

ผลของอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนของน้ำทะเลระยอง ต่ออัตราการกักคาร์บอนแบบในซอก
ของแหล่งกล้าไร้นิม เกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033



นายจตุตถิชย์ จายนียโยธิน

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-9741-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF TEMPERATURE AND OXYGEN CONTENT OF RAYONG PROVINCE SEA WATER
ON CREVICE CORROSION RATE OF UNS N 08031 AND UNS R 20033 STAINLESS STEELS



Mr. Juladit Chayaniyodhin

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

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-9741-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนของน้ำทะเลระยะของ ต่ออัตราการ กัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และ UNS R 20033
โดย	นาย จุลดิษฐ์ งามนิยโยธิน
สาขาวิชา	วิศวกรรมโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศรีเจริญชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاعر จารุพิสิฐธร)

สถาบันวิทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดศึกษา : ภายนี้โยธิน : ผลของอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนของน้ำทะเลระยอง ต่ออัตราการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033. (EFFECTS OF TEMPERATURE AND OXYGEN CONTENT OF RAYONG-PROVINCE SEA WATER ON CREVICE CORROSION RATE OF UNS N 08031 AND UNS R 20033 STAINLESS STEELS) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. กอบบุญ หล่อทองคำ, 63 หน้า. ISBN 974-17-9741-9.

การกัดกร่อนภายในซอก เป็นการกัดกร่อนแบบเฉพาะที่ชนิดหนึ่งที่เกิดจากความเสียหายให้แก่ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม โดยเฉพาะกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดที่ได้รับความนิยม เช่น AISI 304 , AISI 304L, AISI 316 และ AISI 316L ไม่สามารถทนทานต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มี

คลอไรด์อยู่ได้ จึงได้มีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดที่ทนทานกว่ามาใช้ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ หรือเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผสม ธาตุโครเมียมและนิกเกิลสูงมากขึ้น ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 นี้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผู้ผลิตเสนอว่าสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบในซอกได้ดี งานวิจัยนี้ศึกษาการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดกับสภาวะใช้งานจริง คือน้ำทะเลของอ่าวไทยที่จังหวัดระยองโดยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี

ทั้งนี้ จากงานวิจัยพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และ UNS R20033 นี้แสดงความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบในซอกได้ดีเยี่ยม แม้สภาวะแวดล้อมของธรรมชาติมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลาย และอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้น ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดนี้เป็นอีกทางเลือกของวัสดุที่สามารถนำไปใช้งานทางด้านเกี่ยวกับทะเล

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545.....

4270257821 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD: CREVICE CORROSION / RAYONG SEA WATER / ALLOY 31 / ALLOY 33

JULADIT CHAYANIYAYODHIN : EFFECTS OF TEMPERATURE AND OXYGEN
CONTENT OF RAYONG-PROVINCE SEA WATER ON CREVICE CORROSION RATE OF
UNS N08031 AND UNS R20033 STAINLESS STEELS.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. Dr.-Ing. GOBBOON LOTHONGKUM,Dr.-Ing., 63 pp.
ISBN 974-17-9741-9.

The crevice corrosion is a type of corrosion which is able to destroy parts made from the stainless steel specifically the utilized popular grades namely AISI 304, AISI 304L, AISI 316 and AISI 316L. These mentioned stainless steels cannot endure in the chloride-containing environment. As a result, the more endurable grade of stainless steel has been utilized for example duplex stainless steel or high chromium and high nickel stainless steel. The two grades of stainless steel, UNS N 08031 and UNS R 20033, are the ones that the manufacturers present that they are capable to well resist the crevice corrosion. This research studies the crevice corrosion of the above-cited two grades of stainless steel in the real practice in the Gulf of Thailand sea at Rayong Province by electrochemical technique.

Due to the research study, it is found that UNS N08031 and UNS R20033 show their great resistance towards the crevice corrosion even in the more tougher natural environment such as more oxygen content and higher temperature. It is evident that those two grades of stainless steel can be another alternative of selecting materials for marine applications.

Department.Metallurgical Engineering..... Student's signature.....

Field of study.Metallurgical Engineering.. Advisor's signature.....

Academic year2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยด้วยดีมาตลอด ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ ศรีเจริญชัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิสิฐธร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณบริษัท ทิสเซนกรุ๊ป (Thyssen krupp) ที่ให้ความอนุเคราะห์เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการ รวมถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.2 ขอบเขตการศึกษา	2
1.3 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น.....	3
2.1 นิยามและกลไกการกัดกร่อนภายในซอก (crevice corrosion).....	3
2.2 สมบัติของน้ำทะเล.....	4
2.3 เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031 และ เกรด UNS R 20033	7
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง.....	11
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	11
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	11
3.1.2 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.1.3 น้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.2 วิธีการทดลอง.....	15
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	18
4.1 การหาเวลาที่ให้ออกซิเจนจากอากาศอิ่มตัวในสารละลายน้ำทะเลระเหยที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 อัตราการกักกร่อนภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 ในน้ำทะเลจากจังหวัดระยองในสภาวะต่างๆ.....	20
4.3 อัตราการกักกร่อนภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 ในน้ำทะเลจากจังหวัดระยองในสภาวะต่างๆ.....	23
4.4 อัตราการกักกร่อนภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาวะการทดลองที่รุนแรงขึ้น	26
4.5 การเปรียบเทียบอัตราการกักกร่อนภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 กับสภาพการทดลองที่ต่างกัน	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	30
รายการอ้างอิง	31
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองการวัดกระแสการกักกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลา ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 ในสภาวะแวดล้อมการทดลองต่างๆ.....	33
ภาคผนวก ข. ผลการทดลองการวัดกระแสการกักกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลา ของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 ในสภาวะแวดล้อมการทดลองต่างๆ.....	46
ภาคผนวก ค. ตารางค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะ.....	59
ภาคผนวก ง. ตารางค่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก.....	61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	63

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031..	7
2.2 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031.....	8
2.3 ค่าอุณหภูมิวิกฤตการกัดกร่อนแบบรูเข็มและการกัดกร่อนภายในซอก ตามมาตรฐาน ASTM G 48.....	9
2.4 ค่าอุณหภูมิวิกฤตของการกัดกร่อนภายในซอก และแบบรูเข็ม โดยวิธี โพเทนชิโอสแตติกที่ 0.3 โวลต์.....	10
4.1 การหาเวลาให้ออกซิเจนจากอากาศอิมมิดัวในสารละลายน้ำทะเล	18
4.2 อัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031 เทียบกับระยะเวลาการอบชุบความร้อน	21
4.3 อัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS R 20033 เทียบกับระยะเวลาการอบชุบความร้อน	24
4.4 อัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงขึ้น.....	26
4.5 การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน.....	29

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 กลไกการขยายตัวของการกักกร่อนภายในซอก.....	4
2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ตามความลึกของน้ำทะเล.....	6
3.1 แผนภูมิการต่อเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	12
3.2 เครื่องโพเทนชิโอสแตท.....	12
3.3 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.4 ลักษณะเซลล์ไฟฟ้าการกักกร่อน.....	13
3.5 ลักษณะตัวยึดเทพลอน	14
3.6 ภาพการประกอบเซลล์ที่ใช้ในการทดลองกับภาชนะบรรจุน้ำทะเล.....	14
3.7 ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง.....	17
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทะเล กับเวลาที่ใช้เป่าอากาศ	19
4.2 อัตราการกักกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031...	22
4.3 อัตราการกักกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 ...	25
4.4 อัตราการกักกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงขึ้น	27
4.5 สารประกอบคาร์ไบด์ที่เกิดในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 เมื่ออบชุบความร้อน	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของงานวิจัย

การกัดกร่อนภายในซอก (crevice corrosion) เป็นการกัดกร่อนแบบเฉพาะที่ชนิดหนึ่งที่เกิดจากความเสียหายแก่เหล็กกล้าไร้สนิม สาเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากสารละลายภายในซอกของโลหะไม่เกิดการถ่ายเทกับสารละลายภายนอกซอก ตัวอย่างซอกมุมที่เกิดการกัดกร่อนชนิดนี้ได้แก่ รอยต่อของโลหะกับโลหะ รอยต่อของโลหะกับอโลหะ เช่น หน้าสัมผัสของโลหะกับแหวนรองหรือปะเก็น ซอกระหว่างผิวโลหะกับผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน ช่องสลักเกลียว และความเรียบของผิวหน้าสัมผัสที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนเช่นกัน

เหล็กกล้าไร้สนิมในเกรดที่ได้รับความนิยมใช้ เช่น AISI 304, AISI 304L, AISI 316 และ AISI 316L ไม่สามารถทนทานต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์อยู่ได้ จึงได้มีการนำเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดที่ทนทานกว่ามาใช้งาน เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรดที่ผสม ธาตุโครเมียม นิกเกิล สูงมากขึ้น โลหะผสมพิเศษ UNS N08031 (alloy 31) และ UNS R20033 (alloy 33) ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดหนึ่งของผู้ผลิต คือ บริษัท กรู๊ป วิตเอ็ม (Krupp VDM) จำกัด ได้เสนอว่าโลหะผสมนี้มีความต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อนในซอกได้ดี (1,2) แต่จากการศึกษาของ H. Hoffmeister และ G. Lothongkum (3) พบว่าคำกล่าวนี้อาจเป็นปัญหาที่ยังมีการถกเถียงกันอยู่ เพราะมีบางสภาวะที่เหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดนี้เกิดการกัดกร่อนภายในซอก การศึกษานี้เป็นการทดลองการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดกับสภาวะการใช้งานจริง คือ น้ำทะเลของอ่าวไทยที่จังหวัดระยอง

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของ อุณหภูมิ และปริมาณอากาศที่ละลายของน้ำทะเลที่จังหวัดระยอง ต่อการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และเกรด UNS R20033

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

วัตถุประสงค์การศึกษาคัดกรองแบบภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และเกรด UNS R20033 ที่ไม่ผ่านและผ่านการอบชุบความร้อนอุณหภูมิ 675°C เวลา 5, 15, 60, 180 และ 840 นาที ในสารละลายที่เป็นน้ำทะเลจากจังหวัดระยอง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และปริมาณอากาศที่ละลายอยู่ โดยใช้วิธีวัดกระแสการกัดกร่อนในระยะเวลา 24 ชั่วโมง และให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่างแอโนดและแคโทด คงที่ที่ 0 โวลต์ ตามสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

- 1) อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส
- 2) การละลายของอากาศตามธรรมชาติ และการละลายของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบอัตราการกัดกร่อนภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และ UNS R20033 ที่ไม่ผ่านและผ่านการอบชุบความร้อนอุณหภูมิ 675°C เวลา 5, 15, 60, 180 และ 840 นาที ในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำทะเลจริง

1.4.2 สามารถทำนายพฤติกรรมการกัดกร่อนภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และ UNS R20033 ในสภาพน้ำทะเลจริงได้

1.4.3 ความรู้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนภายในชอกในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำทะเลจริงของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่น ๆ ได้

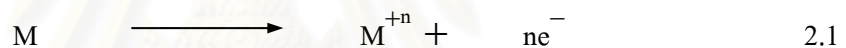
บทที่ 2

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

2.1 นิยามและกลไกการกัดกร่อนภายในซอก (crevice corrosion)

การกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วไปมักเกิดตามจุดที่เป็นรอยต่อของวัสดุ และบริเวณที่จะเกิดการกัดกร่อน ต้องมีความกว้างรอยต่อของจุดสัมผัสมากพอให้สารละลายจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปสัมผัส แต่ต้องแคบพอที่จะทำให้สารละลายนั้นอยู่นิ่งไม่มีการถ่ายเทสู่ภายนอก (4) โดยกลไกของการเกิดการกัดกร่อนภายในซอกมีดังนี้

1. เริ่มจากมีช่องว่างขนาดเล็กให้สารละลายที่มีคลอไรด์อยู่สามารถซึมเข้าไปได้ และขังอยู่นิ่ง ปฏิกริยา แอโนดิก ในซอกมุมเป็น ดังนี้ (5)



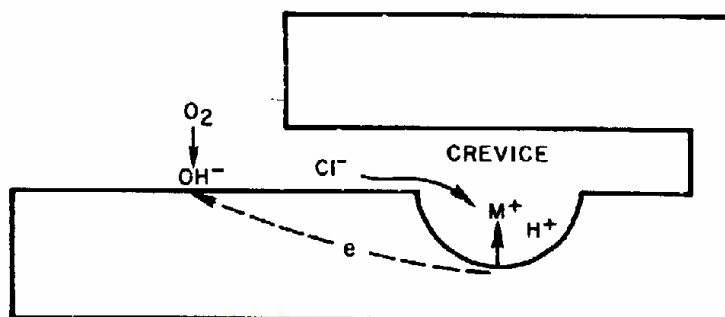
2. ในบริเวณรอบ ๆ จะถูกทำให้เกิดความสมดุล โดยปฏิกริยาแคโทดิก ดังนี้



3. และเมื่อความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ M^{+n} ในสารละลายที่อยู่ในซอกเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จากสารละลายโดยรอบแพร่เข้ามาในซอกเพื่อให้เกิดความสมดุล ทำให้เกิดเกลือคลอไรด์ของโลหะ (M^+Cl^-) ซึ่งจะถูกทำให้แตกตัวโดยน้ำ กลายเป็นโลหะไฮดรอกไซด์และกรดอิสระ ดังสมการ



4. กรดอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้สภาวะการกัดกร่อนภายในซอกมีค่าพีเอชลดลงเหลือประมาณ 2 และเกิดการขยายตัวของสารกัดกร่อนต่อไป กลไกการขยายตัวของสารกัดกร่อนภายในซอกแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กลไกการขยายตัวของการกัดกร่อนภายในซอก (6)

ความเสียหายที่เกิดกับชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมจากการกัดกร่อนภายในซอกนี้มีมูลค่าความสูญเสียเป็นอันดับที่สี่ ในวงการอุตสาหกรรม รองจาก การกัดกร่อนแบบทั่วไป (general corrosion) แบบรูเข็มหรือหลุม (pitting corrosion) และการกัดกร่อนแบบเหนียวนำด้วยความเค้น (stress corrosion cracking) ตามลำดับ (5) และจากมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทนต่อการเกิดการกัดกร่อนภายในซอกของโลหะที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้แก่ มาตรฐาน ASTM G 48 ก็ไม่ได้บอกถึงลักษณะพฤติกรรมของการกัดกร่อนแบบในซอก และการทดลองที่ผ่านมาจะมีแต่การทดสอบความสามารถในการทนคลอไรด์ของเหล็กกล้าไร้สนิมเท่านั้น การศึกษาในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำทะเลจริงมีไม่มาก ซึ่งมีตัวแปรอื่นอีก เช่น จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ ค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ ปริมาณอากาศที่ละลายอยู่ โดยตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะทั้งสิ้น เพื่อที่จะเข้าใจปัญหาที่เกิดจากสภาวะการใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องศึกษาผลของข้อจำกัดเหล่านี้ต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะ โดยเฉพาะเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และ UNS R20033

2.2 สมบัติของน้ำทะเล

การใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำทะเล มีอยู่อย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เช่น ในด้านการส่งสินค้าทางเรือ การผลิตน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โรงไฟฟ้า และโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ชายฝั่งทะเล การใช้งานส่วนใหญ่มักใช้น้ำทะเลในระบบการระบายความร้อนให้เครื่องจักรหรือในบางกรณีใช้ในการดับเพลิง ถึงแม้จะมีการใช้งานอยู่มากแต่ข้อมูลต่าง ๆ ในด้านพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมในน้ำทะเลยังมีอยู่น้อย (7) ทำให้มีการ

เลือกวัสดุที่ใช้ไม่เหมาะสม จึงเกิดการวิบัติกับชิ้นส่วนที่ใช้งานสัมผัสกับน้ำทะเลอยู่เสมอ

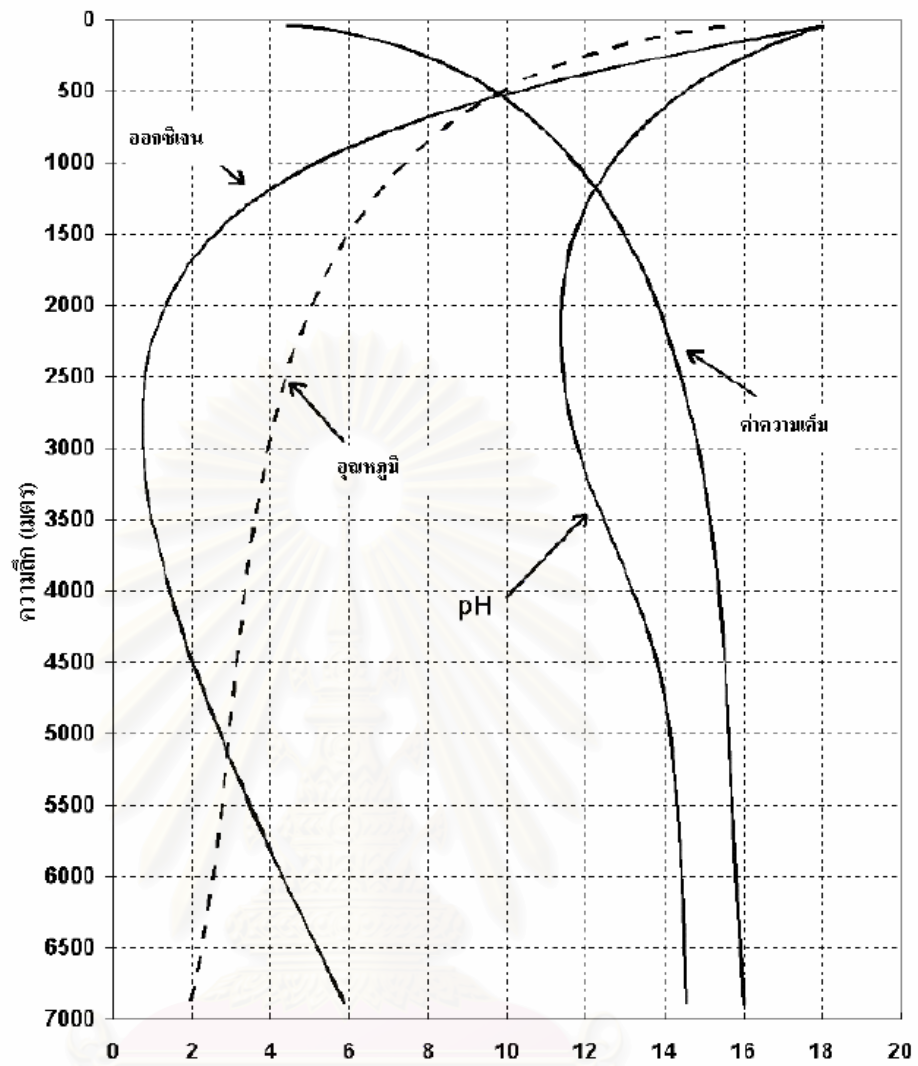
สมบัติหลักของน้ำทะเลมีดังนี้ (8)

- มีความเข้มข้นของเกลือแร่สูง โดยเฉพาะ โซเดียมคลอไรด์
- มีค่าการนำไฟฟ้าสูง
- มีค่าพีเอชค่อนข้างสูงและคงที่
- มีความสามารถในการเป็น บัฟเฟอร์ (buffer)
- มีสารอินทรีย์ละลายอยู่มาก
- มีความสามารถในการละลายของก๊าซต่าง ๆ เช่น ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการกัดกร่อน
- มีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่มาก เช่น จุลินทรีย์ แพลงตอน และสาหร่าย เป็นต้น

การกัดกร่อนอาจได้รับอิทธิพลจากการมีอยู่และกิจกรรมของจุลินทรีย์ และหรือผลจากการเผาผลาญของเซลล์สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ (metabolite) รวมทั้ง เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (7)

- ผลต่อ Cathodic depolarization ถูกเร่งโดยกิจกรรมทางชีวภาพ
- การเกาะตัวของสิ่งมีชีวิตที่ผิว ก่อให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่ผิว ทำให้มีการเหนี่ยวนำให้เกิดการกัดกร่อนได้ (concentration cell)
- เกิดการเร่งการกัดกร่อน เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์ที่ออกจากสิ่งมีชีวิตที่เกาะบริเวณผิว มักมีสภาพเป็นกรด โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตจะให้ผลิตภัณฑ์จากการเผาผลาญเป็นสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง ส่วนจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตจะผลิต กรดแอมโมเนียออกมา เป็นต้น

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของน้ำทะเลจะเปลี่ยนค่าไปตามระดับความลึกแสดงได้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าที่ระดับความลึกต่าง ๆ จะเกิดการกัดกร่อนของโลหะต่างกัน



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าต่าง ๆ ของน้ำทะเลเทียบกับความลึก (9)

อุณหภูมิ : $\text{สเกล} \times 1$ องศาเซลเซียส

ออกซิเจน : $\text{สเกล} \times 0.333$ (ppm)

พีเอช : $6.4 + \text{สเกล} \times 0.1$ (pH unit)

ค่าความเค็ม : $33 + \text{สเกล} \times 0.1$ (ppt)

2.3 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033

2.3.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 ตามมาตรฐาน ASTM มีชื่อทางการค้าว่า Nicrofer 3127 hMo หรือ alloy 31 (1) มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 (alloy 31) (1)

ธาตุ %	Ni	Cr	Fe	Mo	C	Mn	Si	Cu	N	P	S
ต่ำสุด	30.0	26.0	bal.	6.0				1.0	0.15		
สูงสุด	32.0	28.0	bal.	7.0	0.015	2.0	0.3	1.4	0.25	0.02	0.01

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 มีข้อได้เปรียบในการใช้งานเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่น ๆ เพราะมีธาตุโครเมียมและโมลิบดีนัมสูง ทำให้มีสมบัติที่ดีสามารถนำไปใช้งานในสภาวะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกเกรด AISI 304 และ AISI 316 (9) ดังนี้

- มีความทนทานต่อการกัดกร่อนที่เกิดจากสารประกอบเฮไลด์ เช่น คลอไรด์ ได้สูง
- ทนต่อการกัดกร่อนแม้มีความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงได้ดี
- มีพฤติกรรมการกัดกร่อนที่ดีมากเมื่อใช้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำทะเลหรือน้ำกร่อย
- มีความทนทานต่อการกัดกร่อนแบบกัดเซาะสูง
- มีช่วงอุณหภูมิใช้งานที่กว้างตั้งแต่ -196 ถึง 550 องศาเซลเซียส
- มีราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับโลหะผสมนิกเกิล

ตัวอย่างชิ้นส่วนที่นำเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 มาใช้งานได้แก่ ท่อต่าง ๆ ใต้กรองที่ต้องสัมผัสกับของเหลว เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ตัวกลางเป็นน้ำทะเล น้ำกร่อย เป็นต้น

2.3.2 เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R20033 ตามมาตรฐาน ASTM มีชื่อทางการค้าว่า Nicrofer 3033 หรือ alloy 33 (2) มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R20033 (alloy33) (2)

ธาตุ %	Ni	Cr	Fe	Mo	C	Mn	Si	Cu	N	P	S
ต่ำสุด	30.0	31.0	bal.	0.5				0.3	0.35		
สูงสุด	33.0	35.0	bal.	2.0	0.015	2.0	0.5	1.2	0.60	0.02	0.01

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R20033 มีข้อได้เปรียบในการใช้งานเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่น เพราะมีธาตุโครเมียมสูงนอกจากนี้มีการผสมธาตุโมลิบดีนัม ทองแดง และไนโตรเจน เพื่อให้ได้ความต้านทานการกัดกร่อนสูง ทำให้มีสมบัติที่ดีสามารถนำไปใช้งานในสภาวะที่มีการกัดกร่อนที่รุนแรง (10) เช่น

- มีความทนทานต่อการกัดกร่อนที่เกิดจากสารประกอบเฮไลด์ เช่น คลอไรด์ ได้สูง
- ที่อุณหภูมิสูงมีความแข็งแรง (strength) สูง
- ทนต่อกรดและด่างได้ดี และทนต่อการสัมผัสกับน้ำทะเลและก๊าซที่มีความเป็นกรด
- มีช่วงอุณหภูมิใช้งานที่กว้างระหว่าง -196 ถึง 450 องศาเซลเซียส
- มีความยืดหยุ่นทนต่อกระแสน้ำและคลื่นได้ดี

ตัวอย่างชิ้นส่วนที่นำเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R20033 มาใช้งานได้แก่ ท่อต่าง ๆ ในงานขุดเจาะน้ำมัน งานที่สัมผัสกับน้ำทะเล และงานกรัดสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าไร้สนิม (pickling) เช่น กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เข้มข้น 5% โดยมวล แทนการใช้พลาสติกซึ่งมีอายุการใช้งานสั้นกว่า

มีนักวิจัยหลายกลุ่มที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS R20033 นี้ กับสภาพแวดล้อมและการใช้งานต่างกัน ดังนี้

J. Klower และคณะ (10) ได้ทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R20033 กับน้ำทะเลในสภาวะต่าง ๆ พบว่า อัตราการกัดกร่อนแบบทั่วไปมีค่าใกล้เคียงกับการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เกรดพิเศษ (super duplex stainless steels) นอกจากนี้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R20033 มีความแกร่ง (toughness) ที่ดีแม้ผ่านการขึ้นรูปเย็น ทำให้โครงสร้างของสิ่งก่อสร้างและชิ้นส่วนต่าง ๆ มีความปลอดภัยมากขึ้น มีความง่ายในการผลิตท่อแบบเชื่อมตามแนวยาว มีความ

ทนทานต่อการกัดกร่อนบริเวณรอยเชื่อมได้ดี และมีราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมคุณภาพพิเศษ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 กับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรดอื่น ตามมาตรฐาน ASTM G 48 (11) และทดสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนภายในซอก แบบรูเข็มหรือหลุมในน้ำทะเลสังเคราะห์ด้วยวิธีโพเทนชิโอสแตติก (potentiostatic) ที่ 0.3 โวลต์ (SCE) (10) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าอุณหภูมิวิกฤติของการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุมและการกัดกร่อนภายในซอกตามมาตรฐาน ASTM G 48 ของโลหะผสมต่าง ๆ

เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด	อุณหภูมิวิกฤติการกัดกร่อน แบบรูเข็ม (CPT) องศาเซลเซียส	อุณหภูมิวิกฤติการกัดกร่อน ภายในซอก (CCT) องศาเซลเซียส
Alloy		
825	30	33
2205	30	37
2507	60	47
926	70	47
33	85	50
625	77.5	51

จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 (alloy 33) มีสมบัติเทียบเท่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติกเกรดพิเศษ (6% Mo super austenitic stainless steels, alloy 926) และมีสมบัติดีกว่าในการต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุม

นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบภายในซอกและแบบรูเข็มหรือหลุม ในน้ำทะเลสังเคราะห์ ตามมาตรฐาน ASTM-D 1141 (11) ที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ 20, 37 และ 62 กรัมต่อลิตร วัดการเกิดการกัดกร่อนด้วยวิธีโพเทนชิโอสแตติกที่ 0.3 โวลต์ (SCE) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าอุณหภูมิวิกฤติของการกัดกร่อนภายในซอก และแบบรูเข็มหรือหลุม ของ alloy 926 และ alloy 33 โดยวิธีโพเทนชิโอสแตติก ที่ 0.3 โวลต์ (SCE)

ปริมาณคลอไรด์ กรัมต่อลิตร	เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด alloy 926	เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด alloy 33
20	CCT=45	CCT=55
20	CPT>85	CPT>85
37	CPT=85	CPT=85
62	CPT=75	CPT=75

จากการทดลองนี้ พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 (alloy 33) ไม่แสดงร่องรอยของการเกิดการกัดกร่อนภายในซอกที่ปริมาณคลอไรด์ 20 กรัมต่อลิตรจนถึงอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าในเหล็กกล้าไร้สนิม alloy 926 ที่ทนการกัดกร่อนภายในซอกได้เพียง 45 องศาเซลเซียส และมีความสามารถทนต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็มหรือหลุมได้ในระดับเดียวกันกับ alloy 926

นอกจากนี้นักวิจัยที่ได้ทำการค้นคว้าเกี่ยวกับความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม UNS R20033 กับสภาพแวดล้อมที่รุนแรงอื่นอีก ได้แก่

R. McDowski และ Markus O. Speidel (12) ได้ศึกษาเหล็กกล้าไร้สนิม UNS R20033 นี้เทียบกับโลหะผสมชนิดอื่น ในด้านความต้านทานการกัดกร่อนแบบเหนียวนำด้วยความเค้น (stress corrosion cracking) ในแบบจำลองของระบบหล่อเย็นของเตาปฏิกรณ์ ซึ่งวัสดุที่ใช้กับงานโครงสร้างในด้านนิวเคลียร์ทั่วไป ปรากฏร่องรอยของการกัดกร่อนแบบเหนียวนำด้วยความเค้นขึ้นในการใช้งานกับสภาพแวดล้อมดังกล่าว โดยการทดสอบนี้กระทำทดสอบกับโลหะที่ได้มีการทำให้เกิดรอยแตกหักไว้ก่อนแล้ว และวัดผลโดยดูว่าวัสดุที่ทดสอบแต่ละชนิดมีการขยายการกัดกร่อนแบบเหนียวนำด้วยความเค้นของรอยแตกบ้างหรือไม่ หลังจากนั้นนำไปทิ้งไว้ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ได้แก่ ในสารละลายร้อนที่มีคลอไรด์เข้มข้น เตาปฏิกรณ์น้ำที่มีความดันในระบบ และ สารหล่อเย็นของหม้อต้มน้ำด้วยปฏิกรณ์ เป็นเวลานาน ระหว่าง 755 ถึง 4950 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองสรุปได้ว่า

เหล็กกล้าไร้สนิม UNS R 20033 นี้ นอกจากสามารถทนการกัดกร่อนแบบทั่วไปได้ดีแล้ว ยังสามารถทนต่อการกัดกร่อนแบบเหนียวนำด้วยความเค้นได้ดีอีกด้วย และสามารถทำการขึ้นรูปเย็นเพื่อปรับปรุงให้มีความแข็งแรงทางกลสูงได้ง่าย โดยยังคงไว้ซึ่งความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบเหนียวนำด้วยความเค้นเช่นเดิม

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและปริมาณอากาศที่ละลายอยู่ของน้ำทะเลระเหยของ ต่ออัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 และ UNS R20033 ประกอบด้วย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

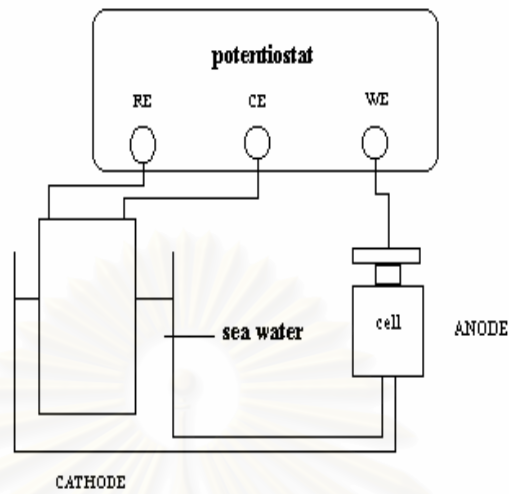
3.1.1.1 เครื่องโพเทนชิโอสแตท

เป็นเครื่องแบบใช้งานได้หลายวัตถุประสงค์ (General Purpose Electrochemical System, GPES) รุ่น PGSTAT 20 ของบริษัท ออโตแลบ จำกัด

3.1.1.2 อิเล็กโทรดที่ใช้

- อิเล็กโทรดอ้างอิง (reference electrode) ใช้โลหะชนิดเดียวกับชิ้นงานทดสอบเป็นอิเล็กโทรดอ้างอิง
- อิเล็กโทรดวัดกระแส (counter electrode) ใช้โลหะชนิดเดียวกับชิ้นงานทดสอบเป็นอิเล็กโทรดวัดกระแส และต่อสายขานานกับอิเล็กโทรดอ้างอิง
- อิเล็กโทรดตัวอย่าง (working electrode) คือชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก

โดยประกอบเครื่องมือตามแผนภูมิวงจรดังรูปที่ 3.1 และแสดงภาพของเครื่องมือในรูปที่ 3.2



RE : reference electrode (same alloy as samples)

CE : counter electrode (same alloy as samples)

WE : working electrode (Samples)

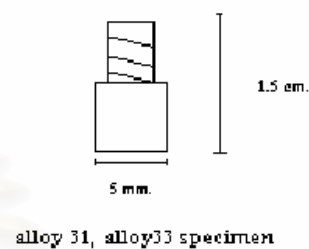
รูปที่ 3.1 แผนภูมิการต่อวงจรของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 เครื่องโพเทนชิโอสแตต ออโตแลป รุ่น PGSTAT20

3.1.2 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2.1 นำชิ้นงานตัวอย่างมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกดังรูปที่ 3.3

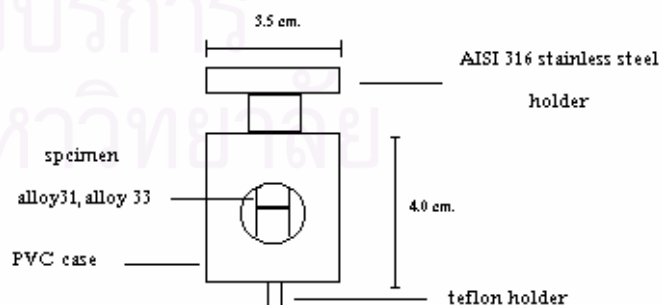


รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

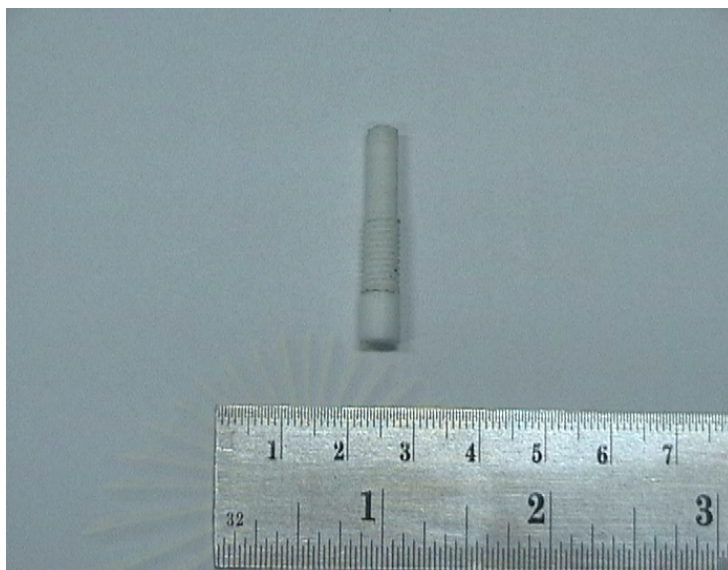
3.1.2.2 อบชุบความร้อน เหล็กกล้าไร้สนิม alloy 31 และ alloy 33 โดยนำชิ้นงานตัวอย่าง มาอบชุบความร้อนเพื่อให้เกิดสารประกอบคาร์ไบด์ ที่อุณหภูมิ 675 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 15, 60, 180 และ 840 นาที ในเตาแบบท่อ (tube furnace) แล้วนำชิ้นงานชุบในน้ำ

3.1.2.3 จัดละเอียดหน้าสัมผัสของชิ้นงานตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400, 600 และ 800 แล้วทำความสะอาดผิวชิ้นงานด้วยแอลกอฮอล์เพื่อขจัดสิ่งสกปรกและไขมัน

3.1.2.4 นำชิ้นงานที่ทำความสะอาดแล้วมา ประกอบเข้ากับเซลล์การกัดกร่อนแบบในชอกดังรูปที่ 3.4 โดยไขชิ้นงานอัดกับตัวยึดเทฟลอน (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.4 ลักษณะเซลล์การกัดกร่อนที่ใช้ในการทดลองและแผนภูมิการประกอบ



รูปที่ 3.5 ลักษณะตัวขีดยึดเทฟลอนที่ใช้ยึดกับชิ้นงาน

3.1.2.5 นำเซลล์ไฟฟ้าการกักกร่อนมาต่อเข้ากับท่อซิลิโคน ยาว 500 มิลลิเมตร เชื่อมกับภาชนะบรรจุน้ำทะเลที่เซอิลเล็กโทรดของขั้วแคโทด เพื่อใช้เป็นสะพานเกลือ โดยบรรจุน้ำทะเลปริมาตร 3000 มิลลิลิตรในภาชนะดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำการไล่อากาศที่ตกค้างในท่อออกให้หมด แล้วขันชิ้นงานอัดกับตัวขีดยึดเทฟลอนให้แน่น



รูปที่ 3.6 ลักษณะเซลล์การกักกร่อนที่ประกอบเข้ากับภาชนะบรรจุน้ำทะเล

3.1.3 น้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง

เป็นน้ำทะเลที่ตักจากหาดน้ำริน ฆาบตาพูด จังหวัดระยอง มีสมบัติโดยประมาณ ดังต่อไปนี้

- ค่าพีเอชมีค่าประมาณ 7.9
- ค่าความเค็มประมาณ 35 ส่วนในพันส่วน (ppt)
- ค่าการละลายของออกซิเจนประมาณ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ประกอบเซลล์ไฟฟ้าตามรูปเพื่อทดสอบอัตราการเกิดการกัดกร่อนในซอก โดยวัดกระแสการกัดกร่อนเทียบกับเวลานาน 24 ชั่วโมง ศักย์ไฟฟ้าระหว่างแคโทดและแอโนดคงที่ที่ 0 โวลต์ โดยอัตราส่วนพื้นที่ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด เป็น 1:1650 ในสภาวะการทดลองเป็น น้ำทะเลจากจังหวัดระยอง มีสภาวะดังนี้

- ที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ โดยที่ 25 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องปรับอากาศควบคุมอุณหภูมิ และ ที่ 50 องศาเซลเซียส ใช้การให้ความร้อนด้วยโคมไฟฮาโลเจน
- ที่ปริมาณการละลายของอากาศในสารละลายในสภาวะปกติตามที่ได้รับตัวอย่าง น้ำทะเลมา และที่การละลายของอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยใช้เครื่องเป่าฟองอากาศในสารละลาย โดยเป่าก่อนการทดลองเป็นเวลา 30 นาที และเป่าไปตลอดการทดลอง

3.2.2 วิเคราะห์ข้อมูล คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนและสร้างความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการอบชุบความร้อน ดังต่อไปนี้

การหาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N08031 และ UNS R20033 ได้จากการนำกราฟกระแสการกัดกร่อนที่วัดได้ใน 24 ชั่วโมง คำนวณดังต่อไปนี้ (4)

- หาพื้นที่ใต้กราฟกระแสการกัดกร่อนทั้งหมด เพื่อให้ได้ ประจุ Q
- ทำการหากระแสการกัดกร่อนเฉลี่ยโดยนำประจุ Q ที่ได้ หารด้วยเวลาทั้งหมดจะได้ กระแสการกัดกร่อนภายในซอกเฉลี่ย (i) ดังสมการที่ 3.1

$$Q = t * i \quad 3.1$$

- เมื่อ
- Q = ประจุ
 - t = เวลาที่ใช้ในการทดลอง (86400 วินาที)
 - i = กระแสการกัดกร่อน

- นำกระแสการกัดกร่อน (i) ที่ได้มาหารด้วยพื้นที่ผิวของชิ้นงาน จะได้ค่าความหนาแน่นกระแส (I_{corr}) หน่วยเป็น ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ดังสมการที่ 3.2

$$i / \text{พื้นที่ผิวชิ้นงาน} = I_{\text{corr}} \quad 3.2$$

- นำค่า ความหนาแน่นกระแส (I_{corr}) ที่ได้มาเข้าสมการที่ 3.3 เพื่อหาอัตราการกัดกร่อนโดย

$$\text{อัตราการกัดกร่อน(มม./ปี)} = (0.00327) * I_{\text{corr}} * MW / n * D \quad 3.3$$

- เมื่อ I_{corr} = ค่าความหนาแน่นกระแส (ไมโครแอมป์/ตารางเซนติเมตร)
 MW = มวลโมเลกุลของเหล็กกล้าไร้สนิม
 n = ประจุของไอออนที่ถูกกัดกร่อน ใช้ 3 มาจาก Cr³⁺ (ภาคผนวก ค)
 D = ค่าความหนาแน่นของโลหะ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

โดยค่า มวลโมเลกุลของ เหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031

$$MW_{\text{alloy 31}} = 58.35 \text{ กรัมต่อโมล}$$

$$MW_{\text{alloy 33}} = 55.53 \text{ กรัมต่อโมล}$$

ค่า ความหนาแน่นของโลหะ D = 7.89 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

จะได้ค่าอัตราการกัดกร่อนภายในชอก นำมาเขียนกราฟ เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบชุบความร้อน ของเหล็กกล้าไร้สนิม alloy 31 และ alloy 33 ดังแสดงในบทที่ 4

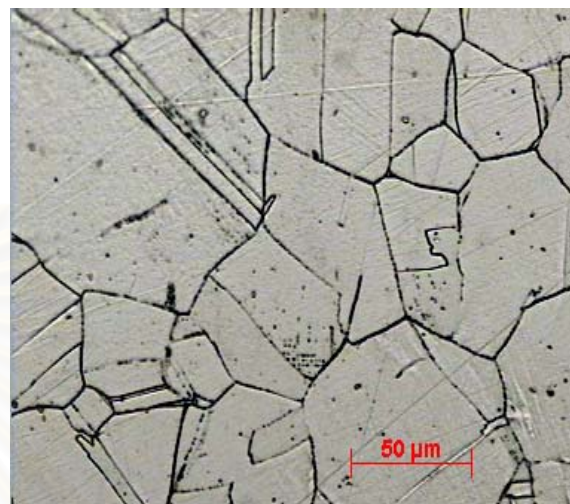
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

3.3.1 ชัดเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ด้วยกระดาษทรายจนถึง เบอร์ 1200 ก่อนนำไปขัดด้วยผงขัดเพชร ขนาดความละเอียด 0.1 ไมครอน ทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค และ เอทานอล

3.3.2 กัดชิ้นงานทดสอบด้วย สารเคมีที่ได้จากการผสมของ HNO_3 กับ HCl และ กลีเซอริน ในอัตราส่วน 1:3:3 ใช้เวลาในการกัดประมาณ 3 นาที ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ได้ โครงสร้างจุลภาคมีลักษณะเป็นเฟสออสเตไนท์ ตามรูปที่ 3.7



ก) เกรด UNS N 08031



ข) เกรด UNS R 20033

รูปที่ 3.7 โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ที่กำลังขยาย 200 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

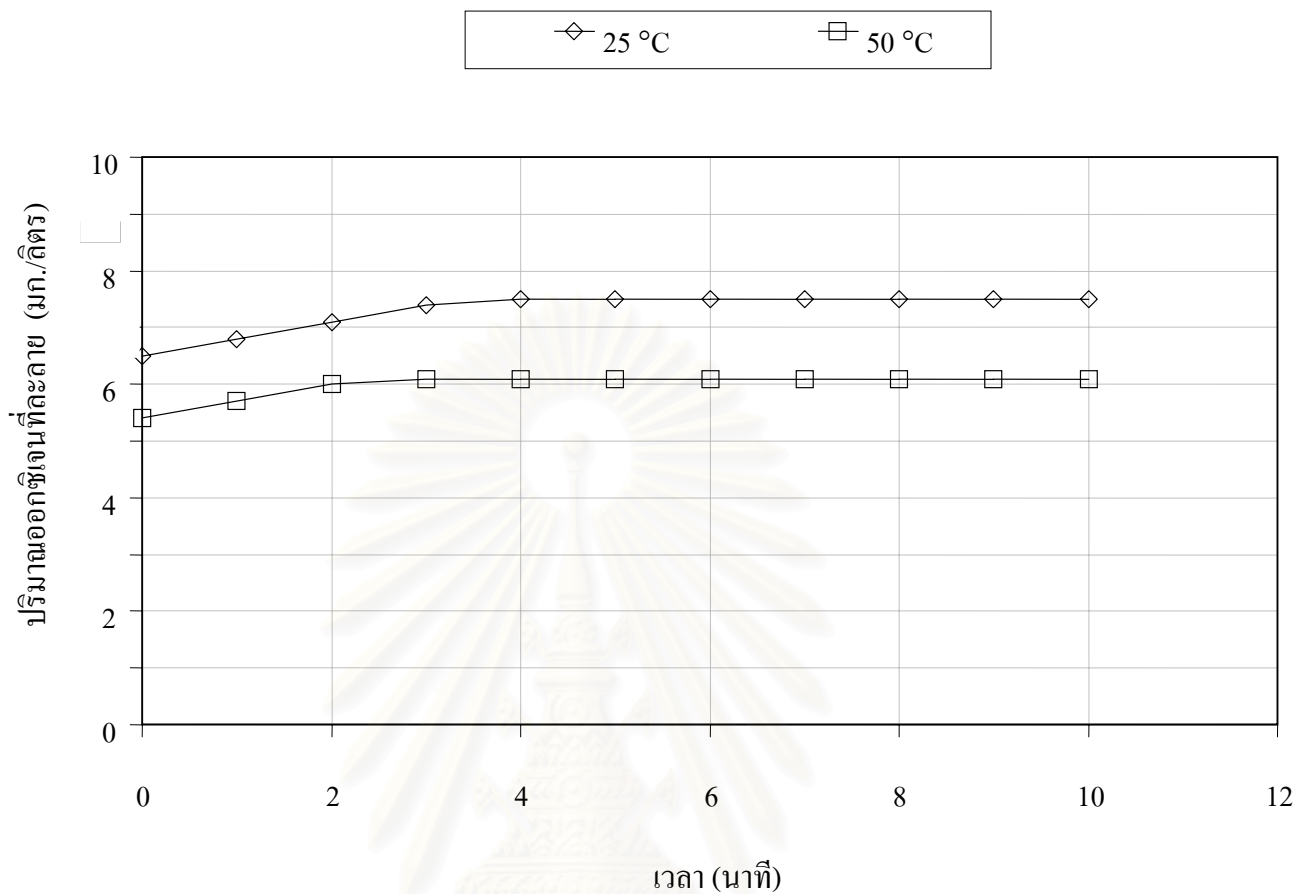
4.1 การหาเวลาที่ให้ออกซิเจนจากอากาศอิ่มตัวในสารละลายน้ำทะเลระยองที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส

การละลายของออกซิเจนจากอากาศในน้ำทะเลระยองหลังจากทำการเป่าด้วยเครื่องเป่าอากาศที่อุณหภูมิต่างกัน 25 และ 50 องศาเซลเซียส แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายน้ำทะเลระยองกับเวลาที่เป่าอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิน้ำทะเล เวลาที่เป่าอากาศ (นาที)	25 องศาเซลเซียส (มิลลิกรัม/ลิตร)	50 °C องศาเซลเซียส (มิลลิกรัม/ลิตร)
0	6.45	5.33
1	6.79	5.72
2	7.11	6.03
3	7.35	6.15
4	7.49	6.18
5	7.50	6.16
6	7.51	6.15
7	7.49	6.17
8	7.49	6.17
9	7.50	6.18
10	7.51	6.17

นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนที่ละลายในสารละลายน้ำทะเลระยองกับเวลาที่ใช้เป่าอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส

จากรูปเห็นว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การละลายของก๊าซออกซิเจนในน้ำทะเลระยอง มีค่าประมาณ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากเป่าอากาศทิ้งไว้จนอิ่มตัวมีค่าการละลายประมาณ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส การละลายของก๊าซออกซิเจนในน้ำทะเล มีค่าประมาณ 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และอิ่มตัวที่ประมาณ 6.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างของการละลายของก๊าซออกซิเจนในน้ำทะเลน้อยจนคาดว่าไม่มีผลต่อการกักกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองเกรดที่ใช้ในการทดลอง

4.2 อัตราการกักกรองภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 ในน้ำทะเลจากจังหวัดระยอง ในสถานะต่าง ๆ

สถานะของน้ำทะเลระยองที่ใช้ศึกษาการกักกรองภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 เป็นดังนี้

4.2.1 สภาวะปกติ

เป็นน้ำทะเลในสภาพตามที่ได้รับมา และทำการทดลองวัดอัตราการกักกรองภายในชอก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.2.2 สภาวะอิมิตัวด้วยการละลายของอากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เป็นน้ำทะเลที่ได้รับมาแล้วได้ทำการเป่าด้วยเครื่องเป่าอากาศ เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการทดลอง และเป่าอากาศไปตลอดการทดลองเพื่อให้ น้ำทะเลอิมิตัวด้วยอากาศ และทดลองวัดอัตราการกักกรองภายในชอกที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.2.3 สภาวะอุณหภูมิสูง

เป็นน้ำทะเลในสภาพตามที่ได้รับมา แต่ให้มีสภาวะอุณหภูมิแวดล้อมของการทดลองเป็น 50 องศาเซลเซียส วัดอัตราการกักกรองภายในชอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.2.4 สภาวะอิมิตัวด้วยการละลายของอากาศ และอุณหภูมิสูง

เป็นน้ำทะเลที่ได้รับมา และทำการเป่าด้วยเครื่องเป่าอากาศ เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการทดลอง และเป่าอากาศไปตลอดการทดลองเพื่อให้ น้ำทะเลอิมิตัวด้วยอากาศ โดยให้มีอุณหภูมิแวดล้อมของการทดลองเป็น 50 องศาเซลเซียส ทำการวัดอัตราการกักกรองภายในชอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

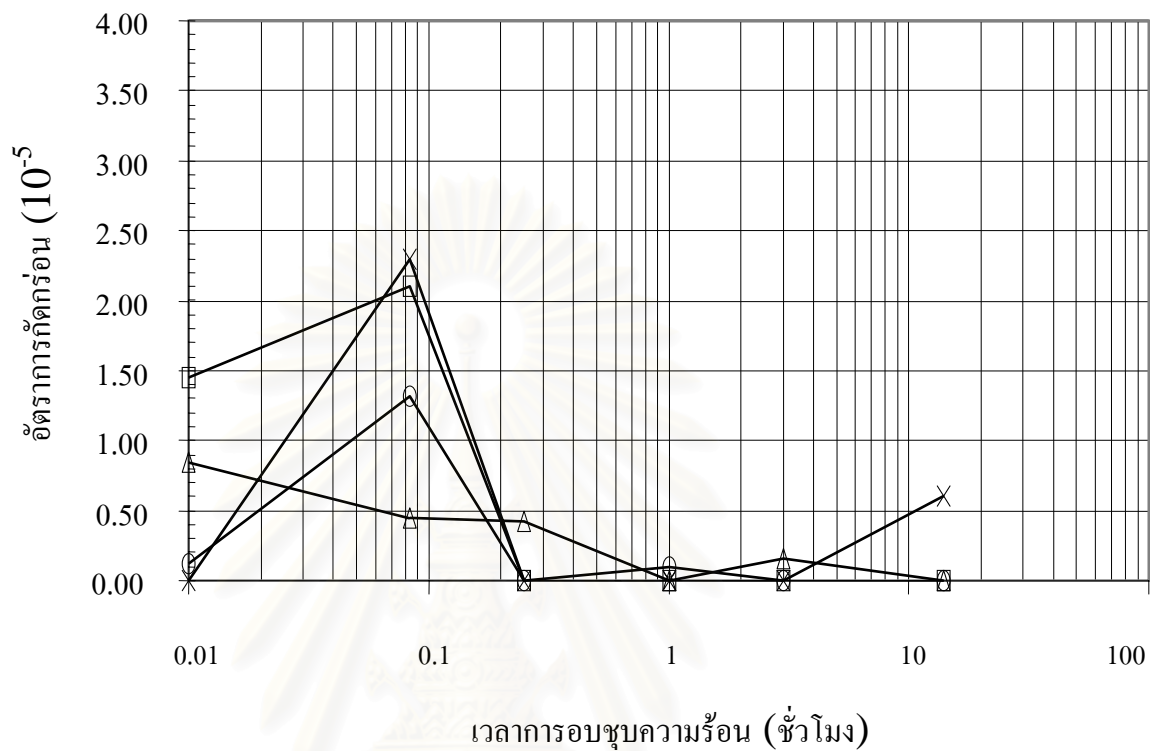
ตารางที่ 4.2 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 เทียบกับระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่ 675 องศาเซลเซียส ที่สภาพน้ำทะเลต่าง ๆ

เวลาการอบชุบ(นาทิต) สภาพน้ำทะเล	0 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	5 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	15 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	60 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	180 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	840 (10 ⁻⁵ มม./ปี)
ปกติ อุณหภูมิ 25°C	0.12	1.31	0	0.10	0	0
เป่าอากาศ อุณหภูมิ 25°C	1.44	2.09	0	0	0	0
อุณหภูมิ 50°C	0.84	0.44	0.42	0	0.15	0
เป่าอากาศ อุณหภูมิ 50°C	0	2.30	0	0	0	0.59

นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบชุบความร้อนและอัตราการกัดกร่อนได้ดังรูปที่ 4.2 และจะพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS N 08031 มีอัตราการกัดกร่อนภายในชอกไม่รุนแรง มีอัตราการกัดกร่อนเพียงระดับ 10⁻⁵ มิลลิเมตรต่อปี และแม้ทดสอบกับโลหะที่ผ่านการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียสที่เวลา 5 ถึง 840 นาทิต ในสภาพการทดลองต่าง ๆ ข้างต้นก็มีอัตราการกัดกร่อนไม่รุนแรงเช่นเดียวกัน แสดงถึงความต้านทานการกัดกร่อนในสภาพน้ำทะเลธรรมชาติ ที่อยู่ในระดับเดียวกัน ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอัตราการกัดกร่อนของวัสดุที่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิเมตร ต่อปี ถือว่าต้านทานการกัดกร่อนได้ยอดเยี่ยม (4) ทำให้กล่าวได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 มีความต้านทานการกัดกร่อนยอดเยี่ยมเช่นกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

○ สภาวะปกติ 25 °C □ เป่าอากาศ 25 °C ▲ อุณหภูมิ 50 °C ✕ อุณหภูมิ 50 °C เป่าอากาศ



รูปที่ 4.2 แสดงอัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N08031 กับระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียส ในสารละลายน้ำทะเลจากระยะของ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 อัตราการกักกรองภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 ในสารละลายน้ำทะเล จากจังหวัดระยอง ในสถานะต่าง ๆ

สถานะของน้ำทะเลระยองที่ใช้ศึกษาการกักกรองภายในชอกของเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS R 20033 เป็นดังนี้

4.3.1 สถานะปกติ

เป็นน้ำทะเลในสภาพตามที่ได้รับมา และทำการทดลองวัดอัตราการกักกรองภายในชอก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.3.2 ในสถานะอิมิตัวด้วยการละลายของอากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เป็นน้ำทะเลที่ได้รับมาแล้วได้ทำการเป่าด้วยเครื่องเป่าอากาศ เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการทดลอง และเป่าอากาศไปตลอดการทดลองเพื่อให้น้ำทะเลอิมิตัวด้วยอากาศ และทดลองวัดอัตราการกักกรองภายในชอกที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.3.3 สถานะอุณหภูมิสูง

เป็นน้ำทะเลในสภาพตามที่ได้รับมา แต่ให้มีสถานะอุณหภูมิแวดล้อมของการทดลองเป็น 50 องศาเซลเซียส วัดอัตราการกักกรองภายในชอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.3.4 สถานะอิมิตัวด้วยการละลายของอากาศ และอุณหภูมิสูง

เป็นน้ำทะเลที่ได้รับมา และทำการเป่าด้วยเครื่องเป่าอากาศ เป็นเวลา 30 นาที ก่อนการทดลอง และเป่าอากาศไปตลอดการทดลองเพื่อให้น้ำทะเลอิมิตัวด้วยอากาศ โดยให้มีอุณหภูมิแวดล้อมของการทดลองเป็น 50 องศาเซลเซียส ทำการวัดอัตราการกักกรองภายในชอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

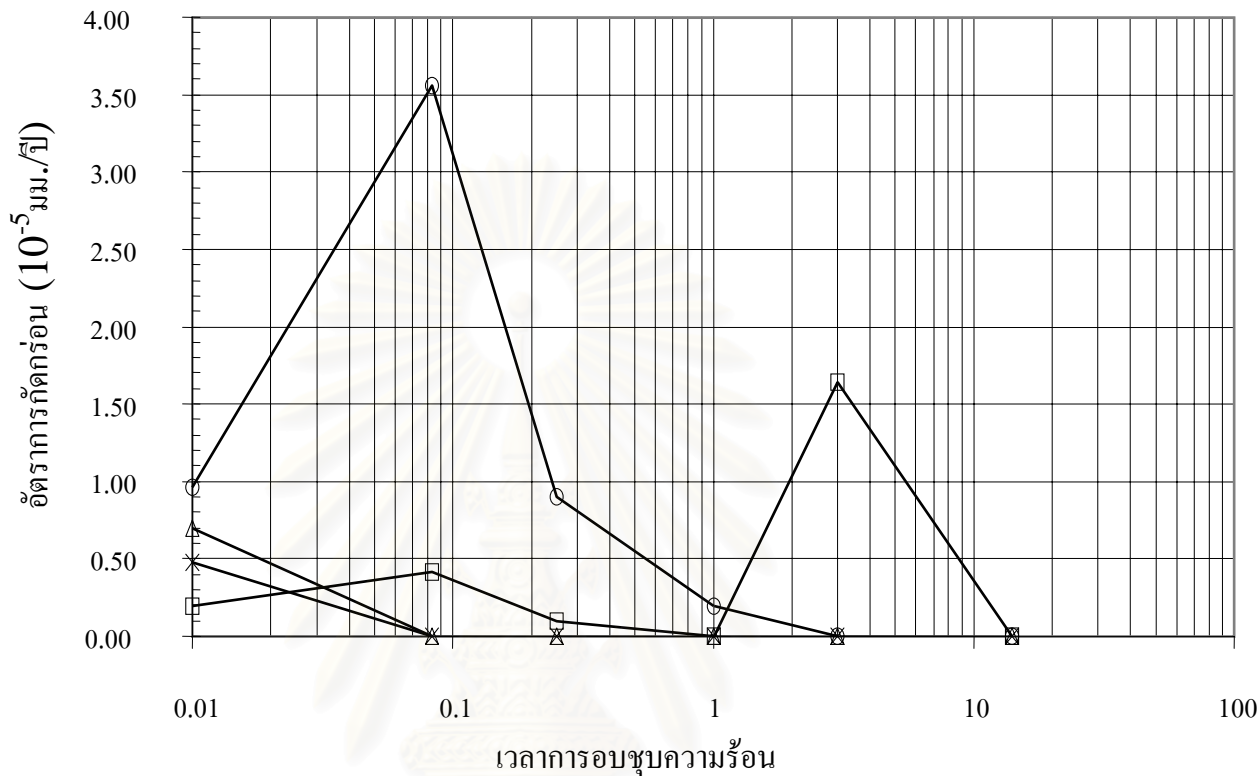
ตารางที่ 4.3 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 เทียบกับระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่ 675 องศาเซลเซียส ที่สภาพน้ำทะเลต่าง ๆ

เวลาการอบชุบ(นาทิต) สภาพน้ำทะเล	0 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	5 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	15 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	60 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	180 (10 ⁻⁵ มม./ปี)	840 (10 ⁻⁵ มม./ปี)
ปกติ อุณหภูมิ 25°C	0.96	3.56	0.90	0.19	0	0
เป่าอากาศ 25°C	0.19	0.41	0.09	0	1.64	0
อุณหภูมิ 50°C	0.70	0	0	0	0	0
เป่าอากาศ อุณหภูมิ 50°C	0.47	0	0	0	0	0

นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบชุบความร้อนและอัตราการกัดกร่อนได้ดังรูปที่ 4.3 และจะพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS R 20033 มีอัตราการกัดกร่อนภายในชอกไม่รุนแรง มีอัตราการกัดกร่อนเพียงระดับ 10⁻⁵ มิลลิเมตรต่อปี และเมื่อทดสอบกับโลหะที่ผ่านการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ถึง 840 นาทิต ก็มีอัตราการกัดกร่อนไม่รุนแรงเช่นเดียวกัน แสดงถึงความต้านทานการกัดกร่อนในสภาพน้ำทะเลธรรมชาติอยู่ในระดับเดียวกัน และเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 แล้วพบว่าสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ทั้งโลหะพื้นฐานและที่อบชุบความร้อนมาแล้ว และในทำนองเดียวกับเหล็กกล้าไร้สนิม UNS N 08031 เทียบกับการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอัตราการกัดกร่อนของวัสดุที่ต่ำกว่า 0.1 มิลลิเมตร ต่อปี ถือว่าต้านทานการกัดกร่อนได้ยอดเยี่ยม (4) ทำให้กล่าวได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด UNS R 20033 มีความต้านทานการกัดกร่อนยอดเยี่ยมเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

○- สภาวะปกติ 25 °C □- เป่าอากาศ 25 °C ▲- อุณหภูมิ 50 °C ✕- เป่าอากาศ อุณหภูมิ 50 °C



รูปที่ 4.3 แสดงอัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 กับระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียส ในสารละลาย น้ำทะเลจากระยะของ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 อัตราการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาวะการทดลองที่รุนแรงขึ้น

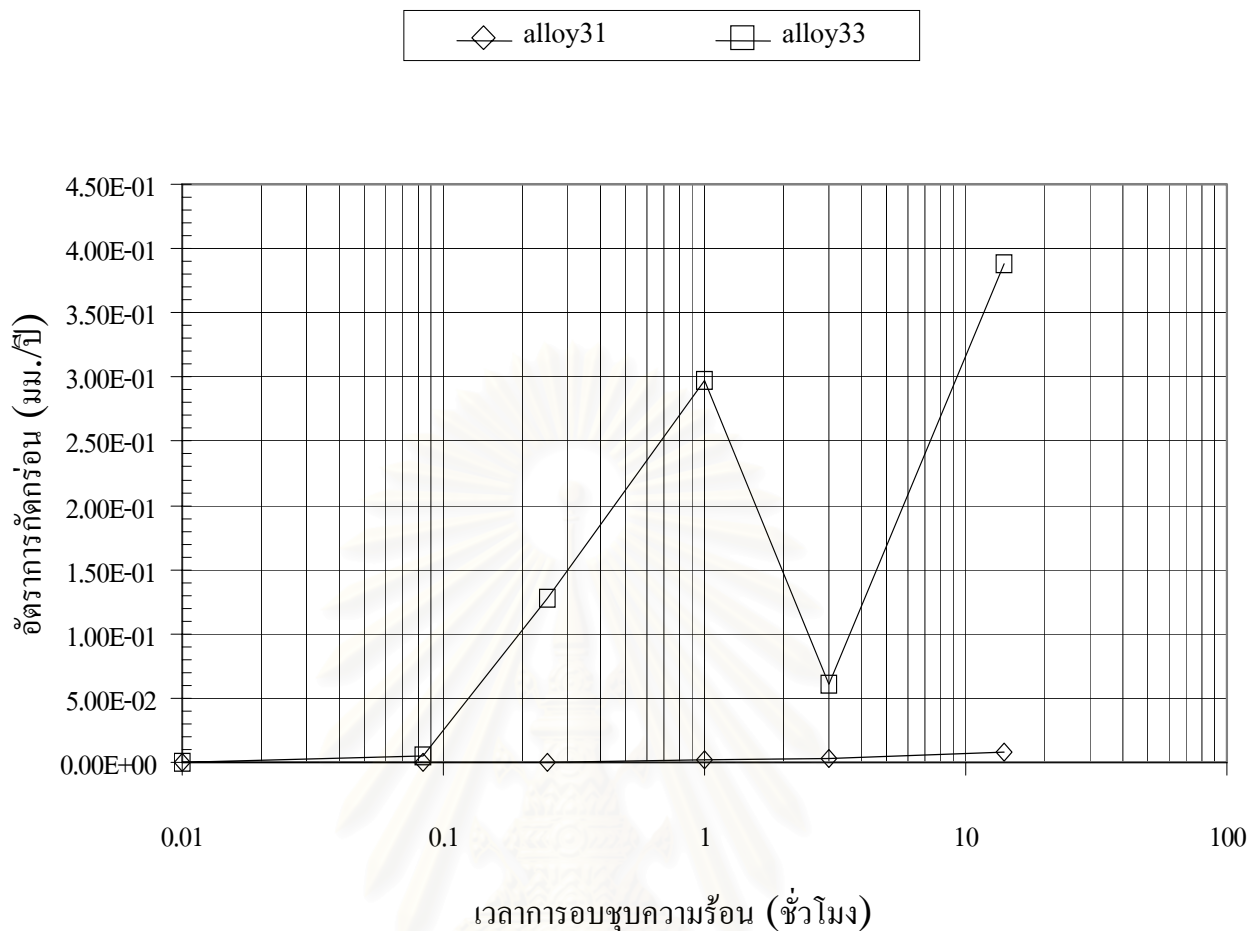
ผลการทดลองหาอัตราการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาวะที่รุนแรงกว่าการทดลองที่ผ่านมา โดยใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 65 กรัม/ลิตร ค่าพีเอช = 1.9 ศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่แคโทด 620-730 มิลลิโวลต์ อัตราส่วนพื้นที่แอโนด : แคโทด เป็น 1 : 1650 ที่ อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ได้ผลดังในตารางและรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 และ UNS R 20033 เทียบกับระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่ 675 °C ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงกว่าเดิม

เวลาการอบชุบ (นาที) ชิ้นงานทดสอบ	0 (มม./ปี)	5 (มม./ปี)	15 (มม./ปี)	60 (มม./ปี)	180 (มม./ปี)	840 (มม./ปี)
alloy 31	0	0	0	0.0024	0.0026	0.0078
alloy 33	0	0.0048	0.128	0.297	0.060	0.388

นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงอัตราการกัดกร่อนภายในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 เทียบกับระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่ 675 องศาเซลเซียส ในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 65 ส่วนในพันส่วน , พีเอช = 1.9, ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่แคโทด 620-730 มิลลิโวลต์, อัตราส่วนพื้นที่แอโนด : แคโทดเป็น 1 : 1650, อุณหภูมิแวดล้อม 22 องศาเซลเซียส

จากรูปพบว่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ที่ทำการทดสอบหาอัตราการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมเดียวกันมีอัตราการกัดกร่อนที่ไม่เท่ากัน โดยเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 มีอัตราการกัดกร่อนแบบในซอกต่ำกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 อย่างชัดเจน สอดคล้องกับดัชนีความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting resistance equivalent number, PREN) (5) ดังสมการ

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3.3 \% \text{Mo} + 16 \% \text{N} \quad 4.1$$

โดยดัชนีความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบรูเข็มของเหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองมีค่าดังนี้

$$\text{PREN}_{\text{UNS N 08031}} = 51.65$$

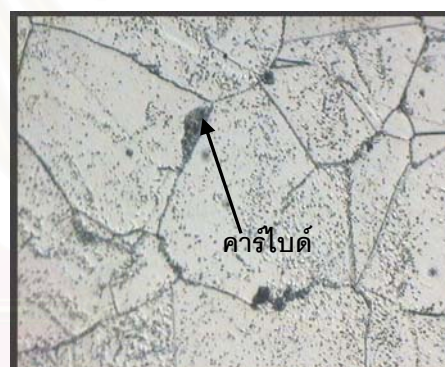
$$\text{PREN}_{\text{UNS R 20033}} = 45.90$$

นอกจากนี้เหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองชนิดแสดงอัตราการกัดกร่อนที่สูงขึ้นตามระยะเวลาอบชุบความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียส เนื่องจากระยะเวลาการอบชุบความร้อนที่นานขึ้นคาดว่าจะส่งผลให้เกิดสารประกอบคาร์ไบด์ ทำให้เกิดการสูญเสียธาตุโครเมียมตามขอบเกรน ทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมทั้งสองมีความต้านทานการกัดกร่อนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.5



ก. UNS N 08031

675°C 14 h.



ข. UNS R 20033

675°C 3 h.

รูปที่ 4.5 สารประกอบคาร์ไบด์ที่เกิดในบริเวณขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 เมื่ออบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 และ 3 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 500 เท่า

4.5 การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 กับสภาพการทดลองที่ต่างกัน

อัตราการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ที่ผ่านการอบชุบความร้อน 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาพการทดลองที่เป็นน้ำทะเลธรรมชาติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 65 ส่วนในพันส่วน, พีเอช = 1.9, ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่แคโทด 620-730 มิลลิโวลต์ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.5 อัตราการกัดกร่อนแบบในซอกของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ที่ผ่านการอบชุบความร้อน 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาพการทดลองที่รุนแรงต่างกัน

วัสดุ \ สภาพการทดลอง	น้ำทะเลธรรมชาติ 25°C	สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 6.5 กรัม/ลิตร, พีเอช = 1.9
alloy 31 675°C 60 นาที	0.1×10^{-5} มม./ปี	0.0024 มม./ปี
alloy 33 675°C 60 นาที	0.19×10^{-5} มม./ปี	0.297 มม./ปี

จากตารางเห็นได้ว่าในเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ที่ผ่านการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 นาทีเท่ากัน มีอัตราการกัดกร่อนเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากปัจจัยของสภาพแวดล้อมในการทดลองมีความรุนแรงขึ้น โดย การละลายของโซเดียมคลอไรด์สูงกว่าในน้ำทะเลธรรมชาติประมาณสองเท่า โดยมีค่าพีเอชเพียงประมาณ 1.9 และศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่แคโทดสูงกว่าในธรรมชาติ 620 มิลลิโวลต์

อย่างไรก็ตามในที่นี้ผู้วิจัยเห็นว่าน้ำทะเลที่นำมาทดลองมีค่าตัวแปรสูง เนื่องจากมีปัจจัยจากสภาพดินฟ้าอากาศ ฤดูกาล และทิศทางกระแสน้ำ เป็นต้น ที่ทำให้ค่าอัตราการกัดกร่อนที่ได้จากการทดลองมีความเบี่ยงเบนสูง ซึ่งควรมีการทดลองใช้เทคนิคอื่นวัดอัตราการกัดกร่อนแบบในซอกเพื่อนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้วิธีการวัดที่แม่นยำมากขึ้นต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการกักกรองแบบภายในของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาพการทดลองที่เป็นน้ำทะเลจากจังหวัดระยอง อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส ในสภาพปกติและอิมพัลส์ด้วยออกซิเจน สรุปได้ดังนี้

5.1 การกักกรองภายในของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 ในสภาพการทดลองที่ใช้ น้ำทะเลจริงจากธรรมชาติไม่รุนแรง แม้ชิ้นงานที่ผ่านการอบชุบความร้อนที่อุณหภูมิ 675 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ถึง 840 นาทีมาแล้ว การกักกรองก็ไม่รุนแรง แสดงถึงสมบัติต้านทานการกักกรองแบบภายในของที่ดี

5.2 อัตราการกักกรองภายในของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 และ UNS R 20033 เพิ่มสูงขึ้นตามความรุนแรงของสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณคลอไรด์ในสารละลายที่สูงขึ้น ค่าพีเอชที่ต่ำลง และศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่แคโทดที่สูงขึ้น

5.3 ในการทดลองกับสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 65 กรัมต่อลิตร พีเอช 1.9 และป้อนค่าศักย์ไฟฟ้าแคโทดเริ่มต้น 620 มิลลิโวลต์ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 มีความต้านทานต่อการกักกรองภายในของสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สอดคล้องกับดัชนีการต้านทานการกักกรองแบบรูเข็ม (PREN)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

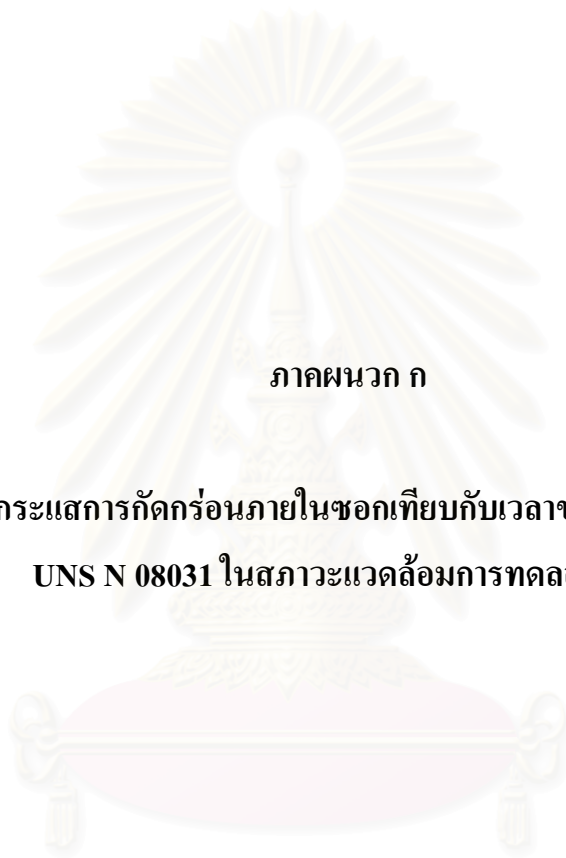
รายการอ้างอิง

1. การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 ของบริษัท Krupp VDM จำกัด. No. 4131, Germany: May 1997.
2. การใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 ของบริษัท Krupp VDM จำกัด. No. 4142, Germany: January 1997.
3. H. Hoffmeister and G. Lothongkum. Crevice corrosion of High Cr, Ni alloys (UNS N08031 and UNS R20033). (unpublished)
4. Denny A. Jones. Principles and prevention of corrosion. Singapore: Maxwell Macmillan, 1991.
5. A. John Sedriks. Corrosion of Stainless Steels. 2nd ed. USA: John Wiley and Sons, 1996.
6. P. Lacombe, et.al. . Stainless Steels. 1st ed. France: Physique Les Ulis, 1993.
7. <http://www.corrosion-doctors.org/Localized/Introduction.htm>
8. <http://www.corrosion-doctors.org/Seawater/frames.htm>
9. <http://www.corrosion-doctors.org/Seawater/depth.htm>
10. J. Kloewer, et.al. . Alloy 33, A New High Strength Austenitic Alloy for Marine Application. Proceedings of the NACE International corrosion 2000, March 2000: 636.
11. ASM International. Corrosion testing and Evaluation. ASM Metal Handbook. USA: ASM International, 1996
12. R. Magdowski and M. O. Speidel . A High Strength Austenitic Material , Fully Resistant to Stress Corrosion Cracking in Nuclear Environments. Proceedings of the NACE International corrosion 1999, March 1999: 351.
13. มหาวิทยาลัยบูรพา สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล. การศึกษาคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก. กรุงเทพฯ: มิถุนายน 2537.



ภาคผนวก

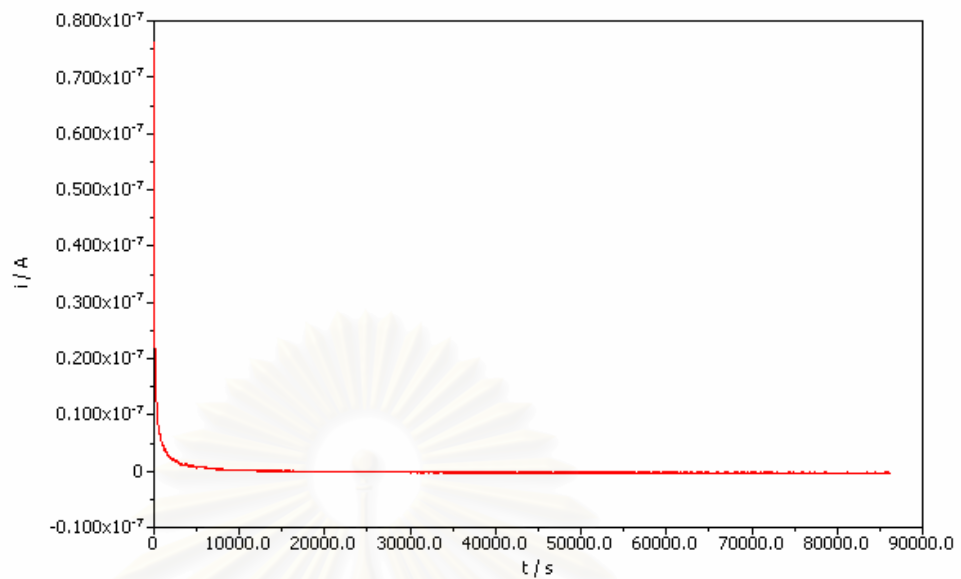
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



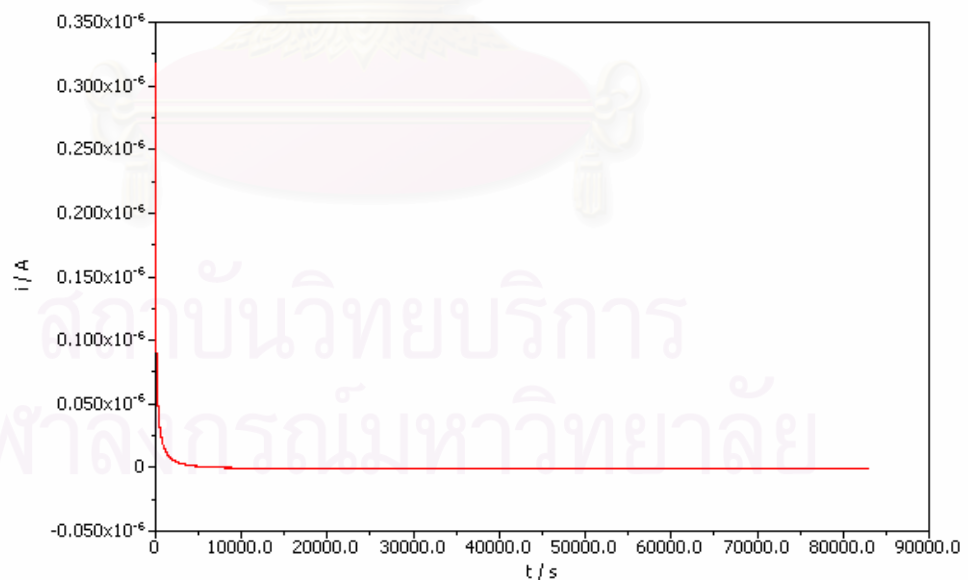
ภาคผนวก ก

ภาพผลการวัดกระแสการกักต่อนภายในซอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด
UNS N 08031 ในสถานะแวดล้อมการทดลองต่างๆ

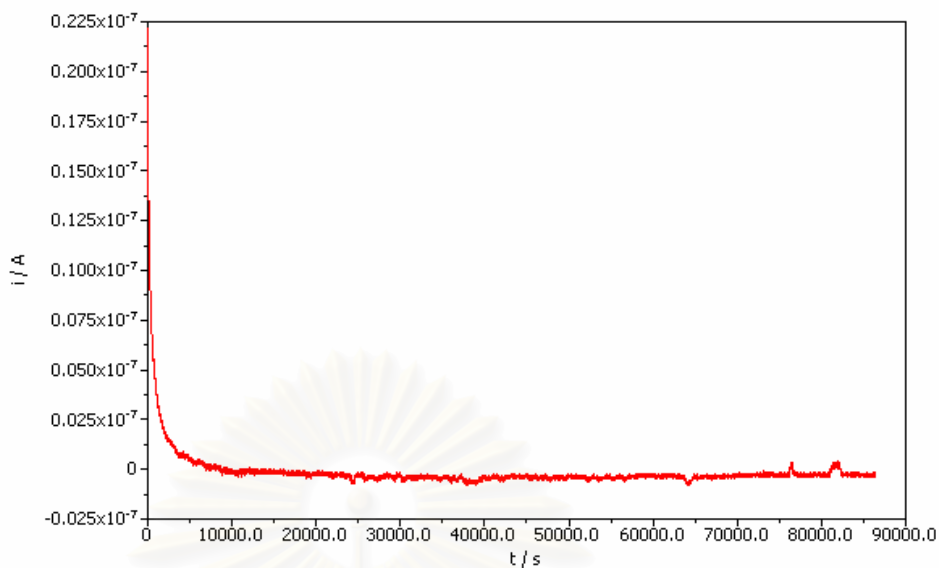
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



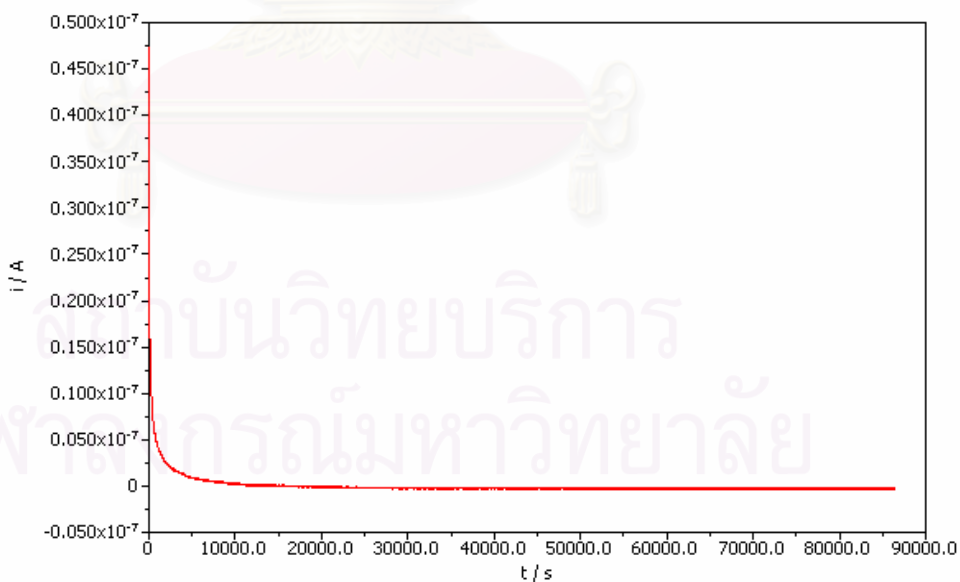
รูปที่ ก.1 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



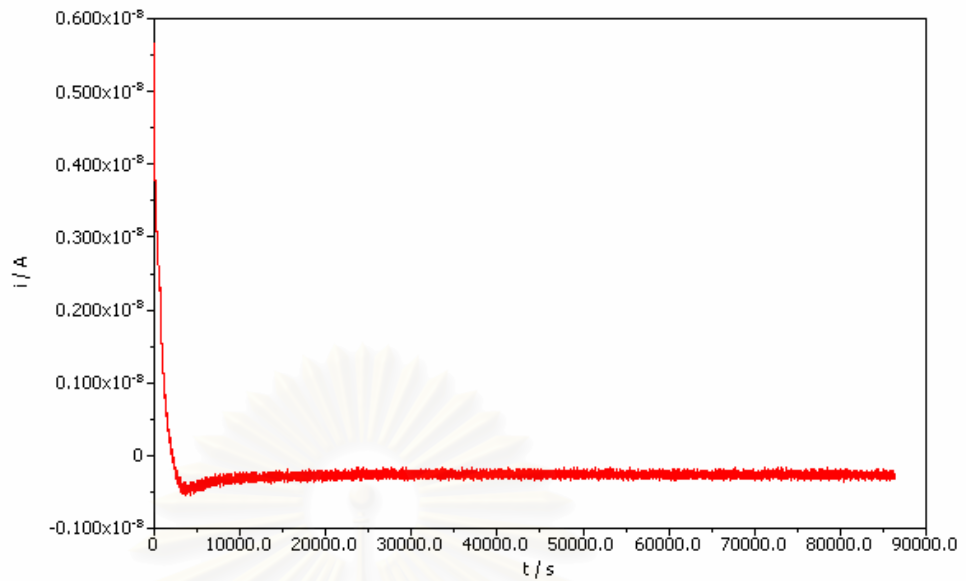
รูปที่ ก.2 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



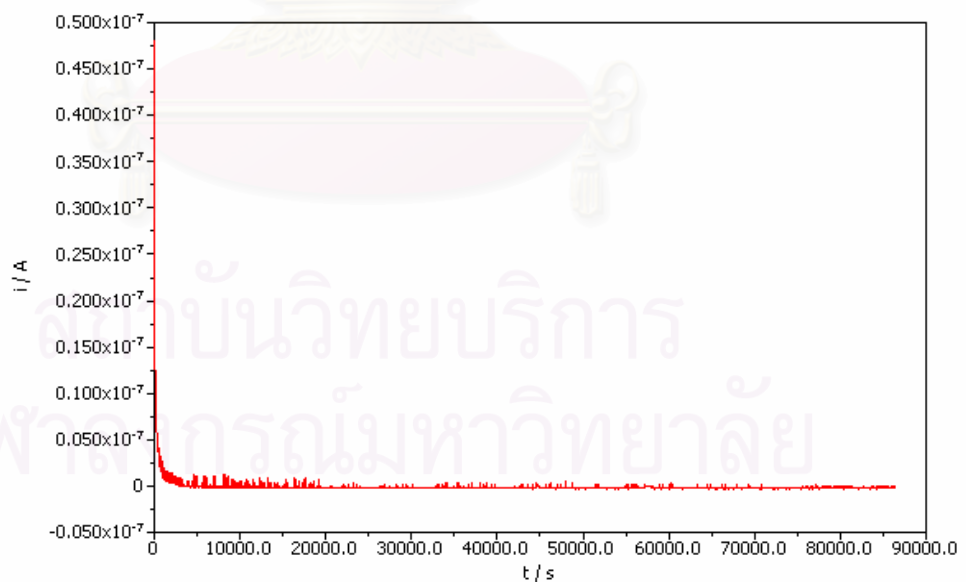
รูปที่ ก.3 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลองปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



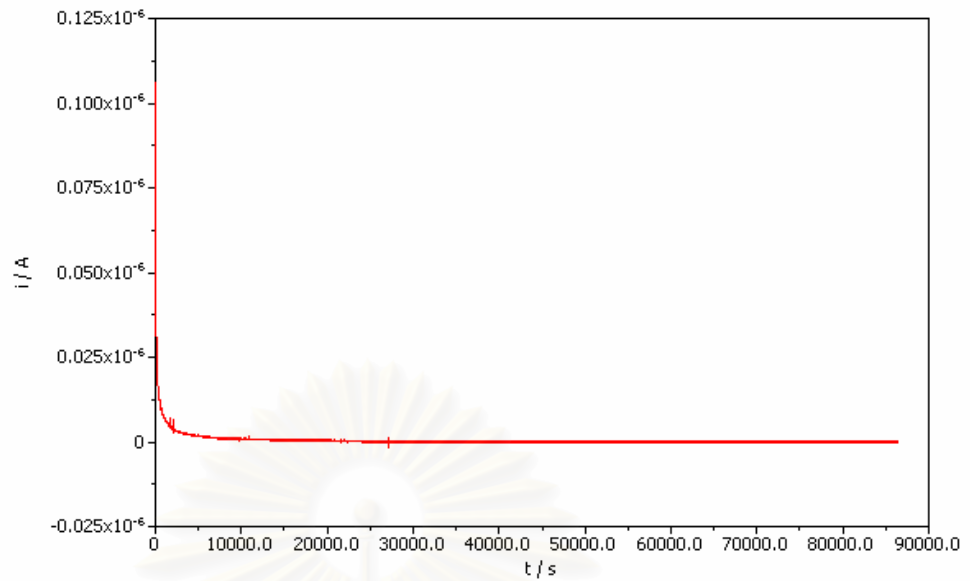
รูปที่ ก.4 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



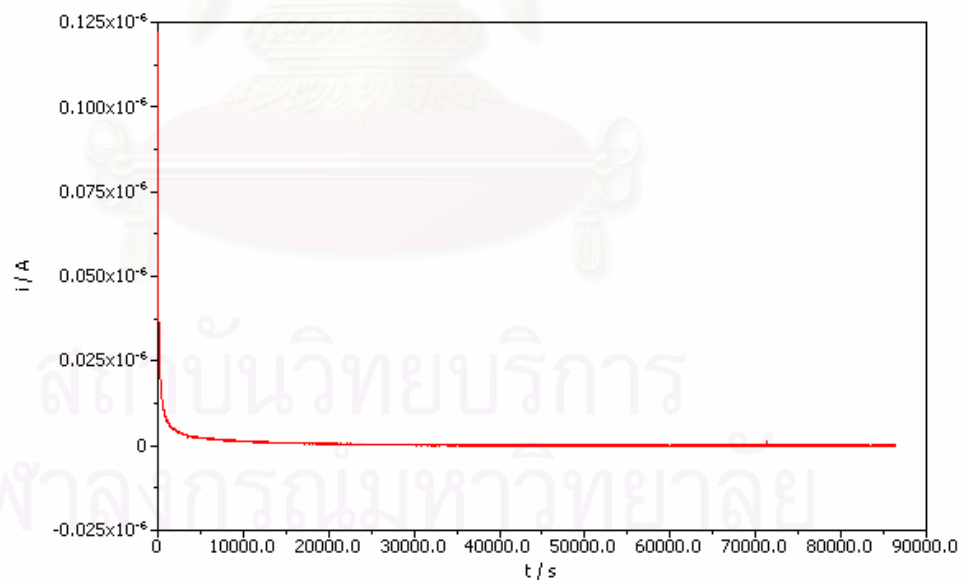
รูปที่ ก.5 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



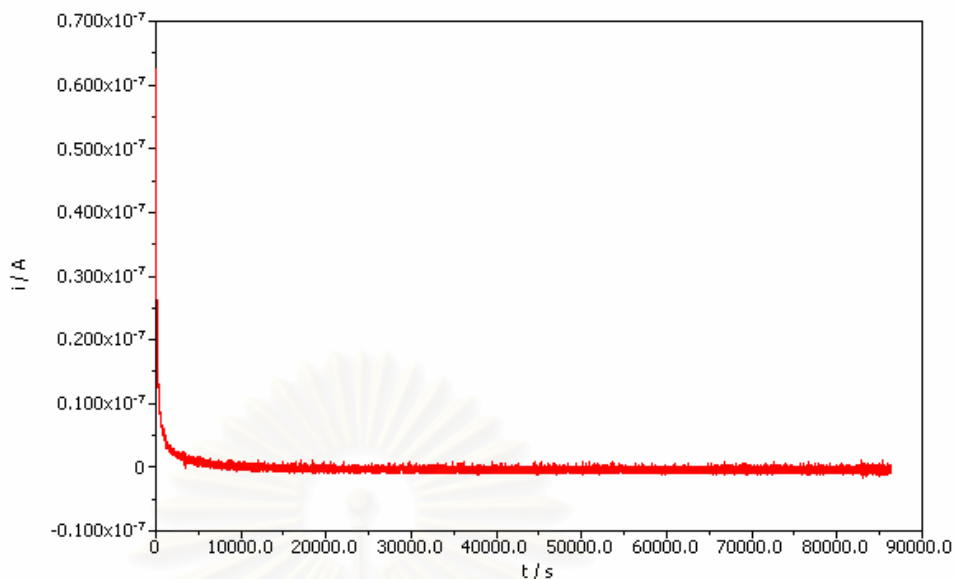
รูปที่ ก.6 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



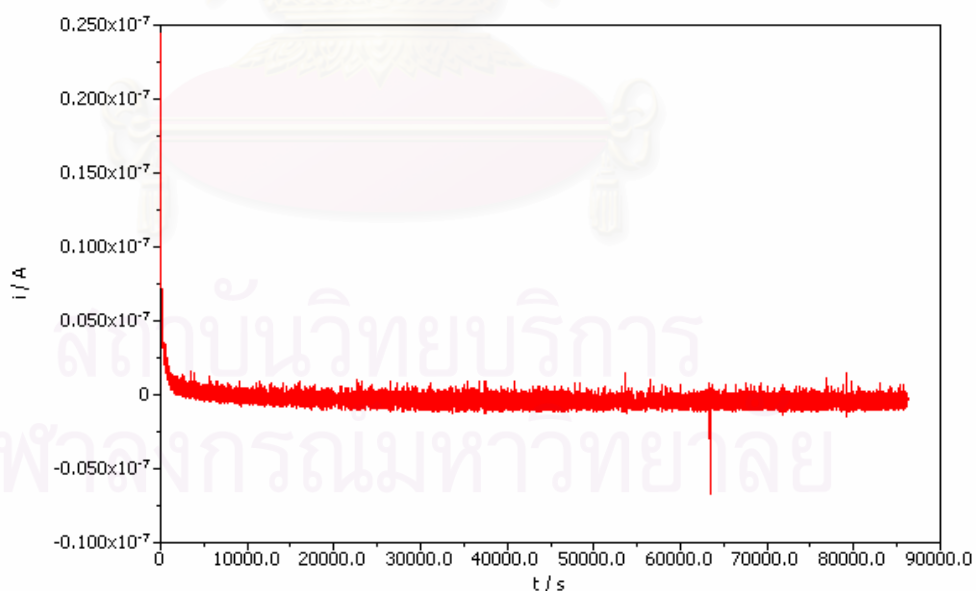
รูปที่ ก.7 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง แบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



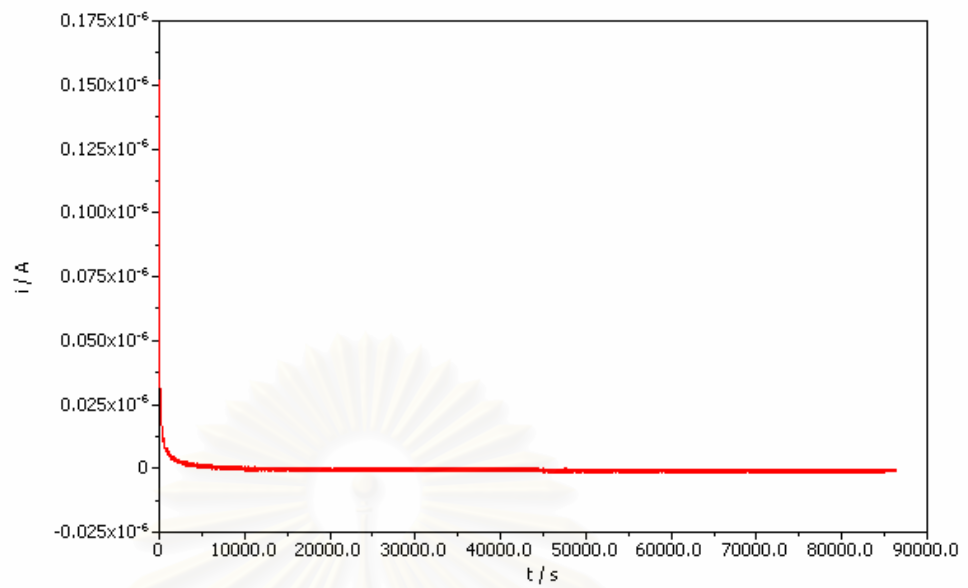
รูปที่ ก.8 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



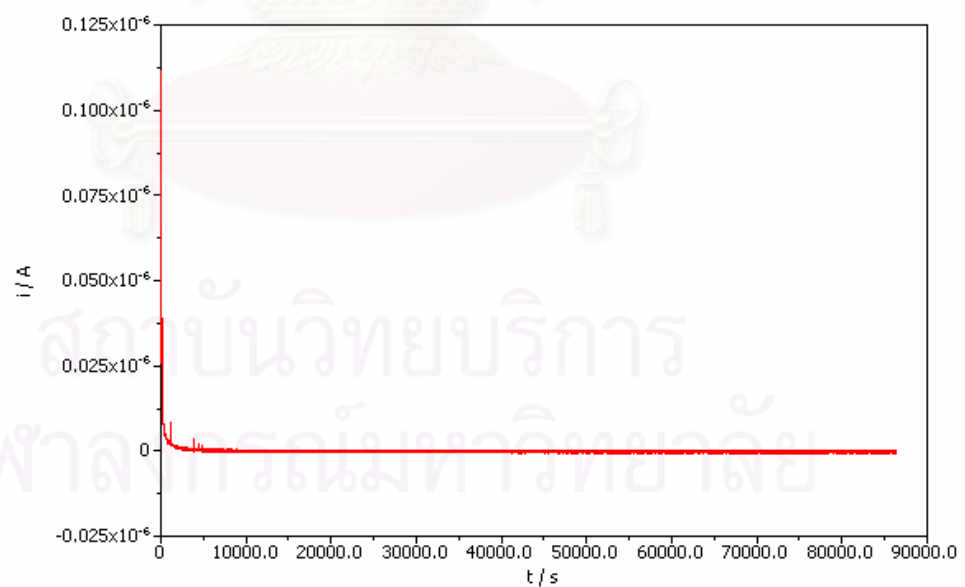
รูปที่ ก.9 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



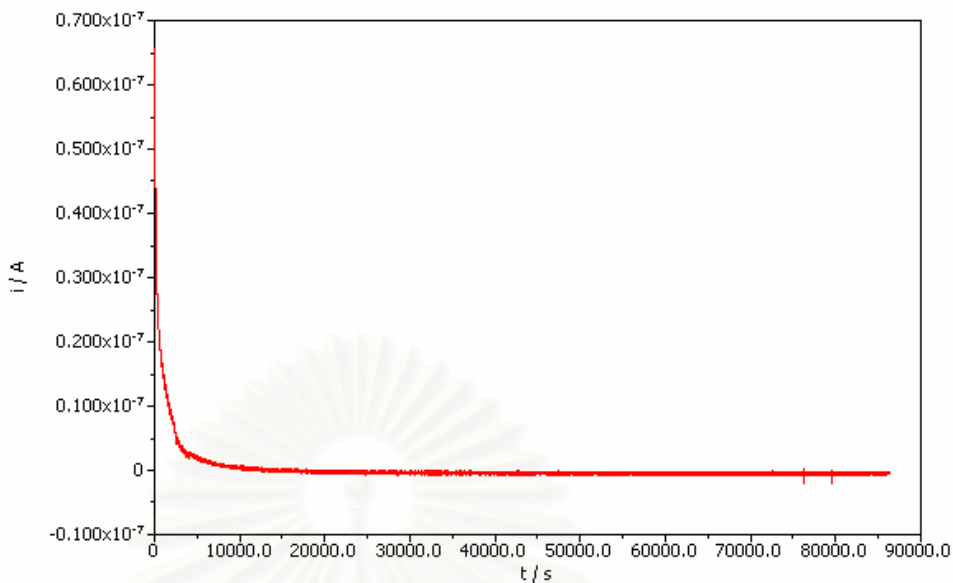
รูปที่ ก.10 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



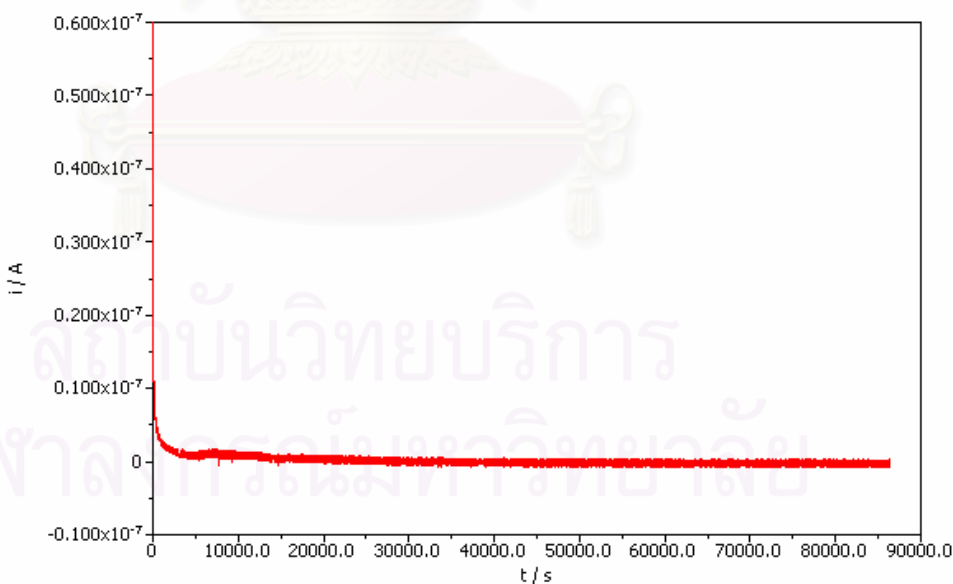
รูปที่ ก.11 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



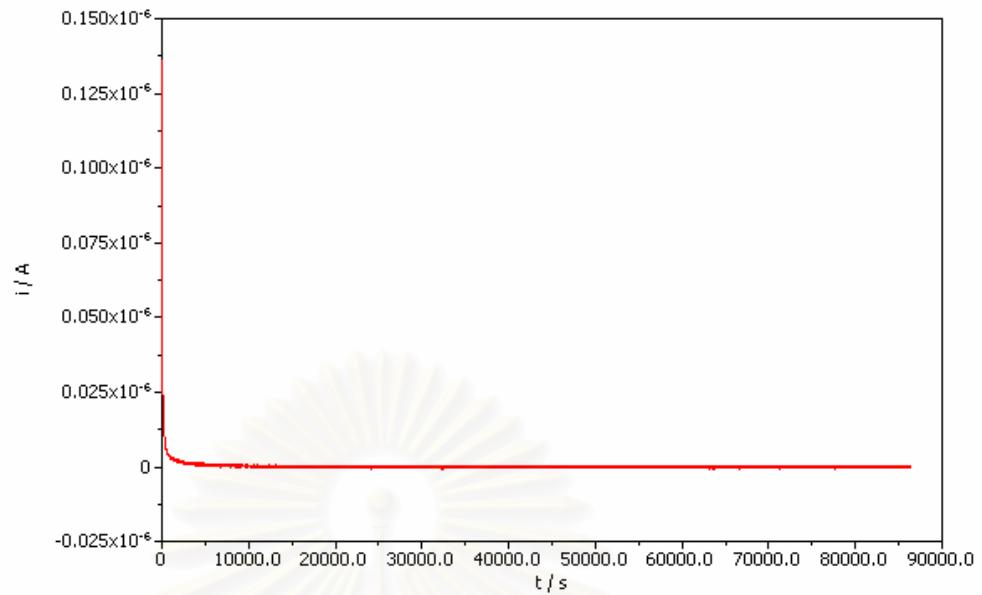
รูปที่ ก.12 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



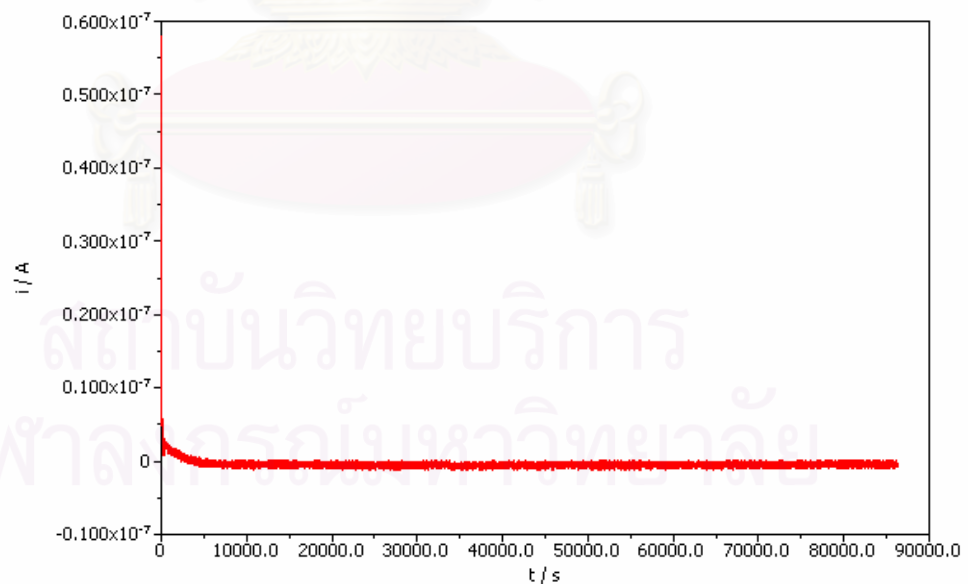
รูปที่ ก.13 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



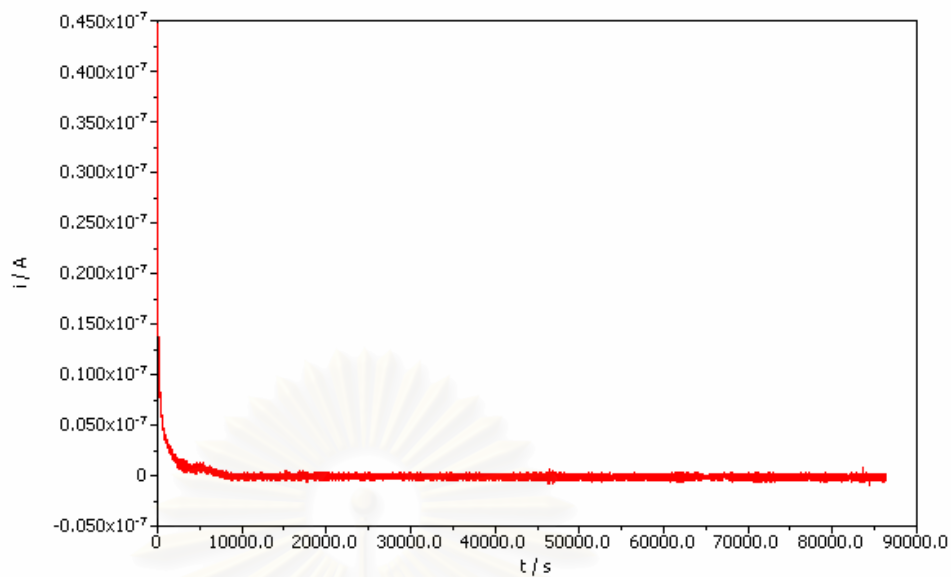
รูปที่ ก.14 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



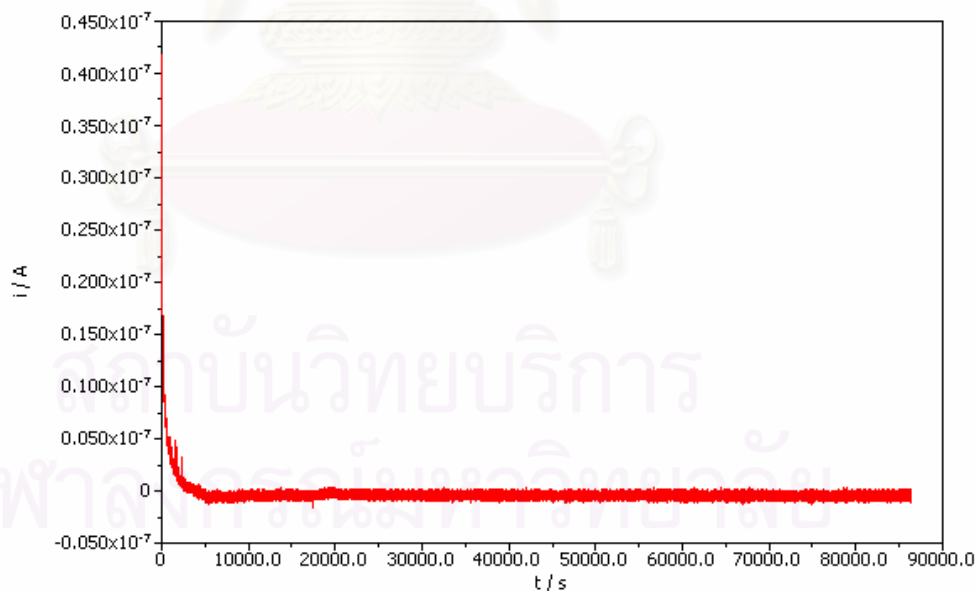
รูปที่ ก.15 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



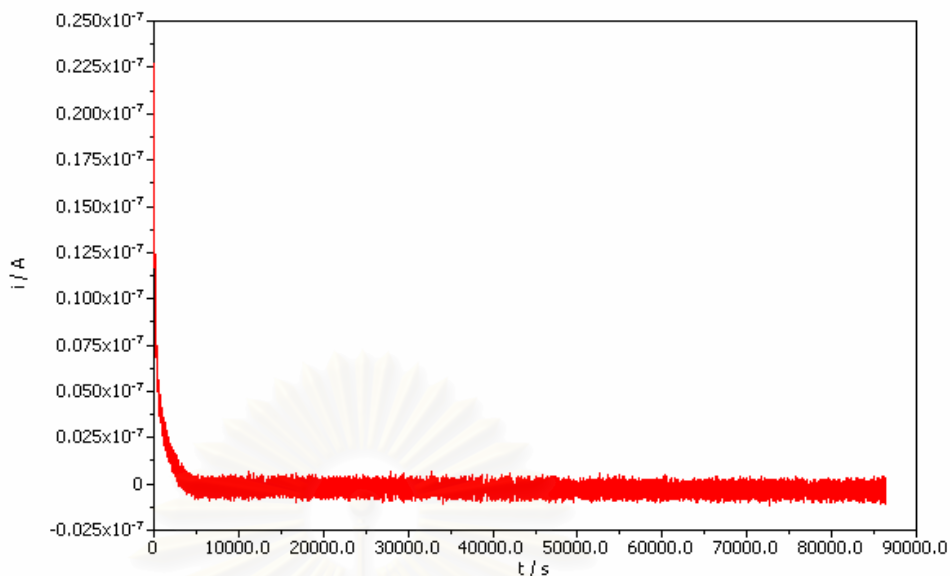
รูปที่ ก.16 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



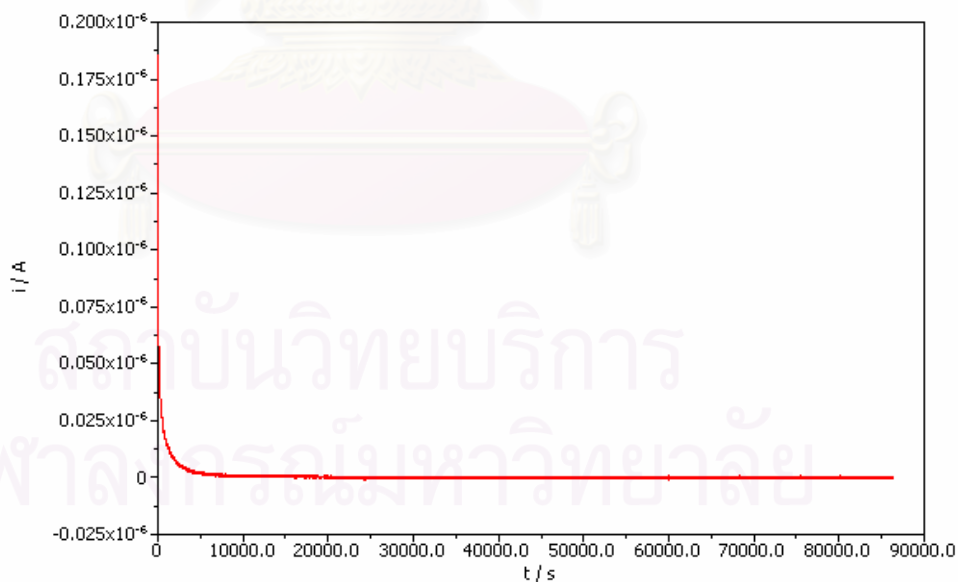
รูปที่ ก.17 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



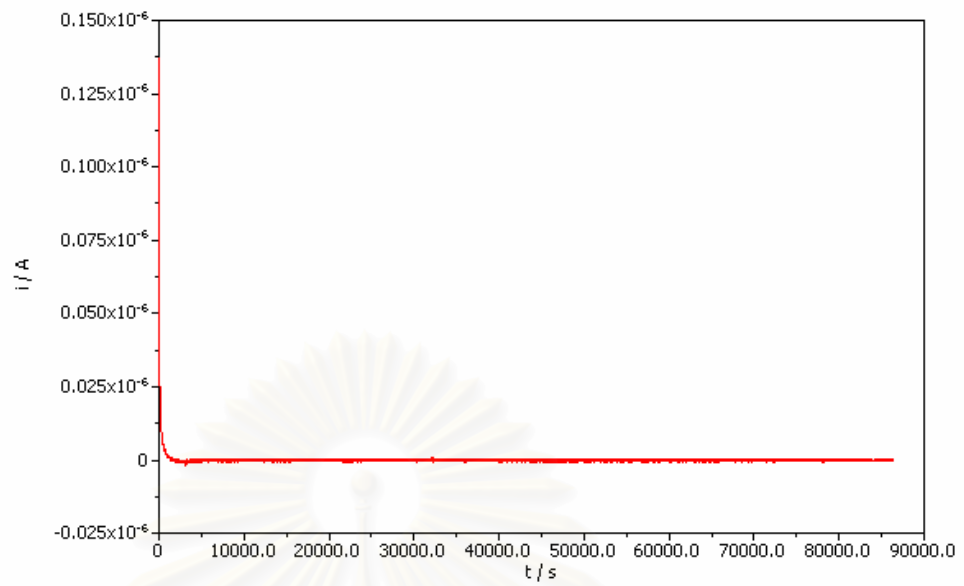
รูปที่ ก.18 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



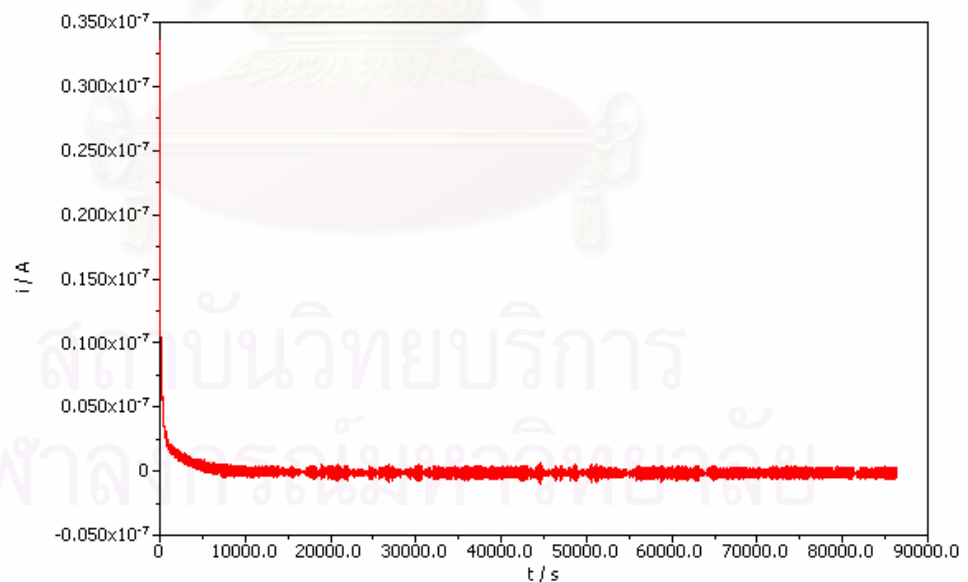
รูปที่ ก.19 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง แบบอิมิตัวด้วยอากาศ และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



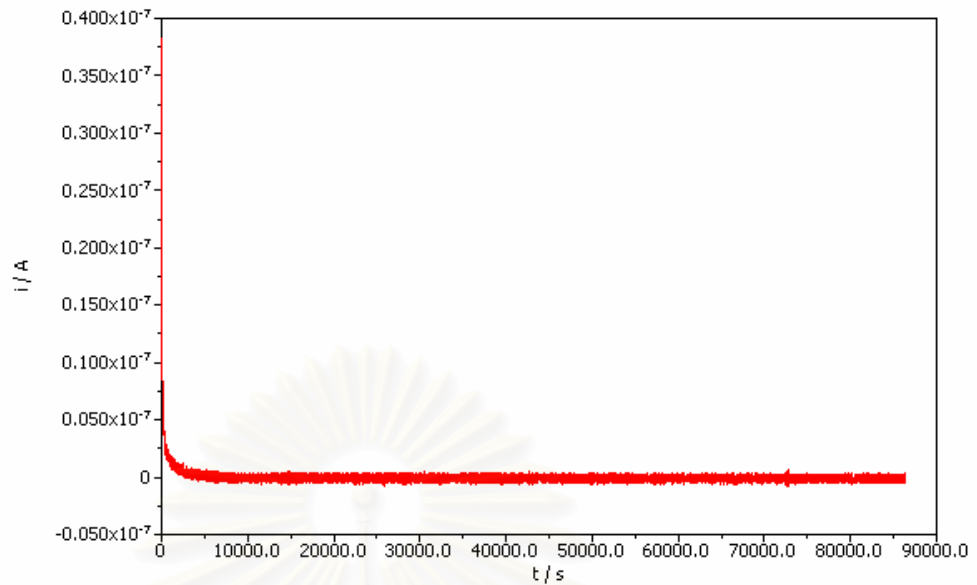
รูปที่ ก.20 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลองแบบอิมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



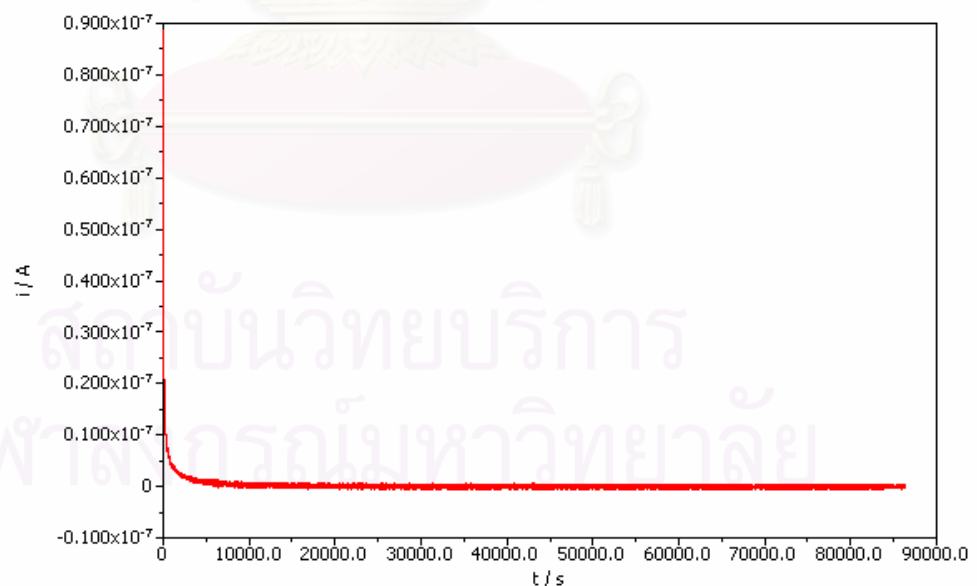
รูปที่ ก.21 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลองแบบอิมมัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



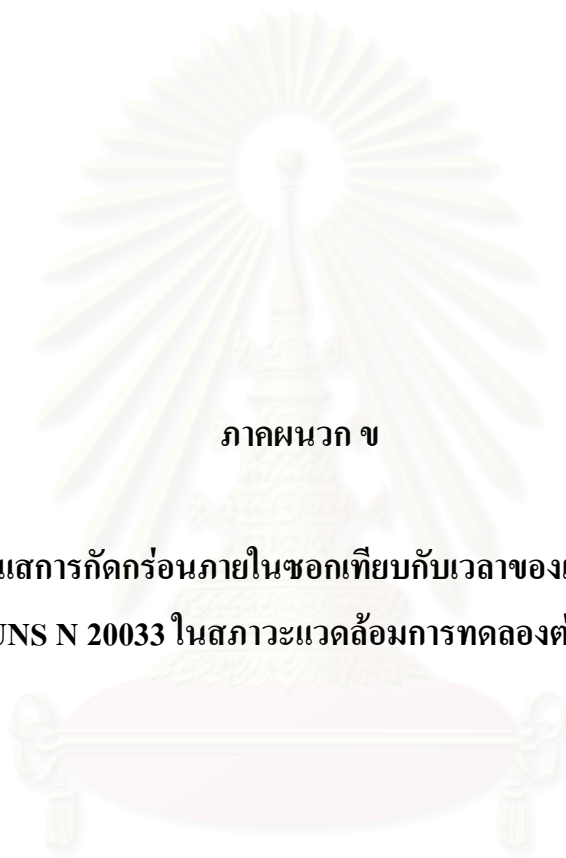
รูปที่ ก.22 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ ก.23 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



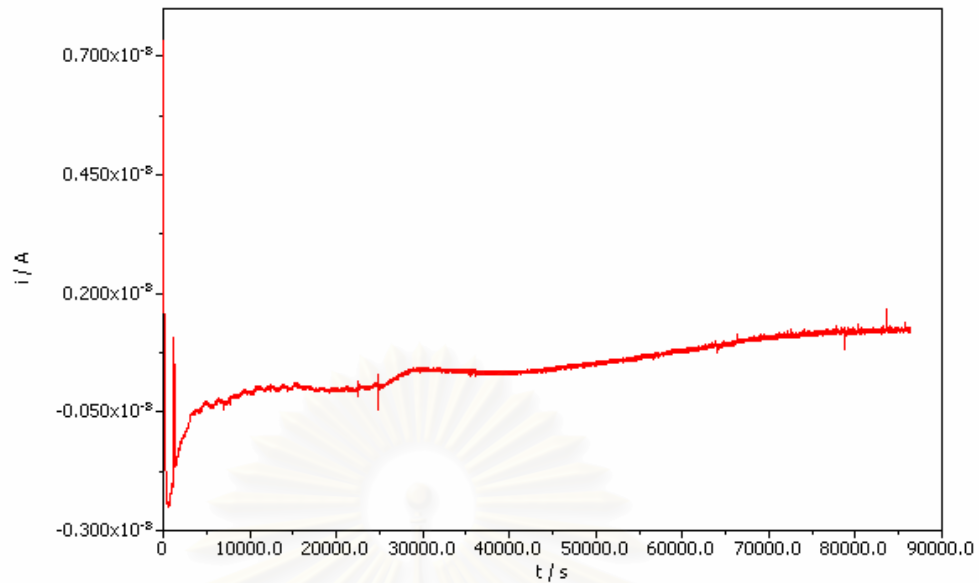
รูปที่ ก.24 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS N 08031 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



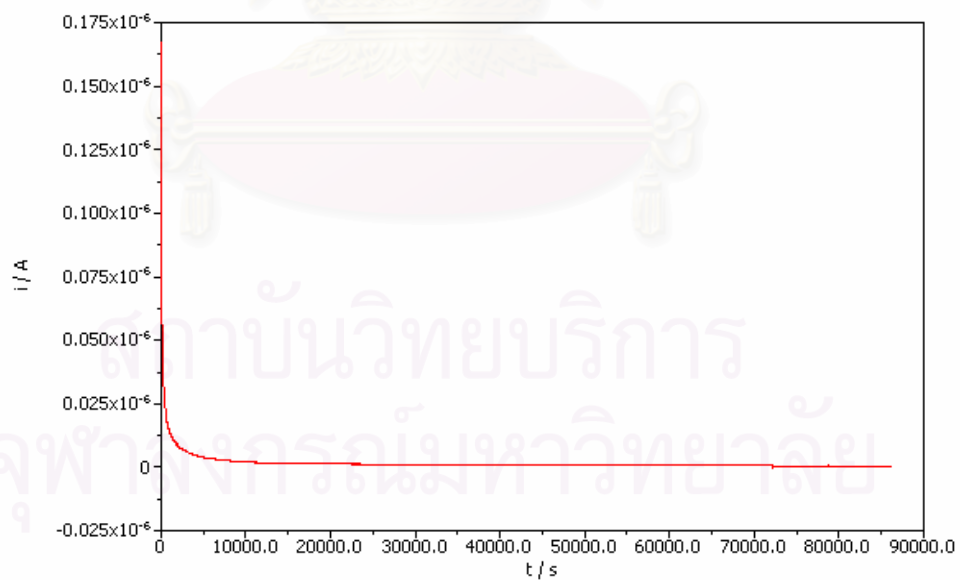
ภาคผนวก ข

ภาพผลการวัดกระแสการกีดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด
UNS N 20033 ในสถานะแวดล้อมการทดลองต่างๆ

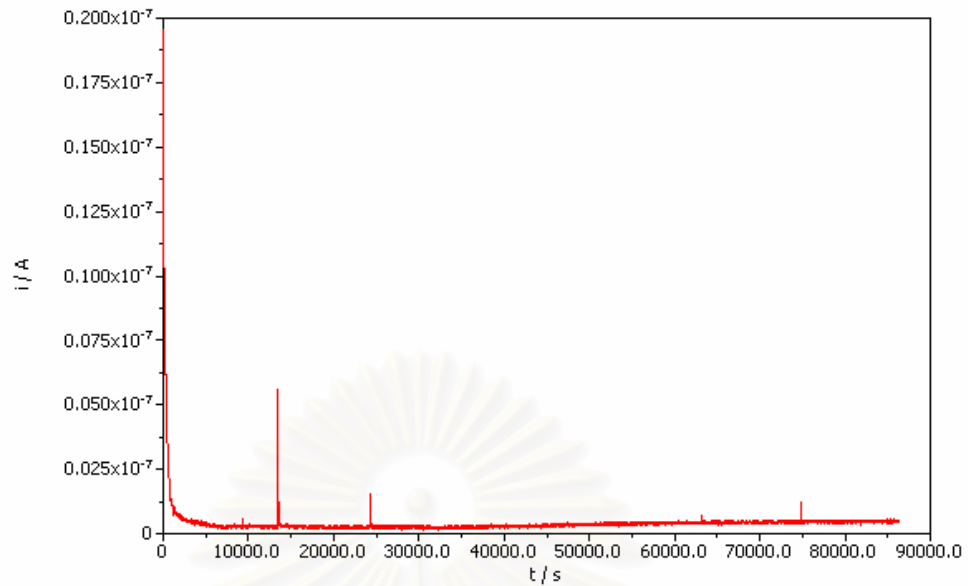
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



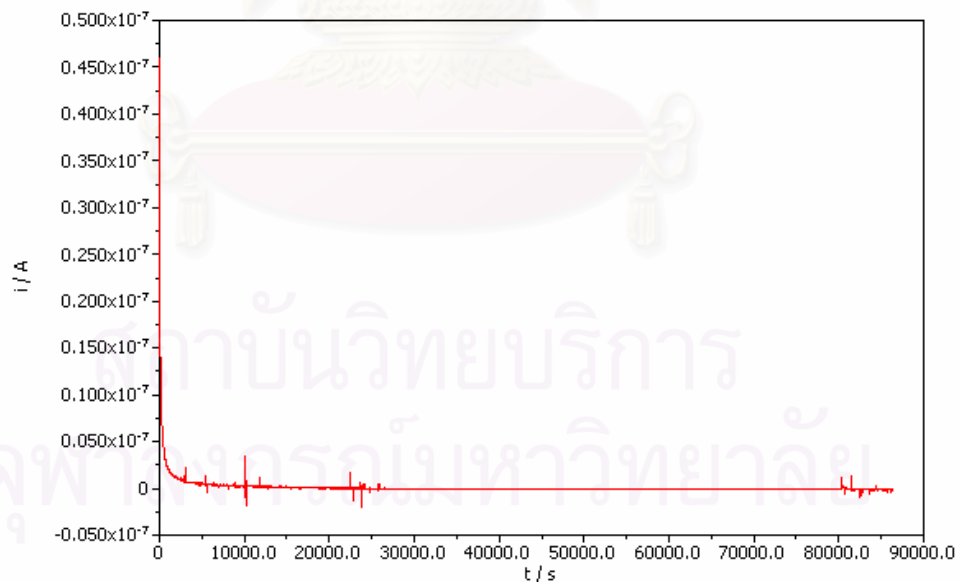
รูปที่ ข.1 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



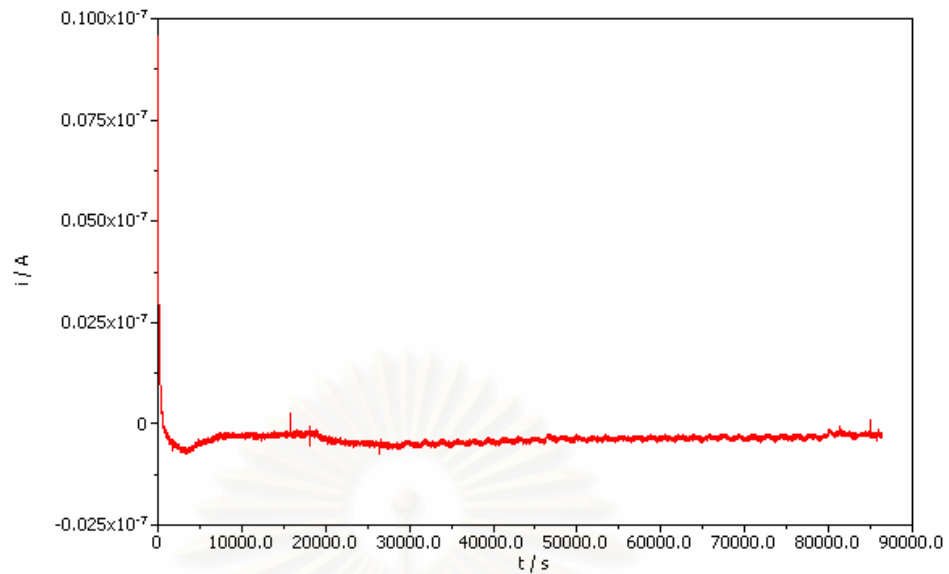
รูปที่ ข.2 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



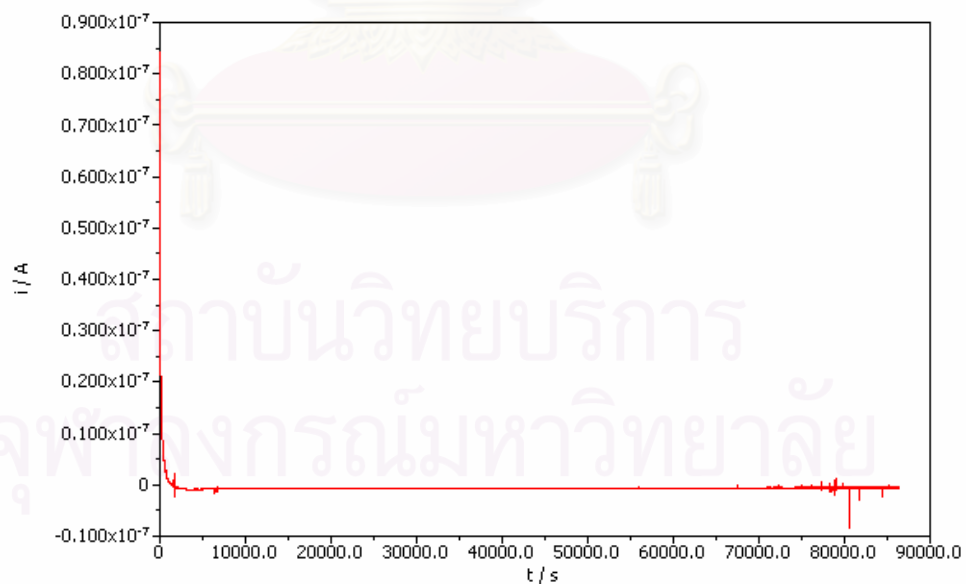
รูปที่ ข.3 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



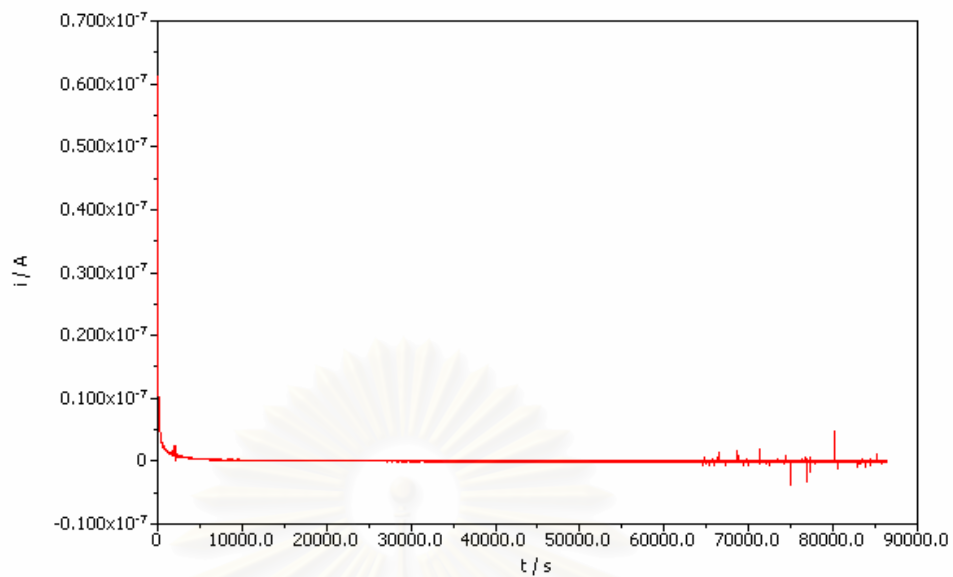
รูปที่ ข.4 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



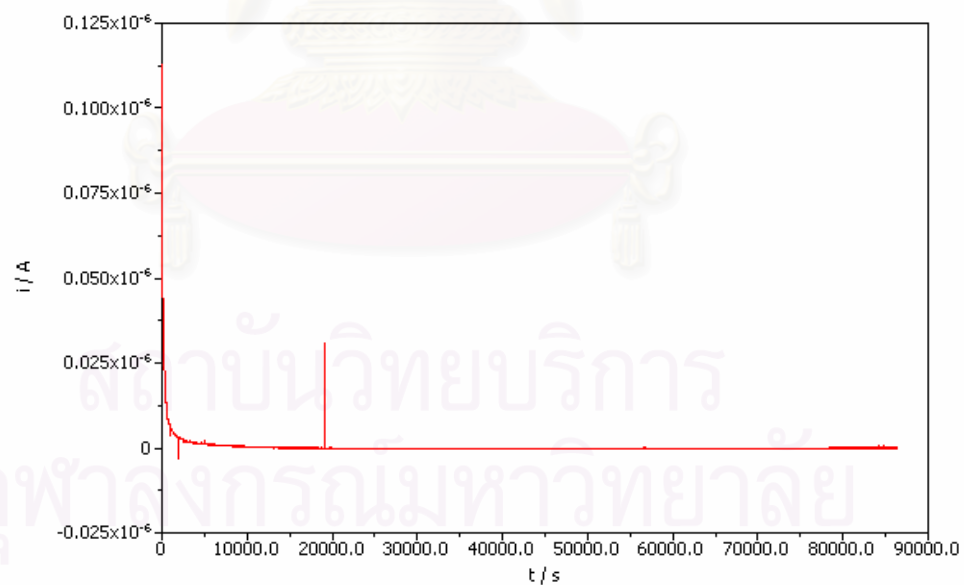
รูปที่ ข.5 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



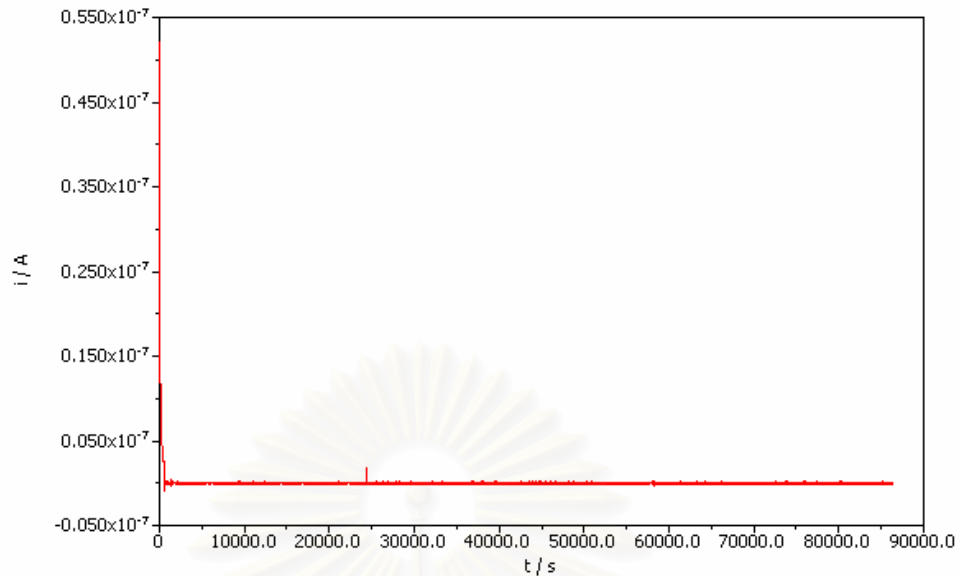
รูปที่ ข.6 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ปกติที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



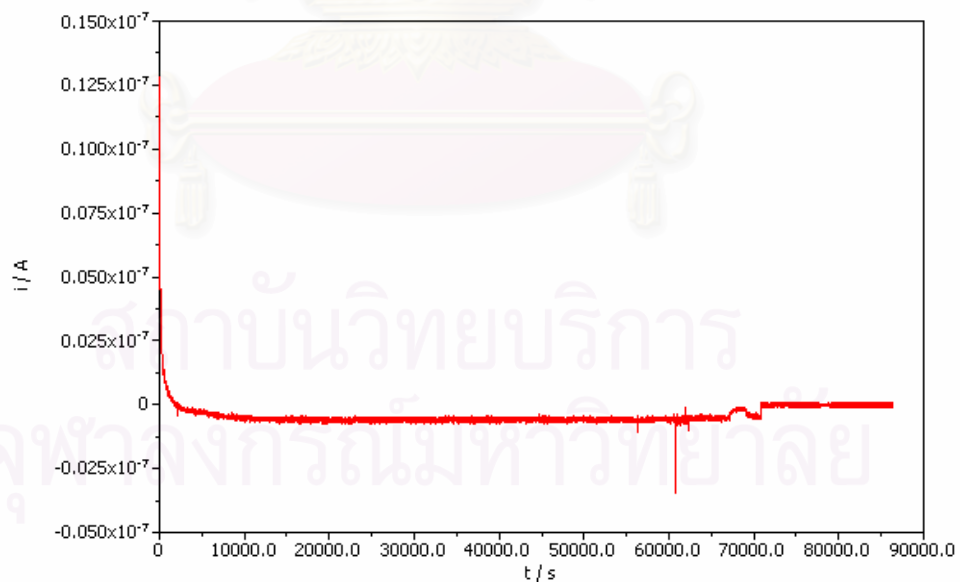
รูปที่ ข.7 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง แบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส



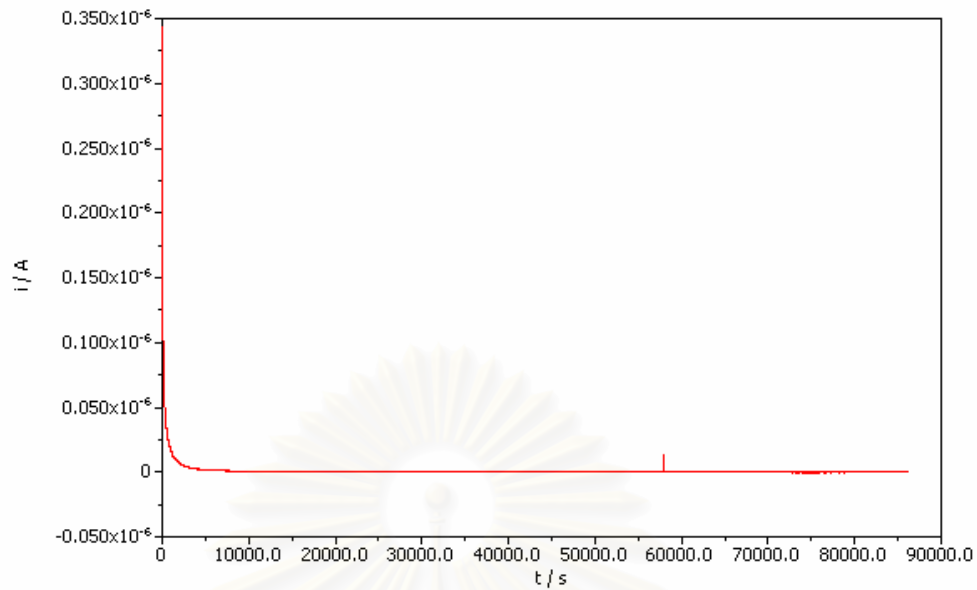
รูปที่ ข.8 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลอง แบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส



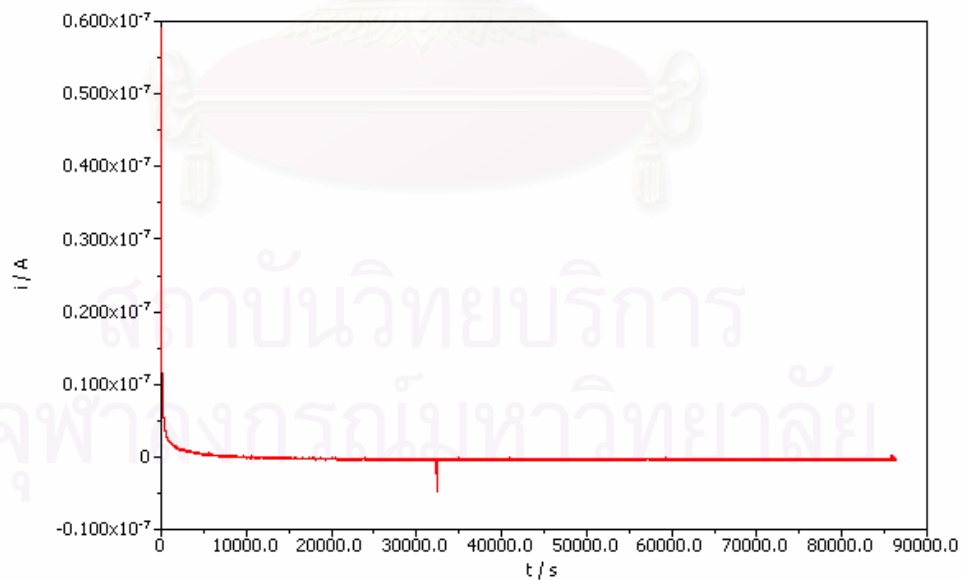
รูปที่ ข.9 ผลการวัดกระแสการกักก่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลองแบบอิมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส



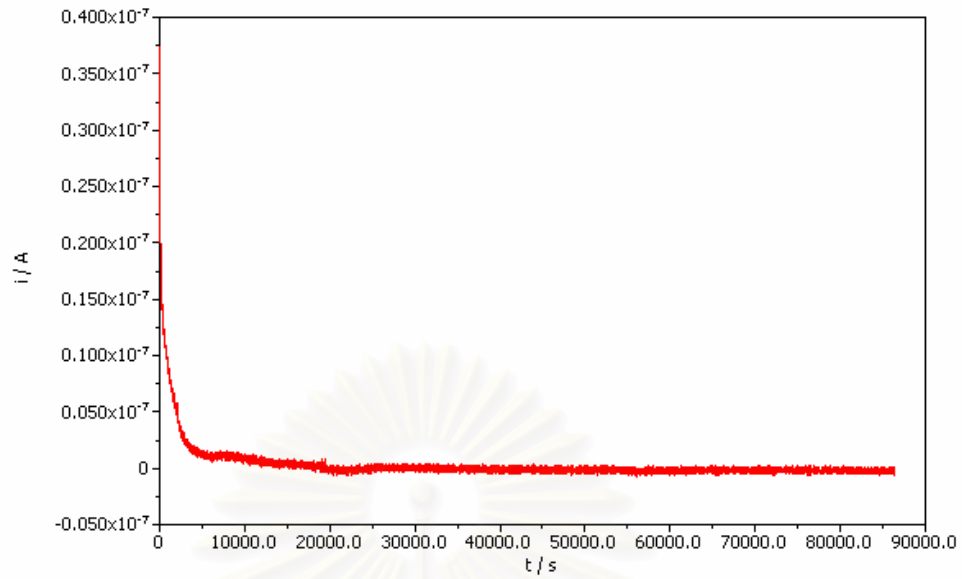
รูปที่ ข.10 ผลการวัดกระแสการกักก่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส



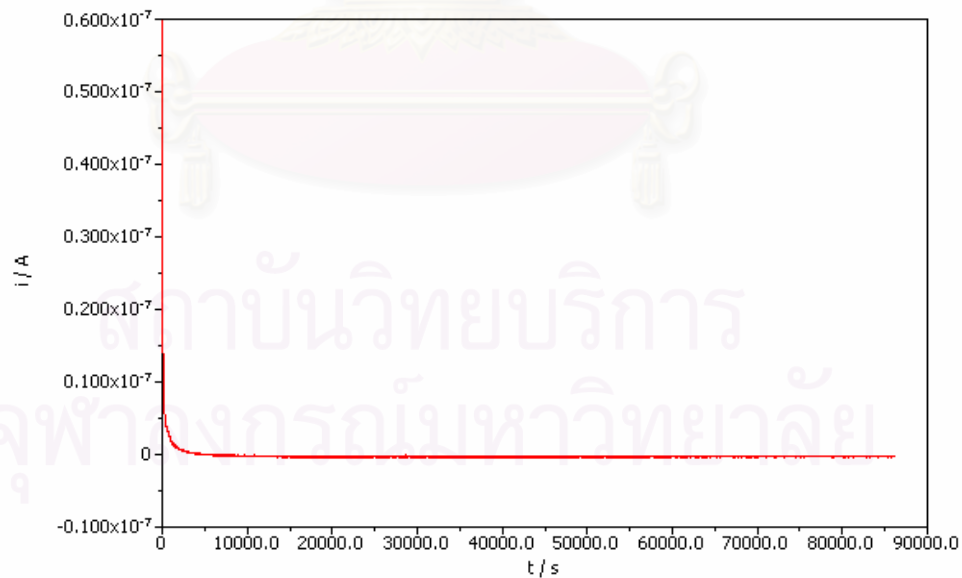
รูปที่ ข.11 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส



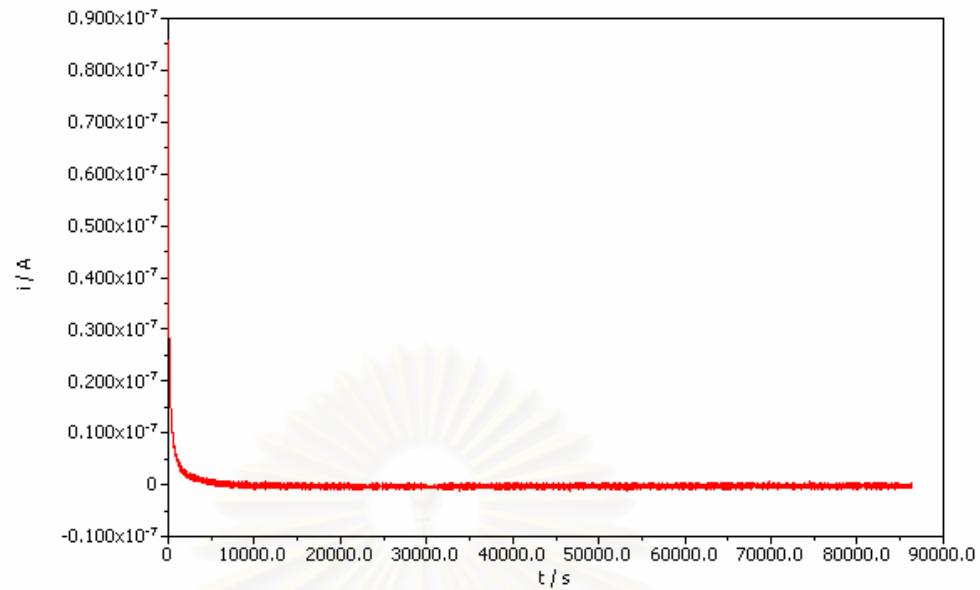
รูปที่ ข.12 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 25 องศาเซลเซียส



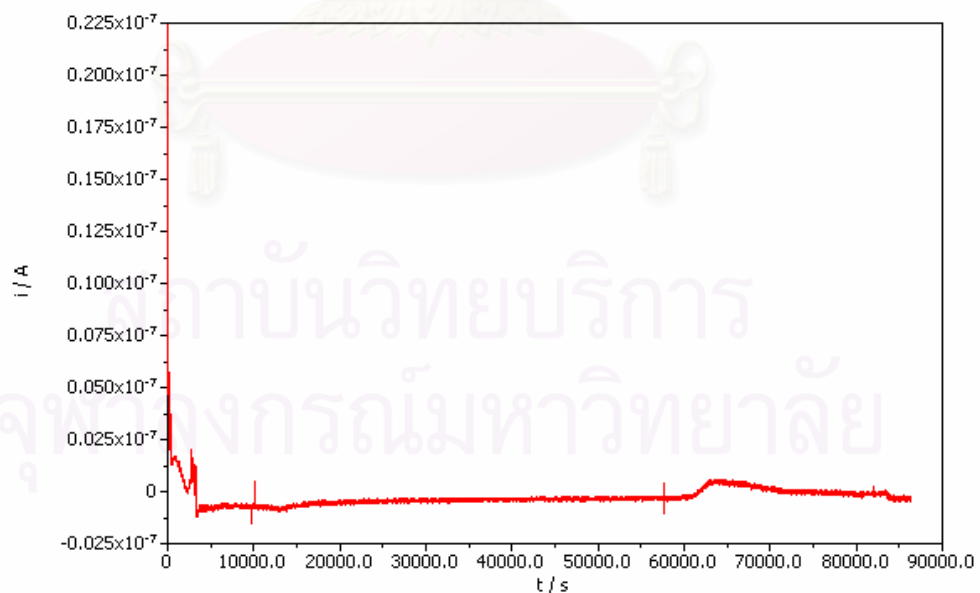
รูปที่ ข.13 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



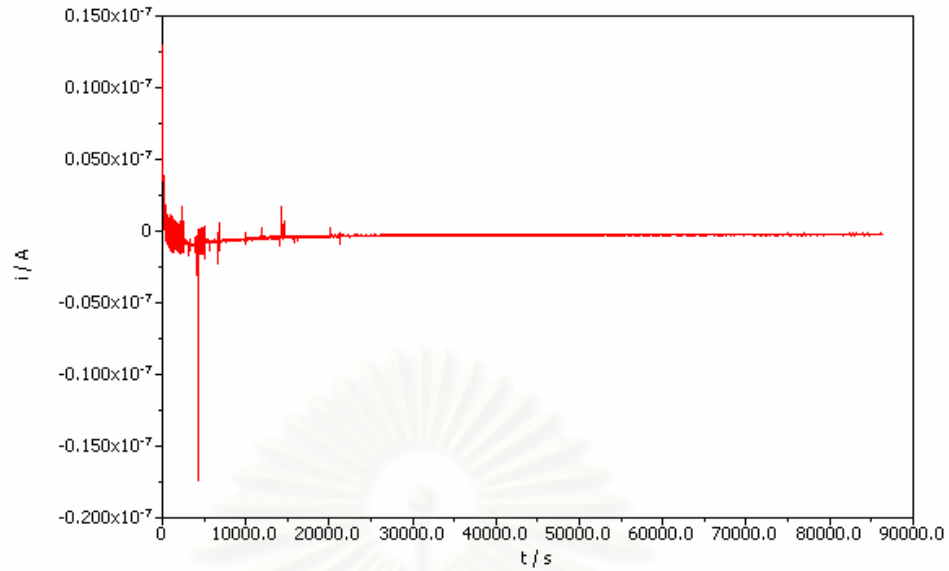
รูปที่ ข.14 ผลการวัดกระแสการกัดกร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



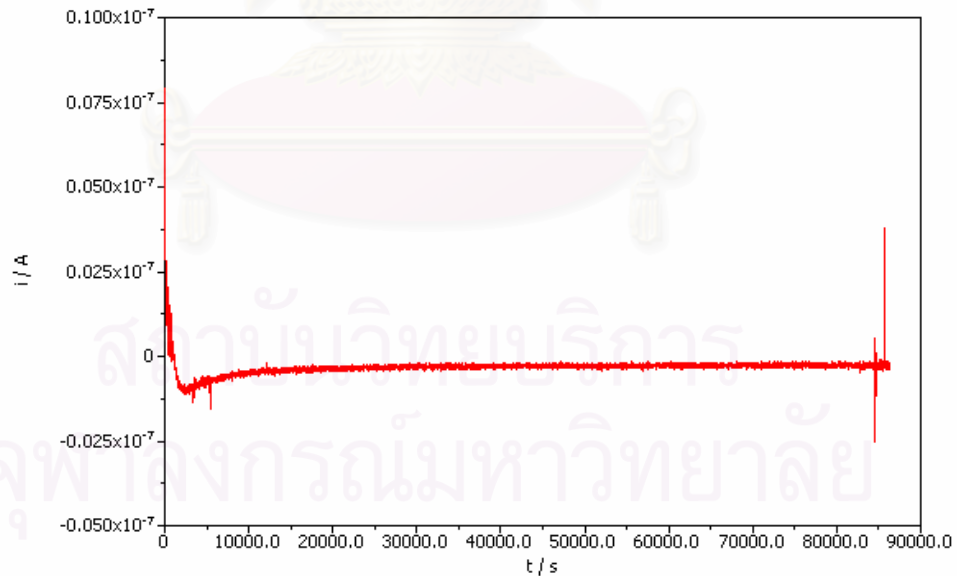
รูปที่ ข.15 ผลการวัดกระแสการกักตร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



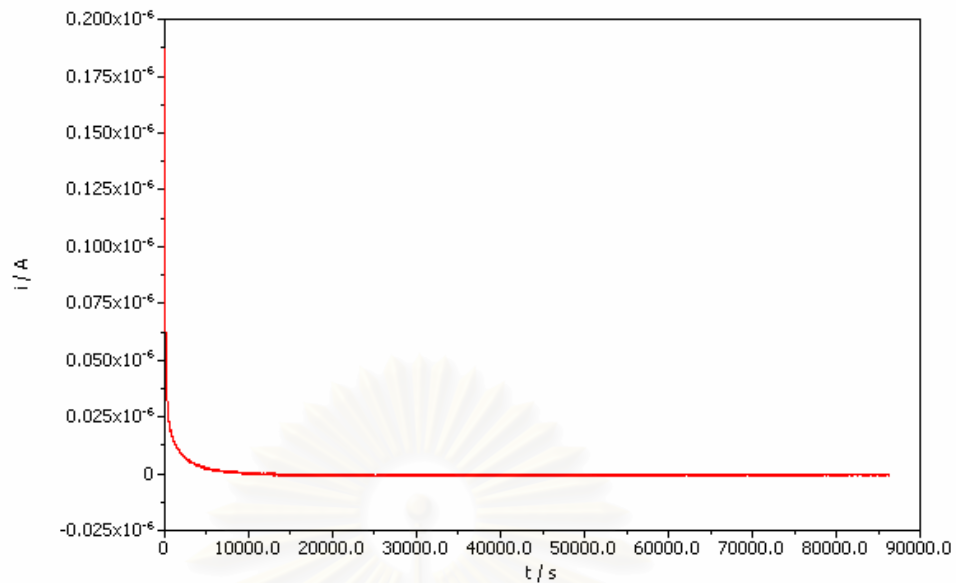
รูปที่ ข.16 ผลการวัดกระแสการกักตร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



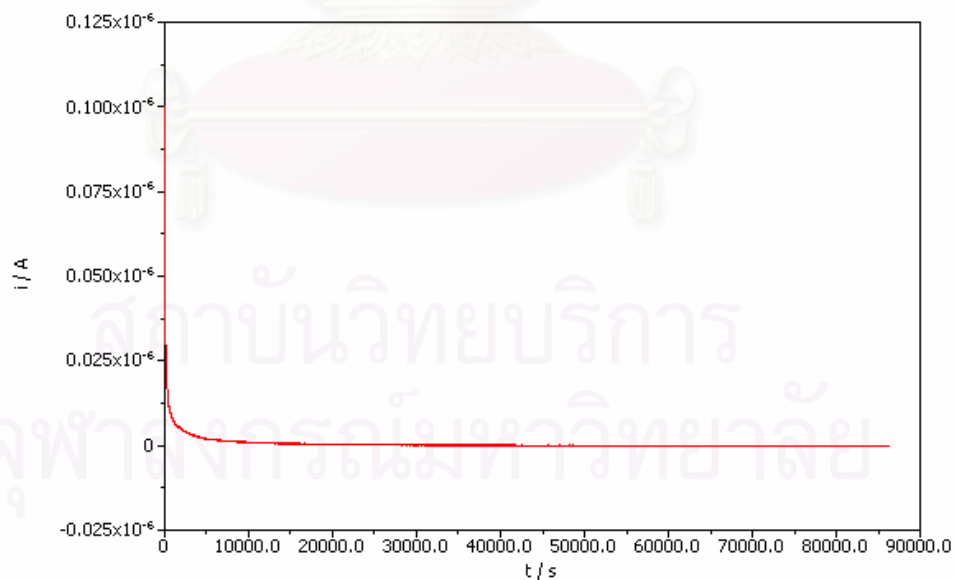
รูปที่ ข.17 ผลการวัดกระแสการกักต่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



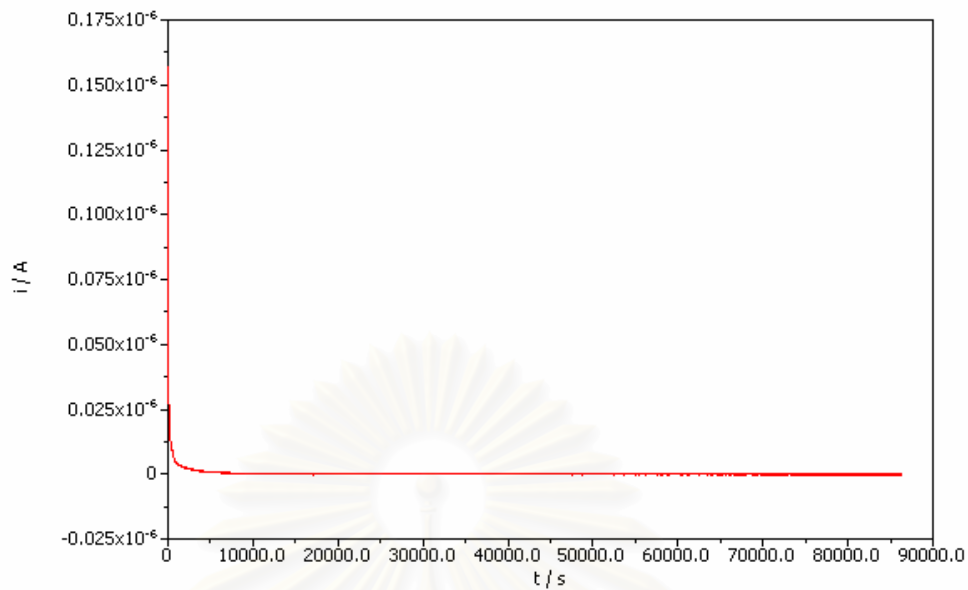
รูปที่ ข.18 ผลการวัดกระแสการกักต่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลอง ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.19 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพโลหะพื้นฐาน ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



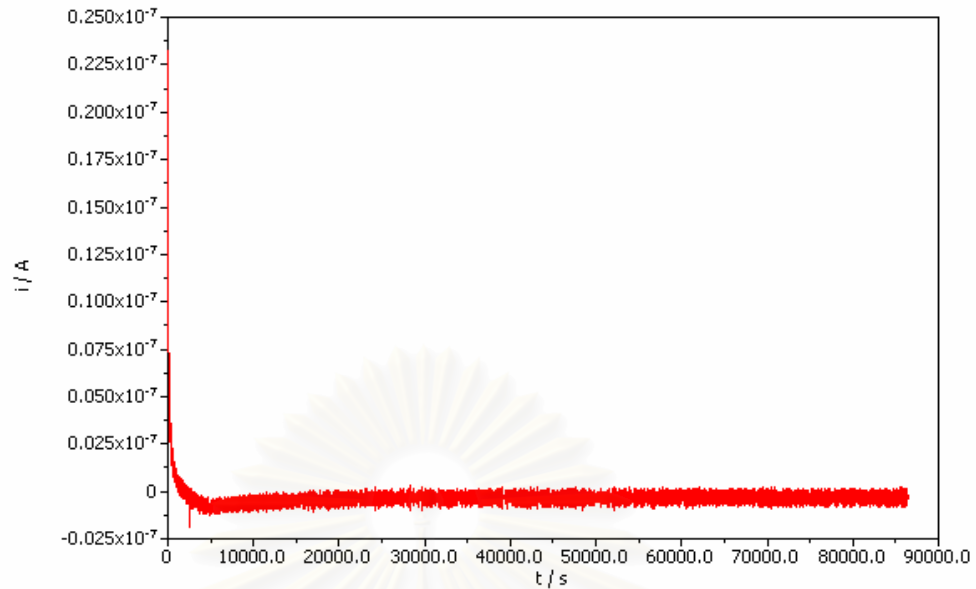
รูปที่ ข.20 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในสภาวะการทดลอง แบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



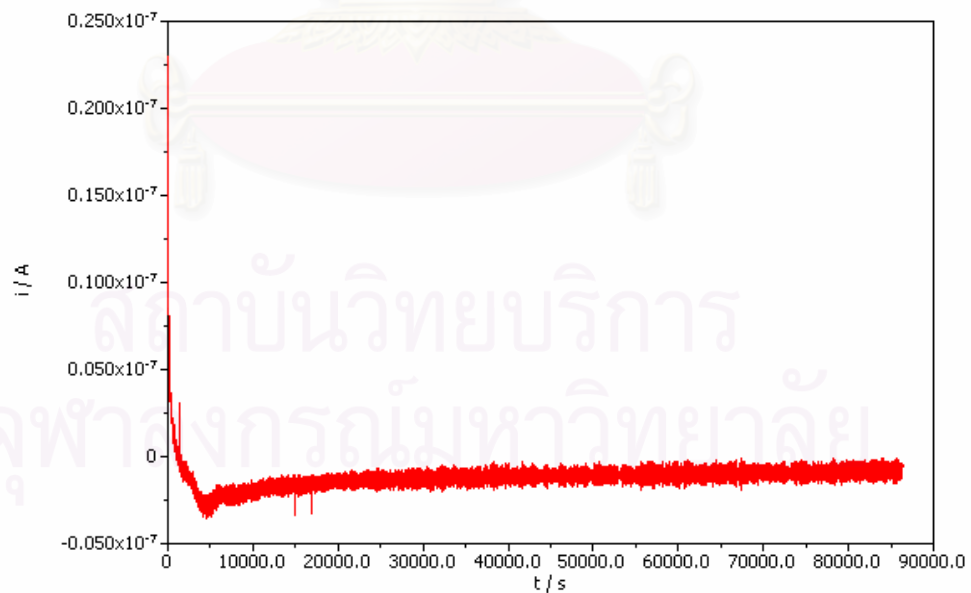
รูปที่ ข.21 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสภาวะการทดลองแบบอิมมัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



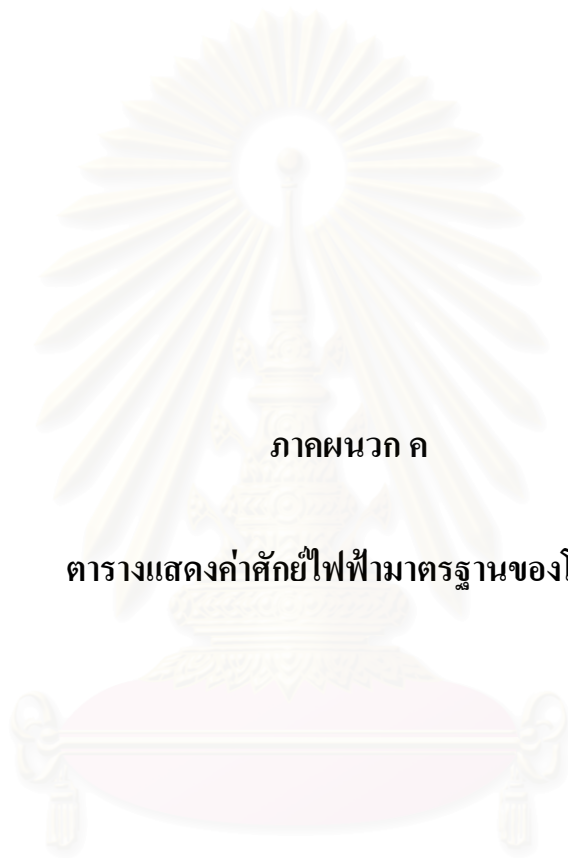
รูปที่ ข.22 ผลการวัดกระแสการกักความร้อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.23 ผลการวัดกระแสการกักตร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ ข.24 ผลการวัดกระแสการกักตร่อนภายในชอกเทียบกับเวลาของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด UNS R 20033 สภาพอบชุบความร้อน ที่ 675 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ในสภาวะการทดลองแบบอิมมิตัวด้วยอากาศ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 50 องศาเซลเซียส



ภาคผนวก ก

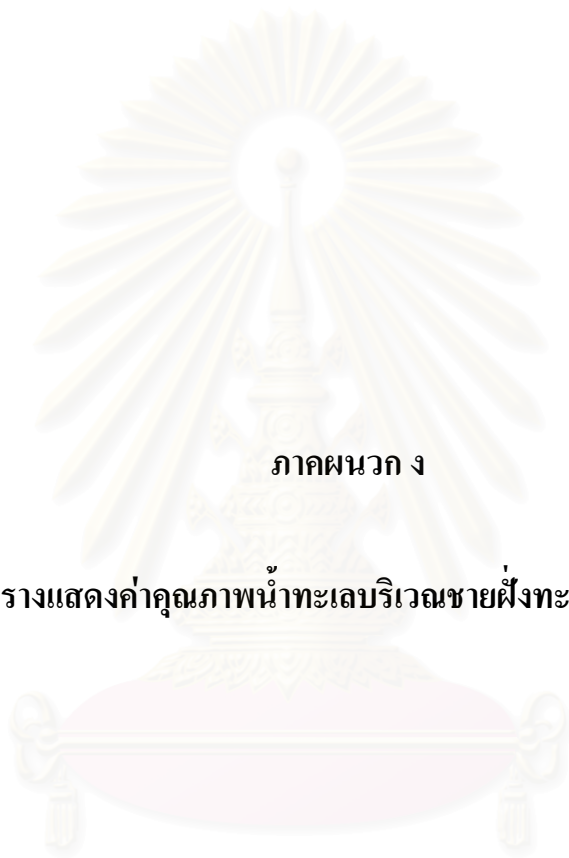
ตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะ(standard emf) เทียบกับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจน (4)

สมมูลโลหะและไอออนโลหะ	ศักย์ไฟฟ้าเทียบกับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
Ni-Ni ⁺²	-0.250
Co-Co ⁺²	-0.277
Cd-Cd ⁺²	-0.403
Fe-Fe ⁺²	-0.440
Cr-Cr ⁺³	-0.744
Zn-Zn ⁺²	-0.763

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ตารางแสดงค่าคุณภาพน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ค่าคุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก (ตุลาคม 2535 – มีนาคม 2536) (13)

ค่าที่ทำการวัด	สถานที่เก็บตัวอย่าง	แหลมฉบัง	มาบตาพุด
อุณหภูมิ (°C)		25.0-31.0	27.0-30.8
ค่าความเค็ม (ppt)		28-36	32-35
ค่า pH		7.93-8.53	7.95-8.39
ค่า DO (mg/l)		5.7-8.0	6.1-7.7
Total Coliform (MPN/100 ml)		< 2-16,000	< 2-2,200

*หมายเหตุ วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

อุณหภูมิ ใช้เทอร์โมมิเตอร์

ค่าความเค็ม ใช้ Refractometer

ค่า pH ใช้ pH-Meter แบบ Electrometric

ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ใช้ Azide Modification

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายจุลดิษฐ์ จายนีโยธิน
วัน/เดือน/ปี เกิด	23 เมษายน 2520
ที่อยู่	1515/14 ถ.พหลโยธิน สามเสนใน พญาไท กรุงเทพฯ 10400
การศึกษา	ปีการศึกษา 2530 ประถมศึกษา โรงเรียนเรวัตี กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2536 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพฯ ปีการศึกษา 2541 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์	02-279-3132
e-mail address	julchab@hotmail.com

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย