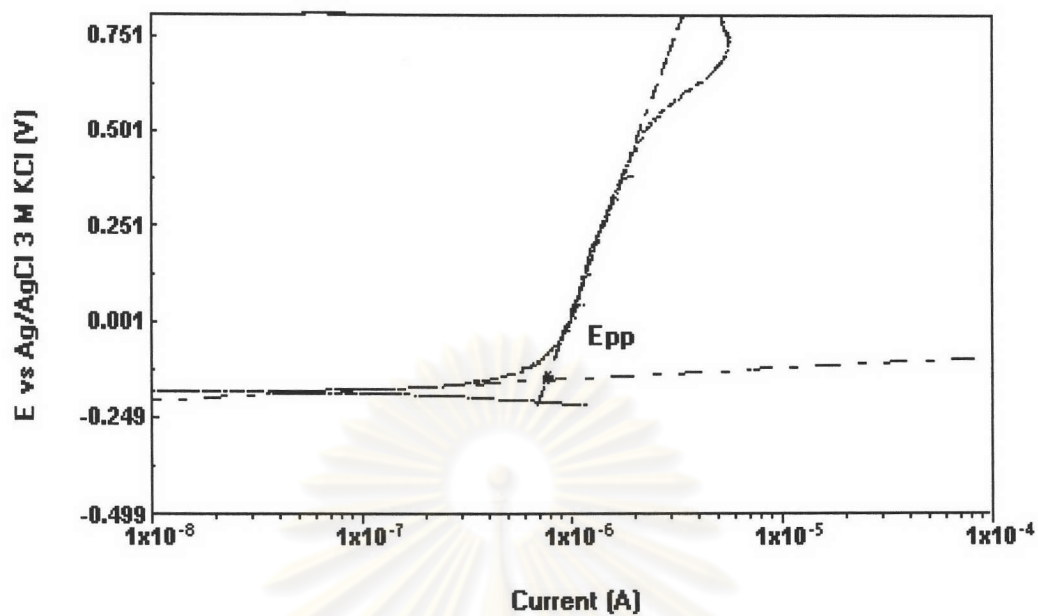
ในกรณีที่เส้นโค้งโพลาริเซชันมีจุดสูงสุดของค่ากระแสในช่วงการเปลี่ยนแปลงจากการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอไปเป็นช่วงพาสซีฟชันจะสามารถหาค่า E_{pp} จากจุดสูงสุดในกราฟได้โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ จ3

สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงจากกระแสพาสซีฟไปเป็นกระแสทรานพาสซีฟอย่างกะทันหัน จะกำหนดให้จุดดังกล่าวเป็นค่า E_t ดังแสดงในรูปที่ จ4

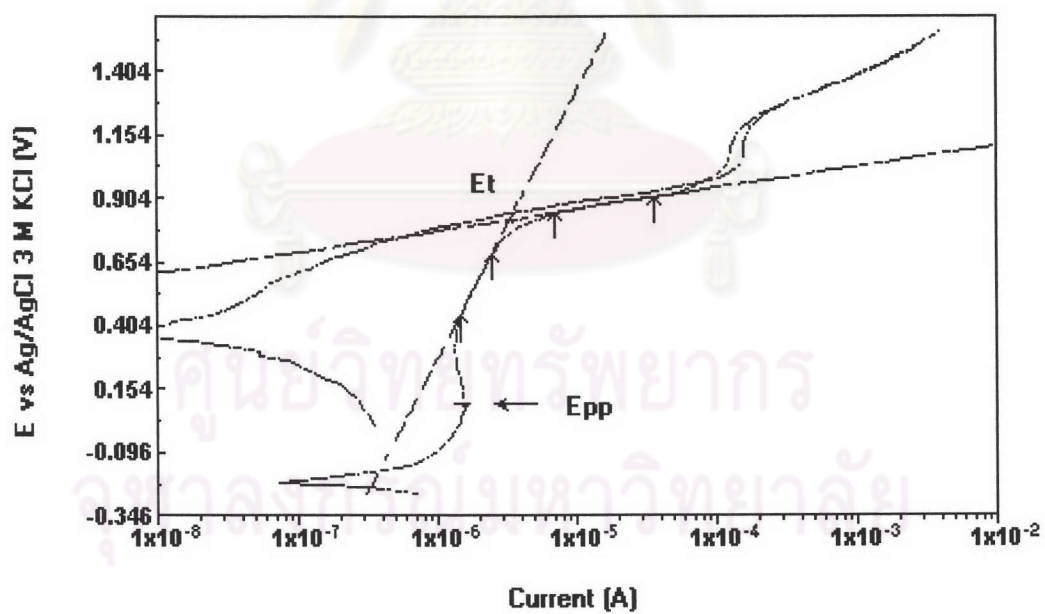
ส่วนค่า E_{pr} หาได้จากจุดตัดระหว่างการสแกนเส้นโค้งโพลาริเซชันขาไปและขากลับดังแสดงในรูปที่ จ4



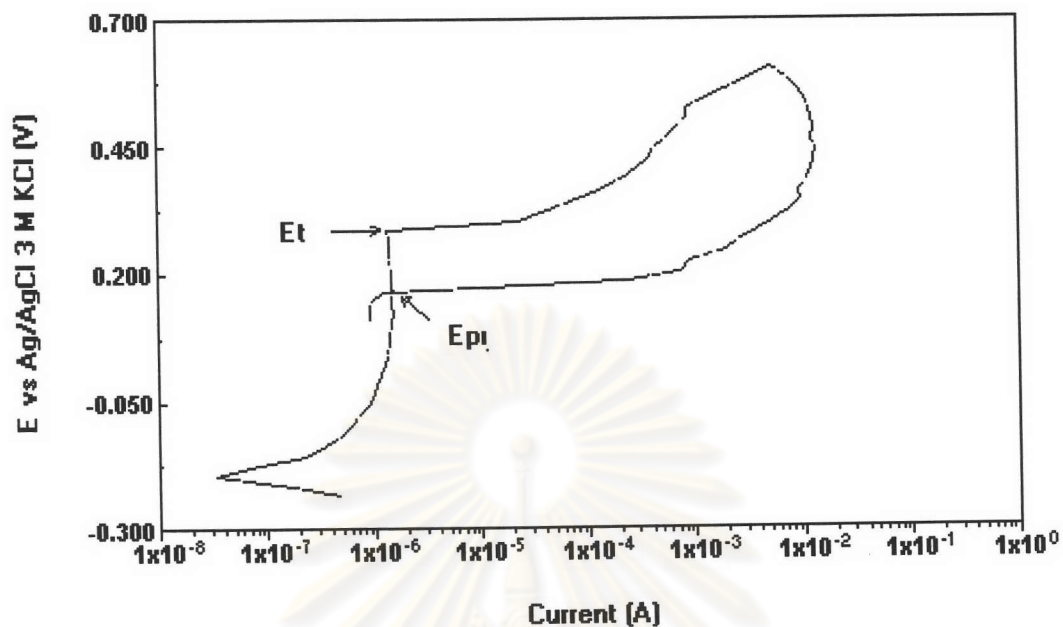
รูปที่ จ1 แสดงการหาค่า E_{corr} จากเส้นโค้งโพลาริเซชัน



รูปที่ ๑๒ แสดงการหาค่า E_{pp} จากเส้นโค้งโพลาริเซชัน



รูปที่ ๑๓ แสดงการหาค่า E_t และ E_{pp} จากเส้นโค้งโพลาริเซชัน



รูปที่ ๑๔ แสดงการหาค่า E_t และ E_{pr} จากเส้นโค้งโพลาริเซชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- ชื่อ : นางสาวพัทธิมา รัตนตระกูล
- เกิดเมื่อ : วันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2518
- สถานที่เกิด : จังหวัดมหาสารคาม
- ที่อยู่ : 313/267 สีนธนา ถ.นวมินทร์ 1 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กทม.
- การศึกษา :ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2541
- การฝึกอบรม :
มกราคม - เมษายน 2541 - ฝึกงานด้านการวิเคราะห์ความเสียหายและการกัดกร่อน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
- ประวัติการทำงาน :
25342 - ปัจจุบัน - วิศวกรห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ความเสียหายและการเสื่อมสภาพของวัสดุ (Failure Analysis and Material Degradation ;FAMD) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- ประสบการณ์ :
- การวิเคราะห์ความเสียหายและการตรวจสอบสภาพการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์
- วิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนและการแตกหักของชิ้นงาน รวมทั้งงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ
- ภาษา : อังกฤษ
- เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อ พ.ศ. 2544