

การวิเคราะห์วิธีการวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน สำหรับวัดความต้านทานการกัดกร่อนแบบ
รูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 430L และ 316L



นางสาวพรชชา ธงภักดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ON APPLICABILITY OF CYCLIC POLARIZATION METHOD FOR THE SUSCEPTIBILITY TO PITTING
CORROSION OF AISI 409L, 439L AND 316L STAINLESS STEELS



Miss Pansa Thongpakdee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Metallurgical Engineering
Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์วิธีการวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน สำหรับวัด
ความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิม
409L, 403L และ 316L

โดย

นางสาวพรรษา ธงภักดี

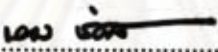
สาขาวิชา

วิศวกรรมโลหการ

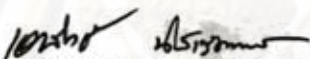
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरุญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ นิสาร์ตันพร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิสิฐธร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรรษา ธงภักดี: การวิเคราะห์วิธีการวัดเส้นโค้งโพลีกราฟโพลาริเซชัน สำหรับวัดความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L (ON APPLICABILITY OF CYCLIC POLARIZATION METHOD FOR THE SUSCEPTIBILITY TO PITTING CORROSION OF AISI 409L, 439L AND 316L STAINLESS STEELS) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
 รศ. ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ, 162 หน้า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p (pitting potential) คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ฟิล์มถูกทำลาย ค่า E_{pr} (protection potential) คือ ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน ค่า $E_p - E_{pr}$ และ พื้นที่ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loop area) คือ ส่วนที่แสดงความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนแบบรูเข็ม จากเส้นโค้งโพลีกราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กับความสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ซึ่งวัดโดยใช้ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม (pit density) การวัดเส้นโค้งโพลีกราฟโพลาริเซชันด้วยเครื่องโพเทนทิโอสแตต (potentiostat) ใช้ค่าเริ่มสแกน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25 โวลต์ ค่าอัตราการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าหรืออัตราการสแกน (scan rate) เท่ากับ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายสูงขึ้นมีผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน ค่า $E_p - E_{pr}$ และ พื้นที่ฮิสเทอรีซิสลดลง และมีแนวโน้มลดลงในสภาวะกรดมากกว่าสภาวะด่าง ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสภาวะกรดมากกว่าสภาวะด่าง สำหรับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน ค่า $E_p - E_{pr}$ และ พื้นที่ฮิสเทอรีซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิมในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนค่า E_{pr} และความหนาแน่นของจำนวนรูเข็ม มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

จากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นจำนวนรูเข็มกับค่า E_p ค่า $E_p - E_{pr}$ และ พื้นที่ฮิสเทอรีซิส พบว่า มีความสอดคล้องกันสำหรับการบ่งชี้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิม กล่าวคือ ถ้าเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่า E_p ค่า $E_p - E_{pr}$ และ พื้นที่ฮิสเทอรีซิสสูง แสดงว่ามีความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มสูง ส่งผลให้จำนวนรูเข็มต่อหน่วยพื้นที่มีค่าต่ำ โดยเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L มีแนวโน้มในการต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L และ 409L ตามลำดับ

ภาควิชา...วิศวกรรมโลหการ...ลายมือชื่อนิสิต..... นวรัตน์ ธงภักดี.....
 สาขาวิชา...วิศวกรรมโลหการ...ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... กอบบุญ หล่อทองคำ.....
 ปีการศึกษา..... 2552.....



4870682321: MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEYWORDS : CYCLIC POLARIZATION / PITTING CORROSION / AISI 409L / AISI 439L / AISI 316L

PANSA THONGPAKDEE: ON APPLICABILITY OF CYCLIC POLARIZATION METHOD
FOR THE SUSCEPTIBILITY TO PITTING CORROSION OF AISI 409L, 439L AND 316L.

ADVISOR: ASSOC. PROF. GOBBOON LOTHONGKUM. Dr-Ing, 162 pp

In the study of pitting corrosion behaviors of metal by cyclic polarization method, the variables, which were evaluated from the cyclic polarization curve to identify pitting corrosion behavior, compose of E_p (pitting potential), E_{pr} (protection potential), and hysteresis loop area. E_p is the potential which its film is destroyed. E_{pr} is the protection potential or repassivation potential. Hysteresis loop is the area in the loop between E_p and E_{pr} .

The objectives of this research are to study the relationships between E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} and hysteresis loop area from the cyclic polarization curve of stainless steel AISI 409L, 439L, 316L and the pitting corrosion resistance in the term of pit density. The steels were tested in the sodium chloride solutions with concentrations of 0, 0.05, 0.5, 1.0, and 3.5 percent by weight and pH of 4, 7 and 10 at 25 degree Celsius. The starting potential was at a lower value of 0.25 volt than E_{corr} (corrosion potential). Scan rate was 0.166 millivolt per second. The results from this study show that the increase of chloride in the solution resulted in the decrease of E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} and hysteresis loop area. However, in acid condition those parameter were lower than in base condition. When pH of solution increased, those parameter increased, except E_{pr} . The result of AISI 409L, 439L and 316L stainless steel in 1.0 and 3.5 percent by weight of sodium chloride solution, showed that E_p , E_p-E_{pr} and hysteresis loop area tended to increase when pH increased. On the other hand, E_{pr} and pit density decreased with higher pH.

From this study, the relationship between pit density and E_p , E_{pr} and hysteresis loop area were in agreement with pitting corrosion resistant index. If the metal has high E_p , E_{pr} and hysteresis loop area, it indicates that metal has high pitting corrosion resistant which results in lower pit density on metal surface. AISI 316L stainless steel has better pitting corrosion resistance than AISI 439L and 409L stainless steel by order.

Department.....Metallurgical Engineering...Student's signature...*Pansa Thongpakdee*.....
Field of studies...Metallurgical Engineering... Advisor's...*Gobboon Lothongkum*.....
Academic year ...2009.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบ
ของพระคุณอาจารย์ คณะที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ Prof. Dr. E.M.
Gutman แห่งมหาวิทยาลัย Ben-Gurion University of the Negev ซึ่งได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ
และแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยด้วยดีตลอดมา ตลอดจนขอขอบพระคุณ
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ
บริษัทไทยน็อคซ์ สเตนเลส จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เหล็กกล้าไร้สนิม สำหรับการวิจัย
ในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนอุดหนุน
งานวิจัยนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการทุกท่านที่ได้ให้ความ
ช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ทำยนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนในด้านต่างๆ
ด้วยดีตลอดมาจนสำเร็จการศึกษาและขอบคุณเพื่อนน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ
ให้แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น.....	3
2.1 เส้นโพลาริเซชัน (Polarization Curve).....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง.....	13
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	14
4 ผลการทดลองและอภิปราย.....	16
5 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
รายการอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	59
ภาคผนวก ค.....	70

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ง.....	75
ภาคผนวก จ.....	121
ภาคผนวก ฉ.....	137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	162



ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า pitting potential และขนาดของพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส.....	8
2.2	ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ของโลหะผสมเกรดทางการค้าต่างๆ ในสารละลาย LiBr ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	9
3.1	ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L.....	13
4.1	ค่าการวัดค่า Ecorr, Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า Ecorr 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์.....	17
4.2	ค่าการวัดค่า Ecorr, Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า Ecorr 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์.....	18
4.3	ค่าการวัดค่า Ecorr, Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า Ecorr 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์.....	19
4.4	ค่าที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่กำหนด.....	24
4.5	ค่าที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายที่กำหนด.....	25
4.6	ค่าที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่กำหนด.....	26
ค.1	ค่า Ecorr, Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์.....	70

ตารางที่	หน้า
จ.45	ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีตเตอร์ฮีต จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ พีเอช 10..... 136
จ.1	ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลาย ไซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10..... 156
จ.2	ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลาย ไซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10..... 157
จ.3	ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลาย ไซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10..... 158
จ.4	ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลาย ไซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10..... 159
จ.5	ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลาย ไซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10..... 160
จ.6	ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลาย ไซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10..... 161

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญของเส้นโพลาริเซชัน.....	4
2.2	ภาพแสดงจุดต่างๆ ที่สำคัญของเส้นโพลาริเซชัน.....	4
2.3	ภาพแสดงจุดต่างๆ ที่สำคัญของเส้นโพลาริเซชันและการหาค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส	5
2.4	กราฟไซคลิกโพลาริเซชันของ เหล็ก AISI 304 และ C-276 alloy ที่ได้จากการทดลองของ R. Baboian และ G.S. Haynes.....	7
2.5	(a) เส้นโพลาริเซชันในช่วงเพิ่มศักย์ไฟฟ้า และ (b) เส้นโพลาริเซชันในช่วงลดศักย์ไฟฟ้า.....	7
2.6	กราฟเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน แสดงความไวในการเกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่ของโลหะผสม Ni-Ti ในสารละลายของ Hank (a) เย็นตัวที่ -3°C (b) เย็นตัวที่ -21°C	8
2.7	กราฟไซคลิกโพลาริเซชัน ของโลหะผสมเกรดทางการค้าต่างๆ ในสารละลาย LiBr ที่อุณหภูมิ 25°C	9
2.8	เส้นโค้งโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ที่กราฟสแกนวงกลับที่ค่าความหนาแน่นกระแสที่ต่างกัน.....	10
2.9	(ก) เส้นกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน (Potentiokinetic Polarization) ของเหล็กในสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ผสม ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ และ (ข) แผนภูมิพอร์เบิร์ตที่สร้างขึ้นจากชุดข้อมูลในรูป (ก).....	11
2.10	(ก) เส้นกราฟ โพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน ของเหล็กในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสม 10^{-2} โมลาร์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ และ (ข) แผนภูมิพอร์เบิร์ตที่สร้างขึ้นจากชุดข้อมูลในรูป (ก).....	12
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ecorr, Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส กับค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า Ecorr 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	20

ภาพที่	ณ หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} และพื้นที่ฮีสเตอรีซิส กับค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	20
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} และพื้นที่ฮีสเตอรีซิส กับค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	21
4.4 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในน้ำบริสุทธิ์ อุณหภูมิ 25°C ที่ค่าพีเอช 7.....	22
4.5 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 25°C ที่ค่าพีเอช 7.....	23
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	28
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	28
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	29
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_{pr} ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	30
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_{pr} ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	31
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_{pr} ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	31
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_p - E_{pr}$ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	32
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_p - E_{pr}$ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	33
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง $E_p - E_{pr}$ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ.....	33

ภาพที่	หน้า
ก.1 การหาค่า Ecorr จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชัน.....	56
ก.2 การหาค่า Ep จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชัน.....	57
ก.3 การหาค่า Epr จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชัน.....	57
ก.4 การหาค่าพื้นที่ کرنีของรูปวงปิดใดๆ.....	58
ข.1 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์.....	61
ข.2 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์.....	62
ข.3 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์.....	63
ข.4 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์.....	64
ข.5 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์.....	65
ข.6 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์.....	66
ข.7 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 316L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์.....	67
ข.8 เส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 316L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์.....	68

ภาพที่	ท หน้า
ข.9	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 316L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์..... 69
ง.1	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4..... 76
ง.2	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7..... 77
ง.3	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10..... 78
ง.4	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4..... 79
ง.5	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7..... 80
ง.6	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10..... 81
ง.7	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4..... 82
ง.8	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7..... 83
ง.9	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10..... 84

ภาพที่		บ หน้า
ง.30	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10.....	105
ง.31	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 4.....	106
ง.32	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 7.....	107
ง.33	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 10.....	108
ง.34	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4.....	109
ง.35	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7.....	110
ง.36	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 10.....	111
ง.37	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 4.....	112
ง.38	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 7.....	113
ง.39	เส้นโค้งโซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 10.....	114

ภาพที่	ป หน้า
ง.40	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 4..... 115
ง.41	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 7..... 116
ง.42	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 10..... 117
ง.43	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 4..... 118
ง.44	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7..... 119
ง.45	เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่า พีเอช 10..... 120
จ.1	ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้า ไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4..... 138
จ.2	ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้า ไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 7..... 139
จ.3	ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้า ไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 10..... 140
จ.4	ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้ สนิม AISI 439L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ พีเอช 4..... 141

ภาพที่	หน้า
<p>ฉ.15 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่พีเอช 10.....</p>	152
<p>ฉ.16 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่พีเอช 4.....</p>	153
<p>ฉ.17 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่พีเอช 7.....</p>	154
<p>ฉ.18 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่พีเอช 10.....</p>	155

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นการกัดกร่อนที่รุนแรงเพราะมักจะกัดโลหะให้ทะลุได้โดยที่สภาพทั่วไปของโลหะยังสมบูรณ์ โดยเฉพาะเหล็กกล้าไร้สนิมในสารละลายที่มีไฮเดียมคลอไรด์จะพบว่าถูกกัดกร่อนแบบรูเข็มมาก การศึกษาพฤติกรรมของการกัดกร่อนแบบรูเข็ม วิธีที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือวิธีวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง วิธีวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันเป็นวิธีที่อาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องไฟฟ้าเคมีและกลไกการกัดกร่อน ตัวแปรที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันเพื่อนำมาศึกษาพฤติกรรมของการกัดกร่อนแบบรูเข็มประกอบด้วย ค่า E_p (pitting potential) คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ฟิล์มถูกทำลายเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ค่า E_{pr} (protection potential) คือ ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน และ ค่าพื้นที่ฮิสเทอรีซิส (hysteresis loop) คือ บริเวณที่แสดงความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนแบบรูเข็ม โดยเป็นค่าที่แสดงพื้นที่ระหว่างค่า E_p และค่า E_{pr}

เนื่องจากการแปรผลค่า E_p ค่า E_{pr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส ที่ได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน เพื่อบ่งชี้ความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ยังมีความไม่ชัดเจน จึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรที่ได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันกับความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มเพื่อหาข้อสรุปที่ชัดเจน

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p ค่า E_{pr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสภาวะการทดลองที่กำหนดกับความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 วัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน (cyclic polarization curve) ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องโพเทนทิโอสแตต (potentiostat) โดยใช้ค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน E_{corr} (corrosion potential) 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์

1.3.2 หาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ค่าศักย์ไฟฟ้าการป้องกัน และพื้นที่ฮีสเทอริซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของ 1.3.1 แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์กับค่าพีเอชและความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างค่า E_p ค่า E_{pr} และพื้นที่ฮีสเทอริซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสภาวะการทดลองที่กำหนดกับความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม

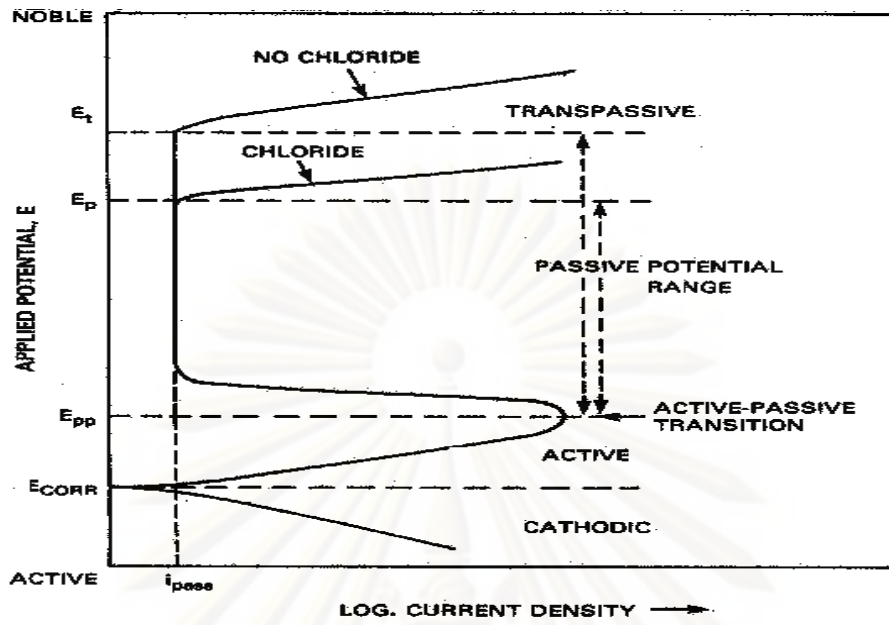
บทที่ 2

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

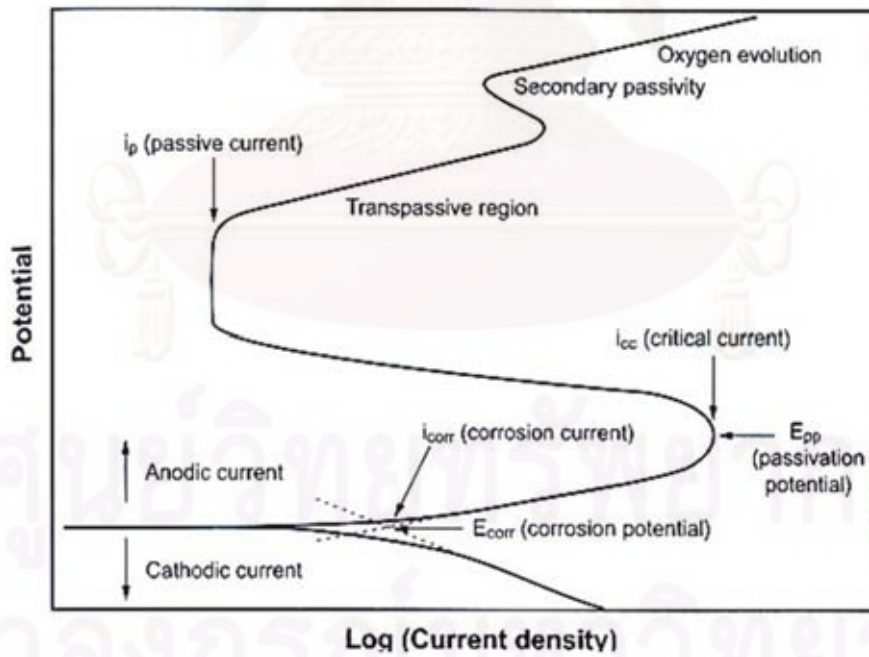
2.1 เส้นโพลาริเซชัน (polarization Curve) [13]

การศึกษากลไกการเกิดฟิล์ม (passivity) ของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยอาศัยกราฟเส้นโพลาริเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นกราฟได้จากการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าไปทางโนเบิล (noble) หรือสภาพเฉื่อย จนถึงศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน และเพิ่มศักย์ไฟฟ้าขึ้นไปอีก ระหว่างนั้นบันทึกค่ากระแสที่ได้นำมาเขียนกราฟจะได้ ดังรูปที่ 2.1 ในรูปแสดงส่วนประกอบของเส้นโพลาริเซชัน และค่าต่าง ๆ ที่ได้จากกราฟโพลาริเซชัน เป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมของวัสดุในสารละลายที่วัดค่ากราฟเส้นโพลาริเซชัน

จากกราฟรูปที่ 2.1 ทราบว่าจุดตัดของเส้นกราฟแคโทดิก (cathodic curve) และเส้นกราฟแอโนดิก (anodic curve) คือ ตำแหน่งแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าจากจุดนี้ถึงจุดหนึ่ง กระแสกลับลดลงเนื่องจากเกิดชั้นฟิล์มพาสซีฟบนผิวโลหะ ที่จุดนี้เป็นจุด เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมแบบแอคทีฟ-พาสซีฟ (active-passive transition) และค่าศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าพาสซีฟเวชันปฐมภูมิ (primary passivation potentials) ใช้สัญลักษณ์ E_{pp} เมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าต่อไปกระแสจะเริ่มลดลงจนคงที่ที่ค่าหนึ่งแม้จะเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้แก่อีกขึ้นงานต่อไปความหนาแน่นของกระแสก็ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ช่วงกราฟที่กระแสดังนี้เรียกว่าช่วงพาสซีฟ (passive zone) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวที่แสดงถึงความทนทานของฟิล์มบนผิวโลหะ ถ้ายังเพิ่มศักย์ไฟฟ้าต่อไปอีกจนถึงค่าหนึ่งที่ชั้นฟิล์มพาสซีฟแตกทำให้กระแสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้ถ้าโลหะเริ่มถูกกัดกร่อนเฉพาะที่ คือ ถูกกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุม (pitting corrosion) จะเรียกว่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือค่า E_p หากป้อนศักย์ไฟฟ้าเกินค่า E_p จะเกิดการแตกของชั้นฟิล์มพาสซีฟจุดใหม่เพิ่มขึ้น และชั้นฟิล์มจุดที่แตกเดิมจะมีการขยายตัวของรูเข็มหรือหลุมใหญ่ขึ้น

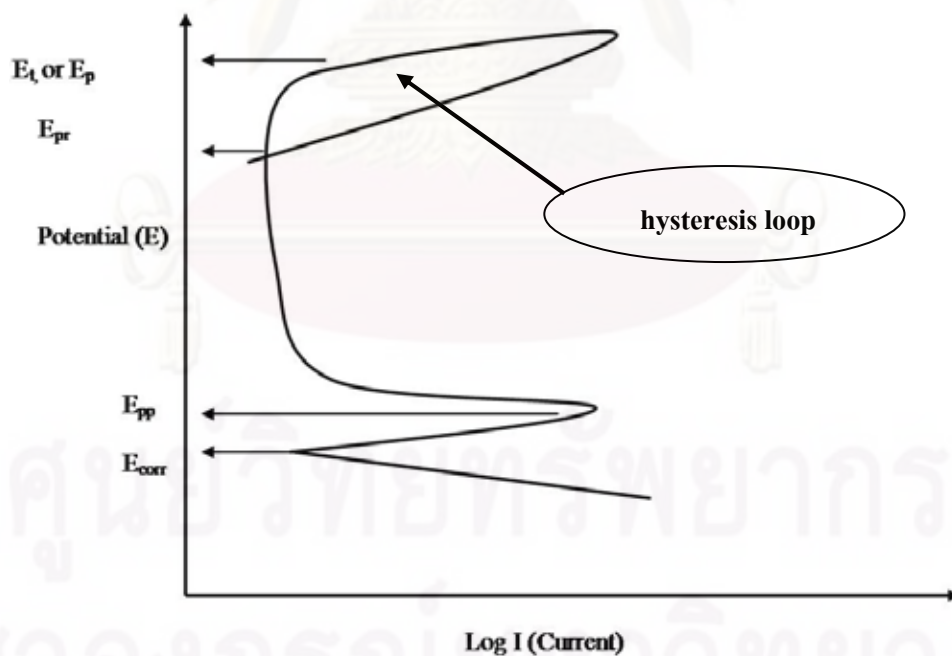


รูปที่ 2.1 ส่วนต่างๆ ที่สำคัญของเส้นโพลาริเซชัน [13]



รูปที่ 2.2 จุดต่างๆ ที่สำคัญของเส้นกราฟโพลาริเซชัน [13]

จากรูปที่ 2.2 เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มจากค่า E_{corr} จนถึงค่ากระแสไฟฟ้าค่าหนึ่งกระแสไฟฟ้าจะเริ่มลดลงจุดนี้เรียกว่ากระแสหรือศักย์ไฟฟ้าวิกฤต ($I_{critical}$ หรือ E_{pp}) การเพิ่มศักย์ไฟฟ้ามากกว่าจุดนี้เพียงนิดเดียวค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีค่าน้อยมาก แสดงว่ากระบวนการกัดกร่อนถูกขัดขวาง ปฏิกิริยาการนี้เรียกว่าพาสซีเวชัน ผิวเหล็กจะเกิดฟิล์มบาง ๆ เคลือบเนื่องจากกระบวนการดูดซึมออกซิเจนบนผิวของโลหะทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ยอมให้ไอออนผ่านได้ ทำให้ค่ากระแสของฟิล์มนี้ ($I_{passive}$, I_p) มีค่าเกือบคงที่หรือลดลงตามการเพิ่มศักย์ไฟฟ้า เมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นกว่าช่วงที่โลหะเกิดฟิล์มจนถึงค่าหนึ่ง ฟิล์มจะถูกทำลายเหล็กจะถูกกัดกร่อนมากขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้าที่นี้เรียกว่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือค่า E_p และเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นเกินช่วงที่เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม พบว่าจะเกิดฟิล์มขึ้นอีกครั้งเป็นการเกิดฟิล์มครั้งที่สอง (secondary passivity) ซึ่งเป็นกระบวนการดูดซึมออกซิเจนบนผิวของโลหะทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ และปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าจะยังคงเกิดขึ้นต่อไปได้มากขึ้นตามความสามารถของฟิล์มที่ยอมให้ไอออนผ่านได้



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงจุดต่างๆ ที่สำคัญของเส้น โพลาริเซชันและการหาค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน E_{pr} และพื้นที่ฮีสเตอรีซิส [13]

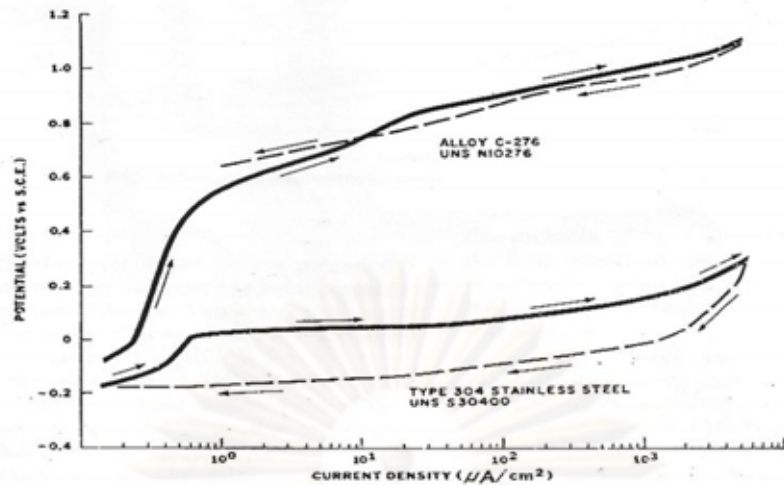
อย่างไรก็ตามโลหะผสมส่วนมากมักมีสมบัติซ่อมแซมฟิล์มที่แตกได้ด้วยตนเอง เรียกว่า (repassivation ability) โดยการเกิดฟิล์มซ้ำในบริเวณที่ฟิล์มแตกเรียกศักย์ไฟฟ้ากันว่า ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน ในการทดสอบหาค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกันหรือค่า Epr ทำได้ด้วยเทคนิคไซคลิกโพลาริเซชัน โดยการลดค่าศักย์ไฟฟ้าลงภายหลังเกิดการแตกของฟิล์มแล้ว เมื่อเกิดการซ่อมฟิล์มจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเส้นแอมโพลาริเซชัน จึงได้ข้อมูลของค่า Ep และ Epr รูปที่ 2.3 แสดงการหาค่า Epr โดยพื้นที่ในเส้นกราฟระหว่างค่า Ep และ Epr เรียกว่าพื้นที่ฮีสเทอรีซิส โดยโลหะผสมที่มีค่า Epr ลดต่ำลงมากแสดงว่าโลหะสามารถซ่อมฟิล์มได้ต่ำหรือซ้ำ และมีผลให้พื้นที่ในเส้นกราฟระหว่างค่า Ep และ Epr หรือพื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีการเปลี่ยนแปลงด้วย

ตัวแปรที่มีผลต่อเส้นโพลาริเซชันได้แก่ ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า (scan rate) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง ความเข้มข้นของสารละลาย และอัตราการกวนสารละลาย ตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของชิ้นงานตัวอย่าง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

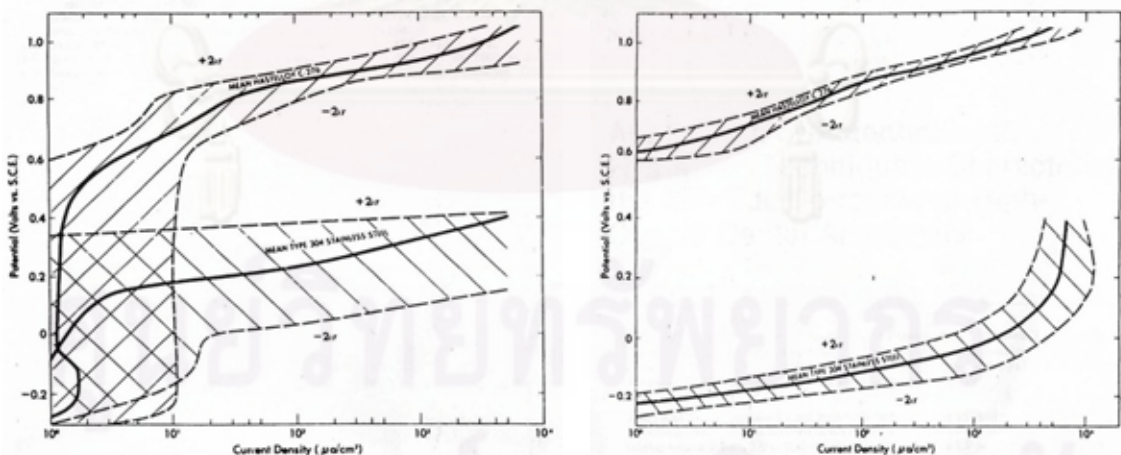
วิธีวัดเส้นโค้งโพลาริเซชัน (cyclic polarization method) เป็นวิธีใช้ตรวจหาความสามารถต้านทานการกัดกร่อน วิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางเพื่อหาและตรวจสอบลักษณะการเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ทางกลุ่ม ASTM ได้มีการทดลอง และพัฒนาวิธีการให้เป็นมาตรฐานและแนวทางปฏิบัติในการวัดเส้นโค้งโพลาริเซชัน เพื่อใช้ในการหาการกัดกร่อนเฉพาะที่ [1,2]

ทาง ASTM โดย R. Baboian และ G.S. Haynes [1] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ วิธีการทดลองและการประเมินผล ของวิธีวัดเส้นโค้งโพลาริเซชัน (cyclic polarization method) โดยใช้เหล็ก AISI 430, 304, 316, Carpenter 329, Hastelloy.G, Hastelloy C-276 ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.56 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้อัตราการสแกนคงที่ ที่ 0.6 โวลต์ต่อชั่วโมง โดยเริ่มเพิ่มศักย์ไฟฟ้า ตั้งแต่ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน ถึงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้ความหนาแน่นของกระแส 5 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นทำการลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง จนเกิดฟิล์มที่ผิวโลหะอีกครั้ง (เกิดพื้นที่ฮีสเทอรีซิส อย่างสมบูรณ์) โดยทำการทดลอง 5 ครั้ง ที่สภาวะการทดลองเดียวกัน รูปที่ 2.4 แสดงกราฟไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ได้จากการทดลองของ R. Baboian และ G.S. Haynes [1]



รูปที่ 2.4 กราฟไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็ก AISI 304 และ C-276 alloy ที่ได้จากการทดลองของ R. Baboian และ G.S. Haynes [1]

จากผลการทดลอง ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ในช่วงเพิ่มศักย์ไฟฟ้าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันมาก ซึ่งมีผลมาจาก ปริมาณออกซิเจนที่เหลือค้างในสารละลาย และผลจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง แต่ในช่วงลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง ค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน มีค่าที่ไม่ต่างกันมาก ดังรูปที่ 2.5 R. Baboian และ G.S. Haynes สรุปว่า ปริมาณของออกซิเจนเหลือค้าง และผลจากเครื่องมือที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อการลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง



a.

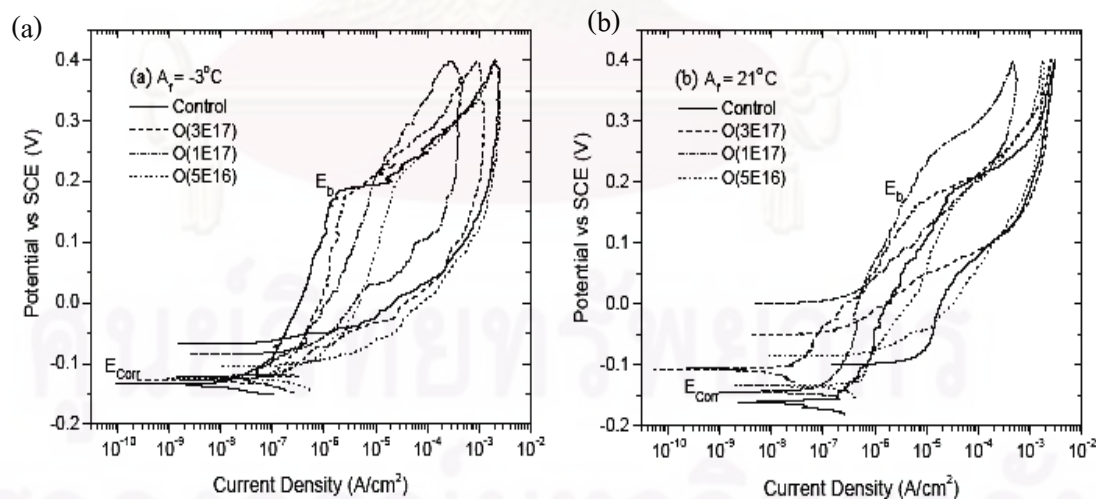
b.

รูปที่ 2.5 (a) เส้นโพลาริเซชันในช่วงเพิ่มศักย์ไฟฟ้า และ (b) เส้นโพลาริเซชันในช่วงลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง [1]

L. Tan, R.A. Dodd, W.C. Crone [3] ได้ศึกษาผลของการปรับปรุงผิวต่อพฤติกรรมการกัดกร่อน โดยได้ทดสอบโลหะผสม Ni-Ti ที่ผ่านการอบชุบและปรับปรุงผิว ในสารละลายของแฮงค์ (hank's solution) ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดลองที่ได้ดังในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.6 ซึ่งจากผลการทดลองจะสรุปได้ว่า ขนาดของพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส มีความสัมพันธ์กับ ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนแบบรูเข็ม คือยิ่งขนาดของพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส มีขนาดใหญ่ขึ้น ความสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มก็จะลดลง (ค่า E_p ลดต่ำลง)

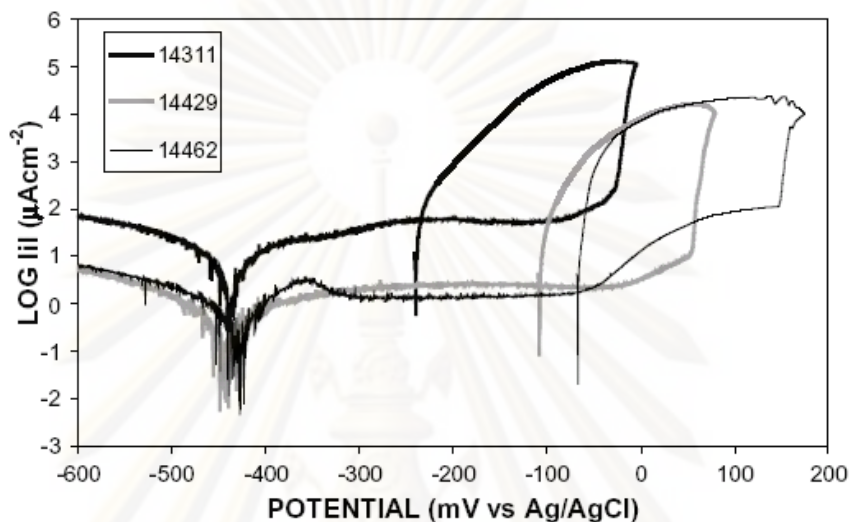
ตารางที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม และขนาดของพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส จากการทดลองของ L. Tan, R.A. Dodd, W.C. Crone [3]

Sample status	$A_T = -3^\circ\text{C}$		$A_T = 21^\circ\text{C}$	
	E_b (V)	Hysteresis loop area (VA/cm^{-2})	E_b (V)	Hysteresis loop area (VA/cm^{-2})
Control	0.187 ± 0.006	$4.35\text{E}-4 \pm 1.4\text{E}-5$	0.189 ± 0.005	$1.91\text{E}-4 \pm 9.7\text{E}-6$
O5E16	0.206 ± 0.004	$2.72\text{E}-4 \pm 1.0\text{E}-5$	0.188 ± 0.004	$1.85\text{E}-4 \pm 8.8\text{E}-6$
O1E17	0.212 ± 0.004	$8.76\text{E}-5 \pm 7.1\text{E}-6$	0.299 ± 0.005	$4.78\text{E}-5 \pm 5.0\text{E}-6$
O3E17	0.174 ± 0.007	$4.85\text{E}-4 \pm 2.0\text{E}-5$	0.168 ± 0.006	$2.72\text{E}-4 \pm 1.2\text{E}-5$



รูปที่ 2.6 เส้นกราฟไซคลิกโพลาริเซชัน แสดงความไวในการเกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่ของโลหะผสม Ni-Ti ในสารละลายของแฮงค์ (a) การเย็นตัวที่ -3°C (b) การเย็นตัวที่ -21°C [3]

งานวิจัยของ A. Igual Munoz, J.Garcia Anton [4] ได้ทดลองหาพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม EN 1.4311, EN 1.4429 และ EN 1.4462 ในสารละลายลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) 850 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25, 50, 75 และ 85 °C ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.7 และตารางที่ 2.2



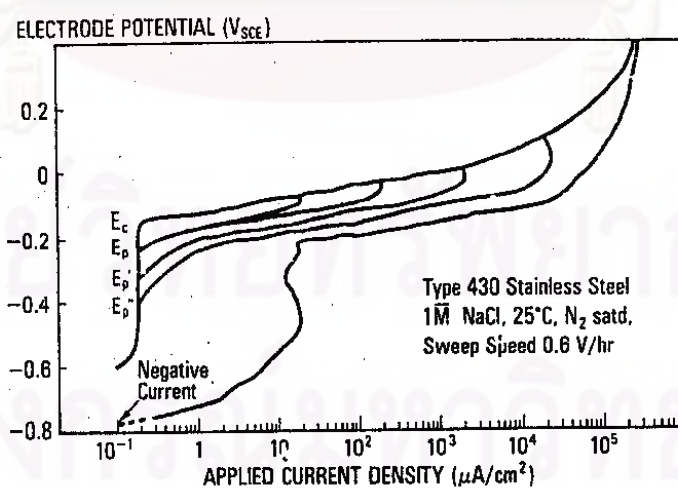
รูปที่ 2.7 เส้นโค้งโพลาไรเซชัน ของโลหะผสมเกรดทางการค้าต่างๆ ในสารละลาย LiBr ที่ อุณหภูมิ 25 °C [4]

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ของโลหะผสมเกรดทางการค้าต่างๆ ในสารละลาย LiBr ที่อุณหภูมิ 25 °C [4]

Materials	E_p (mV)	i_p ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	E_{rp} (mV)	$E_p - E_{rp}$ (mV)	$E_p - E_{corr}$ (mV)
1.4311	-40	4.6	-240	200	390
1.4429	56	0.8	-108	164	506
1.4462	110	0.4	-67	217	575

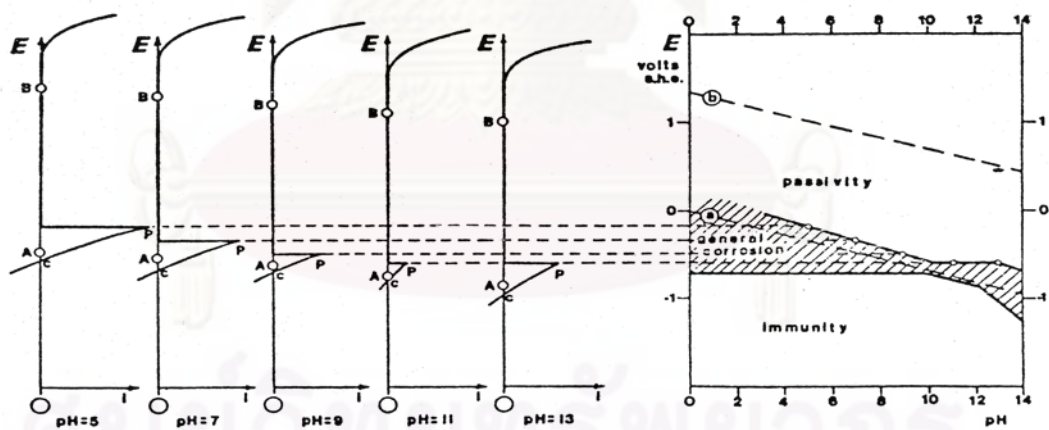
ผู้วิจัยกล่าวว่า “ ขนาดพื้นที่ฮีสเตอร์ซิส ใหญ่ขึ้น ยิ่งทำให้การกลับมาเกิดฟิล์มที่ผิว (repassivate) ยากขึ้น “ แต่จากผลการทดลองไม่มีการแสดงขนาดของพื้นที่ฮีสเตอร์ซิส ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าพื้นที่ฮีสเตอร์ซิสไหนใหญ่กว่า และจากตารางที่ 2.2 และ รูปที่ 2.7

งานวิจัยของ B. E. Wilde [5] ได้ศึกษาผลความลึกของการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1 โมลต่อลิตร โดยใช้กราฟไซคลิกโพลาริเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน ไม่ใช่คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุ แต่ขึ้นอยู่กับสถานะในการทดลอง เพราะถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกันเป็นลักษณะเฉพาะของวัสดุ ไม่ว่าจะทำการลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง ที่ค่าความหนาแน่นของกระแสเท่าใดเส้นไซคลิกโพลาริเซชันควรมีค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกันเท่าเดิม ซึ่งในการทดลองนี้มีการลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง ที่ความหนาแน่นของกระแสที่ต่างกัน ยิ่งการเริ่มลดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ความหนาแน่นของกระแสมาก จะทำให้ความลึกที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบรูเข็มเพิ่มขึ้น และส่งผลค่าศักย์ไฟฟ้าการเกิดฟิล์มใหม่ต่ำลง โดยเฉพาะที่ความหนาแน่นของกระแสเข้าใกล้ 1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

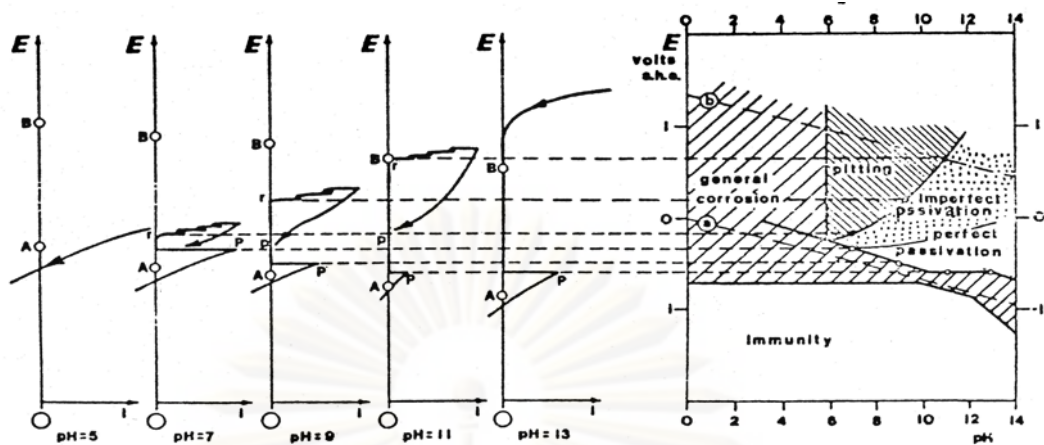


รูปที่ 2.8 เส้นโค้งโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม 430 ที่กราฟสแกนวงกลับที่ค่าความหนาแน่นกระแสที่ต่างกัน [5]

E.D. Verink [8] ได้ศึกษาและปรับปรุงจากผลงานของ ศาสตราจารย์ ดร. Pourbaix โดยได้สร้างแผนภูมิพอร์เบซขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ด้วยวิธีโพเทนซิโอดนามิกโพลาริเซชัน (potentiodynamic polarization) เพื่อสร้างแผนภูมิพอร์เบซของเหล็กในสารละลายสภาวะต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น การใช้วิธีการวัดทางไฟฟ้าเคมีของเหล็ก ที่ค่าพีเอชต่างกันในสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ ตัวอย่างผลงานดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) และในสารละลายที่มีคลอไรด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 (ก) ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปสร้างเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 2.9 (ข) ซึ่งเป็นแผนภูมิของเหล็กที่ค่าพีเอชต่างกัน ในสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ และ ดังรูปที่ 2.10 (ข) โดยแสดงเป็นแผนภูมิของเหล็กที่ค่าพีเอชต่างกัน ในสารละลายที่มีคลอไรด์ [8] ตามลำดับ โดยแผนภูมิพอร์เบซที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 2.10 (ข) จะมีรายละเอียดของพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและค่าพีเอชที่เป็นองค์ประกอบของพฤติกรรมการกัดกร่อนที่ต่างกันได้ เช่น การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ การกัดกร่อนแบบรูเข็ม หรือการเกิดพาสซีวิตีที่ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 (ก) เส้นกราฟโพเทนซิโอดนามิกโพลาริเซชัน ของเหล็กในสารละลายที่ไม่มีคลอไรด์ผสมที่ค่าพีเอชต่าง ๆ และ (ข) แผนภูมิพอร์เบซ สร้างขึ้นจากชุดข้อมูลในรูป (ก) [8]



รูปที่ 2.10 (ก) เส้นกราฟโพเทนชิโอดีนามิกโพลาริเซชัน ของเหล็กในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสม 10^{-2} โมลาร์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ และ (ข) แผนภูมิพอร์เบทซ์ ที่สร้างขึ้นจากชุดข้อมูลในรูป (ก) [8]

จากงานวิจัยที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่ายังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม E_p ค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน E_{pr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส กับความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L, 439L และเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก AISI 316L โดยมีส่วนผสมเคมีดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L วิเคราะห์โดยเครื่องมือวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (Emission spectroscopy)

ชิ้นงาน (AISI)	ส่วนผสมเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)								
	C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S	N	Other
409L	0.006	11.43	0.11	0.24	0.55	0.022	0.003	≤0.025	Ti=0.29
439L	0.007	18.12	0.13	0.31	0.33	0.024	0.002	≤0.04	Ti=0.5
316L	0.024	17.10	10.08	1.41	0.43	0.032	0.012	≤0.1	Mo=2

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 เครื่องวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน (โพเทนชิโอสแตท รุ่น PGSTAT 20 (GPES)) โดยใช้อิเล็กโทรดประกอบด้วยอิเล็กโทรดอ้างอิง (reference electrode) ได้แก่ Ag / AgCl (3 M KCl, silver chloride electrode) และอิเล็กโทรดวัดกระแส (counter electrode) ได้แก่ แพลทินัม

3.1.2.2 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) ใช้สำหรับวัดค่า pH ของสารละลาย รุ่นที่ใช้คือ OAKlon Waterproof PC 300 Series

3.1.2.3 อุปกรณ์สำหรับเตรียมผิวชิ้นงาน

- 1) กระจกทราย เบอร์ 80, 180, 320, 400, 600
- 2) เครื่องขัดผิวชิ้นงาน
- 3) เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic cleaning)
- 4) เครื่องให้ความร้อนและกวนสารละลาย (hot plate controller)

3.1.2.4 เครื่องมือวิเคราะห์ส่วนผสมเคมี (emission spectroscopy)

3.1.2.5 สารเคมี ได้แก่

- ก) น้ำที่กำจัดแร่ธาตุ (DI Water) เพื่อนำไปเตรียมสำหรับการทดลองสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ค่าต่าง ๆ กัน
- ข) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ค) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 นำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ขนาด 30x10x1.5 มิลลิเมตร มาขัดผิวหน้าทุกด้านด้วยกระจกทรายเบอร์ 80,180, 320, 400 และ 600 ล้างคราบไขมันโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก แล้วเก็บในเดสซิเคเตอร์ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดชั้นฟิล์มออกไซด์ที่เสถียร

3.2.2 เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปรับค่าพีเอชสารละลายเป็น 4, 7 และ 10 ด้วยกรดซัลฟิวริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ

3.2.3 วัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ด้วยเครื่องโพเทนชิโอสแตต ในสภาวะการทดลองดังนี้ [2, 22]

- อัตราการสแกนเท่ากับ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มแร่ชิ้นงานก่อนการสแกนเท่ากับ 1 ชั่วโมง
- อัตราการกววนสารละลาย 450 รอบต่อนาที
- การสแกนกลับเมื่อกระแสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์

3.2.4 หาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (pitting potential, E_p) ค่าศักย์ไฟฟ้าการป้องกัน (protection potential, E_{pr}) และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน เทคนิคการหาค่าแสดงในภาคผนวก ก

3.2.5 วัดค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม (pit density) ของตัวอย่าง วิธีการวัดแสดงในภาคผนวก ข

3.2.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p , E_{pr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน กับความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 การหาค่าเริ่มต้นการสแกนที่เหมาะสมในการหาเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน

ผลการวัดค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และ พื้นที่ฮิสเตอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่แปรผันกับค่าเริ่มต้นการสแกนที่ต่ำกว่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.1 – 4.3 และนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเตอรีซิส กับ ค่าเริ่มต้นการสแกน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.3

จากรูปที่ 4.1-4.3 พบว่าเมื่อค่าเริ่มสแกนต่างกัน ส่งผลต่อค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเตอรีซิส ที่ได้ในแนวโน้มใกล้เคียงกัน เนื่องจากก่อนเริ่มสแกนได้ทำการแช่ชิ้นงานก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่เหมาะสม [2] ที่ทำให้ชิ้นงานอยู่ในสภาวะนิ่ง (Steady State) ซึ่งให้ผลคล้ายกัน สำหรับเหล็กไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L เพื่อความสะดวกและไม่เสียเวลาการทดลองมาก ขึ้นต่อไปจึงกำหนดใช้ค่าเริ่มต้นการสแกนที่ต่ำกว่า E_{corr} ที่ 0.25 โวลต์ ในสภาวะการทดลองนี้

ตารางที่ 4.1 ค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิก โพลารไรเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่มีไฮเดียม คลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าเริ่มสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์

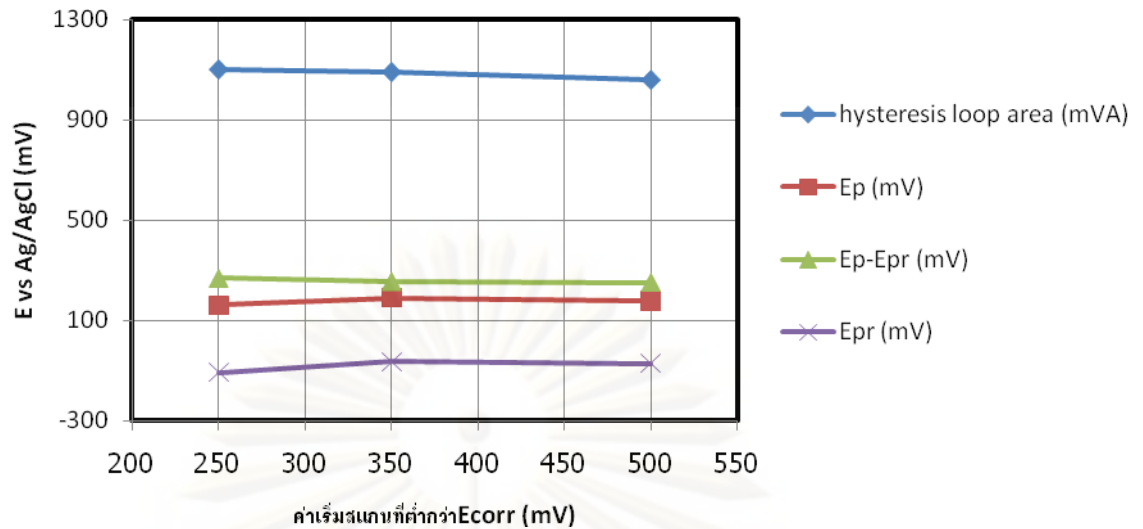
ค่าเริ่มสแกน (V)	วัดครั้งที่	E_{corr} (V)	E_p (V)	E_{pr} (V)	E_{p-Epr} (V)	Hysteresis loop (VA)
Ecorr - 0.25	1	0.004	0.165	-0.108	0.273	1.189
	2	0.010	0.164	-0.092	0.256	1.013
	3	0.008	0.151	-0.124	0.275	1.103
	เฉลี่ย	0.007	0.160	-0.108	0.268	1.102
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003	0.008	0.016	0.010	0.088
Ecorr - 0.35	1	0.072	0.205	-0.059	0.264	1.123
	2	0.045	0.151	-0.058	0.209	0.882
	3	0.057	0.214	-0.078	0.292	1.270
	เฉลี่ย	0.058	0.190	-0.065	0.255	1.092
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.014	0.034	0.011	0.042	0.196
Ecorr - 0.50	1	0.020	0.184	-0.064	0.248	1.103
	2	0.052	0.171	-0.072	0.243	1.030
	3	-0.025	0.180	-0.083	0.263	1.049
	เฉลี่ย	0.016	0.178	-0.073	0.251	1.061
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.039	0.007	0.010	0.010	0.038

ตารางที่ 4.2 ค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิก โพลาริเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายที่มีไฮเดียม คลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าเริ่มสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์

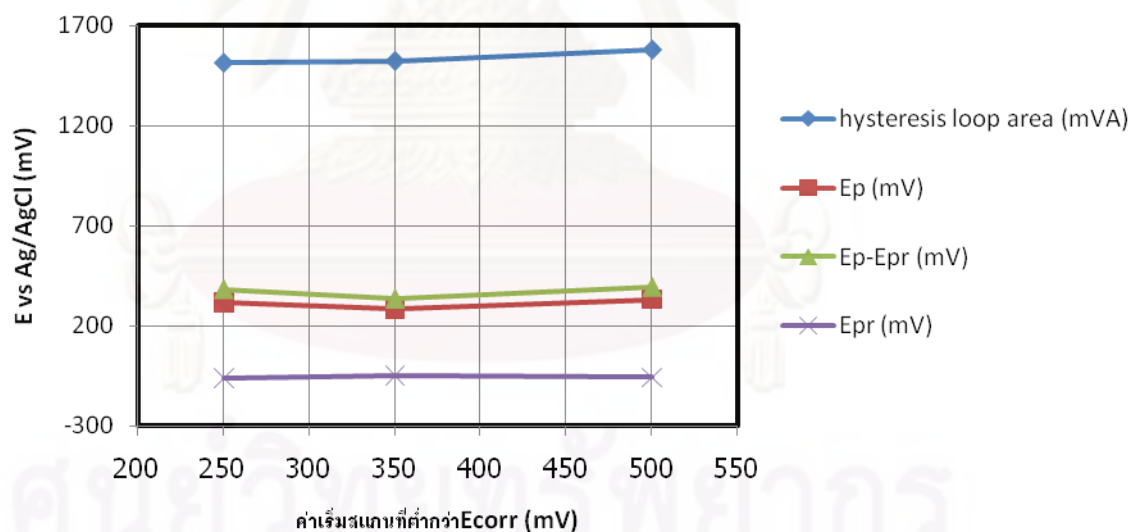
ค่าเริ่มสแกน (V)	วัดครั้งที่	E_{corr} (V)	E_p (V)	E_{pr} (V)	E_p-E_{pr} (V)	Hysteresis loop (VA)
Ecorr - 0.25	1	-0.003	0.318	-0.058	0.376	1.648
	2	-0.010	0.331	-0.067	0.398	1.770
	3	-0.007	0.300	-0.069	0.369	1.531
	เฉลี่ย	-0.007	0.316	-0.065	0.381	1.650
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.016	0.006	0.015	0.120
Ecorr - 0.35	1	0.025	0.269	-0.031	0.300	1.407
	2	0.021	0.303	-0.063	0.366	1.569
	3	0.023	0.278	-0.056	0.334	1.593
	เฉลี่ย	0.023	0.283	-0.050	0.333	1.523
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002	0.018	0.017	0.033	0.101
Ecorr - 0.50	1	-0.031	0.381	-0.063	0.444	1.648
	2	-0.008	0.325	-0.052	0.377	1.547
	3	0.013	0.289	-0.067	0.356	1.538
	เฉลี่ย	-0.009	0.332	-0.061	0.392	1.578
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.022	0.046	0.008	0.046	0.061

ตารางที่ 4.3 ค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ Hysteresis loop จากเส้นโค้งไซคลิก โพลาริเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีไฮเดียม คลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าเริ่มสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์

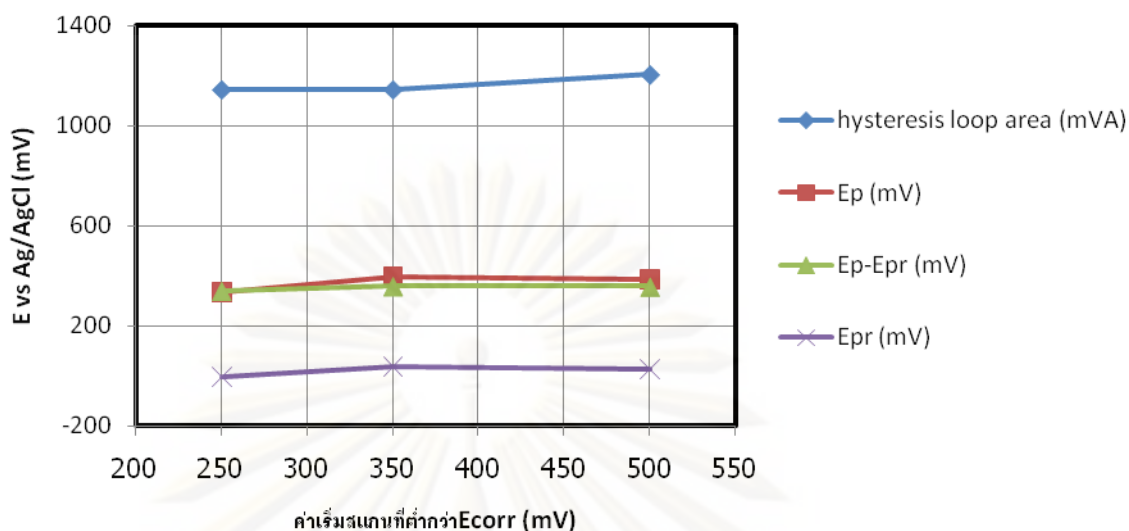
ค่าเริ่มสแกน (V)	วัดครั้งที่	E_{corr} (V)	E_p (V)	E_{pr} (V)	$E_p - E_{pr}$ (V)	Hysteresis loop (VA)
E _{corr} - 0.25	1	-0.026	0.352	0.025	0.327	1.026
	2	-0.013	0.301	-0.018	0.319	1.111
	3	-0.035	0.347	-0.023	0.370	1.293
	เฉลี่ย	-0.025	0.333	-0.005	0.339	1.143
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.011	0.028	0.026	0.027	0.136
E _{corr} - 0.35	1	0.075	0.412	0.048	0.364	1.379
	2	0.028	0.386	0.013	0.373	0.975
	3	0.097	0.389	0.051	0.338	1.074
	เฉลี่ย	0.067	0.396	0.037	0.358	1.143
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.035	0.014	0.021	0.018	0.211
E _{corr} - 0.50	1	0.028	0.364	0.027	0.337	1.112
	2	0.032	0.387	0.012	0.375	1.187
	3	0.024	0.401	0.044	0.357	1.313
	เฉลี่ย	0.028	0.384	0.028	0.356	1.204
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.019	0.016	0.019	0.102



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส กับ ค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ที่ ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



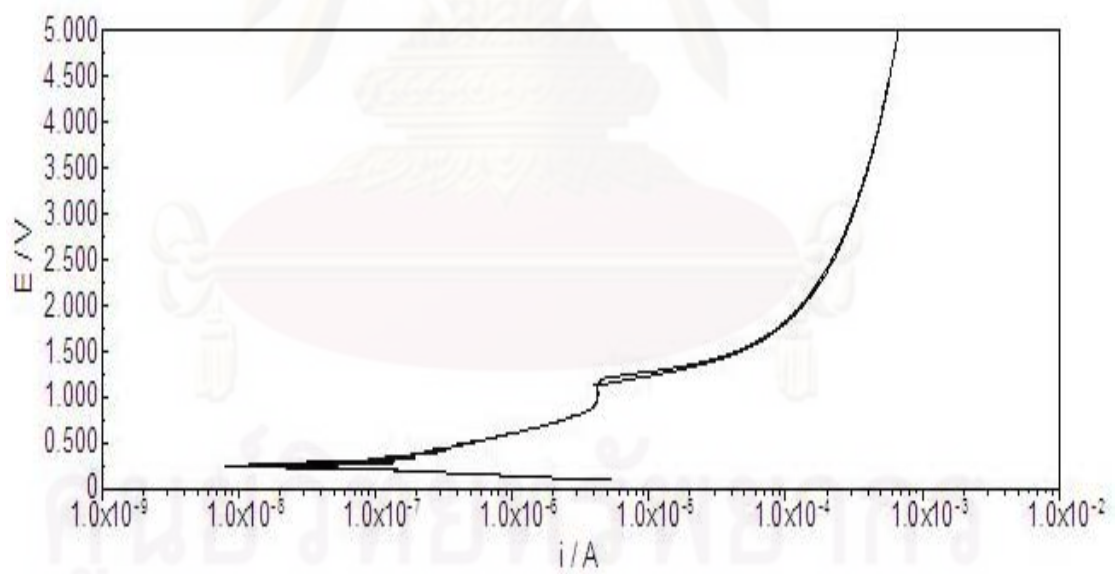
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส กับ ค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ที่ ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



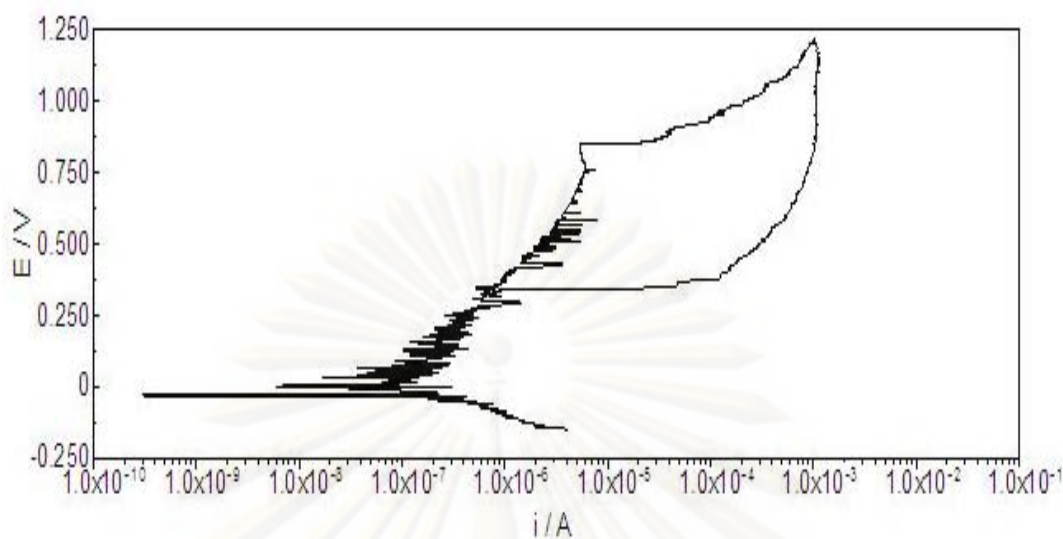
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเทอริซิส กับค่าเริ่มสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า E_{corr} 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.3 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน

จากผลการวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าเริ่มสแกนต่ำกว่า E_{corr} 0.25 โวลต์ จากกราฟได้ผลดังแสดงในภาคผนวก ง ในที่จะขอยกตัวอย่างกราฟของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L เพื่ออธิบายผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะกราฟเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับหรือป้อนศักย์ไฟฟ้าในทางลบ หลังจากที่เกิดการแตกของฟิล์มหรือหลังจากศักย์ไฟฟ้าเกินค่า E_p จะทำให้สภาพพาสซีฟกลับมาอีกครั้งหนึ่ง โดยเส้นกราฟที่ได้จะไม่กลับตามแนวเดิมแต่จะตัดกับเส้นกราฟเดิมที่จุด E_{pr} ที่ระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์เป็นศูนย์หรือในน้ำบริสุทธิ์ ค่า E_{pr} มีค่าใกล้เคียงกับค่า E_p (รูปที่ 4.4) ตลอดช่วงค่าพีเอช 4 ถึง 10 ทำให้พื้นที่ฮิสเทอริซิส ในช่วงดังกล่าวมีค่าน้อยมาก (ตาราง 4.4 , 4.5 และ 4.6)



รูปที่ 4.4 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในน้ำบริสุทธิ์
อุณหภูมิ 25°C ที่ค่าพีเอช 7



รูปที่ 4.5 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่มีโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 25°C ที่ค่าพีเอช 7

4.3 ผลการวัดค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน

จากผลการวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าเริ่มสแกนต่ำกว่า E_{corr} 0.25 โวลต์ แสดงอยู่ในภาคผนวก ง จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันแต่ละเส้นนำมาหาค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ซึ่งวิธีการหาค่าแสดงใน ภาคผนวก ก ผลการหาค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส แสดงในตารางที่ 4.4 - 4.6 เพื่อนำ E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ของ E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส เมื่อค่าความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์และค่าพีเอชของสารละลายเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.4 ค่าที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายที่กำหนด

%NaCl	พีเอช 4				พีเอช 7				พีเอช 10			
	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr (v)	Hysteresis loop (VA)	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr(v)	Hysteresis loop (VA)	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr(v)	Hysteresis loop (VA)
0.00	1.195	1.138	0.057	0.141	1.209	1.080	0.129	0.758	1.087	1.058	0.028	0.175
0.05	0.450	0.200	0.250	0.743	0.478	0.045	0.433	1.375	0.476	0.017	0.459	1.607
0.50	0.275	0.028	0.247	0.677	0.313	-0.033	0.346	1.233	0.288	-0.035	0.323	1.184
1.00	0.105	-0.033	0.138	0.391	0.231	-0.053	0.284	1.150	0.259	-0.063	0.321	1.153
3.50	0.017	-0.101	0.118	0.283	0.160	-0.108	0.268	1.102	0.134	-0.124	0.258	0.941

ตารางที่ 4.5 ค่าที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายที่กำหนด

%NaCl	พีเอช 4				พีเอช 7				พีเอช 10			
	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr (v)	Hysteresis loop (VA)	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr(v)	Hysteresis loop (VA)	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr(v)	Hysteresis loop (VA)
0.00	1.217	1.145	0.072	0.102	1.194	1.077	0.117	0.408	1.108	1.045	0.063	0.148
0.05	0.614	0.173	0.442	1.251	0.569	0.027	0.542	1.650	0.636	0.025	0.611	1.598
0.50	0.423	-0.006	0.429	1.235	0.427	-0.025	0.452	1.625	0.394	-0.057	0.451	1.542
1.00	0.292	-0.041	0.335	1.126	0.356	-0.065	0.420	1.598	0.375	-0.072	0.447	1.536
3.50	0.178	-0.048	0.226	0.653	0.317	-0.064	0.381	1.514	0.303	-0.088	0.391	1.474

ตารางที่ 4.6 ค่าที่วัดได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายที่กำหนด

%NaCl	พีเอช 4				พีเอช 7				พีเอช 10			
	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr (v)	Hysteresis loop (VA)	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr(v)	Hysteresis loop (VA)	Ep(v)	Epr(v)	Ep-Epr(v)	Hysteresis loop (VA)
0.00	1.209	1.154	0.055	0.191	1.185	1.103	0.082	0.396	1.092	1.013	0.079	0.388
0.05	0.698	0.254	0.444	1.091	0.782	0.248	0.534	1.299	0.833	0.233	0.600	1.492
0.50	0.399	0.114	0.285	0.846	0.448	0.035	0.414	1.257	0.484	0.040	0.443	1.265
1.00	0.320	0.059	0.261	0.759	0.368	0.017	0.351	1.214	0.300	-0.023	0.323	1.159
3.50	0.261	0.009	0.252	0.698	0.333	-0.005	0.339	1.143	0.370	0.050	0.319	1.044

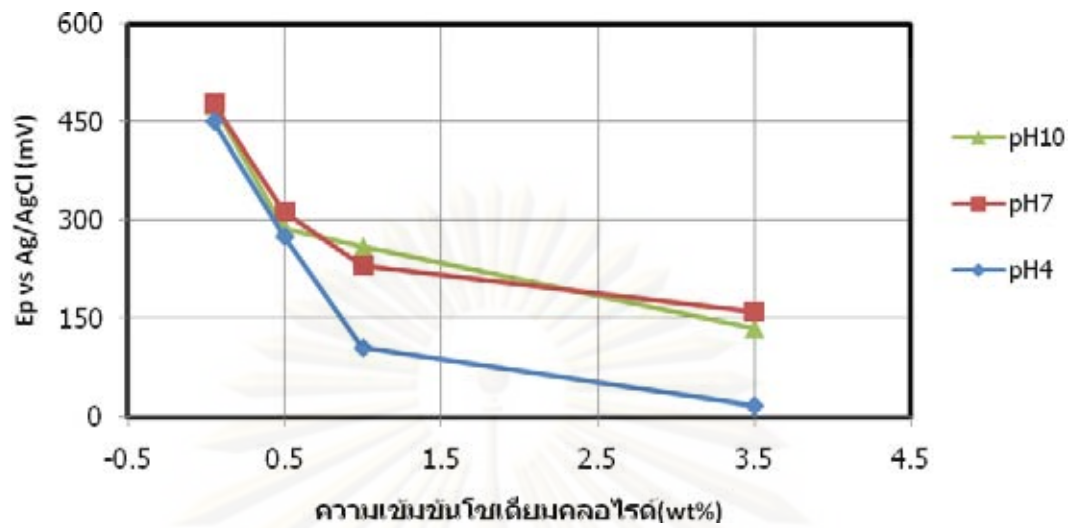
เนื่องจากความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิมขึ้นอยู่กับความทนทานและความสมบูรณ์ของชั้นฟิล์มพาสซีฟต่อสภาวะแวดล้อมที่สัมผัส ซึ่งชั้นฟิล์มพาสซีฟสามารถถูกทำลายได้ในสภาวะที่สารละลายปนเปื้อนด้วยไฮเดียมคลอไรด์ หรือมีความเป็นกรด ดังนั้นในการอภิปรายผลจะแบ่งอภิปรายผลของคลอไรด์และค่าพีเอชแยกกัน ดังนี้

4.4 ผลของไฮเดียมคลอไรด์ต่อค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L

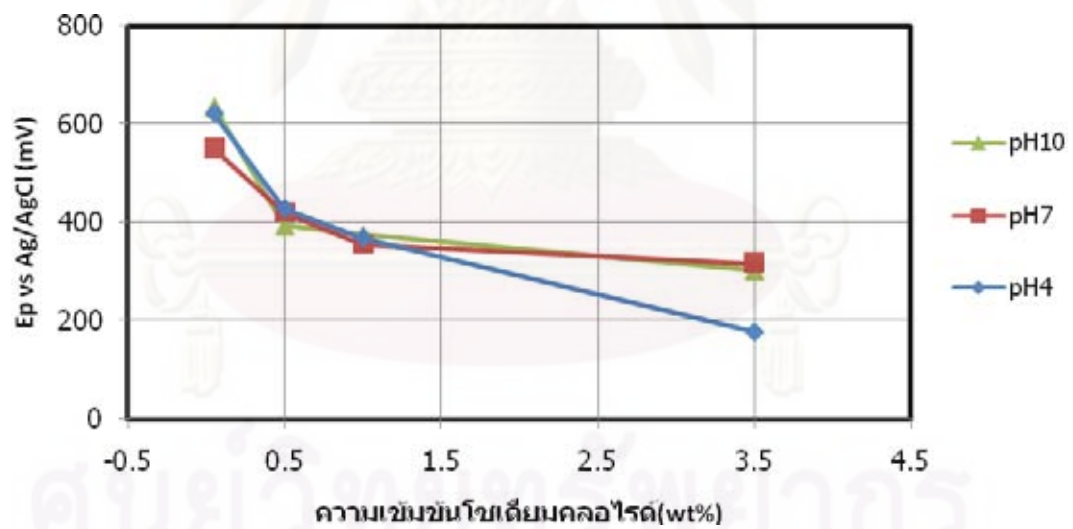
เพื่อให้ง่ายต่อการอภิปรายผลของไฮเดียมคลอไรด์ต่อค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ที่หาได้จากกราฟเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน จึงสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส กับความเข้มข้นไฮเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ดังแสดงในรูปที่ 4.6 – 4.17

4.4.1 ผลของไฮเดียมคลอไรด์ต่อค่า E_p

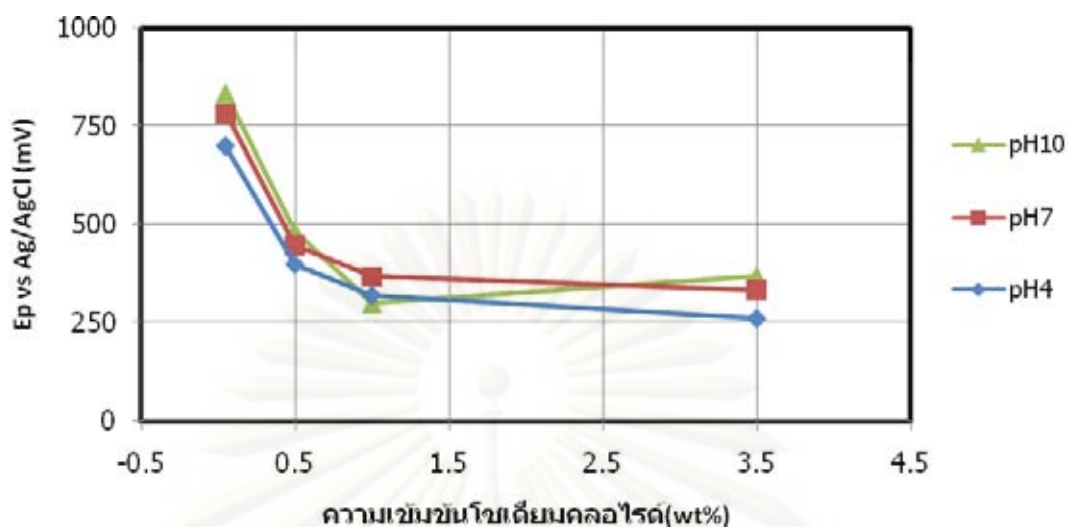
จากผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.6 - 4.8 พบว่าที่ค่าพีเอชเดียวกันในช่วง 4, 7 และ 10 ความเข้มข้นของไฮเดียมคลอไรด์ระหว่าง 0.05 ถึง 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีผลทำให้ค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ลดต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของไฮเดียมคลอไรด์สูงขึ้น ผลการทดลองมีแนวโน้มทำนองเดียวกับผลของ G.Lothonkum และ คณะ [6] ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งในรูปที่ 4.6 ที่ค่าพีเอช 7 และ 10 ค่า E_p ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439 และ 316L อาจกล่าวได้ว่าพีเอชไม่มีผลต่อค่า E_p (รูปที่ 4.7 และ 4.8)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับความเข้มข้นไฮโดรคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

เนื่องจากความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมขึ้นอยู่กับชั้นฟิล์มพาสซีฟซึ่งมีโครงสร้างเป็นออกไซด์ไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ไฮดรอกไซด์ที่มีความเสถียรสูง [13] มีความสามารถในการละลายต่ำและมีค่าความนำไฟฟ้า (conductivity) ต่ำ การที่มีไฮโดรคลอไรด์อยู่ในสารละลายจะเข้าไปปฏิสัมพันธ์กับชั้นฟิล์ม โดยกลไกของการเข้าไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชั้นฟิล์มยังคงมีการศึกษากันอยู่ แต่มีผู้เสนอกลไกที่อาจเป็นไปได้ดังนี้

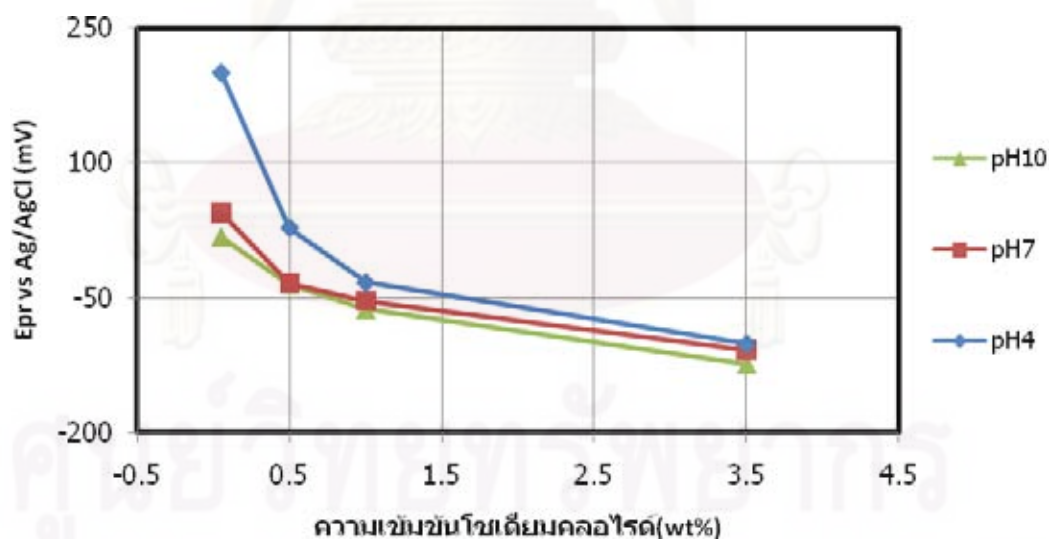
- การดูดซับไอออนคลอไรด์บนชั้นฟิล์มภายใต้สนามไฟฟ้าแรงสูงและเข้าไปแทนที่โมเลกุลของน้ำโดยไปเชื่อมกับแคโทดไอออนที่เป็นโลหะมีผลทำให้แรงดึงดูดมีค่าลดลงทำให้แคโทดไอออนในชั้นฟิล์มละลายลงสู่สารละลายได้ง่ายขึ้น [24]

- การก่อตัวในรูปของโลหะ (M) คลอไรด์ในรูปของ MCl_3 ที่รอยต่อระหว่างผิวของชั้นฟิล์มกับสารละลายแล้วละลายกลับลงสู่สารละลายอีกครั้งในรูปของ M^+ และ Cl^- [25]

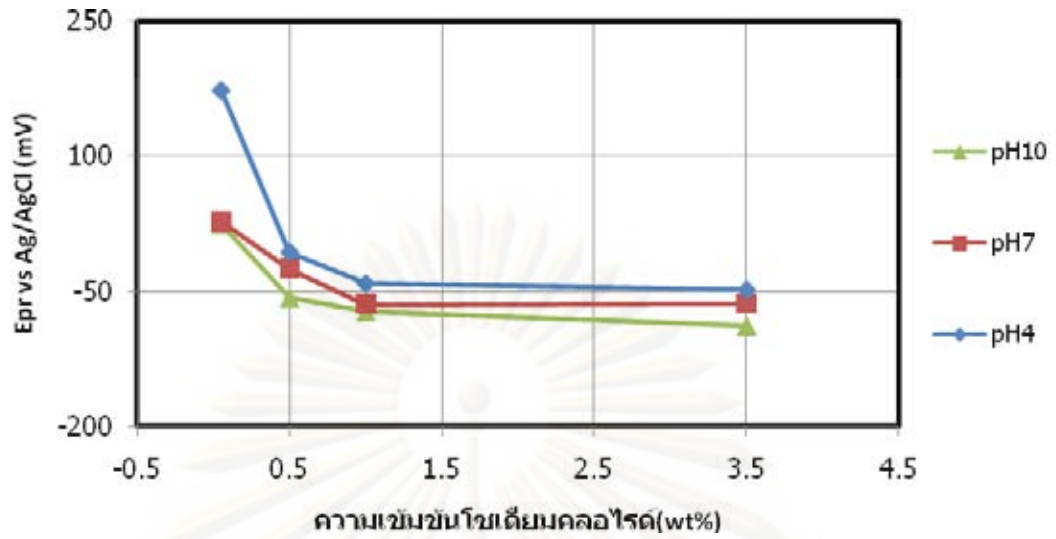
และเมื่อความเข้มข้นไฮโดรคลอไรด์สูงขึ้นจะมีผลต่อการลดลงของค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ซึ่งอาจเป็นเพราะมีปริมาณไอออนคลอไรด์เข้าไปปฏิสัมพันธ์กับชั้นฟิล์มพาสซีฟมากขึ้นตามกลไกที่อธิบายไว้ข้างต้น ส่งผลให้ชั้นฟิล์มพาสซีฟมีโอกาสถูกทำลายเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าพีเอชเดียวกันที่ 4, 7 และ 10 ความเข้มข้นไฮโดรคลอไรด์ระหว่าง 0.05

4.4.2 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อค่า Epr

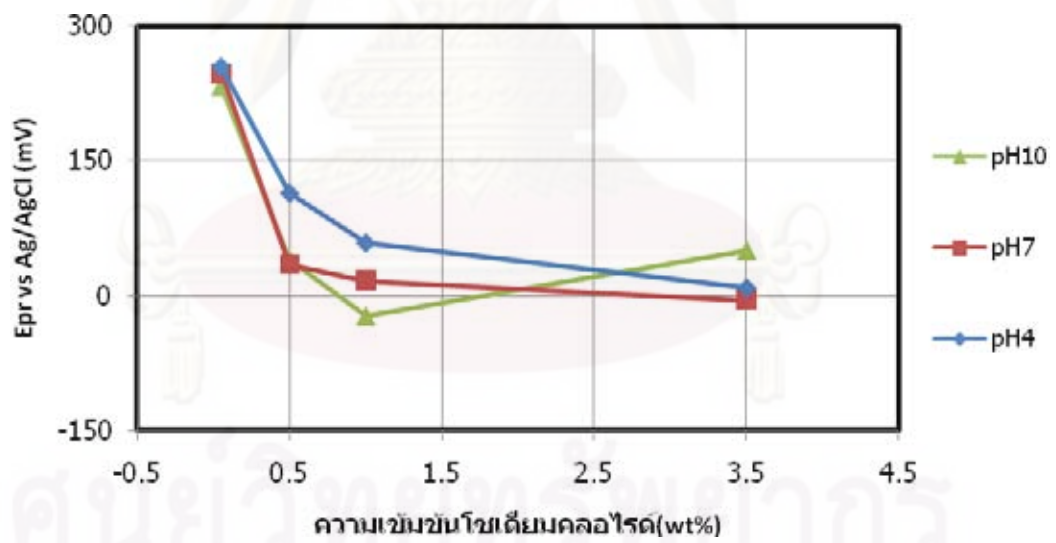
ผลของพีเอชแสดงในรูปที่ 4.9 – 4.11 ที่ค่าพีเอชเดียวกัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น ค่า Epr มีแนวโน้มลดลง อาจเกิดจากคลอไรด์เข้าไปทำลายฟิล์มพาสซีฟบริเวณที่ฟิล์มไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม โดยภายในรูเข็มมีค่าความเป็นกรดต่ำกว่าค่าพีเอชของสารละลายภายนอกรูเข็ม ทำให้การสร้างฟิล์มพาสซีฟอีกครั้งเมื่อศักย์ไฟฟ้าถูกลดค่าลงจึงเป็นไปได้ยาก [13] ผลการทดลองของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439 และ 316L มีแนวโน้มทำนองเดียวกัน



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Epr ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



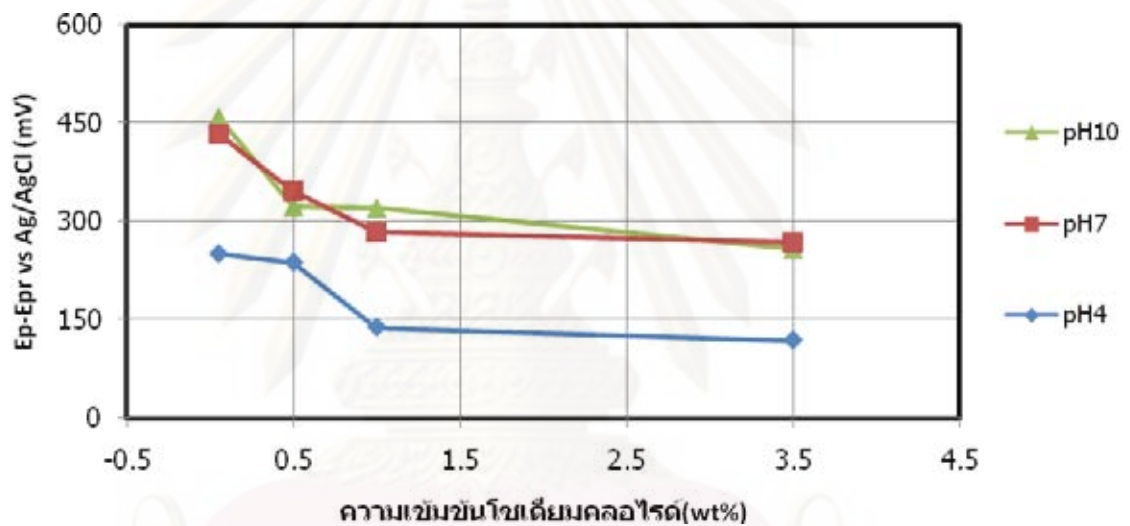
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{pr} ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



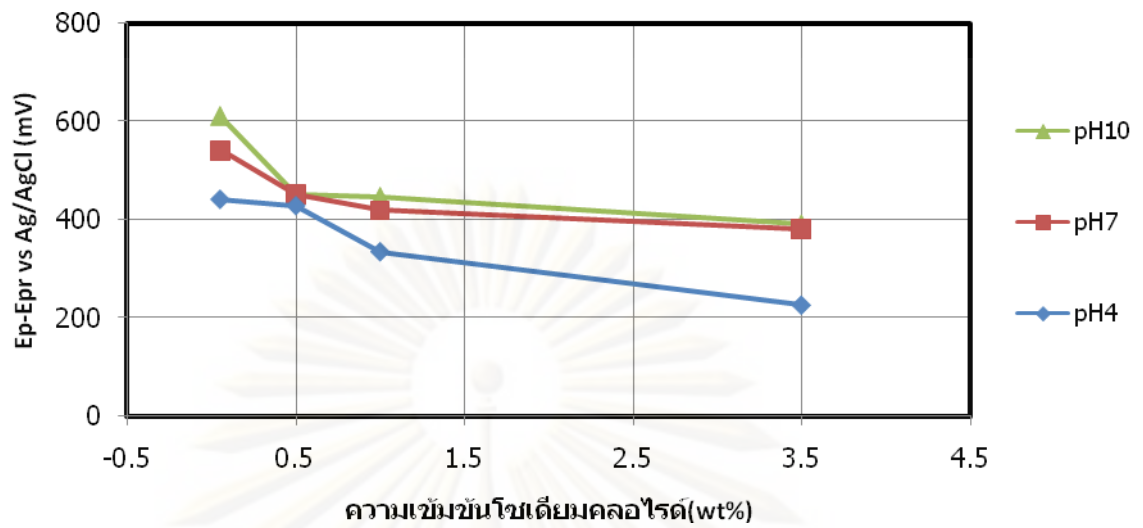
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{pr} ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

4.4.3 ผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อค่า Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอริซิส

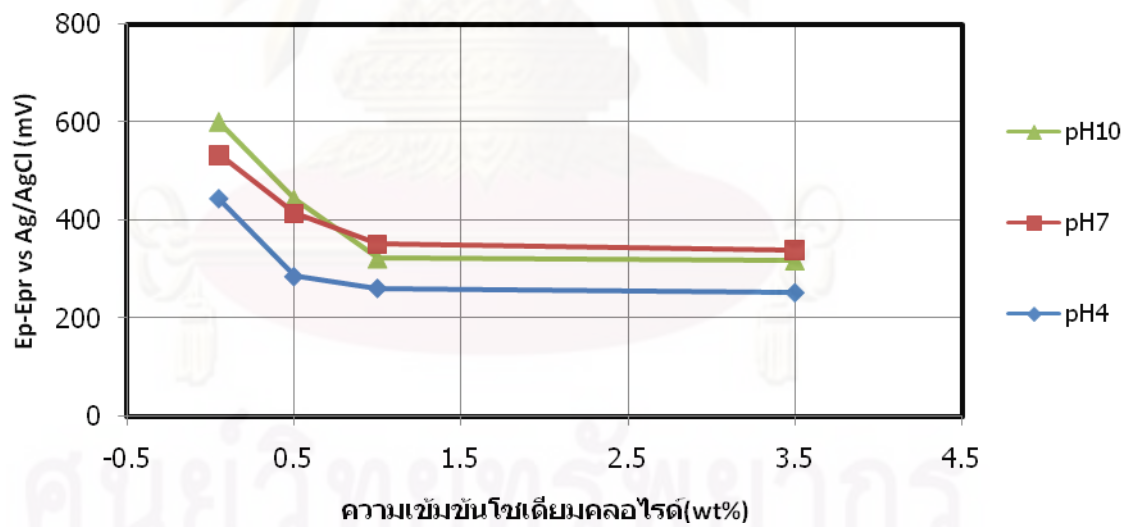
จากผลการทดลอง พบว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10 จะมีค่า Ep - Epr และพื้นที่ฮีสเทอริซิส สูงกว่าที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์เป็นศูนย์ โดยค่า Ep - Epr และพื้นที่ฮีสเทอริซิส จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.12 - 4.17 ผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่า Ep และ Epr สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L



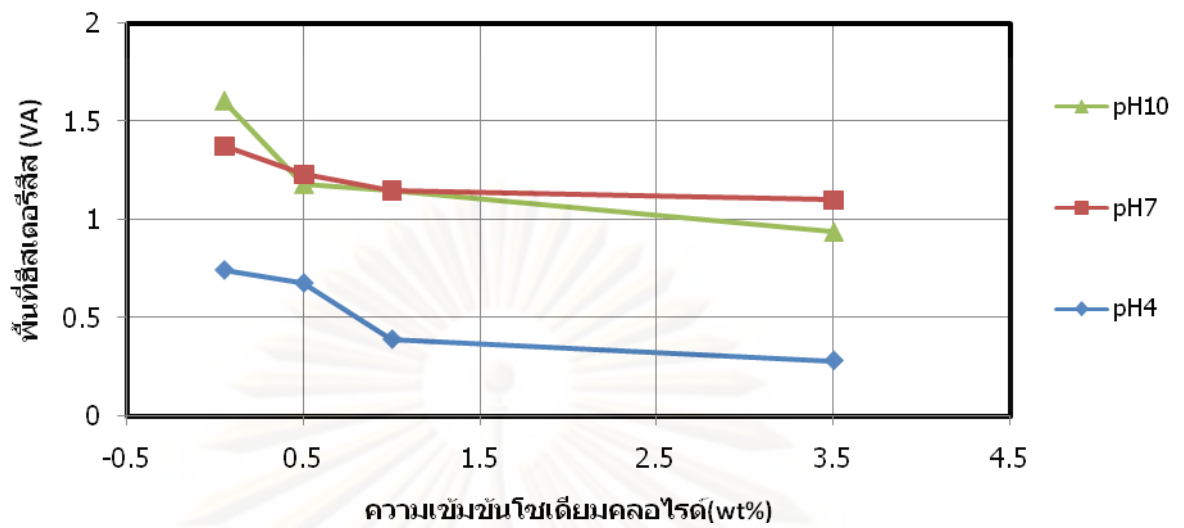
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ep - Epr ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่างๆ



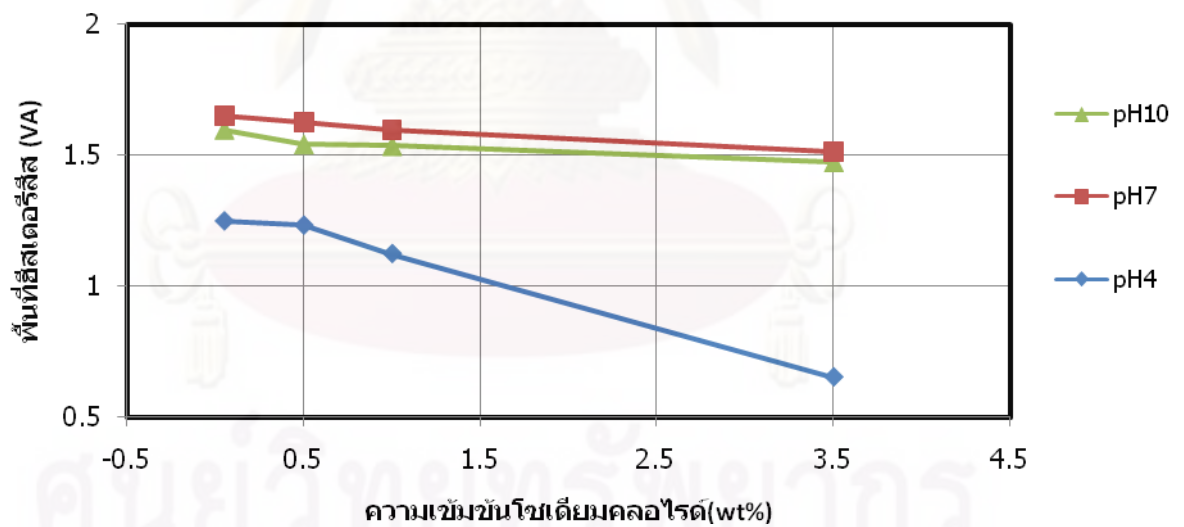
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_p - E_{pr}$ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



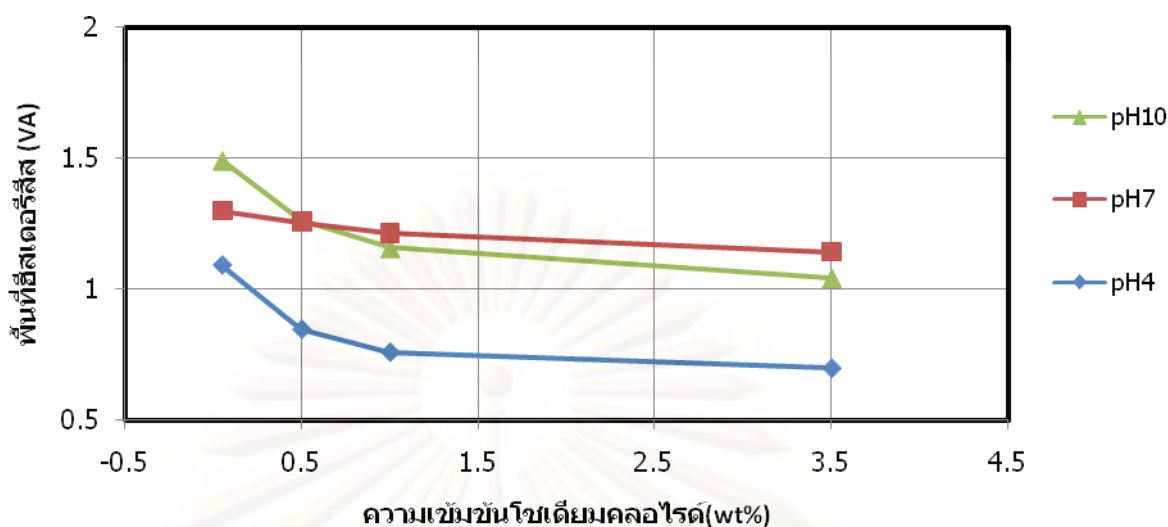
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_p - E_{pr}$ ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฮีสเตอริซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L กับ ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฮีสเตอริซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L กับ ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

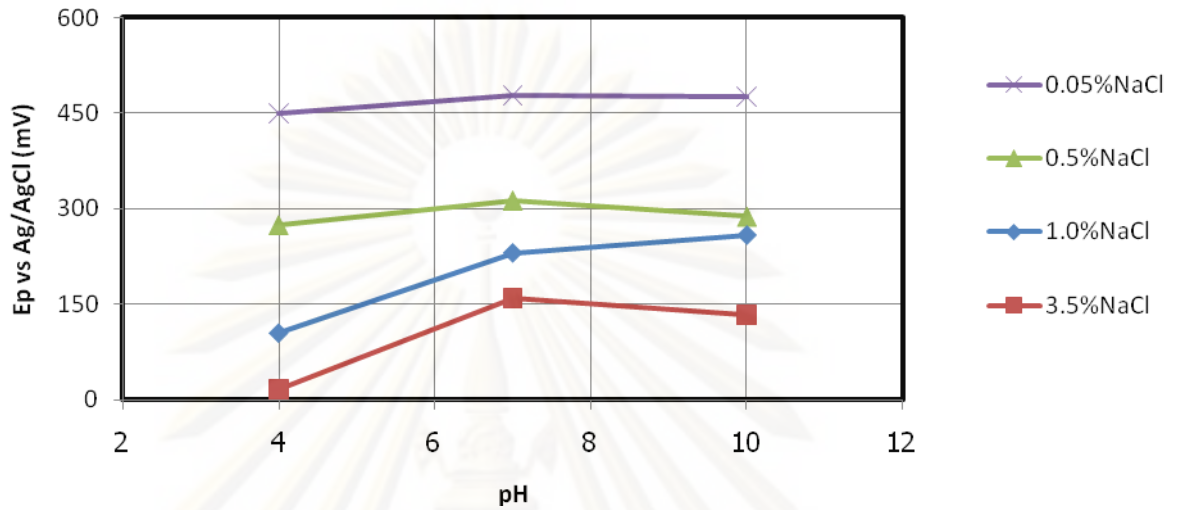


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฮีสเตอริซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L กับ ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ

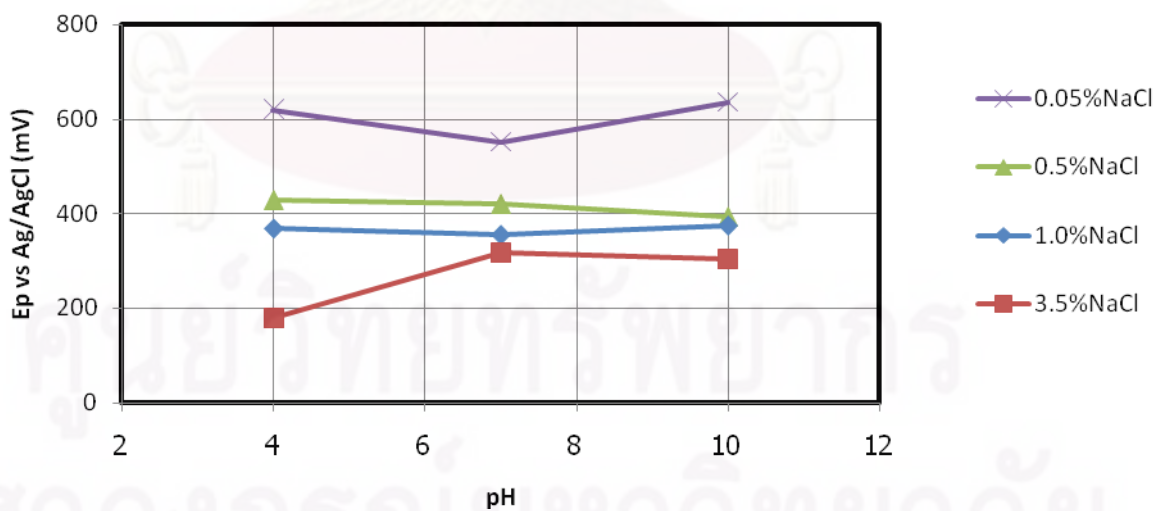
4.5 ผลของค่าพีเอชต่อค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเตอริซิส

4.5.1 ผลของค่าพีเอชต่อค่า E_p

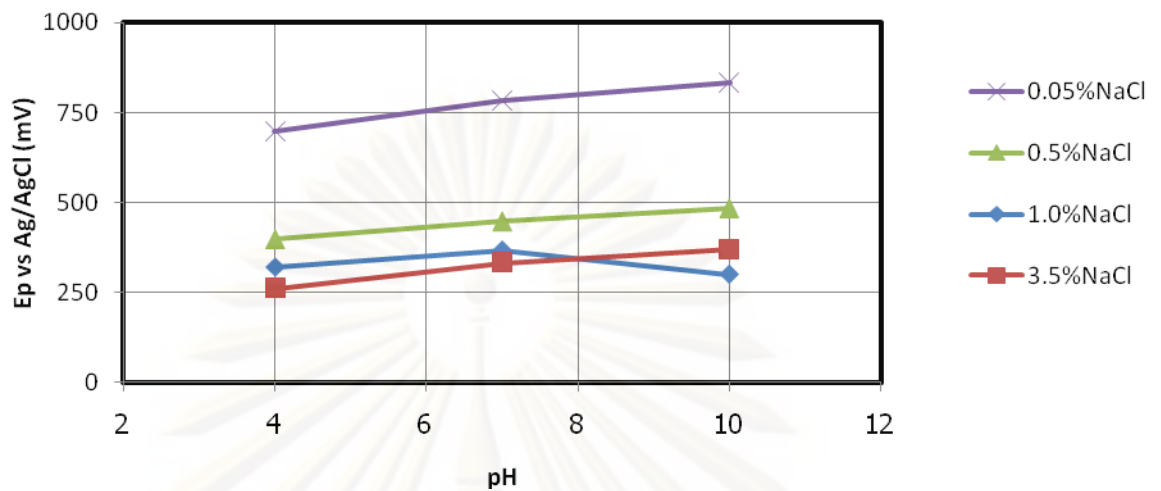
จากผลการทดลองของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L แสดงในรูปที่ 4.18 – 4.20 พบว่าค่า E_p มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไม่ชัดเจนนัก และการเปลี่ยนแปลงค่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันที่ค่าพีเอช 7 และ 10 ซึ่งผลที่ไม่ชัดเจนของค่า E_p คล้ายกันกับผลการทดลองของ Baboian, Robert และ Haynes, G.S. [1] คือค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม ในช่วงเพิ่มศักย์ไฟฟ้าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันมาก ซึ่งมีผลมาจากปริมาณออกซิเจนที่เหลือค้างในสารละลายขณะทดลอง และสาเหตุที่ทำให้ค่า E_p ควรจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น เนื่องจากที่พีเอช 4 ปริมาณไอออนไฮโดรเจน (H^+) จากการแตกตัวของกรดซัลฟิวริก มากกว่าที่พีเอช 7 และ 10 อีกทั้งฟิล์มของโครเมียมสามารถละลายได้ในกรด [14] ส่งผลให้การละลายของฟิล์มจากปริมาณไอออนไฮโดรเจนที่ค่าพีเอช 4 มีความรุนแรงมากกว่าที่ค่าพีเอช 7 และ 10 [14] นอกจากนี้ที่ค่าพีเอช 10 และ 7 มีปริมาณไอออนไฮดรอกไซด์ (OH^-) จากการแตกตัวของไฮโดรอกไซด์และน้ำ (H_2O) สูงกว่าที่ค่าพีเอช 4 [13] โดยไอออนไฮดรอกไซด์เป็น



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ



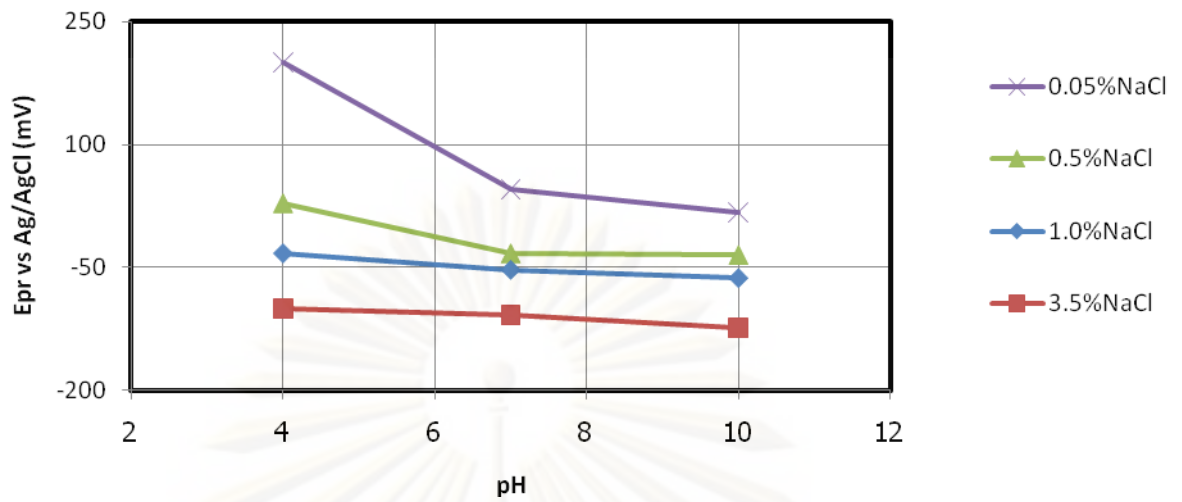
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ



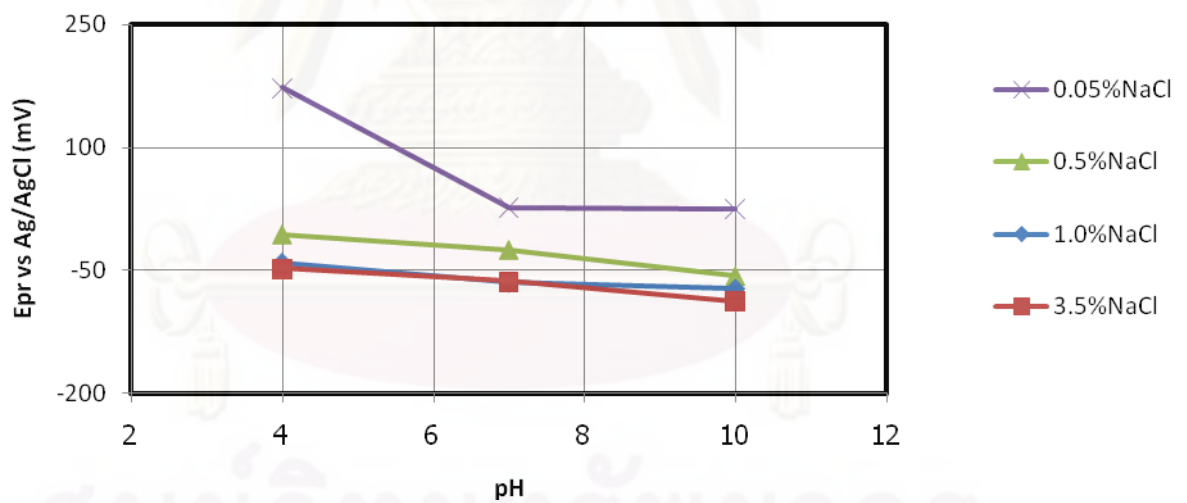
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_p กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ

4.5.2 ผลของค่าพีเอชต่อค่า E_{pr}

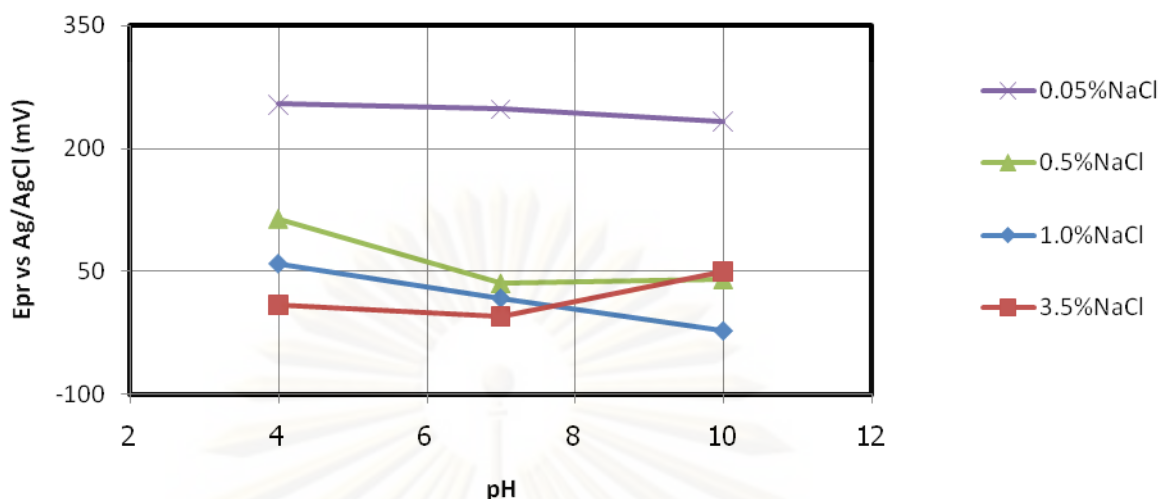
จากผลการทดลองของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L แสดงในรูปที่ 4.21 - 4.23 พบว่าค่า E_{pr} ที่พีเอช 4 มีค่าสูงกว่าที่พีเอช 7 และ 10 อาจเกิดจากค่า E_p ที่พีเอชต่ำมีแนวโน้มลดลง (ข้อ 4.5.1) ทำให้ที่พีเอชต่ำเกิดฟิล์มแตกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านขึ้นงานได้มากขึ้นจนถึงค่าการลดศักย์ไฟฟ้าภายหลังเกิดฟิล์มแตกได้เร็วขึ้น ทำให้ค่า E_{pr} ที่เกิดจากการลดศักย์ไฟฟ้าสามารถตัดกับเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันขาไปได้เร็วขึ้น ทำให้ค่า E_{pr} ที่พีเอชต่ำมีค่าสูงและมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Epr กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ



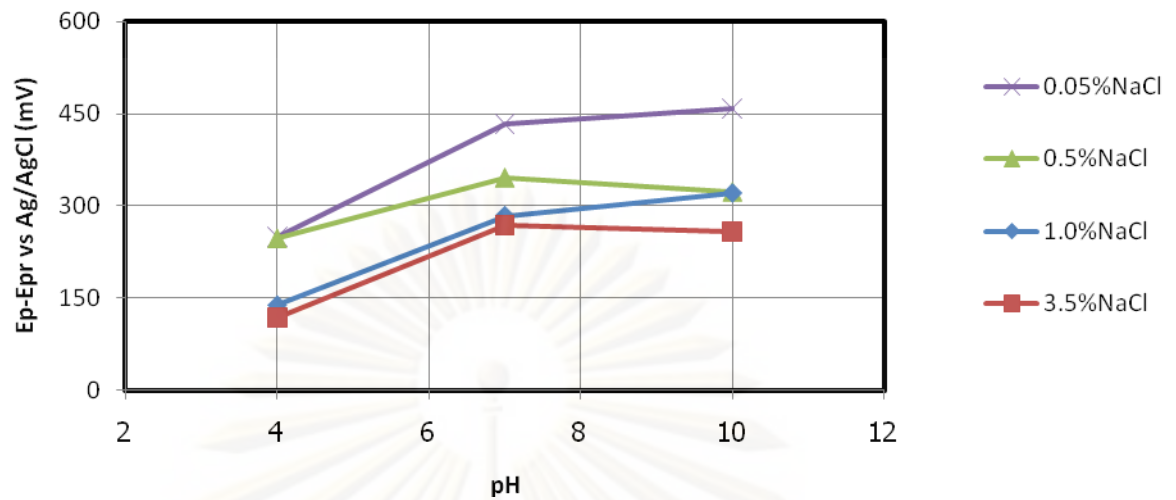
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Epr กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ



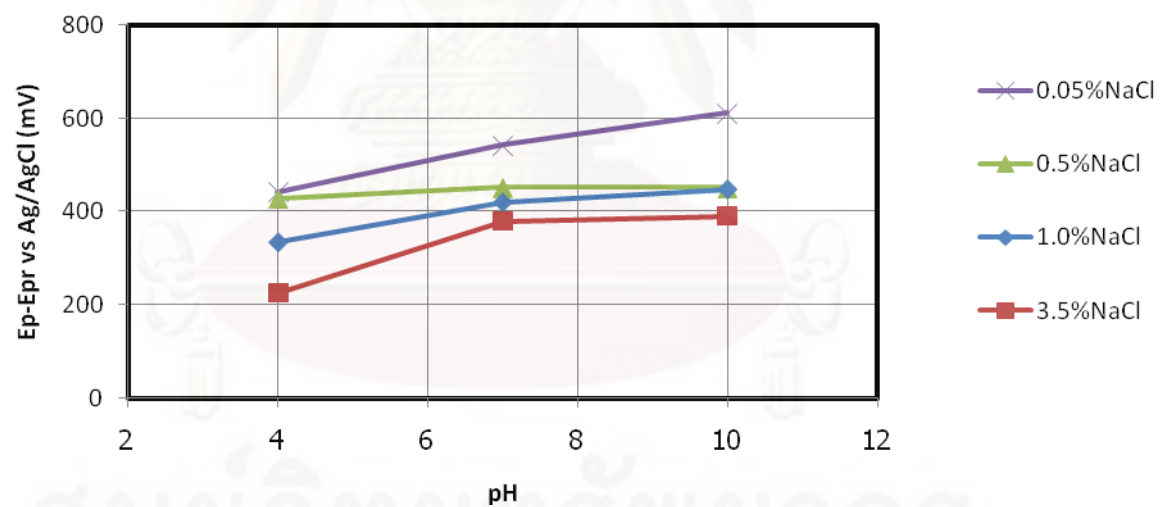
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Epr กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ

4.5.3 ผลของค่าพีเอชต่อค่า Ep - Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส

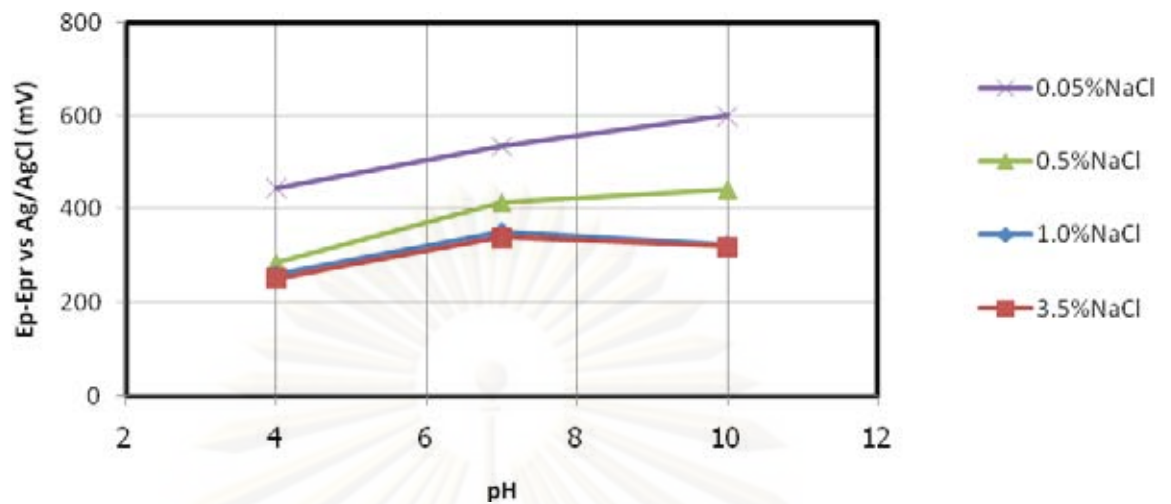
รูปที่ 4.24 - 4.29 ค่า Ep - Epr และ พื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีค่าลดลงชัดเจนที่พีเอช 4 และมีค่าเพิ่มขึ้นในแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกับ G.Lothonkum และคณะ [6] และค่าที่ได้มีแนวโน้มเดียวกัน สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L เนื่องจากผลของค่า Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จะสัมพันธ์กับค่า Ep และค่า Epr ถ้าค่า Ep และค่า Epr เปลี่ยน จะส่งผลให้ค่า Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีแนวโน้มเปลี่ยนไปเพราะค่า Ep-Epr เกิดจากค่า Ep ลบกับค่า Epr ส่วนพื้นที่ ฮีสเทอรีซิส เป็นค่าพื้นที่ระหว่างค่า Ep กับค่า Epr



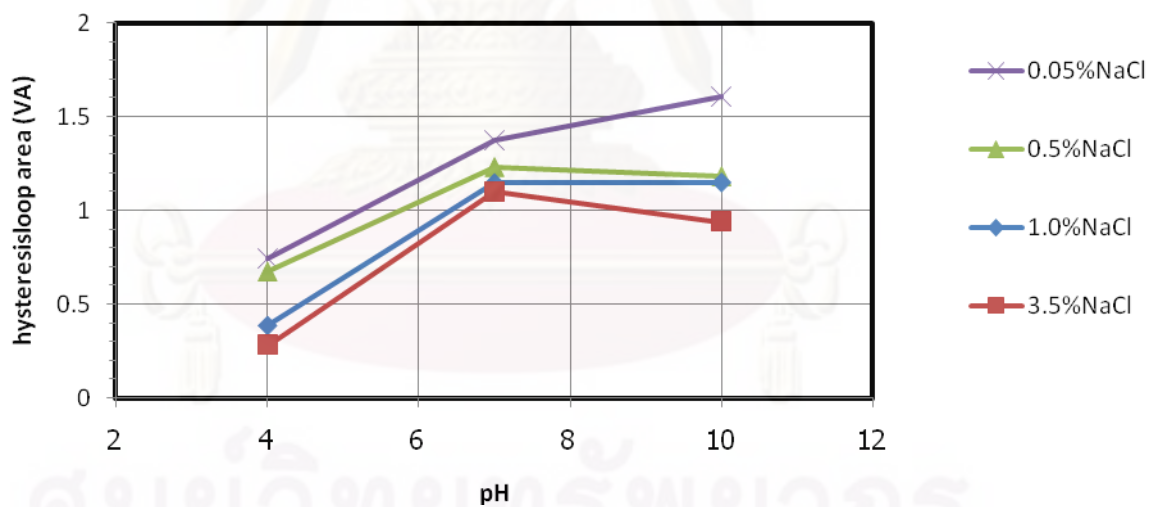
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_p - E_{pr}$ กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ



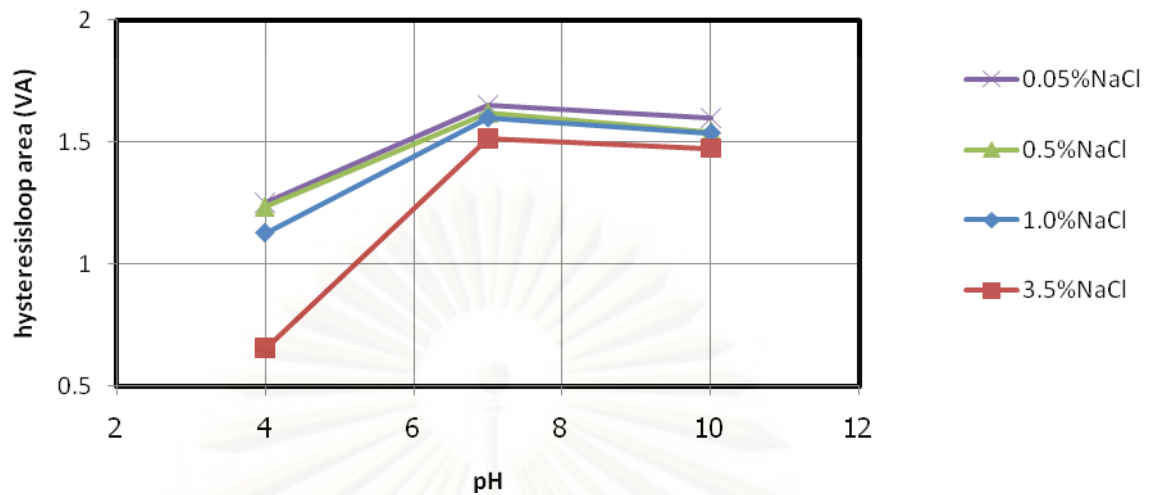
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_p - E_{pr}$ กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่างๆ



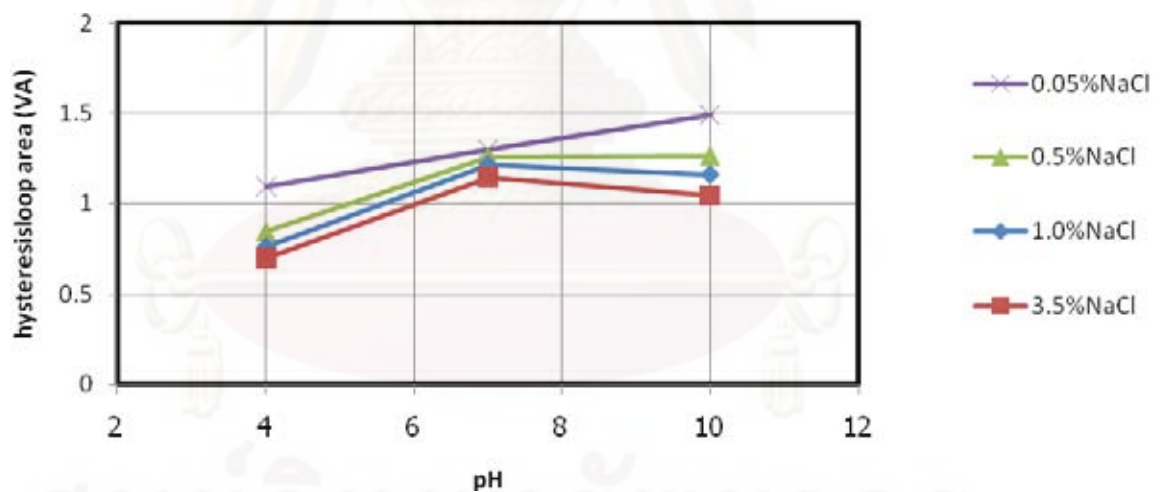
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $E_p - E_{pr}$ กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฮิสเทอริซิส กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฮิสเทอริซิส กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ

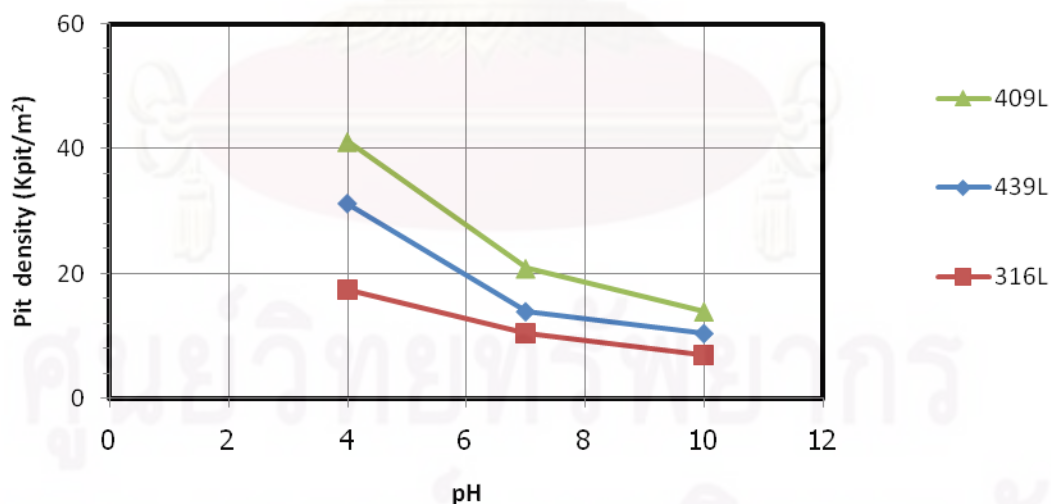


รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ฮิสเทอริซิส กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ต่าง ๆ

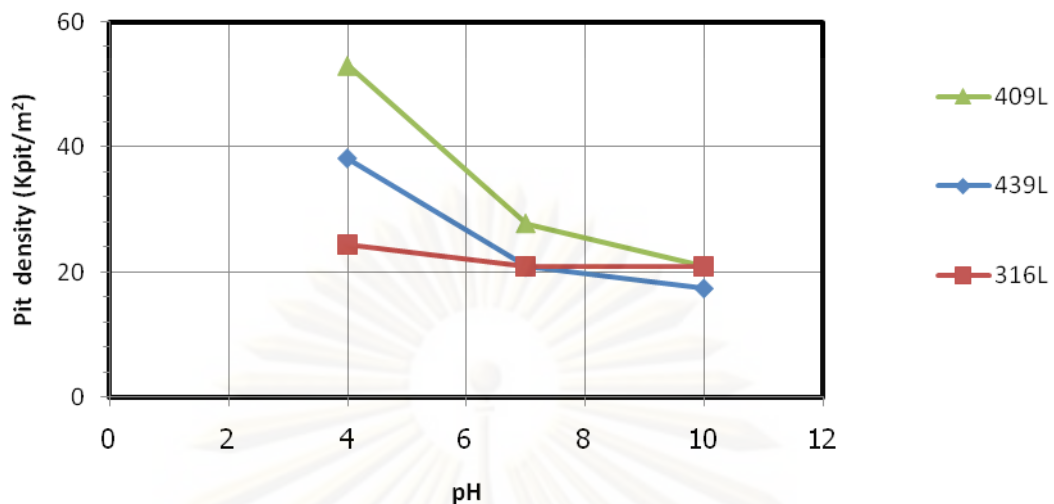
จากการทดลองผลของค่าพีเอชพบว่า ในช่วงพีเอช 4 ถึง 7 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเทอริซิส มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ชัดเจนกว่าในช่วงพีเอช 7 ถึง 10 อาจเนื่องจากช่วงดังกล่าวมีทั้งไอออนคลอไรด์และไฮโดรเจนที่มีคุณสมบัติเสริมการกัดกร่อน ส่วนในช่วง

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเตอรีซิส

ผลการตรวจสอบความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พีเอช 4, 7 และ 10 แสดงในรูปที่ 4.30 - 4.31 แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของจำนวนรูเข็มมีค่าเพิ่มขึ้นชัดเจนที่พีเอช 4 และมีค่าลดลงในแนวโน้มใกล้เคียงกันเมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในสารละลายที่มีค่าพีเอชสูง เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มสูงกว่าที่พีเอชต่ำ เพราะเหล็กสร้างฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนในสารละลายที่เป็นด่าง จำนวนรูเข็มจะไม่มาก เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของจำนวนรูเข็มที่ค่าพีเอชเป็นกรด

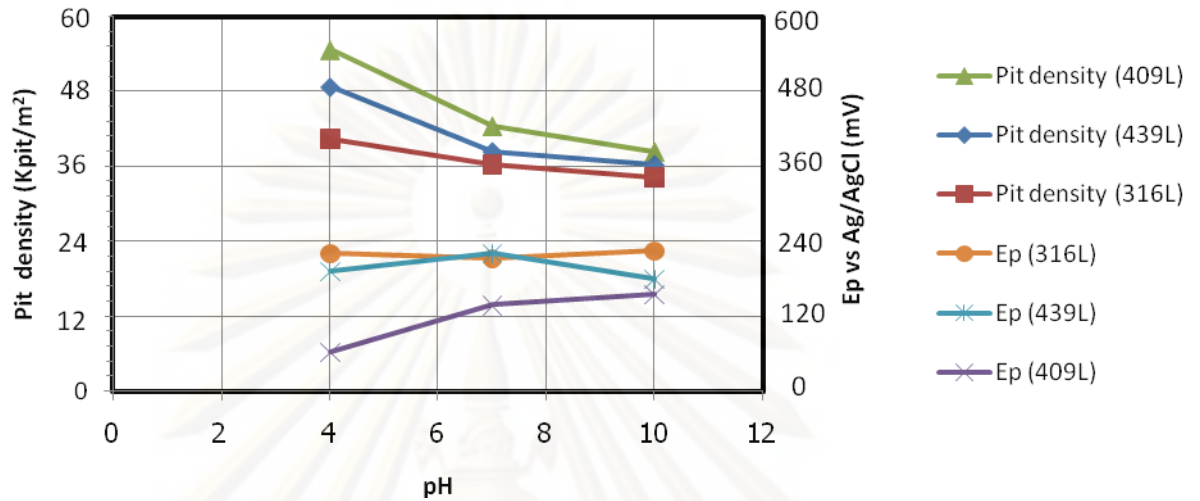


รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

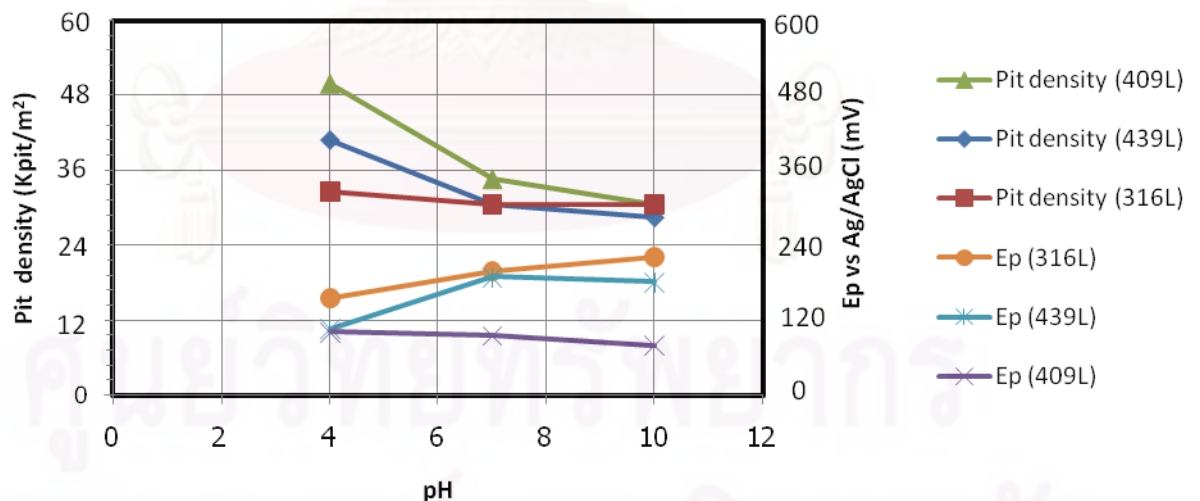


รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่าพีเอช ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

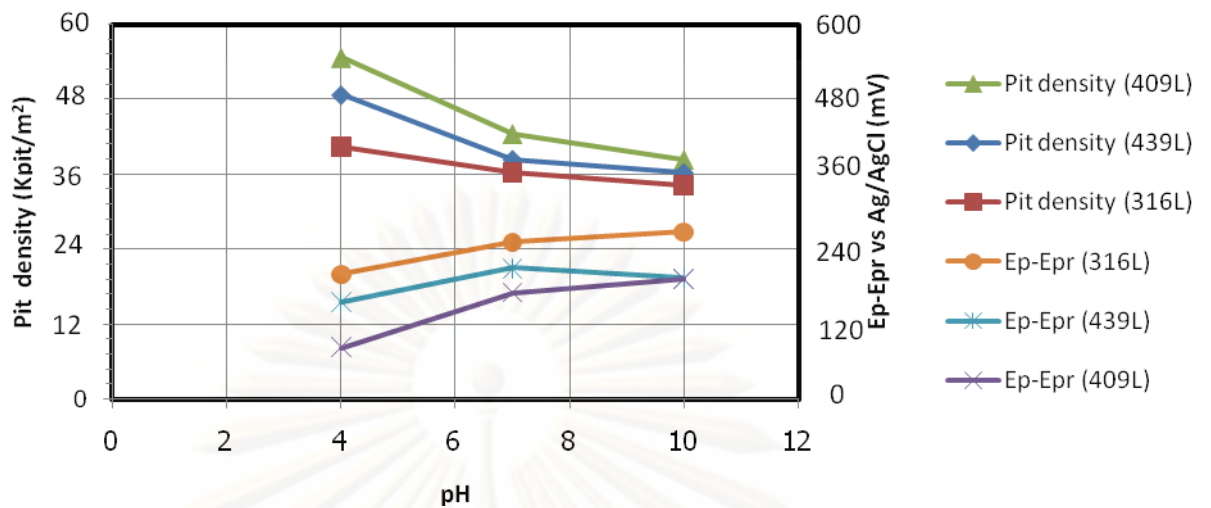
ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็มเป็นค่าที่แสดงความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของโลหะ เมื่อค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็มมีค่าสูง แสดงว่าที่ผิวโลหะมีจำนวนรูเข็มที่เกิดขึ้นต่อหน่วยพื้นที่ในปริมาณสูง จึงอาจกล่าวได้ว่าโลหะนี้มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ต่ำ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ดังรูปที่ 4.32 – 4.39 พบว่าที่พีเอชน้อยลงหรือที่สภาวะเปลี่ยนจากต่างเป็นกรดค่า E_p , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีค่าลดลง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนความหนาแน่นจำนวนรูเข็มมีค่าสูงที่สภาวะกรดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ที่ค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้นค่า E_p , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่พีเอชสูงโลหะสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ดีกว่าที่ค่าพีเอชต่ำหรือที่สภาวะกรด แสดงว่าโลหะที่มีค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส สูง จะสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ดีกว่าโลหะที่มีค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ต่ำ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า E_{pr} พบว่าที่พีเอชต่ำค่า E_{pr} และความหนาแน่นจำนวนรูเข็มมีค่าสูงและมีค่าลดลงเมื่อพีเอชสูงขึ้น แสดงว่าโลหะที่มีค่า E_{pr} และความหนาแน่นจำนวนรูเข็มสูงจะสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ไม่ดีเท่าโลหะที่มี



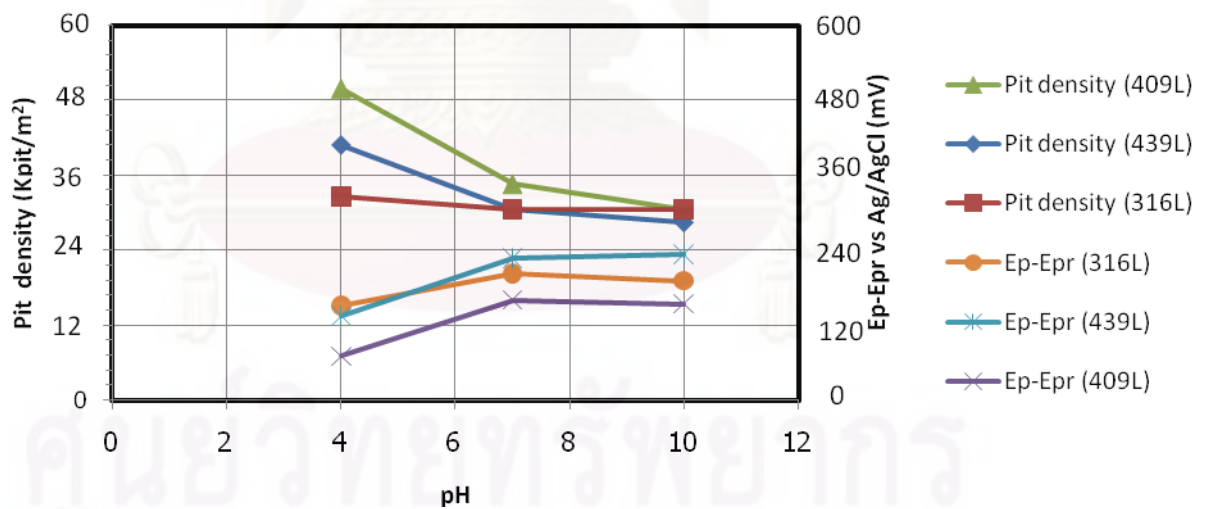
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



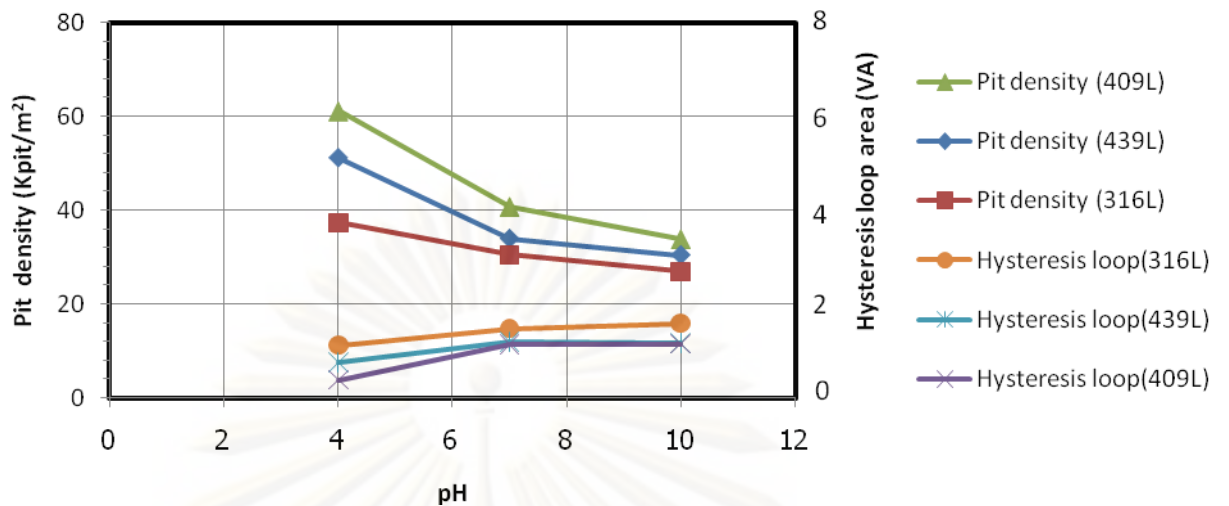
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า E_p ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



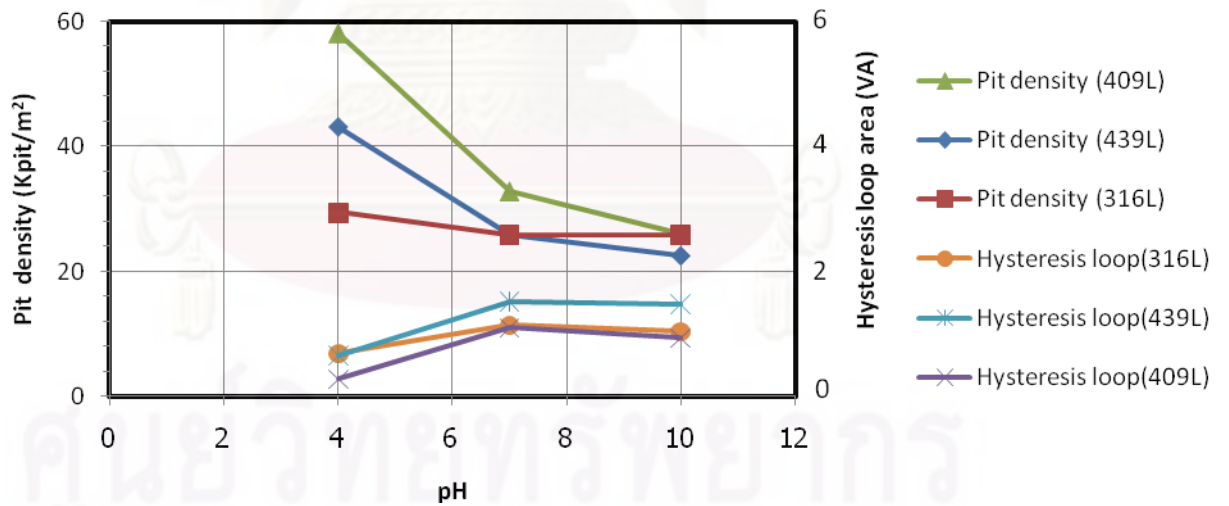
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับ Ep - Epr ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



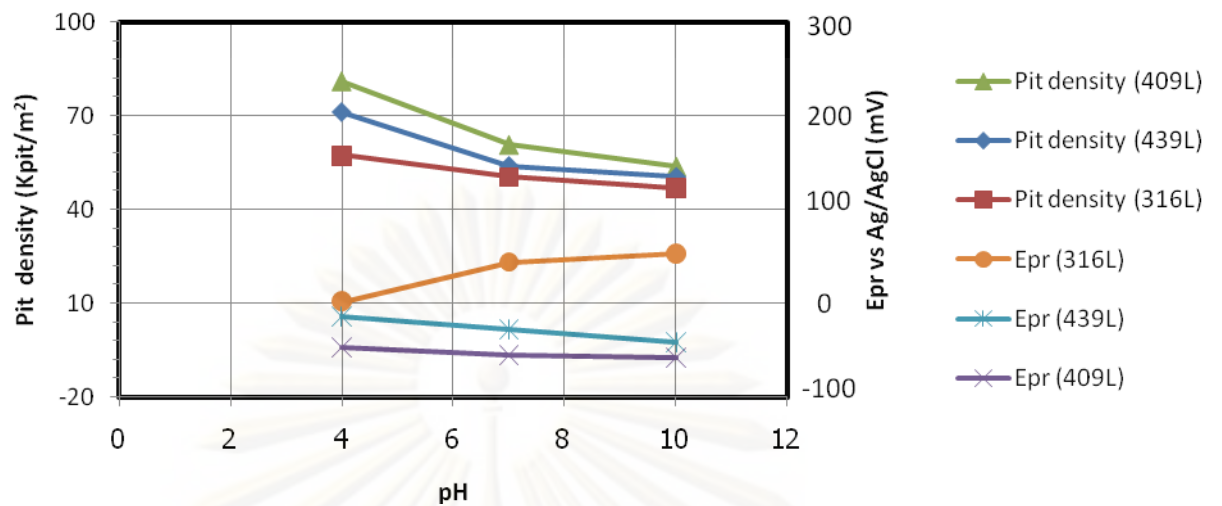
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับ Ep - Epr ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



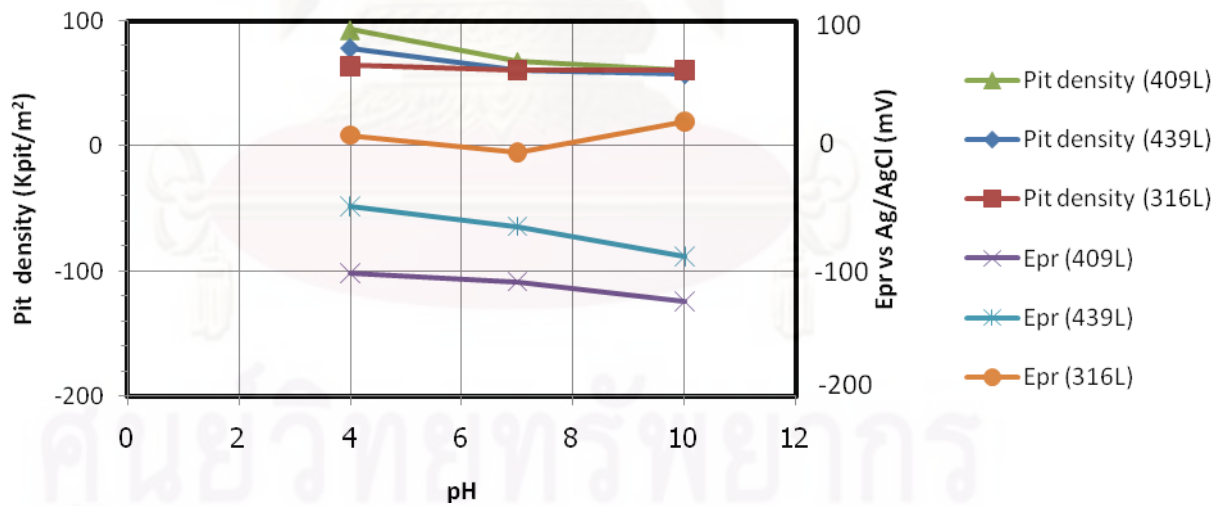
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับพื้นที่ฮิสเทอรีซิสของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับพื้นที่ฮิสเทอรีซิสของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า Epr ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า Epr ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L, 439L และ 316L พบว่าค่า E_p , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิสของ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L มีแนวโน้มของค่าสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L และ 439L แต่ เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม จะพบว่าเป็นไปได้ในทางตรงกันข้ามคือมีความหนาแน่น จำนวนรูเข็มน้อยกว่า อย่างไรก็ตามผลไปในทิศทางเดียวกันคือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L สามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L และ 439L ตามลำดับ เนื่องจากเหล็กแต่ละชนิดมีธาตุผสมและลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่ต่างกัน [14]

จากงานวิจัยของ L. Tan, R.A. Dodd, W.C. Crone พบว่าค่า E_p และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สัมพันธ์กัน อาจเนื่องมาจากค่าความหนาแน่นกระแสที่ลดค่าศักย์ไฟฟ้าลง (reverse scan) ในแต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.8 [3] จึงมีผลทำให้พื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ไม่สัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ในการลดค่าศักย์ไฟฟ้าลงตามมาตรฐาน ASTM G61 - 86 [2] กำหนดไว้ที่กระแสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์ ส่วนงานวิจัยของ A. Igual Munoz, J. Garcia Anton กล่าวว่า พื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ที่ใหญ่ขึ้น ยิ่งทำให้การกลับมาเกิดฟิล์มที่ผิวยากขึ้นเพราะภายในรูเข็มอาจมีค่าความเป็นกรดต่ำกว่าค่าพีเอชของสารละลายภายนอก รูเข็มทำให้การสร้างฟิล์มอีกครั้งเป็นไปได้ยากขึ้น [13] แต่จากผลการทดลองไม่มีการแสดงขนาด พื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ทำให้ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ชัดเจน ดังนั้นหาพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส แล้วนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (E_p) และค่า ($E_p - E_{pr}$) จะทำให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และเนื่องจากผลการทดลองในที่นี่มีจำนวนค่าที่วัดเพียง 3 จุดเท่านั้น ไม่เพียงพอที่จะหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ จึงเสนอว่าควรเพิ่มจำนวนผลการทดลอง เพื่อสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม กับค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮีสเตอร์ีซิส ได้อย่างชัดเจน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองวัดการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 409L, 439L และ 316L ด้วยวิธีวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาไรเซชัน โดยใช้เครื่องโพเทนชิโอสแตท ที่ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าพีเอช 4, 7 และ 10 ด้วยอัตราการสแกน 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที อุณหภูมิ 25 °C สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในสารละลายสูงขึ้นมีผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Ep), ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน (Epr) ค่า Ep - Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีแนวโน้มลดลง

2. ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์คงที่ ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Ep) ค่า Ep - Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส มีแนวโน้มลดลงในสภาวะกรดมากกว่าสภาวะด่าง ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าป้องกัน (Epr) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในสภาวะกรดมากกว่าสภาวะด่าง

3. ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Ep), ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน (Epr) ค่า Ep - Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ของเหล็กกล้าไร้สนิมในสารละลายโซเดียมคลอไรด์คงที่ มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม (pit density) จะมีแนวโน้มลดลงซึ่งสอดคล้องกัน เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น แสดงว่าเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ดีขึ้น

5. เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L มีแนวโน้มในการต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L และ 409L ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์วิธีการวัดเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน สำหรับวัดความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิม ข้อเสนอแนะที่ควรศึกษาเพิ่มเติมคือ

- ศึกษาการวัด จำนวน ขนาด และ ความลึกของรูเข็มเพิ่มเติม โดยอ้างอิงจากมาตรฐานที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนและแม่นยำสำหรับผลการทดลอง
- การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็มกับค่าศักย์ไฟฟ้า การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Ep), ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน (Epr), (Ep-Epr) และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ จำเป็นต้องอาศัยผลการทดลองที่มากกว่าในงานวิจัยนี้
- ควรศึกษาความสัมพันธ์ของค่าการลดศักย์ไฟฟ้า (reverse scan) กับค่า Epr ก่อนทำการทดลอง เนื่องจากถ้าค่า Epr มีค่าต่ำกว่าค่า Ecorr อาจทำให้ผลของพื้นที่ฮีสเทอรีซิสเกิดความคลาดเคลื่อนได้

รายการอ้างอิง

- [1] R. Baboian และ G.S. Haynes. Cyclic Polarization Measurements-Experimental Procedure and Evaluation of Test Data. Electrochemical Corrosion Testing, ASTM STP 727. American Society for Testing and Materials, 1981
- [2] Annual Book of ASTM, Vol 03.02. ASTM G61 - 86. Philadelphia, Pennsylvania : ASTM, Reapproved 1998.
- [3] L. Tan, R.A. Dodd, W.C. Crone. Corrosion and wear-corrosion behavior of NiTi modified by plasma source ion implantation. Biomaterials, 2003, 24, 3931-3939.
- [4] A. Igual Munoz, J. Garcia Anton. Corrosion Studies of austenitic and duplex stainless Steels in aqueous lithium bromide solution at different temperature. Corrosion Science 46 (2004) 2955-2974.
- [5] B. E. Wilde. A Critical Appraisal of Some Popular Laboratory Electrochemical Tests For Predicting the Localized Corrosion Resistance of Stainless Alloys in Sea Water. Corrosion-NACE, 1972, 28, 283 – 291.
- [6] G. Lothongkum, P. Vongbandit and P. Nongluck. Experimental determination of E-pH diagrams for 316L stainless steel in air-saturated aqueous solutions containing 0-5,000 ppm of chloride using a potentiodynamic method. Anti-Corrosion Methods and Materials, 53/3(2006) 169-174.
- [7] S. Nivitchanyong and S. Daopiset. Effect of Water Chlorination Addition to Stainless Steel Corrosion Resistance, Proceedings, The First Stainless Steel congress in Thailand, December 15-17, 1997, Bangkok, Thailand.
- [8] E. D. Verink, JR. Application of Electrochemical Techniques in the Development of Alloys for Corrosive Service. Electrochemical Technique for Corrosion, 43 - 51. Houston, Texas : NACE, 1977.
- [9] Harvey P. Hack. The Potentiostatic Technique for Corrosion Studies, David Taylor Naval Ship R&D Center, Bethesda, Maryland.
- [10] ประทีป วงศ์บัณฑิต. การสร้างแผนภูมิพอร์เบสส์สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสมด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

- [11] S. Nivitchanyong and N. Khanchanaprayut. Pitting of Water Chlorination Addition to Stainless Steel Corrosion Resisitance. Proceedings, The First Stainless Steel congress in Thailand, December 15-17, 1997. Bangkok, Thailand.M.
- [12] 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.
- [21] Annual Book of ASTM,Vol 03.02. ASTM G 5 - 94, Philadelphia, Pensilvania : ASTM,1994.
- [22] พัทธิมา รัตนตระกูล. การสร้างแผนภูมิพอร์เบสซ์ของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ในสารละลายที่มีคลอไรด์ผสมโดยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณูฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546.
- [23] Underwood, E. Quantitative metallography. In Kathleen Mills (ed.), ASM Metal Handbook, 9th ed. Vol. 9 (1985): 123-134.
- [24] H. H. Strechblow and B. Titze, Corrosion Science 19 (1979) : 461.
- [25] G.C. Wipple and M.C. Wipple. Solubility of Oxygen in Sea Water. J. Am. Chem. Soc.33 (1911) : 362.
- [26] P. Lacombe, B. Baroux, G. Beranger, Stainless Steels. Pp 615-658, Scientific Editors., France:The company of UGIN 1993.

- [27] G. Lothongkum, S. Chaikittisilp, A.W, Applied Surface Science, 2003, 218, 202 – 209.
- [28] ศรีบุตร แววจริฎ และ ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง อินทิกรัลและการประยุกต์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2542.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

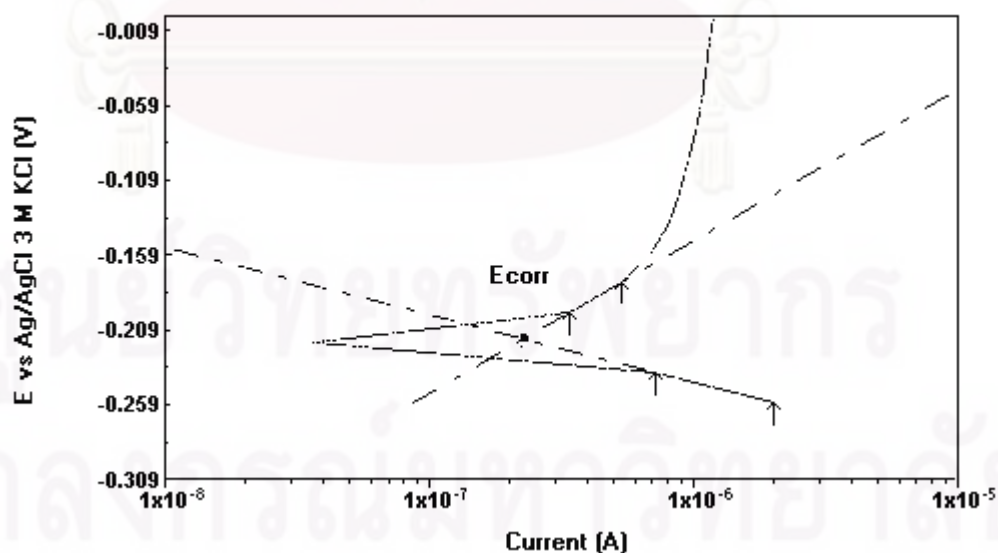
ภาคผนวก ก

วิธีหาค่า E_{corr} , E_p , E_{pr} และพื้นที่ฮีสเตอร์ซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน

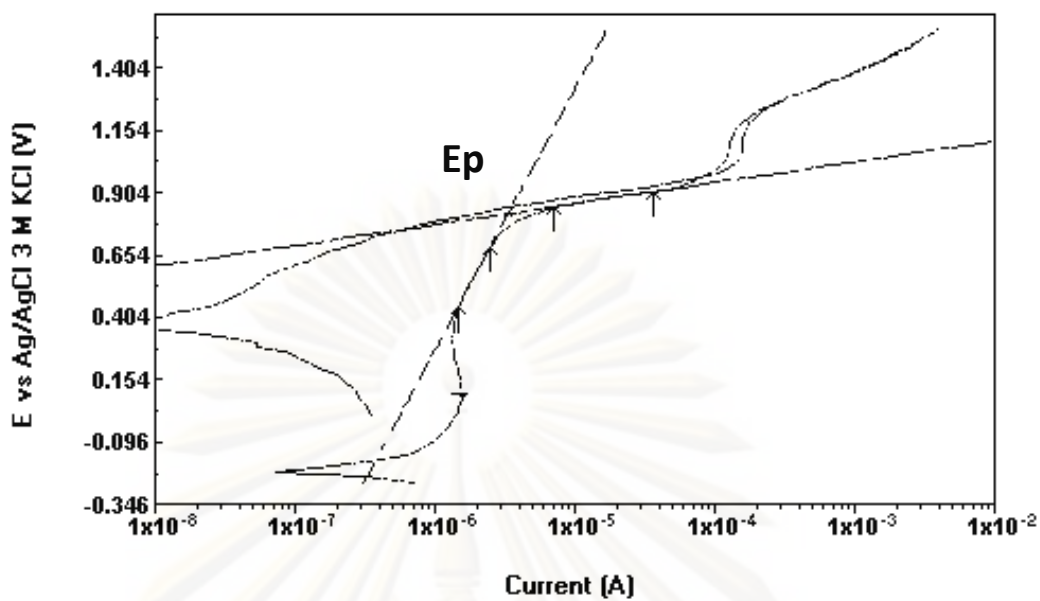
ค่า E_{corr} และ E_p หาได้จากการใช้โปรแกรมถดถอยเชิงเส้น (Linear regression program) ซึ่งติดตั้งอยู่ในเครื่องโพเทนชิโอสแตท ซึ่งมีวิธีการหาค่า E_{corr} และ E_p โดยการเรียกเพิ่มข้อมูลรูปเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันที่ต้องการหาค่า E_{corr} และ E_p แล้วเปิดโปรแกรมถดถอยเชิงเส้น จากนั้นกำหนดตำแหน่ง 2 จุดบนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันแล้วใช้คำสั่งให้ทำถดถอยเชิงเส้น โปรแกรมจะทำการคำนวณเส้นตรงระหว่างจุด 2 จุดที่กำหนดไว้ให้โดยอัตโนมัติ รูปที่ ก.1 และ ก.2 แสดงการหาค่า E_{corr} และ E_p ตามลำดับ

สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงจากกระแสพาสซีฟไปเป็นกระแสทรานพาสซีฟอย่างกะทันหัน จะกำหนดให้จุดดังกล่าวเป็นค่า E_p ดังแสดงในรูปที่ ก.3

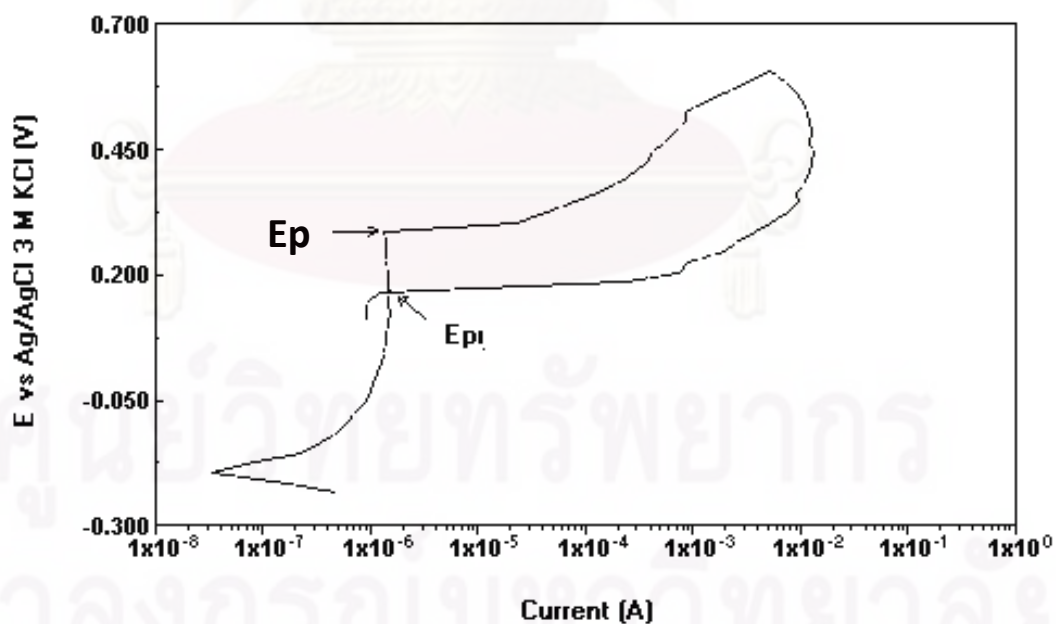
ส่วนค่า E_{pr} หาได้จากจุดตัดระหว่างการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันขาไปและขากลับ ดังแสดงในรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า E_{corr} จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน



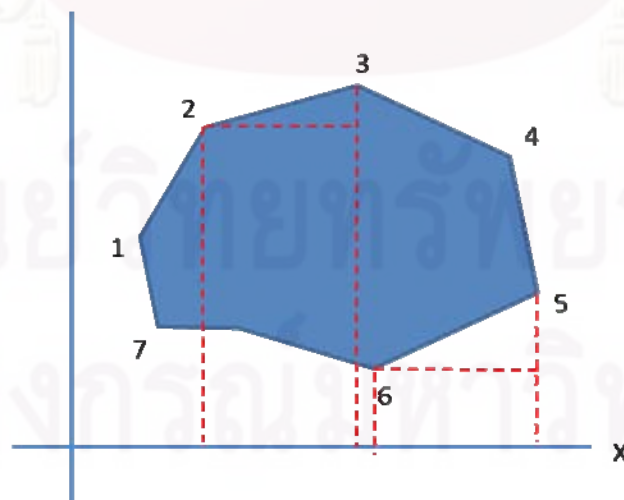
รูปที่ ก.2 แสดงการหาค่า E_p จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน



รูปที่ ก.3 แสดงการหาค่า E_{pr} จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน

เนื่องจากกราฟเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันได้มาจากการนำข้อมูลเชิงตัวเลขที่วัดได้จากการทดลอง ดังนั้นสำหรับการหาพื้นที่ฮิสเตอร์ซิส จึงใช้การอินทิเกรตเชิงตัวเลข (Numerical Integration) ในช่วงพื้นที่ฮิสเตอร์ซิส โดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Rule) [28] ในการอินทิเกรตหาพื้นที่ฮิสเตอร์ซิส โดยมีหลักการคำนวณพื้นที่ที่จะใช้สูตร พื้นที่สามเหลี่ยม ($\frac{1}{2} \times \text{ฐาน} \times \text{สูง}$) บวกกับพื้นที่สี่เหลี่ยม

พื้นที่สามเหลี่ยม ความยาวฐาน เท่ากับ ระยะแกน x ที่เปลี่ยนไป (dx) และความสูง เท่ากับ ระยะแกน y ที่เปลี่ยนไป (dy) ส่วนพื้นที่สี่เหลี่ยม ความยาวฐาน เท่ากับ ระยะแกน x ที่เปลี่ยนไป (dx) และความสูงเท่ากับ ค่า y แล้วใช้ excel คำนวณค่า dx กับ dy และ พื้นที่ของแต่ละเส้น (area) โดยใช้สูตร $\left(\frac{1}{2} \times |dx| \times |dy|\right) + (|dx| \times y_{\min})$ (y_{\min} คือ ค่า y ที่น้อยกว่า ระหว่าง ค่า y จุดที่พิจารณา กับ จุดถัดไป) จากนั้น เราจะดูว่า เส้นไหนเป็นเส้นล่างหรือเส้นบน จะใช้คำสั่ง if ใน excel นั่นคือ $\text{If}(dx < 0, \text{area} \times -1, \text{area})$ ถ้า dx น้อยกว่า 0 ให้คืนค่า พื้นที่คูณลบหนึ่ง แต่ถ้า dx มากกว่าศูนย์ ก็ให้คืนค่า พื้นที่เดิม แล้วหาพื้นที่รวมทั้งหมด ยกตัวอย่าง ดังกรณีรูปวงปิดใดๆ แสดงในรูป ก.4 ซึ่งในการคำนวณ จะใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมูที่กล่าวไว้ข้างต้นเพื่อหาพื้นที่ใต้กราฟของเส้นบน (เส้นกราฟ $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$) ลบพื้นที่ใต้เส้นล่าง (เส้นกราฟ $5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 1$) โดยเริ่มคำนวณเส้นกราฟทีละเส้น เริ่มจากเส้นตำแหน่ง $1 \rightarrow 2$ วนไปจนครบรอบ ซึ่งถ้าเป็นกรณีหาพื้นที่ฮิสเตอร์ซิส จะใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขจากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันในช่วงพื้นที่ฮิสเตอร์ซิส



รูปที่ ก.4 แสดงการหาค่าพื้นที่ กรณีของรูปวงปิดใดๆ

ภาคผนวก ข

เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันที่ได้จากการทดลอง

สภาวะที่ใช้ในการทดลอง [2, 22]

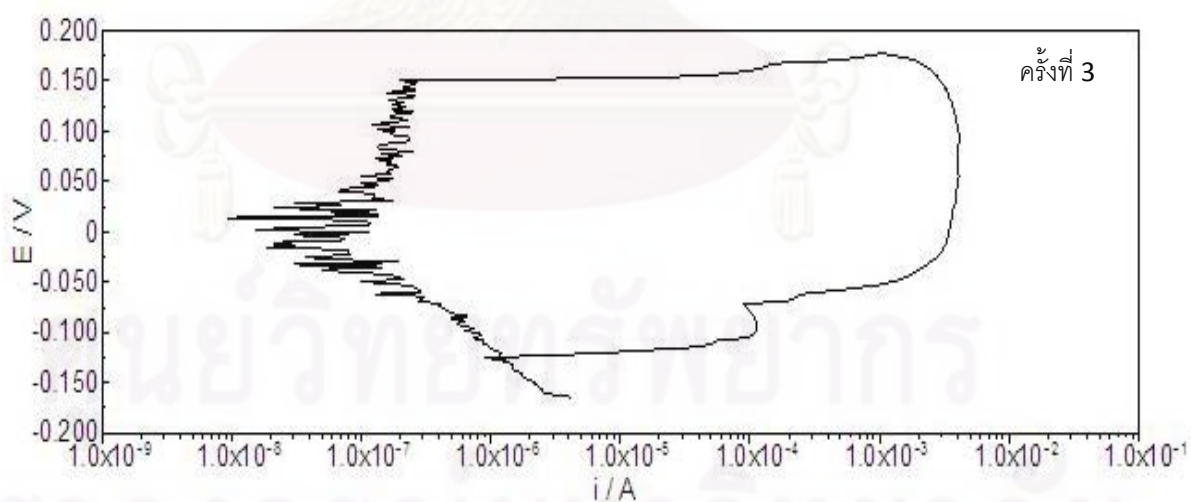
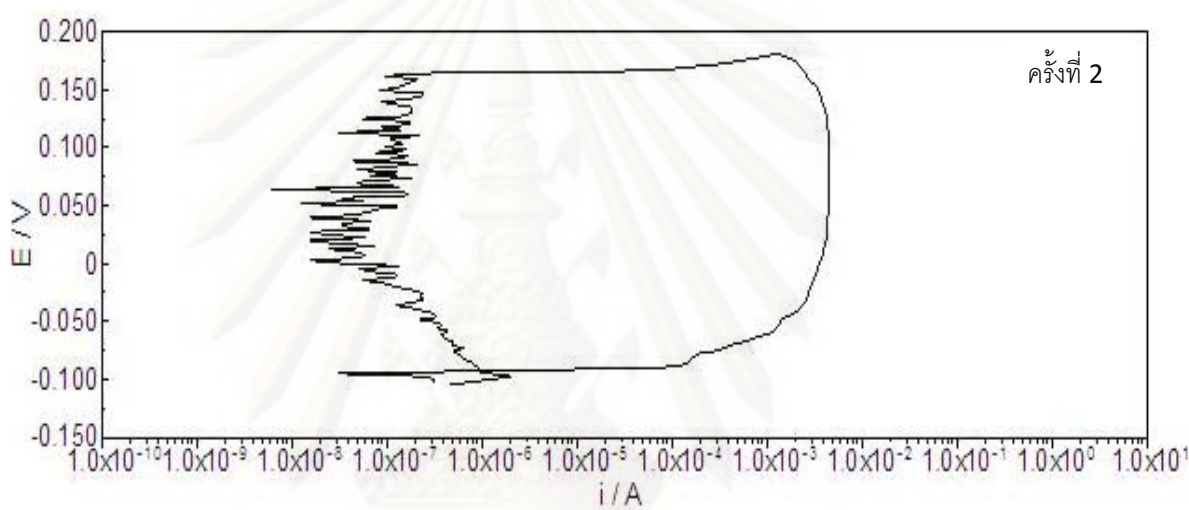
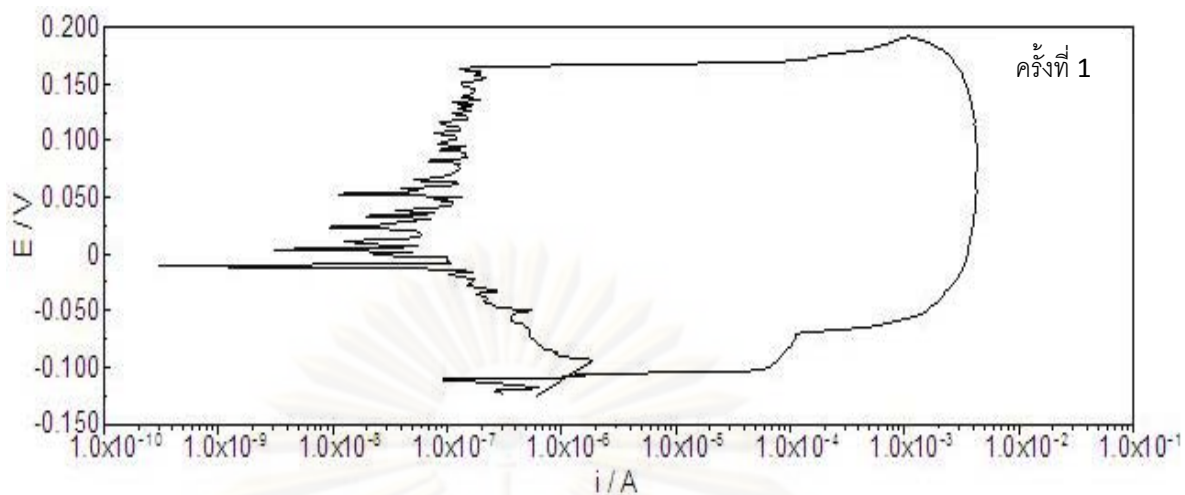
- อัตราการสแกนเท่ากับ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มแซ่ชิ้นงานก่อนการสแกนเท่ากับ 1 ชั่วโมง
- อัตราการกวาดสารละลาย 450 รอบต่อนาที
- การสแกนกลับเมื่อกระแสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25, 0.35, 0.50 โวลต์



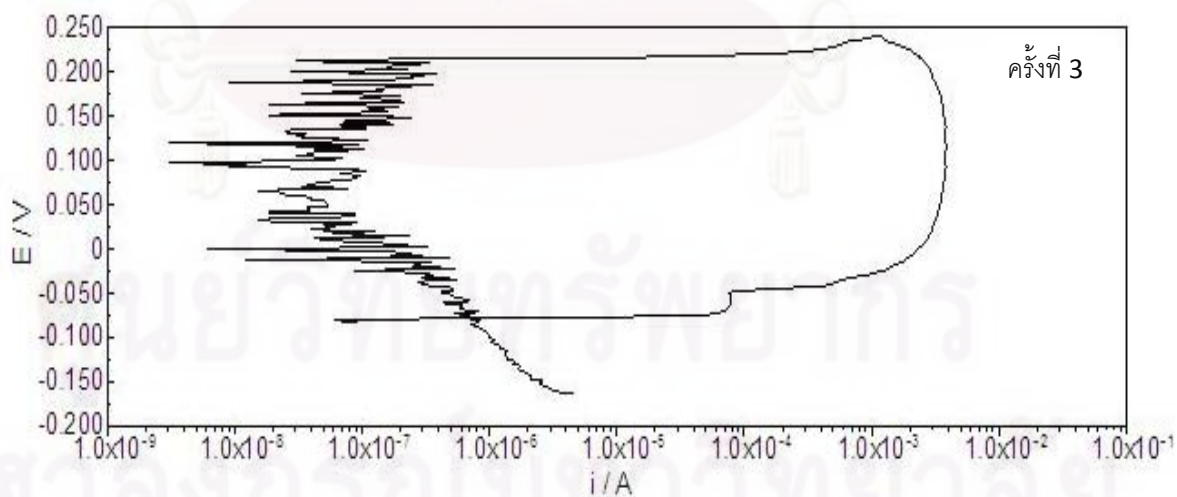
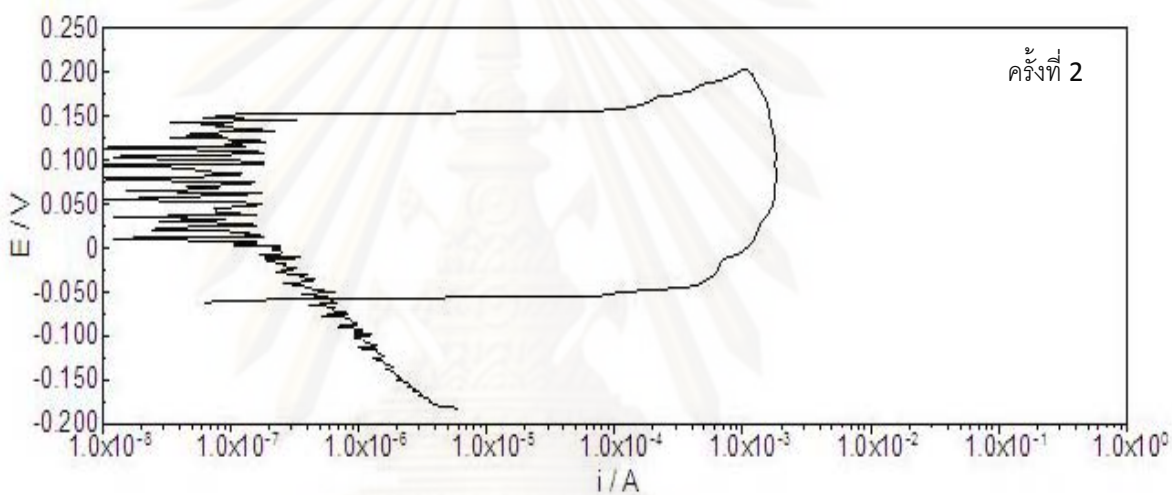
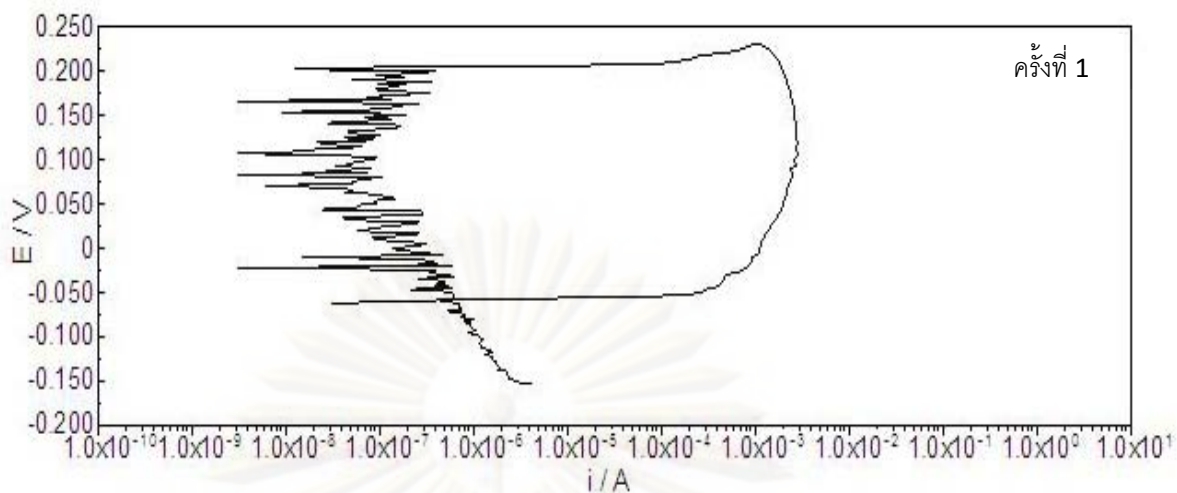
ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

NO THIS PAGE IN ORIGINAL

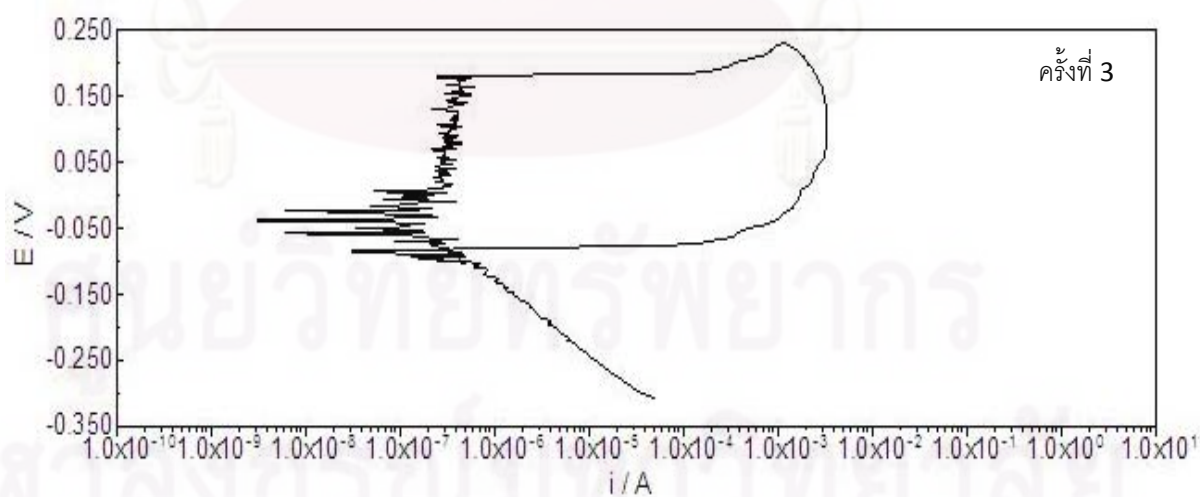
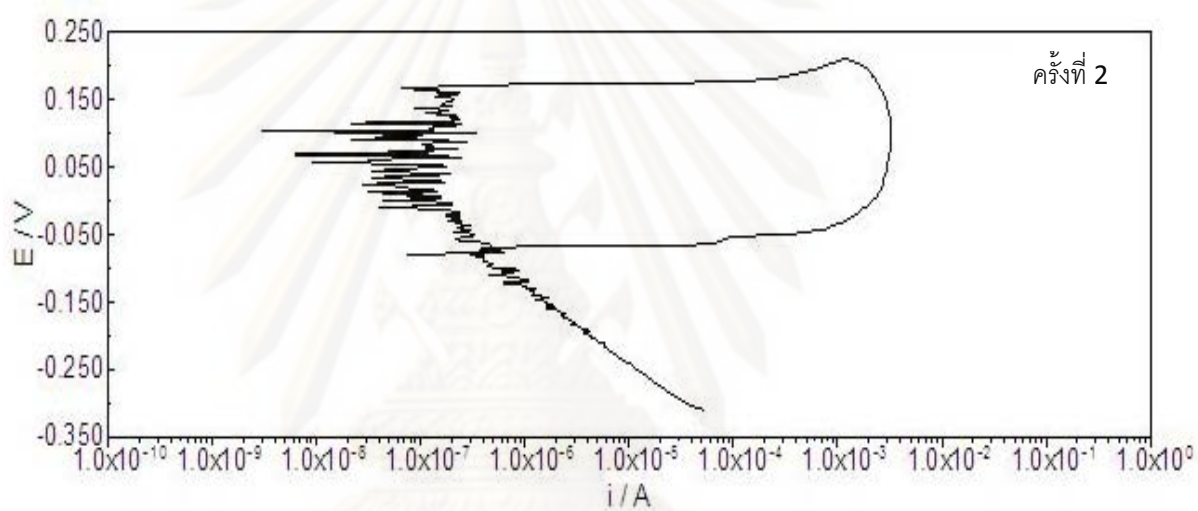
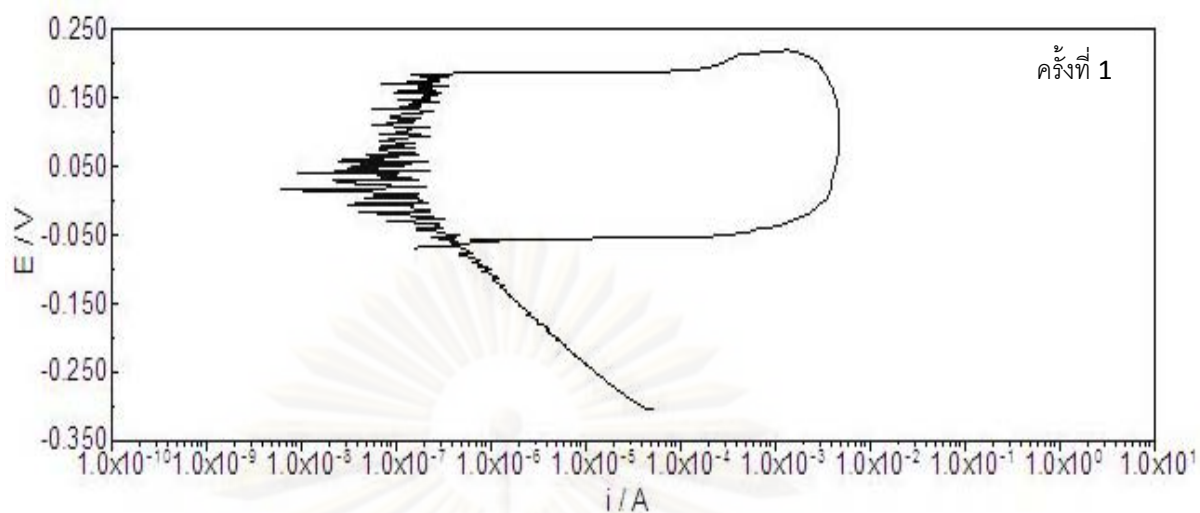
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.1 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์

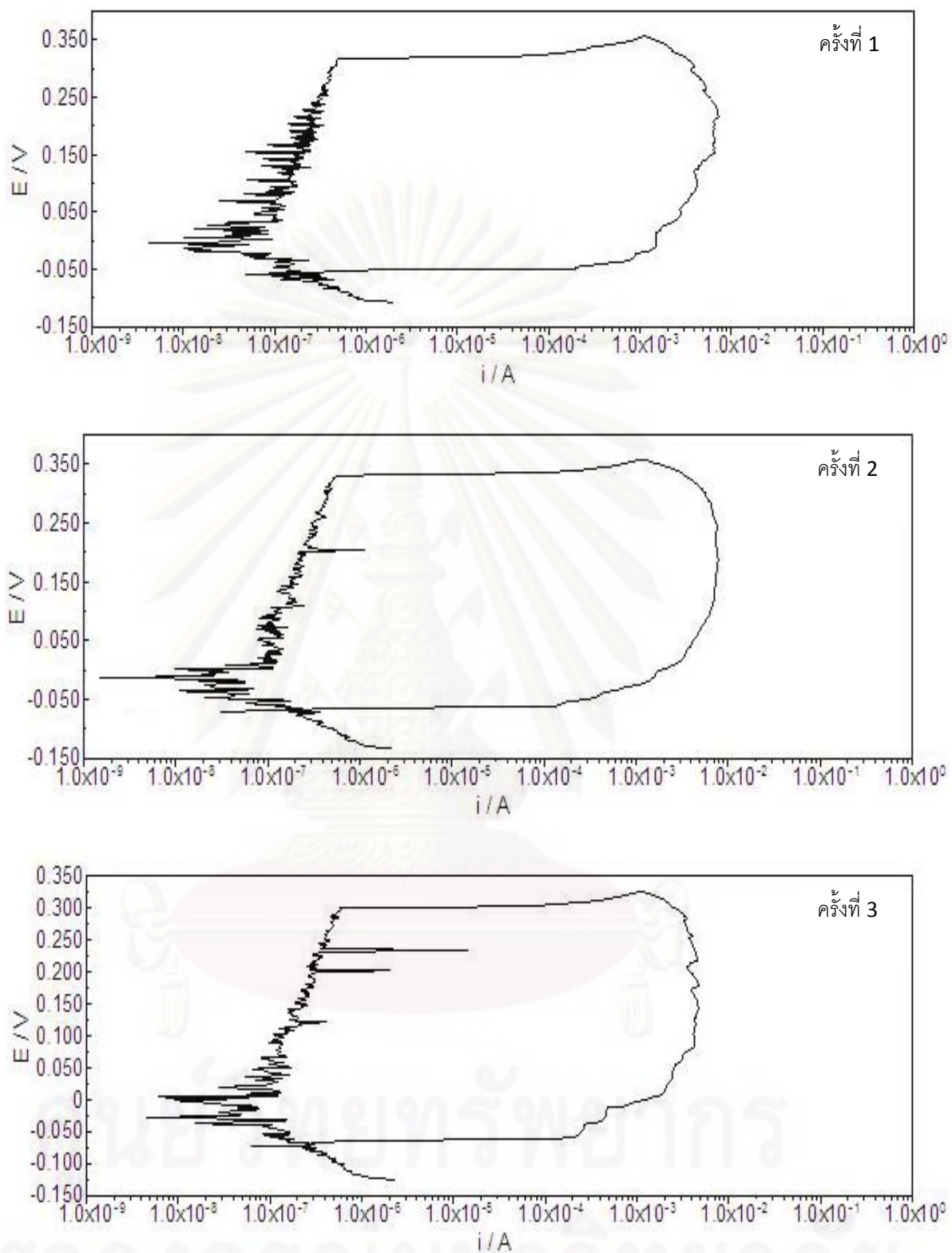


รูปที่ ข.2 เส้นโค้งไซคลิกโพลาร์โพรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์

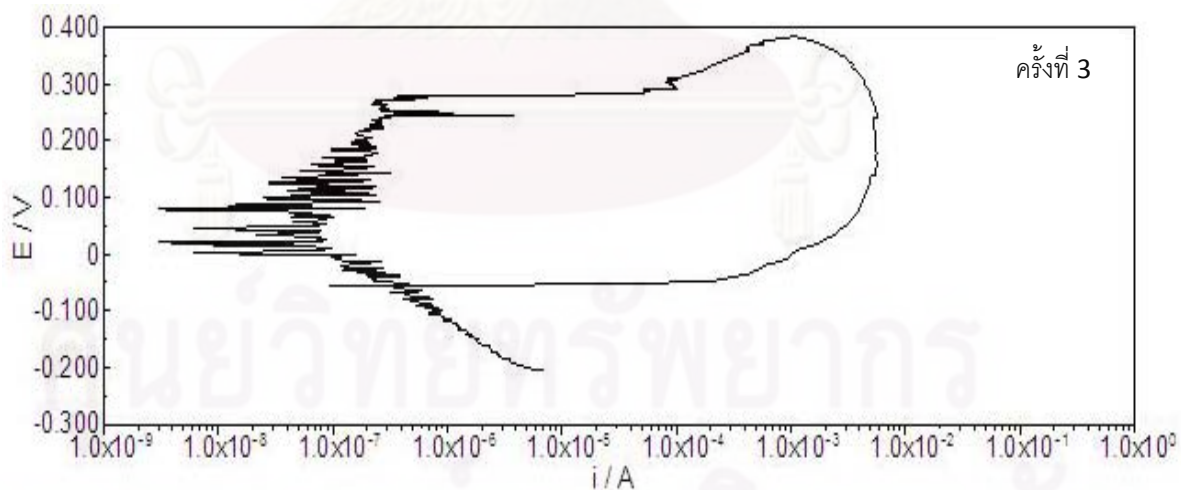
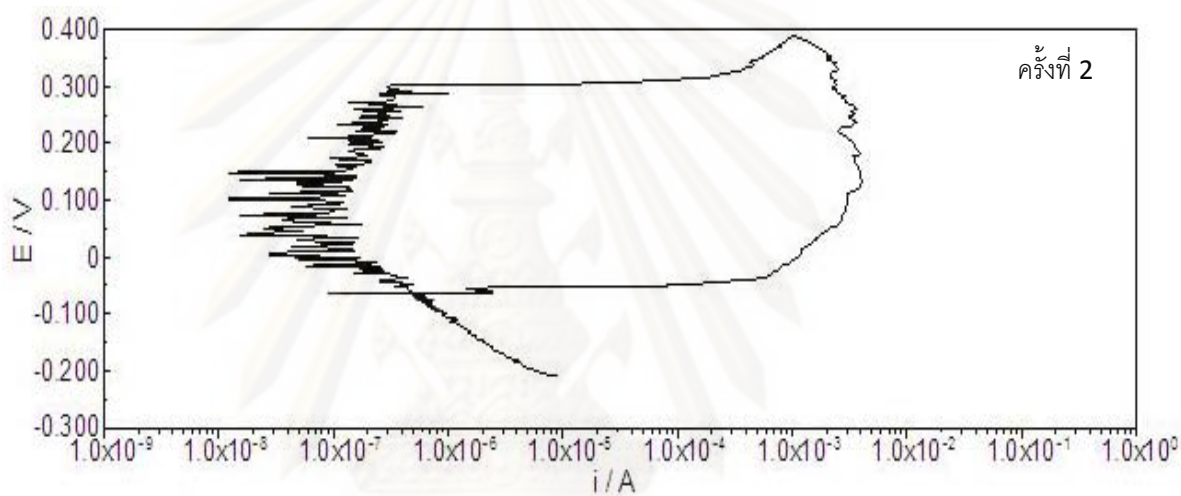
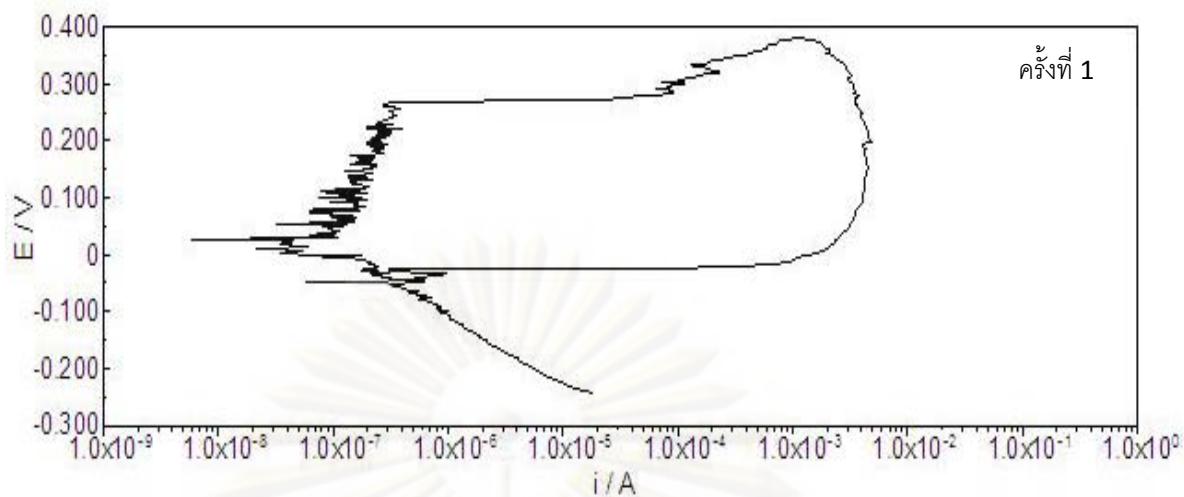


รูปที่ ข.3 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L โดยใช้ค่าเริ่มต้น

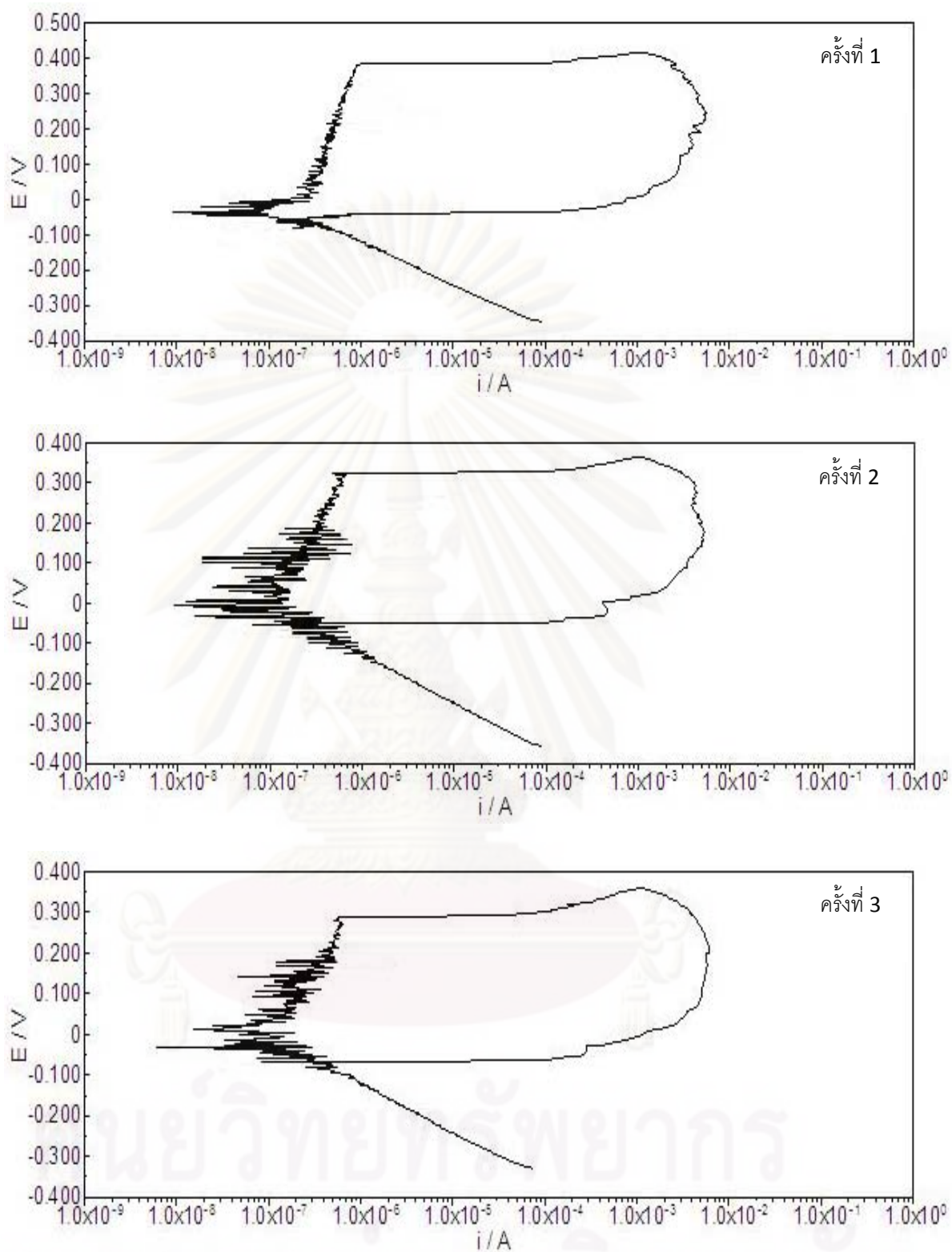
ในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์



รูปที่ ข.4 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์

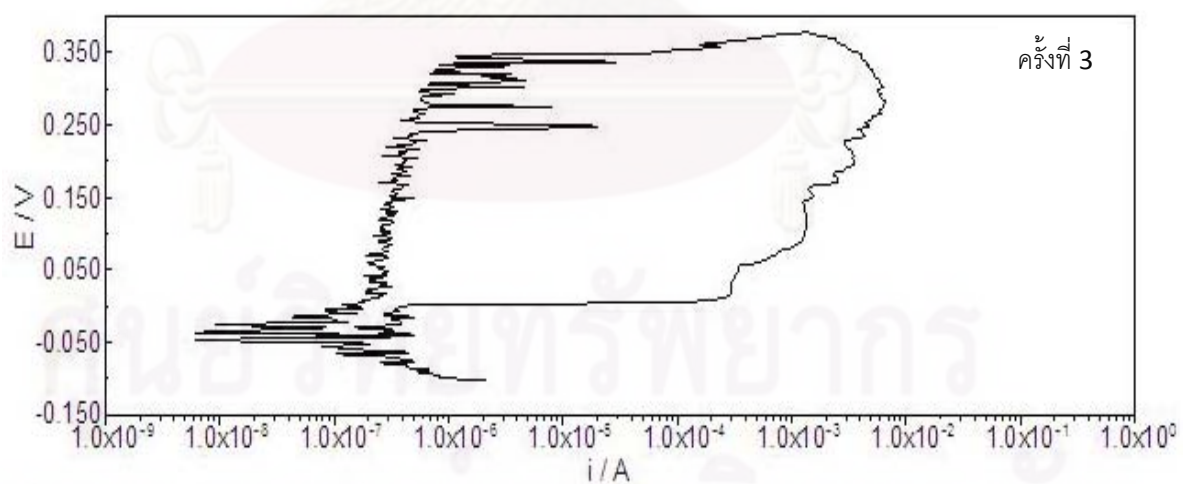
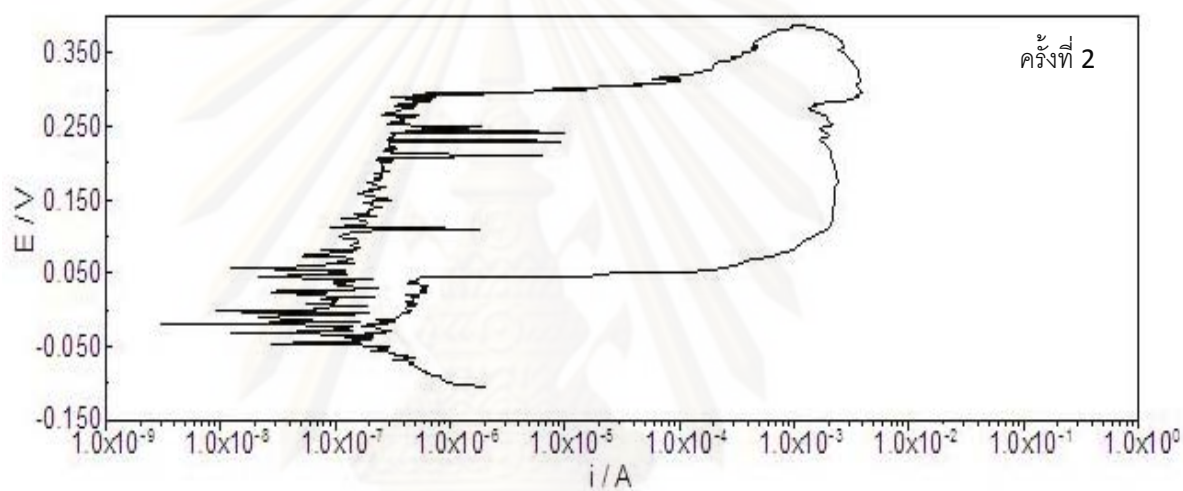
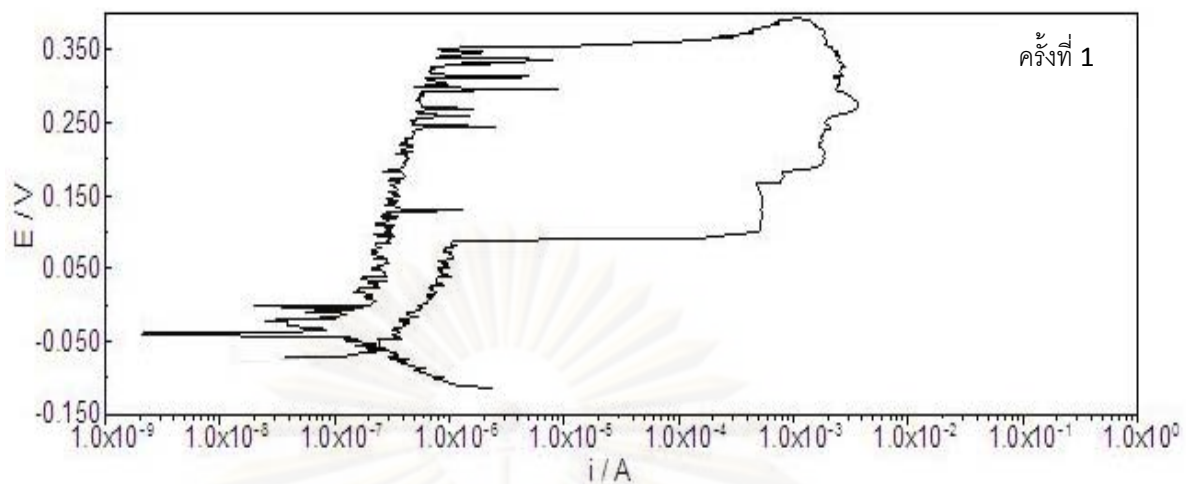


รูปที่ ข.5 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 439L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์



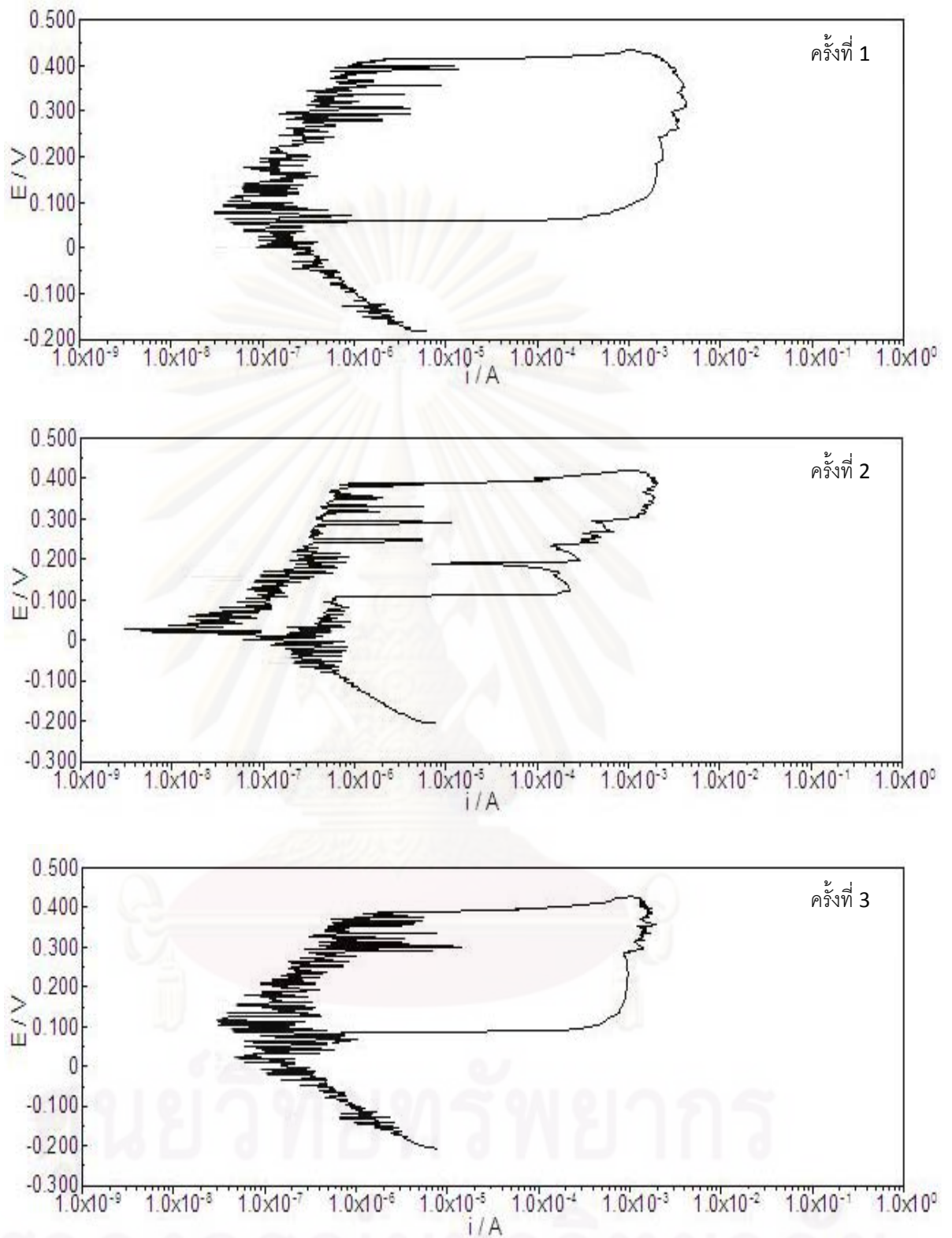
รูปที่ ข.6 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 439L โดยใช้ค่าเริ่มต้น

ในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์

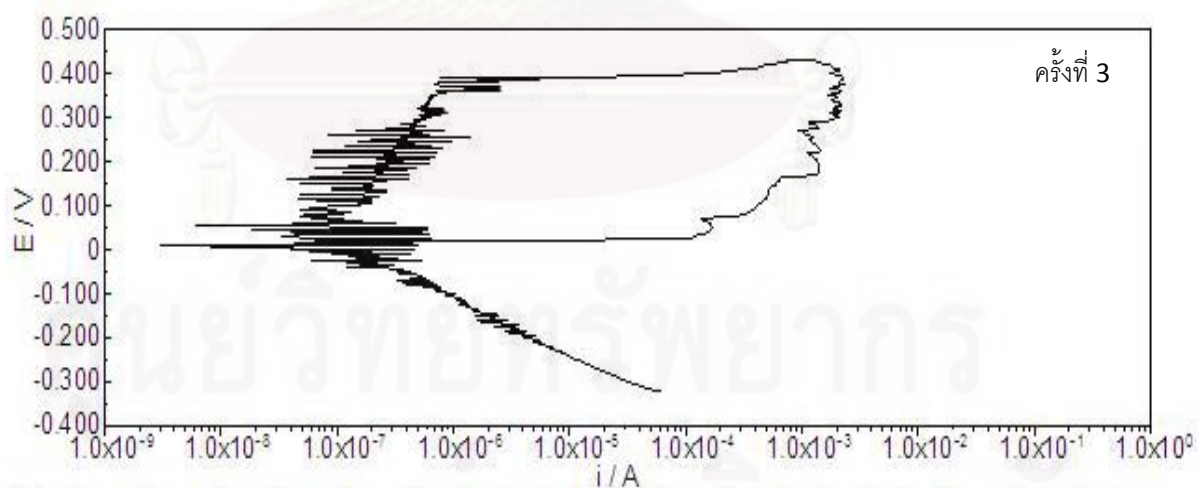
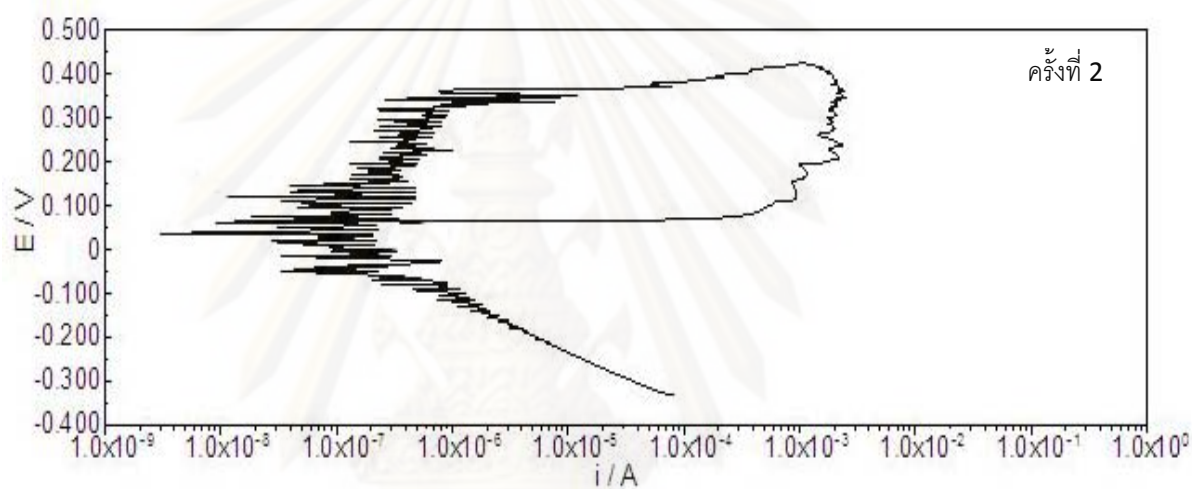
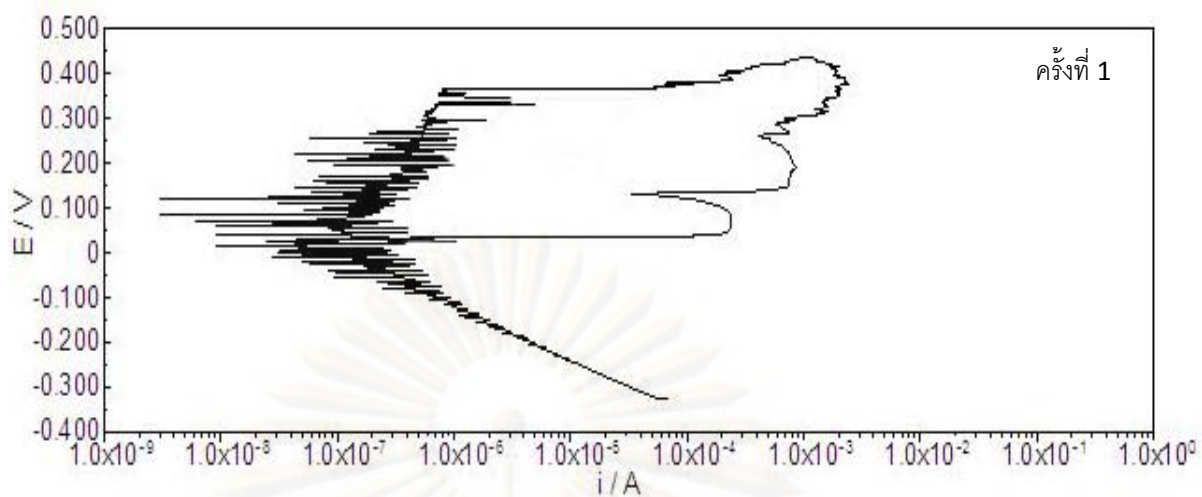


รูปที่ ข.7 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 316L โดยใช้ค่าเริ่มต้น

ในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์



รูปที่ ข.8 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 316L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์



รูปที่ ข.9 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 316L โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์

ภาคผนวก ค

ค่าตัวแปรต่างๆที่ได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันจากภาคผนวก ข

ค.1 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ค่าเริ่มต้นสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันต่างกัน

ตารางที่ ค.1 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.165	-0.108	0.273	1.189
2	0.164	-0.092	0.256	1.013
3	0.151	-0.124	0.275	1.103
ค่าเฉลี่ย	0.160	-0.108	0.268	1.102
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008	0.016	0.010	0.088

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.205	-0.059	0.264	1.123
2	0.151	-0.058	0.209	0.882
3	0.214	-0.078	0.292	1.270
ค่าเฉลี่ย	0.190	-0.065	0.255	1.092
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.034	0.011	0.042	0.196

ตารางที่ ค.3 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.184	-0.064	0.248	1.103
2	0.171	-0.072	0.243	1.030
3	0.180	-0.083	0.263	1.049
ค่าเฉลี่ย	0.178	-0.073	0.251	1.061
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007	0.010	0.010	0.038

ตารางที่ ค.4 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.318	-0.058	0.376	1.692
2	0.331	-0.067	0.398	1.534
3	0.300	-0.069	0.369	1.317
ค่าเฉลี่ย	0.316	-0.065	0.381	1.514
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.016	0.006	0.015	0.188

ตารางที่ ค.5 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.269	-0.031	0.300	1.407
2	0.303	-0.063	0.366	1.569
3	0.278	-0.056	0.334	1.593
ค่าเฉลี่ย	0.283	-0.050	0.333	1.523
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.018	0.017	0.033	0.101

ตารางที่ ค.6 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.381	-0.063	0.444	1.648
2	0.325	-0.052	0.377	1.547
3	0.289	-0.067	0.356	1.538
ค่าเฉลี่ย	0.332	-0.061	0.392	1.578
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.046	0.008	0.046	0.061

ตารางที่ ค.7 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.352	0.025	0.327	1.026
2	0.301	-0.018	0.319	1.111
3	0.347	-0.023	0.370	1.293
ค่าเฉลี่ย	0.333	-0.005	0.339	1.143
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.028	0.026	0.027	0.136

ตารางที่ ค.8 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเทอริซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.35 โวลต์

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.412	0.048	0.363	1.379
2	0.386	0.013	0.373	0.975
3	0.389	0.051	0.338	1.074
ค่าเฉลี่ย	0.396	0.037	0.358	1.143
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.014	0.021	0.018	0.211

ตารางที่ ค.9 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเทอริซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน โดยใช้ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.50 โวลต์

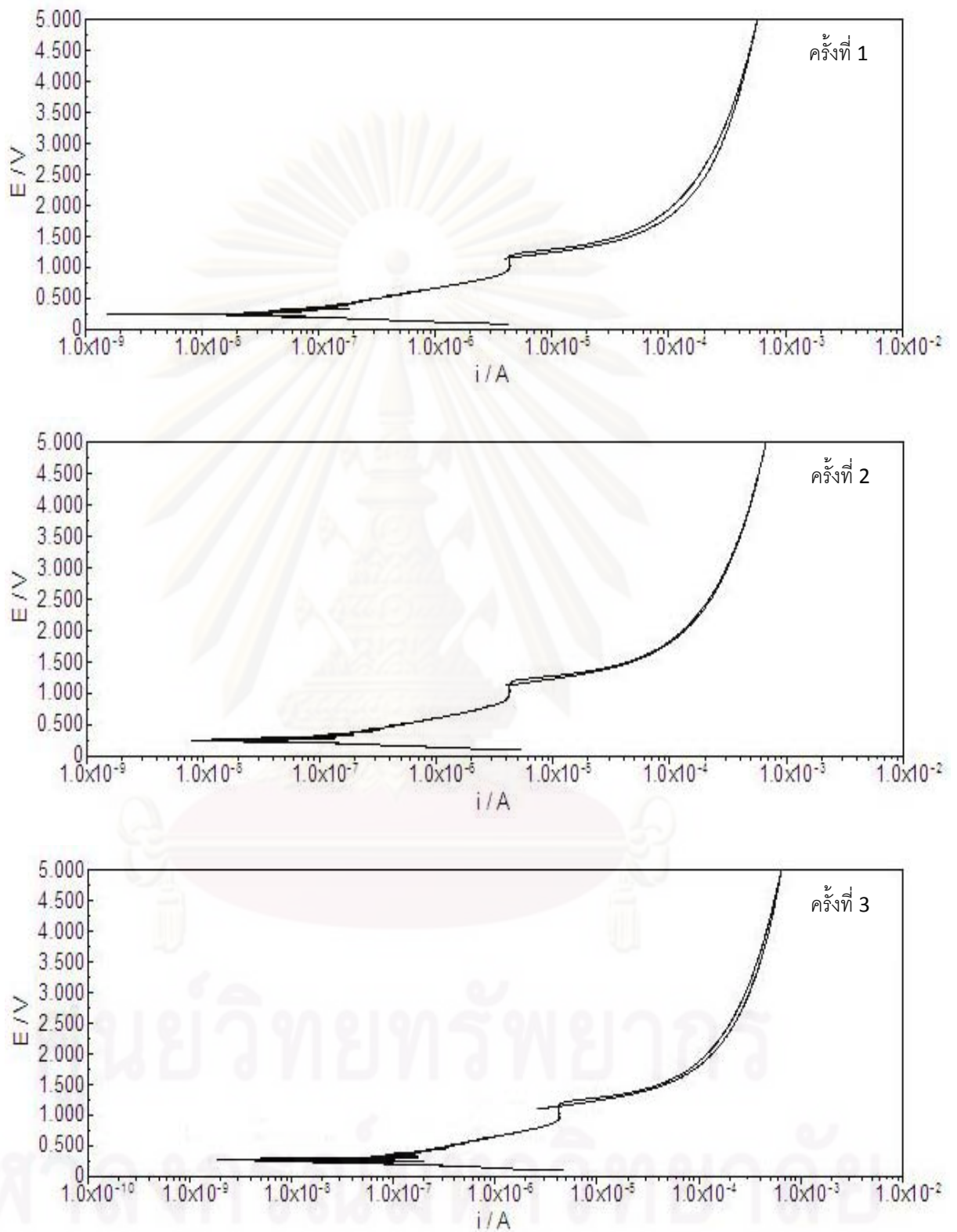
ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.364	0.027	0.337	1.112
2	0.387	0.012	0.375	1.187
3	0.401	0.044	0.357	1.313
ค่าเฉลี่ย	0.384	0.028	0.356	1.204
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.019	0.016	0.019	0.102

ภาคผนวก ง

เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันที่ได้จากการทดลอง

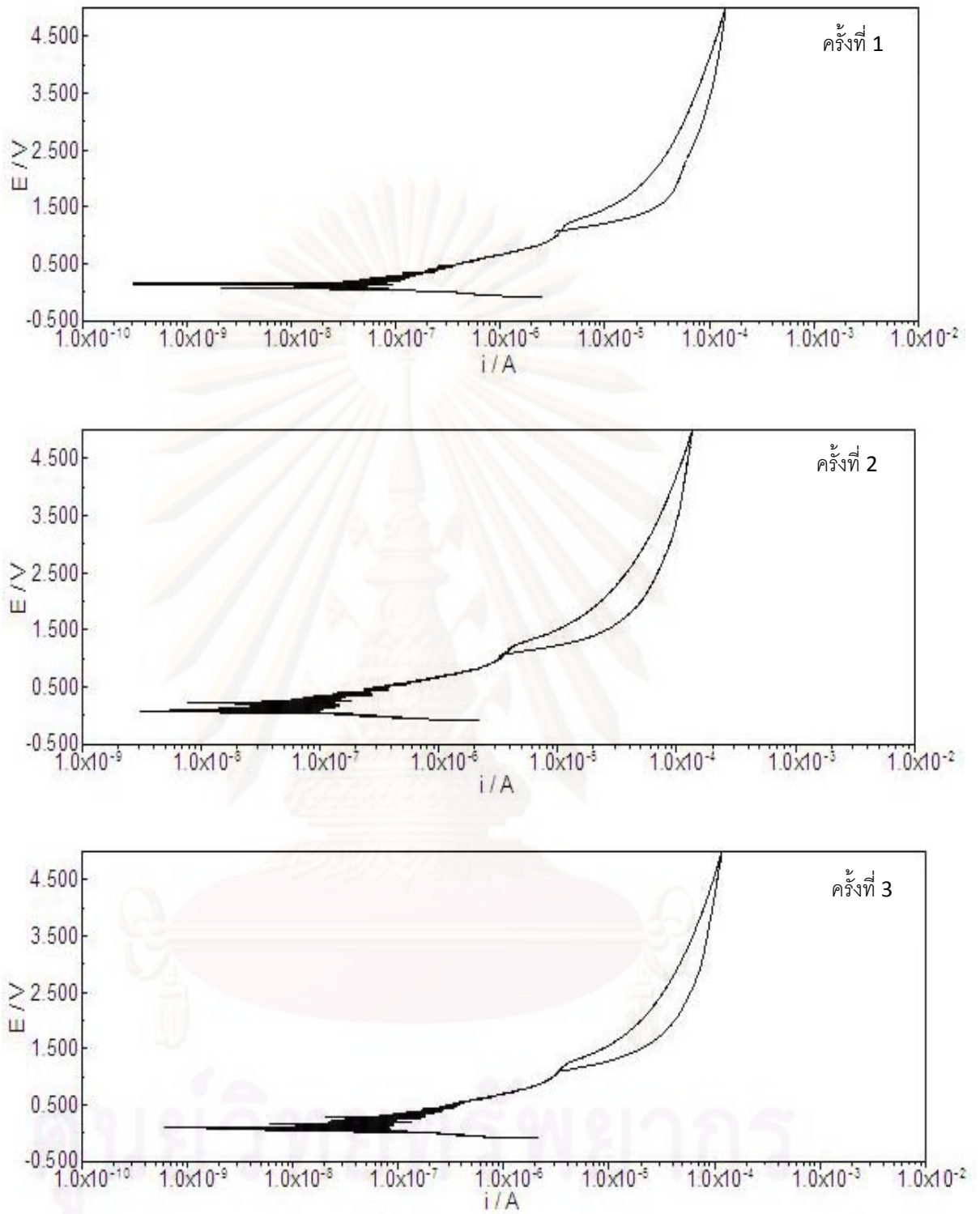
สภาวะที่ใช้ในการทดลอง [2, 22]

- อัตราการสแกนเท่ากับ 0.166 มิลลิโวลต์ต่อวินาที
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มแซ่ขึ้นงานก่อนการสแกนเท่ากับ 1 ชั่วโมง
- อัตราการกววนสารละลาย 450 รอบต่อนาที
- การสแกนกลับเมื่อกระแสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์
- อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- สภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 4, 7 และ 10
- ความเข้มข้นของสารละลายไซเดียมคลอไรด์ 0, 0.05, 0.5, 1.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ค่าเริ่มต้นในการสแกนเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าค่า ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน 0.25 โวลต์

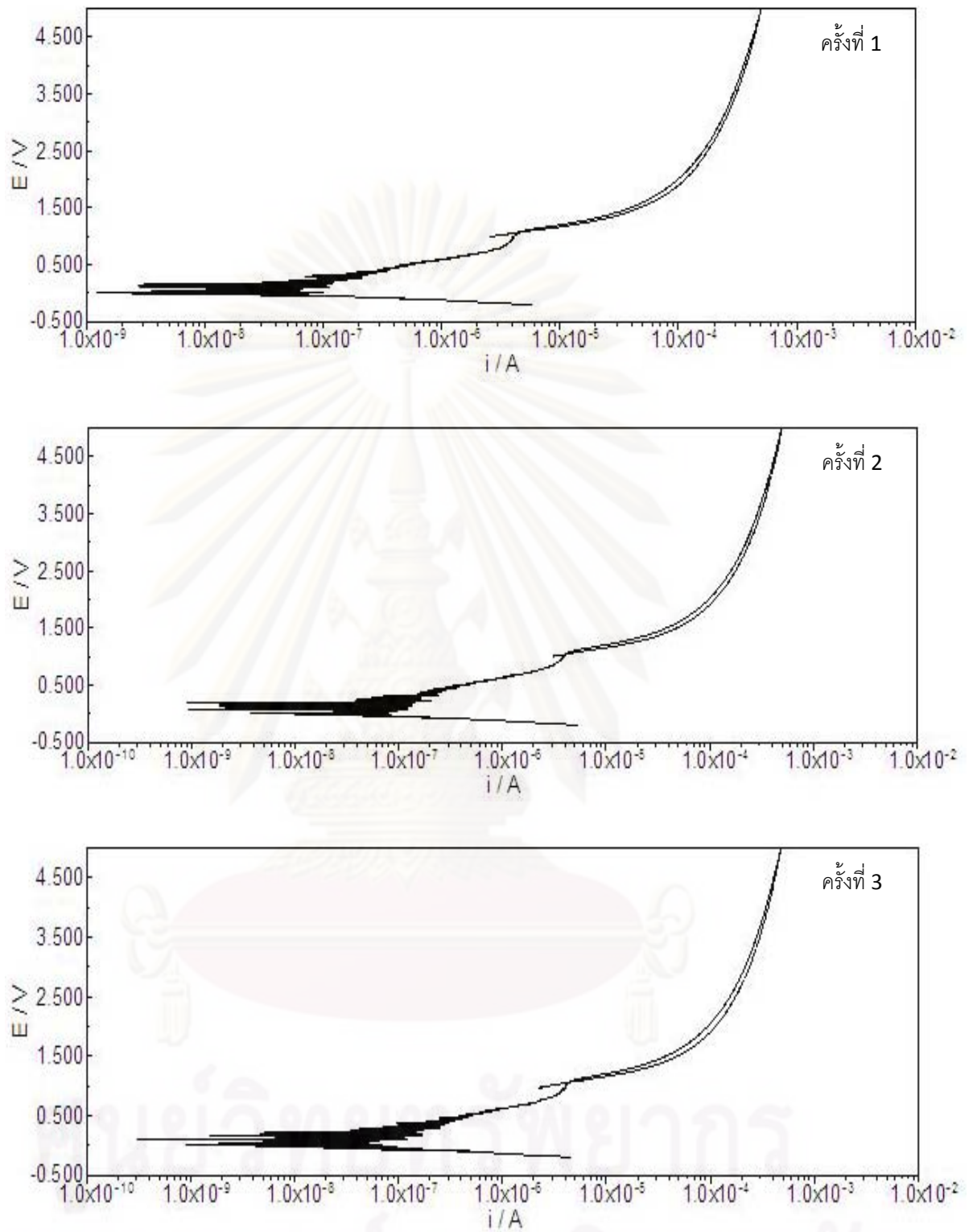


รูปที่ 1.1 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L ในสารละลาย

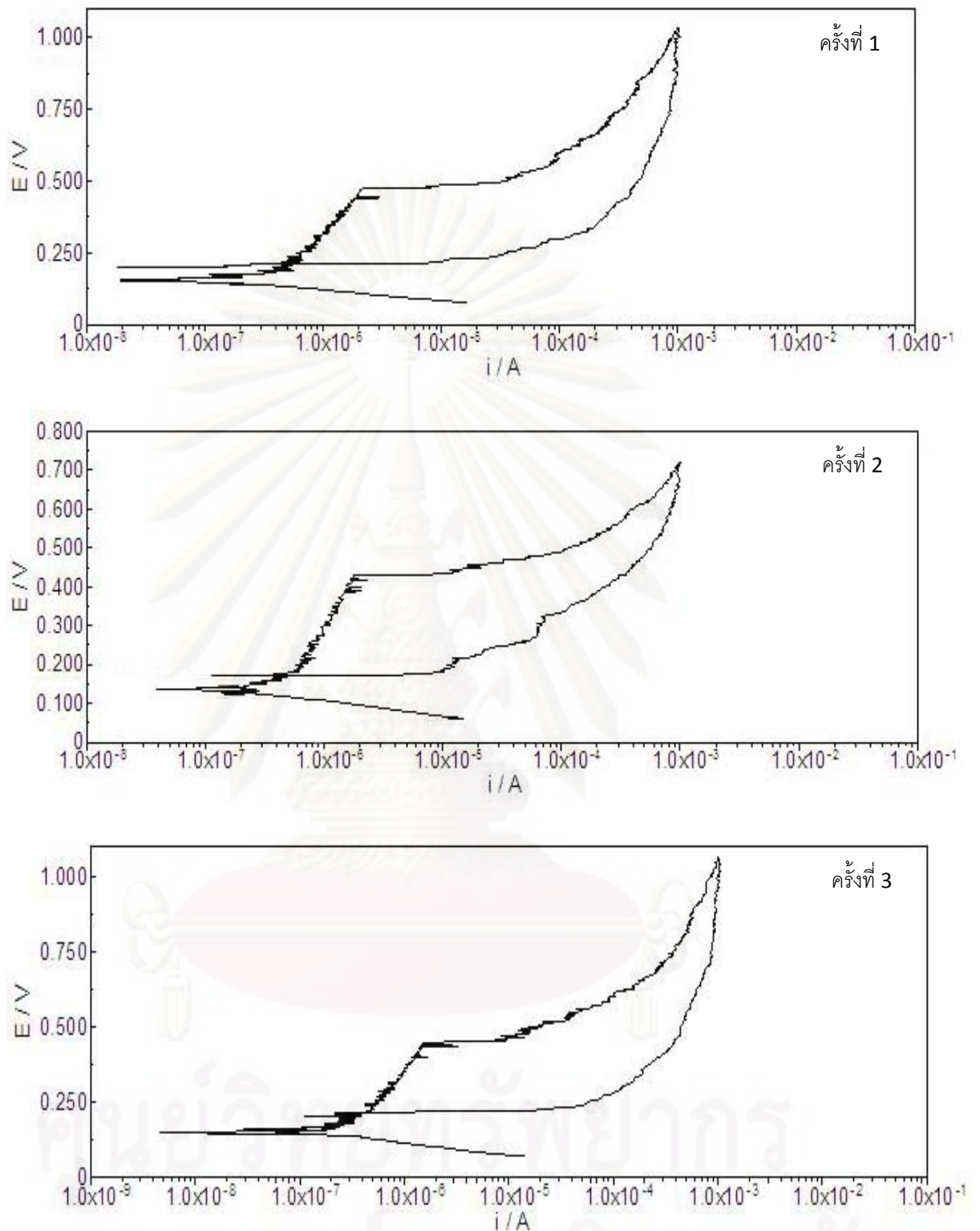
โซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



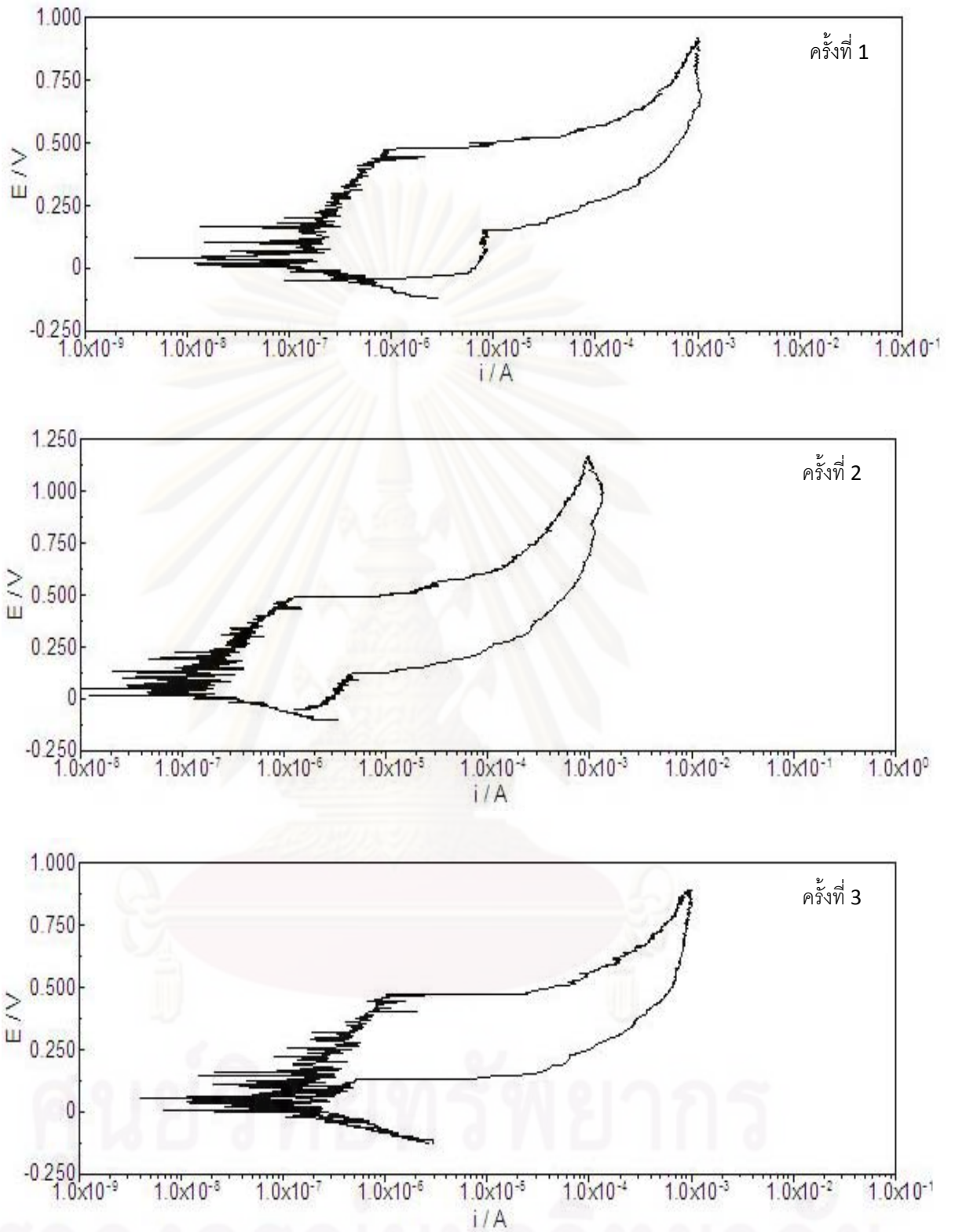
รูปที่ ๒.2 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอช 7



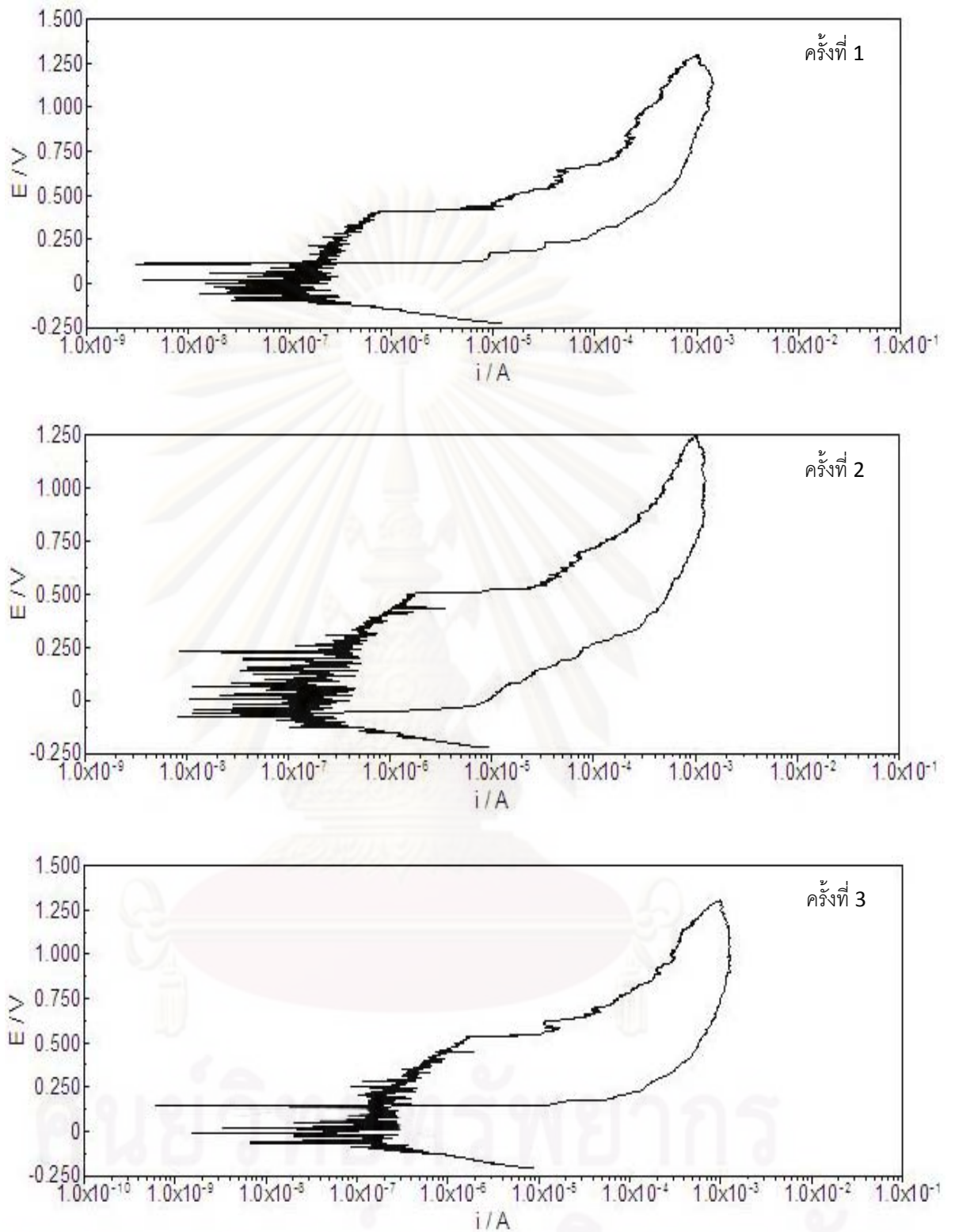
รูปที่ 3.3 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอช 10



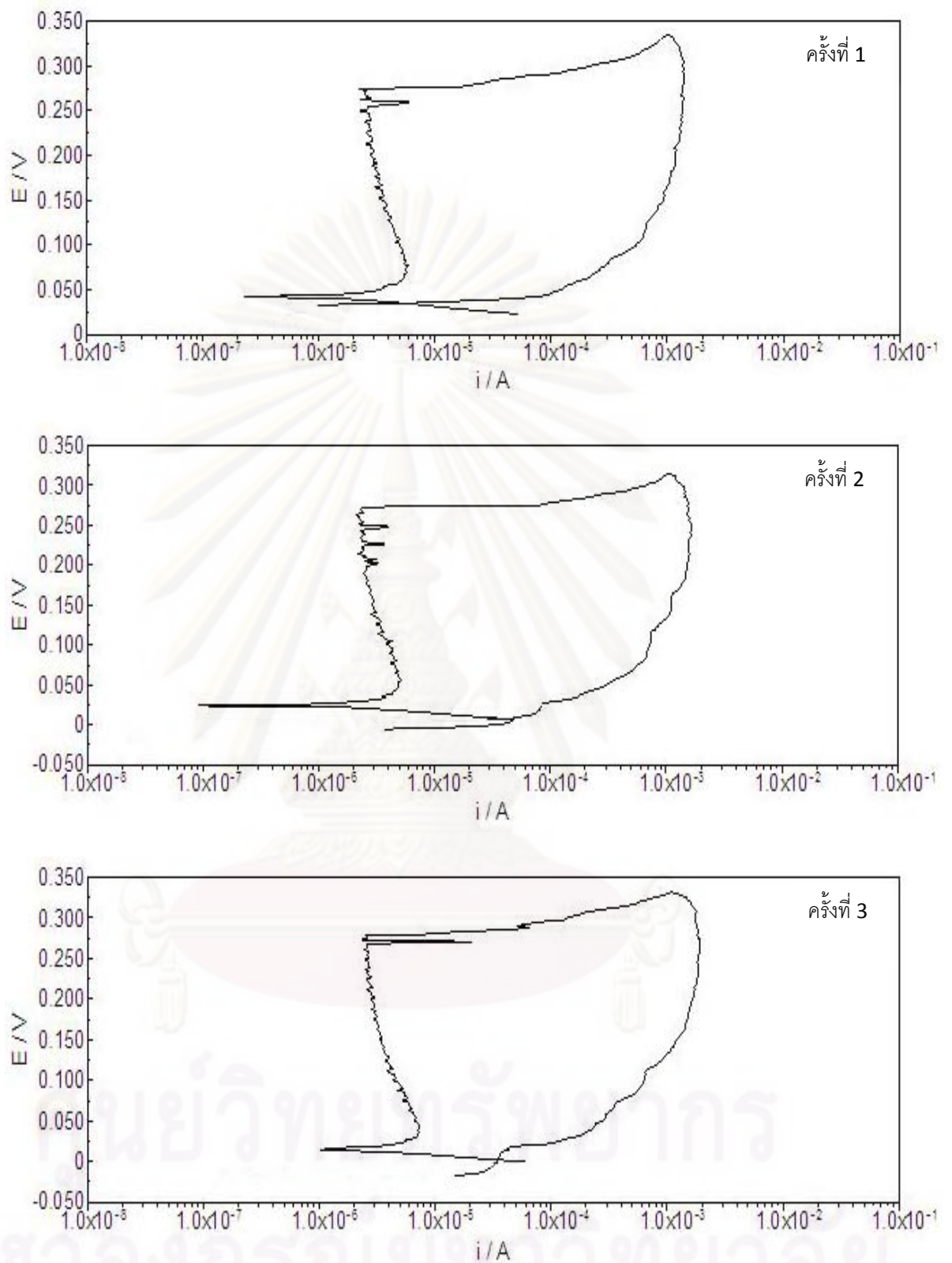
รูปที่ ๔.4 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



รูปที่ ๕.5 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7

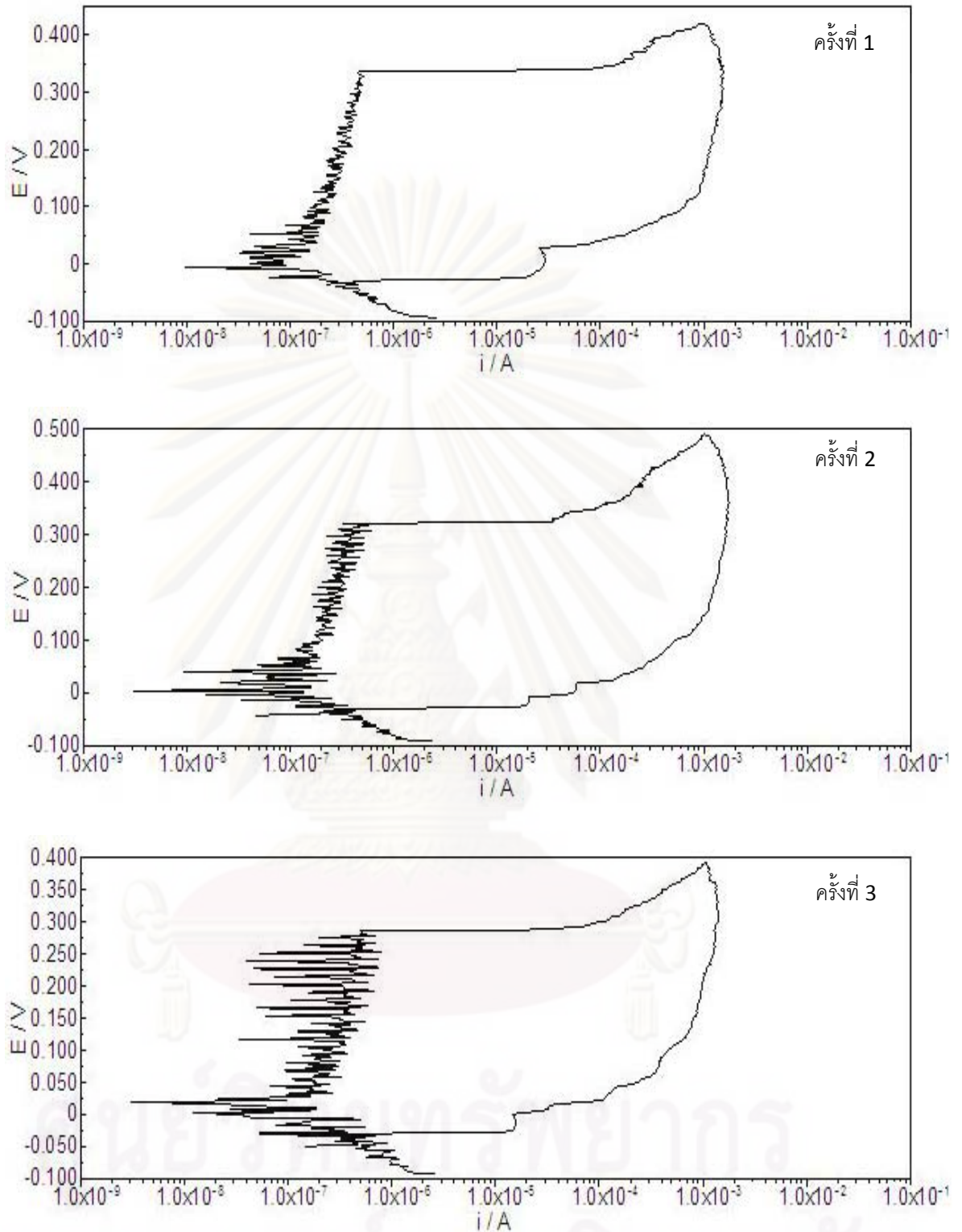


รูปที่ ง.6 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L ในสารละลาย
โซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

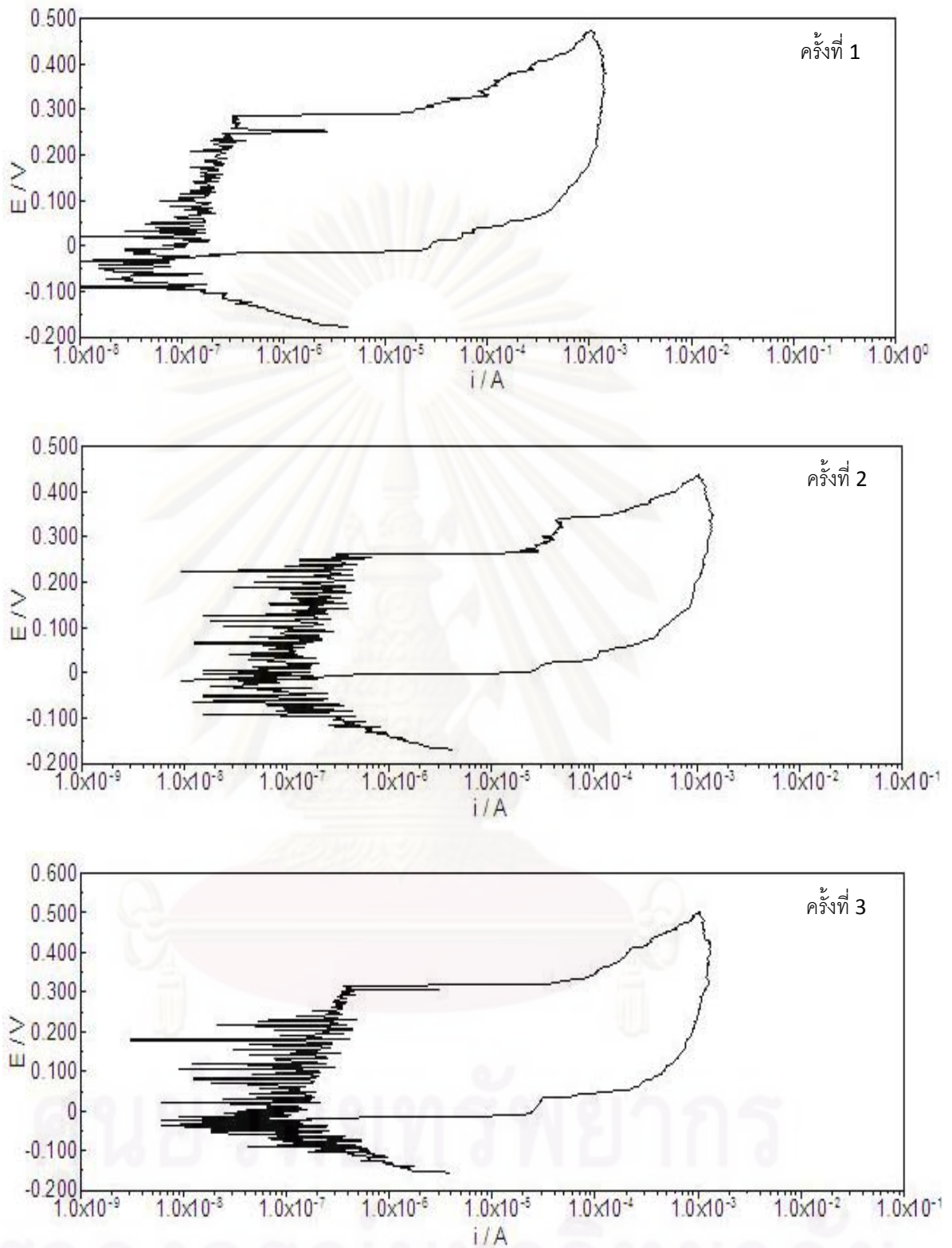


รูปที่ ๗.๗ เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L ในสารละลาย

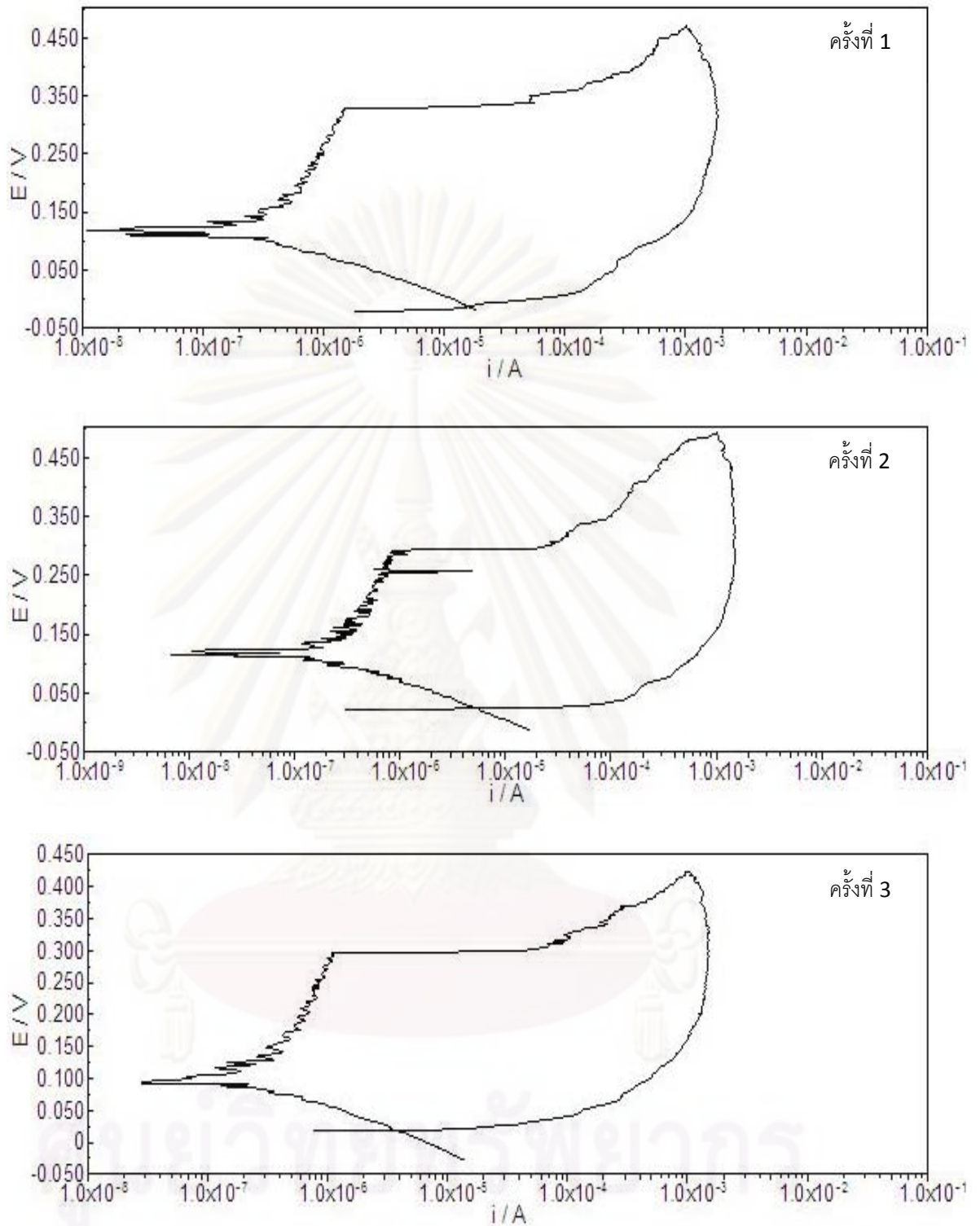
โซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



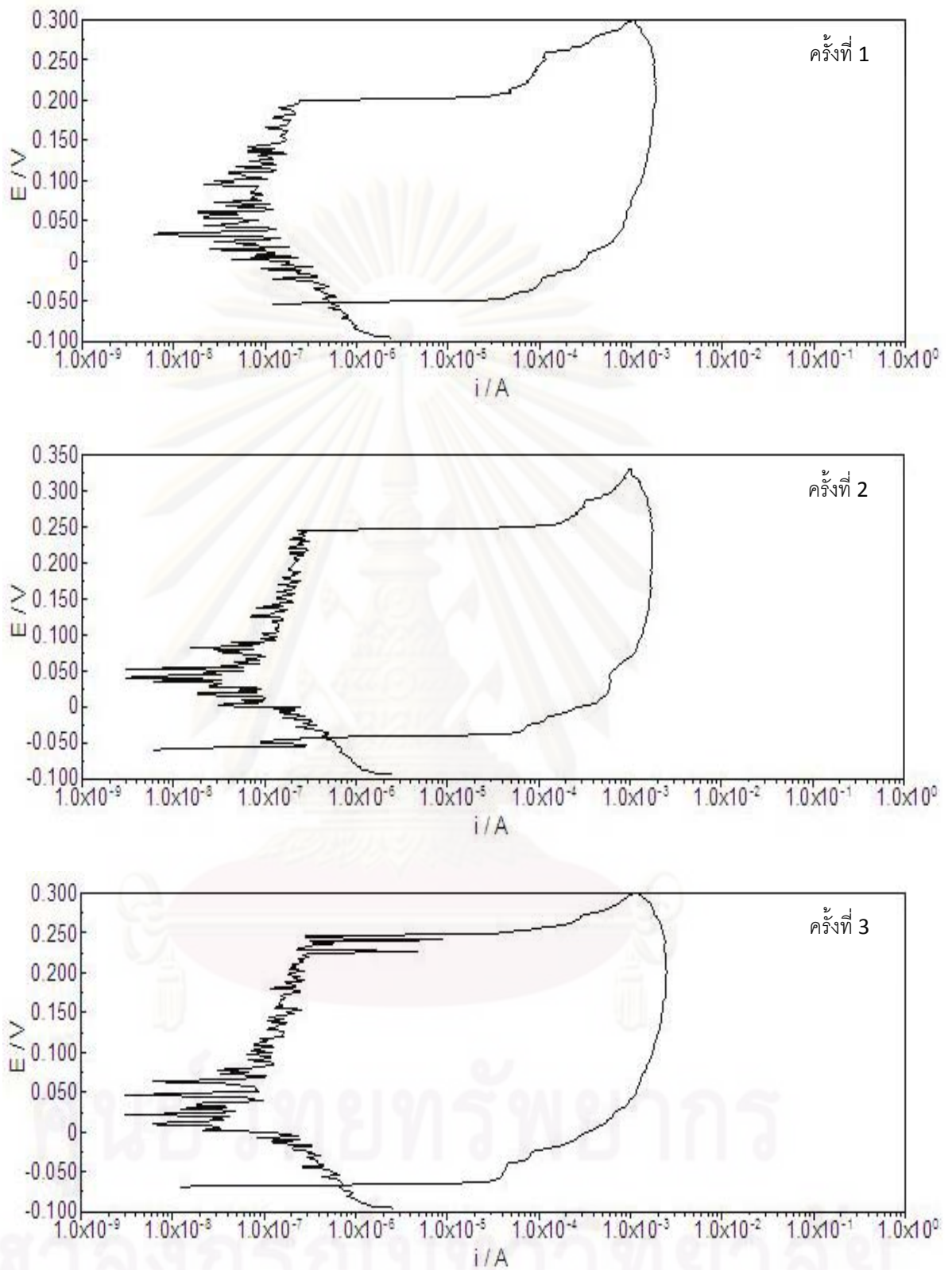
รูปที่ 8.8 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



รูปที่ ๙.9 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

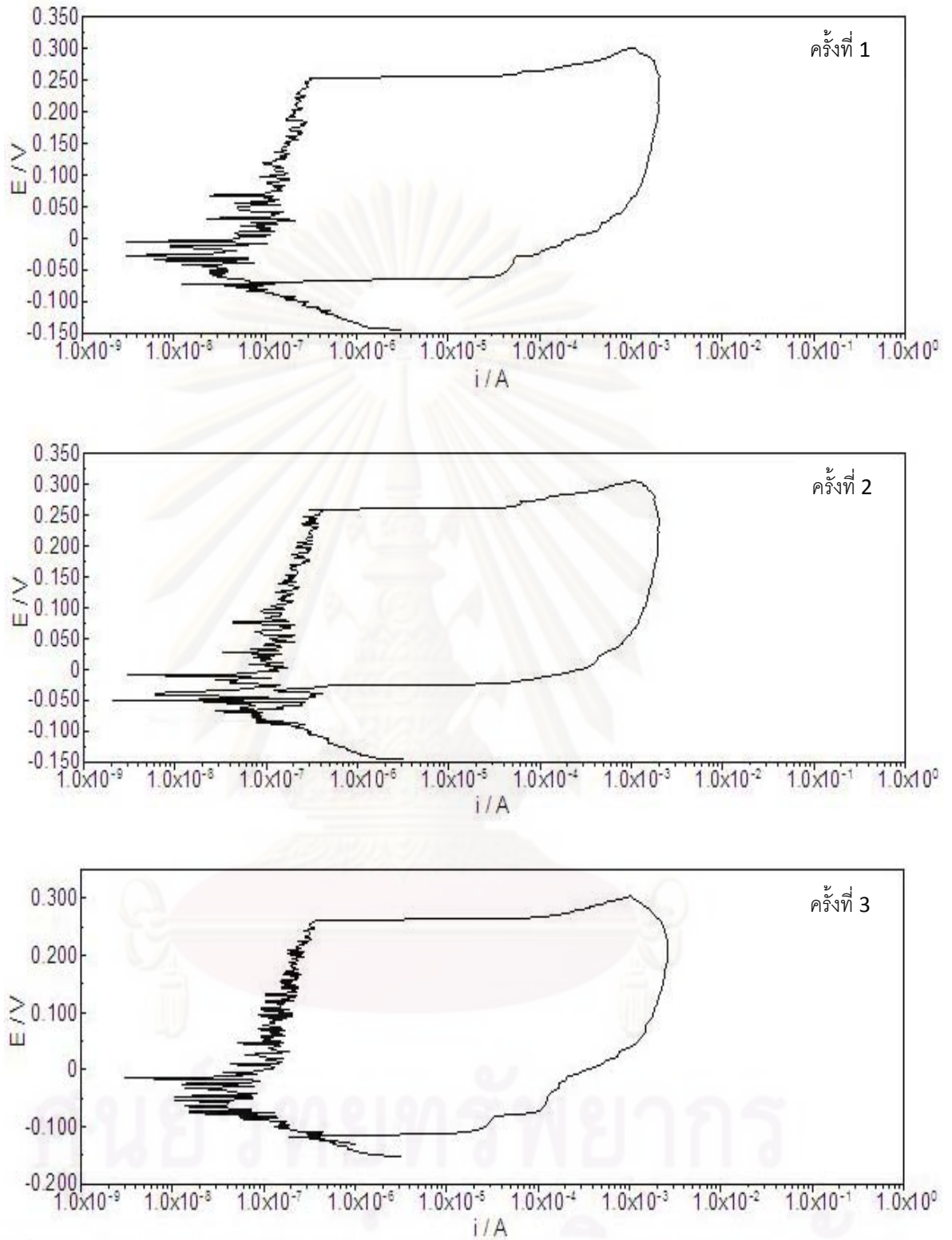


รูปที่ 10 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



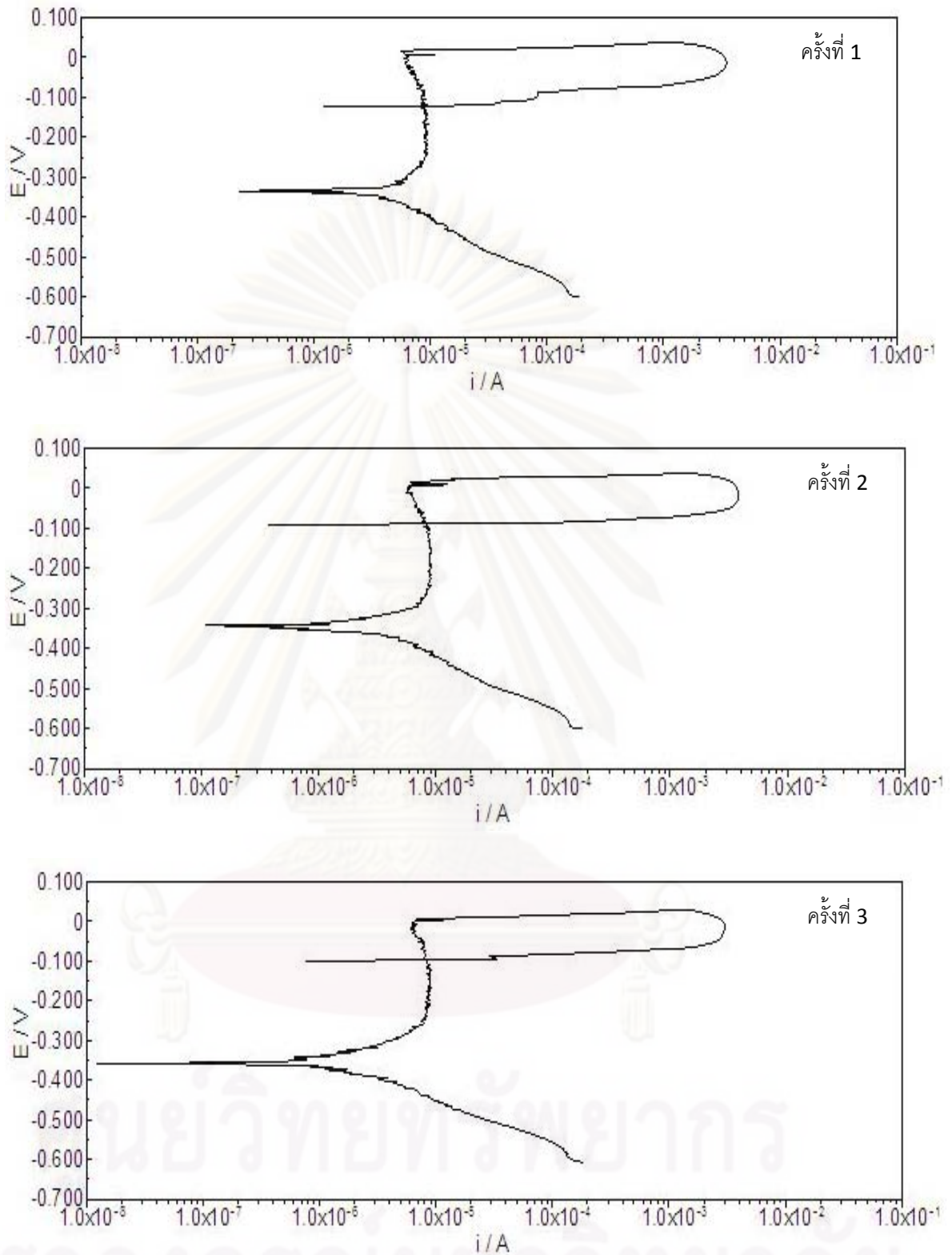
รูปที่ ง.11 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลาย

ไซเดียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอช 7

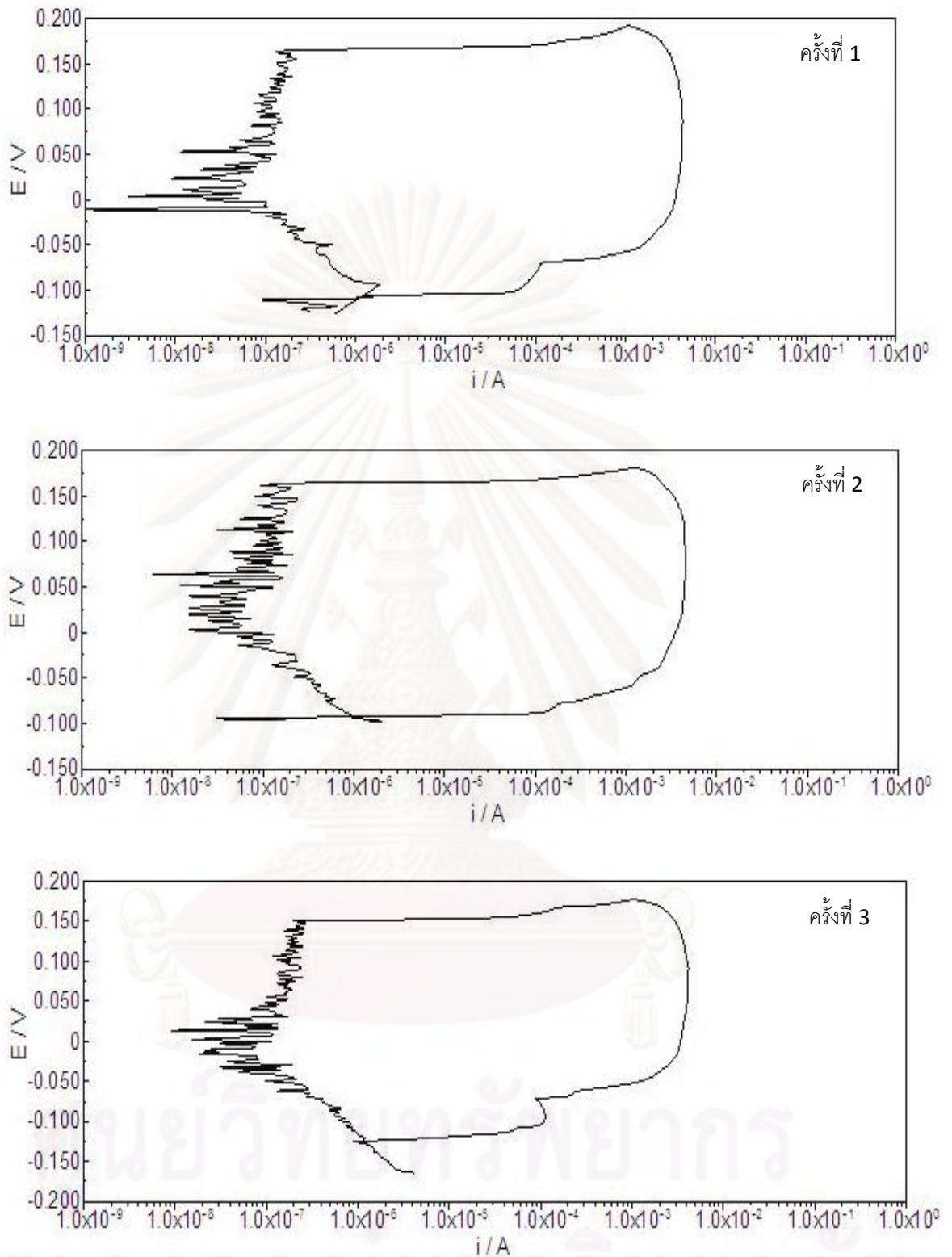


รูปที่ 12 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 409L ในสารละลาย

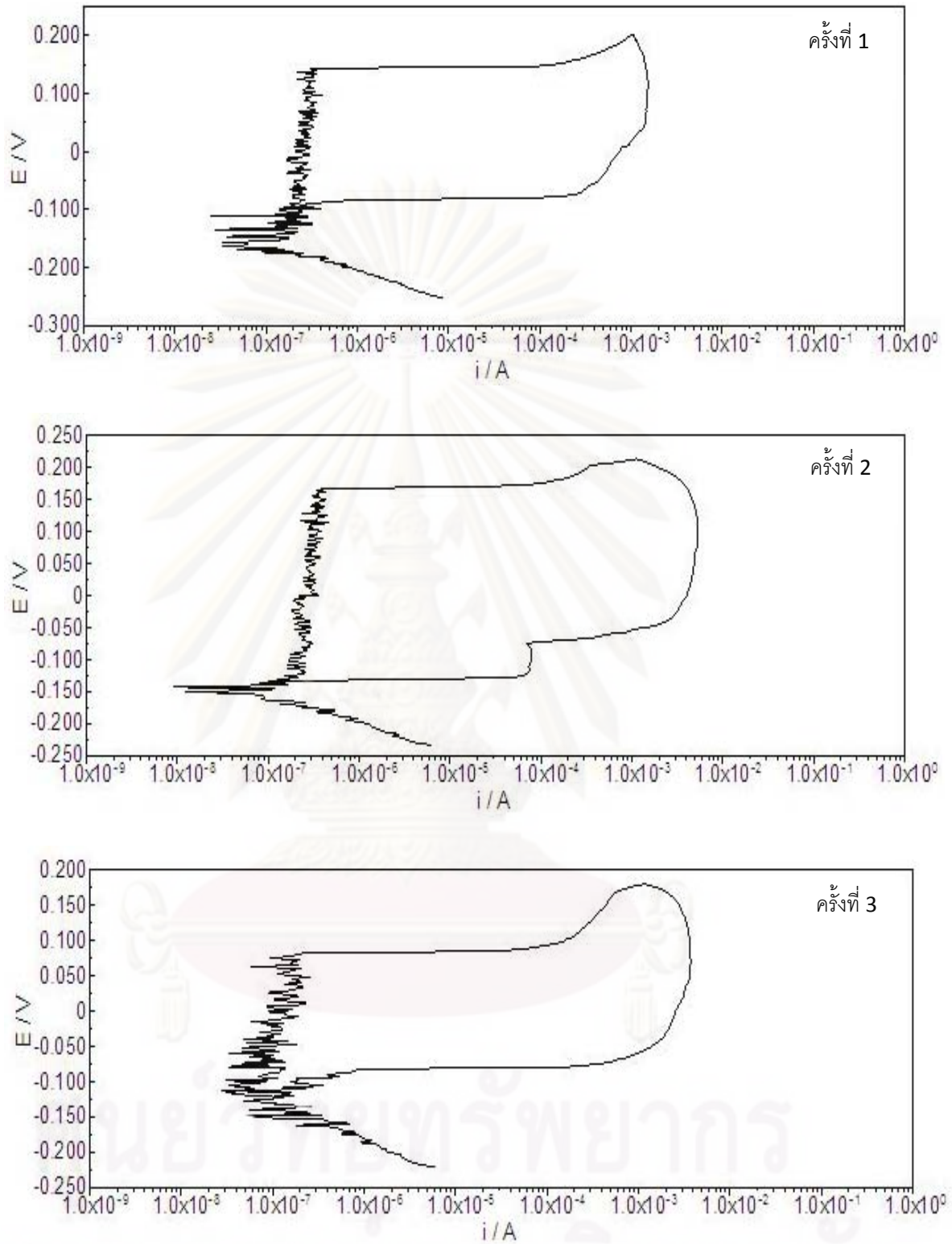
โซเดียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10



รูปที่ ง.13 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4

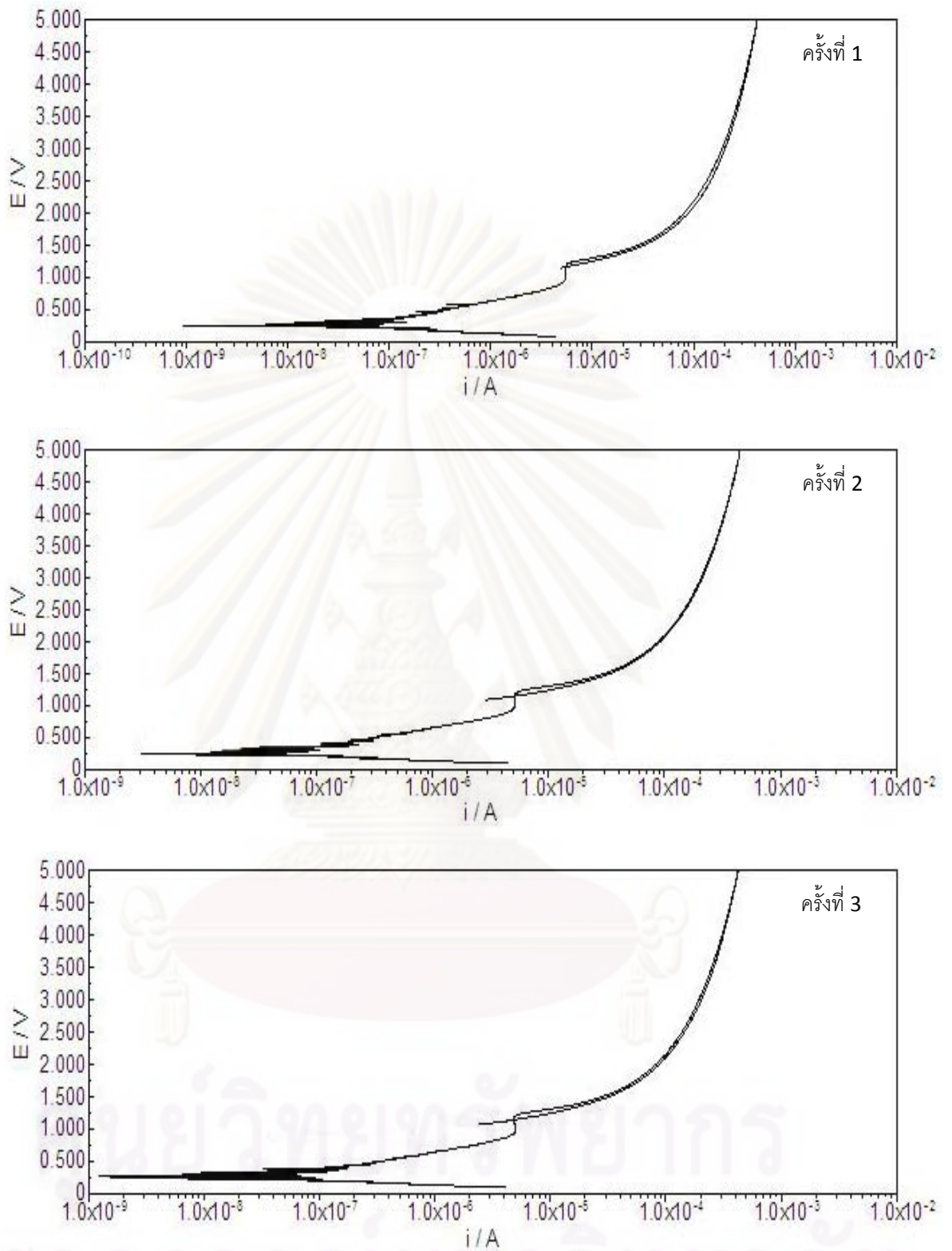


รูปที่ 14 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



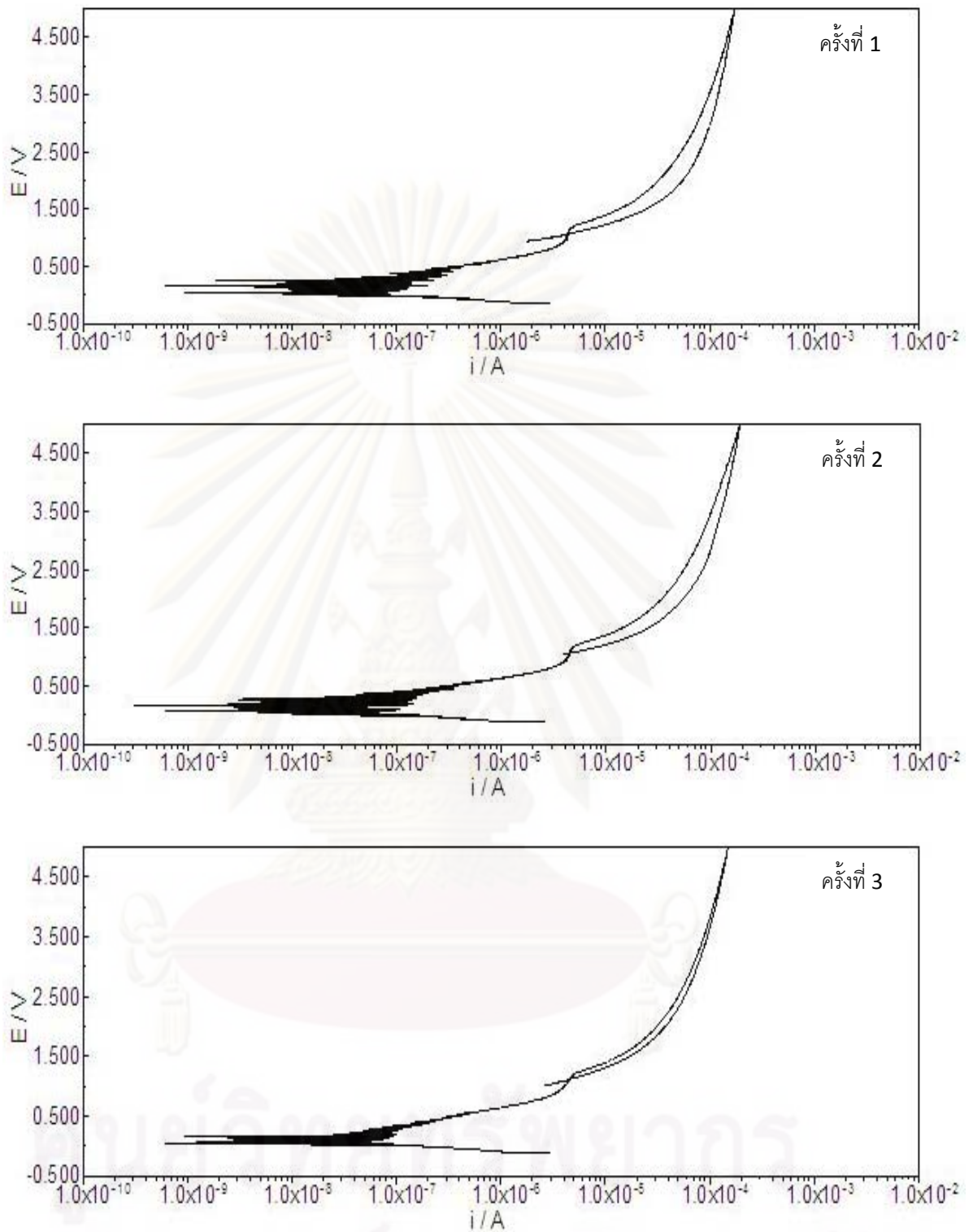
รูปที่ ง.15 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 409L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

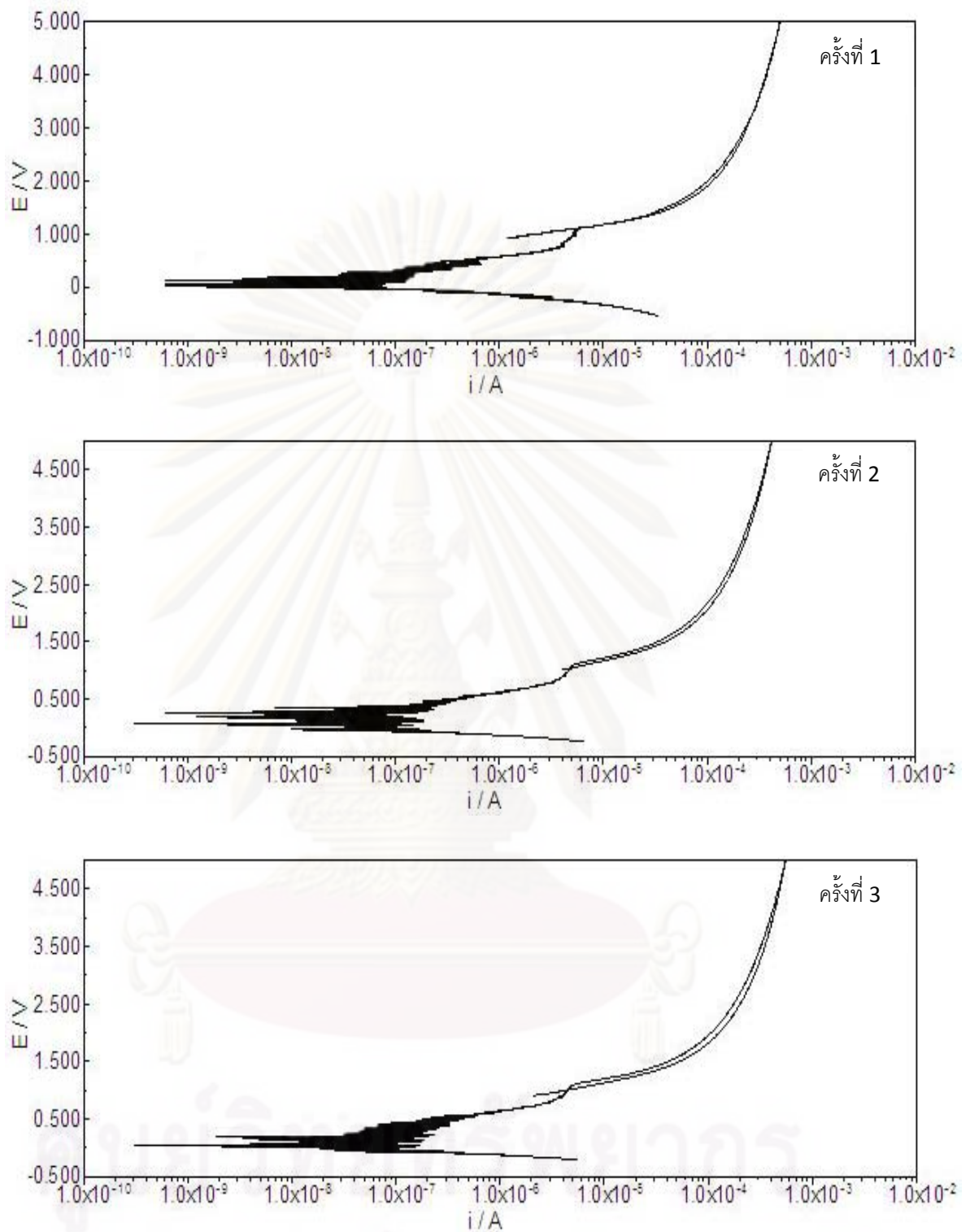


รูปที่ ง.16 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลาย

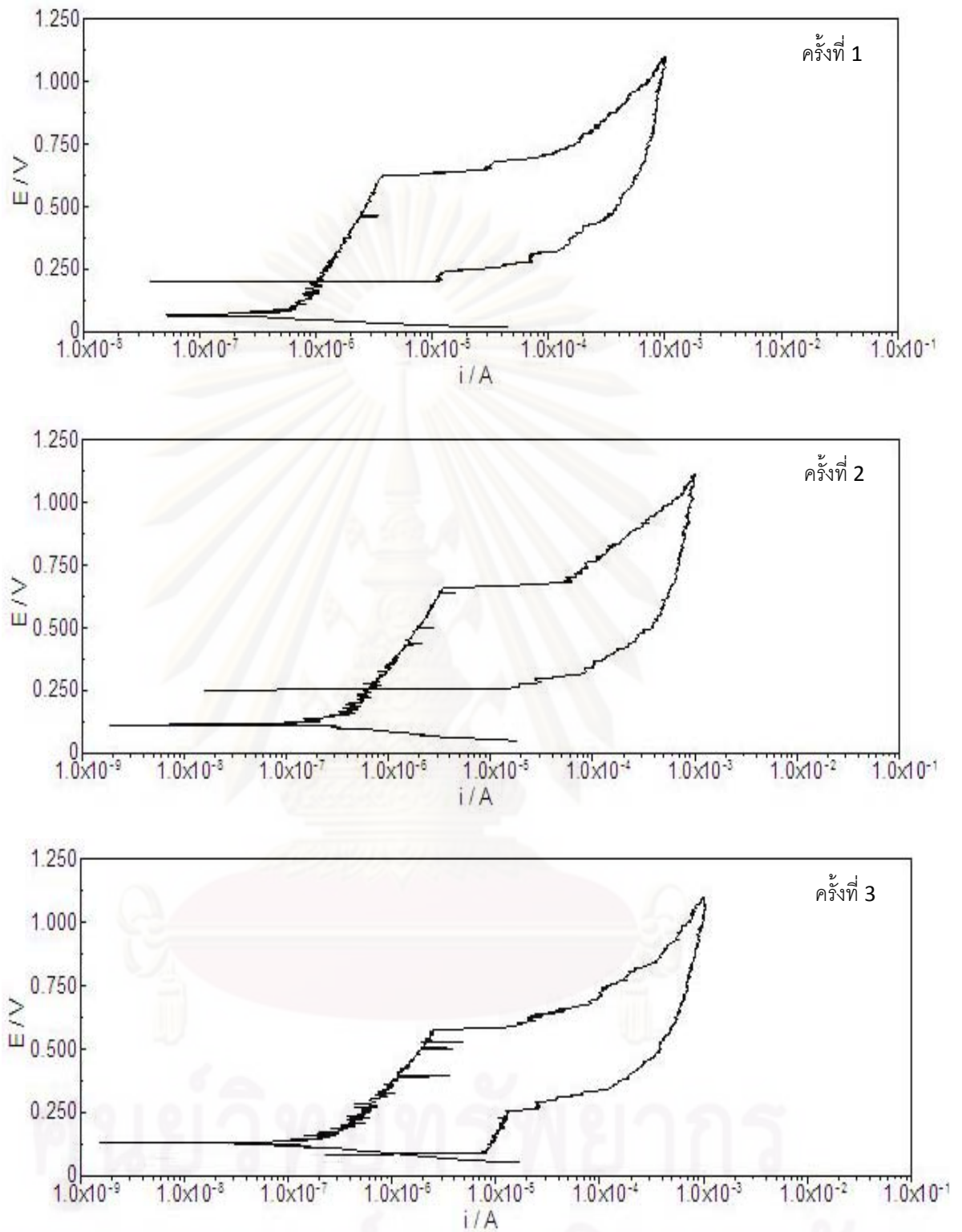
โซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ในน้ำหนักร้อย และค่าพีเอช 4



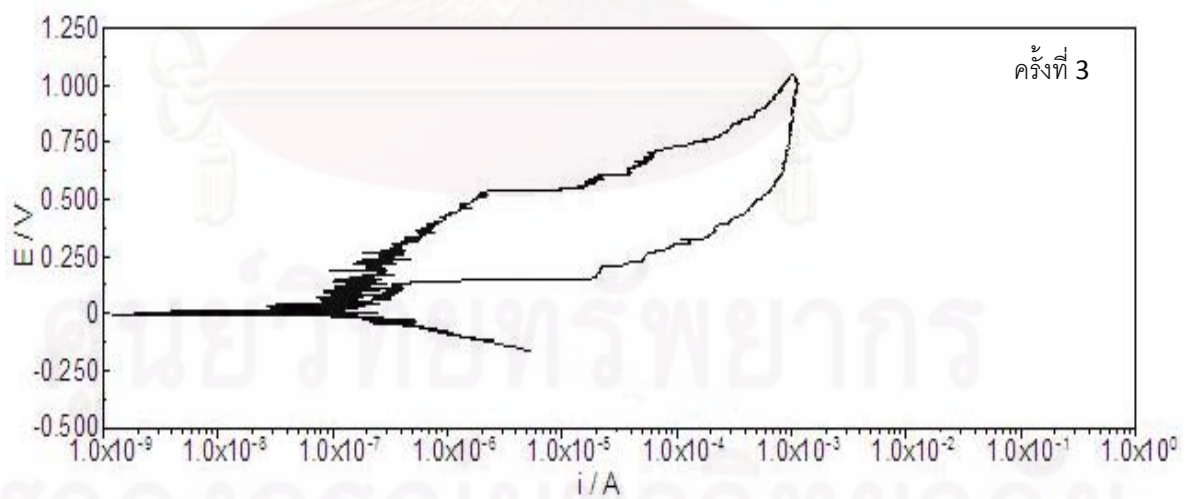
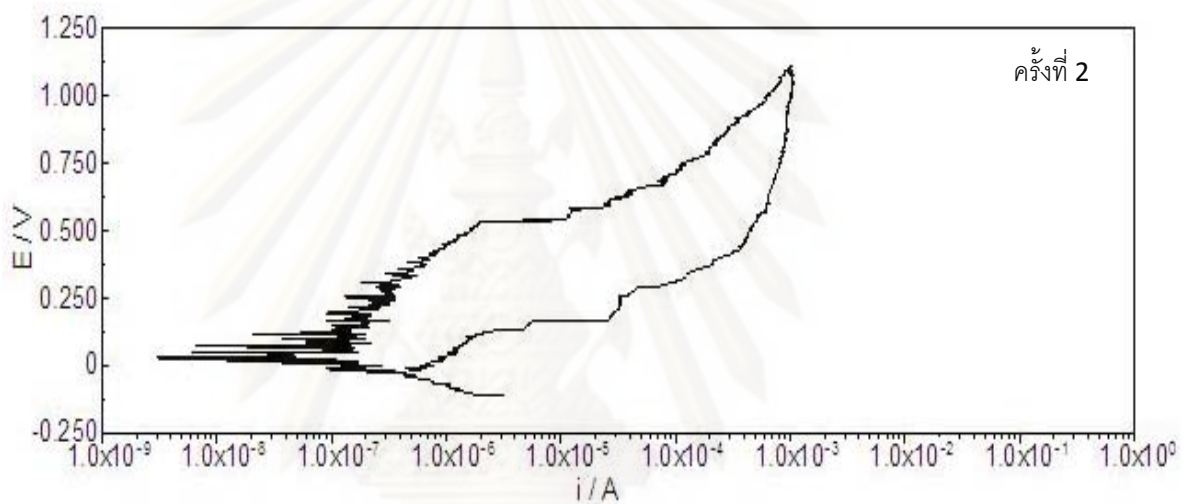
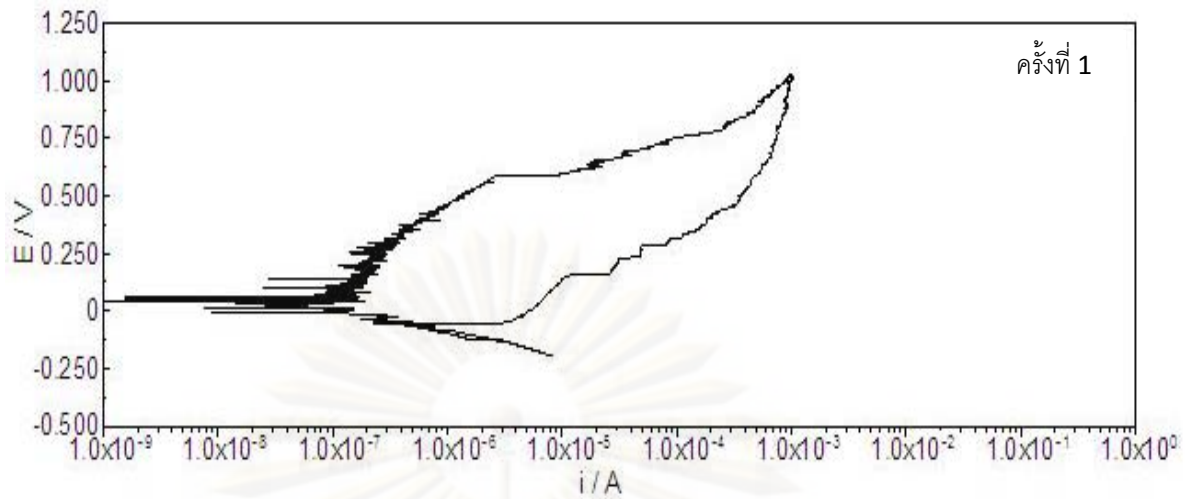
รูปที่ ง.17 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



รูปที่ 18 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

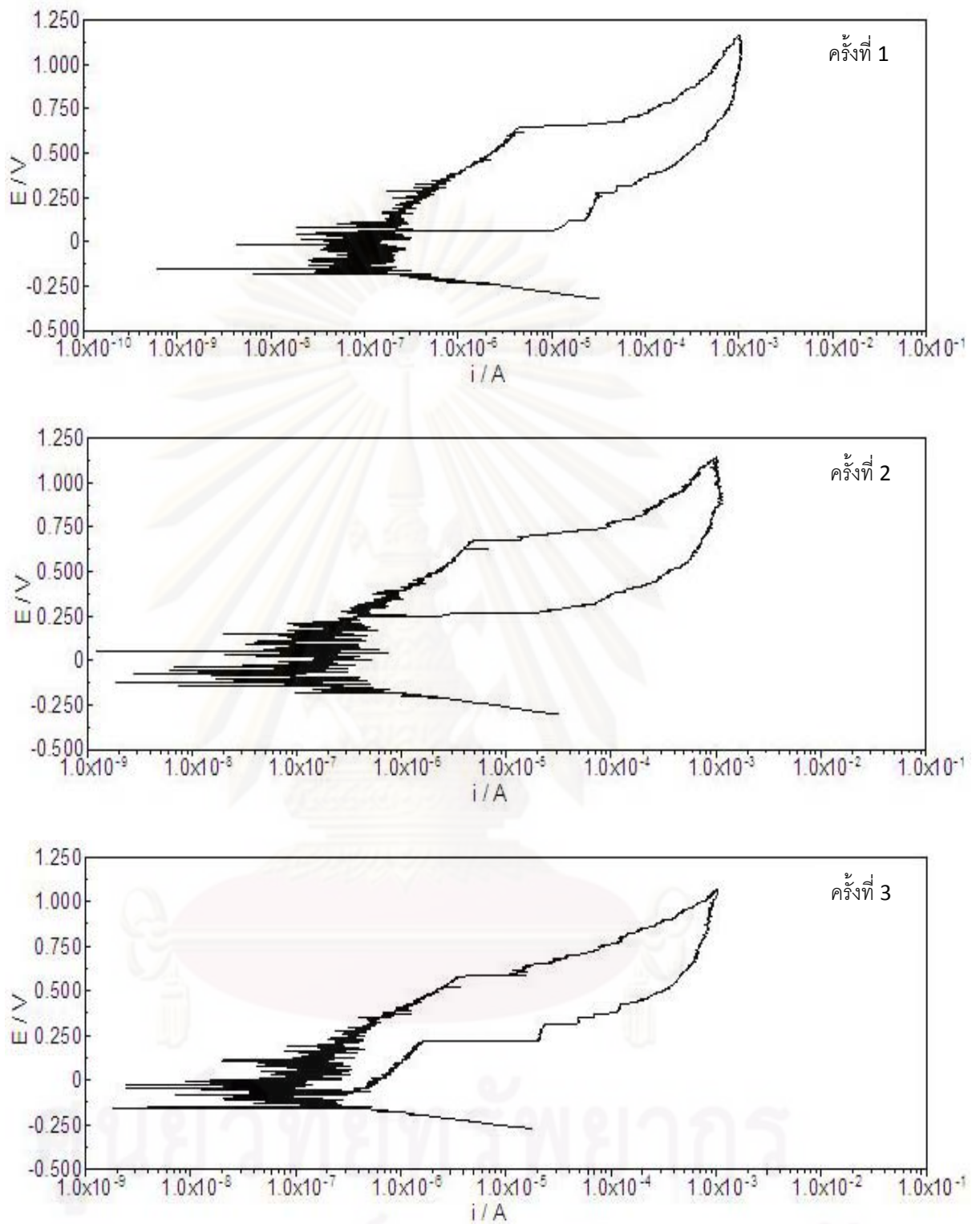


รูปที่ 19 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 439L ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลาร์โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอช 4

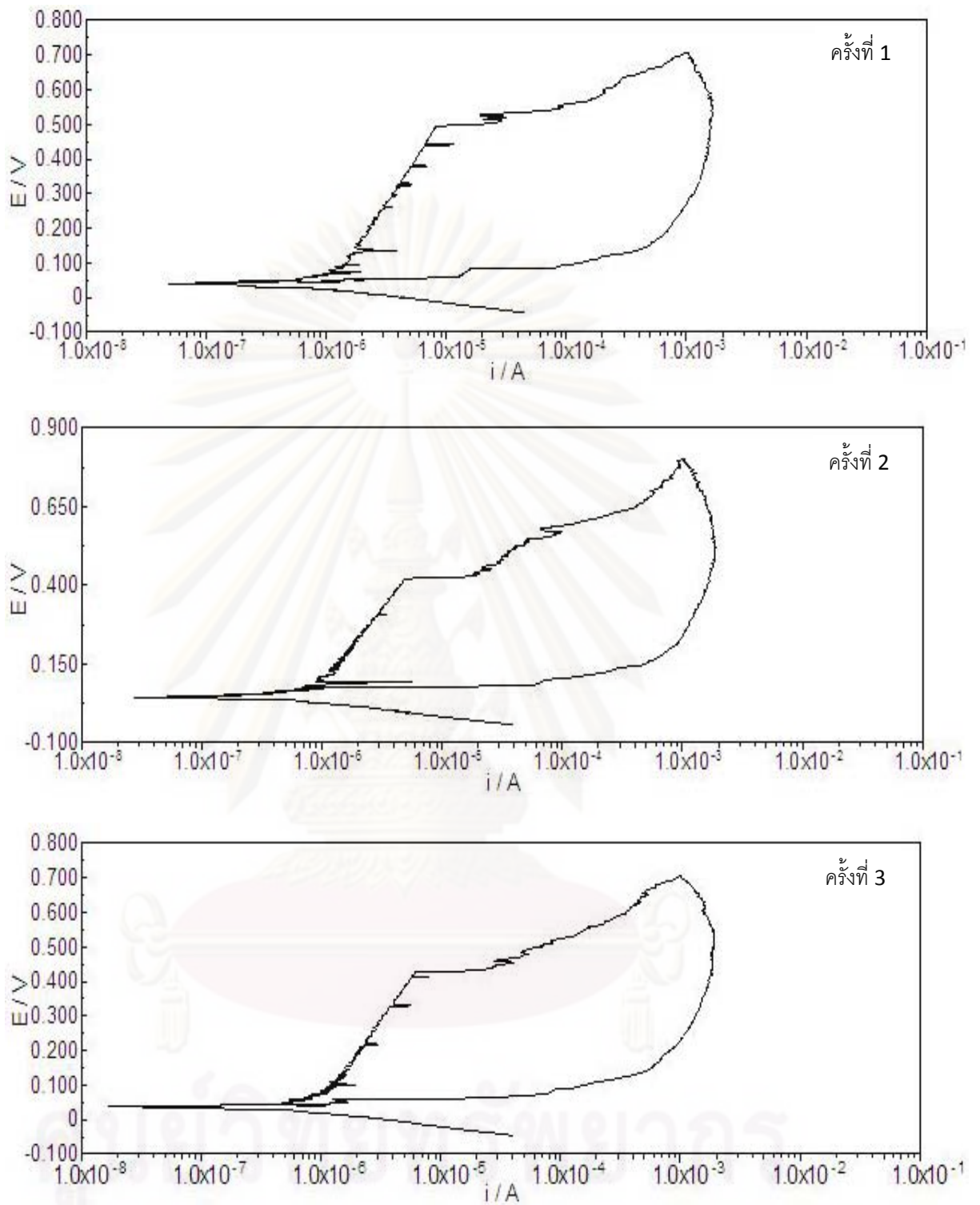


รูปที่ ง.20 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลาย

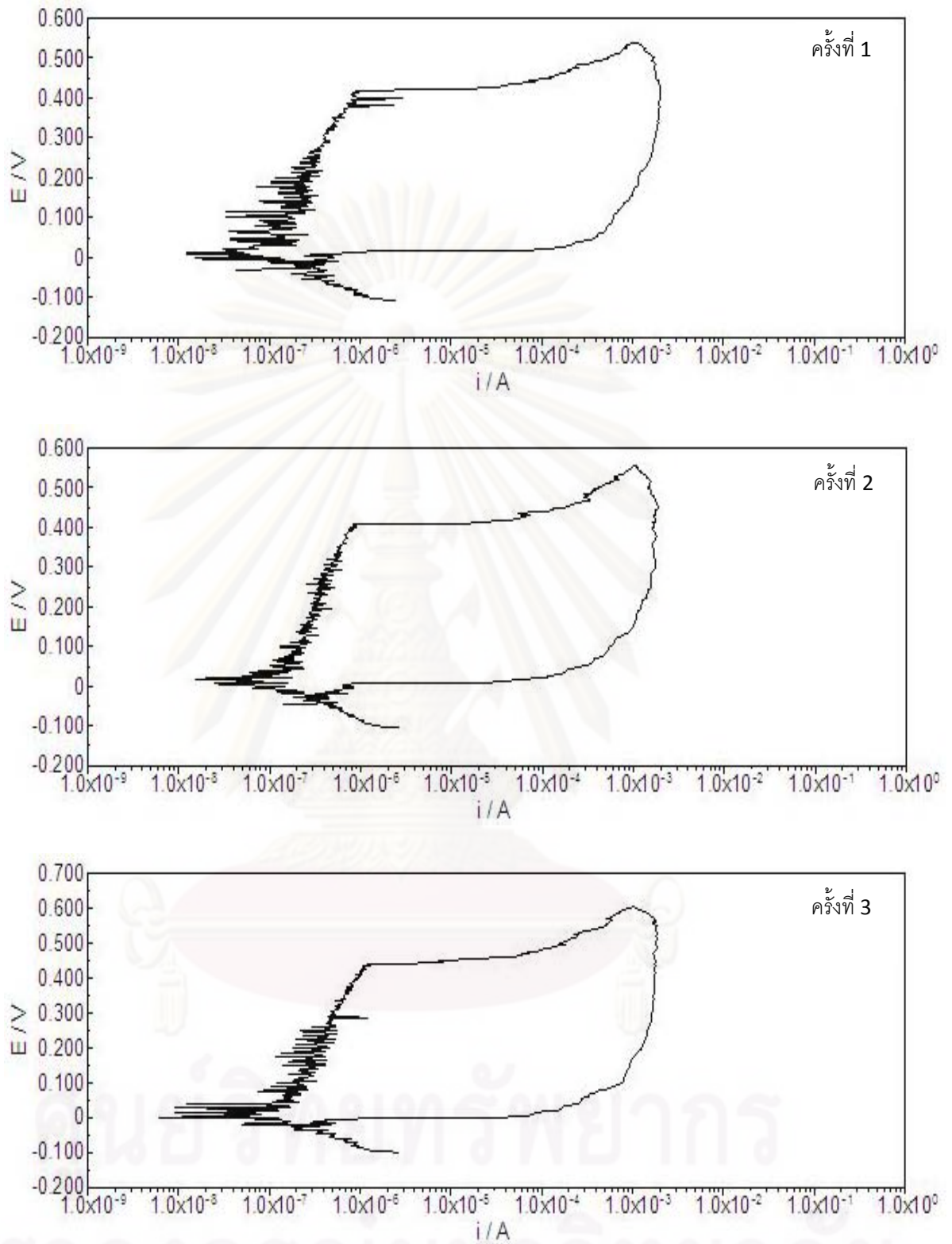
ไซเตียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



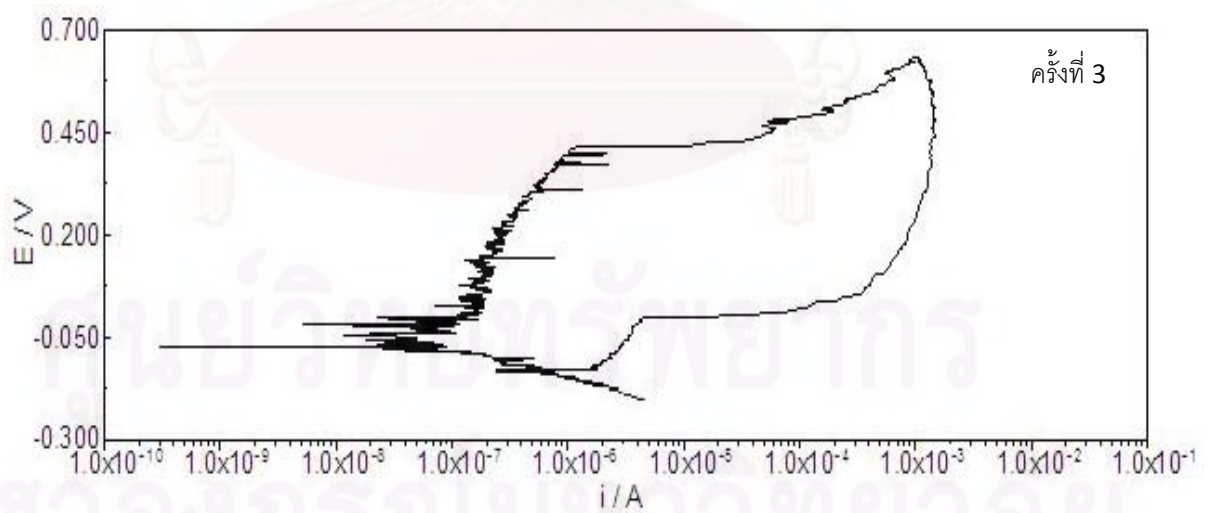
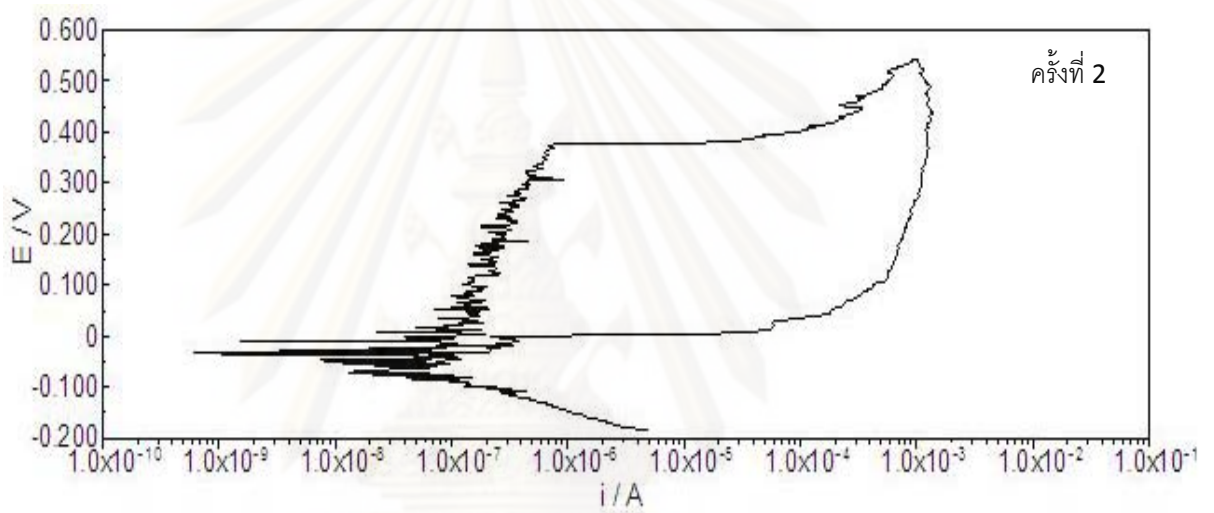
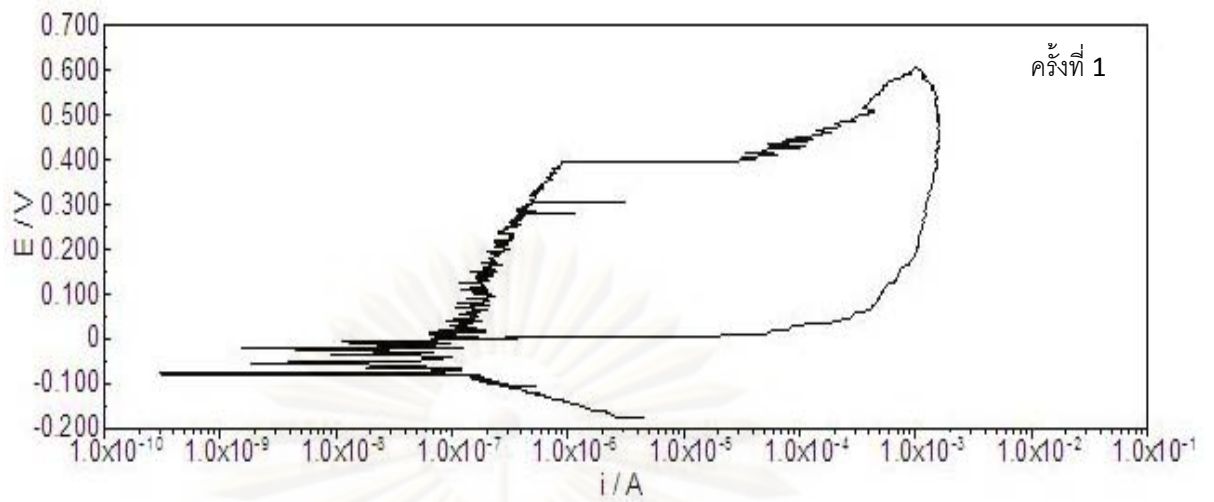
รูปที่ ๒.๒๑ เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10



รูปที่ ง.22 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4

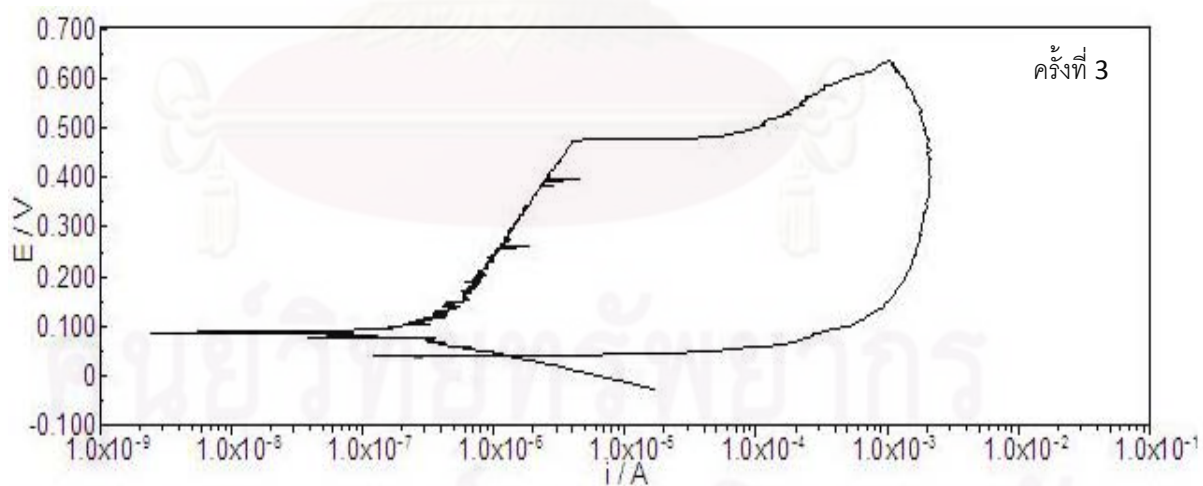
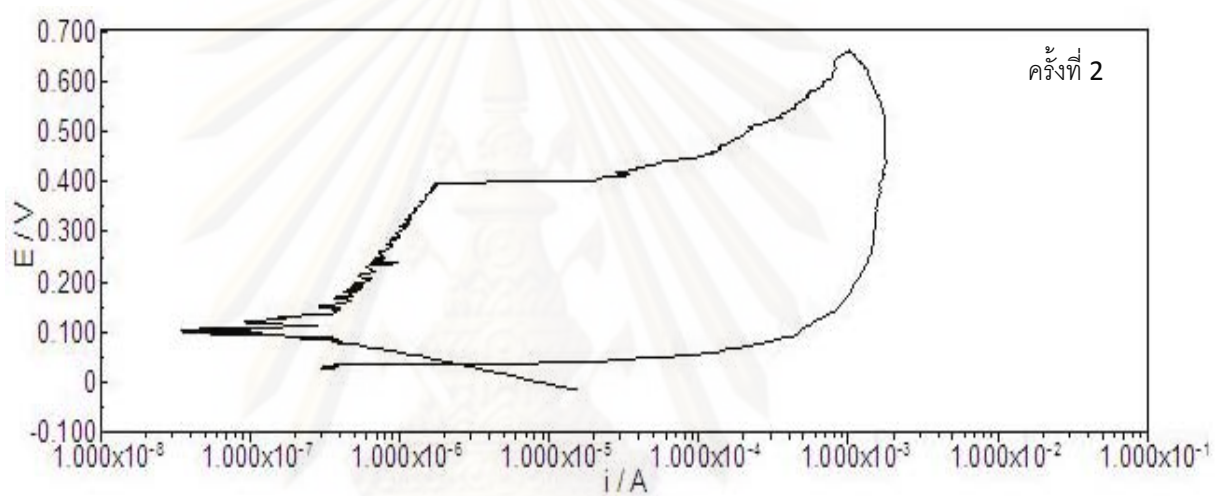
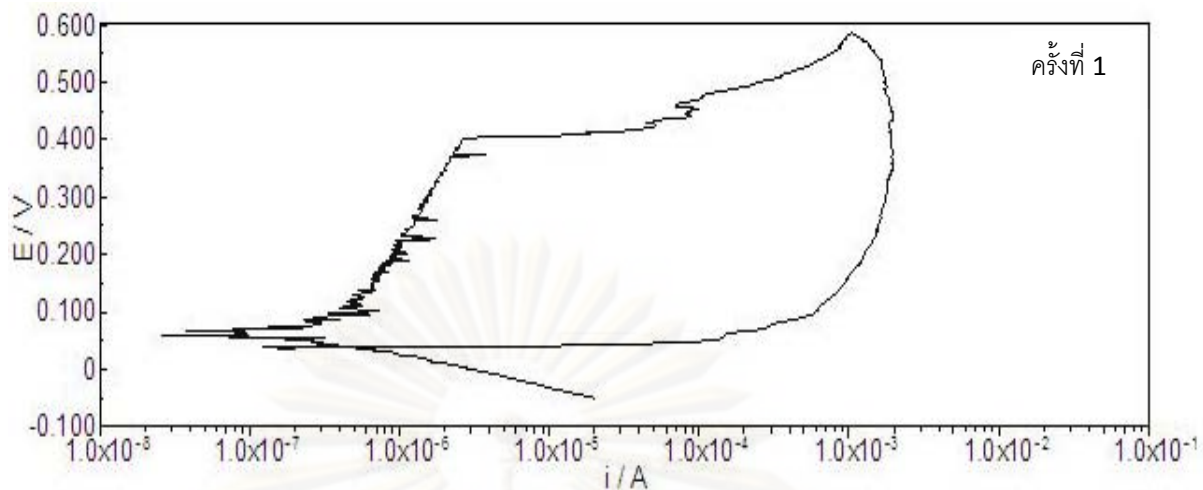


รูปที่ ๓.23 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7

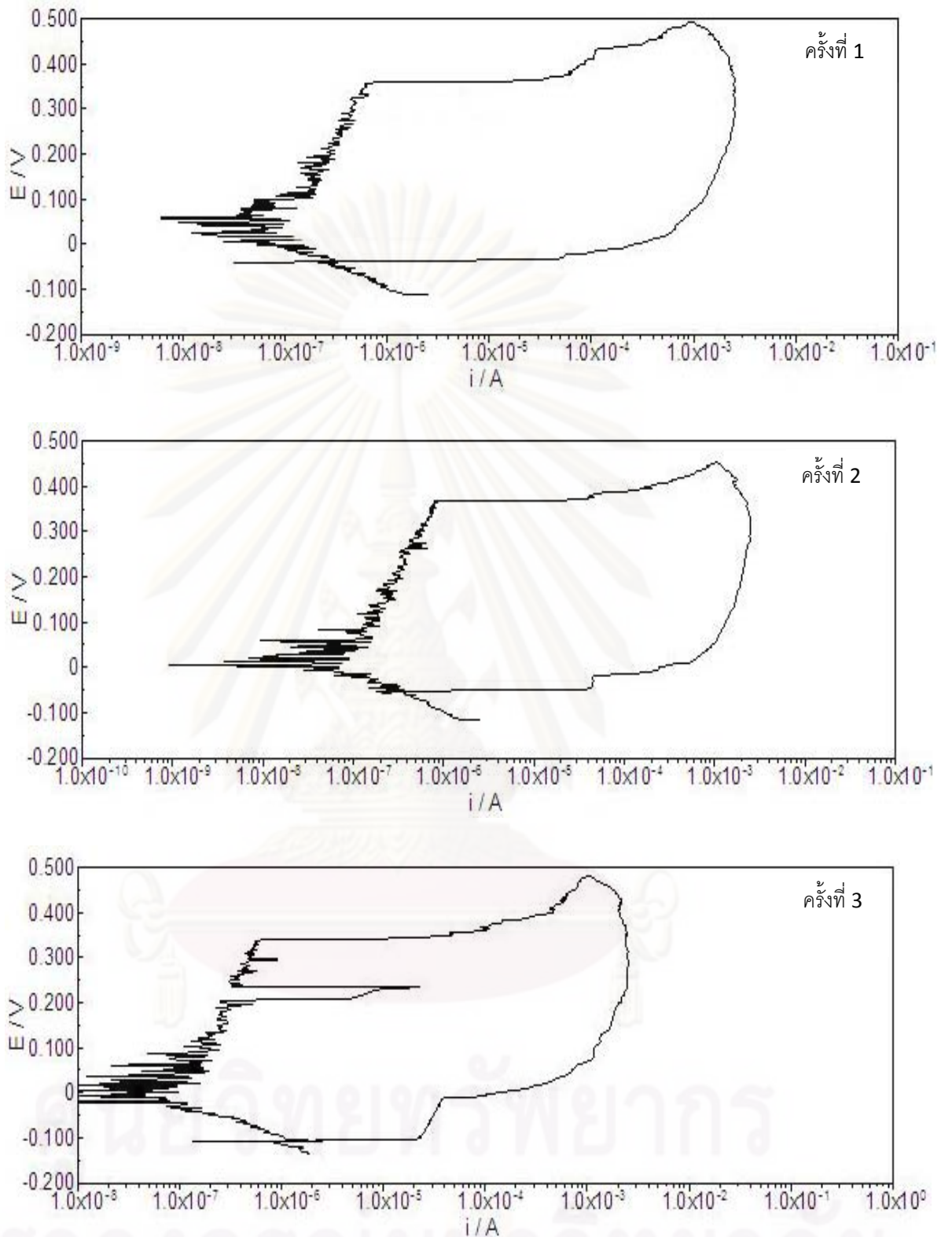


รูปที่ ง.24 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลาย

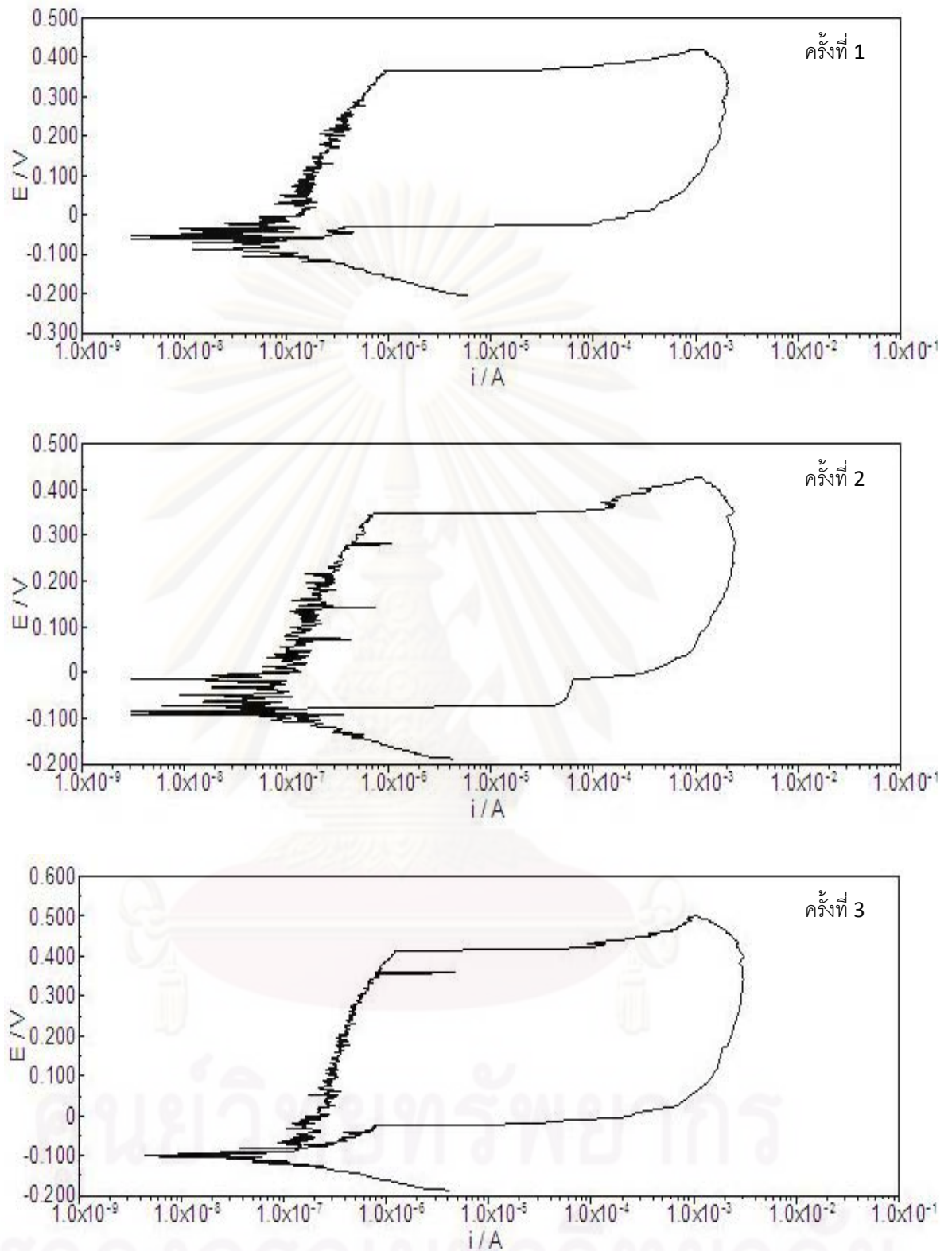
โซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10



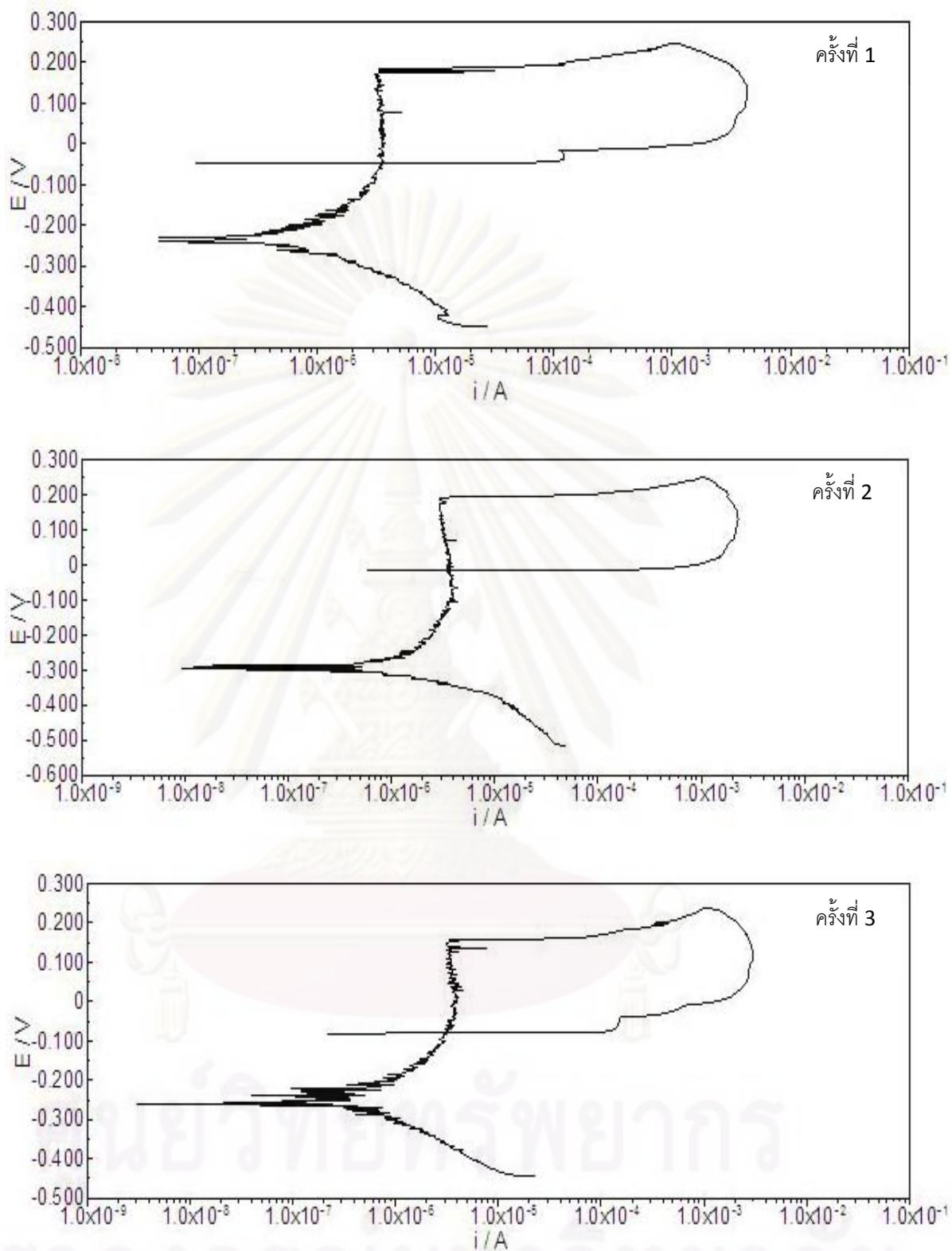
รูปที่ ง.25 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



รูปที่ 26 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7

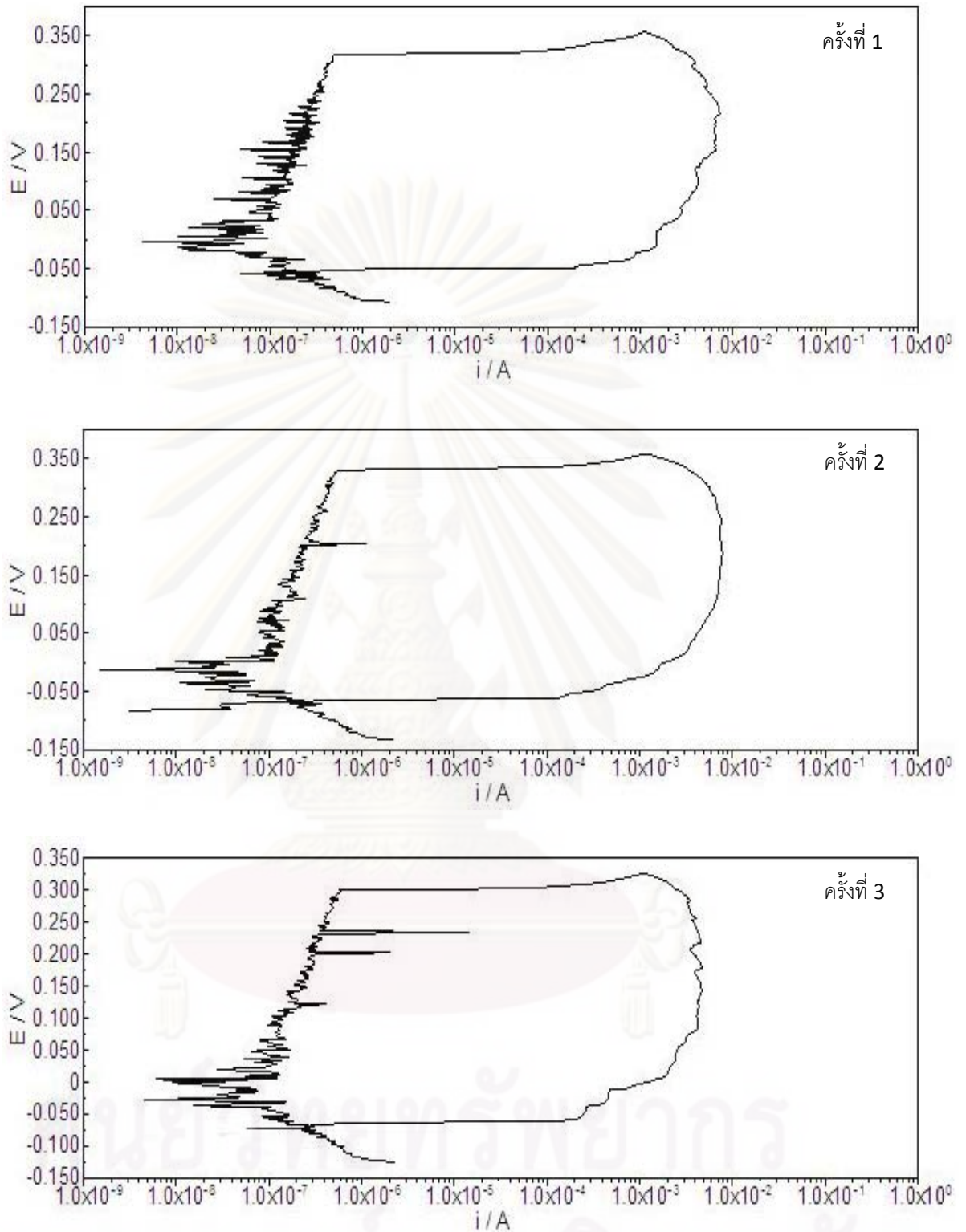


รูปที่ ง.27 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

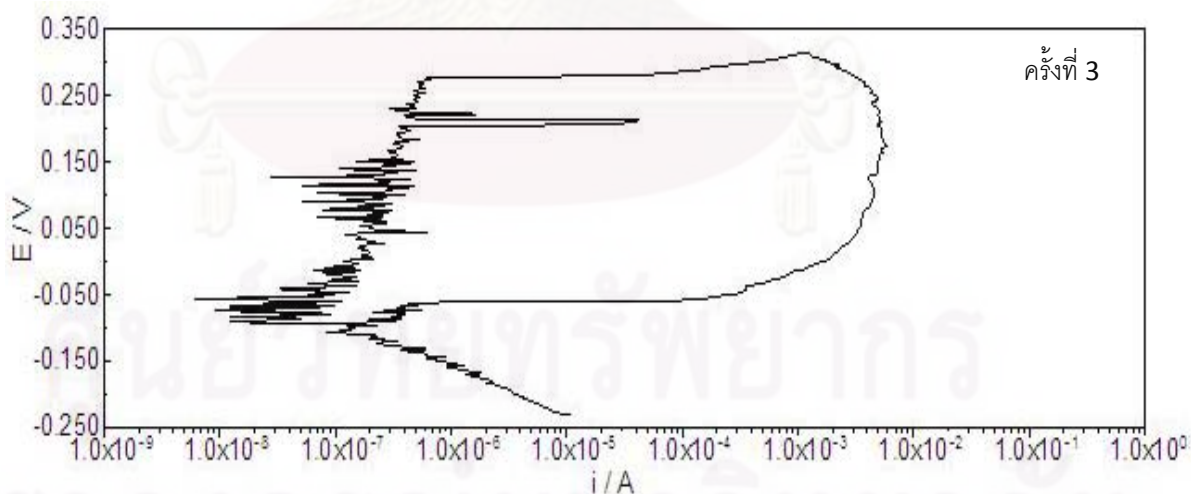
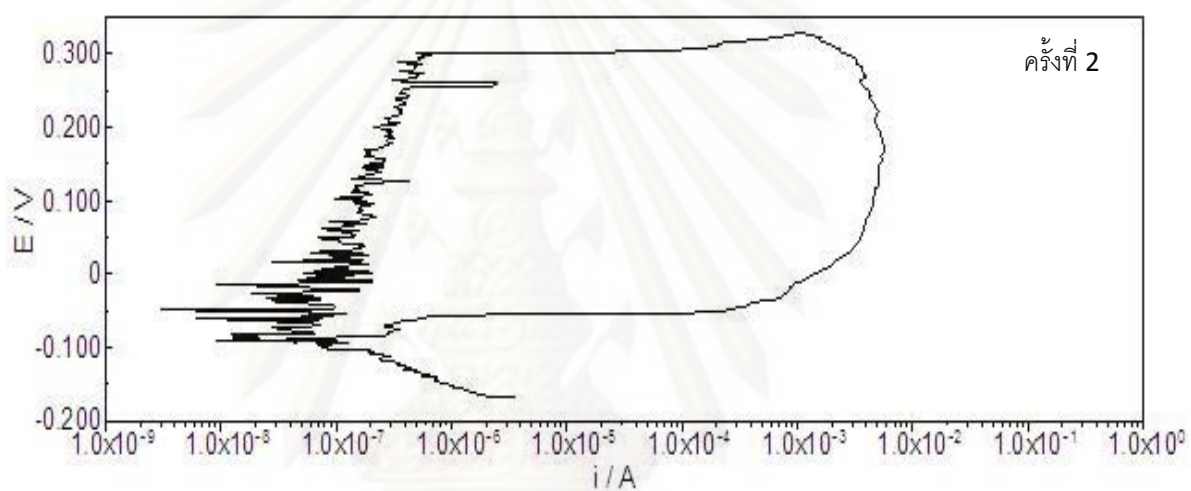
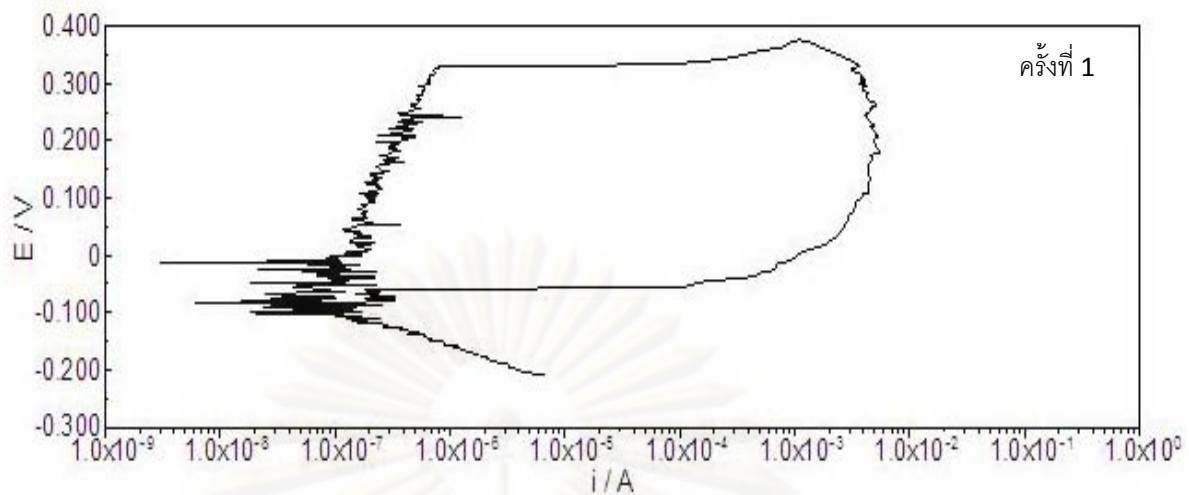


รูปที่ ง.28 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอริติก AISI 439L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4

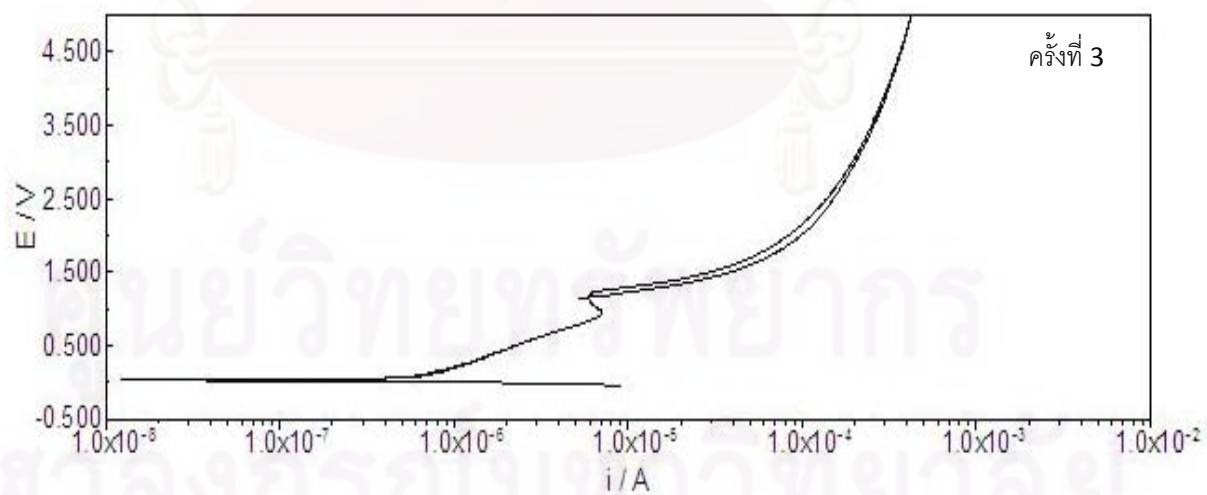
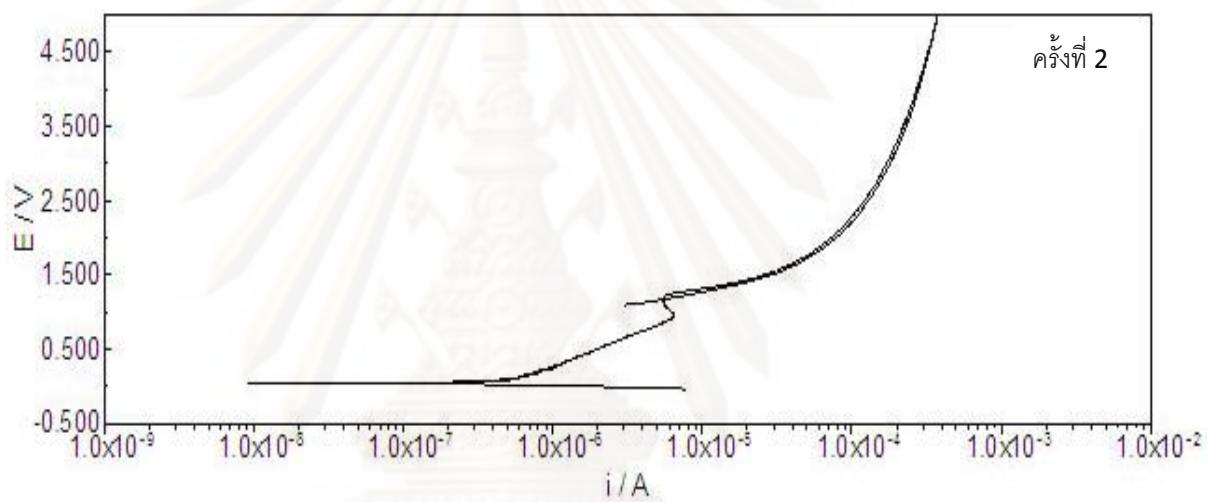
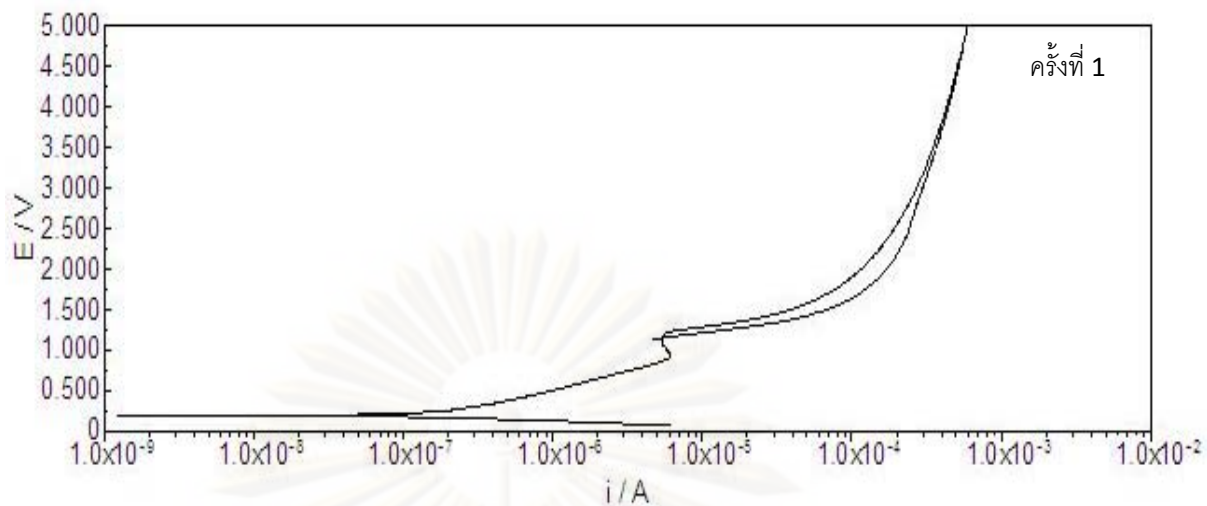


รูปที่ ง.29 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



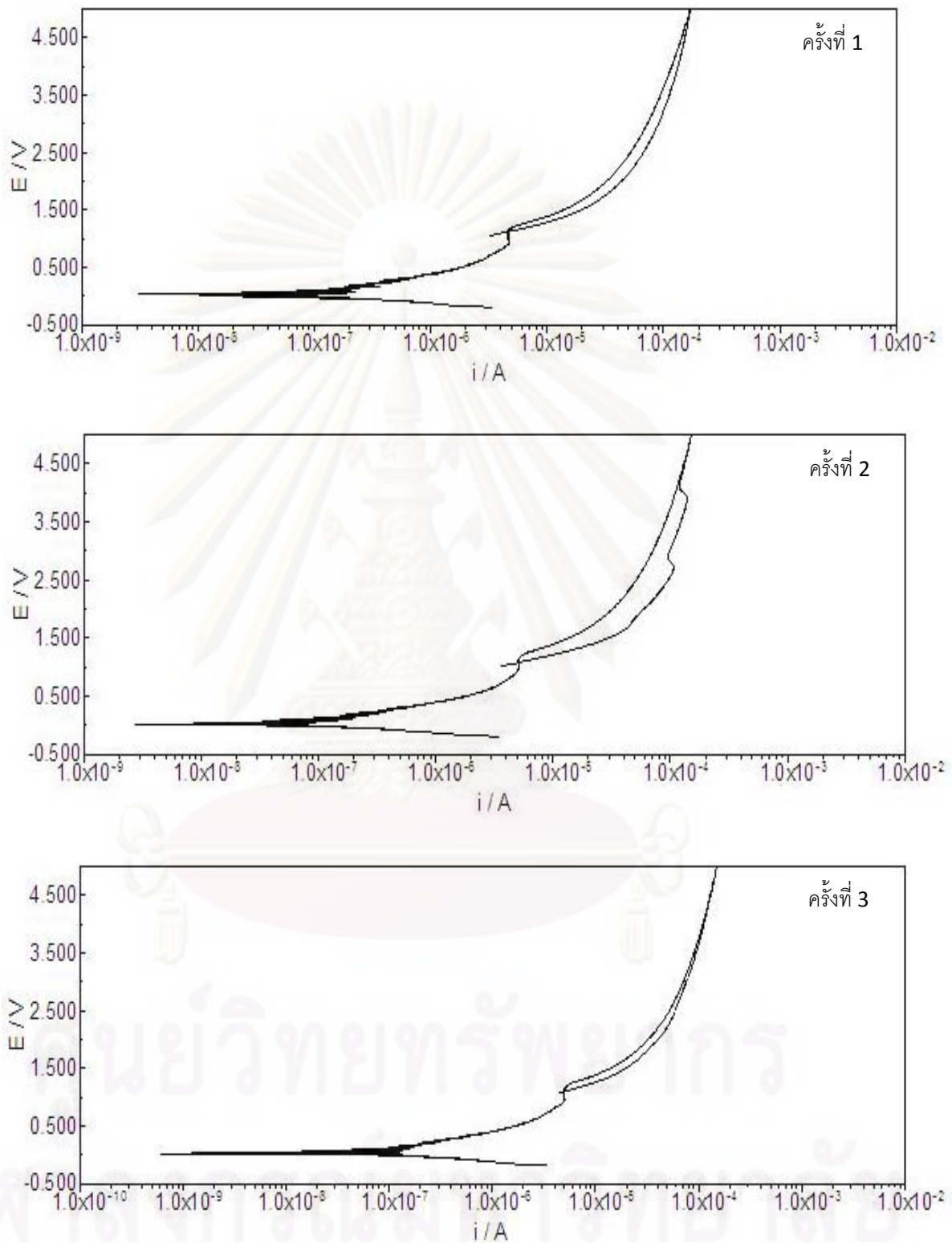
รูปที่ ง.30 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก AISI 439L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

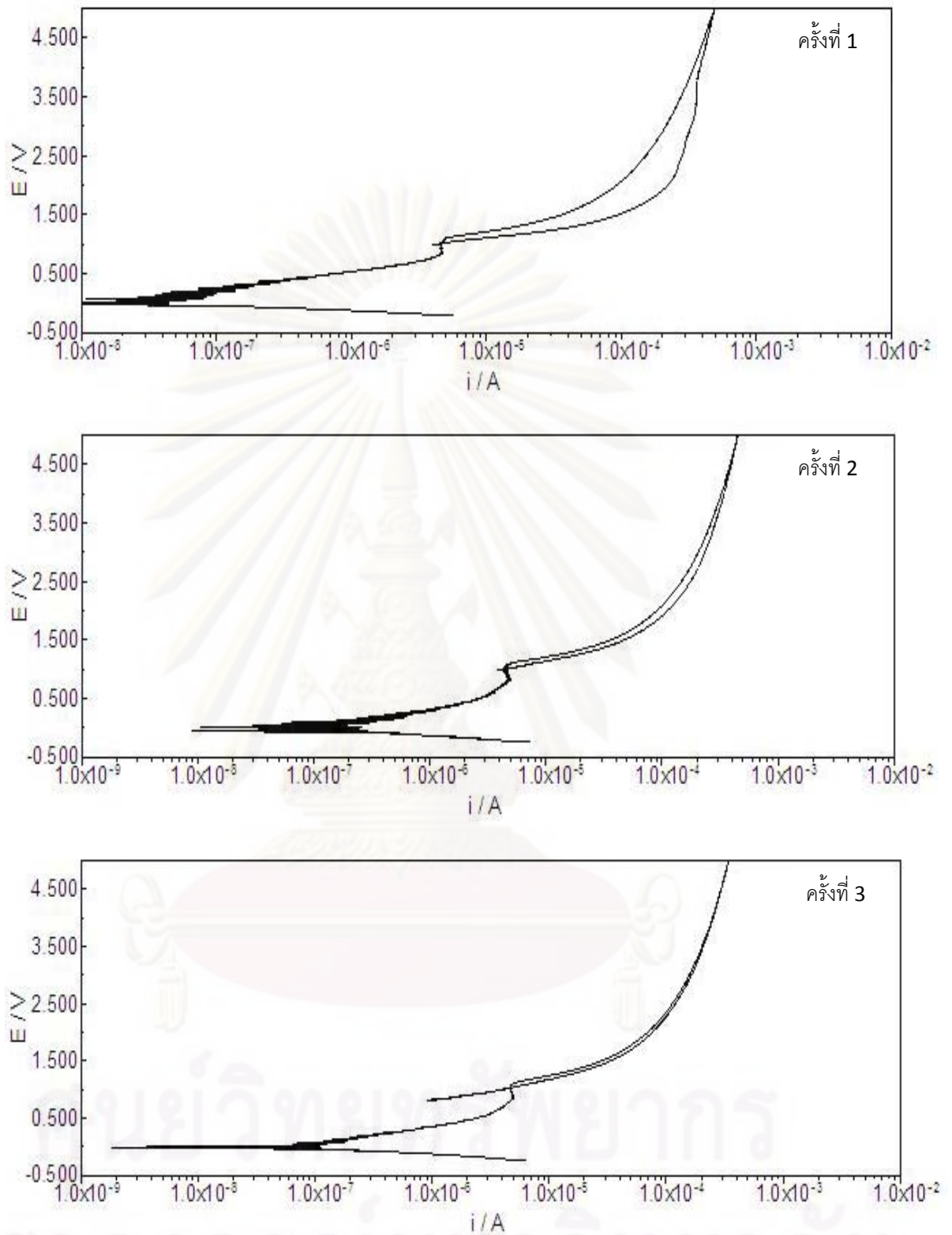


รูปที่ 3.31 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ในน้ำหนักรวม และค่าพีเอช 4

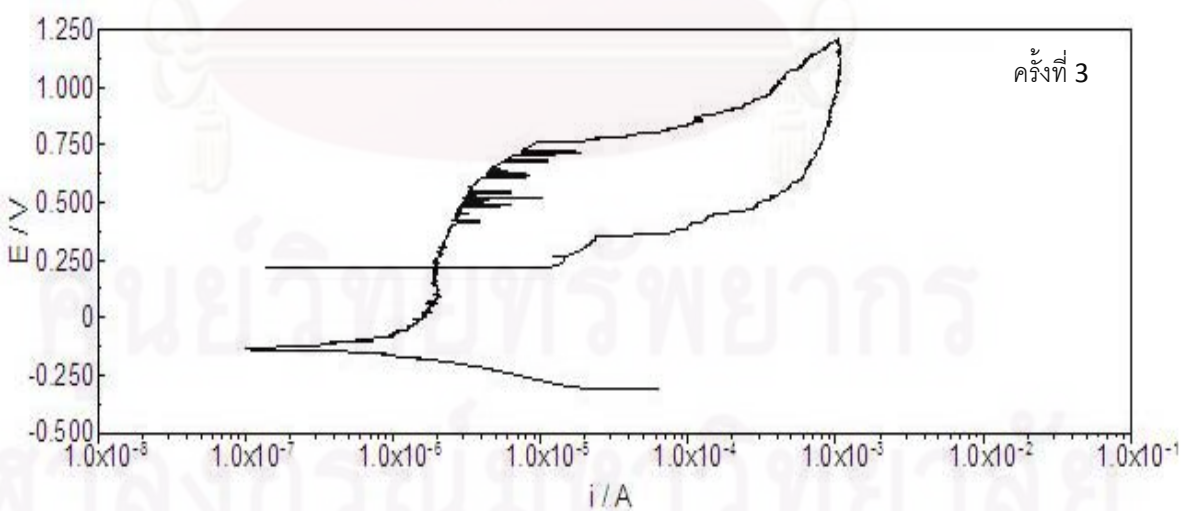
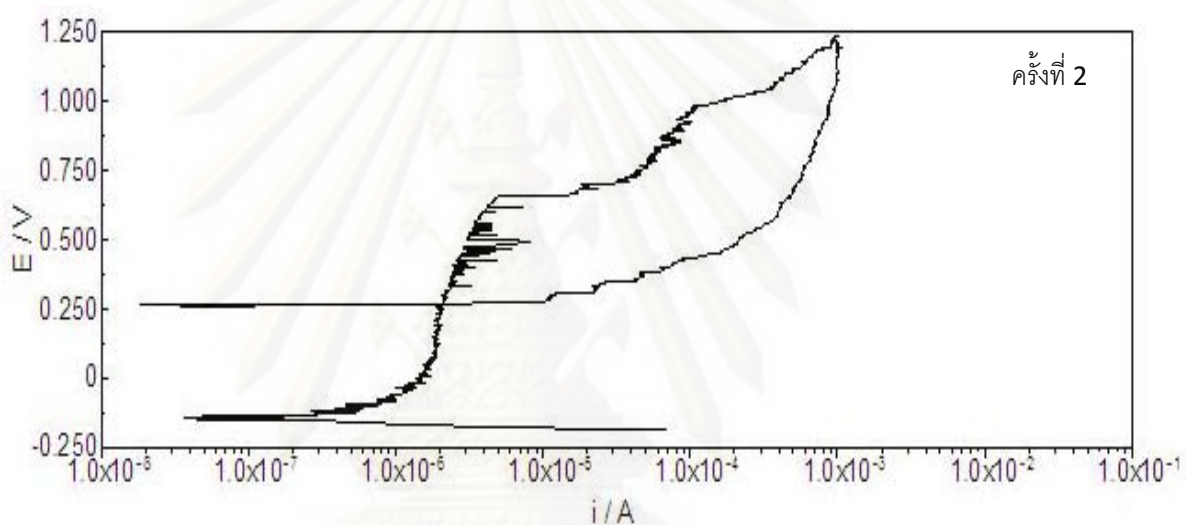
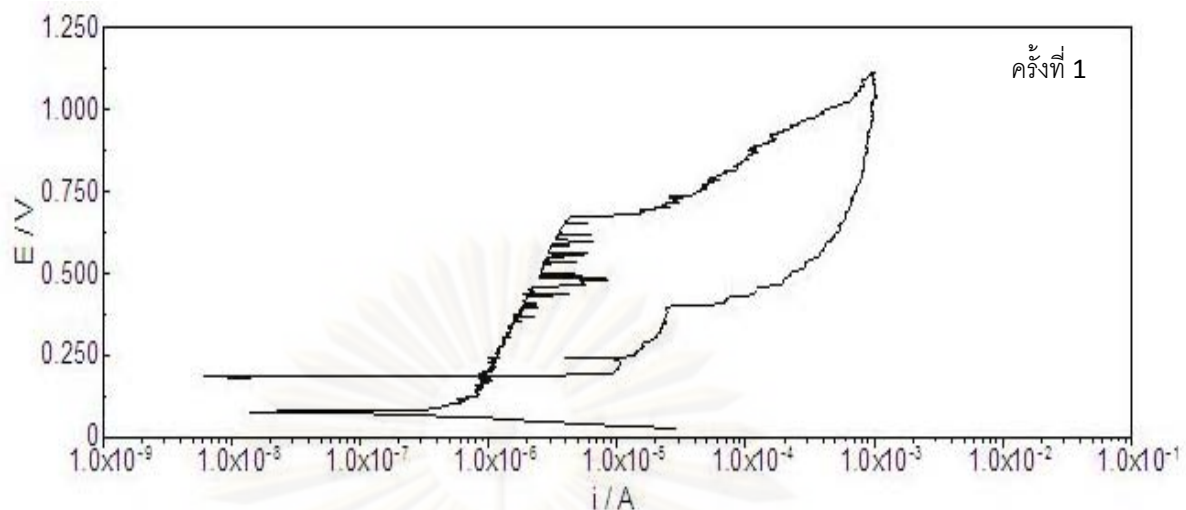


รูปที่ ง.32 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ในน้ำกลั่น โดยสแกนด้วยอัตราเร็ว 7 mV/s



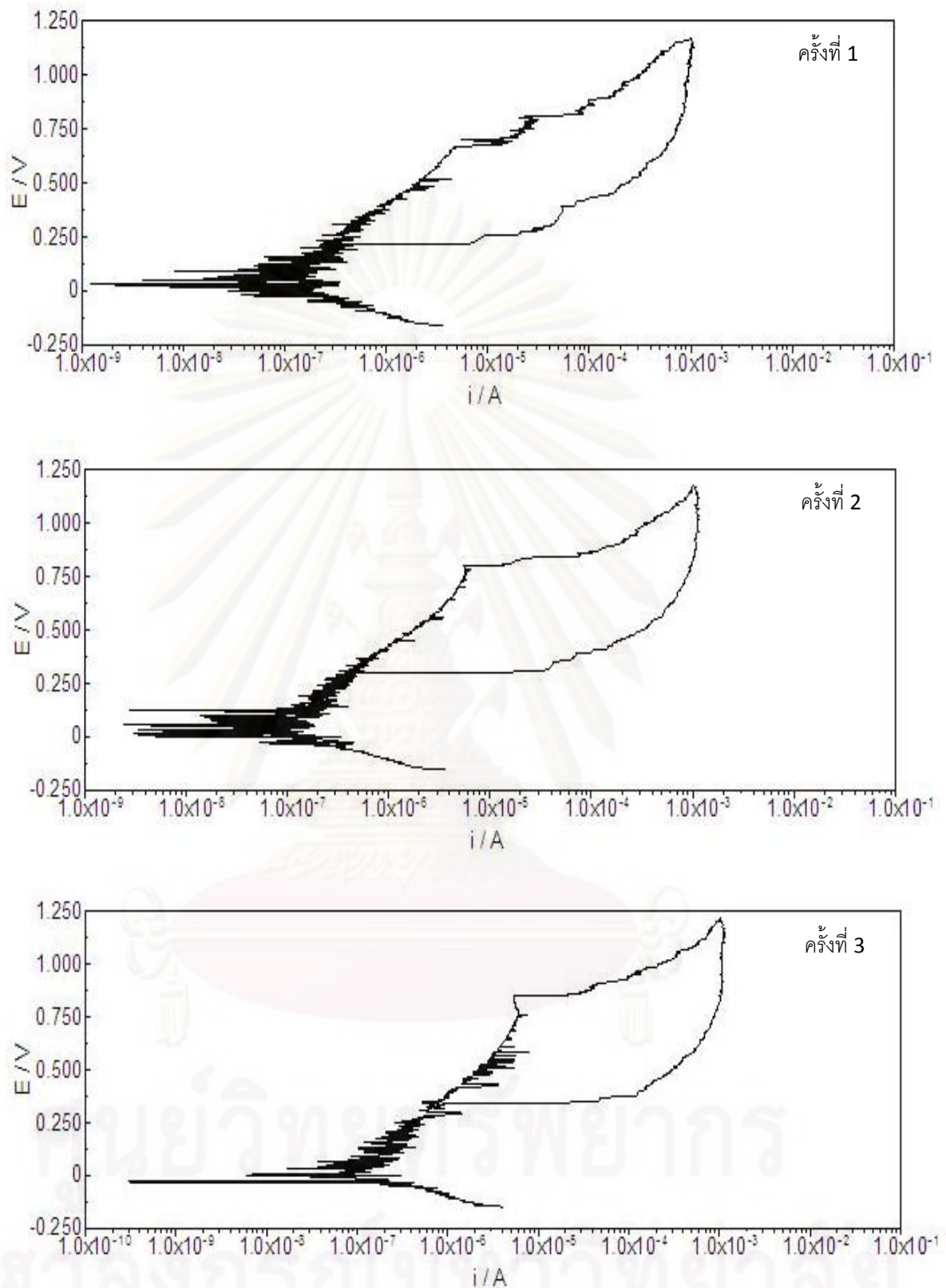
รูปที่ 33 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ในน้ำกลั่น โดยปริมาตร 100 มิลลิเมตร และค่าพีเอช 10



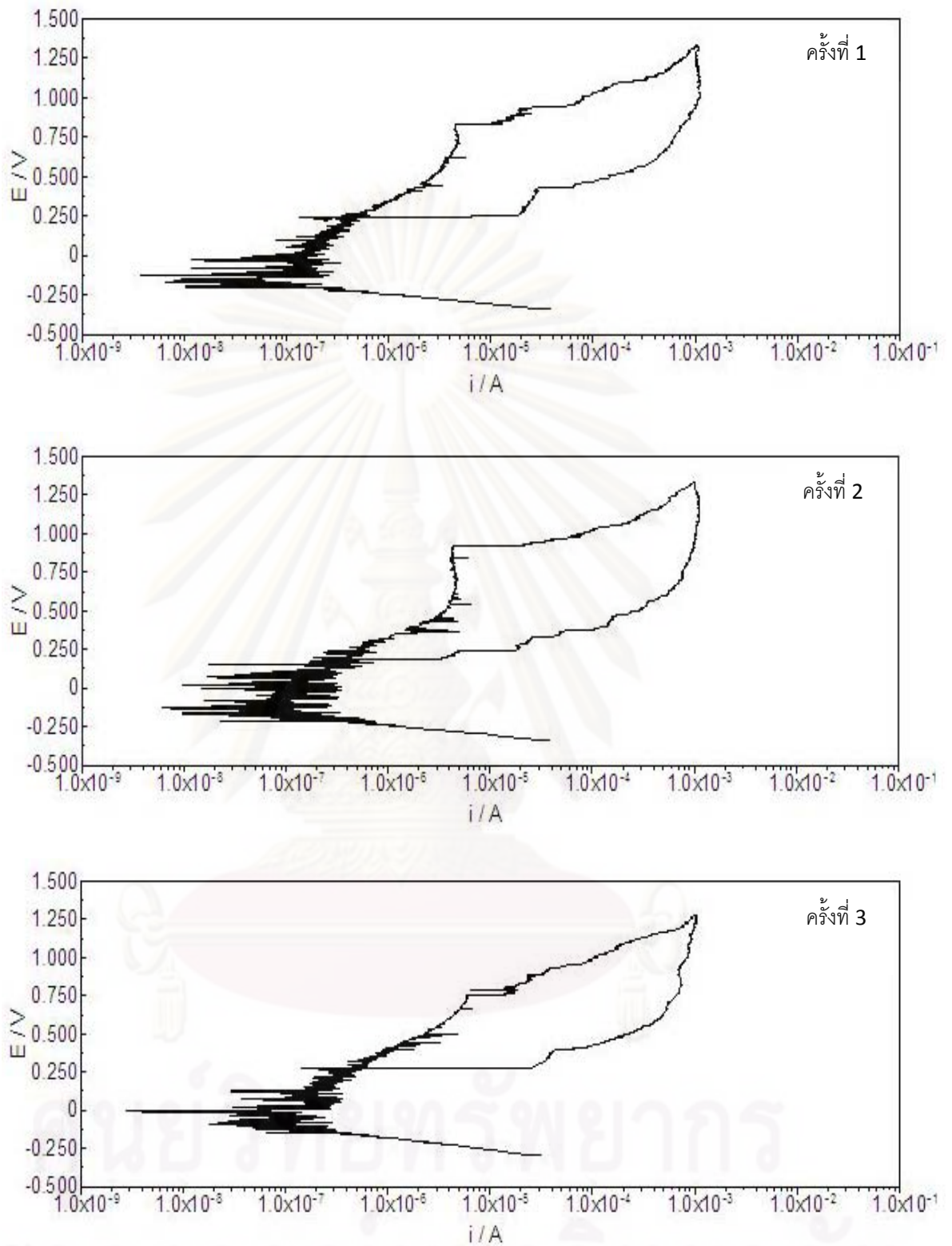
รูปที่ ง.34 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.05 โมลาร์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



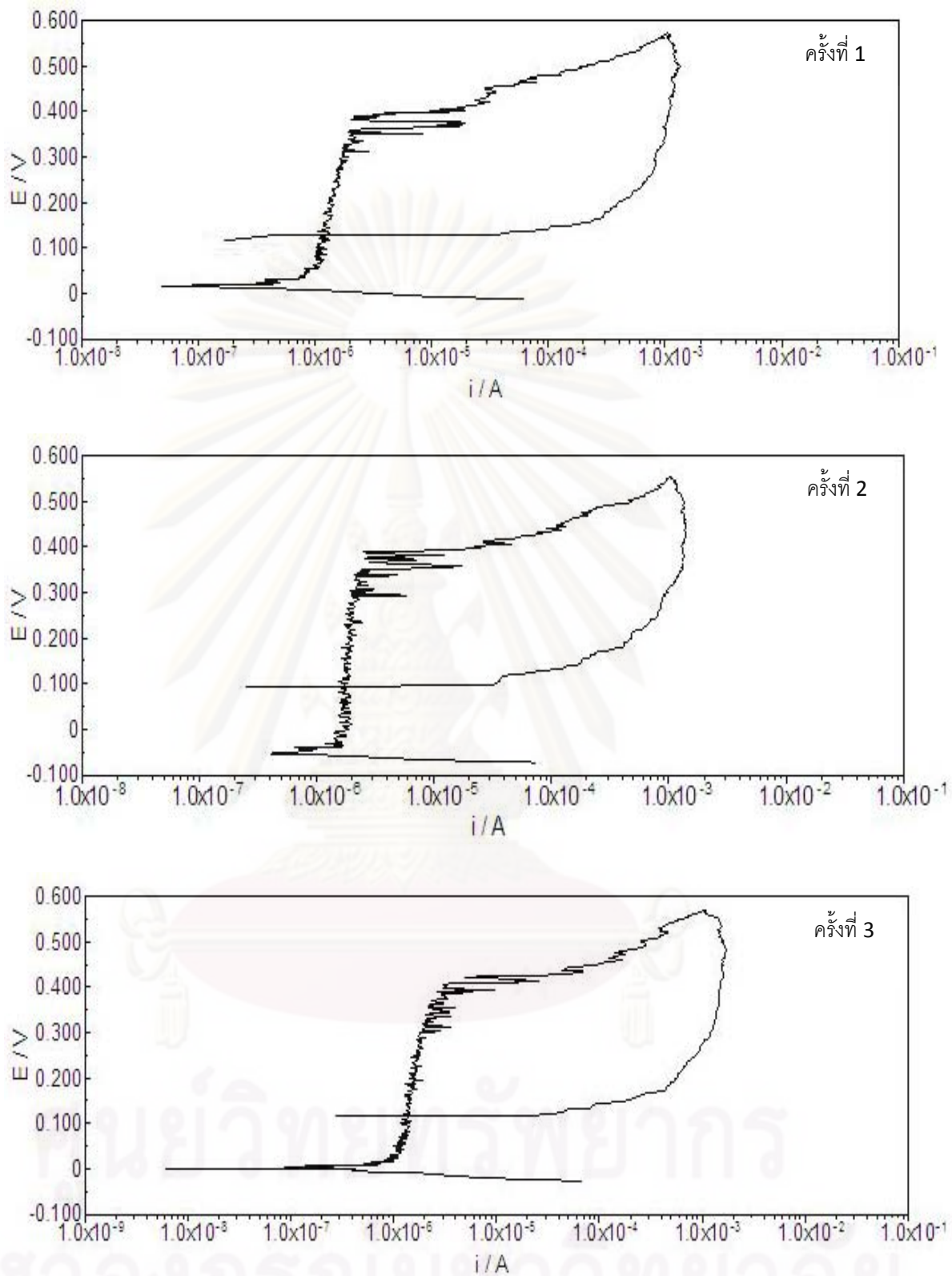
รูปที่ ง.35 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



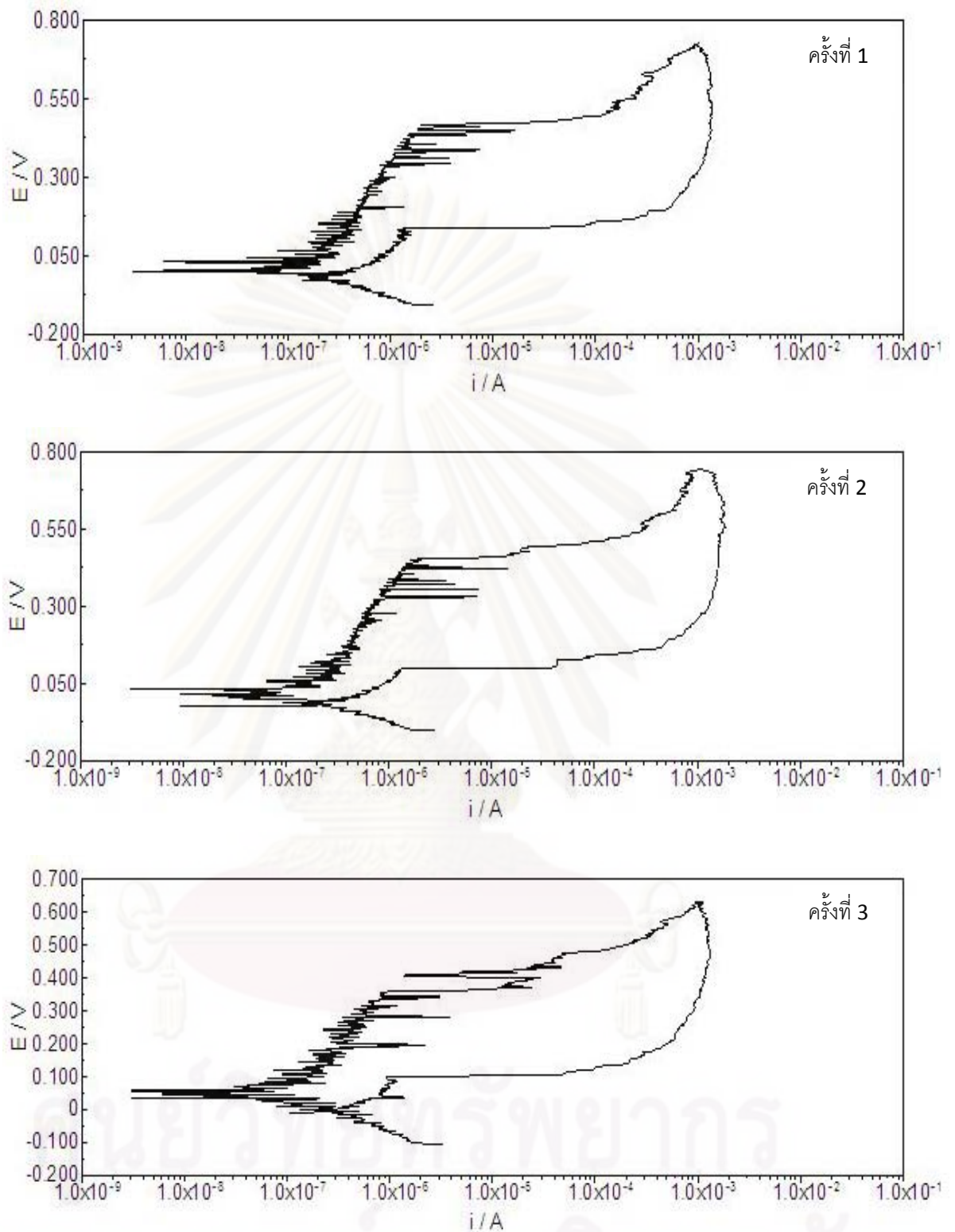
รูปที่ 3.36 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

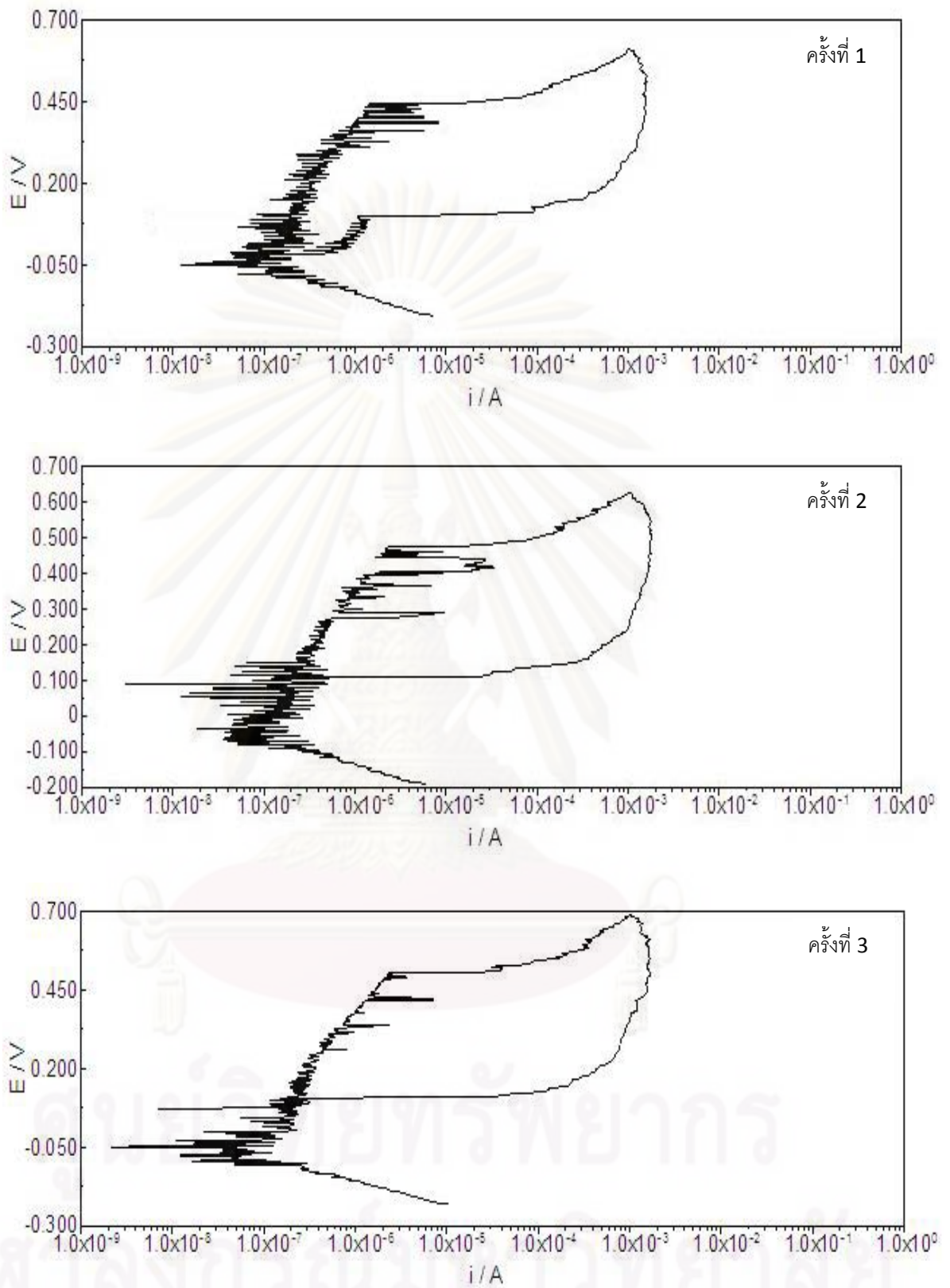


รูปที่ 3.37 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4

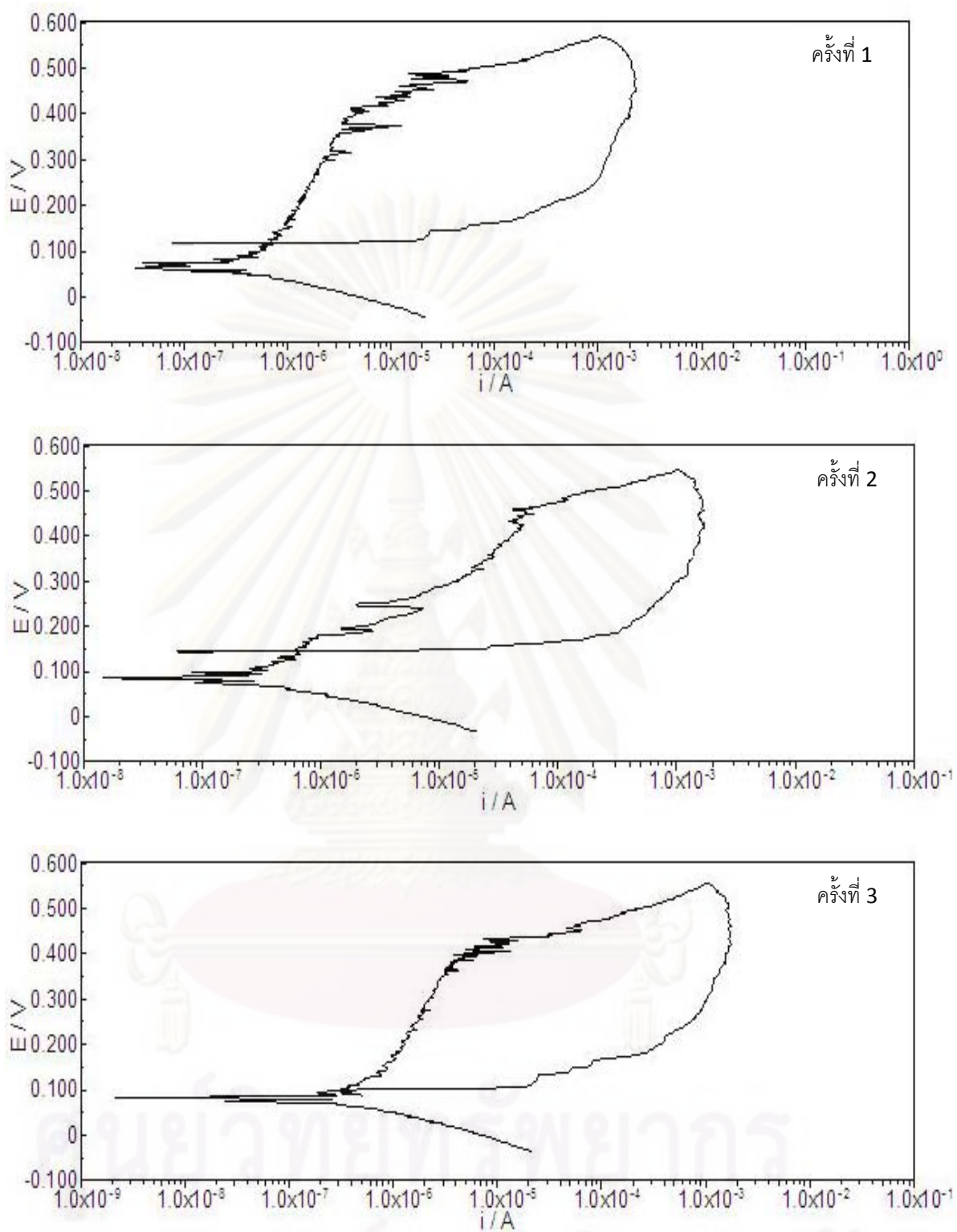


รูปที่ 3.38 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์ 0.5 โมลาร์โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอส 7

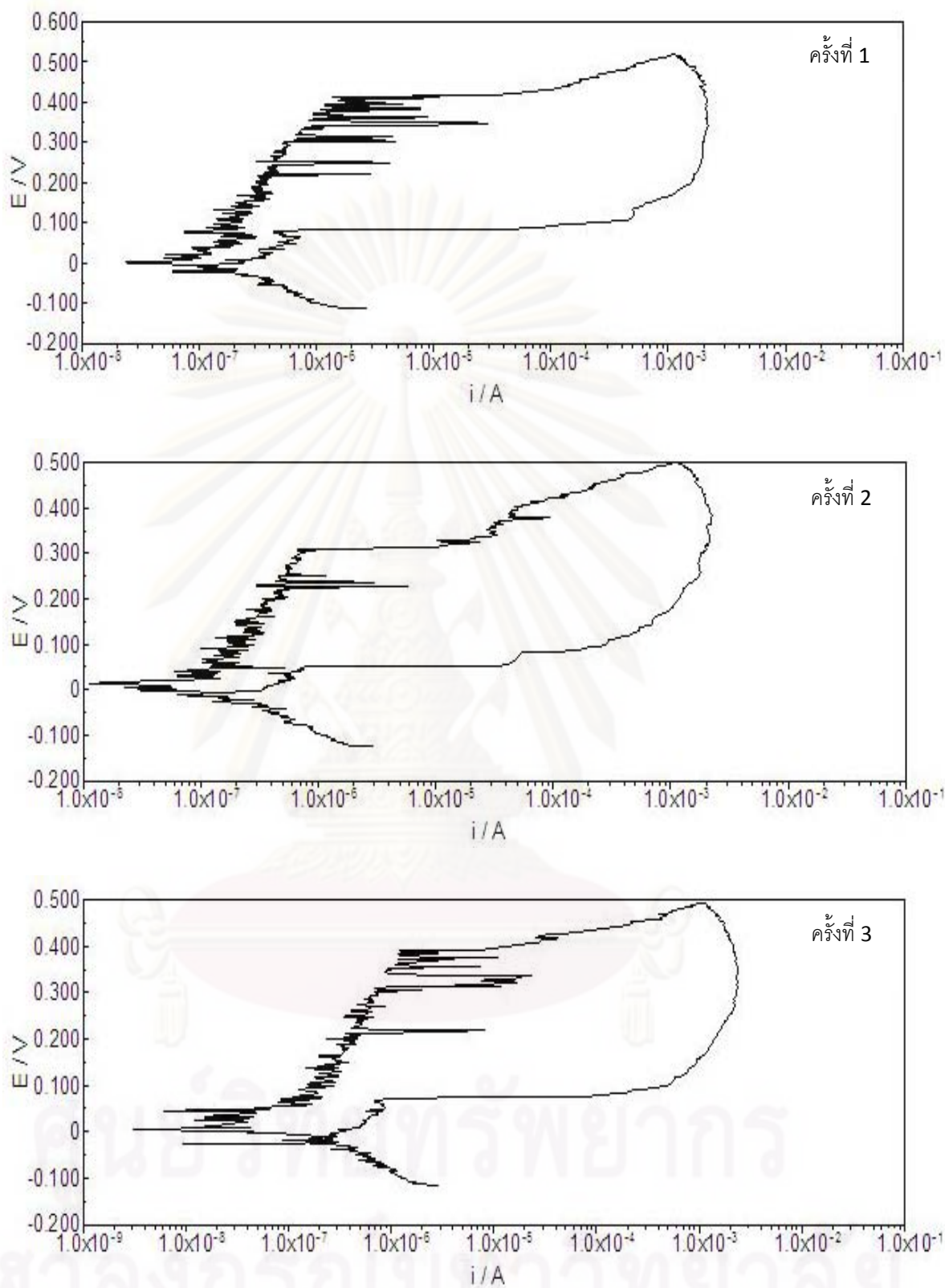


รูปที่ 39 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

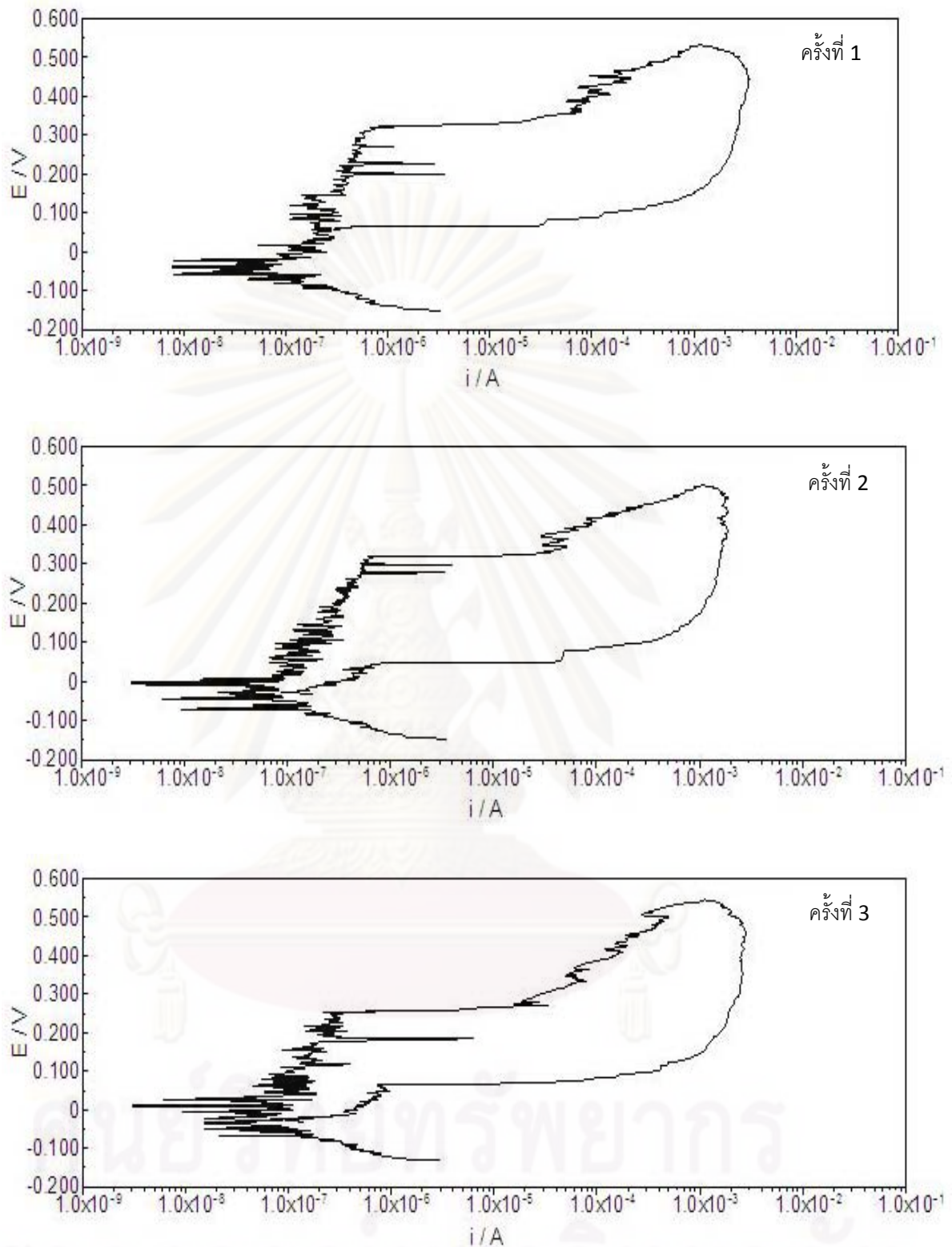


รูปที่ ง.40 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



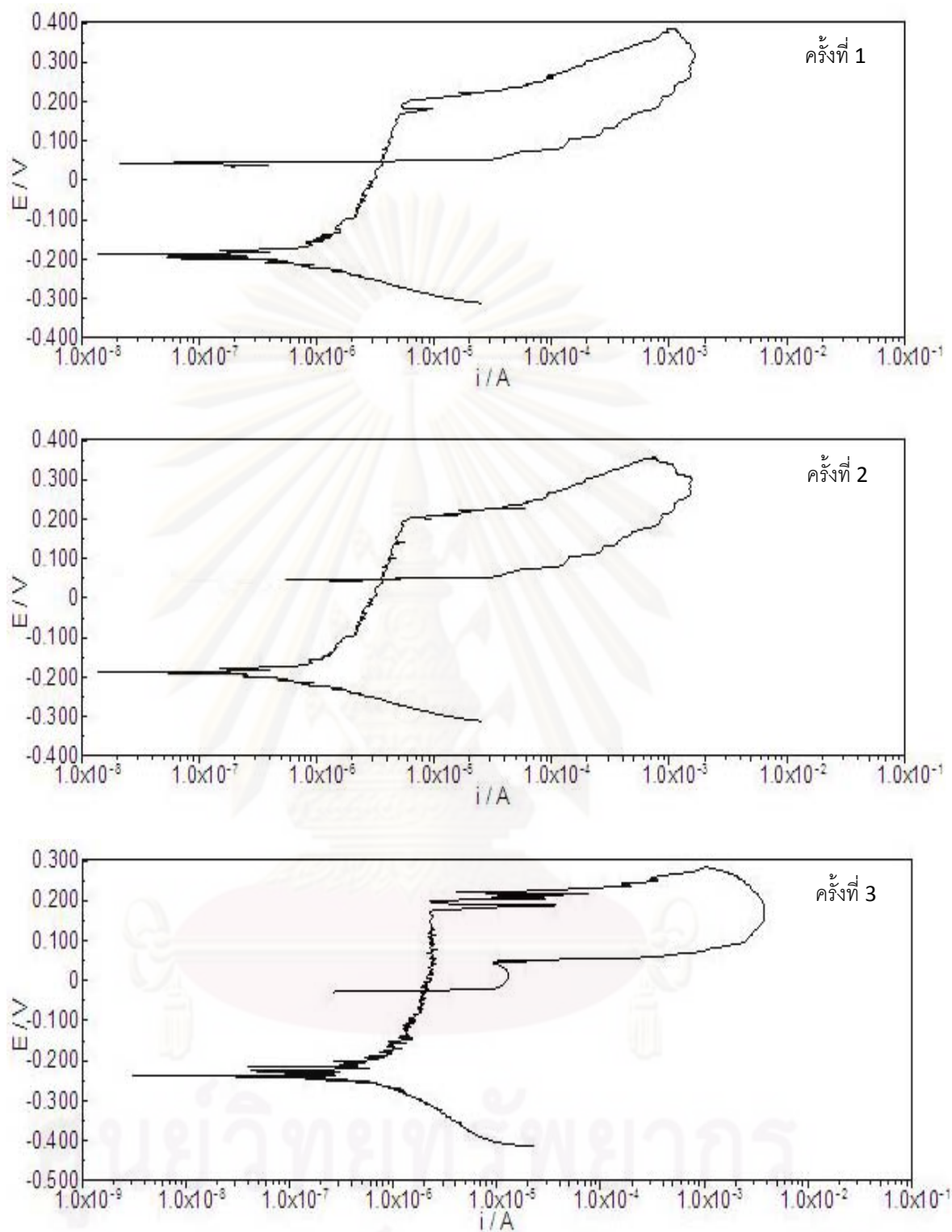
รูปที่ ง.41 เส้นโค้งไซคลิกโวลตาโรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

ไซเดียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอช 7

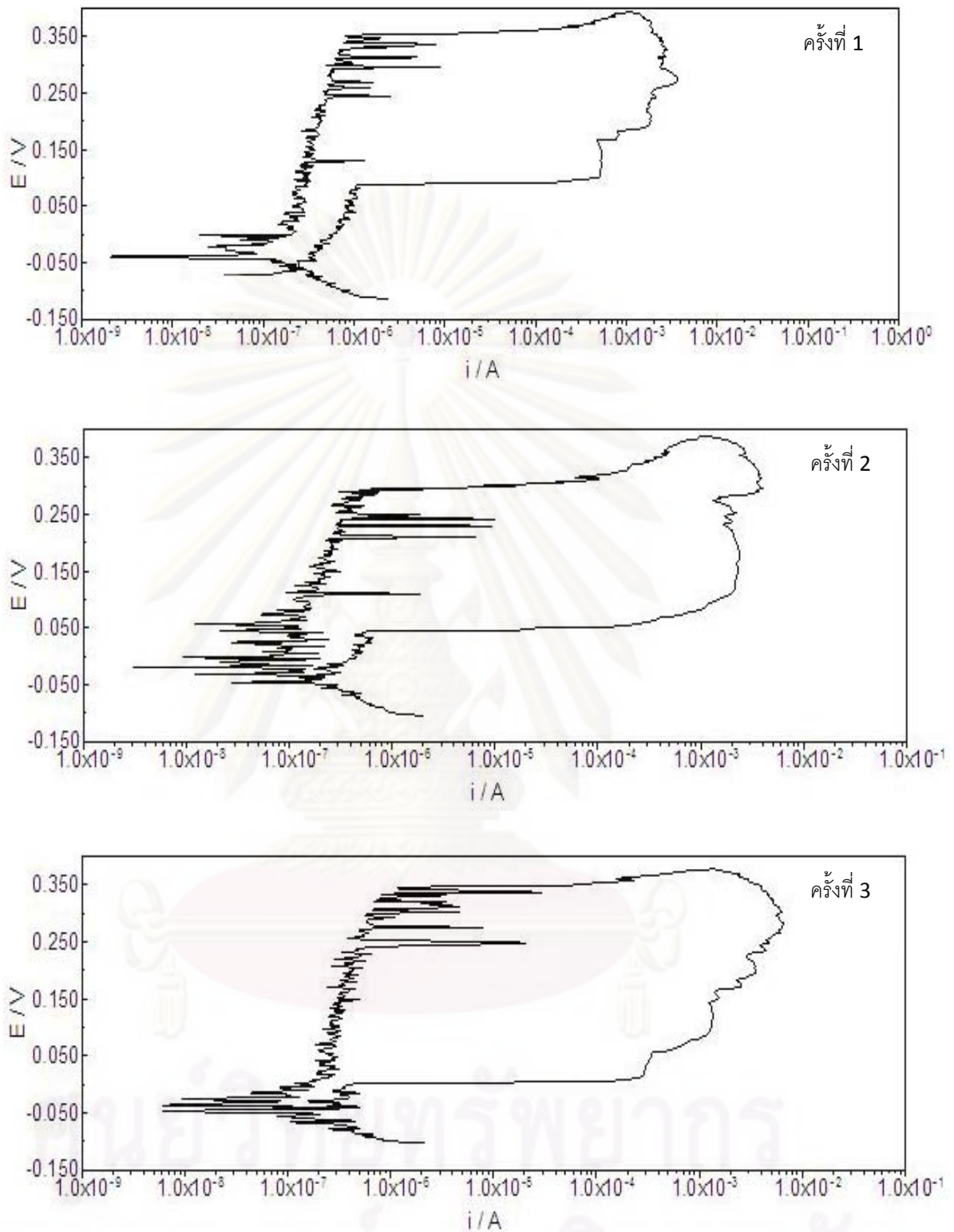


รูปที่ 4.2 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

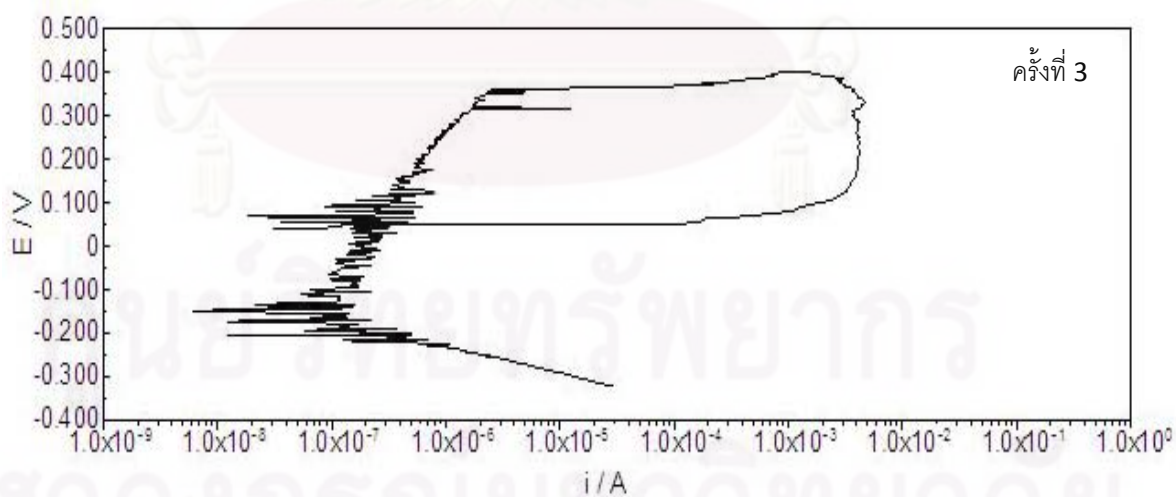
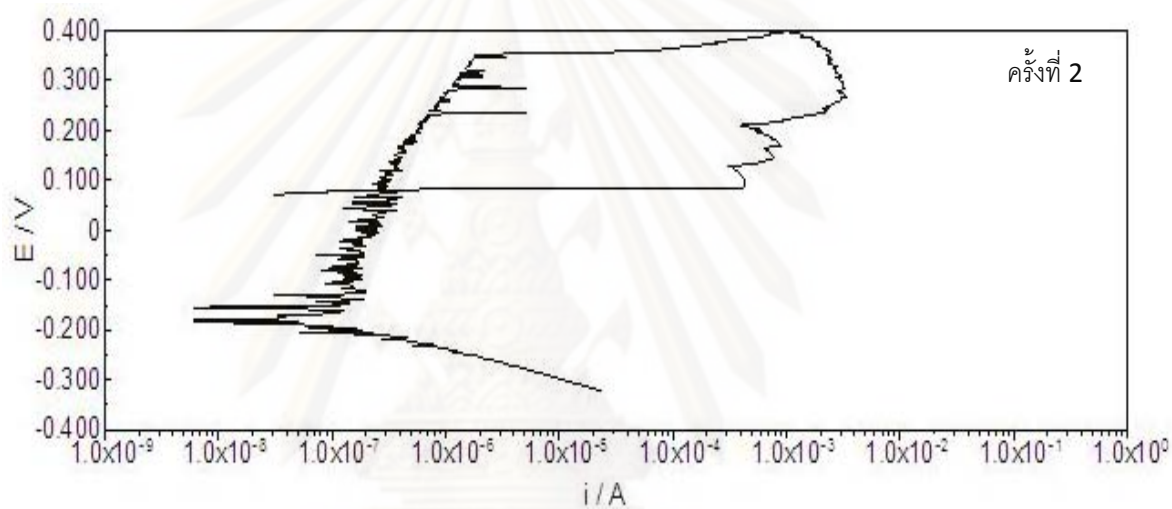
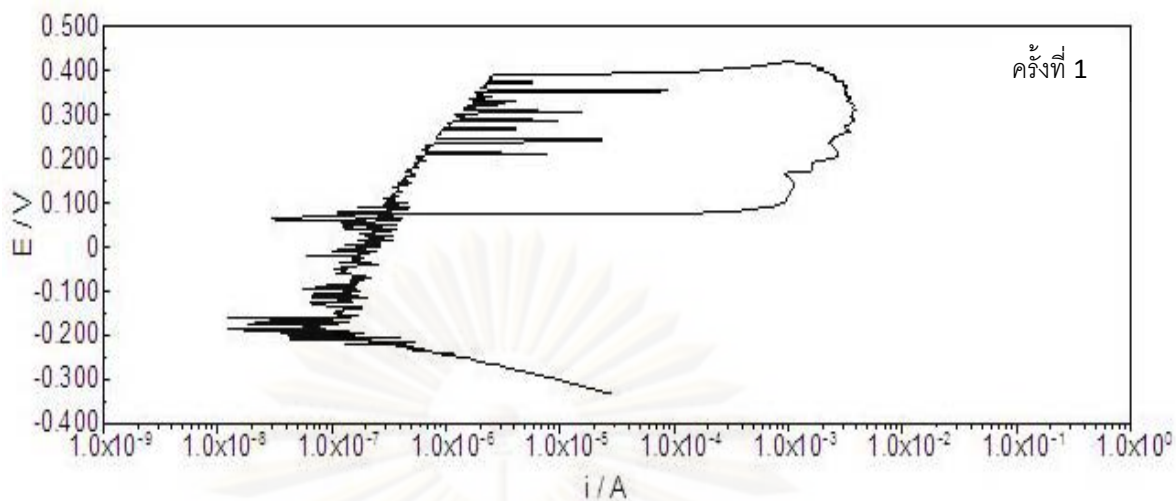
โซเดียมคลอไรด์ 1.0 โมลาร์โดยใช้น้ำหนัก และค่าพีเอช 10



รูปที่ ๔.๓3 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 4



รูปที่ ง.44 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 7



รูปที่ ง.45 เส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก AISI 316L ในสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และค่าพีเอช 10

ภาคผนวก จ

ค่าตัวแปรต่างๆที่ได้จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันจากภาคผนวก ง

จ.1 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์โดย
น้ำหนัก

ตารางที่ จ.1 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.196	1.146	0.050	0.190
2	1.193	1.131	0.062	0.074
3	1.195	1.137	0.058	0.158
ค่าเฉลี่ย	1.195	1.138	0.057	0.141
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002	0.008	0.006	0.060

ตารางที่ จ.2 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.204	1.080	0.124	0.753
2	1.209	1.074	0.135	0.792
3	1.214	1.087	0.127	0.729
ค่าเฉลี่ย	1.209	1.080	0.129	0.758
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.005	0.007	0.006	0.032

ตารางที่ จ.3 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเตอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชัน
ที่พีเอช 10

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.087	1.069	0.018	0.150
2	1.088	1.042	0.046	0.182
3	1.085	1.064	0.021	0.194
ค่าเฉลี่ย	1.087	1.058	0.028	0.175
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002	0.014	0.015	0.023

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑.2 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ๑.4 ค่า E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_p-E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.473	0.212	0.261	0.805
2	0.430	0.173	0.257	0.597
3	0.447	0.215	0.232	0.826
ค่าเฉลี่ย	0.450	0.200	0.250	0.743
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.022	0.023	0.016	0.127

ตารางที่ ๑.5 ค่า E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_p-E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.476	-0.024	0.500	1.433
2	0.485	0.053	0.432	1.601
3	0.472	0.106	0.366	1.092
ค่าเฉลี่ย	0.478	0.045	0.433	1.375
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007	0.065	0.067	0.259

ตารางที่ ๑.6 ค่า E_p , E_{pr} , E_p-E_{pr} และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชันที่พีเอช 10

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_p-E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.430	0.056	0.374	1.316
2	0.487	-0.081	0.568	1.801
3	0.512	0.077	0.435	1.704
ค่าเฉลี่ย	0.476	0.017	0.459	1.607
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.042	0.086	0.099	0.257

๑.3 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ๑.7 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.275	0.045	0.230	0.591
2	0.273	0.017	0.256	0.652
3	0.278	0.022	0.256	0.789
ค่าเฉลี่ย	0.275	0.028	0.247	0.677
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003	0.015	0.015	0.101

ตารางที่ ๑.8 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.335	-0.033	0.368	1.268
2	0.320	-0.032	0.352	1.340
3	0.285	-0.034	0.319	1.091
ค่าเฉลี่ย	0.313	-0.033	0.346	1.233
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.026	0.001	0.025	0.128

ตารางที่ ๑.9 ค่า E_p , E_{pr} , $E_p - E_{pr}$ และพื้นที่ฮิสเตอร์ีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชันที่พีเอช 10

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	$E_p - E_{pr}$ (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.285	-0.036	0.321	1.190
2	0.262	-0.027	0.289	1.094
3	0.316	-0.042	0.358	1.267
ค่าเฉลี่ย	0.288	-0.035	0.323	1.184
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.027	0.008	0.035	0.087

จ.4 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.10 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.099	-0.030	0.129	0.548
2	0.110	-0.036	0.146	0.294
3	0.107	-0.032	0.139	0.332
ค่าเฉลี่ย	0.105	-0.033	0.138	0.391
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.003	0.009	0.137

ตารางที่ จ.11 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.213	-0.051	0.264	1.058
2	0.243	-0.042	0.285	1.159
3	0.238	-0.065	0.303	1.233
ค่าเฉลี่ย	0.231	-0.053	0.284	1.150
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.016	0.012	0.020	0.088

ตารางที่ จ.12 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.252	-0.054	0.306	1.268
2	0.263	-0.036	0.299	1.152
3	0.261	-0.098	0.359	1.038
ค่าเฉลี่ย	0.259	-0.063	0.321	1.153
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.032	0.033	0.115

จ.5 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.13 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.017	-0.119	0.136	0.304
2	0.025	-0.088	0.113	0.292
3	0.010	-0.096	0.106	0.252
ค่าเฉลี่ย	0.017	-0.101	0.118	0.283
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008	0.016	0.016	0.027

ตารางที่ จ.14 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.165	-0.110	0.275	1.189
2	0.164	-0.093	0.257	1.013
3	0.152	-0.121	0.273	1.103
ค่าเฉลี่ย	0.160	-0.108	0.268	1.102
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007	0.014	0.010	0.088

ตารางที่ จ.15 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-Epr} และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-Epr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.147	-0.116	0.263	0.831
2	0.167	-0.125	0.292	1.176
3	0.089	-0.131	0.220	0.817
ค่าเฉลี่ย	0.134	-0.124	0.258	0.941
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.041	0.008	0.036	0.203

จ.6 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.16 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-pr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-pr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.214	1.156	0.058	0.117
2	1.222	1.145	0.077	0.081
3	1.215	1.135	0.080	0.109
ค่าเฉลี่ย	1.217	1.145	0.072	0.102
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.011	0.012	0.019

ตารางที่ จ.17 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-pr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-pr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.191	1.060	0.131	0.511
2	1.190	1.059	0.131	0.519
3	1.202	1.113	0.089	0.195
ค่าเฉลี่ย	1.194	1.077	0.117	0.408
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007	0.031	0.024	0.185

ตารางที่ จ.18 ค่า E_p , E_{pr} , E_{p-pr} และพื้นที่ฮิสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	E_p (V) vs.Ag/AgCl	E_{pr} (V) vs.Ag/AgCl	E_{p-pr} (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.109	1.104	0.005	0.065
2	1.109	1.033	0.076	0.152
3	1.106	0.998	0.108	0.228
ค่าเฉลี่ย	1.108	1.045	0.063	0.148
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002	0.054	0.053	0.082

จ.7 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.19 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.617	0.189	0.428	1.233
2	0.653	0.246	0.407	1.181
3	0.573	0.083	0.490	1.339
ค่าเฉลี่ย	0.614	0.173	0.442	1.251
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.040	0.083	0.043	0.081

ตารางที่ จ.20 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.606	-0.035	0.641	1.648
2	0.544	-0.008	0.552	1.770
3	0.556	0.124	0.432	1.531
ค่าเฉลี่ย	0.569	0.027	0.542	1.650
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.033	0.085	0.105	0.120

ตารางที่ จ.21 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.646	-0.021	0.667	1.499
2	0.674	0.198	0.476	1.639
3	0.589	-0.101	0.690	1.657
ค่าเฉลี่ย	0.636	0.025	0.611	1.598
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.043	0.155	0.117	0.086

จ.8 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.22 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.447	-0.014	0.461	1.293
2	0.415	0.016	0.399	1.155
3	0.407	-0.019	0.426	1.256
ค่าเฉลี่ย	0.423	-0.006	0.429	1.235
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.021	0.019	0.031	0.071

ตารางที่ จ.23 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.427	-0.020	0.447	1.639
2	0.413	-0.029	0.442	1.627
3	0.441	-0.026	0.467	1.608
ค่าเฉลี่ย	0.427	-0.025	0.452	1.625
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.014	0.005	0.013	0.016

ตารางที่ จ.24 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาร์ไรเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.393	0.003	0.390	1.491
2	0.377	-0.045	0.422	1.373
3	0.413	-0.129	0.542	1.762
ค่าเฉลี่ย	0.394	-0.057	0.451	1.542
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.018	0.067	0.080	0.199

จ.9 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.25 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.261	-0.042	0.303	1.083
2	0.319	-0.039	0.358	1.138
3	0.302	-0.042	0.344	1.157
ค่าเฉลี่ย	0.292	-0.041	0.335	1.126
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.027	0.002	0.029	0.038

ตารางที่ จ.26 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.358	-0.038	0.396	1.580
2	0.367	-0.051	0.418	1.524
3	0.342	-0.105	0.447	1.689
ค่าเฉลี่ย	0.356	-0.065	0.420	1.598
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.013	0.036	0.026	0.084

ตารางที่ จ.27 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.365	-0.065	0.430	1.618
2	0.350	-0.076	0.426	1.556
3	0.411	-0.074	0.485	1.434
ค่าเฉลี่ย	0.375	-0.072	0.447	1.536
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.032	0.006	0.033	0.094

จ.10 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.28 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.184	-0.045	0.229	0.690
2	0.193	-0.019	0.212	0.605
3	0.158	-0.080	0.238	0.663
ค่าเฉลี่ย	0.178	-0.048	0.226	0.653
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.018	0.031	0.013	0.043

ตารางที่ จ.29 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.318	-0.058	0.376	1.692
2	0.331	-0.067	0.398	1.534
3	0.301	-0.068	0.369	1.317
ค่าเฉลี่ย	0.317	-0.064	0.381	1.514
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.015	0.006	0.015	0.188

ตารางที่ จ.30 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.330	-0.083	0.413	1.616
2	0.301	-0.085	0.386	1.271
3	0.278	-0.095	0.373	1.535
ค่าเฉลี่ย	0.303	-0.088	0.391	1.474
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.026	0.006	0.020	0.180

จ.11 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.31 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.204	1.146	0.058	0.318
2	1.215	1.166	0.049	0.097
3	1.209	1.151	0.058	0.158
ค่าเฉลี่ย	1.209	1.154	0.055	0.191
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.010	0.005	0.114

ตารางที่ จ.32 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.178	1.126	0.052	0.336
2	1.192	1.080	0.112	0.647
3	1.184	1.102	0.082	0.205
ค่าเฉลี่ย	1.185	1.103	0.082	0.396
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.007	0.023	0.030	0.227

ตารางที่ จ.33 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	1.092	1.013	0.079	0.789
2	1.082	0.999	0.083	0.251
3	1.101	1.026	0.075	0.124
ค่าเฉลี่ย	1.092	1.013	0.079	0.388
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.010	0.014	0.004	0.353

จ.12 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.34 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.674	0.223	0.451	1.088
2	0.657	0.294	0.363	1.032
3	0.764	0.246	0.518	1.153
ค่าเฉลี่ย	0.698	0.254	0.444	1.091
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.058	0.036	0.078	0.061

ตารางที่ จ.35 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.698	0.195	0.503	1.282
2	0.800	0.268	0.532	1.309
3	0.848	0.282	0.566	1.307
ค่าเฉลี่ย	0.782	0.248	0.534	1.299
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.077	0.047	0.032	0.150

ตารางที่ จ.36 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.829	0.242	0.587	1.453
2	0.919	0.184	0.735	1.659
3	0.751	0.274	0.477	1.365
ค่าเฉลี่ย	0.833	0.233	0.600	1.492
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.084	0.046	0.130	0.151

จ.13 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.37 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.397	0.128	0.269	0.832
2	0.392	0.096	0.296	0.818
3	0.408	0.117	0.291	0.887
ค่าเฉลี่ย	0.399	0.114	0.285	0.846
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.008	0.016	0.014	0.036

ตารางที่ จ.38 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.468	0.013	0.455	1.224
2	0.455	0.039	0.416	1.374
3	0.422	0.052	0.370	1.174
ค่าเฉลี่ย	0.448	0.035	0.414	1.257
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.024	0.020	0.043	0.104

ตารางที่ จ.39 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.475	-0.043	0.518	1.287
2	0.474	0.081	0.393	1.175
3	0.503	0.084	0.419	1.332
ค่าเฉลี่ย	0.484	0.040	0.443	1.265
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.016	0.072	0.066	0.081

จ.14 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.40 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.301	0.056	0.245	0.697
2	0.314	0.082	0.232	0.709
3	0.345	0.038	0.307	0.871
ค่าเฉลี่ย	0.320	0.059	0.261	0.759
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.023	0.022	0.040	0.097

ตารางที่ จ.41 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.401	0.011	0.390	1.237
2	0.386	0.019	0.367	1.144
3	0.316	0.020	0.296	1.260
ค่าเฉลี่ย	0.368	0.017	0.351	1.214
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.045	0.005	0.049	0.061

ตารางที่ จ.42 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.321	-0.019	0.340	1.153
2	0.319	-0.027	0.346	1.177
3	0.259	-0.024	0.283	1.148
ค่าเฉลี่ย	0.300	-0.023	0.323	1.159
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.035	0.004	0.035	0.016

จ.15 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์
โดยน้ำหนัก

ตารางที่ จ.43 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 4

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.227	-0.023	0.250	0.589
2	0.281	0.037	0.244	0.731
3	0.276	0.013	0.263	0.775
ค่าเฉลี่ย	0.261	0.009	0.252	0.698
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.030	0.030	0.010	0.097

ตารางที่ จ.44 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 7

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.352	0.025	0.327	1.026
2	0.301	-0.018	0.319	1.111
3	0.347	-0.023	0.370	1.293
ค่าเฉลี่ย	0.333	-0.005	0.339	1.143
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.028	0.026	0.027	0.136

ตารางที่ จ.45 ค่า Ep, Epr, Ep-Epr และพื้นที่ฮีสเทอรีซิส จากเส้นโค้งไซคลิกโพลาริเซชัน ที่พีเอช 10

ครั้งที่	Ep (V) vs.Ag/AgCl	Epr (V) vs.Ag/AgCl	Ep-Epr (V) vs.Ag/AgCl	Hysteresis loop (VA)
1	0.390	0.057	0.333	1.059
2	0.355	0.062	0.293	0.914
3	0.364	0.032	0.332	1.160
ค่าเฉลี่ย	0.370	0.050	0.319	1.044
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.018	0.016	0.023	0.124


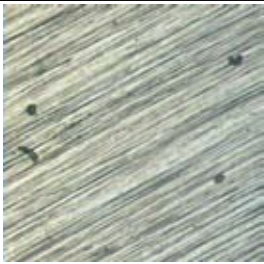
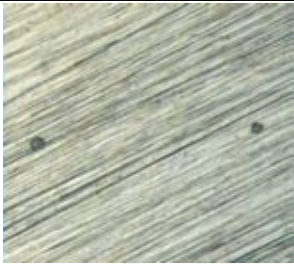
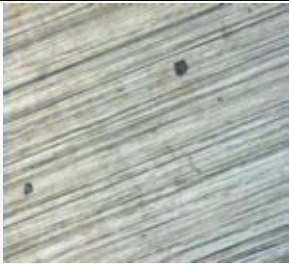


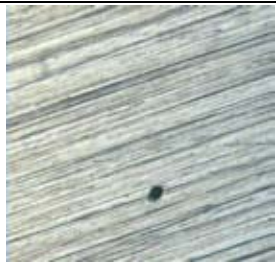
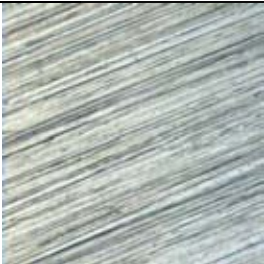
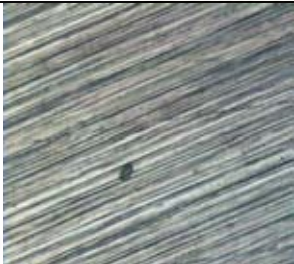

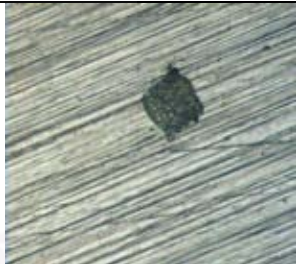

ภาคผนวก จ

วิธีหาความหนาแน่นของจำนวนรูเข็ม (Pit density)



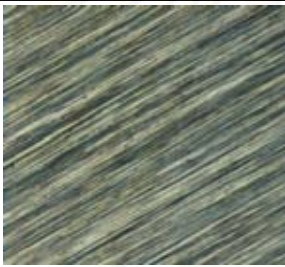
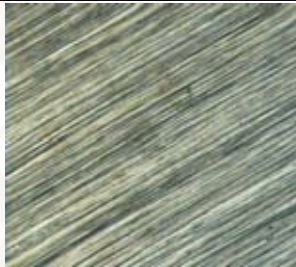



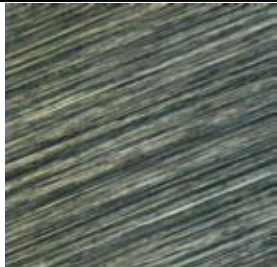

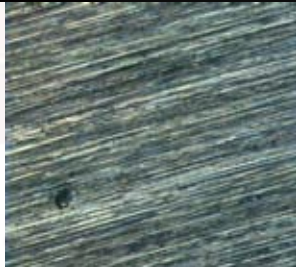

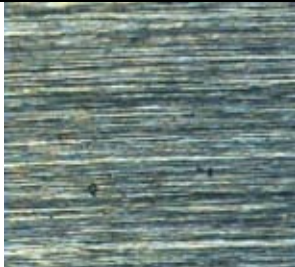
$$\text{Pit density} = \text{pit} / \text{m}^2$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.1 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก


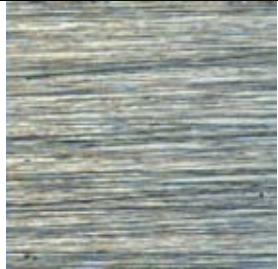

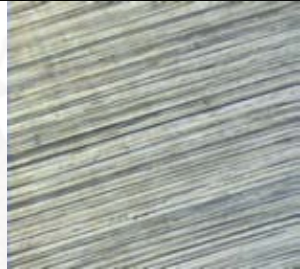

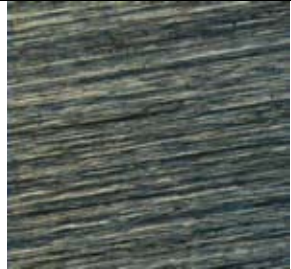


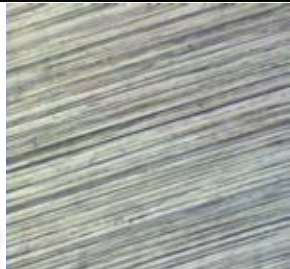



pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

รูปที่ ๑.2 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลัขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

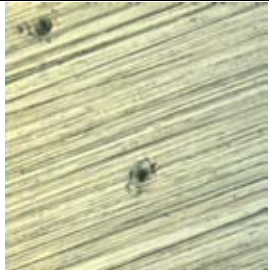

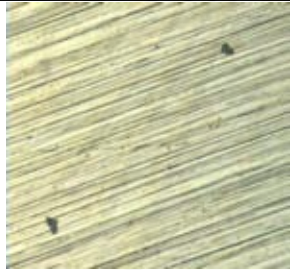




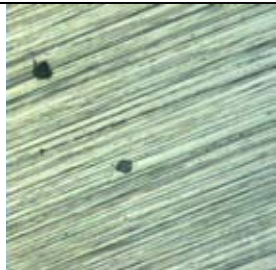
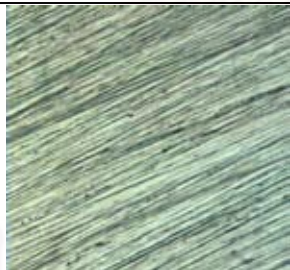
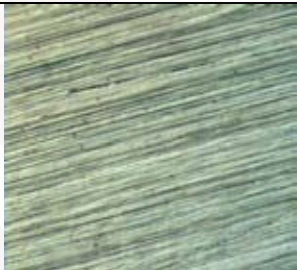

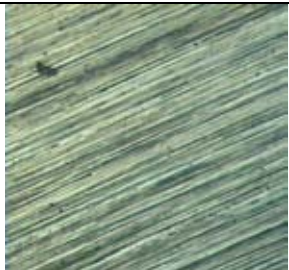
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.3 ผิวนิรของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

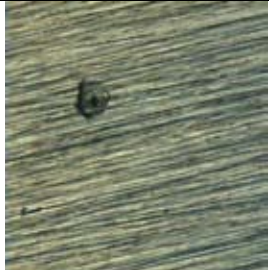






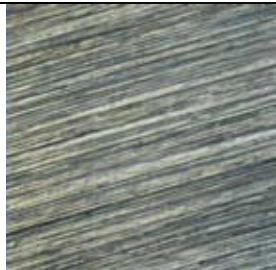
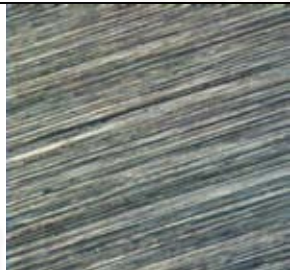
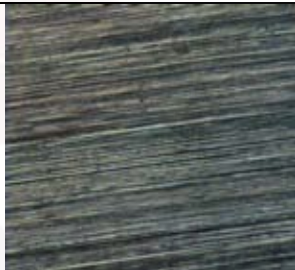

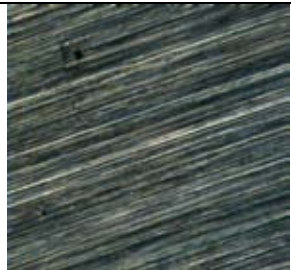
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.4 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำล้งขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						







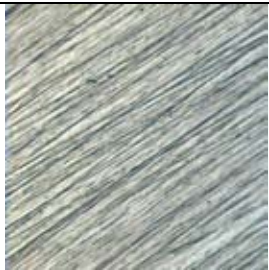
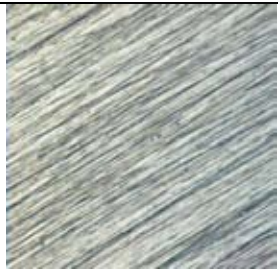
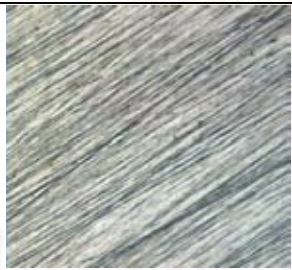
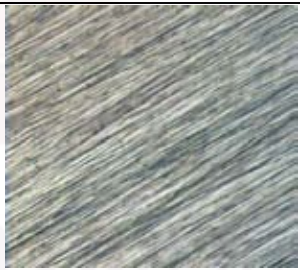


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.5 ผิวนิรภัยของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

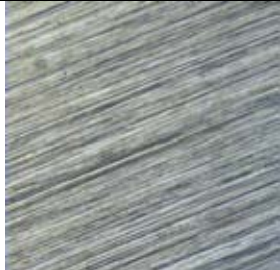




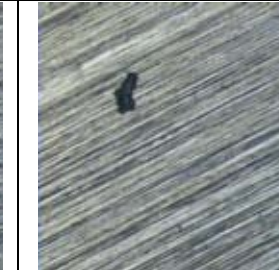
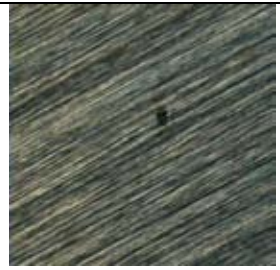
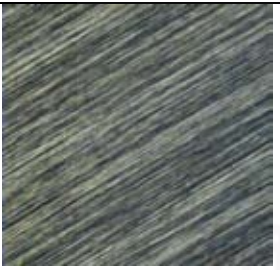
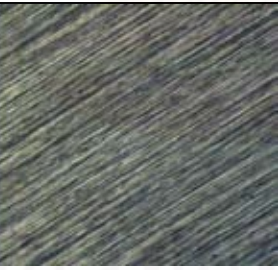
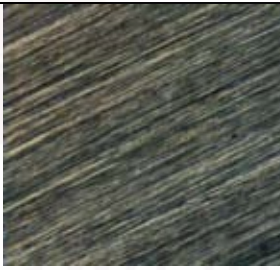
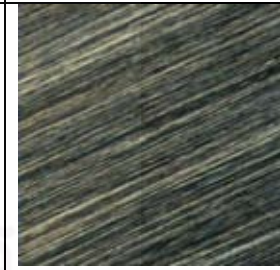
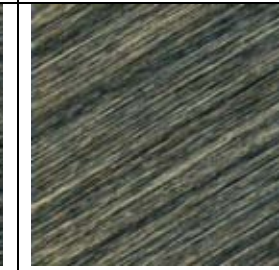
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.6 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลัขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

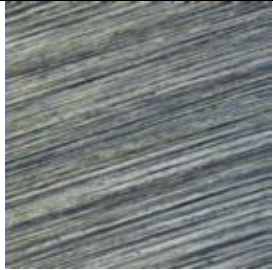
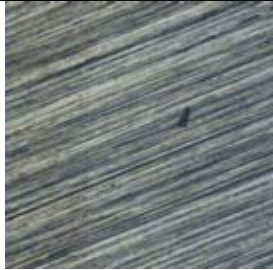
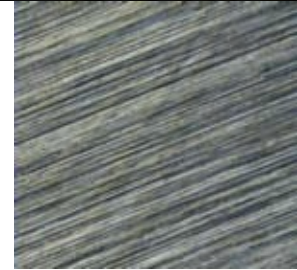
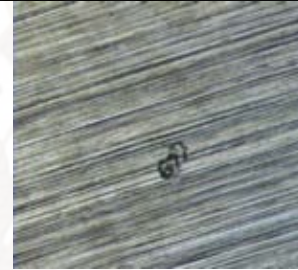
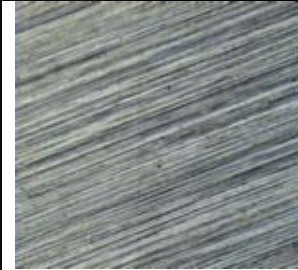
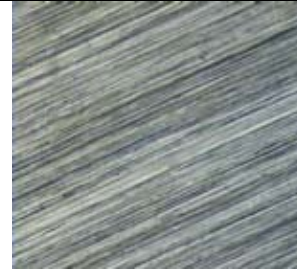


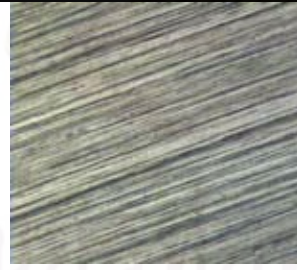
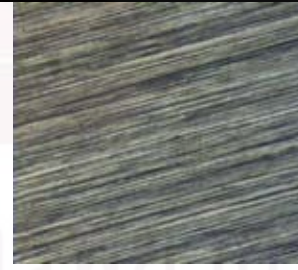

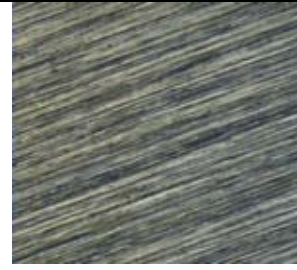
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.7 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

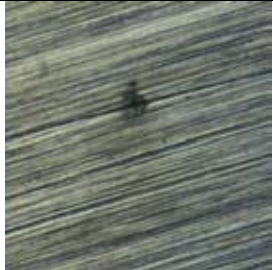
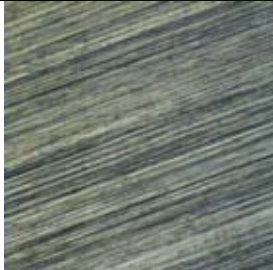
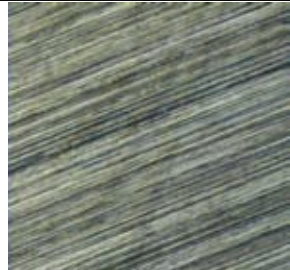



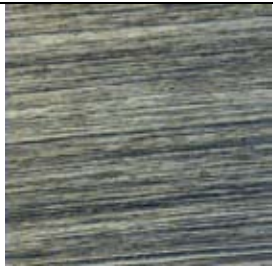
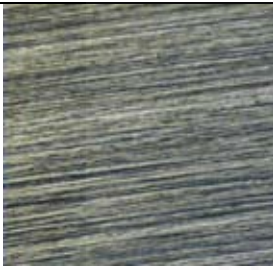
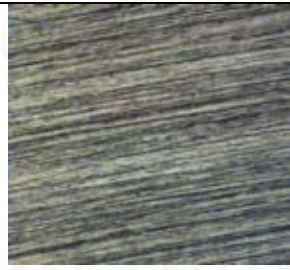
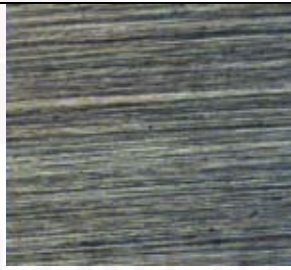
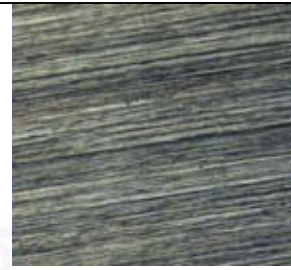
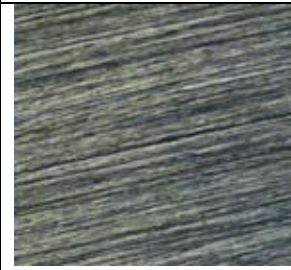
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.8 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

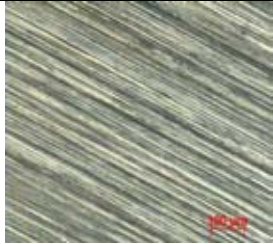

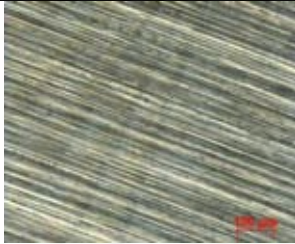
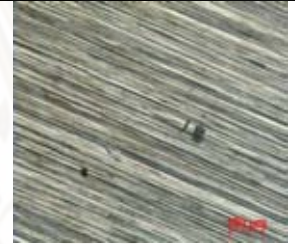



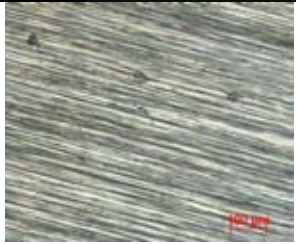

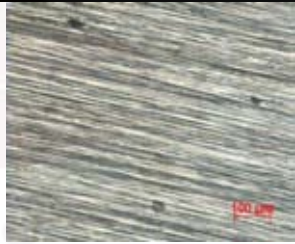


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.9 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 1.0 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

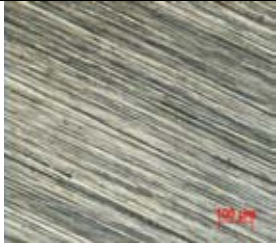






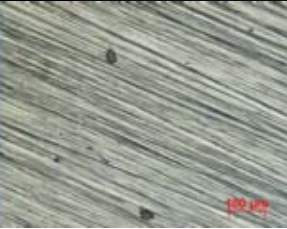




จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.10 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						




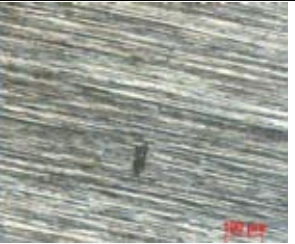
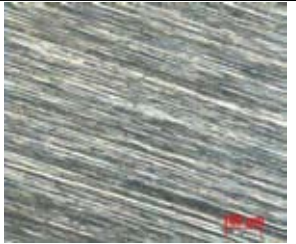







ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.11 ผิวนิรของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						


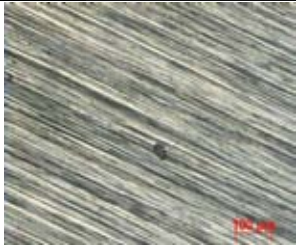
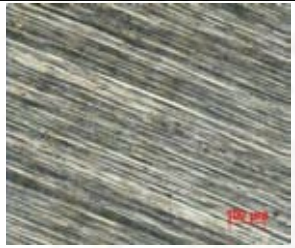

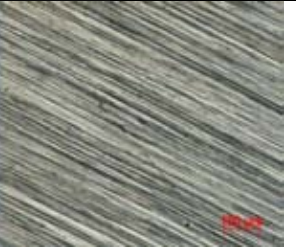
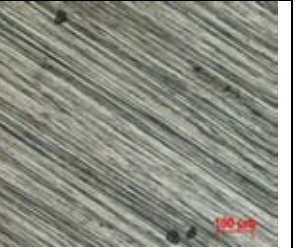

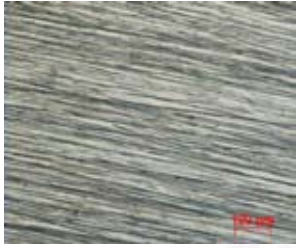




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.12 ผิวนิรของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

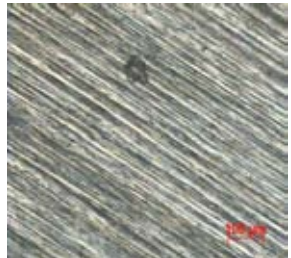
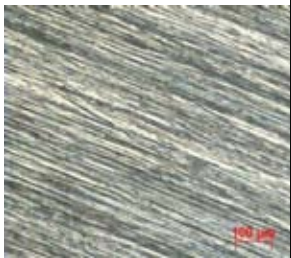
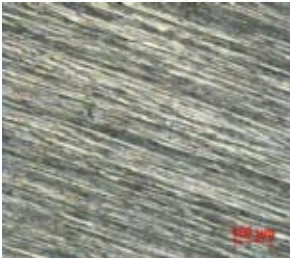
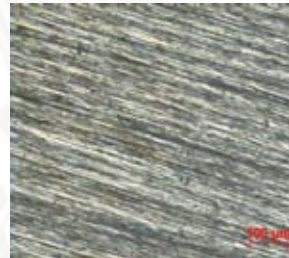
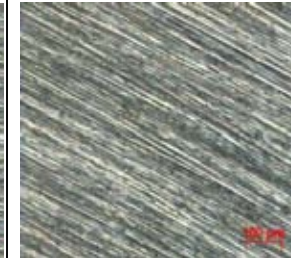
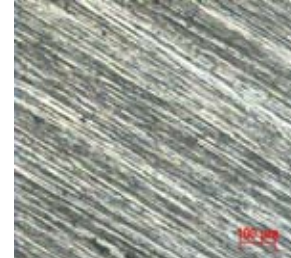


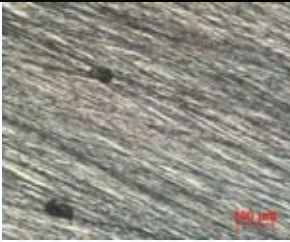

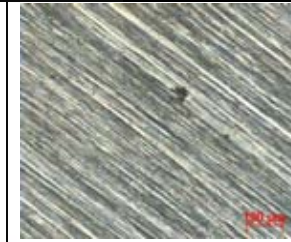

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.13 ผิวนิรของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						



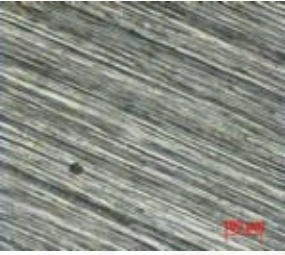

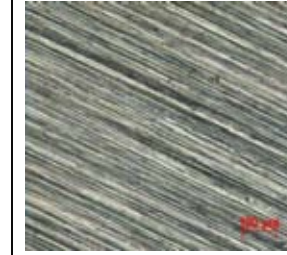
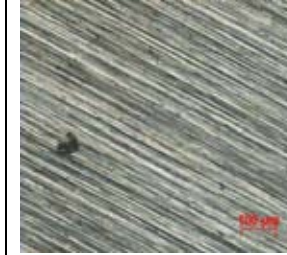
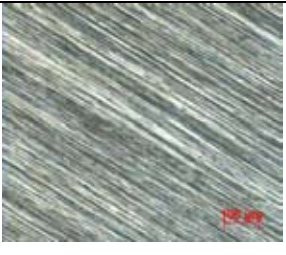



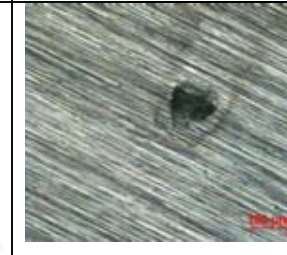
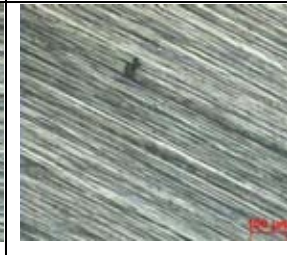
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.14 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

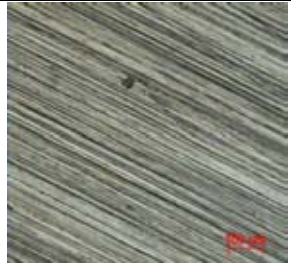
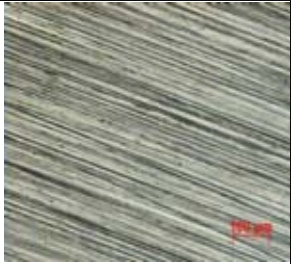
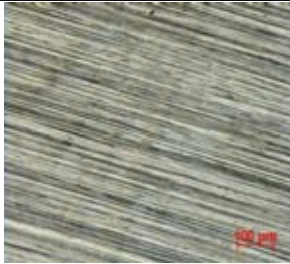
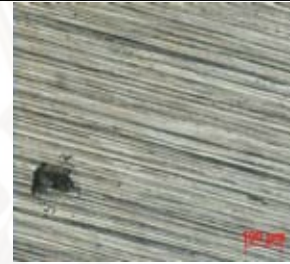


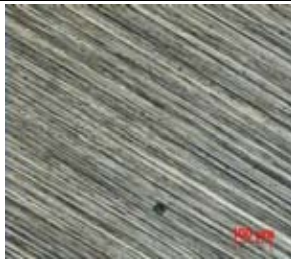
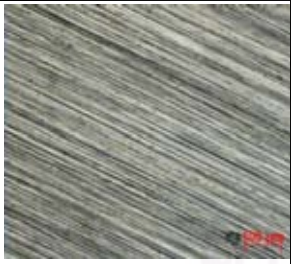
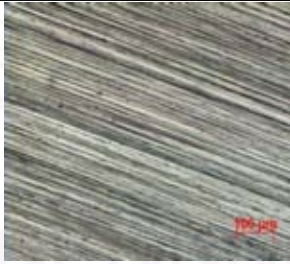
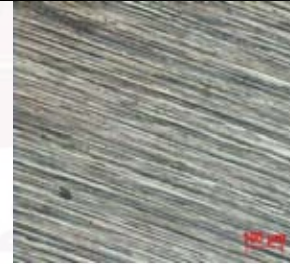
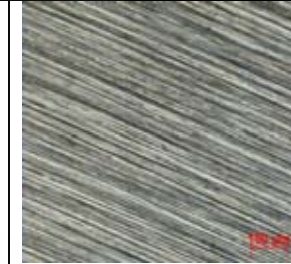
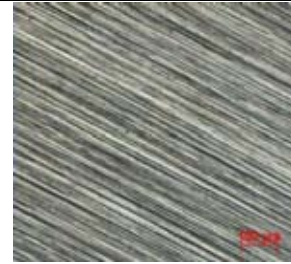
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.15 ผิวของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						


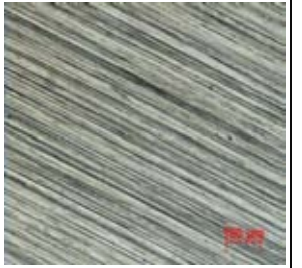
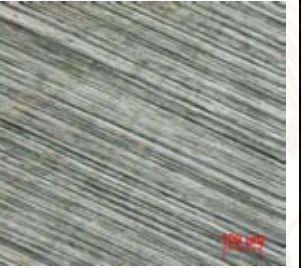
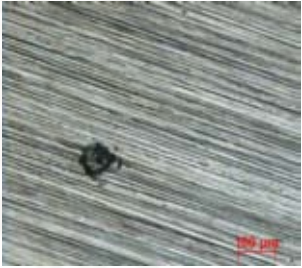
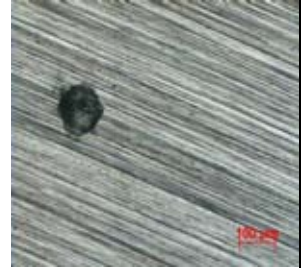






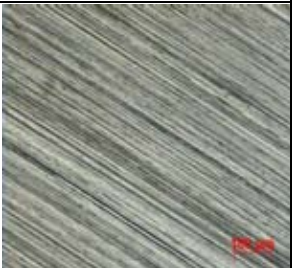
ศูนย์วิจัยทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.16 ผิวนิรของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

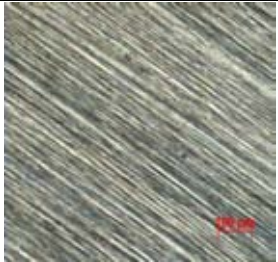




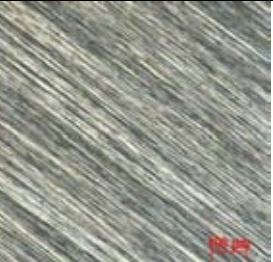






จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.17 ผิวนิรของชิ้นงาน ที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.18 ผิวนิรนาที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำล้งขยาย 50 เท่า ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนั

pH	1	2	3	4	5	6
4						
	7	8	9	10	11	12
						

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายไฮเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

รูปที่	pH 4		pH 7		pH 10	
	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)
1	0	0	0	0	1	4.2×10 ⁴
2	4	1.6×10 ⁵	1	4.2×10 ⁴	0	0
3	2	8.3×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
4	2	8.3×10 ⁴	0	0	0	0
5	0	0	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
6	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
7	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
10	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
11	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
12	0	0	2	8.3×10 ⁴	0	0
	เฉลี่ย	4.12×10 ⁴	เฉลี่ย	2.09×10 ⁴	เฉลี่ย	1.4×10 ⁴

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.2 ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

รูปที่	pH 4		pH 7		pH 10	
	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)
1	2	8.3×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
2	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
3	2	8.3×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
4	0	0	0	0	0	0
5	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
8	2	8.3×10 ⁴	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
	เฉลี่ย	3.13×10 ⁴	เฉลี่ย	1.4×10 ⁴	เฉลี่ย	1.05×10 ⁴

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.3 ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

รูปที่	pH 4		pH 7		pH 10	
	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)
1	0	0	0	0	1	4.2×10 ⁴
2	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
3	2	8.3×10 ⁴	0	0	0	0
4	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
5	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
6	1	4.2×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
7	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
8	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
	เฉลี่ย	1.74×10 ⁴	เฉลี่ย	1.05×10 ⁴	เฉลี่ย	0.7×10 ⁴

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.4 ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 409L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

รูปที่	pH 4		pH 7		pH 10	
	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)
1	0	0	0	0	0	0
2	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
3	0	0	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
4	2	8.3×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
5	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	0	0
6	1	4.2×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
7	1	4.2×10 ⁴	2	8.3×10 ⁴	0	0
8	3	1.3×10 ⁵	2	8.3×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
9	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
10	3	1.3×10 ⁵	0	0	0	0
11	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	0	0
12	1	4.2×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
	เฉลี่ย	5.31×10 ⁴	เฉลี่ย	2.78×10 ⁴	เฉลี่ย	2.10×10 ⁴

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.5 ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 439L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

รูปที่	pH 4		pH 7		pH 10	
	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)
1	4	1.6×10 ⁵	1	4.2×10 ⁴	0	0
2	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	4.2×10 ⁴
4	1	4.2×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
5	0	0	0	0	0	0
6	3	1.3×10 ⁵	0	0	1	4.2×10 ⁴
7	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	2	8.3×10 ⁴	0	0
10	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
11	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
12	0	0	0	0	1	4.2×10 ⁴
	เฉลี่ย	2.82×10 ⁴	เฉลี่ย	2.09×10 ⁴	เฉลี่ย	1.75×10 ⁴

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.6 ค่าความหนาแน่นจำนวนรูเข็ม ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 3.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่พีเอช 4, 7 และ 10

รูปที่	pH 4		pH 7		pH 10	
	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)	pit	Pit density (pits/m ²)
1	4	1.6×10 ⁵	1	4.2×10 ⁴	0	0
2	1	4.2×10 ⁴	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	4.2×10 ⁴
4	1	4.2×10 ⁴	0	0	1	4.2×10 ⁴
5	0	0	0	0	0	0
6	3	1.3×10 ⁵	0	0	1	4.2×10 ⁴
7	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	2	8.3×10 ⁴	0	0
10	0	0	1	4.2×10 ⁴	0	0
11	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴	1	4.2×10 ⁴
12	0	0	0	0	1	4.2×10 ⁴
	เฉลี่ย	2.82×10 ⁴	เฉลี่ย	2.09×10 ⁴	เฉลี่ย	1.75×10 ⁴

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวพรรษา ธงภักดี
วัน – เดือน – ปีเกิด	15 ตุลาคม 2524
ที่อยู่	49/1 หมู่ 7 ต.ทุ่งอรุณ อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา 30190
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2547

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย