

พฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe จากวิธีการเคลือบผิวด้วย
ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

CORROSION BEHAVIOR OF ELECTRODEPOSITED Co-Fe THIN FILM ALLOYS IN
HARD DISK DRIVE READER-WRITER
FABRICATION PROCESS



คพ.
๑/43พ
2558

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **136717**
รับเดือนปี **12 พ.ค. 2558**

b.b.1268.2706
i.....

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL 2015-DS-M-001-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CORROSION BEHAVIOR OF ELECTRODEPOSITED Co-Fe THIN FILM ALLOYS IN
HARD DISK DRIVE READER-WRITER
FABRICATION PROCESS



A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN DATA STORAGE TECHNOLOGY
COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL 2015-DS-M-001-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF DATA STORAGE INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์

พฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe จาก
วิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Thesis Title

CORROSION BEHAVIOR OF ELECTRODEPOSITED
Co-Fe THIN FILM ALLOYS IN HARD DISK DRIVE
READER-WRITER FABRICATION PROCESS

นักศึกษา

นางสาวทิตยา จันเสนา

รหัสประจำตัว

53690201

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์

KMITL-2015-DS-M-001-02

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์	ฐิติรุ่งเรือง
รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์	ผั่งวิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยันต์	เจตนาใส
ดร.ราชศักดิ์	ศักดิ์านุภาพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา	สุทธิเรืองวงศ์

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 16 ธันวาคม 2557 เวลา 10.00 - 12.00 น.

สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)

คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe จากวิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
นักศึกษา	นางสาวอติยา จันเสนา
รหัสนักศึกษา	53690201
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองเป็นสองส่วนคือ การศึกษาการเคลือบผิวของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ด้วยเทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนโดยประมาณเท่ากับ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 ในสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเลือกศึกษาการกัดกร่อนในสารละลาย pH3 pH4 pH5 น้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไฟโรโรโดน จากการศึกษาการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบวนรอบ (Cyclic galvanodynamic polarization) พบว่าช่วงกระแสเท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นของ Co-Fe ที่ใช้เท่ากับ 0.1 โมลาร์ และเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวเท่ากับ 5 ชั่วโมง เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดในการเคลือบผิวจึงเลือกใช้ค่าดังกล่าวนี้ในการสร้างชิ้นงานตัวอย่างโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe เพื่อใช้สำหรับการทดสอบการกัดกร่อน โดยมีการตรวจสอบวิเคราะห์หาอัตราส่วนองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ทุกครั้งก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบการกัดกร่อน จากผลการวิเคราะห์หาอัตราส่วนองค์ประกอบของธาตุพบว่าปริมาณองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้สามารถควบคุมได้จากการกำหนดความเข้มข้นของไอออนของ Co และ Fe ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผิวจากการตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe พบว่าโครงสร้างของ Co-Fe มีรูปร่างเป็นทรงลูกบาศก์ (Cubic) และมีสมบัติความเป็นแม่เหล็กโดยโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe สูงจะมีค่าความเป็นแม่เหล็กหรือค่าแมกเนไทเซชันอิ่มตัวสูงขึ้นจากผลการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชันพบว่าโลหะผสมที่มีปริมาณ Fe สูงขึ้นจะมีความเสี่ยงมากขึ้นต่อการเกิดการกัดกร่อนในสารละลาย pH3 pH4 pH5 และในสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์คือ สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น ยกเว้นสารกลุ่มไฟโรโรโดนและน้ำปราศจากไอออน แต่ถ้าวัดเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของสารเคมีในแต่ละตัวจะพบว่า pH3 เป็นสารที่มีความเสี่ยงในการทำให้เกิดการกัดกร่อนมากที่สุด รองลงมาคือ pH4 และ pH5 ตามลำดับ ส่วนน้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไฟโรโรโดน จะให้ค่าอัตราการกัดกร่อนน้อยในระดับใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Corrosion behavior of electrodeposited Co-Fe thin film alloys in hard disk drive reader-writer fabrication process
Student	Miss Atittaya Chansena
Student ID	53690201
Degree	Master of Engineering
Program	Data Storage Technology
Year	2015
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Sutha Sutthiruangwong

ABSTRACT

This work was separated into two parts, Co-Fe thin film alloys electrodeposition and corrosion behavior study of Co:Fe at the ratio of approximately 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20 in hard disk drive reader-writer fabrication process chemicals. The solution with pH3, pH4, pH5, deionization water, coolant, lubricant and pyrrolidone were selected for corrosion study. The cyclic galvanodynamic polarization has been used for electrodeposition. The current range of 5 mA, total concentration of 0.1 M, and 5 hours of electrodeposition time were the best parameters for this study. Therefore, these parameters were selected for Co-Fe alloys fabrication using in corrosion study. All the compositions of Co-Fe alloys were determined by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) before corrosion measurement. The compositions of Co-Fe alloy can be controlled by adjusting Fe^{2+} and Co^{2+} concentration in the electrodeposition bath. The cubic structure of Co-Fe alloys layer were obtained. High Fe content showed higher magnetization. The corrosion behavior of Co-Fe alloys was studied by using potentiodynamic polarization technique. The potentiodynamic polarization study revealed that the alloy with high Fe content showed higher corrosion risk in pH3, pH4, pH5, lubricant and coolant that used in reader-writer fabrication process (except deionization water and pyrrolidone) than that of low Fe content alloy. But in term of corrosion susceptibility, pH3 showed higher corrosion rate than pH4 and pH5 respectively. Deionization water, coolant, lubricant and pyrrolidone showed low corrosion rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณที่ตีแก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรืองและผศ.ดร.ศิริเดช บุญแสงกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณบริษัทเวสเทิร์นดิจิตอล ประเทศไทย จำกัด ที่อำนวยความสะดวกและให้การสนับสนุนในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ขอขอบคุณ วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งให้ข้อมูลและความรู้ด้านฮาร์ดดิสไดร์ฟ

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ความสนับสนุนด้านทุนการศึกษาและทุนในการวิจัย

อติตยา จันเสนา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานในการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 ทฤษฎีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electrodeposition).....	5
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	5
2.1.2 สารแม่เหล็ก (Ferromagnetic).....	5
2.1.3 โดเมนและฮิสเทอรีซิสลูป (domain and hysteresis loop).....	6
2.1.4 เทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	9
2.1.4.1 เทคนิคการเคลือบผิวแบบไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry, CV).....	9
2.1.4.2 เทคนิคการเคลือบผิวแบบพัลส์ (Pulse).....	10
2.1.5 เทคนิคการตรวจสอบคุณสมบัติของการเคลือบผิว.....	11
2.1.5.1 การตรวจสอบวิเคราะห์หาอัตราส่วนองค์ประกอบของธาตุ ด้วยเทคนิคการวัดรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF).....	11
2.1.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD).....	13
2.1.5.3 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.5.4 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัด สมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM).....	19
2.1.5.5 การวิเคราะห์หองค์ประกอบระดับโมเลกุลของฟิล์มบางด้วยเทคนิค Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (ToF-SIMS)	19
2.2 ทฤษฎีและหลักการของการกัดกร่อนการกัดกร่อน (Corrosion).....	20
2.2.1 การกัดกร่อน (Mechanism of corrosion).....	20
2.2.1.1 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง (Direct chemical corrosion).....	20
2.2.1.2 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical corrosion).....	21
2.2.2 โพล่าไรเซชัน (Polarization)	25
2.2.3 โพล่าไรเซชันของการกัดกร่อน (Corrosion of Polarization)	25
2.2.4 สภาวะที่มีผลต่อการกัดกร่อน	26
2.2.4.1 การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำและสารละลายของน้ำ	26
2.2.4.2 ผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำต่อการกัดกร่อน.....	28
2.2.4.3 ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่อการกัดกร่อน.....	29
2.2.4.4 ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำต่อการกัดกร่อน.....	30
2.2.4.5 การกัดกร่อนในน้ำที่อุณหภูมิสูง.....	31
2.2.4.6 การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่เป็นบรรยากาศ	31
2.2.4.7 การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรม.....	32
2.2.5 การทดสอบการกัดกร่อน.....	37
2.2.5.1 จุดประสงค์ของการทดสอบการกัดกร่อน	37
2.2.5.2 การเตรียมชิ้นงานโลหะสำหรับการทดสอบการกัดกร่อน.....	37
2.2.5.3 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพล่าไรเซชัน (Potentiodynamic Polarization)	38
2.2.5.4 การทดสอบโดยเครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat).....	39
2.2.6 จลศาสตร์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อน.....	41
2.2.6.1 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law).....	42
2.2.7 แผนภาพโพเบ (Pourbaix diagram).....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน.....	47
2.3.1 สารช่วยลดความร้อน.....	47
2.3.2 สารหล่อลื่น.....	48
2.3.3 สารกลุ่มไพโรรีโดน.....	49
2.4 วรรณกรรมและกรอบแนวคิด.....	49
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	55
3.1 การสร้างชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มบาง Co-Fe.....	55
3.1.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการเคลือบผิว.....	55
3.1.2 เตรียมสารละลายCo-Fe สำหรับเคลือบผิว.....	55
3.1.3 การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	56
3.1.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเคลือบผิว.....	56
3.1.5 การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe.....	57
3.1.6 เลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดของการเคลือบผิว.....	57
3.2 การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน.....	57
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	59
4.1 ผลของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	59
4.1.1 ผลของช่วงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว.....	59
4.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว.....	62
4.1.3 ผลของความเข้มข้นของไอออนสำหรับการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	64
4.1.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe.....	65
4.1.4.1 การตรวจสอบอัตราส่วนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ด้วยเทคนิค การวัดรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF).....	66
4.1.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของโลหะผสม Co-Fe ด้วยเทคนิค การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD).....	67
4.1.4.3 การตรวจสอบความหนาของชั้นฟิล์ม Co-Fe จากการศึกษา ภาคตัดขวาง (Cross section).....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.4.4 ตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM)	70
4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อน	71
4.2.1 การทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3	71
4.2.2 การทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4	74
4.2.3 การทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5	77
4.2.4 การทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน (Deionization water)	80
4.2.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนระหว่างสารละลาย pH3 pH4 pH5 และน้ำปราศจากไอออน	84
4.2.6 การทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน (Coolant)	85
4.2.7 การทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น (Lubricant)	89
4.2.8 การทดสอบการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรลิโดน (Pyrrolidone)	91
4.2.9 เปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	94
4.2.10 การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุที่เหลือจากการทดสอบการกัดกร่อน	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	97
5.1 การศึกษาการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	97
5.1.1 ผลของช่วงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว	97
5.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว	97
5.1.3 ผลของความเข้มข้นของไอออนสำหรับการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	97
5.1.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe	97
5.2 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการกัดกร่อน	98
เอกสารอ้างอิง	99
ภาคผนวก	103
ประวัติผู้เขียน	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของโลหะสารแม่เหล็ก ferromagnetic.....	6
2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน	23
4.1 ปริมาณองค์ประกอบของธาตุจาก XRF ตามเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว.....	63
4.2 ค่าที่แท้จริงของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวจาก XRF.....	64
4.3 ตารางเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของไอออนสารละลาย.....	65
4.4 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF	66
4.5 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน ในสารละลาย pH3.....	71
4.6 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารละลาย pH 3.....	73
4.7 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน ในสารละลาย pH4.....	75
4.8 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารละลาย pH4.....	76
4.9 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน ในสารละลาย pH5.....	78
4.10 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารละลาย pH5.....	79
4.11 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจาก ไอออน.....	81
4.12 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในน้ำปราศจากไอออน.....	82
4.13 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วย ลดความร้อน.....	86
4.14 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารช่วยลดความร้อน.....	88
4.15 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น...89	
4.16 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารหล่อลื่น	90
4.17 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน ในสารกลุ่มไพโรริโดน.....	92
4.18 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารกลุ่มไพโรริโดน.....	93
4.19 เปรียบเทียบอัตราส่วนของ Co และ Fe ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อน ด้วยสารละลาย pH5	96
4.20 อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ที่หายไปของ Co และ Fe หลังการทดสอบการกัดกร่อน.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 หัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.....	2
1.2 ตัวอย่างชั้นโลหะผสมของหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.....	2
2.1 การเปลี่ยนทิศทางของโมเมนต์แม่เหล็กข้ามกำแพงโดเมน.....	6
2.2 การจัดเรียงตัวของโดเมนแม่เหล็กในวัสดุเมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก.....	7
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก.....	7
2.4 Hysteresis loop ของวัสดุจำพวกเฟอร์โรแมกเนติกส์.....	9
2.5 แบบของศักย์ไฟฟ้าที่ให้ในไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	9
2.6 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม.....	10
2.7 กราฟของเทคนิคการเคลือบผิวแบบพัลส์.....	11
2.8 ขั้นตอนการเกิดรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่าง.....	12
2.9 ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์.....	13
2.10 กฎของเบรค (Bragg's law).....	14
2.11 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์.....	15
2.12 การเกิดรังสีเอ็กซ์.....	16
2.13 การหักเหแสงของกล้องจุลทรรศน์.....	16
2.14 ทางเดินแสงของกล้องจุลทรรศน์.....	17
2.15 หลักการทำงานของเครื่อง SEM.....	17
2.16 แสดงภาพSEM ของการชุบเคลือบFe-Ni ที่มีอัตราส่วน Fe (a) 0; (b) 38; (c) 48; (d) 64; (e) 78; (f) 100 at%.....	18
2.17 โครงสร้างของ VSM.....	19
2.18 การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเหล็กในสารละลายกรดที่ปราศจากออกซิเจน.....	22
2.19 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาริเซชัน.....	26
2.20 อันตรกิริยาของน้ำกับผิวโลหะ.....	26
2.21 การเกิดการกัดกร่อนจากน้ำ (Water corrosion) ตาม Bockris mechanism.....	27
2.22 การเกิดฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนจากอันตรกิริยากับน้ำ (Water passivation).....	28
2.23 ผลของpH ต่อการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำที่มีออกซิเจนที่ปรับค่า pH ด้วย กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH).....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 ผลของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำที่มี CaCl ₂ 165 ppm.....	30
2.25 ผลของอุณหภูมิต่อการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่	31
2.26 ผลการเติมสารออกซิไดซ์เพิ่มในสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ	32
2.27 ผลของความเร็วของสารละลายรอบๆโลหะต่ออัตราการกัดกร่อน	34
2.28 ผลของความเข้มข้นของสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนต่ออัตราการกัดกร่อน.....	35
2.29 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิต่ออัตราการกัดกร่อน.....	36
2.30 Polarization Curve จากการทดลองวิธีPotentiodynamic Polarization	38
2.31 การติดตั้งชุดทดลองแบบ Potentiostat.....	39
2.32 แผนผังอย่างง่ายของโพเทนชิโอสแตต.....	40
2.33 การใช้งานของสะพานเกลือ.....	41
2.34 แผนภาพศักย์ไฟฟ้า/pH แสดงสถานะของน้ำและผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำ.....	44
2.35 แผนภาพโพเบของเหล็ก.....	46
2.36 แผนภาพโพเบของโคบอลต์.....	47
2.37 กราฟเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของ Fe Co และ Ni.....	50
3.1 เซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับการเคลือบผิว.....	56
4.1 ปฏิกิริยาของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	60
4.2 ลักษณะพื้นผิวจากผลของช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว	60
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาที่ใช้สำหรับการเคลือบผิว.....	61
4.4 รอยไหม้จากการศึกษาผลของช่วงกระแสที่ใช้ในการเคลือบผิว	61
4.5 ธาตุองค์ประกอบหลักที่พบบนรอยไหม้.....	62
4.6 องค์ประกอบของสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ.....	62
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวและปริมาณทองแดงที่พบ.....	63
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลือบผิวกับเปอร์เซ็นต์ Fe ที่ได้	64
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิว ..66	66
4.10 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 23.78:76.22.....	67
4.11 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 37.45:62.55.....	68
4.12 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 59.10:40.90.....	68
4.13 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 78.83:21.17.....	69
4.14 ความหนาของฟิล์ม Co-Fe จากการศึกษาภาคตัดขวาง.....	69

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ประโยชน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 วงฮิสเทอริซิสของโลหะผสมฟิล์มบางที่อัตราส่วนต่างๆ	70
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH3	72
4.17 กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารละลาย pH 3.....	73
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในสารละลาย pH3.....	74
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH3	74
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH4	75
4.21 กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารละลาย pH4	76
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในสารละลาย pH4	77
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH4	77
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH5.....	78
4.25 กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารละลาย pH 5.....	79
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในสารละลาย pH5.....	80
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH5	80
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน.....	81
4.29 กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในน้ำปราศจากไอออน ...	82
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในน้ำปราศจากไอออน	83
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32	เปรียบเทียบกราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ในสารละลาย pH3 pH4 pH5 และน้ำปราศจากไอออน.....85
4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน86
4.34	กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารช่วยลดความร้อน .87
4.35	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในสารช่วยลดความร้อน88
4.36	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน88
4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น89
4.38	กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารหล่อลื่น90
4.39	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในสารหล่อลื่น.....91
4.40	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น.....91
4.41	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรริโดน92
4.42	กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารกลุ่มไพโรริโดน93
4.43	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (icorr) ในสารกลุ่มไพโรริโดน.....94
4.44	ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรริโดน94
4.45	อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยในสารเคมีต่างๆ95
4.46	เปรียบเทียบค่าอัตราการกัดกร่อนระหว่างสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....95

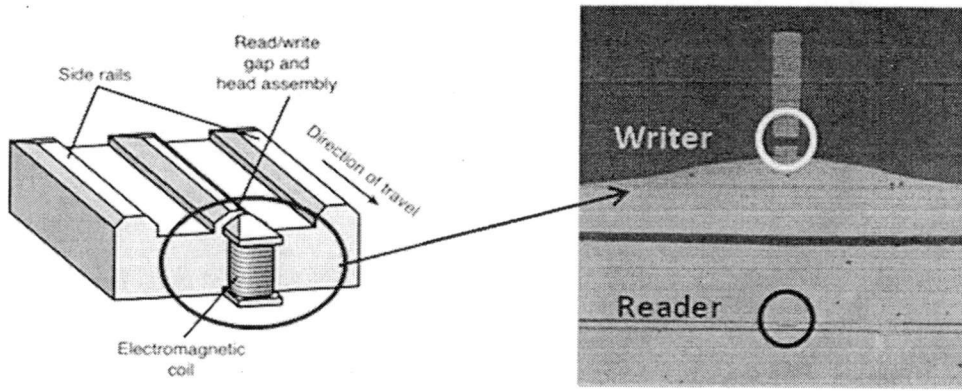
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

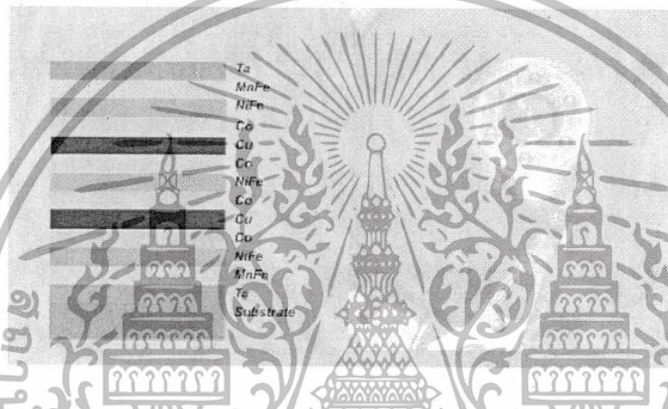
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการแข่งขันกันในด้านคุณภาพและความสามารถในการบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งการกักร่อนเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่ส่งผลต่อการลดความสามารถของการบันทึกข้อมูลเนื่องจากส่วนประกอบที่สำคัญส่วนใหญ่ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตขึ้นจากโลหะโดยเฉพาะหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้ได้ทำการผลิตขึ้นจากโลหะผสมฟิล์มบางที่มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กดังแสดงในรูปที่ 1.1 และ 1.2 เพื่อใช้เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่สำหรับบันทึกข้อมูล และเป็นส่วนประกอบที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาการกักร่อนสูงมาก เมื่อวัสดุนี้สัมผัสกับสารเคมีหรือสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตจึงมีโอกาสเกิดการกักร่อนของโลหะผสมฟิล์มบางดังกล่าวขึ้นเมื่อเกิดการกักร่อนขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการอ่านและบันทึกข้อมูล ทำให้ประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลลดลง ซึ่งมีนักวิจัยเคยศึกษาพบว่า Fe มีสมบัติความเป็นแม่เหล็กอิมพิวเตอร์ที่สุดเมื่อเทียบกับ Co และ Ni เมื่อต้องการเพิ่มคุณสมบัติและความสามารถในการบันทึกข้อมูลให้มากขึ้นจะต้องเพิ่มอัตราส่วนของ Fe [1] ดังนั้นเมื่อมีการพัฒนาโลหะผสมฟิล์มบางชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูงขึ้นนั้นจะต้องคำนึงถึงผลกระทบของการกักร่อนที่จะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต อีกทั้งโลหะผสมฟิล์มบางนี้ยังไม่ได้ผลิตขึ้นในประเทศไทย จึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้าโลหะผสมฟิล์มบางตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบความเสี่ยงต่อการกักร่อนกับสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน รวมถึงสารเคมีใหม่ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรมการกักร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่ใช้เป็นวัสดุในการทำหน้าที่เป็นหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีค่ามากในการออกแบบและพัฒนา รวมไปถึงการวางแผนการผลิตและข้อมูลดังกล่าวนี้จะนำไปสู่ความเข้าใจและทำให้สามารถป้องกันการกักร่อนได้ต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้อยลง และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าโลหะผสมฟิล์มบางเพื่อการทดสอบการกักร่อน



รูปที่ 1.1 หัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างชั้นโลหะผสมของหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้ มุ่งศึกษาพฤติกรรมการกักกัรอนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่ใช้เป็นวัสดุในการทำหน้าที่เป็นหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเริ่มต้นด้วยการศึกษาการสร้างชั้นฟิล์มบางของโลหะผสมฟิล์มบางด้วยวิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบการกักกัรอน และศึกษาพฤติกรรมการกักกัรอนของโลหะผสมฟิล์มบางที่สร้างได้ต่อสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญมากในการออกแบบและพัฒนา รวมไปถึงการวางแผนการผลิตและข้อมูลดังกล่าวนี้จะนำไปสู่ความสามารถในการป้องกันการกักกัรอนต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้อยลง และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าโลหะผสมฟิล์มบางเพื่อการทดสอบการกักกัรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานในการศึกษา

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหวังเพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ในแต่ละอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co:Fe ต่อสารเคมีในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากปัญหาของการกัดกร่อนที่มีโอกาสเกิดขึ้นกับวัสดุโลหะผสมฟิล์มบาง เมื่อวัสดุนั้นไปสัมผัสกับสารเคมีและสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการเตรียมวัสดุโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe เนื่องจาก ได้มีผู้ศึกษาพบว่าโลหะผสมฟิล์มบางนี้เป็นวัสดุแม่เหล็กแบบอ่อน (Soft magnetic material) และมีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation magnetization, M_s) สูง [3] และยังมีผู้ศึกษาพบว่า Co และ Fe มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูงกว่า Ni ที่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กประเภทเดียวกัน [1] การศึกษานี้เลือกวิธีเคลือบผิวด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าโดยการควบคุมกระแสสำหรับการเคลือบผิวแบบวนรอบเนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถกำหนดช่วงของกระแสในการเคลือบผิวได้ สามารถจ่ายกระแสแบบวนรอบในช่วงกระแสที่ต้องการได้ และที่สำคัญอุปกรณ์เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potensioestat) ที่มีอยู่สามารถทำการเคลือบผิวด้วยเทคนิคนี้ได้ [4] หลังจากที่ได้ขึ้นงานโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe แล้วจะนำชิ้นงานที่ได้ไปศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนต่อสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยใช้การทดสอบแบบโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic polarization)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

เตรียมชิ้นงานโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ด้วยเทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าด้วยอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co:Fe ต่างกันคือ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 แล้วนำชิ้นงานโลหะผสมฟิล์มบางที่ได้นี้ไปทดสอบการกัดกร่อนในสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบางต่อสารเคมีแต่ละชนิด

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.6.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า
- 1.6.2 สร้างชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มบาง Co-Fe โดยเลือกจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดของการเคลือบผิว
- 1.6.3 ตรวจสอบสมบัติของฟิล์มบาง Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิว
- 1.6.4 สร้างชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มบาง Co-Fe เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน
- 1.6.5 ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนในสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electrodeposition)

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า [5]

2.1.1.1 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่กระแสไหลผ่านตัวมัน ซึ่งตัวนำไฟฟ้านี้จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยตรง เมื่อเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้แผ่นแพลทินัมเป็นขั้วไฟฟ้า อนุภาคกลุ่มหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแอโนด (Anode) หรือขั้วบวก อนุภาคเล็กๆอีกกลุ่มหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแคโทด (Cathode) หรือขั้วลบ ซึ่งอนุภาคเหล่านี้ถูกเรียกว่าไอออน (Ions) แต่ละไอออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัว ไอออนที่วิ่งไปยังขั้วบวกเรียกว่าไอออนลบ (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าลบประจำตัว ไอออนที่วิ่งไปยังขั้วลบเรียกว่าไอออนบวก (Cations) จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกประจำตัว

2.1.1.2 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH value)

ค่าความเป็นกรด-เบสมีอิทธิพลต่อการเคลือบผิวโลหะอย่างมาก กล่าวคือถ้าค่าความเป็นกรด-เบสน้อย แสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคโทดลดต่ำลง ถ้าค่าความเป็นกรด-เบสมาก แสดงว่าน้ำยามีสภาพความเป็นเบสมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแอโนดลดต่ำลง การควบคุมค่าความเป็นกรด-เบสจึงสำคัญมาก

2.1.1.3 ความหนาแน่นของกระแส (Current density)

ความหนาแน่นของกระแสของขั้วแคโทด คือกระแสที่ช่วยให้เกิดการเคลือบที่ขั้วไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เนื่องจากชิ้นงานมีพื้นที่ต่างกันจึงต้องคำนวณพื้นที่ก่อนเพื่อที่จะควบคุมความหนาแน่นของกระแส

2.1.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว

ธรรมชาติของการเดินทางของกระแสในการเคลือบผิวโลหะนั้นกระแสจะเดินทางไปยังจุดที่ใกล้เคียงที่สุดอย่างหนาแน่น จุดที่ห่างไกลกระแสจะเบาบางลง การเดินทางของกระแสคือการเดินทางของไอออนบวกไปยังขั้วแคโทด ดังนั้นส่วนใดที่มีกระแสเดินทางไปอย่างหนาแน่นมีเกิดการเกาะจับหนา ส่วนที่มีกระแสเดินทางไปอย่างเบาบางก็จะมีเกาะจับบางลง

2.1.2 สารแม่เหล็ก (Ferromagnetic) [6]

สารแม่เหล็ก เป็นวัสดุที่เป็นแม่เหล็กอย่างแรง (ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย) ซึ่งได้แก่ เหล็ก นิกเกิล และโคบอลต์ สารแม่เหล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือสารแม่เหล็กถาวร (Hard) เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่เอ็กสาร์เป็นเอ็กสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

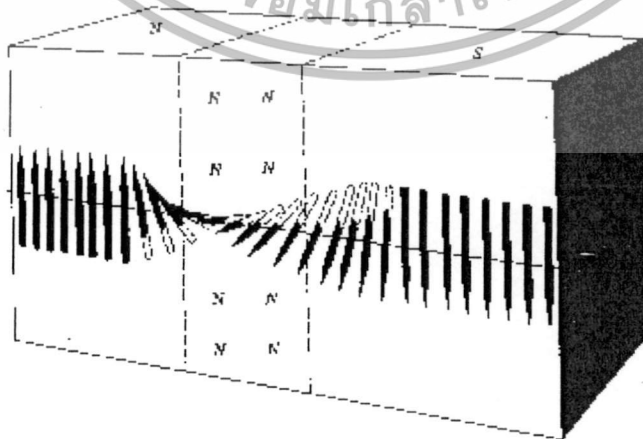
เสียอำนาจแม่เหล็กได้ง่ายหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก และสารแม่เหล็กชั่วคราว (Soft) เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่อาจรักษาอำนาจแม่เหล็กได้นานหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของโลหะสารแม่เหล็ก Ferromagnetic

โลหะ Metal	ความหนาแน่น Density (g/cm ³)	จุดหลอมเหลว Melting point(°C)	ความนำไฟฟ้า จำเพาะ Specific electrical conductivity (m/ohm.mm)	ความร้อน จำเพาะ Specific heat 0-100oC (J/g°C)
เหล็ก (Iron)	7.86	1530	10.3	0.45
โคบอลต์ (Cobalt)	8.83	1492	16.1	0.4
นิกเกิล (Nickel)	8.91	1455	60	0.26

2.1.3 โดเมนและฮิสเทอรีซิสลูป (Domain and hysteresis loop) [7]

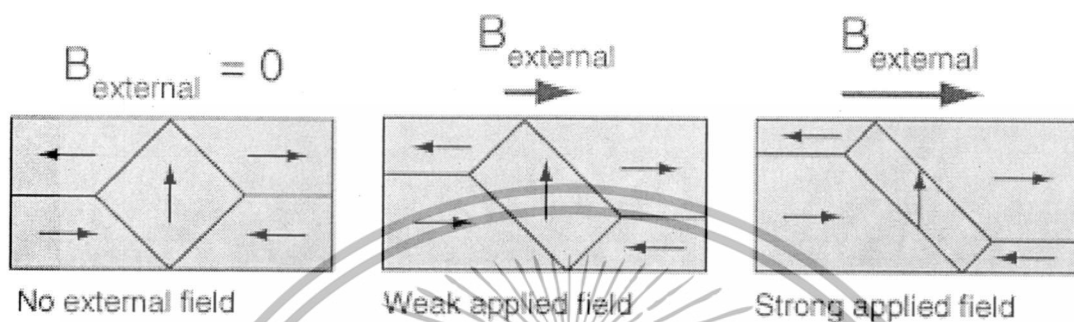
วัสดุเฟอร์โรแมกเนติกหรือเฟอร์ริแมกเนติกใดๆ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_c จะมีบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวของโมเมนต์แม่เหล็กในทิศเดียวกันเป็นบริเวณกว้าง เราเรียกบริเวณนั้นว่า โดเมนแม่เหล็ก แต่ละโดเมนแม่เหล็กจะแยกกันด้วยขอบเขตโดเมนหรือกำแพงโดเมน (Domain boundary or domain wall) ซึ่งโมเมนต์แม่เหล็กในโดเมนที่ติดกัน จะค่อยๆ เปลี่ยนทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



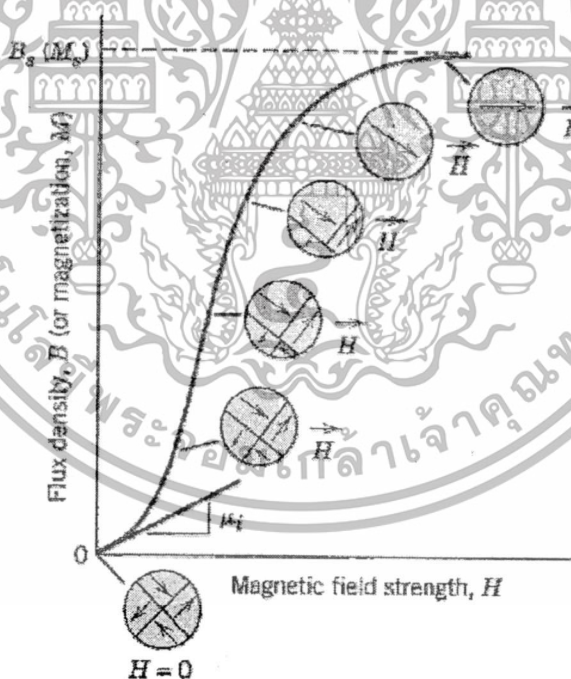
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนทิศทางของโมเมนต์แม่เหล็กข้ามกำแพงโดเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดเมนแม่เหล็กในวัสดุเฟอร์โรแมกเนติกหรือเฟอร์ริแมกเนติกใดๆ ก่อนที่จะได้รับสนามแม่เหล็ก จะจัดเรียงตัวด้วยทิศทางไม่เหมือนกัน เราเรียกสภาวะนี้ว่า unmagnetized แต่เมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก โดเมนแม่เหล็กจะจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันกับสนามจะค่อยๆ มีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่เดียวกันโดเมนแม่เหล็กที่จัดเรียงตัวคนละทิศกับสนามจะค่อยๆ มีขนาดเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



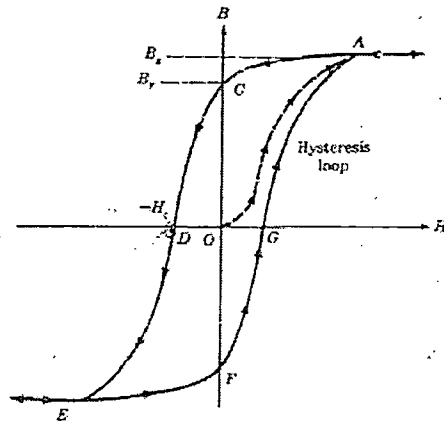
รูปที่ 2.2 การจัดเรียงตัวของโดเมนแม่เหล็กในวัสดุเมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของสนามแม่เหล็กและความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแรงของสนามแม่เหล็ก H และความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B (หรือแมกเนไทเซชัน M) ของวัสดุแม่เหล็กมีความสัมพันธ์กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากรูปจะเห็นได้ว่า ค่า H และ B ในช่วงแรกจะสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุนั้นๆ หลังจากช่วงแรกนี้แล้ว กราฟระหว่างค่า H และ B จะมีการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดไม่ว่าจะเพิ่มค่า H เท่าใด ค่า B หรือ M ก็จะมีค่าคงที่ เนื่องจากทุกโดเมนแม่เหล็กในวัสดุจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก เราเรียกค่า B หรือ M นี้ว่า Saturation flux density (B_s) หรือ saturation magnetization (M_s) ตามลำดับ ค่า M_s หมายถึง ค่าแมกเนไทเซชันสูงสุดที่จะเกิดได้เมื่อขึ้นวัสดุนั้นอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก โลหะจำพวกเฟอร์โรแมกเนติก เช่น เหล็ก โคบอลต์ และ นิกเกิล จะให้ค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กค่อนข้างสูง หรือเกิดสภาวะแม่เหล็กค่อนข้างมากเมื่อถูกนำมาวางในสนามแม่เหล็ก และสภาวะแม่เหล็กนั้นจะยังคงเหลืออยู่บางส่วนแม้จะนำออกจากสนามแม่เหล็กแล้ว เมื่อพิจารณาถึงผลของการใช้สนามแม่เหล็กภายนอก (H) ต่อการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (B) ของโลหะจำพวกเฟอร์โรแมกเนติกในระหว่างการทำให้เกิดสภาวะแม่เหล็ก (Magnetization) และทำให้หมดสภาวะแม่เหล็ก (Demagnetization) ซึ่งผลปรากฏว่าสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (B) กับสนามแม่เหล็ก (H) ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อใส่สนามแม่เหล็กเข้าไปในโลหะจำพวกเฟอร์โรแมกเนติกเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจากค่าศูนย์ตามเส้นโค้ง OA จนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (Saturation induction) ที่จุด A และเมื่อลดสนามแม่เหล็กภายนอกลงจนถึงศูนย์ เส้นโค้งที่แสดงปริมาณการเหนี่ยวนำแม่เหล็กจะไม่กลับมาตามแนวเส้นโค้งเดิม แต่จะเปลี่ยนแปลงตามเส้นโค้ง AC ใหม่ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าโลหะจะยังคงแสดงสภาวะแม่เหล็กอยู่แม้จะนำเอาสนามแม่เหล็กภายนอกออก ($H=0$) แล้วก็ตาม โดยแสดงค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเท่ากับ B_r (จุด C) จึงถูกเรียกว่า Remanent induction ค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กของโลหะจะลดลงเป็นศูนย์ หรือหมดสภาวะแม่เหล็กอีกครั้ง เมื่อใส่แม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามในปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ H_c (จุด D) ซึ่งเรียกว่าแรงลบล้างแม่เหล็ก (Coercive force) ถ้าให้สนามแม่เหล็กกลับทิศ หรือให้ติดลบมากขึ้น ก็จะทำให้โลหะมีค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กเพิ่มขึ้นตามเส้นโค้ง DE ในทิศทางตรงข้ามจากเดิม และจะอิ่มตัวที่จุด E เมื่อหยุดการให้สนามแม่เหล็กกลับทิศนี้ ค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กก็จะเปลี่ยนแปลงตามแนวเส้นโค้ง EF และเมื่อเพิ่มสนามแม่เหล็กเข้าไปอีกเส้นโค้งการเหนี่ยวนำแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็ก (B - H curve) จะดำเนินตามแนว FGA ได้รูป (Loop) ที่สมบูรณ์ครบหนึ่งรอบ ซึ่งเรียกว่า ลูปฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loop) พื้นที่ภายในทั้งหมดของลูปจะแสดงถึงพลังงานที่ต้องสูญเสียเพื่อใช้ในการทำให้โลหะแสดงสภาวะแม่เหล็กหรือทำให้สภาวะแม่เหล็กนั้นหมดไป

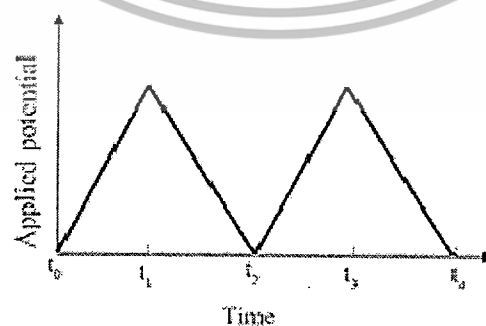


รูปที่ 2.4 Hysteresis loop ของวัสดุจำพวกเฟอร์โรแมกเนติกส์

2.1.4 เทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

2.1.4.1 เทคนิคการเคลือบผิวแบบไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry, CV) [8]

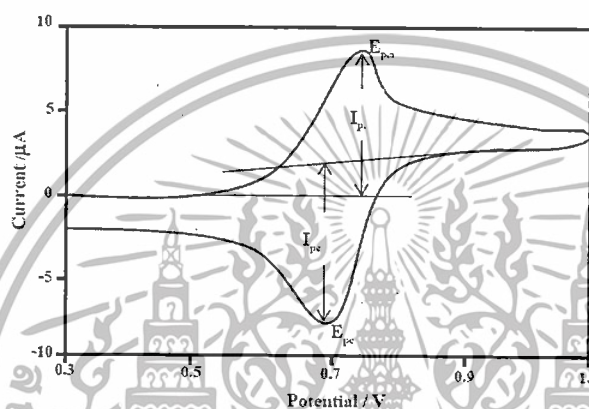
ไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry) เรียกว่าเทคนิค CV เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่ามาใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ไซคลิกโวลแทมเมตรีมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นรอบที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมไปยังขั้วไฟฟ้า ที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่อยู่นิ่งแล้ววัดกระแสที่เกิดขึ้น ศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานจะถูกควบคุมเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงได้แก่ ขั้วไฟฟ้าคาโลเมลอิ่มตัว (Saturated calomel electrode, SCE) หรือขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver/silver chloride) เมื่อวาดกราฟระหว่างแกนตั้งเป็นศักย์ไฟฟ้า และแกนนอนเป็นเวลาเมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปศักย์ที่ให้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เรียกการเพิ่มนี้ว่า การสแกนไปข้างหน้า (Forward scan) เมื่อสแกนไปถึงจุดหนึ่งที่กำหนดไว้ แล้วศักย์ไฟฟ้าก็จะเริ่มลดลงด้วยอัตราสแกนเท่าเดิมเรียกว่า การสแกนย้อนกลับ (Reverse scan) จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้น จะได้เป็นหนึ่งรอบดังรูปที่ 2.5 รอบที่สองก็จะเริ่มเหมือนกับศักย์ไฟฟ้าที่หนึ่งทุกประการ



รูปที่ 2.5 แบบของศักย์ไฟฟ้าที่ให้ในไซคลิกโวลแทมเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่วัดได้จากกระแสที่ชั่วไฟฟ้า ทำงานในระหว่างการสแกนศักย์ไฟฟ้า เมื่อนำมาวาดกราฟระหว่างกระแส (แกนตั้ง) กับศักย์ไฟฟ้า (แกนนอน) จะได้ดังรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาพีคด้านบนจากจุดยอดของพีค ลากเส้นมาตัดแกนศักย์จะได้ตำแหน่งศักย์ของพีคทางด้านพีคแอโนดิก (Anodic peak potential) หรือ E_{pa} ซึ่งมีค่าเป็นบวก ในทำนองเดียวกันพีคด้านล่างเป็นกระแสแคโทดิก หรือ E_{pc} (Cathodic peak potential) ของ ส่วนความสูงของพีคทางด้านบนคือ กระแสของพีคแอโนดิก (Anodic peak current), i_{pa} และความสูงของพีคด้านล่างเป็นกระแสของพีคแคโทดิก (Cathodic peak current), i_{pc} ซึ่งกระแสของพีคจะแปรผันตามความเข้มข้นของสาร และตำแหน่งศักย์ของพีคก็เป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละตัว

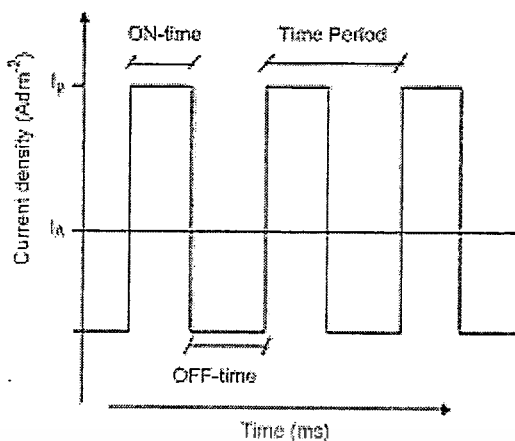


รูปที่ 2.6 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม

2.1.4.2 เทคนิคการเคลือบผิวแบบพัลส์ (Pulse) [9]

เทคนิคแบบพัลส์นั้น เป็นเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าโดยควบคุมเวลาระหว่างจ่ายค่าศักย์ไฟฟ้า หรือกระแสโดยแสดงดังรูปที่ 2.7 ในแต่ละพัลส์จะประกอบด้วย ON-time (T_{ON}) ขึ้นในระหว่างที่จ่ายศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า และ OFF-time (T_{OFF}) ขึ้นในระหว่างที่ไม่ได้จ่ายศักย์ไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้า ซึ่งทั้งสองช่วงนี้จะนับรวมเป็น Time Period ดังแสดงในรูปที่ 2. โดยเป็นเทคนิคที่สามารถควบคุมองค์ประกอบและความหนาของฟิล์มได้โดยการควบคุมช่วงความกว้างของพัลส์ ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มจำนวนเกรนต่อหน่วยพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

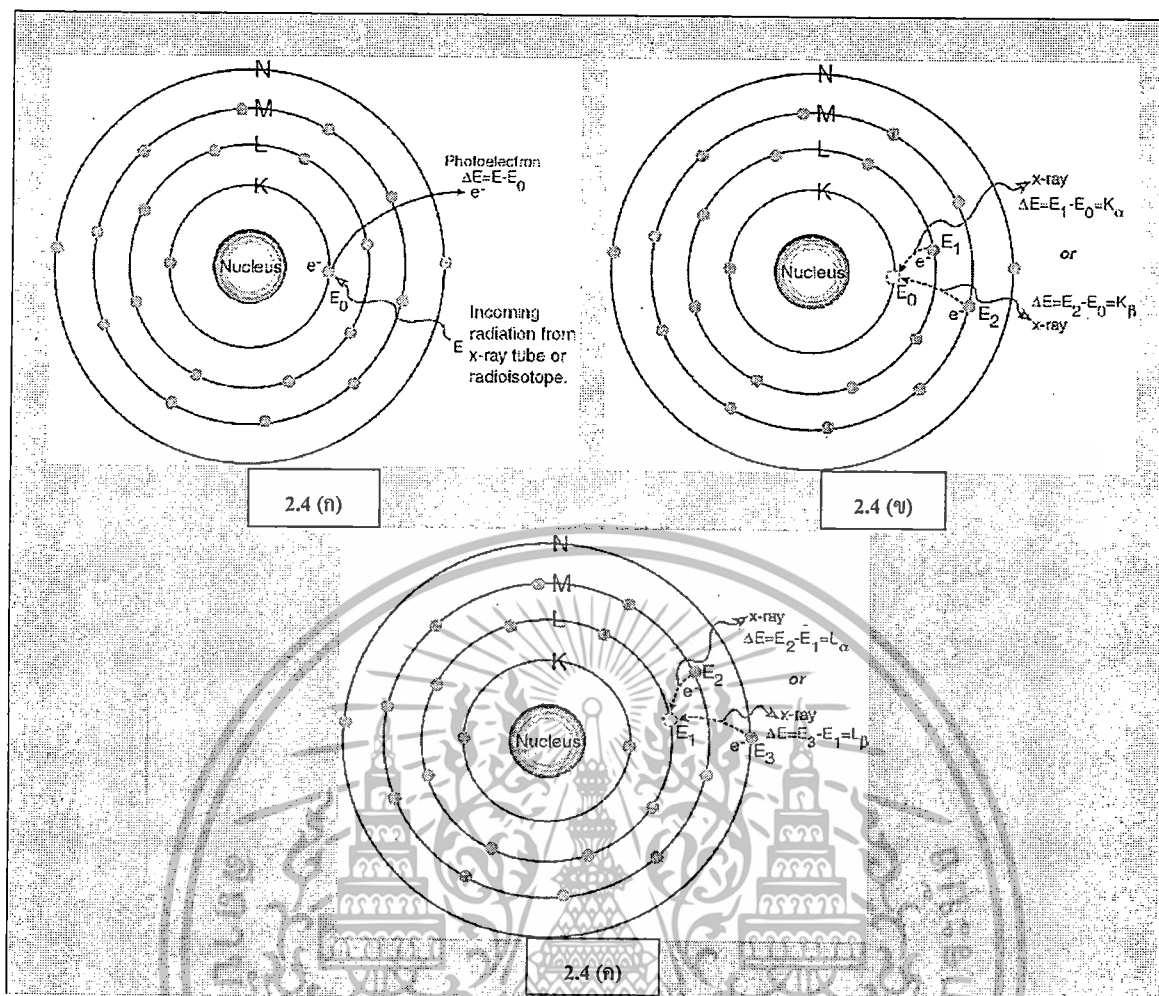


รูปที่ 2.7 กราฟของเทคนิคการเคลือบผิวแบบพัลส์

2.1.5 เทคนิคการตรวจสอบคุณสมบัติของการเคลือบผิว

2.1.5.1 การตรวจสอบวิเคราะห์หาอัตราส่วนองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF) [10]

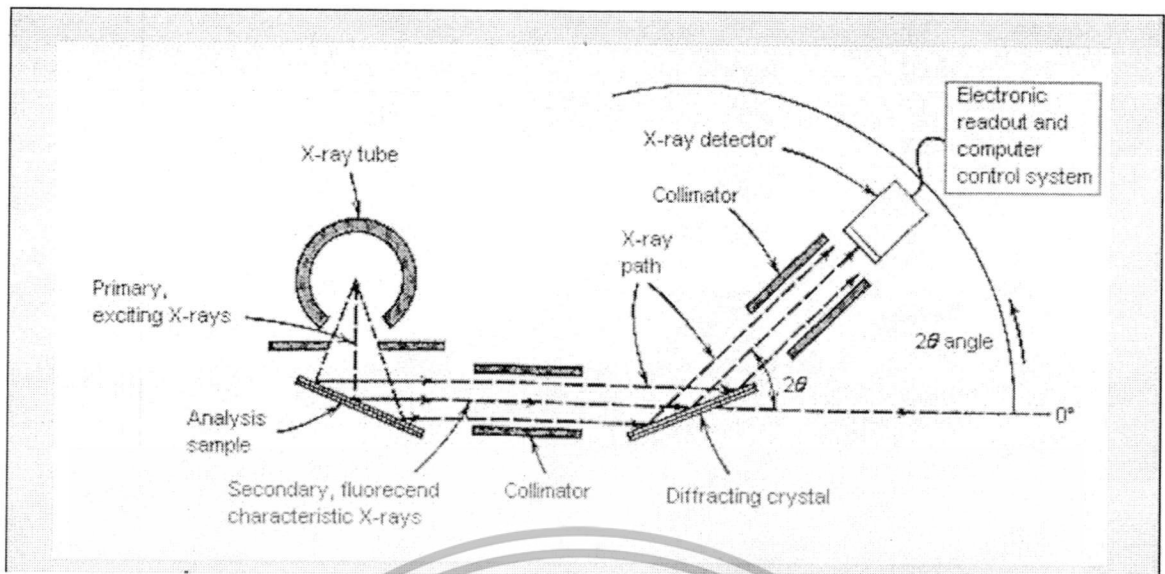
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง โดยมีหลักการคือเมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (Primary X-ray photon) จากหลอดรังสีเอกซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างจะเป็นผลให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในรูปของโฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก) ซึ่งที่สภาวะนี้ อะตอมจะไม่เสถียรอะตอมจะกลับสู่สภาวะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทนที่ช่องว่างดังกล่าว ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (Secondary X-ray photon) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ข) และ (ค) ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ฟลูออเรสเซนส์” (Fluorescence) พลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนวงนอกที่เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานกับระดับพลังงานของช่องว่างที่เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 รังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดจากปรากฏการณ์ฟลูออเรสเซนส์จะเป็นรังสีเอกซ์ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นเทคนิคเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์จึงใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง อย่างไรก็ตามเทคนิคเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์จะไม่สามารถวิเคราะห์ธาตุ 11 ธาตุแรกของตารางธาตุได้



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเกิดรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนส์ของสารตัวอย่าง

รังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านคอลลิเมเตอร์ (Collimator) ในรูป ลำรังสีขนานไปยังดิฟแฟรคติ้งคริสตัล (Diffracting crystal) ซึ่งมีค่าระยะห่างระหว่างระนาบผลึกที่แน่นอน เช่น ควอทซ์ ลิเทียม-ฟลูออไรด์ ไมกา และอื่นๆ โดยดิฟแฟรคติ้งคริสตัลจะทำให้รังสีเอ็กซ์เกิดการเลี้ยวเบนเข้าสู่เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ (X-ray detector) โดยปกติดิฟแฟรคติ้งคริสตัลจะทำมุม Theta กับระนาบรังสี ขนานจากคอลลิเมเตอร์ และทำมุม 2 Theta กับเครื่องตรวจวัดที่ตั้งแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบหลักของเครื่องเอกซฟลูออเรสเซนส์

การคำนวณหาค่าความยาวคลื่น (Wavelength, λ) ของรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์จากสารตัวอย่าง จะทำได้โดยแทนค่าในสมการ Bragg's law

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ

n คือ ลำดับการเลี้ยวเบน

λ คือ ความยาวคลื่น

ค่าความยาวคลื่นที่คำนวณได้จะสามารถชี้บอกได้ว่ารังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนส์ของสารตัวอย่างประกอบด้วย ธาตุใดบ้าง เทคนิคการวิเคราะห์นี้ เรียกว่า Wavelength dispersive XRF

2.1.5.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) [11]

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่าง ที่มีมุมต่างๆ กัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้ จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง วัสดุที่เป็นผลึกคือวัสดุที่มีการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในโครงสร้างอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึกจะมีลักษณะเป็นระนาบเส้นตรงขนานกัน ซึ่งแต่ละระนาบจะอยู่ห่างกันเป็นระยะ d ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งค่าระยะห่าง d จะมีค่าแตกต่างกันไป ขึ้นกับ

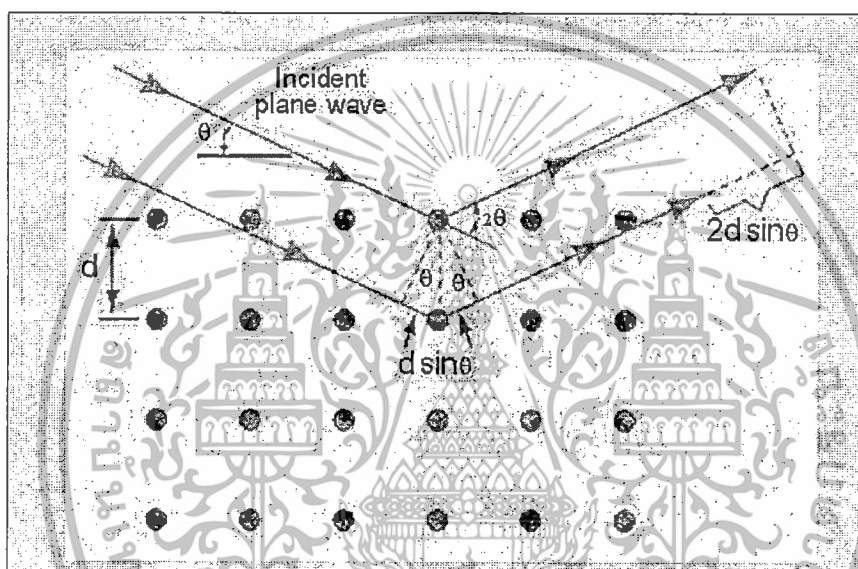
ธรรมชาติของผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ.1912 W.H. Bragg และ W.L. Bragg ได้เสนอแนวคิดที่ว่าเมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบบนระนาบของอะตอมภายในผลึกที่มุมตกกระทบบน θ รังสีเอ็กซ์บางส่วนจะเกิดการสะท้อนกลับ (เลี้ยวเบน) ที่มุมสะท้อน θ เท่ากับมุมตกกระทบบน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรต่างๆ ถูกเสนอในรูปสมการ

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

ซึ่งสมการดังกล่าว เรียกว่า "Bragg's Law "



รูปที่ 2.10 กฎของแบรค (Bragg's law)

ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ของเครื่อง XRD สามารถแบ่งได้เป็น

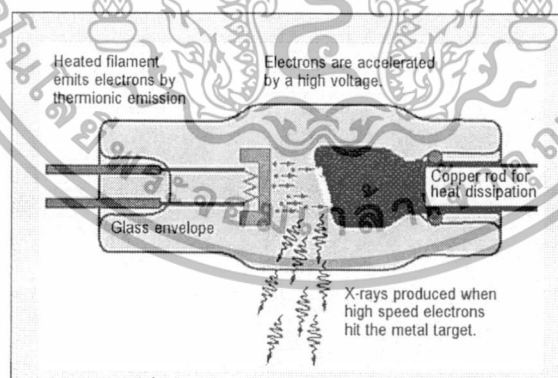
- วิเคราะห์วัฏภาคโครงสร้างผลึกในสารตัวอย่างเทียบกับฐาน ข้อมูลมาตรฐาน (Phase analysis) รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของวัฏภาคที่เป็นผลึกจะมีลักษณะ แตกต่างกันขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมภายในผลึก ดังนั้นรูปแบบการเลี้ยวเบน รังสีเอ็กซ์ จึงสามารถใช้เป็นตัวชี้บ่งได้ว่าสารตัวอย่างนั้น ประกอบด้วยวัฏภาคที่เป็นผลึกชนิดใดบ้าง
- วิเคราะห์วัฏภาคองค์ประกอบในสารตัวอย่างในเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จะเป็นค่าที่แปรผันตาม ปริมาณของวัฏภาคที่เป็นผลึกภายในสารตัวอย่าง ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มของพีคคำนวณหาปริมาณของวัฏภาคองค์ประกอบต่างๆใน สารตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์ขนาดของผลึก (Crystallite size) และ ความเครียดระดับจุลภาค (Microstrain) ความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ เป็นผลเนื่องมาจากเครื่องมือและลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่างได้แก่ ความเครียดจุลภาค ข้อบกพร่องของผลึก และขนาดของตัวอย่าง ดังนั้น จึงสามารถคำนวณหาขนาดผลึกและความเครียดจุลภาคจากความกว้างของพีคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ได้

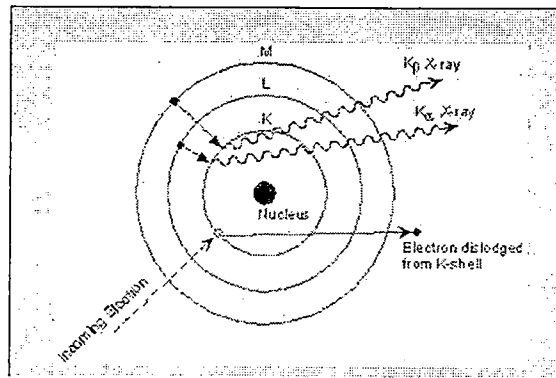
- วิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ กัน เมื่อใช้หน่วยควบคุมอุณหภูมิ HTK16 ร่วมกับเครื่อง XRD จะทำให้ สามารถวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ภายใต้สภาวะตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 1600°C ทั้งในบรรยากาศปกติ สุญญากาศ หรือบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยได้

การเกิดขึ้นของรังสีเอ็กซ์ คือภายในเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ รังสีเอ็กซ์จะถูกสร้างขึ้นภายในหลอดปิดซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะสุญญากาศ รูปที่ 2.11 โดยให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวดฟิลาเมนต์ (Filament) ที่อยู่ในหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ซึ่งจะทำให้เส้นลวดร้อนขึ้นและก่อให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกจากเส้นลวด อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยความต่างศักย์สูง ทำให้เคลื่อนที่ผ่านเส้นลวดฟิลาเมนต์ที่เป็นขั้วแคโทดด้วยความเร็วสูงเข้าชนขั้วแอโนด ซึ่งโดยทั่วไปทำจากโลหะทองแดงอิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนจะทำให้วงในสุด (K-shell) ของอะตอมทองแดงหลุดออกไปจึงเกิดเป็นช่องว่างขึ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอนวงนอกที่อยู่ถัดมา (L- และ M-shell) เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานลงมาแทนที่ช่องว่างนั้น โดยการคายรังสีเอ็กซ์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.12 รังสีเอ็กซ์ที่คายออกมาจะผ่านออกจากหลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์ไปยังสารตัวอย่าง และรังสีเอ็กซ์ที่เลี้ยวเบนออกจากสารตัวอย่างจะถูกตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับรังสีเอ็กซ์ (detector)



รูปที่ 2.11 หลอดกำเนิดรังสีเอ็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

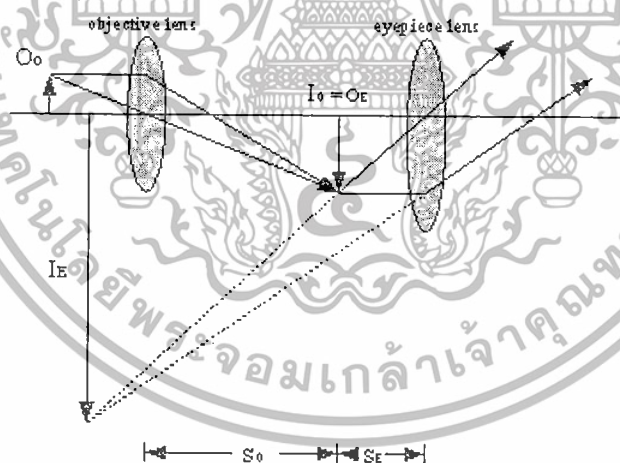


รูปที่ 2.12 การเกิดรังสีเอ็กซ์

2.1.5.3 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว

- กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (High power microscope) [12]

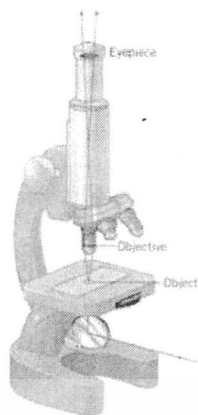
กล้องจุลทรรศน์เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้เรามองเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็กมาก ประกอบด้วยเลนส์นูนความยาวโฟกัสสั้นๆ 2 อัน โดยเลนส์อันหนึ่งอยู่ใกล้วัตถุเรียกว่าเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) และเลนส์อันหนึ่งอยู่ใกล้ตาเรียกว่าเลนส์ใกล้ตา (Eyepiece Lens) โดยความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุน้อยกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา



รูปที่ 2.13 การหักเหแสงของกล้องจุลทรรศน์

วางวัตถุไว้ในระหว่าง $f_0 < s < 2f_0$ ของเลนส์ใกล้วัตถุ จะได้ภาพจริงขนาดขยายอยู่หน้าเลนส์ใกล้ตา โดยจะเป็นวัตถุเสมือนของเลนส์ใกล้ตา โดยวัตถุเสมือนนี้ จะต้องอยู่ระหว่างความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุกับเลนส์ เกิดภาพเสมือนขนาดขยายที่ระยะที่เห็นชัดปกติของตาคือประมาณ 25 เซนติเมตร โดยในทางปฏิบัติ วิธีทำให้เห็นภาพชัด เรียกว่า การโฟกัสภาพทำได้โดยเลื่อนเลนส์ใกล้ตาเพื่อปรับระยะวัตถุให้เหมาะสมที่จะเกิดภาพที่ระยะเห็นได้ชัดเจน

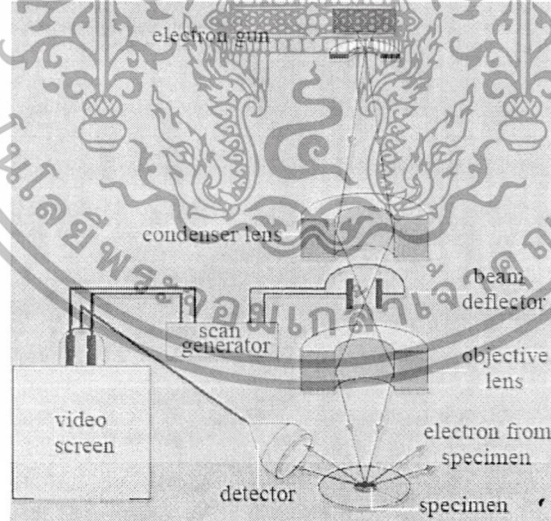
เอกสารนี้เป็นเอกสารทั้งหมดลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ทางเดินแสงของกล้องจุลทรรศน์

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) [13]

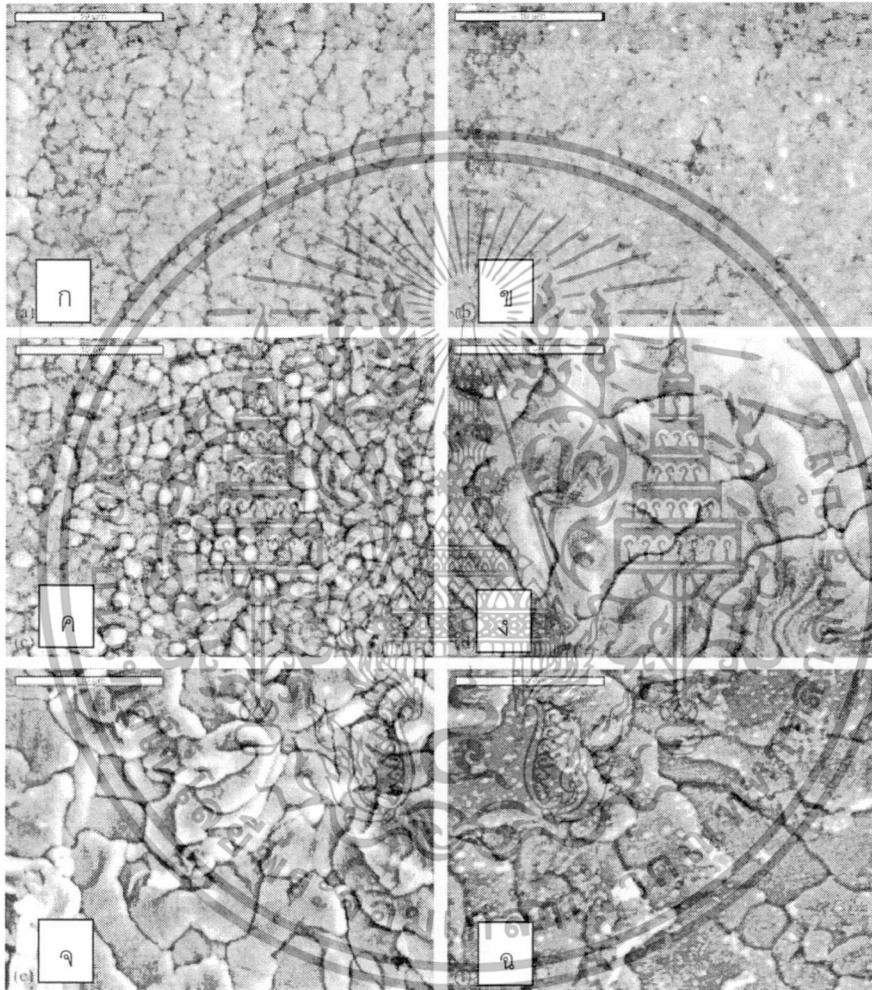
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำกรสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้น เครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.15 หลักการทำงานของเครื่อง SEM

หลักการทำงานของเครื่อง SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้น ลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงาน จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตีพิมพ์ได้เลย

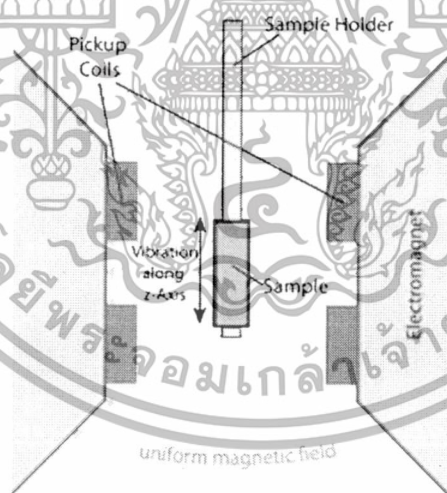


รูปที่ 2.16 แสดงภาพ SEM ของการชุบเคลือบ Fe-Ni ที่มี Fe ร้อยละ (ก) 0; (ข) 38; (ค) 48; (ง) 64; (จ) 78; (ฉ) 100 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.4 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) [14]

VSM เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กของสารตัวอย่าง ในการตรวจสอบความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่าง ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกยึดติดกับแท่งทรงกระบอกที่เรียกว่า sample holder ซึ่งจะถูกวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กส่งผ่านตลอดเวลา โดยสนามแม่เหล็กนี้ถูกสร้างขึ้นและควบคุมโดยแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnet) ที่อยู่ด้านข้าง เมื่อสารตัวอย่างอยู่ในสนามแม่เหล็ก จะถูกทำให้เกิดสภาพแม่เหล็ก หรือเรียกว่าถูกแมกเนไทต์ โดยสารตัวอย่างที่ถูกแมกเนไทต์จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็กตัดผ่าน pick up coil (ตามกฎของฟาราเดย์) และความต่างศักย์ที่ได้นี้ถูกนำมาใช้ในการค้นหาและวัดค่าโมเมนต์แม่เหล็ก (Magnetic moment) ดังนั้น VSM จึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในการหาค่าแมกเนไทเซชันของสารตัวอย่าง โดยอาศัยการสั่นของสารตัวอย่าง นอกจากนี้ VSM ยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในขณะที่มีการแมกเนไทเซชันได้อีกด้วย เมื่อมีการให้สนามที่คงที่ซึ่งผลที่ได้จากการวัดด้วยเทคนิคนี้ จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์แม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ให้เข้าไป (Applied field) ซึ่งข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้วิเคราะห์จึงเป็นค่าแมกเนไทเซชัน ดังนั้นจึงต้องมีการชั่งน้ำหนักของสารทุกครั้ง และนำมาหารกับค่าโมเมนต์แม่เหล็กที่วัดได้จึงจะได้ค่าแมกเนไทเซชันที่แท้จริง



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ VSM

2.1.5.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบระดับโมเลกุลของฟิล์มบางด้วยเทคนิค Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (ToF-SIMS) [15]

Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (ToF-SIMS) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบระดับโมเลกุล (Molecular composition) ของพื้นผิวที่มีความลึกประมาณ 1 – 2 nm โดยการยิงไอออนหลัก (Primary ion) ซึ่งมีพลังงานในช่วง 103 eV ไปยังพื้นผิว พลังงานเอกสารถีนี้เป็นเอกสารถีที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไอออนหลักจะถูกถ่ายไปยังพื้นผิวเนื่องจากการชน และปลดปล่อยอนุภาคที่มีพลังงานต่างๆ ออกมา โดยถ้าอนุภาคที่หลุดออกจากพื้นผิวเป็นไอออน จะเรียกว่า Secondary ion และจะถูกวิเคราะห์ด้วย แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass spectrometer) สเปกตรัม ToF-SIMS จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำหนักของส่วยย่อย (Fragment) ที่แตกออกมาจากโมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิว ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโมเลกุลเหล่านั้นได้

2.2 ทฤษฎีและหลักการของการกัดกร่อน (Corrosion)

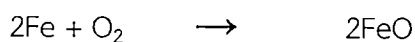
การกัดกร่อน คือการเสื่อมสภาพของโลหะที่ทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนไปในทางที่แยกลง โดยโลหะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของโลหะ ในแต่ละปีโลกมีค่าใช้จ่ายจากปัญหาการกัดกร่อนมากมาย ทั้งที่เป็นการซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือการซื้อใหม่ทดแทนส่วนที่ชำรุดเสียหายจนไม่อาจใช้การได้อีกต่อไป บางครั้งก็เป็นค่าใช้จ่ายที่มากเกินไป เช่น การออกแบบเพื่อ ใช้โลหะหนาเกินความจำเป็น นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายของการค้นคว้าวิจัย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สามารถใช้ได้แม้ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน การกัดกร่อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า โลหะเกือบทุกชนิดเกิดการกัดกร่อนได้เสมอ ต่างกันที่ความยากง่ายของการเกิดการกัดกร่อน และอัตราการกัดกร่อนเร็ว-ช้า สาเหตุของการเกิดการกัดกร่อนจึง มาจากทั้งโลหะและสิ่งแวดล้อม[16]

2.2.1 การกัดกร่อน (Mechanism of corrosion) [17]

การกัดกร่อนมีกลไกที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง และการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

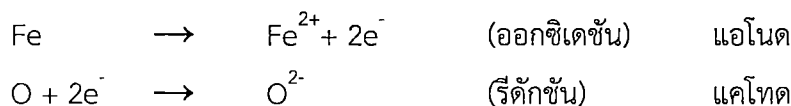
2.2.1.1 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง (Direct chemical corrosion)

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับโลหะ โลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันจะรวมตัวกับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมได้ค่อนข้างน้อย การเกิดออกซิเดชัน ของโลหะดังกล่าวจะช้ามากที่อุณหภูมิห้องและจะเกิดขึ้นเร็วมากที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังการเกิดสะเก็ดที่ผิวของเหล็กกล้า เมื่ออบถึงอุณหภูมิร้อนแดง เมื่ออบเหล็กให้ร้อนในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจะเกิดขึ้นสะเก็ดออกไซด์สีดำของ FeO เคลือบที่ผิวนอก ดังปฏิกิริยา



ซึ่งตามความเป็นจริงอะตอมของเหล็กจะถูกออกซิไดซ์ขณะที่อะตอมของออกซิเจนจะถูกรีดิวส์กระบวนการจะเกี่ยวพันกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากอะตอมของเหล็กไปยังอะตอมของออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ออกซิเดชัน หมายถึง กระบวนการที่อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน
รีดักชัน หมายถึง กระบวนการที่อะตอมรับอิเล็กตรอน

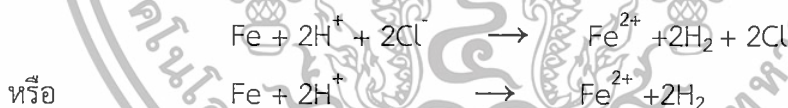
การเกิดออกซิเดชันนั้น ไม่ได้เกิดจากผลของออกซิเจนเพียงอย่างเดียว อาจรวมถึงเกิดจากสารปนเปื้อน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจนและไอน้ำจะทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง

2.2.1.2 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical corrosion) [18]

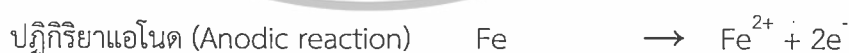
การกัดกร่อนของโลหะเกือบทั้งหมด มีขั้นตอนการเกิดเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ธรรมชาติของการกัดกร่อนแบบเคมีไฟฟ้าอธิบายได้ด้วยตัวอย่างของเหล็กในสารละลาย กรดเมื่อจุ่มเหล็กในสารละลายกรดเจือจางหรือกรดไฮโดรคลอริก จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ผิวพร้อมกับโลหะเหล็กจะละลายเป็นไอออนของเหล็กเกิดเป็นสารประกอบของเหล็ก คลอไรด์ที่ละลายได้ ดังสมการ



จะเห็นว่าไอออนคลอไรด์ไม่ได้เป็นส่วนหลักของปฏิกิริยาเลย ปฏิกิริยาของไอออนอย่างง่ายเป็นดังนี้

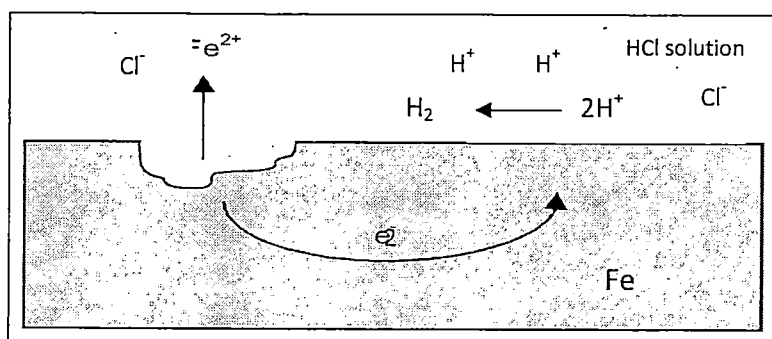


นั่นคือเหล็กเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนกับกรดได้ เกิดปฏิกิริยาย่อยขึ้น 2 ปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาแอโนดคือปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของเหล็กที่เกิดปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอน แล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2+ ส่วนปฏิกิริยาแคโทดเป็นปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) ของไฮโดรเจนไอออนที่เกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลงจาก 1+ เป็น 0 ปฏิกิริยาทั้งสองเกิดควบคู่กัน คือมีการให้และรับอิเล็กตรอนในเวลาเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากันที่ผิวโลหะดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

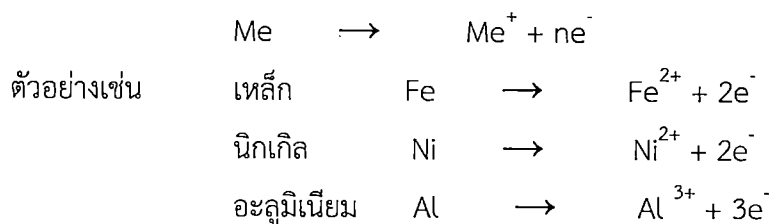


รูปที่ 2.18 การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเหล็กในสารละลายกรดที่ปราศจากออกซิเจน

เหล็กละลายแล้วให้อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปตามเนื้อโลหะไปยังบริเวณใกล้ๆ ที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยากับไอออนไฮโดรเจนของกรด เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่บริเวณผิวโลหะนั้น น้ำในสารละลายมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาด้วย โดยน้ำทำหน้าที่เป็นตัวพาไอออน เช่น พาไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) และ ไอออนไฮโดรเจน (H^+) ให้เคลื่อนที่ในสารละลายเพื่อทำปฏิกิริยา บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาให้และรับอิเล็กตรอนแยกออกจากกัน แต่รวมแล้วมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นเป็นผลให้เกิดการกัดกร่อน ได้มีการทดลองป้อนอิเล็กตรอนจากภายนอกให้แก่สังกะสีที่อยู่ในสารละลายกรดเกลือ พบว่ามีอัตราการกัดกร่อนลดลง นั่นคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะถูกยับยั้ง ขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจนกลับเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกัดกร่อนของโลหะในน้ำจึงเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อย 2 ปฏิกิริยา คือครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของสิ่งแวดล้อม

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะจะลดลงได้ถ้ามีการป้อนศักย์ไฟฟ้าลบหรือป้อนอิเล็กตรอนแก่โลหะ หลักการนี้ได้ใช้เป็นเทคนิคป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทด (Cathodic Protection) ของท่อยาว หรือโครงสร้างแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเลและถังบรรจุขนาดใหญ่ที่ทำด้วยเหล็กกล้า ชนิดของครึ่งปฏิกิริยารีดักชันขึ้นกับชนิดของสิ่งที่แวดล้อมโลหะซึ่งโดยทั่วไป คือน้ำ ทั้งที่เป็นสารละลายของไอน้ำ หรือความชื้นซึ่งเป็นสภาวะก๊าซ แม้แต่ในสภาพแห้งที่ไม่มีน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นก็ประกอบด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนประจุหรืออิเล็กตรอนในอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็งและยังคงถูกพิจารณาว่าเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนเช่นเดียวกัน

ปฏิกิริยาแอนอดของโลหะที่ถูกกัดกร่อน มีดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเท่ากับจำนวนเลขออกซิเดชันของไอออนโลหะ

ปฏิกิริยาแคโทดิกหรือรีดักชันของสิ่งแวดล้อมเป็นได้หลายแบบ ได้แก่

- รีดักชันของไอออนไฮโดรเจนของสารละลายกรด คือ $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
- รีดักชันของไอออนออกซิไดซ์ใด ๆ ในสารละลาย เช่น $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$
- รีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เป็นกลาง $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$
- รีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เป็นกรด $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- รีดักชันของน้ำเมื่อไม่มีสารอื่นที่จะเกิดรีดักชัน $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน [19]

ปฏิกิริยารีดักชัน	E° (v)
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-(\text{aq})$	+2.89
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	+2.01
$\text{PbO}_2(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.69
$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 8\text{H}^+(\text{aq}) + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.51
$\text{PbO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.46
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-(\text{aq})$	+1.36
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 14\text{H}^+(\text{aq}) + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 7\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.36
$\text{MnO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.28
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.23
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-(\text{aq})$	+1.08
$\text{NO}_3^-(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+0.96
$2\text{Hg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}(\text{aq})$	+0.91
$\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}(\text{l})$	+0.85
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$	+0.80
$\text{Hg}_2^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}(\text{l})$	+0.80
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+0.77
$\text{I}_2(\text{s}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-(\text{aq})$	+0.54
$\text{Cu}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	+0.52
$\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-(\text{aq})$	+0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน [19] (ต่อ)

ปฏิกิริยารีดักชัน	E_o (v)
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	+0.34
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(\text{s}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}(\text{s}) + 2\text{Cl}^-(\text{aq})$	+0.27
$\text{AgCl}(\text{s}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$	+0.22
$\text{Sn}^{4+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}^{2+}(\text{aq})$	+0.15
$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0.00
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0.04
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s})$	-0.13
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$	-0.14
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0.24
$\text{Co}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}(\text{s})$	-0.28
$\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	-0.36
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{s})$	-0.40
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0.44
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}(\text{s})$	-0.74
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0.76
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	-0.83
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1.68
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2.36
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2.71
$\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}(\text{s})$	-2.87
$\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}(\text{s})$	-2.91
$\text{K}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{K}(\text{s})$	-2.94
$\text{Li}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โพลาริเซชัน (Polarization) [18]

ปกติปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ผิวโลหะจะดำเนินไปด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่งตามปริมาณอิเล็กตรอนที่แลกเปลี่ยนกัน เมื่อการให้และรับอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะดำเนินไปชั่วเวลาหนึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะจะเปลี่ยนไปในทางที่เป็นลบมากขึ้น ทั้งนี้เพราะมีอิเล็กตรอนมาคั่งออรอเกิดปฏิกิริยาที่ผิวตรงรอยต่อของโลหะและสารละลาย แสดงว่าในเวลานั้นปฏิกิริยาไม่ได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วเท่าจำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระบบ อิเล็กตรอนที่มีมากที่ผิวทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโลหะเปลี่ยนไปในทางที่เป็นลบมากขึ้นเรียกว่าเกิดโพลาริเซชัน (Polarization) ซึ่งมีผลต่ออัตราการกัดกร่อน การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะแบบนี้จัดเป็นแคโทดิกโพลาริเซชัน ในทางตรงข้ามถ้าอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะมีไม่เพียงพอทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะมีค่าเป็นบวกมากขึ้น และมีผลเร่งอัตราการกัดกร่อน เหตุการณ์นี้เรียกว่าแอโนดิกโพลาริเซชัน (Anodic polarization) ยังมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อของโลหะกับสารละลายเกิดขึ้นในทิศทางแอโนดิกมากเท่าใด แนวโน้มที่โลหะจะเกิดการสลายตัวหรือถูกกัดกร่อนก็มีมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการเกิดแอโนดิกโพลาริเซชันจึงเป็นแรงผลักดันให้เกิดการกัดกร่อน หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะได้ค่าบวกมากขึ้น หมายความว่ากัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้นเพราะเกิดแอโนดิกโพลาริเซชัน

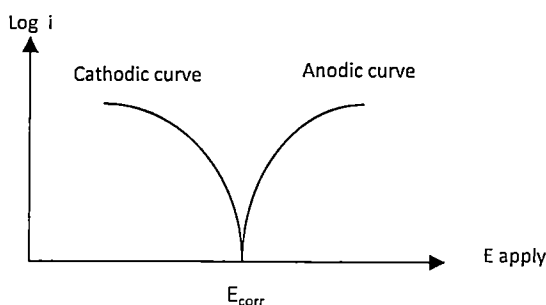
2.2.3 โพลาริเซชันของการกัดกร่อน (Corrosion of Polarization) [18]

การกัดกร่อนเมื่อเริ่มเกิดจะดำเนินไปชั่วระยะเวลาหนึ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรื่อยๆ จะมารอที่ผิวโลหะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของโลหะเป็นค่าลบมากขึ้น นั่นคือรอยต่อระหว่างโลหะกับสารละลายจะมีอิเล็กตรอนมาอยู่มากเกินพอ เพื่อรอให้เกิดปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนหรือรีดักชันที่ขั้วแคโทด ทั้งนี้ เพราะปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนเกิดไม่รวดเร็วเพียงพอ อิเล็กตรอนที่มากเกินที่บริเวณรอยต่อของผิวโลหะกับสารละลายนี้มีผลให้การกัดกร่อนลดลงได้เรียกว่าแคโทดิกโพลาริเซชัน (Cathodic Polarization) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นลบมากขึ้นอีกกรณี คือโลหะเกิดการกัดกร่อนให้อิเล็กตรอนไปที่รอบต่อผิวโลหะกับสารละลายน้อยหรือไม่เพียงพอจะมีผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นบวกมากขึ้นจะเรียกว่า แอโนดิกโพลาริเซชัน (Anodic Polarization) จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการกัดกร่อนเนื่องจากการให้และรับอิเล็กตรอนไม่สัมพันธ์กันนั่นเอง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะที่สัมพันธ์กับสารละลายที่มีค่าเป็นบวกมากกว่าจะมีแนวโน้มที่จะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายและเร็วกว่าซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากโลหะและสารละลาย

ดังนั้นแคโทดิกโพลาริเซชันคือการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ถูกควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด

ส่วนแอโนดิกโพลาริเซชันคือการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ถูกควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แอโนด ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาริเซชันจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาริเซชัน

2.2.4 สภาวะที่มีผลต่อการกัดกร่อน [18]

2.2.4.1 การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำและสารละลายของน้ำ

น้ำเป็นโมเลกุลแอมโฟเทอริก (Amphoteric) ที่สามารถมีพฤติกรรมเป็นได้ทั้งกรด ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$) หรือเบส ($\text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+$) ในที่ที่มีอิเล็กตรอน เช่น โลหะให้อิเล็กตรอนประพจน์ตัวเป็นสารออกซิไดซ์ คือ เกิดปฏิกิริยา ($\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{OH}^- + \frac{1}{2} \text{H}_2$) หรืออาจเป็นสารรีดิวซ์ คือเกิดปฏิกิริยา ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{e}^-$)

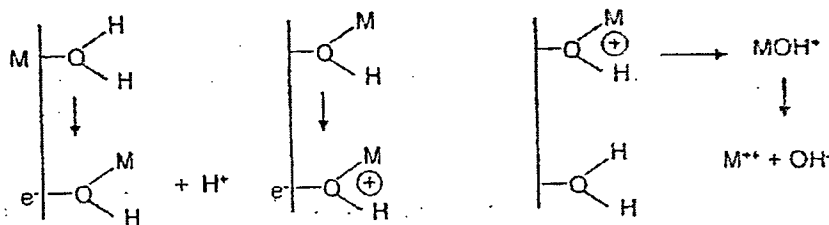
ธรรมชาติของการเป็นสารออกซิไดซ์หรือสารรีดิวซ์ของน้ำขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานของโลหะกับระดับพลังงานของระบบรีดอกซ์ของสิ่งแวดล้อม หรือเป็นความแตกต่างของพลังงานศักย์ของโลหะกับสารละลาย เมื่อมีน้ำอยู่ที่ผิวโลหะจะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ของน้ำกับผิวโลหะดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 อันตรกิริยาของน้ำกับผิวโลหะ

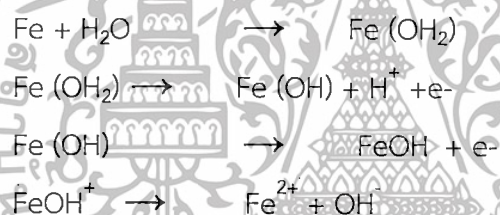
โดยที่น้ำเป็นโมเลกุลที่มีสองขั้ว (Bi-polar) น้ำจึงสามารถยึดเกาะผิวโลหะได้ดีด้วยอันตรกิริยาทั้งทางฟิสิกส์และเคมี จากนั้นน้ำจะให้ทั้งโปรตรอนและอิเล็กตรอนแก่โลหะเกิดเป็นสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ (MOH) ของน้ำกับอออนโลหะที่ผิว อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นคือการขยายขนาดของสารประกอบเชิงซ้อนของน้ำกับโลหะนั้นแล้วมีผลเกิดขึ้น 2 แบบ คือ เกิดเป็นการกัดกร่อนจากน้ำ (Water corrosion) หรือเกิดการป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำ (Water passivation) โดยมีขั้นตอนการเกิดแต่ละแบบต่างกัน ดังรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

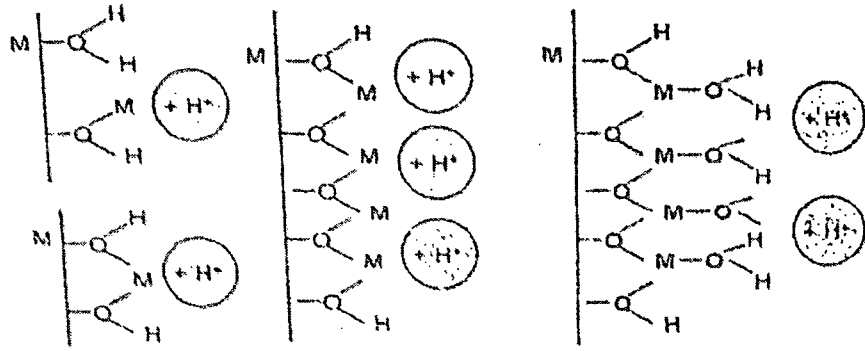


รูปที่ 2.21 การเกิดการกัดกร่อนจากน้ำ (Water corrosion) ตาม Bockris mechanism

ตัวอย่างของการเกิดการกัดกร่อนจากน้ำเช่น เหล็กในน้ำที่ผิวเหล็กมีไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) จากการละลายของเหล็ก เมื่อมีน้ำมาเกาะที่ผิวจะมีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) กับไอออนไฮโดรเจน (H^+) โดย Fe^{2+} จะเคลื่อนที่เข้าแทนที่ H^+ ในน้ำ ทำให้ไอออน H^+ หลุดออกจากโมเลกุลน้ำแต่ยังคงยึดเกาะกับอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะที่เกิดจากการแตกตัวของโลหะ ดังนั้นสารประกอบเชิงซ้อนที่ผิวเหล็ก เริ่มจากเป็น $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})$ ก่อน แล้วเปลี่ยนเป็น FeOH^+ และเป็น Fe^{2+} ดังปฏิกิริยาของ Bockris ตามขั้นตอนดังนี้



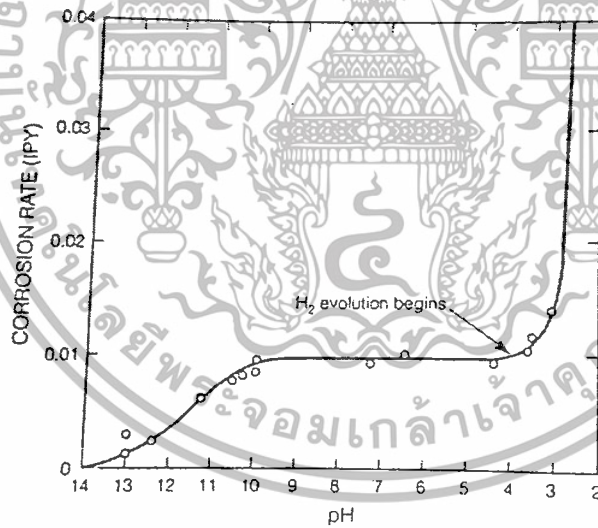
สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะไฮดรอกไซด์ นี้ก็คือสนิม (Rust) สนิมเหล็กสีน้ำตาลแดงของ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ สารประกอบนี้เมื่อเกิดขึ้นแล้วไม่ได้เกิดทั่วผิวโลหะจึงไม่เป็นแผ่นฟิล์มบางหุ้มโลหะจึงไม่มีสภาพปกป้อง (Non-protective) โลหะจากการถูกกัดกร่อน การกัดกร่อนจึงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เรียกว่าเกิดการกัดกร่อนจากน้ำในกรณีสารประกอบเชิงซ้อนโลหะไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นเสถียรไม่ละลายในน้ำและสามารถสร้างเป็นโครงข่าย (Network) ได้จากการขยายขนาดของสารประกอบดังกล่าว พร้อมกับการคลายโปรตรอน (Deprotonated) ได้เป็นฟิล์มบางหุ้มทั่วผิวโลหะและมีสภาพปกป้อง (Protective film) ที่สามารถลดอัตราการกัดกร่อนได้เหมือนเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor) โดยเรียกฟิล์มนี้ว่า Passive film ขบวนการเกิดฟิล์มนี้เรียกว่าการเกิดฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนจากอันตรกิริยากับน้ำ (Water passivation) ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเกิดฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนจากอันตรกิริยากับน้ำ (Water passivation)

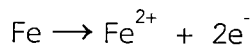
2.2.4.2 ผลของความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำต่อการกัดกร่อน

ความเป็นกรด-เบส หรือค่า pH มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน ตัวอย่างเช่น เหล็กในน้ำที่มีอากาศหรือออกซิเจน และมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH จะมีการเปลี่ยนอัตราการกัดกร่อนตามค่า pH ดังรูปที่ 2.23



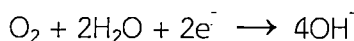
รูปที่ 2.23 ผลของ pH ต่อการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำที่มีออกซิเจนที่ปรับค่า pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

เหล็กเกิดการกัดกร่อนได้ไอออนเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอโนด คือ

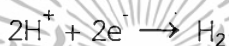


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนค่า pH มีผลต่อปฏิกิริยารีดักชันของ H^+ ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือค่า อัตราการกัดกร่อนด้วย ในน้ำที่มีค่า pH ค่อนข้างเป็นกลาง คือมีค่า pH อยู่ระหว่าง 4-10 พบว่า เกิดสนิมเหล็กที่เป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์ที่แห้งร่วนและไม่ละลายจึงอยู่เป็นคราบสนิมที่ผิวและไม่มีผลเปลี่ยนอัตราการกัดกร่อน การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในสภาวะนี้ จึงเกิดจากออกซิเจนซึมผ่านคราบสนิมเข้าสู่ผิวโลหะ เกิดปฏิกิริยารีดักชันภายใต้คราบสนิม



ในน้ำที่ค่อนข้างเป็นกรด คือ มีค่า pH ต่ำกว่า 4 สนิมเป็นสารประกอบโลหะออกไซด์ที่ละลายได้ในสารละลายกรดในน้ำมีผลให้มีอัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นเพราะ H^+ จากกรดสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันให้แก๊สไฮโดรเจนที่สังเกตเห็นได้ คือ



เมื่อไม่มีสารประกอบโลหะออกไซด์ หรือสนิมเกาะติดที่ผิว บทบาทของออกซิเจนที่ละลายในน้ำก็มีมากขึ้น ดังนั้น การกัดกร่อนในน้ำที่มี pH ต่ำกว่า 4 จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยออกซิเจนในสารละลายกรดเป็นตัวเกิดปฏิกิริยารีดักชันของแคโทด คือ



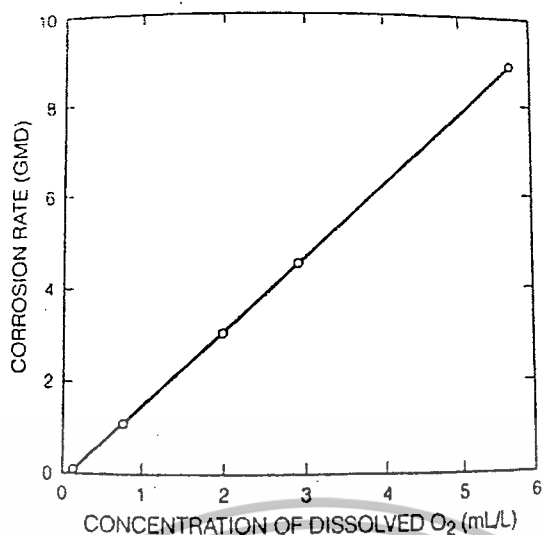
ปฏิกิริยารีดักชันของกรด และออกซิเจนในสารละลายกรดเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จึงมีผลเร่งอัตราการกัดกร่อนในน้ำที่เป็นกรดเป็นอย่างมาก

ในน้ำที่มี pH สูงกว่า 10 อัตราการกัดกร่อนจะลดลง ทั้งนี้เพราะในสภาวะดังกล่าวจะเกิดสารประกอบเฟอร์ริกออกไซด์ เป็นฟิล์มที่มีสมบัติปกป้องจึงมีผลลดการกัดกร่อนได้ แต่เมื่อ pH สูงกว่า 14 น้ำจะไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ได้ ดังนั้น อัตราการกัดกร่อนจึงเพิ่มขึ้นเพราะที่ผิวจะเกิดเป็นสารประกอบเฟอร์ไรต์ (Ferrite) หรือสารแมกเนไทต์ (Magnetite) ที่ละลายได้ ดังนั้นในน้ำที่มีค่า pH ระหว่าง 4-10 การกัดกร่อนจึงขึ้นกับความสามารถในการแพร่ซึมของออกซิเจนเข้าสู่ผิวของโลหะ ชนิดของโลหะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกัดกร่อนมากนัก แต่ถ้ามีค่า pH ต่ำกว่า 4 การกัดกร่อนจะขึ้นกับความเข้มข้นของ H^+ ที่จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

2.2.4.3 ผลของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่อการกัดกร่อน

การกัดกร่อนของเหล็กหรือเหล็กกล้าในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นผลจากการมีออกซิเจนในน้ำที่เป็นกลาง หรือค่อนข้างเป็นเบส โดยพบว่าอัตราการกัดกร่อนในน้ำมีค่าขึ้นกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ตามรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

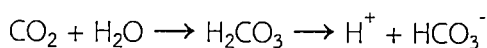


รูปที่ 2.24 ผลของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำที่มี CaCl₂ 165 ppm

นอกจากนั้น การมีออกซิเจนละลายในน้ำในแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน ทำให้เกิดสภาพของเซลล์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้นของออกซิเจน (Differential aeration cell) ที่มีผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบเฉพาะที่ (Localized corrosion) แบบต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง ยิ่งใช้โลหะที่มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ก็จะยิ่งได้รับผลกระทบจากการที่ผิวในบริเวณต่างๆ สัมผัสกับออกซิเจนในน้ำไม่เท่ากันมากขึ้น บริเวณที่สัมผัสกับออกซิเจนในน้ำสูงจะประพุดตัวเป็นแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขณะที่บริเวณใกล้ๆ ที่สัมผัสกับออกซิเจนในน้ำต่ำกว่าจะประพุดตัวเป็นแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะหรือเกิดการกัดกร่อน ยิ่งบริเวณแอโนดมี pH ต่ำลงก็จะมีคราบสนิมเกาะติดให้สังเกตเห็นได้ ขณะที่บริเวณแคโทดรอบๆ จะมี pH เพิ่มขึ้นจากการเกิดรีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่

2.2.4.4 ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำต่อการกัดกร่อน

คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) มาจากอากาศและจากขบวนการเคมีต่างๆ ละลายลงไปใต้น้ำแล้วมีผลให้เกิดการกัดกร่อนหลายแบบ ทั้งนี้เพราะคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H₂CO₃) ที่มีผลลดค่า pH ของน้ำจากการแตกตัวของกรดให้ H⁺ และไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต (HCO₃⁻) ดังนี้

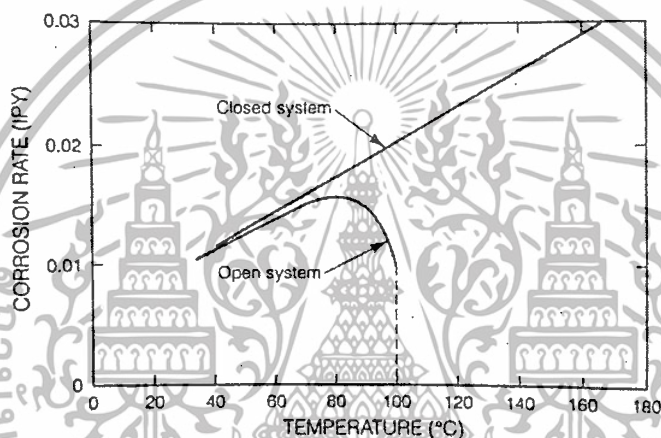


คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจึงมีผลลดค่า pH ของน้ำและทำให้เกิดคราบตะกอนที่ไม่ละลายที่ผิวโลหะ ดังนั้นในขบวนการผลิตสารเคมีบางชนิดที่ต้องใช้น้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำจะเกิดกรดคาร์บอนิกที่มีฤทธิ์กัดกร่อนปานกลางแล้วเกิดเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบ FeCO_3 ที่ผิวเหล็กซึ่งเป็นฟิล์ม ที่มีสมบัติปกป้อง แต่ถ้าน้ำมีการไหลบ่วนก็จะทำให้ฟิล์มนี้หลุดออกและเกิดการกัดกร่อนแบบ Erosion ได้

2.2.4.5 การกัดกร่อนในน้ำที่อุณหภูมิสูง

น้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องจะทำให้อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นก็มีผลลดการละลายของออกซิเจนในน้ำได้ ดังนั้น ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียสของระบบเปิดอัตราการกัดกร่อนจะลดลงเพราะออกซิเจนจะหลุดออกจากน้ำไป แต่ในระบบปิดน้ำจะยังคงมีออกซิเจนอยู่ทำให้การกัดกร่อนยังคงเพิ่มขึ้นแม้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียสก็ตาม ดังรูปที่ 2.25 การควบคุมให้มีออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณต่ำสุดเป็นสิ่งที่ควรทำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อควบคุมการกัดกร่อน โดยเฉพาะในระบบปิดและมีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.25 ผลของอุณหภูมิต่อการกัดกร่อนของเหล็กในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่

2.2.4.6 การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่เป็นบรรยากาศ

สิ่งแวดล้อมที่เป็นอากาศที่โลหะสัมผัสอยู่ทำให้เกิดการกัดกร่อนในเฟสของไอ (Vapor phase) ซึ่งได้แก่ บรรยากาศที่อุณหภูมิห้องที่มีความชื้นอยู่รวมถึงสารเคมีแปลกปลอมต่างๆ ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนการกัดกร่อนในบรรยากาศ (Atmospheric corrosion) เป็นผลจากการที่โลหะต้องสัมผัสกับอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ นอกจากนี้ ยังมีน้ำและความชื้นในบรรยากาศทำให้ผิวหน้าโลหะเปียกหรือขึ้นรวมถึงน้ำที่เป็นความชื้นปกติในอากาศ ผิวโลหะที่เปียกชื้นด้วยน้ำจะมีน้ำเกาะติดเป็นชั้นบางที่ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ สามารถเคลื่อนเข้าสู่ผิวโลหะได้ง่ายกว่าการที่มีน้ำปริมาณมากที่ผิว เช่นในกรณีที่มีโลหะจุ่มอยู่ในน้ำ ดังนั้นที่ผิวของโลหะที่เปียกชื้นจะเกิดการกัดกร่อนมากกว่าผิวที่เปียกชุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โลหะบางส่วนจุ่มอยู่ในน้ำและส่วนที่อยู่เหนือน้ำมีน้ำสาตกระเซ็นมาโดนเป็นระยะๆ ส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำที่มีน้ำกระเซ็นมาโดนจะเกิดการกัดกร่อนมากกว่าส่วนที่จุ่มอยู่ในน้ำ ความชื้นเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนในบรรยากาศ ชั้นบางของน้ำที่ควบแน่นจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นแล้วเกาะที่ผิวโลหะจะเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อน แต่ถ้าผิวโลหะสะอาดปราศจากสารปนเปื้อนแม้จะอยู่ในที่ที่มีความชื้นสูงก็จะเกิดการกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยในบรรยากาศที่ปราศจากมลสารน้ำ จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่อความชื้นในอากาศเกิดค่าวิกฤตจะมีหยดน้ำเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของโลหะจนทำให้โลหะเปียกโลหะจึงสัมผัสกับทั้งน้ำและออกซิเจนซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

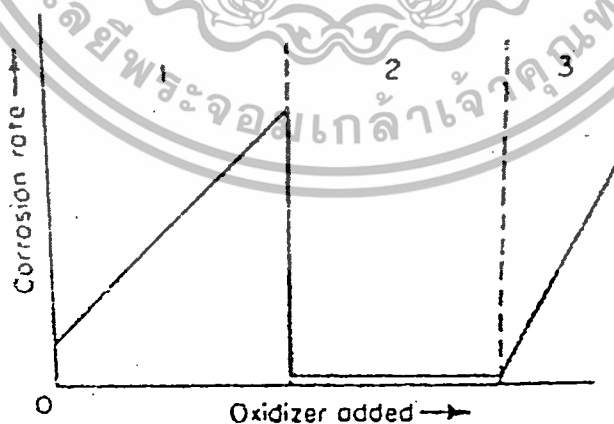
ออกซิเจน	$2M + O_2 \rightarrow 2MO$	เกิดซ้ำๆ และได้ออกไซด์เป็นฟิล์มปกป้อง
น้ำ	$M + H_2O \rightarrow MO + H_2$	จะเกิดเมื่อโลหะว่องไวและมีกรดในน้ำ
น้ำที่มีออกซิเจน	$2M + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2M(OH)_2$	ได้สนิมที่แห้งร่วนและไม่มีฟิล์มปกป้อง

2.2.4.7 การกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมของอุตสาหกรรม

โดยปกติกระบวนการผลิตเกือบทุกประเภทได้มีการออกแบบที่มีการคำนึงถึงการกัดกร่อนไว้ก่อนแล้ว เช่น มีการเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้องเหมาะสมตามสมบัติวัสดุและสมบัติของสิ่งแวดล้อม เพื่อหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนไว้แล้วและอาจมีการใช้วิธีป้องกันการกัดกร่อนแบบต่างๆ การเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นภายหลังด้วยความจำเป็นบางประการอาจทำให้เกิดเหตุการณ์ที่คาดไม่ถึง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงสารออกซิไดซ์และออกซิเจน

การเปลี่ยนชนิดและฤทธิ์ของสารออกซิไดซ์ของสารละลายที่สัมผัสกับโลหะที่มีผลอย่างมากต่อพฤติกรรมของโลหะที่มีสมบัติ active-passive หรือมี passive film ซึ่งมีผลต่ออัตราการกัดกร่อน ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ผลการเติมสารออกซิไดซ์เพิ่มในสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

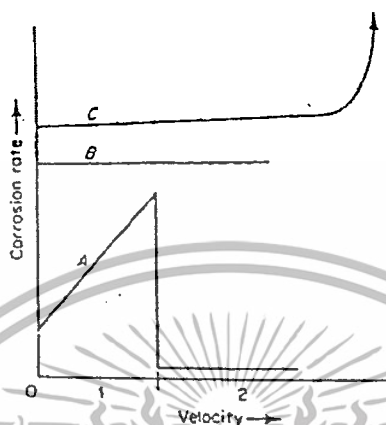
บริเวณที่ 1 เป็นพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะทั่วไป คือ มีการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นถ้ามีสารออกซิไดซ์เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น ทองแดงในกรดซัลฟิวริกมีออกซิเจน หรือเหล็กในน้ำที่มีออกซิเจน ส่วนโลหะที่มีสมบัติ active-passive จะมีสมบัติเช่นนี้ในช่วงแรกของการกัดกร่อนเรียกว่าอยู่ในสภาพ active เมื่อสารออกซิไดซ์เพิ่มมากขึ้นจะเปลี่ยนเข้าสู่บริเวณที่ 2 คือเปลี่ยนเข้าสู่สภาพ passive ที่อัตราการกัดกร่อนลดลงแล้วคงที่โดยไม่ขึ้นกับสารออกซิไดซ์อีก

บริเวณที่ 2 พฤติกรรมของโลหะที่อยู่ในสภาพ passive นั้นคือ โลหะ active-passive เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมจะมีสภาพ passive เมื่อมีสารออกซิไดซ์หรือมีฤทธิ์กัดกร่อนมากค่าหนึ่ง หรือต้องเกิดการกัดกร่อนทั่วผิวหน้าด้วยอัตราการกัดกร่อนที่สูงค่าหนึ่งจึงจะเปลี่ยนเข้าสู่ภาวะ passive ได้ คือ เกิด passive film ทั่วผิวหน้า โดยอัตราการกัดกร่อนจะลดลงแล้วคงที่แม้จะมีสารออกซิไดซ์มากขึ้นก็ตาม ทองแดงในสารละลายกรดที่มีออกซิเจนจะไม่มีสภาพ passive ส่วนเหล็กจะมีสภาพ passive ได้เมื่อสารละลายกรดมีออกซิเจนมากเพียงพอแต่ออกซิเจนก็ละลายน้ำได้เต็มที่ค่าหนึ่งเท่านั้นและไม่เพียงพอ ดังนั้นเหล็กในสารละลายน้ำธรรมดาจึงไม่มีสภาพ passive การใช้เหล็กกล้าไร้สนิมหรือโลหะที่มีสมบัติ passive เช่น ทิทาเนียม จึงควรทำให้อยู่ในสภาพ passive ตั้งแต่ต้นโดยการจุ่มลงในตัวกลางที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงมากพอ เช่น กรดไนตริก หรือสารละลายเพอริกคลอไรด์ เมื่อนำไปใช้งานในสภาพที่มีการเพิ่มสารออกซิไดซ์มากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะไม่เพิ่มผลเพิ่มอัตราการกัดกร่อนในช่วงที่โลหะอยู่ในสภาพ passive

บริเวณที่ 2-3 เป็นพฤติกรรมของโลหะที่เมื่อเริ่มใช้งานอยู่ในสภาพ passive และใช้สัมผัสกับตัวกลางที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์หรือฤทธิ์กัดกร่อนสูงมาก จนทำให้โลหะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็น transpassive เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้กับงานที่มีการเติมสารออกซิไดซ์เช่นโครเมตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราการกัดกร่อนยังคงที่ได้จนถึงจุดหนึ่งเมื่อเติมเพิ่มอีกเพียงเล็กน้อยก็จะเกิดการกัดกร่อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับในบริเวณที่ 1 อีกครั้งหนึ่งสารละลายไนเตรทในกรดผสมของซัลฟิวริกและไนตริกที่เข้มข้นและร้อนทำให้โลหะเปลี่ยนพฤติกรรมจาก 1 เข้าสู่ 2 และ 3 ได้โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนกรดไนตริกต่อซัลฟิวริกไปเรื่อยๆ ดังนั้น การเพิ่มสารออกซิไดซ์มากขึ้นเรื่อยๆ หรือการมีออกซิเจนในสารละลายมากขึ้นจากเดิมจะมีผลอย่างไรต่ออัตราการกัดกร่อน จะขึ้นกับสมบัติของโลหะและตัวกลางที่แวดล้อมโลหะนั้น บางครั้งอาจสลับซับซ้อนแต่ก็สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า

- การเปลี่ยนแปลงความเร็วของสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ

การเปลี่ยนแปลงความเร็วของสารละลายที่อยู่รอบโลหะ ได้แก่การเปลี่ยนอัตราการไหลผ่านหรือไหลวนหรือการเปลี่ยนอัตราการกวน พบว่ามีผลต่ออัตราการกัดกร่อน เช่นเดียวกับการเติมสารออกซิไดซ์ นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงหลายแบบขึ้นกับโลหะและสิ่งแวดล้อม ตามรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ผลของความเร็วของสารละลายรอบๆโลหะต่ออัตราการกัดกร่อน

การเปลี่ยนอัตราการกวนหรืออัตราการไหลของสารละลายรอบโลหะมีผลต่ออัตราการกัดกร่อนดังนี้

ถ้าขั้นตอนการเกิดการกัดกร่อนถูกควบคุมด้วยกระบวนการ Activation polarization การเปลี่ยนอัตราการกวนหรือการไหลของสารละลายไม่มีผลใดๆ ต่ออัตราการกัดกร่อน นั่นคือ อัตราการกัดกร่อนค่อนข้างคงที่ (เส้นโค้ง B) ตัวอย่างเช่น เหล็กในกรดเจือจาง

ถ้าขั้นตอนการเกิดการกัดกร่อนถูกควบคุมด้วยกระบวนการ Cathodic diffusion control การเปลี่ยนอัตราการกวนหรือการไหลของสารละลายมีผลเพิ่มอัตราการกัดกร่อน (เส้นโค้ง A ตอนที่ 1) ผลเช่นนี้เกิดเมื่อมีสารออกซิไดซ์ปริมาณน้อยเช่นการมีออกซิเจนในน้ำหรือในสารละลายกรดตาม ปกติตัวอย่างเช่น เหล็กและทองแดงในน้ำที่มีออกซิเจน

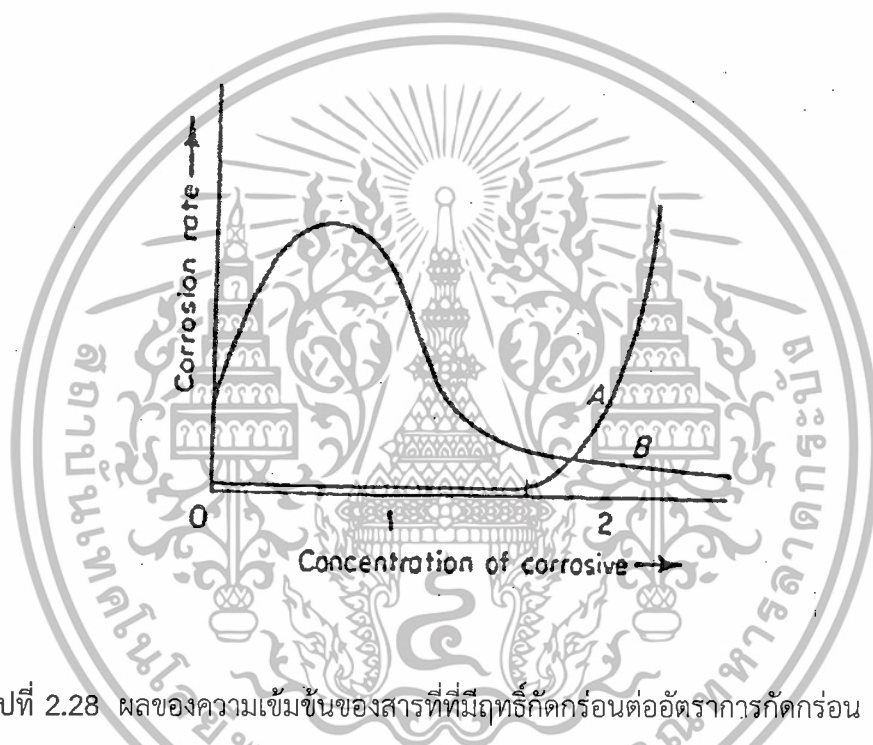
ถ้าขั้นตอนการเกิดการกัดกร่อนถูกควบคุมด้วยกระบวนการ Diffusion control และโลหะเกิดสภาพ passive ได้หลังการเกิดการกัดกร่อนช่วงแรก การกัดกร่อนจะดำเนินไปตามเส้นโค้ง A (1-2) คือ เริ่มเกิดการกัดกร่อนตามแบบที่ 1 ก่อนแล้วเปลี่ยนอัตราการกัดกร่อนเข้าสู่ตอนที่ 2 เมื่อเพิ่มอัตราการกวนหรืออัตราการไหล โลหะจะเปลี่ยนพฤติกรรมจาก active เข้าสู่ passive ดังนั้นโลหะผสมที่ทำ passivate ได้ง่าย เมื่อยิ่งเพิ่มความเร็วของสารละลายที่ไหลสัมผัสอยู่จะยิ่งเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน

ถ้าโลหะหรือโลหะผสมมีฟิล์มด้านการกัดกร่อนที่มีมวลมากและมีสีให้เห็น เช่นฟิล์มของตะกั่วและเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นฟิล์มของตะกั่วซัลเฟตหรือเหล็กซัลเฟตที่ไม่ละลายในภาวะปกติ แต่ถ้าอยู่ในสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงและไหลด้วยความเร็วสูงหรือไหลปั่นฟิล์มก็จะเสียหายจนถูกขูดออกไปจากผิวบางส่วนและมีผลให้เกิดการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น เช่นในเส้นโค้ง C เรียกว่าการกัดกร่อนแบบไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัดกร่อนแบบนี้ว่า Erosion corrosion นั่นคือการกัดกร่อนในช่วงแรกจะต่ำเพราะมีฟิล์มที่เรียกว่า Pseudo passive film เกิดขึ้น จากนั้นเมื่อฟิล์มเทียมนี้ถูกทำลายจากแรงทางกลจากการไหลของ สารละลายที่มีค่าอัตราการไหลค่าหนึ่งที่ทำให้ฟิล์มเสียหายแล้วการกัดกร่อนเพิ่มสูงขึ้นทันที การกวน ในช่วงแรกที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจะไม่มีผลต่อการกัดกร่อน แต่ที่ความเร็วในการกวนสูงถึงค่าหนึ่งอัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้นทันทีตามเส้นโค้ง C ตัวอย่างเช่น ตะกั่วในกรดซัลฟิวริกเจือจาง หรือเหล็กใน กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

- การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อน

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการกัดกร่อน 2 แบบ ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ผลของความเข้มข้นของสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนต่ออัตราการกัดกร่อน

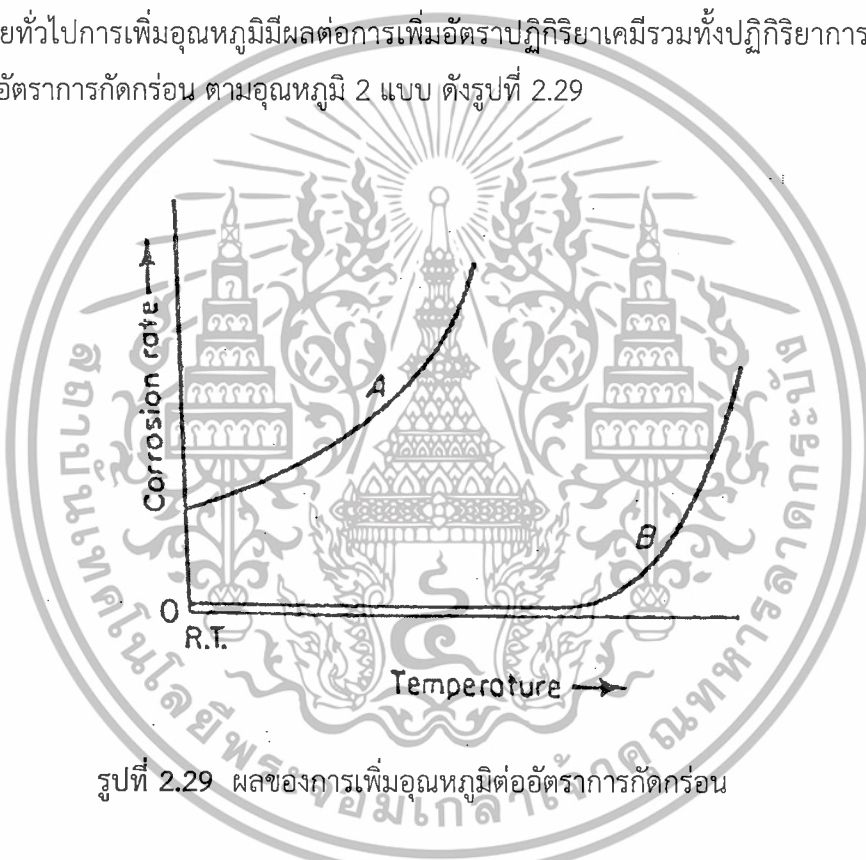
เส้นโค้ง A มีสองช่วงคือ ช่วงที่ 1 และ 2 โลหะที่มีพฤติกรรมแบบช่วงที่ 1 คือโลหะและโลหะผสมที่มีสมบัติ passive และอยู่ในสารละลายบ่งเฉพาะเช่น เหล็กกล้าไร้สนิมในกรดไนตริก หรือแทนทาลัมในกรดเกลือ การเพิ่มความเข้มข้นของสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนไม่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการกัดกร่อนในช่วงที่ 1 โลหะทั่วไปจะมีพฤติกรรมเป็นแบบ 1 ถึง 2 คือ ที่ความเข้มข้นต่ำการเพิ่มความเข้มข้นจะมีผลต่ออัตราการกัดกร่อนน้อยมาก ถ้าความเข้มข้นเพิ่มสูงจนถึงค่าหนึ่งการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามค่าความเข้มข้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดฟิล์มเทียม (Pseudo passive film) ในขณะที่สารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนที่สัมผัสอยู่มีความเข้มข้นต่ำหรือเจือจางและฟิล์มเทียมละลายได้ในสารละลายนั้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นดังนั้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงจนถึงค่าหนึ่งอัตราการกัดกร่อนจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นในรูปช่วงที่ 2 เช่นตะกั่วในกรดซัลฟิวริกเจือจางเกิดการกัดกร่อนทั่วผิวแล้วเกิดเป็นฟิล์มของตะกั่วซัลเฟตที่ป้องกันการกัดกร่อนได้จึงมีค่าอัตราการกัดกร่อนเกือบคงที่แม้จะเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของกรดสูงขึ้นก็ตามแต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นถึงค่าหนึ่งฟิล์มก็จะละลายทำให้ไม่มีฟิล์มป้องกันการกัดกร่อนจึงเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นทันที

เส้นโค้ง B เป็นพฤติกรรมของโลหะในสารละลายกรด เพราะกรดละลายในน้ำได้ทุกค่าความเข้มข้น ดังนั้นเมื่อกรดเข้มข้นเพิ่มขึ้นในตอนแรกจึงมีผลเพิ่มปริมาณไอออนไฮโดรเจน (H^+) จึงเพิ่มฤทธิ์กัดกร่อนและเพิ่มอัตราการกัดกร่อนตามความเข้มข้น แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดเพิ่มถึงค่าหนึ่งอัตราการกัดกร่อนกลับลดลงและลดลงเรื่อยๆ แม้ความเข้มข้นกรดจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังเส้นโค้ง B เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะกรดที่เข้มข้นมากขึ้นจะแตกตัวน้อยลง ดังนั้นไอออนไฮโดรเจนที่มีฤทธิ์กัดกร่อนก็ลดลง ส่งผลให้มีการกัดกร่อนลดน้อยลงด้วย

- การเปลี่ยนอุณหภูมิ

โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มอัตราปฏิกิริยาเคมีรวมทั้งปฏิกิริยาการกัดกร่อน ด้วยการเพิ่มอัตราการกัดกร่อน ตามอุณหภูมิ 2 แบบ ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิต่ออัตราการกัดกร่อน

แบบ A เป็นพฤติกรรมการกัดกร่อนทั่วไป คือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มตามอย่างรวดเร็ว เส้นโค้งจะแสดงความสัมพันธ์แบบก้าวกระโดด (Exponential) เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมในกรดซัลฟิวริก หรือเหล็กกล้าในกรดกัดแก้ว

แบบ B เป็นพฤติกรรมการกัดกร่อนที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในช่วงแรกแทบจะไม่มีผลต่อการกัดกร่อนเลยแต่เมื่ออุณหภูมิถึงค่าหนึ่งอัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว คือ トラบไคที่มี passive film ที่ผิวโลหะอุณหภูมิไม่อาจเร่งการกัดกร่อนได้แต่เมื่อถึงอุณหภูมิที่ทำให้ฟิล์มแตกแม้เพียงเล็กน้อยก็ตาม อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้นทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การทดสอบการกัดกร่อน [18]

2.2.5.1 จุดประสงค์ของการทดสอบการกัดกร่อน

- เพื่อศึกษาและอธิบายปฏิกิริยาการกัดกร่อนและขั้นตอนการเกิดการกัดกร่อน
- เพื่อการวิจัยพัฒนาโลหะและโลหะผสมที่มีความต้านทานการกัดกร่อนและสารเคมีที่ใช้ป้องกันการกัดกร่อน
 - เพื่อให้ได้ข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุโลหะให้เหมาะสมที่สุด
 - เพื่อการควบคุมคุณภาพของการจัดซื้อจัดหาวัสดุโลหะและสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน
 - เพื่อการควบคุมคุณภาพการผลิตวัสดุโลหะ โลหะผสมและวัสดุป้องกันการกัดกร่อน
 - เพื่อการประเมินอายุการใช้งาน (service life) ของวัสดุที่ใช้งานอยู่
 - เพื่อให้ได้ข้อมูลพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะภายใต้สภาพการใช้งานนั้น
 - เพื่อให้ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปหรือจัดการใดๆ เช่นการผ่านความร้อน หรือการขึ้นรูปต่างๆ
- เพื่อให้ได้วิธีการใช้งานโลหะที่เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุดหรือได้วิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่ดีที่สุด
 - เพื่อช่วยการประเมินและควบคุมคุณภาพของสิ่งแวดล้อมที่อาจเป็นป้อนจากการเกิดการกัดกร่อน
 - เพื่อหาวิธีการลดการกัดกร่อนที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
 - เพื่อการควบคุมปัญหาการกัดกร่อนของโลหะที่อยู่ระหว่างการใช้งาน
 - เพื่อการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อน

2.2.5.2 การเตรียมชิ้นงานโลหะสำหรับการทดสอบการกัดกร่อน

การขัดแบบเปียกด้วยแรงทางกล เช่นการขัดที่มีตัวกลางสำหรับขัด คือขัดด้วยกระดาษทรายหรือกระดาษ SiC โดยเริ่มจากเบอร์ต่ำที่หยาบ ซึ่งมีขนาดเม็ดขัดขนาดใหญ่เพื่อให้ผิวโลหะสะอาดและได้ระนาบ จากนั้นเปลี่ยนเป็นเบอร์สูงขึ้นเพื่อให้ได้ผิวเรียบเป็นมันวาวมากขึ้นเรื่อยๆ และต้องล้างด้วยน้ำสะอาดหลังการขัดและเปลี่ยนตัวกลางทุกครั้ง ต้องระวังอย่าให้มีผงโลหะจากการขัดครั้งก่อนๆตกค้างที่บนผิวโลหะหรือที่ขัดเพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนและทำให้ข้อมูลสับสน การจุ่มในสารเคมีก็ทำให้ได้ผิวเรียบเป็นมันวาวได้ แต่อาจไม่เหมือนกับผิวที่ใช้งานจริงที่ผ่านการจัดการผิวเพียงการขัด และอาจทำให้ได้ข้อมูลความต้านทานการกัดกร่อนที่สูงกว่าธรรมชาติของโลหะผสมนั้น เพราะมีบทบาทของสารเคมีที่ใช้สำหรับจุ่มเข้าร่วมที่ผิวด้วย

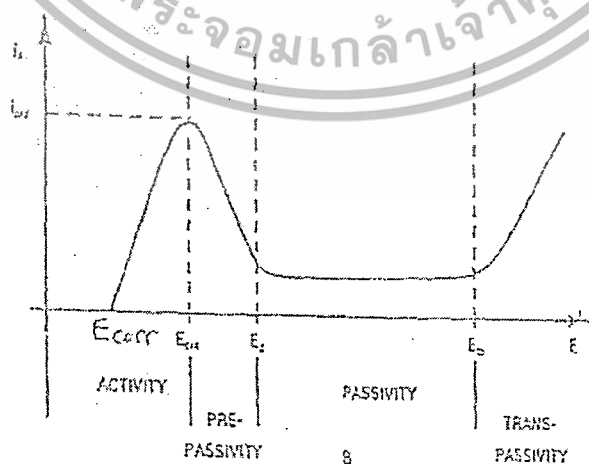
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การล้างคราบไขมันและสิ่งปนเปื้อนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์หรือใช้เครื่องเขย่าอ่างล้างความถี่สูง (Ultrasonic) หลังจากการจัดการผิวให้ได้ผิวเรียบและเป็นมันวาวแล้ว ควรล้างทำความสะอาดคราบไขมันและสิ่งปนเปื้อนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน (Acetone) หรือสารเคมีที่ละลายไขมันได้ เช่น เบสโซดาไฟ (NaOH) เป็นต้น และเพื่อขจัดคราบฝุ่นขนาดเล็กมากที่อาจยังคงติดอยู่ที่ผิวหน้าโลหะ ควรนำชิ้นงานโลหะตัวอย่างที่อยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ไปเขย่าด้วยอ่างล้างความถี่สูง ก่อนนำออกมาล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์และเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน

2.2.5.3 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนซิโอดนามิกโพลาริเซชัน

(Potentiodynamic Polarization)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของการกัดกร่อนของชิ้นงานโลหะตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่กำหนดโดยเฉพาะโลหะผสมที่มีสมบัติ active-passive หรือที่มี passive film โดยการใช้ชิ้นงานโลหะตัวอย่างเป็นขั้วทำงาน (Working electrode, WE) และอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีสถานะของ ความเข้มข้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ตามกำหนด ให้ขั้วอ้างอิงมาตรฐาน (Reference electrode, RE) ต่อให้ครบวงจร บ่อนศักย์ไฟฟ้าแรงการกัดกร่อนผ่านขั้วตรงข้าม (Counter electrode, CE) โดยบ่อนศักย์ไฟฟ้าเริ่มจาก -100 mV จากค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) ไปทางบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ติดตามวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างๆ กระแสจะลดลงเมื่อเกิด passive film และจะเพิ่มขึ้นทันทีเมื่อฟิล์มแตก เส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและค่า $\log i$ ($i = I/A$ หรือความหนาแน่นของกระแส) หรือ Polarization Curve ดังรูปที่ 2.30 จะเห็นพฤติกรรมของการกัดกร่อนของโลหะนั้น ทั้งการเกิดขึ้นของฟิล์ม การคงอยู่ของฟิล์ม ความแข็งแรงของฟิล์ม สมบัติปกป้องของฟิล์มและการแตกของฟิล์ม ข้อมูลที่ได้สามารถตีความเป็นความต้านทานการกัดกร่อนได้ เช่น ค่า E_{pit} คือความต้านทานการเกิดการกัดกร่อนแบบ Pitting หรือ $i_{passive}$ คือสมบัติปกป้องหรือความแข็งแรงของฟิล์ม

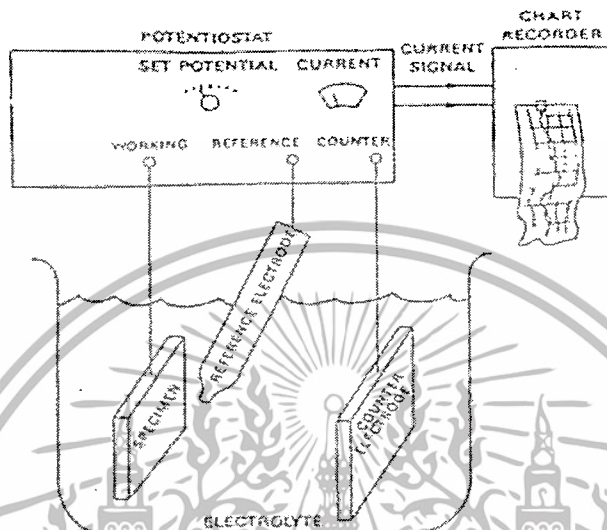


รูปที่ 2.30 Polarization Curve จากการทดลองวิธี Potentiodynamic Polarization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

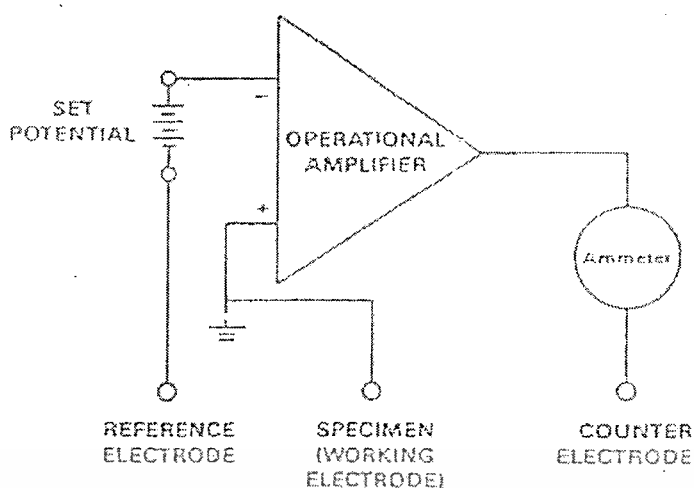
2.2.5.4 การทดสอบโดยเครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat) [20]

รูปแบบของการติดตั้งการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.31 ซึ่งประกอบด้วย ชั้นโลหะทดสอบ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วไฟฟ้าตรงข้าม จุ่มลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องโพเทนชิโอสแตท กระแสที่ออกมาจะถูกบันทึกในรูปแบบของกราฟ



รูปที่ 2.31 การติดตั้งชุดทดลองแบบ Potentiostat

ฟังก์ชันของเครื่องโพเทนชิโอสแตท จะเป็นการวัดค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่าง ชั้นโลหะทดสอบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าหลายๆค่าเข้าไประหว่างชั้นโลหะทดสอบ และขั้วไฟฟ้าตรงข้าม แล้วนำมาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าที่ถูกปรับไว้ ก่อนแล้ว สัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะทำให้การจ่ายกระแสเข้าไปในชั้นโลหะทดสอบเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของชั้นโลหะทดสอบเปลี่ยนไปในทิศทางที่ต้องการ แผนผังของวงจรอย่างง่าย แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แผนผังอย่างง่ายของโพเทนชิโอสแตท

การออกแบบโพเทนชิโอสแตท ที่ดีจะต้องมีความต้านทานระหว่างขั้วโลหะทดสอบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงประมาณ 10^{12} - 10^{15} โอห์ม และจำเป็นต้องให้กระแสจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็นศูนย์ เพื่อป้องกันปัญหาความผิดพลาดของโพลาริเซชันที่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

- ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode)

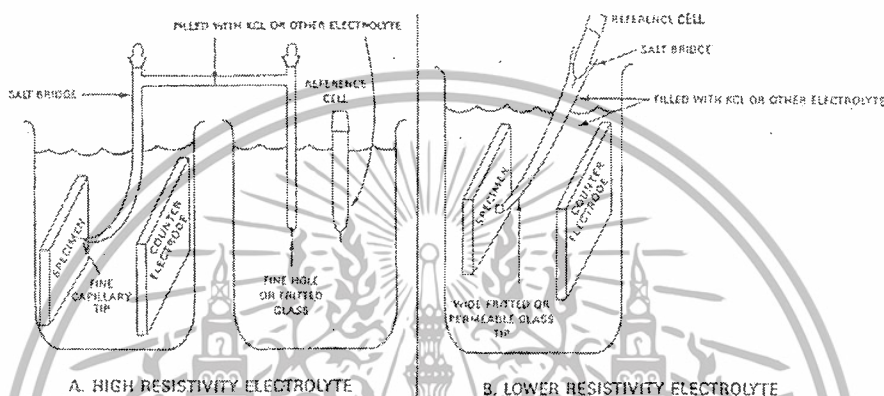
ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงทำจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถรักษาสภาพของศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงส่วนใหญ่จะหุ้มด้วยแก้ว เพื่อให้สามารถควบคุมสารละลายรอบๆขั้วได้ตัวอย่างชนิดของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้กับการทดสอบสารละลายที่อุณหภูมิห้องได้แก่ ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล (Hg/HgCl/KCl) ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver/silver chloride electrode) และขั้วไฟฟ้าคอปเปอร์/คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper/copper sulfate electrode) หากต้องการให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านเข้าไปภายในแก้วที่หุ้มไว้เพื่อความเหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงาน จึงต้องมีรูไว้เพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดการผสมกันภายในขั้วไฟฟ้าอ้างอิงได้

ในบางครั้งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ทดสอบไม่บริสุทธิ์จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงคลาดเคลื่อนจึงต้องมีการป้องกันปัญหานี้ โดยการเลือกใช้ขั้วที่ทำจากวัสดุที่สามารถยอมให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านไปได้บางส่วน เช่น Vycor ถึงแม้ว่าจะกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้บ้างแต่ยังต้องมีการดูแลรักษาวัสดุซึ่งยอมให้สารละลายผ่านไปได้ด้วย ดังนั้นวัสดุบางชนิดสามารถนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงโดยไม่ต้องมีแก้วครอบไว้ ตัวอย่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบน้ำทะเลประกอบด้วยสังกะสี และขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความต้านทาน เมื่อพิจารณาในสารละลาย กระแสระหว่างขั้วโลหะทดสอบ และขั้วไฟฟ้าร่วมเป็นสาเหตุให้ค่าศักย์ไฟฟ้าลดลงไปถึงค่าความต้านทานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงที่วางห่างจากขั้วโลหะทดสอบ จะทำให้สามารถอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างไปจากค่าศักย์ไฟฟ้าจริง

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงสามารถวางในตำแหน่งที่ใกล้กับขั้วโลหะทดสอบมากที่สุด หรืออาจจะวางไว้อีกบีกเกอร์หนึ่งซึ่งมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยมีสะพานเกลือเป็นสะพานเชื่อมระหว่างสองบีกเกอร์ แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การใช้งานของสะพานเกลือ

- ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม (Counter electrode)

โครงสร้างของขั้วไฟฟ้าตรงข้ามจะทำมาจากวัสดุที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น แพลทินัม หรือแกรไฟต์ แพลทินัมมีราคาแพงจึงนำไปใช้เคลือบผิว เนื่องจากแกรไฟต์มีราคาถูกจึงสามารถนำไปใช้กับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้หลายชนิด โดยจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม หรืออาจจะวางขั้วไฟฟ้าร่วมในกล่องแยกที่เชื่อมต่อเข้ากับชุดทดลอง

2.2.6 จลศาสตร์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อน [18]

การพิจารณาแนวโน้มที่จะเกิดการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น การพิจารณาความยากง่ายที่จะเกิดการกัดกร่อนทำได้โดยใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ การพิจารณาความเร็ว-ช้าของการเกิดการกัดกร่อน หรืออัตราการกัดกร่อนก็เป็นสมบัติที่สำคัญเช่นกัน มีโลหะผสมหลายชนิดที่เกิดการกัดกร่อนอย่างช้าๆ ในสภาพที่มีฤทธิ์กัดกร่อนทั้งนี้ เพราะโลหะนั้นมีสมบัติต้านทานการกัดกร่อนสภาพแวดล้อมเช่น อุดมภูมิ ความดัน ความเร็วและความเข้มข้นสูง ในสภาพการใช้งานเช่นนี้จะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนด้วยอัตราการกัดกร่อนสูงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6.1 กฎของฟาราเดย์ (Faraday's law)

ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอน ดังนั้น อัตราการไหลของอิเล็กตรอน เพื่อให้หรือรับหรือแลกเปลี่ยนกันจึงมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่รอยต่อของโลหะกับสารละลายและสามารถใช้อัตราที่แสดงอัตราปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้านั้นได้การไหลของอิเล็กตรอนวัดจากค่ากระแสไฟฟ้า (I) ในหน่วยแอมแปร์ (Amperes, A) โดย 1 แอมแปร์ เท่ากับปริมาณไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ (Coulomb, C) หรือ 6.2×10^{18} อิเล็กตรอนต่อวินาที อัตราส่วนของกระแสต่อมวลของโลหะที่ทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (m) ตามกฎของฟาราเดย์ มีดังนี้

$$m = Ita / nF$$

โดย F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ มีค่า 96500 คูลอมบ์/ สมมูล

n คือ จำนวนสมมูลหรืออิเล็กตรอนที่แลกเปลี่ยนกัน

a คือ มวลอะตอมของโลหะ

t คือ เวลาของการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นวินาที

ตัวอย่างเช่น สังกะสีเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนดังนี้



นั่นคือ สังกะสีทุก 1 มวลอะตอมที่เกิดปฏิกิริยาจะมี 2 สมมูลให้แก่ระบบคือ $n = 2$ ดังนั้น n จึงเป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่ให้และรับในระบบ หรือ เป็นปริมาณเลขออกซิเดชันของโลหะที่เปลี่ยนไป ถ้าใช้โลหะสังกะสีที่มีพื้นที่ผิวหน้าเป็น A ใช้เวลาทำปฏิกิริยาคือ t อัตราการกัดกร่อนหรือ r จะเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ คือ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการกัดกร่อน (r)} &= m/tA \\ &= Ita/tAnF \end{aligned}$$

$$\text{หรือ } r = ia/nF$$

เมื่อ i คือ ความหนาแน่นของกระแส มีค่าเป็น I/A

จากสมการจะเห็นได้ว่า อัตราการกัดกร่อน (r) หรือมวลโลหะที่สูญเสียไปจากการเกิดการกัดกร่อนต่อหน่วยพื้นที่ผิวต่อหน่วยเวลา เช่น เป็น $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ มีค่าแปรผันตามความหนาแน่นของกระแส โดยมีค่าคงที่ของการแปรผันคือ a/nF

แสดงว่า อัตราการกัดกร่อนแปรตามค่าความหนาแน่นของกระแสมากกว่าค่ากระแสไฟฟ้า เพราะถ้ามีกระแสไฟฟ้าในหน่วยพื้นที่ที่เล็กมากที่ไม่ใช่พื้นที่ทั้งหมดของผิวโลหะจะทำให้ได้ค่าอัตราการกัดกร่อนที่สูงมากซึ่งไม่ใช่ความจริง อัตราการกัดกร่อนจึงแปรผกผันกับขนาดของพื้นที่ผิว

โดยที่ค่าความหนาแน่นของกระแสจากการเกิดการกัดกร่อนที่ตรวจวัดได้พบว่ามีค่าถึง 10^{-9} แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรดังนั้นการใช้เทคนิคตรวจวัดกระแสจากการเกิดการกัดกร่อนแบบเคมีไฟฟ้าจึงเป็นวิธีที่มีความไว (Sensitivity) เหมาะกับการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

อัตราการลุกลามของการกัดกร่อน (Penetration rate) ในหน่วยเวลาหนึ่งหาได้จากคิดค่าอัตราการกัดกร่อน r ร่วมกับความหนาแน่นของโลหะ D ดังนั้น หน่วยของอัตราการกัดกร่อน จึงเปลี่ยนเป็นหน่วยความหนาแน่นของโลหะที่บางลงต่อหน่วยเวลาเช่น เป็น mpy (Mils per year) โดย 1 mil เท่ากับ 0.001 นิ้ว ดังนั้นอัตราการกัดกร่อนในแง่ของอัตราการลุกลามจึงมีสมการดังนี้

$$R = 0.129 \frac{ai}{nD} \quad (\text{mpy})$$

ค่า i มีหน่วยเป็น $\mu\text{m}/\text{cm}^2$

และ D มีหน่วยเป็น g/cm^3

ค่าคงที่ 0.129 ใช้เมื่อค่า r มีหน่วยเป็น mpy

และเป็น 0.00327 ใช้เมื่อค่า r มีหน่วยเป็น mm/yr

และเป็น 3.27 ใช้เมื่อค่า r มีหน่วยเป็น $\mu\text{m}/\text{yr}$

การคำนวณอัตราการกัดกร่อนจากความหนาแน่นของกระแสต้องใช้ค่ามวลสมมูล (Equivalent weight) หรือ a/n ของโลหะที่ใช้ ถ้าเป็นโลหะผสมให้ใช้ค่ามวลสมมูลเฉลี่ย โดยคิดจากจำนวนสมมูลของธาตุผสม หรือธาตุเจือที่เป็นธาตุผสมหลัก ส่วนกลับของจำนวนสมมูลทั้งหมด (N_{EQ}) ก็คือ มวลสมมูลเฉลี่ยของโลหะผสม คือ

$$N_{EQ} = \frac{\sum [f_i / a_i / n_i]}{\sum [f_i n_i / a_i]}$$

ค่า f_i คือ สัดส่วนโดยมวลของธาตุผสมในโลหะผสม

n_i คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่ได้รับในระบบ

a_i คือ มวลอะตอม

จากนั้นจะคำนวณค่ามวลสมมูล ได้จากส่วนกลับของค่า N_{EQ} ตัวอย่างเช่น

ให้หาค่ามวลสมมูลเฉลี่ยของเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 โดยมีข้อมูลดังนี้

ธาตุผสม Cr มีส่วนผสม 19% จำนวนอิเล็กตรอน $n = 3$

ธาตุผสม Ni มีส่วนผสม 9.25% จำนวนอิเล็กตรอน $n = 2$

ธาตุผสม Fe มีส่วนผสม 71.75% จำนวนอิเล็กตรอน $n = 2$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } N_{EQ} &= 0.19(3)/52.00 + 0.0925(2)/58.71 + 0.7175(2)/55.85 \\ &= 0.03981 \end{aligned}$$

$$\text{มวลสมมูลเฉลี่ย} = 1/0.03981$$

$$= 25.12$$

นั่นคือ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีค่ามวลสมมูลเฉลี่ย 25.12

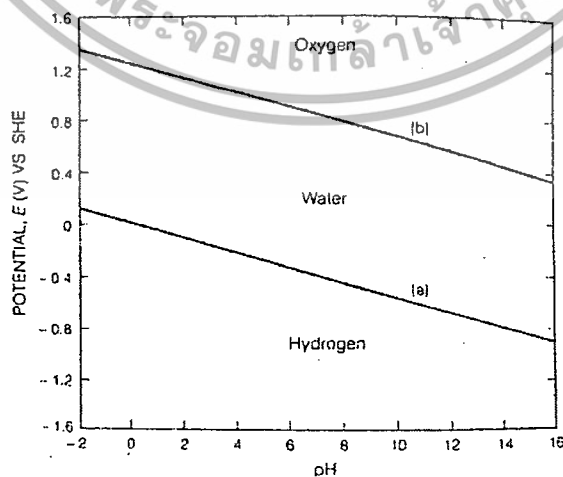
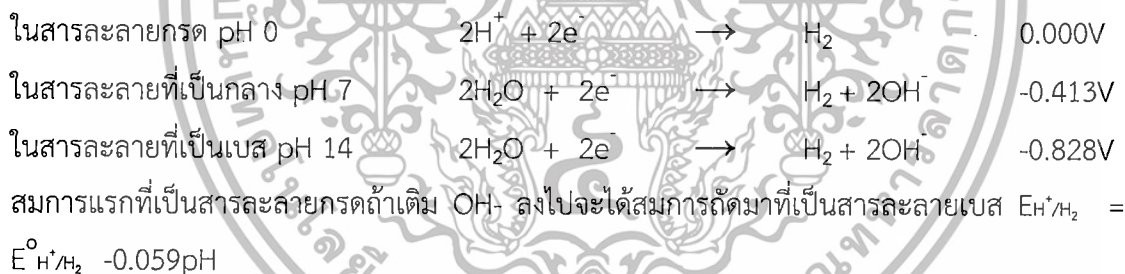
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 แผนภาพโพเบ (Pourbaix diagram) [18]

แผนภาพโพเบเป็นแผนภาพของศักย์ไฟฟ้าของโลหะต่อค่าความเป็นกรดเบสของสารละลาย (Potential/pH diagram) ใช้แสดงสภาพอุทกศาสตร์ของสารละลายที่ค่า pH ต่างๆ มีบริเวณของเฟสต่างๆที่เกิดขึ้นจากเสถียรภาพของระบบเคมีไฟฟ้าของโลหะในสารละลายนั้น เส้นรอยต่อของเฟสหรือบริเวณต่างๆเป็นไปตามสมการของเนิร์สต์ มีการประยุกต์แผนภาพนี้ได้หลายอย่างเช่น ในเซลล์เชื้อเพลิง ในงานชุบเคลือบด้วยไฟฟ้า และในงานถลุงโลหะ ในแผนภาพแสดงปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นขณะอยู่ในสมดุลโดยเน้นปฏิกิริยาของโลหะกับน้ำบริสุทธิ์ บริเวณต่างๆในแผนภาพประกอบด้วยบริเวณที่โลหะไม่เกิดการกัดกร่อนเลยในแง่เทอร์โมไดนามิกส์ (Immune) ในบางกรณีจึงใช้บริเวณนี้ในการป้องกันการกัดกร่อน บริเวณต่อไปคือบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนตามปกติ (Corrosion) แต่จะไม่ไปข้อมูลอัตราการกัดกร่อนเลย การกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงใช้แผนภาพนี้ได้ดี เพราะปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงเกิดได้เร็วและถึงจุดสมดุลได้ง่าย และบริเวณที่เกิดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน (Passivation) ที่มักเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะที่มักไม่ค่อยเสถียรโดยมีการสลายตัวอย่างช้าๆ

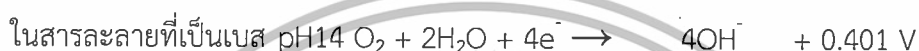
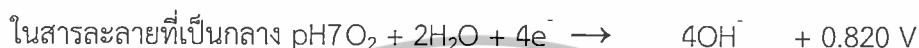
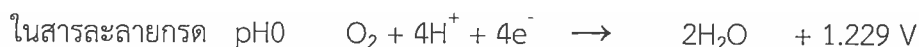
แผนภาพโพเบเป็นการพิจารณาพฤติกรรมของโลหะในน้ำที่มีค่า pH และศักย์ไฟฟ้าต่างๆ โดยโลหะเกิดออกซิเดชันและน้ำเกิดรีดักชัน พฤติกรรมของน้ำที่เปลี่ยนตาม pH และศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะ ดังนี้

ปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดก๊าซไฮโดรเจน ปฏิกิริยาที่ pH เป็นกรดและเบสจะเกิดดังนี้



รูปที่ 2.34 แผนภาพศักย์ไฟฟ้า/pH แสดงสถานะของน้ำและผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้น a เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ไม่มีออกซิเจนที่ pH ต่างๆ เนื่องจากค่า $E^{\circ}_{H^+/H_2}$ ที่ pH0 มีค่าเป็น 0 ดังนั้นเส้น a จึงมีความชัน $-0.059V$ ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดไฮโดรเจน (E_{H^+/H_2}) เป็นภาวะที่น้ำไม่เสถียรเกิดการสลายตัวอย่างช้าๆ ให้ไอออนไฮโดรเจนที่จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันแล้วให้ก๊าซไฮโดรเจนตามรูปคือบริเวณที่ต่ำกว่าเส้น a ส่วนบริเวณที่เหนือเส้น a น้ำจะเสถียรและก๊าซไฮโดรเจนที่มีอยู่จะเกิดปฏิกิริยาให้ H^+ หรือน้ำที่เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของทั้งสองครึ่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ คือ ที่ค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากขึ้นจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้



สมการของเนิร์สท์ที่ความดันออกซิเจน 1 บรรยากาศ คือ

$$E_{O_2/H_2O} = E^{\circ}_{O_2/H_2O} - 0.059 \text{ pH}$$

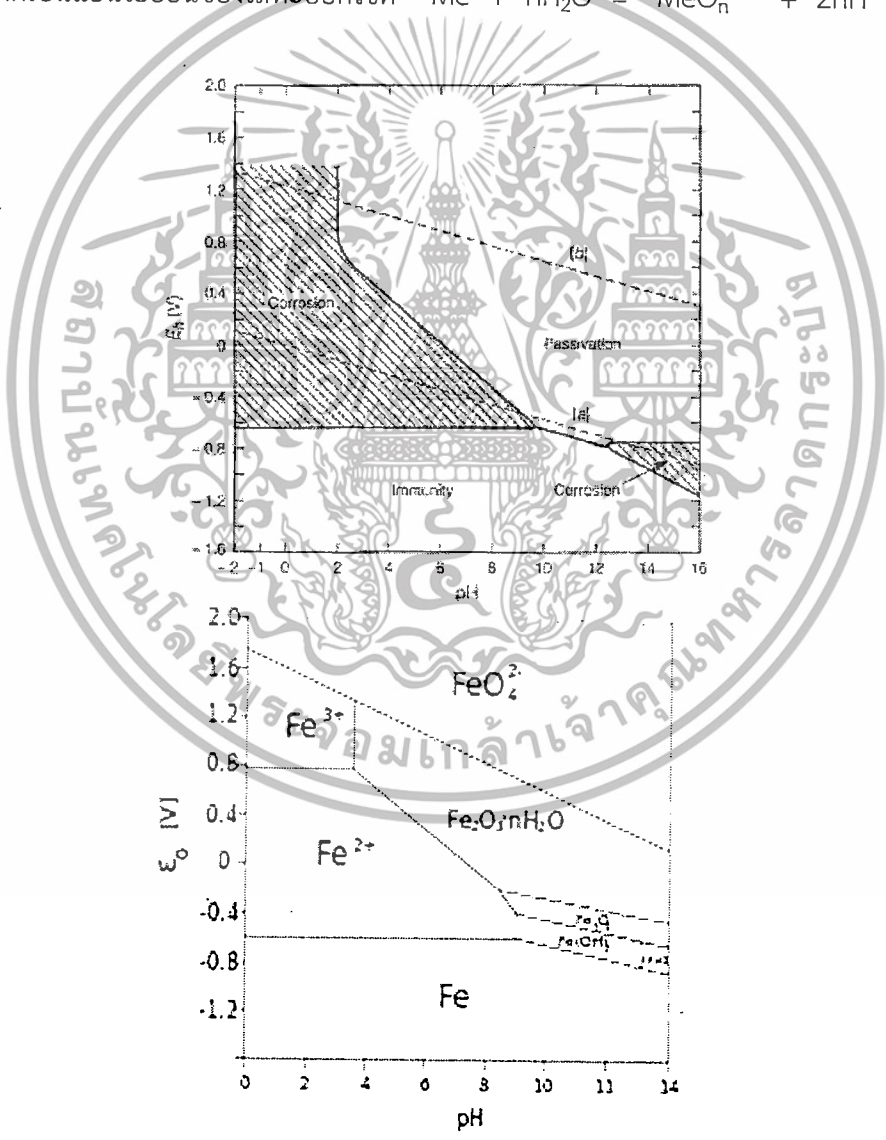
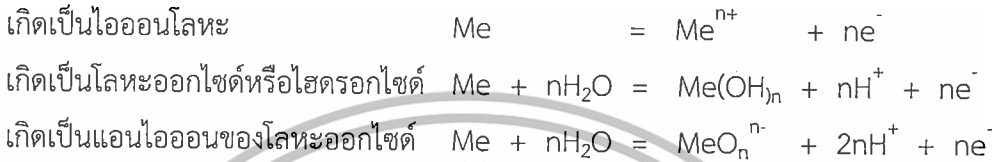
เส้น b ในแผนภาพโพเทโบลที่ 2.34 แสดงความสัมพันธ์ของค่าศักย์ไฟฟ้า E_{O_2/H_2O} และค่า pH ซึ่งที่ pH0 ค่า $E^{\circ}_{O_2/H_2O} = 1.229 V$ และที่ pH14 ค่า $[OH^-] = 1$ มีค่า $E^{\circ}_{O_2/H_2O} = 0.401 V$ ความชันของเส้นตรง b จึงมีค่า $-0.059 V$ เท่ากับเส้น a ที่ศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากขึ้นเหนือเส้น b พบว่าที่ทุกค่า pH น้ำจะไม่เสถียรโดยจะถูกออกซิไดซ์ให้ก๊าซออกซิเจน ส่วนที่บริเวณต่ำกว่าเส้น b น้ำจะเสถียรและออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกรีดิวซ์ให้น้ำ ดังนั้นตามรูปที่ 2.34 จะแบ่งแผนภาพโพเทโบลเป็น 3 บริเวณ คือ บริเวณบนสุดน้ำเป็นแอนโอดทางเคมีไฟฟ้าโดยเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซออกซิเจน บริเวณตรงกลางน้ำจะเสถียรและไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ส่วนบริเวณล่างสุดน้ำเริ่มเป็นแคโทดทางเคมีไฟฟ้าและเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซไฮโดรเจน เส้นแบ่งเขตทั้งสองจะปรากฏอยู่ในแผนภาพโพเทโบลทุกภาพ ทั้งนี้เพื่อแสดงบริเวณที่เกิดปฏิกิริยากัดกร่อนทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนหรือบริเวณที่ทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

2.2.7.1 แผนภาพโพเทโบลของโลหะ

แผนภาพประกอบด้วย 3 บริเวณคือ บริเวณ corrosion บริเวณ passive และบริเวณ immune โดยในทุกบริเวณจะไม่ปรากฏค่าอัตราการกัดกร่อน บริเวณ corrosion หมายถึง บริเวณที่โลหะเกิดการกัดกร่อนหรือถูกออกซิไดซ์และสารละลายของไอออนโลหะที่เกิดขึ้นอยู่ในสภาวะเสถียร บริเวณ passive เป็นบริเวณที่โลหะสามารถต้านการกัดกร่อนได้เพราะเกิดสารประกอบออกไซด์ของโลหะนั้นที่ผิวและอยู่ในสภาวะเสถียร บริเวณ immune คือ บริเวณที่โลหะอยู่ในสภาวะเสถียรโดยโลหะอยู่ในสภาพถูกรีดิวซ์ คือเป็นโลหะที่มีเสถียรภาพสูงในแง่เทอร์โมไดนามิกส์โดยไม่เกิดการกัดกร่อนแต่อย่างใด ในเทคนิคป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก (Cathodic protection) ก็ใช้หลักการนี้โดยการทำให้โลหะตัวอย่างอยู่ในสภาพ immune ตลอดเวลาโดยการควบคุมค่าศักย์ไฟฟ้าของโลหะ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

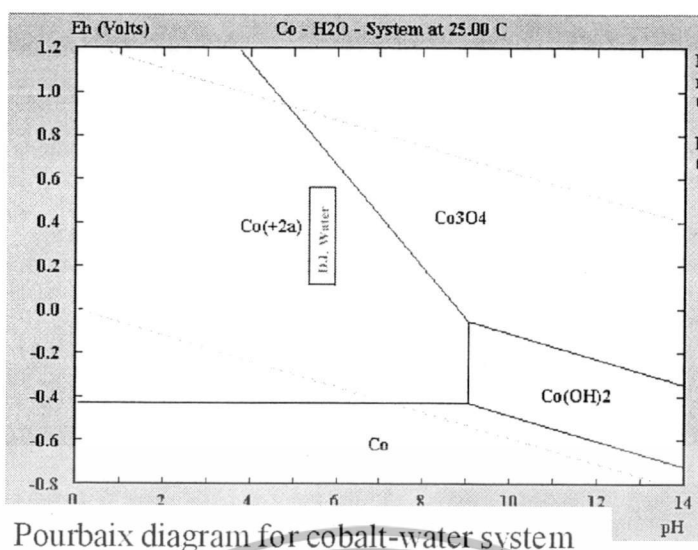
ในสิ่งแวดล้อมนั้นให้มีความอยู่ในบริเวณ immune นั้นเอง ที่รอยต่อของบริเวณต่างๆในแผนภาพเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของระบบอยู่ในสมดุลซึ่งเป็นสมดุลของเฟสที่อยู่ติดกันซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับความเข้มข้น

เมื่อโลหะ Me เกิดการกัดกร่อนแล้วละลายออกจากโลหะเข้าไปอยู่ในสารละลายของน้ำ อาจอยู่ได้ในรูปแบบของไอออนโลหะหรือเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นสารประกอบออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของโลหะหรือเกิดเป็นแอนไอออนของโลหะออกไซด์ อย่างไรก็ตามทุกรูปแบบที่เกิดขึ้นจะปรากฏอยู่ในบริเวณต่างๆในแผนภาพโพเทของโลหะนั้น ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



รูปที่ 2.35 แผนภาพโพเทของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 แผนภาพโพเบของโคบอลต์

2.3 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน

2.3.1 สารช่วยลดความร้อน (Coolant)

สารช่วยลดความร้อน เป็นชื่อเรียกกลุ่มของเหลว ส่วนมากเป็นพวกน้ำมัน ที่ใช้ในการหล่อ ลื่นหรือเพื่อลดความร้อนและการเสียดสี เมื่อทำการตัด เจียรหรือบดโลหะ ช่วยให้ไม่เกิดความร้อน มากจนไฟไหม้หรือควันขึ้น หรือเกิดประกายไฟ ช่วยให้ขอบหน้าของโลหะที่ตัดมีความเรียบเนียน และ ช่วยให้เศษผงโลหะที่เกิดขึ้นจากการตัดหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น

ของเหลวที่มีคุณสมบัติเป็นน้ำหล่อเย็นได้มีอยู่มากมายหลายชนิด แบบที่หาได้ง่ายที่สุดคือ น้ำประปา (tap water) ก็สามารถนำมาใช้เป็นน้ำหล่อเย็นได้ ที่มีการพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้นจะเป็น กลุ่มน้ำมันปิโตรเลียม และสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งจะแบ่งน้ำหล่อเย็นที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดเป็นกลุ่ม ใหญ่ๆ ได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

2.3.1.1 Straight oils หรือ Cutting oils หรือ Neat oils

อาจเป็นน้ำมันปิโตรเลียม (Mineral or petroleum oil) น้ำมันจากสัตว์ จากสัตว์น้ำ จาก พืช หรือเป็นน้ำมันสังเคราะห์ กลุ่มที่เป็นน้ำมันปิโตรเลียมที่คุณภาพค่อนข้างดีจะผ่านการกลั่น (severely solvent refined หรือ severely hydrotreated) เพื่อลดสารกลุ่ม Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งให้น้อยลง เนื่องจากน้ำหล่อเย็นกลุ่มนี้เป็น น้ำมันล้วนๆ ฉะนั้นจะไม่ละลายน้ำ บางครั้งอาจมีการใส่สารเติมแต่ง (Additives) ลงไปด้วย เพื่อเพิ่ม คุณสมบัติบางอย่าง

2.3.1.2 Soluble oils

ประกอบด้วยน้ำมันปิโตรเลียม 30-85 % ผสมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ซึ่งเป็น สารที่มีคุณสมบัติทำให้น้ำมันละลายผสมกับน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 Semi-synthetic fluids

หรือน้ำหล่อเย็นกลุ่มกึ่งสังเคราะห์ ประกอบด้วยน้ำมันปิโตรเลียม 5-30 % ผสมกับน้ำ 30-50 % และสารเติมแต่ง

2.3.1.4 Synthetic fluids

หรือน้ำหล่อเย็นสังเคราะห์ กลุ่มนี้จะไม่มีส่วนประกอบของน้ำมันปิโตรเลียมเลย แต่จะเป็นสารเคมีกลุ่มดีเทอร์เจนท์ (Detergent) และใส่สารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง (Additive) ที่ผสมอยู่ในน้ำหล่อเย็นนั้นมีหลายกลุ่ม ทำหน้าที่เพิ่มคุณสมบัติบางอย่างให้กับน้ำหล่อเย็น เช่น

- เพิ่มสารซัลเฟอร์หรือคลอรีนเพื่อทำปฏิกิริยาเคมี (Sulphurized or chlorinated compounds)
- ป้องกันการกัดกร่อน (Calcium sulfonate, fatty acid, amines, boric acid)
- ช่วยให้ทนความดันสูงได้ (Sulfurized fatty materials, chlorinated paraffins, phosphorus derivatives)
- ลดการเกิดลอะอง (Polyisobutylene polymer)
- อิมัลซิไฟเออร์ (Triethanolamine, sodium petroleum sulphonates, salts of fatty acids and non-ionic surfactants)
- สารตั้งต้นของอิมัลซิไฟเออร์ (Alkanolamines)
- ยาฆ่าเชื้อ (Triazine compounds, oxazolidine compounds)
- สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizers)
- ลดการเกิดโฟม (Defoamers)
- สารแต่งสี (Colorants) และสีย้อม (dyes)
- สารแต่งกลิ่น (Odourants) และน้ำหอม (Fragrances) เป็นต้น

2.3.2 สารหล่อลื่น (Lubricant)

ผลิตภัณฑ์หล่อลื่น คือ สารหล่อลื่นที่เข้าไปแทรกเป็นฟิล์มหรือเยื่ออยู่ระหว่างผิวโลหะที่เสียดสีกัน เพื่อลดความฝืดและลดการสึกหรอให้มากที่สุด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

2.3.2.1 สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลว เรียกว่า น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oils or Lube Oils)

เช่น น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันไฮดรอลิก เป็นต้น มีส่วนผสมระหว่าง น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils) สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) และสี (Dye)

2.3.2.2 สารหล่อลื่นที่มีลักษณะกึ่งเหลว กึ่งแข็ง เรียกว่า จาระบี (Grease)

ใช้หล่อลื่นในจุดที่ไม่สามารถกักเก็บน้ำมันเอาไว้ได้ เช่น ตลับ ลูกปืน ล้อ ลูกหมาก บุชเพลลา หรือหูแหวน แบริงลูกปืนบางชนิด เป็นต้น เป็นสารผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils)

สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) และสบู่ (Soap)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันหล่อลื่นจะประกอบด้วย ส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils) และสารเพิ่มคุณภาพ (Additives)

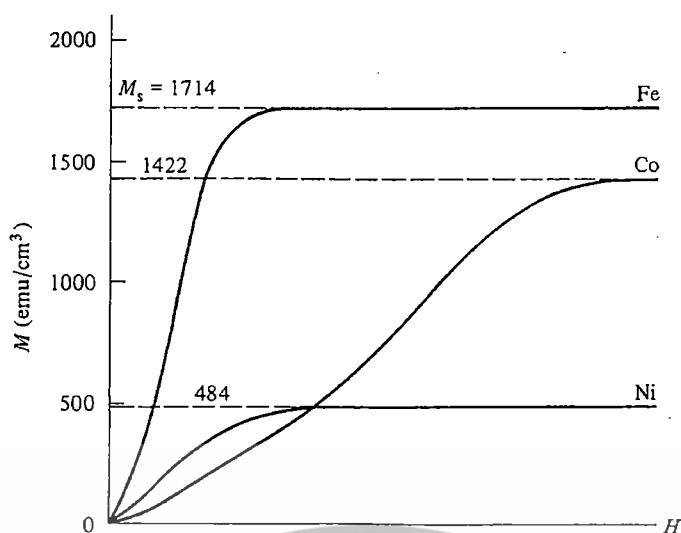
2.3.3 สารกลุ่มไพโรรีโดน

เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลาย มีความเป็น solvent strength สูง มีอัตราการระเหยตัวต่ำ การกัดกร่อนต่ำ การละลายที่ดี ง่ายต่อการรีไซเคิลและยังสามารถเป็น co-solvent กับ สารกลุ่มแอลกอฮอล์ หรือคีโตน ซึ่งสารประเภทนี้จะนิยมใช้ในการทำความสะอาดชิ้นงานใน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

2.4 วรรณกรรมและกรอบแนวคิด

การกัดกร่อนเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจาก ส่วนประกอบที่สำคัญส่วนใหญ่ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตขึ้นจากโลหะ ส่วนประกอบที่สำคัญเช่น หัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นได้ทำการผลิตขึ้นจากโลหะผสมที่มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก เพื่อทำหน้าที่สำหรับบันทึกข้อมูลและเป็นส่วนประกอบที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาการกัดกร่อน สูงมากเนื่องจากโลหะเหล่านี้จำเป็นต้องสัมผัสสารเคมีหลายชนิดในกระบวนการผลิต จึงมีโอกาสเกิด การกัดกร่อนของโลหะผสมดังกล่าวขึ้น เมื่อเกิดการกัดกร่อนขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อ ความสามารถในการอ่านและบันทึกข้อมูล ทำให้ประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลและความจุของการ บันทึกข้อมูลลดลง เมื่อมีการพัฒนาโลหะผสมชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูงขึ้นนั้น จะต้องคำนึงถึงผลกระทบของการกัดกร่อนที่จะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต

ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการประยุกต์ใช้โลหะผสมในการทำหน้าที่เป็นชั้น แม่เหล็กในการอ่านและบันทึกข้อมูลของหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โลหะเหล่านั้นเป็นโลหะ จำพวกสารแม่เหล็กเฟอร์โร (Ferromagnetic) ซึ่งประกอบด้วย เหล็ก (Fe) โคบอลต์ (Co) และ นิกเกิล (Ni) เมื่อมีความต้องการเพิ่มความจุของการบันทึกข้อมูล ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเพิ่มความจุ ของการบันทึกข้อมูลก็คือ องค์ประกอบของโลหะผสม ซึ่งองค์ประกอบของโลหะผสมนี้จะส่งผลต่อ สมบัติความเป็นแม่เหล็ก มีนักวิจัยศึกษาสมบัติความเป็นแม่เหล็กของ Fe Co และ Ni พบว่า Fe มี สมบัติความเป็นแม่เหล็กอ้อมตัวเท่ากับ 1714 Co มีค่าเท่ากับ 1422 และ Ni มีค่าเท่ากับ 484 (emu/cm^3) จากผลการวิจัยนี้พบว่า Co-Fe เป็นวัสดุสำคัญของเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูล เนื่องจาก เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่มีค่าความเป็นแม่เหล็กสูง [1]



รูปที่ 2.37 กราฟเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของ Fe Co และ Ni [1]

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีผู้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของ Co-Ni-Fe และ Ni-Fe จากการเคลือบผิวด้วยเทคนิคพัลส์-รีเวิร์ส บนแผ่นโลหะซิลิกอน โดยทดสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็ก (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) พบว่า Co-Ni-Fe แสดงสมบัติความเป็นแม่เหล็กได้ดีถึง 1.7 เทสลา ส่วน Ni-Fe แสดงสมบัติความเป็นแม่เหล็กเพียง 1.1 เทสลา [21] จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการสร้างชั้นฟิล์ม Co-Fe และศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสม Co-Fe

การเคลือบผิวนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น เทคนิคการเคลือบแบบพลาสมาสเปตเตอร์ริง (Plasma sputtering) เทคนิคนี้ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกำลังหลายแบบ เช่น แหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC plasma sputtering) แหล่งจ่ายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC plasma sputtering) และ แหล่งจ่ายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง (RF plasma sputtering) เทคนิคการเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical vapour deposition, CVD) เทคนิคการเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพ (Physical vapour deposition, PVD) และเทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electrodeposition) ซึ่งเทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้านี้เป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจเนื่องจาก มีอัตราในการเคลือบผิวสูง ง่ายต่อการควบคุมอัตราส่วนของโลหะผสมที่ต้องการให้เคลือบติด สามารถเคลือบผิวบนชิ้นงานที่มีความโค้งและไม่เรียบได้ ยึดติดบนชิ้นงานได้ดี และเป็นเทคนิคที่ต้นทุนไม่สูงมาก [22, 23]

การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้ามีอยู่หลายเทคนิค ประกอบไปด้วย เทคนิคการเคลือบผิวแบบไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic voltammetry, CV) เป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าเป็นไซเคิลที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมไปยังขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายที่อยู่หนึ่งแล้ววัดกระแสที่เกิดขึ้น ศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานจะถูกควบคุมเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปศักย์ที่ให้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เรียกการสแกนศักย์ไฟฟ้านี้ว่า การสแกนไปข้างหน้า (Forward scan) เมื่อสแกนไปถึงจุดหนึ่งที่กำหนดไว้ แล้วศักย์ไฟฟ้าก็จะเริ่มลดลงด้วยอัตราการสแกนเท่าเดิมเรียกว่า การสแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย้อนกลับ (Reverse scan) จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นจะได้เป็นหนึ่งไซเคิล เทคนิคการเคลือบผิวแบบพัลส์ (Pulse) เป็นเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าโดยควบคุมเวลาระหว่างจ่ายค่าศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสและเทคนิคนี้ยังสามารถควบคุมองค์ประกอบและความหนาของฟิล์มได้โดยการควบคุมช่วงความกว้างของพัลส์ ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มจำนวนเกรนต่อหน่วยพื้นที่ได้ [8, 9]

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีผู้สนใจศึกษาการเคลือบผิวของโลหะด้วยเทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยศึกษาการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าของโลหะ Ni-Co ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี โดยมีการศึกษาผลของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลาย (pH) ช่วงศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ และจำนวนรอบของการสแกน จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนในการเคลือบผิวของโลหะผสมที่ได้จะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของไอออนของโลหะในสารละลายเมื่อใช้ค่าความเป็นกรดเบสของสารละลายเท่ากับ 2 บนช่วงศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 0 ถึง 1.2 mV และพวกเขาายังได้ศึกษาการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าของ Co-Ni และ Fe-Co จากเทคนิคพัลส์-รีเวิร์ส โดยมีการใช้ช่วงศักย์ไฟฟ้าและเวลาเป็นตัวกำหนดอัตราการเคลือบผิวของโลหะบนชิ้นงานตัวอย่าง พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาและใช้ช่วงศักย์ไฟฟ้าลดลงจะสามารถปรับปรุงอัตราการเคลือบผิวของ Ni ได้ ส่วนอัตราการเคลือบผิวของ Co-Fe บนชิ้นงานตัวอย่างนั้นจะเท่ากับอัตราส่วนของ Co-Fe ในสารละลาย ซึ่ง การทดลองทั้งสองนี้มีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างและติดตั้งอุปกรณ์เหมือนกันคือใช้ชิ้นงานตัวอย่างเป็นทองแดง 99.5% มีขั้นตอนในการทำ ความสะอาดทองแดงโดย ทำความสะอาดด้วยไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloethylene) ล้างด้วยน้ำ กลั่น แอนโอดิซ (Anodize) ใน 0.1 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 30 มิลลิแอมแปร์ต่อตาราง เซนติเมตร เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำการบ่อนกระแสในด้านแคโทด 75 มิลลิแอมแปร์ต่อตาราง เซนติเมตรเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นล้างในอ่างความถี่สูง (Ultrasonic bath) 5 นาที และล้าง ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 5 โมลาร์ 5 นาที ใช้เทฟลอนเคลือบผิวก่อนการชุบผิว ทำการเคลือบผิว ด้วยไฟฟ้าด้วยเซลล์เคมีไฟฟ้าชนิด 3 ขั้ว โดยใช้โลหะทองแดงเป็นขั้วทำงาน (Working electrode) ขั้วอ้างอิงซิลเวอร์ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) เป็นขั้วอ้างอิง (Reference electrode) และโลหะ แพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม (Counter electrode) ใช้ $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ และ $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ เป็นสารละลายสำหรับการเคลือบผิว และพ่นแก๊สไนโตรเจนก่อนการเคลือบผิวเป็นเวลา 15 นาที [4, 24]

จากการศึกษาค้นคว้าจากงานวิจัยส่วนใหญ่โลหะที่ใช้เป็นชิ้นงานสำหรับการเคลือบผิว (Substrate) จะใช้โลหะทองแดง [4, 24-27] เนื่องจากทองแดงเป็นวัสดุผิวมันสามารถปรับสภาพ พื้นผิวก่อนทำการเคลือบผิวได้ง่าย นำไฟฟ้าได้ดี สามารถหาได้ง่าย และราคาถูก

จากการศึกษาเทคนิคของการทำการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าข้างต้นแล้วทำให้ทราบว่า การที่จะเคลือบผิวโลหะได้นั้นจะต้องมีการควบคุมช่วงกระแสให้เหมาะสมและเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับ สารละลาย Co-Fe ที่ใช้ ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคโดยการควบคุมกระแสสำหรับการเคลือบผิวแบบวนรอบ (Cyclic galvanodynamic polarization) ซึ่งเทคนิคนี้มีหลักการของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยจะทำการเคลือบผิวในด้านแคโทด เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันทำให้ Me^{2+} (Me เป็นตัวแทนของอะตอม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโลหะ) ที่อยู่ในสารละลายไปจับกับอิเล็กตรอนของวัสดุชิ้นงานตัวอย่าง ทำให้เกิดการเคลือบติดของชั้นฟิล์มโลหะบนชิ้นงานตัวอย่าง โดยมีการเลือกช่วงของกระแสสุทธิ (Net current) ให้ใกล้ศูนย์ หรือเลยไปทางด้านออกซิเดชันเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการละลายผิวหน้าออกไปบางส่วน ซึ่งที่จริงแล้วกระแสสุทธิที่มีค่าเป็นศูนย์นั้นในเชิงพลวัตก็มีกระแสด้านแอโนดิกอยู่ด้วยซึ่งสามารถละลายผิวหน้าออกไปบางส่วนได้ก่อนการเคลือบผิวในรอบต่อไปของด้านแคโทด ซึ่งมีงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาพบว่าจะต้องมีการทำให้เกิดปฏิกิริยาแอโนดิกเพื่อละลายผิวหน้าเล็กน้อยก่อนการเคลือบผิวในด้านแคโทด ซึ่งจะช่วยลดการเคลือบผิวแบบไม่ปกติ (Anomalous codeposition) ของการเคลือบผิวจากโลหะสองชนิด (Binary electrodeposition) เช่น Fe-Co Fe-Ni หรือการเคลือบผิวจากโลหะสามชนิด (Ternary electrodeposition) เช่น Co-Fe-Ni ทั้งนี้การละลายผิวหน้าที่ได้จากการเคลือบโลหะออกไปบางส่วนก่อนการเคลือบในขั้นถัดไปจะทำให้โลหะที่มีความว่องไวในการดูดซับที่ผิวได้ดีกว่าโลหะตัวอื่น จะถูกละลายกลับไปในสารละลาย ซึ่งจากปรากฏการณ์นี้จะทำให้อัตราส่วนผสมของโลหะแต่ละชนิดที่ทำการเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมของไอออนโลหะในสารละลาย [28]

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีผู้ศึกษาการเคลือบผิวของโลหะผสม Co-Fe บน Indium tin oxide หรือ ITO โดยเปรียบเทียบผลของ pH ของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผิวคือ 2.1 2.9 3.7 และ 4.3 ตามลำดับ พบว่าลักษณะพื้นผิวจากรูปถ่าย SEM ของโลหะผสมที่ทำการเคลือบผิวด้วยสารละลาย pH ต่ำ (2.1 และ 2.9) จะมีพื้นผิวเรียบและมีขนาดเกรนเล็กกว่าโลหะผสมที่ทำการเคลือบผิวด้วยสารละลาย pH สูง (3.7 และ 4.5) และที่ pH ต่ำจะมีขนาดเกรนที่สม่ำเสมอซึ่งมีขนาดอยู่ที่ 90 ถึง 150 นาโนเมตร และ pH สูงจะมีขนาดเกรนอยู่ที่ 250 ถึง 300 นาโนเมตร ซึ่งจากผลทางสัญญาณวิทยานี้แสดงให้เห็นว่า pH ของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผิวมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของโลหะผสมที่ได้ และได้มีการศึกษาคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก (Magnetic property) ของโลหะผสม Co-Fe ที่มี pH ของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผิวต่างกัน พบว่าที่ pH เท่ากับ 2.9 มีความเป็นแม่เหล็กสูงที่สุดถึง 2974.03 emu/cm^3 [29]

มีผู้ศึกษาผลของความหนาแน่นของกระแสที่ใช้ในการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าของ Co-Fe ด้วย EDS XRD SEM และ XAS พบว่าไม่มีความแตกต่างของอัตราส่วนของ Co-Fe ที่ได้เมื่อใช้ความหนาแน่นของกระแสต่างกัน และจากผลของ XRD จากการสแกนที่มุม 30 ถึง 90 พบว่าฟิล์มของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบผสม (Mixed structure) ของ fcc แกมมาเฟส และ bcc α -Co₇Fe₃ พบพีค fcc ของ Co-Fe จะแสดงที่มุม 44 51 และ 75 องศา และพีคของ bcc จะแสดงที่มุม 45 66 และ 84 องศา ความหนาแน่นของกระแสที่น้อยกว่า 40 mA/cm^2 จะมีลักษณะเป็นเฟสผสมของ bcc และ fcc แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็น bcc มากกว่า ส่วนเมื่อความหนาแน่นของกระแสที่ใช้ในการเคลือบผิวเพิ่มขึ้นถึง 50 mA/cm^2 จะเห็นพีคของ fcc เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และจากการศึกษาขนาดของเกรนพบว่าขนาดเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสสูงขึ้น [30] และยังมีผู้ศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของโลหะผสม CoFeN ที่ใช้เป็นหัวเขียนด้วยเทคนิคสปีดเตอร์ริง พบว่าโลหะผสมนี้มีโครงสร้างผลึกแบบ bcc (110) [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผู้ศึกษาผลของกระแสที่มีต่อขนาดของเกรนผลึกของสารแม่เหล็ก CoFe โดยวิธีการเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) ทำการทดลองที่ 20 30 40 และ 50 มิลลิแอมแปร์จากผลการตรวจสอบขนาดเกรนผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ที่กระแสต่ำขนาดของผลึกจะมีขนาดเล็กประมาณ 0.63 ไมโครเมตรและขนาดของผลึกจะเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อมีการจ่ายกระแสสูงขึ้น [32]

จากการค้นคว้างานวิจัยก่อนหน้าพบว่าเมื่อได้ฟิล์มบางของโลหะผสมส่วนใหญ่จะมีการตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม คือ ตรวจสอบอัตราส่วนปริมาณองค์ประกอบของโลหะธาตุที่ได้ด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (Energy-dispersive X-ray, EDX) [4, 34] ตรวจสอบลักษณะของพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM) [4, 33, 34] ตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction, XRD) [4,34,35] และตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) [36]

จากรายงานพฤติกรรมการกัดกร่อนของ Ni-W และ Ni-Fe-W ด้วยหลักการโพลาไรเซชัน (Polarization) และ Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% พบว่าโลหะผสม 3 องค์ประกอบ Ni-Fe-W มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อยกว่าโลหะผสม 2 องค์ประกอบ Ni-W [36] และมีผู้ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของ Ni-W จากการเคลือบผิวแบบพัลส์-รีเวิร์ด ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโลหะผสม Ni-W มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าโลหะ Ni ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมนี้คือ ขนาดเกรน และปริมาณทั้งสแตน [37]

มีผู้ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสม La-Fe-Co-Si ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการแช่ต่างกัน ซึ่งได้ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักที่หายไป (Weight loss) พบว่าอัตราการกัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อแช่ในน้ำปราศจากไอออนนานขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เป็นผลเนื่องมาจากในตอนต้นของการแช่พื้นผิวของโลหะไม่มีอะไรป้องกันเลยและมีการต้านทานต่อการกัดกร่อนต่ำจึงมีอัตราการกัดกร่อนสูงในช่วงแรก ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปมีการสะสมของผลิตภัณฑ์ของการกัดกร่อนขึ้นบนผิวโลหะมากขึ้นจึงทำให้เกิดการขัดขวางของการเคลื่อนที่ของปฏิกิริยา จึงทำให้เกิดอัตราการกัดกร่อนลดลง [38]

มีผู้ศึกษาผลของการจ่ายสนามแม่เหล็ก (Magnetic field, B) ต่อการกัดกร่อน จากผลของ XRD พบว่า Zn-Ni มีการจัดเรียงตัวแบบผลึก (Crystal) ซึ่งผลของการกัดกร่อนพบว่าโลหะผสมที่เคลือบผิวโดยการจ่ายสนามแม่เหล็กแบบตั้งฉาก (Perpendicular magnetic field) จะมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนมากกว่าการเคลือบผิวแบบจ่ายสนามแม่เหล็กแบบขนาน (Parallel magnetic field) ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าพบว่าอัตราการกัดกร่อนจะสูงขึ้นเมื่อจ่ายสนามแม่เหล็กสูงขึ้น [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสม Co-Ni-Mo จากการเคลือบผิวด้วยเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมตรี โดยทำการเคลือบผิวบนแผ่นซิลิกอนซึ่งได้ความหนาของชั้นฟิล์ม 2 ไมโครเมตร จากการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนในสารละลาย 5% โซเดียมคลอไรด์พบว่าหลังจากจุ่มชิ้นงานในสารละลายศักย์ไฟฟ้าจะถึงจุดเสถียร (Steady state) อย่างรวดเร็วและมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5 มิลลิโวลต์ต่อชั่วโมง การกัดกร่อนของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ซึ่งในธรรมชาติของสารละลายกระบวนการกัดกร่อนจะเกี่ยวข้องกับการพอร์มตัวของฟิล์มออกไซด์ และฟิล์มออกไซด์ของโลหะจะไม่เสถียรในสารละลายกรดซึ่งจะส่งผลให้มีอัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น และการทดลองนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนต่อผลของปริมาณ Ni ที่ผสมอยู่ในการเคลือบผิวของ Co ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโวลทาโรเซชัน จากผลการทดลองพบว่าค่า E_{corr} จะเลื่อนไปทางศักย์ไฟฟ้าบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีปริมาณ Ni เป็นส่วนผสมมากขึ้น และค่า i_{corr} จะมีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อมีปริมาณ Ni เป็นส่วนผสมมากขึ้น ทำให้ทราบได้ว่าปริมาณ Ni ที่ผสมอยู่ในการเคลือบผิวของ Co สามารถช่วยพัฒนาความต้านทานต่อการกัดกร่อนของโลหะผสมนี้ได้ [40]

มีรายงานคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กและความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสม Co-Fe-Ni จากการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า พบว่าที่อัตราส่วน Co 50-60% Fe 20-30% และ Ni 20-30% สามารถให้ค่าความเป็นแม่เหล็กได้ถึง 1.9T และจากการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนพบว่า ความต้านทานการกัดกร่อนจะสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วน Ni และ Fe สูงขึ้น (ทำการเปรียบเทียบในช่วง CoFeNi ที่อัตราส่วน Co 50-60% Fe 20-30% และ Ni 20-30%) [41]

มีผู้ศึกษาคุณสมบัติของโลหะผสม CoFeN จากการเคลือบผิวพบว่าขนาดผลึกจะเพิ่มขึ้นจาก 800 \AA ถึง 1500 \AA เมื่ออัตราส่วน Co เพิ่มขึ้นจาก 0 เปอร์เซ็นต์ เป็น 45 เปอร์เซ็นต์ และได้ศึกษาความต้านทานต่อการกัดกร่อนของโลหะผสมนี้โดยการแช่ในสารละลาย 5 เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ โดยทิ้งไว้เป็นเวลา 0 3 9 50 100 ชั่วโมงและทำการวัดค่าความเป็นแม่เหล็กจากเวลาในการแช่ที่เปลี่ยนไป พบว่าโลหะ Fe เมื่ออยู่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์นานขึ้นจะส่งผลทำให้มีค่าความเป็นแม่เหล็กลดลงมากที่สุด รองลงมาคือโลหะ Co และโลหะผสม Fe₅₅Co₄₅ ส่วนโลหะผสม Fe_xN และ (Fe₅₅Co₄₅)_xN จะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นแม่เหล็กเลยเมื่อแช่อยู่ในสารละลาย 5 เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง [42]

จากการศึกษาจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ามีผู้สนใจศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของ Co-Fe อยู่บ่อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะสร้างชิ้นงานตัวอย่างโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe จากการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า และนำชิ้นงานที่ได้นี้มาทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ในสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีค่ามากในการออกแบบและพัฒนา รวมไปถึงการวางแผนการผลิตและข้อมูลดังกล่าวนี้จะนำไปสู่ความเข้าใจและทำให้สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มด้วยการสร้างชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มบาง Co-Fe ด้วยเทคนิคการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างนี้มาทดสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนด้วยสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมีรายละเอียดในการทดลองดังนี้

3.1 การสร้างชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มบาง Co-Fe

3.1.1 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการเคลือบผิว

ใช้โลหะทองแดงรูปทรงเหรียญบริสุทธิ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร เป็นชิ้นงานตัวอย่างสำหรับการเคลือบผิว โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- ขัดผิวทองแดงด้วยกระดาษทรายหมายเลข 600 1200 และ 2000 ตามลำดับโดยใช้น้ำร่วมในการขัด
- ล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- ล้างในอ่างล้างความถี่สูงด้วย Isopropyl alcohol เป็นเวลา 5 นาที
- เป่าให้แห้งด้วยลมร้อน

3.1.2 การเตรียมสารละลาย Co-Fe สำหรับเคลือบผิว

มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- เตรียมสารละลาย Co-Fe 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ด้วย $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ตามอัตราส่วน Co-Fe ที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 3.1 ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วน Co:Fe ที่ใช้ในการเคลือบผิว

อัตราส่วน Co:Fe	ปริมาณ Co (กรัม)	ปริมาณ Fe (กรัม)
20:80	4.76	15.90
40:60	9.52	11.93
60:40	14.28	7.95
80:20	19.03	3.98

- ปรับ pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้ได้ค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

- ใช้เครื่องโพเทนชิโอสแตท-กัลวานอสแตท รุ่น PGSTAT 100 เป็นเครื่องมือสำหรับการเคลือบผิว

- เตรียมขั้วเคมีไฟฟ้าโดยใช้

1. ชิ้นงานตัวอย่างทองแดง เป็น ขั้วทำงาน
2. โลหะแพลทินัม เป็น ขั้วตรงข้าม
3. ขั้วอ้างอิง Ag/AgCl เป็น ขั้วอ้างอิง

- ฟันแก๊สไนโตรเจนลงในสารละลาย Co-Fe ที่เตรียมไว้เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อไล่แก๊สออกซิเจนในสารละลายก่อนการเคลือบผิวและตลอดการเคลือบผิว

- ต่อชุดอุปกรณ์สำหรับเคลือบผิวดังรูปที่ 3.1 โดยให้ขั้วอ้างอิงห่างจากชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 2 มิลลิเมตร

- เริ่มทำการเคลือบผิวด้วยเทคนิคไซคลิกกัลวานโตนามิกโพลาริเซชัน (Cyclic galvanodynamic polarization) โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบวนรอบในด้านคาโทดิก เพื่อให้เกิดการเคลือบผิว

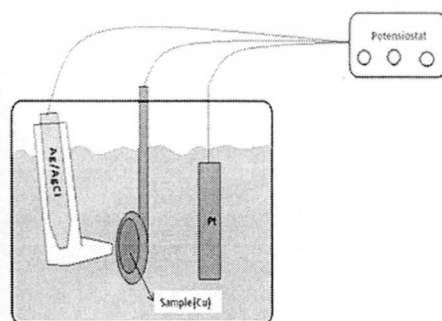
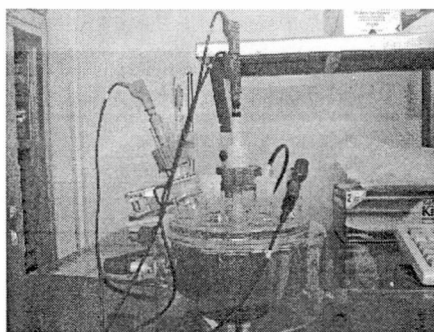
- หลังจากทำการเคลือบผิวเสร็จแล้วล้างชิ้นงานด้วยน้ำปราศจากไอออน เป่าแห้ง และทำการขัดผิวด้วยกระดาษทรายหมายเลข 2000 เพื่อปรับสภาพพื้นผิวก่อนการนำไปวิเคราะห์ในลำดับต่อไป

3.1.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเคลือบผิว

- ศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของช่วงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวโดยกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 4 5 6 7.5 10 และ 15 มิลลิแอมแปร์

- ศึกษาเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของไอออนสำหรับการเคลือบผิวโดยกำหนดความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 โมลาร์

- ศึกษาเปรียบเทียบผลของเวลาในการเคลือบผิวโดยกำหนดเวลา 1 3 5 และ 7 ชั่วโมง



รูปที่ 3.1 เซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับทำการเคลือบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe

- ตรวจสอบวิเคราะห์หาอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF)
- ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่ได้ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)
- ตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)
- ตรวจสอบความหนาของชั้นฟิล์ม Co-Fe จากการศึกษาภาคตัดขวาง (Cross section)
- ตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM)
- ตรวจสอบองค์ประกอบของรอยไหม้ที่เกิดขึ้นจากการเคลือบผิวด้วย (Time-of-flight secondary ion mass spectrometry, TOF-SIMS)

3.1.6 เลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดของการเคลือบผิวได้ดังนี้

- ใช้ช่วงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวเท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์
- ใช้ความเข้มข้นของไอออนสำหรับการเคลือบผิวเท่ากับ 0.1 โมลาร์
- ใช้เวลาในการเคลือบผิวเท่ากับ 5 ชั่วโมง

จากนั้นทำการเคลือบผิวโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วน Co-Fe ในสารละลายเท่ากับ 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 เพื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบการกัดกร่อน

3.2 การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน

ทำการทดสอบกัดกร่อนของ Co-Fe ด้วยสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังนี้ สารในกลุ่มไพโรโรโดน (Pyrrolidone) สารหล่อลื่น (Lubricant) สารช่วยลดความร้อน (Coolant) น้ำปราศจากไอออน (DI water) สารละลาย pH3 pH 4 และสารละลาย pH5 โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- ใช้เครื่องโพเทนชิโอสแตท-กัลวานอสแตท รุ่น PGSTAT 100 เป็นเครื่องสำหรับทดสอบการกัดกร่อน

- เตรียมขั้วเคมีไฟฟ้าโดยใช้

1. ชิ้นงานตัวอย่างCo-Fe เป็น ขั้วทำงาน
2. โลหะแพลทินัม เป็น ขั้วตรงข้าม
3. ขั้วอ้างอิง Ag/AgCl เป็น ขั้วอ้างอิง

- ฟันแก๊สออกซิเจนในสารเคมีที่จะใช้สำหรับการทดสอบการกัดกร่อนเพื่อสร้างให้สภาวะแวดล้อมของชุดการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมจริงในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ต่อชุดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบการกัดกร่อน โดยให้ปลายของล็กกินแคปิลลารี (Luggincapillary) ของขั้วอ้างอิงห่างจากชิ้นงานตัวอย่างประมาณ 2 มิลลิเมตร

- ทำการทดสอบการกัดกร่อนโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic Polarization) ด้วยสารละลาย pH3 pH4 pH5 น้ำปราศจากไอออน สารกลุ่ม ไพรโรไดน สารหล่อลื่น และสารช่วยลดความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

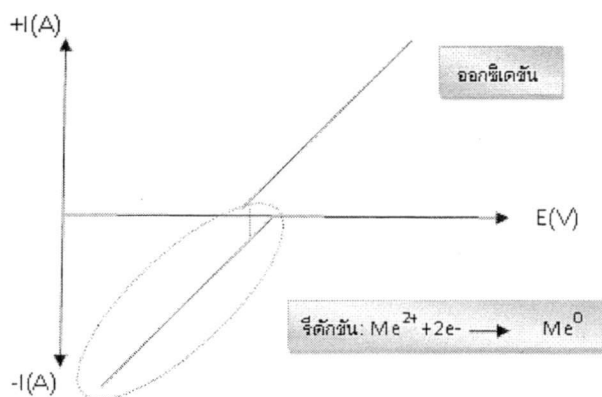
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

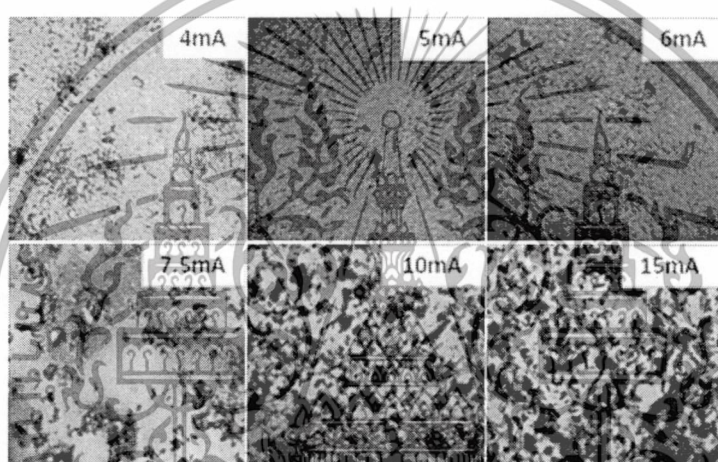
4.1.1 ผลของช่วงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว

จากการศึกษาผลของช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวโดยได้เลือกศึกษาช่วงของกระแสไฟฟ้าคือ 4 5 6 7.5 10 และ 15 mA ตามลำดับ โดยมีการควบคุมตัวแปรในการเคลือบผิวเพื่อศึกษาผลของช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวมีดังนี้ ความเข้มข้นของไอออนโลหะผสมทั้งหมดในสารละลายเท่ากับ 0:1 โมลาร์ เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวเท่ากับ 3 ชั่วโมง อัตราส่วน Co: Fe เท่ากับ 60:40 และค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 2

ในการเคลือบผิวได้ใช้เทคนิคการเคลือบผิวแบบไซคลิกกัลวานโอดนามิกโพลาไรเซชัน (Cyclic galvanodynamic polarization) โดยมีการจ่ายกระแสแบบวนรอบในด้านแคโทดิกเริ่มจาก 0 mA เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันทำให้ Me^{2+} (Me เป็นตัวแทนของอะตอมในโลหะ) ที่อยู่ในสารละลายไปจับกับอิเล็กตรอนที่วัสดุชิ้นงานตัวอย่าง ทำให้เกิดการเคลือบติดของชั้นฟิล์มโลหะบนชิ้นงานตัวอย่าง โดยมีการเลือกช่วงของกระแสสุทธิ (Net current) ให้ใกล้ศูนย์ ซึ่งที่จริงแล้วกระแสสุทธิที่มีค่าเป็นศูนย์นั้นก็มีการสาด้านแอโนดิกอยู่ด้วยเล็กน้อยเนื่องจากเป็นสมดุลเชิงพลวัตที่สามารถละลายผิวหน้าออกไปบางส่วนได้ก่อนการเคลือบผิวในรอบต่อไปในด้านแคโทด ซึ่งมีการวิจัยก่อนหน้าได้ศึกษาพบว่าจะต้องมีการทำให้เกิดปฏิกิริยาแอโนดิกเพื่อละลายผิวหน้าเล็กน้อยก่อนการเคลือบผิวในด้านแคโทดเพื่อลดการเคลือบผิวแบบไม่ปกติ (Anomalous codeposition) ของการเคลือบผิวจากโลหะสองชนิด (Binary electrodeposition) เช่น Fe-Co หรือ Fe-Ni ทั้งนี้การละลายผิวหน้าที่ได้จากการเคลือบโลหะออกไปบางส่วนก่อนการเคลือบในชั้นถัดไปจะทำให้โลหะที่มีความว่องไวในการดูดซับที่ผิวได้ดีกว่าโลหะตัวอื่น จะถูกละลายกลับไปในสารละลาย ซึ่งจากปรากฏการณ์นี้จะทำให้อัตราส่วนผสมของโลหะแต่ละชนิดที่ทำการเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมของไอออนโลหะในสารละลาย [25] ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปฏิกริยาของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

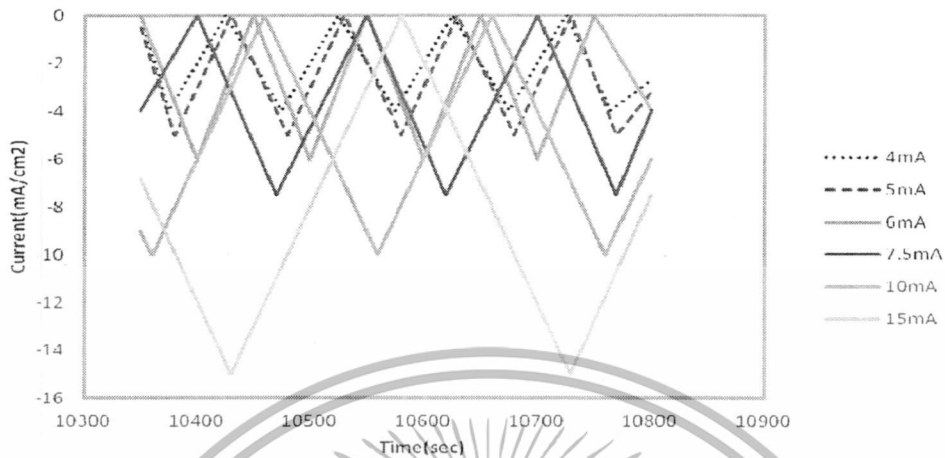


รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวจากผลของช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการเคลือบผิวโดยปรับเปลี่ยนช่วงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ คือ 4 5 6 7.5 10 และ 15 mA ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวมากขึ้นจะส่งผลให้พื้นผิวเกิดรอยใหม่มากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณกระแสต่อพื้นที่มากขึ้นจึงทำให้เกิดรอยใหม่ขึ้นได้ในตัวอย่างที่มีการจ่ายกระแสสูง ซึ่งผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับที่มีผู้เคยศึกษาผลของการเกิดรอยใหม่จากการเคลือบผิว ซึ่งพบว่า การใหม่ของการเคลือบผิวนั้นสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัยเช่น การใช้กระแสในการเคลือบผิวสูงเกินไป การกระจายตัวของกระแสที่ไม่เหมาะสมซึ่งสามารถส่งผลให้ความหนาแน่นกระแสที่ใช้ในการเคลือบผิวสูงขึ้น และยังสามารถเกิดได้จากการใช้สารละลายในการเคลือบผิวที่มีสิ่งปลอมปน [25] จากลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของการทำการเคลือบผิวและกระแสที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้กระแสสูงขึ้นในช่วงเวลาเท่ากันส่งผลให้จำนวนรอบของการเคลือบผิวน้อยลง จาก

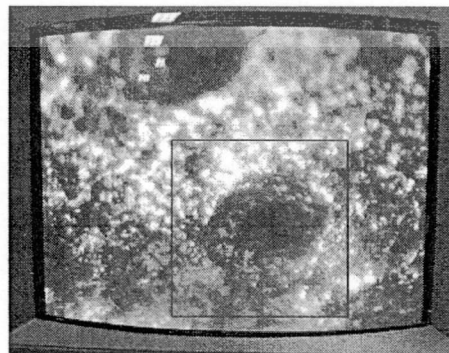
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองนี้จึงสามารถบอกได้ว่าการใช้ช่วงของกระแสอย่างน้อยแต่จำนวนรอบของการเคลือบผิวมากกว่าจะส่งผลให้ได้ลักษณะพื้นผิวที่ได้ดีกว่าในเชิงของการใหม่ได้

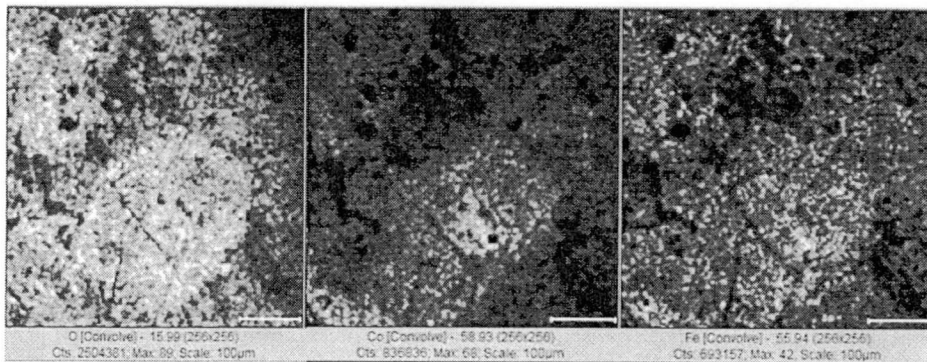


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลาที่ใช้สำหรับการเคลือบผิว

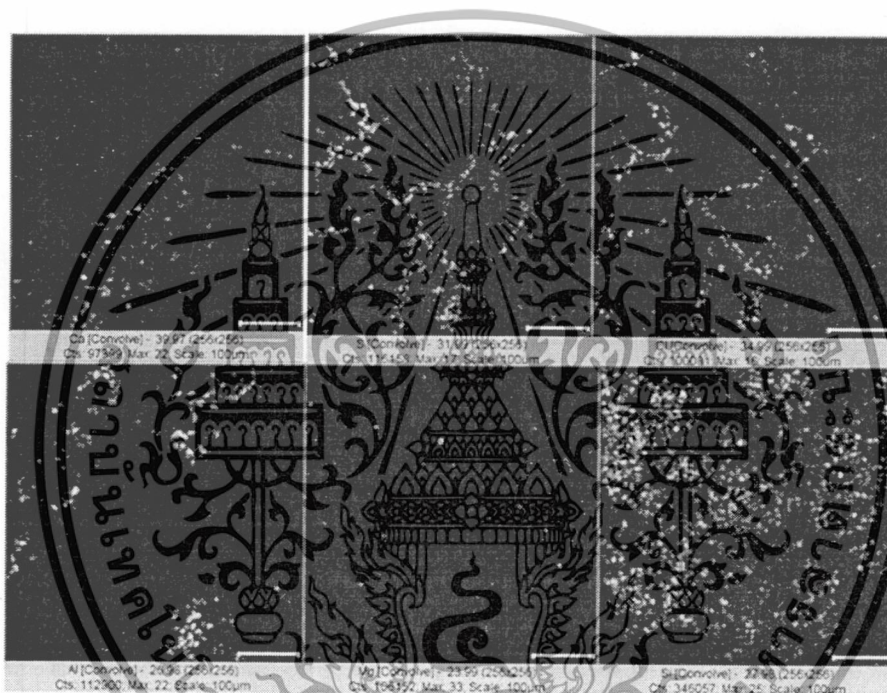
จากนั้นทำการวิเคราะห์รอยใหม่ที่เกิดจากการเคลือบผิวด้วยเทคนิค Time-of-flight secondary ion mass spectrometry หรือที่เรียกว่า TOF-SIMS เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบระดับโมเลกุล (Molecular composition) ของพื้นผิวที่มีความลึกประมาณ 1 – 2 nm โดยการยิงไอออนหลัก (Primary ion) ซึ่งมีพลังงานในช่วง 103 eV ไปยังพื้นผิว พลังงานของไอออนหลักจะถูกถ่ายไปยังพื้นผิวเนื่องจากการชน และปลดปล่อยอนุภาคที่มีพลังงานต่างออกมา โดยถ้าอนุภาคที่หลุดออกจากพื้นผิวเป็นไอออน จะเรียกว่า Secondary ion และจะถูกวิเคราะห์ด้วยแมสสเปกโตรมิเตอร์ (Mass spectrometer) จากผลการทดสอบพบว่ารอยสีดำดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งองค์ประกอบของรอยดำนั้นประกอบไปด้วยธาตุองค์ประกอบหลัก 3 ชนิดคือ O Co และ Fe ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และนอกจากนั้นยังพบคราบสิ่งแปลกปลอมอื่นๆบนรอยใหม่นี้ ซึ่งประกอบด้วย Al, Mg, Si, Ca, S และ Cl ซึ่งสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้มาจากสารเจือปนของ $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ และ $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้เป็นสารละลายในการเคลือบผิว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ธาตุองค์ประกอบหลักที่พบบนรอยใหม่



รูปที่ 4.6 องค์ประกอบของสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ

4.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว

จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวโดยได้เลือกศึกษาเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวคือ 1 3 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีการควบคุมตัวแปรในการเคลือบผิวเพื่อศึกษาผลของเวลาในการเคลือบผิวดังนี้คือ ช่วงของการแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวเท่ากับ 5 mA ความเข้มข้นของไอออนโลหะทั้งหมดในสารละลายเท่ากับ 0.1 โมลาร์ อัตราส่วน Co: Fe เท่ากับ 60:40 และค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 2 จากนั้นทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่ถูกเคลือบผิวบนชิ้นงานตัวอย่างทองแดง ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีวัดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ หรือ XRF โดยการทดลองนี้เลือกศึกษา Co-Fe ที่ความเข้มข้น 60:40 ซึ่ง XRF เป็นเทคนิคที่มีการยิงรังสีเอ็กซ์ปฐมภูมิ (Primary x-ray photon) ไปยังชิ้นงานตัวอย่าง และชิ้นงานตัวอย่างนั้นจะมีการแตกสลายเป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำหรือการกระเจิงนั้น เมื่ออยู่เหนือนั้นจะเกิดการคายพลังงานออกมาเป็นรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิ (Secondary x-ray photon) ซึ่งรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมินี้จะเกิดการดูดกลืนโดยวัสดุตัวอย่างที่เคลือบผิว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลดปล่อยรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (x-ray fluorescence) ออกมาซึ่งฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นรังสีที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิดจึงทำให้สามารถหาค่าประกอบของธาตุได้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวเพิ่มมากขึ้นความหนาของชั้นเคลือบก็จะมากขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยสังเกตได้จากเมื่อใช้เวลาในการเคลือบผิวมากขึ้นจะทำให้พบสัญญาณซึ่งบ่งบอกปริมาณ Cu ที่ใช้เป็นชั้นงานตัวอย่างสำหรับการเคลือบผิวน้อยตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 จึงทำให้สรุปได้ว่าความหนาของชั้นเคลือบผิวจะแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว

ตารางที่ 4.1 ปริมาณองค์ประกอบของธาตุจาก XRF ตามเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว

เวลา (ชั่วโมง)	จุดที่ 1			จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย		
	Cu (%)	Co (%)	Fe (%)	Cu (%)	Co (%)	Fe (%)	Cu (%)	Co (%)	Fe (%)
1	94.00	3.52	2.48	93.20	4.02	2.78	93.60	3.77	2.63
3	80.26	12.03	7.71	79.26	12.33	8.41	79.76	12.18	8.06
5	48.10	30.68	21.22	48.12	30.82	21.05	48.11	30.75	21.14
7	28.38	43.98	27.64	26.84	44.66	28.50	27.61	44.32	28.07



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวและปริมาณทองแดงที่พบ

เมื่อนำผลของ XRF มาคำนวณเป็นอัตราส่วนที่แท้จริงของ Co-Fe พบว่าปริมาณไอออนของ Co-Fe ที่ใส่ไปในสารละลายของการเคลือบผิวและอัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบติดบนชิ้นงานตัวอย่างมีความสัมพันธ์กันคือ อัตราส่วนของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ไอออนที่ใส่ลงไปในสารละลาย ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองที่มีผู้เคยศึกษาไว้คือในการเคลือบผิวนั้นได้เกิดปฏิกิริยาที่มีการทำลายผิวหน้าหรือเรียกว่า Anodic dissolution เพื่อละลายผิวหน้าของโลหะที่มีความสามารถวิ่งมาเคลือบผิวบนชิ้นงานตัวอย่างได้เร็ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าออกไปบางส่วนก่อนการเคลือบผิวด้านแคโทดในรอบต่อไป ซึ่งจากปรากฏการณ์นี้จะทำให้ อัตราส่วนโลหะผสมที่ได้จากการเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนไอออนของโลหะผสมที่อยู่ใน สารละลายที่ใช้สำหรับการเคลือบผิว [25] ดังความสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 อัตราส่วนที่แท้จริงของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวจาก XRF

เวลา (ชั่วโมง)	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)
1	58.67	41.33	59.12	40.88	58.89	41.11
3	60.94	39.06	59.45	40.55	60.20	39.80
5	59.11	40.89	59.42	40.58	59.27	40.73
7	61.41	38.59	61.04	38.96	61.23	38.77



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเคลือบผิวกับเปอร์เซ็นต์ Fe ที่ได้

4.1.3 ผลของความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะสำหรับการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะสำหรับการเคลือบผิว โดยได้ เลือกศึกษาความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะสำหรับการเคลือบผิวเท่ากับ 0.1 และ 0.01 โมลาร์ โดยมีการควบคุมตัวแปรในการเคลือบผิวเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสำหรับการเคลือบผิวดังนี้ ช่วง ของการแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิวเท่ากับ 5 mA เวลาที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวเท่ากับ 5 ชั่วโมง อัตราส่วน Co: Fe เท่ากับ 60:40 และค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะในสารละลายที่ใช้สำหรับการเคลือบผิว โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นระหว่าง 0.01 0.1 และ 0.2 โมลาร์ พบว่าที่ 0.01 โมลาร์นั้นเกิดการเคลือบผิวที่ไม่สมบูรณ์ เกิดลักษณะพื้นผิวลอกกร่อน เป็นผลเนื่องมาจากมีไอออนในสารละลายน้อยเกินไป ซึ่งน้อยกว่า 0.1 โมลาร์ถึง 10 เท่า และไม่พบความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่างที่มีความเข้มข้นโดยรวมของโลหะเท่ากับ 0.1 และ 0.2 โมลาร์

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะในสารละลาย

ความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะ (โมลาร์)	ลักษณะทางกายภาพ
0.01	
0.1	
0.2	

4.1.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe

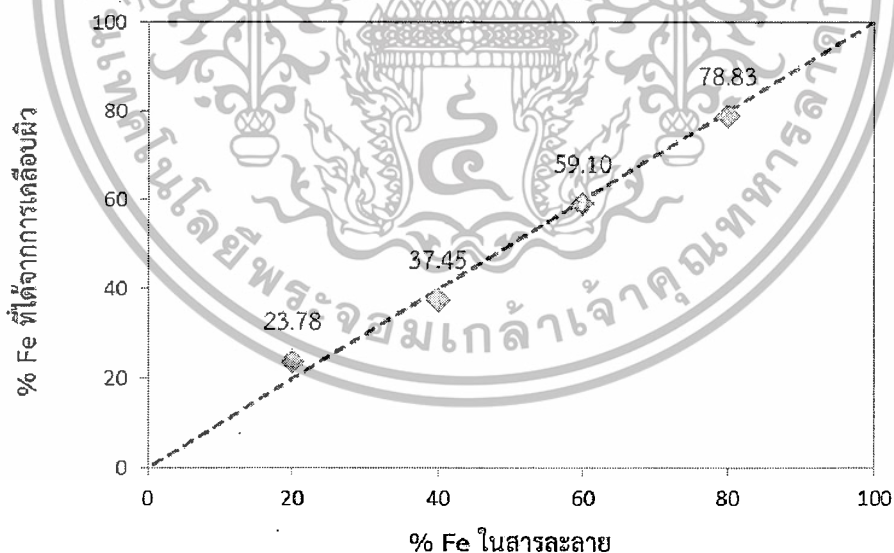
ในการตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe นี้ได้ทำการสร้างชิ้นงานตัวอย่าง Co-Fe ที่มีอัตราส่วน 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 เพื่อนำไปตรวจสอบอัตราส่วนของโลหะผสมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีวัดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF) ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของโลหะผสมด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) การตรวจสอบความหนาของชั้นฟิล์ม Co-Fe จากการศึกษาภาคตัดขวาง (Cross section) และตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.1 การตรวจสอบอัตราส่วนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีวัดเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF)

จากการนำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วย XRF โดยวัด 2 จุดต่อหนึ่งตัวอย่าง ผลการตรวจสอบพบว่าอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.48 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.9 ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่พบว่าอัตราส่วนของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ไอออนที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว เมื่อการเคลือบผิวมีการละลายผิวหน้าบางส่วนออกไป [25]

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF

อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co20Fe80	77.09	22.91	80.56	19.44	78.83	21.17
Co40Fe60	58.72	41.28	59.47	40.53	59.10	40.90
Co60Fe40	35.42	64.58	39.47	60.53	37.45	62.55
Co80Fe20	26.84	73.16	20.71	79.29	23.78	76.22

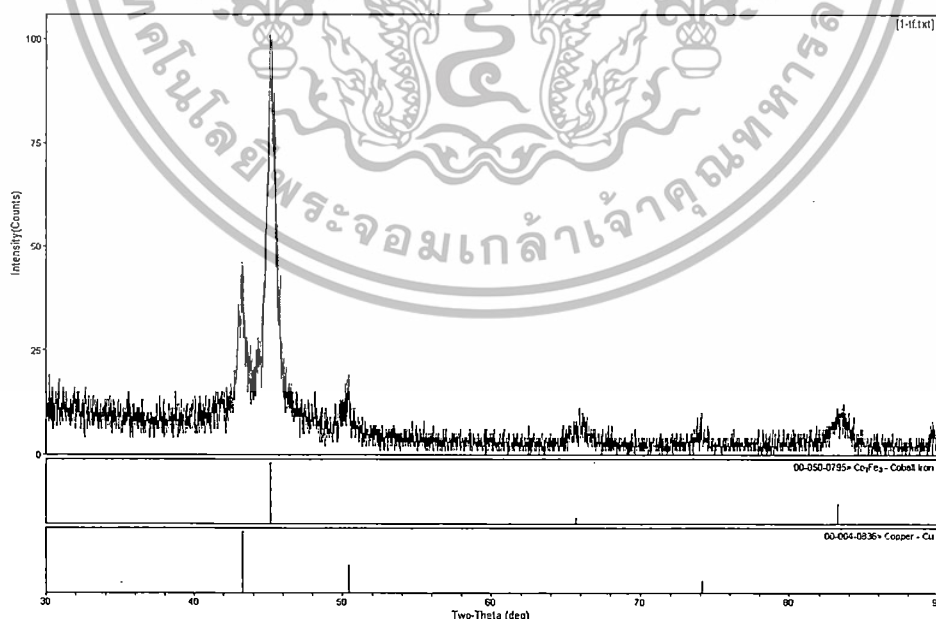


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

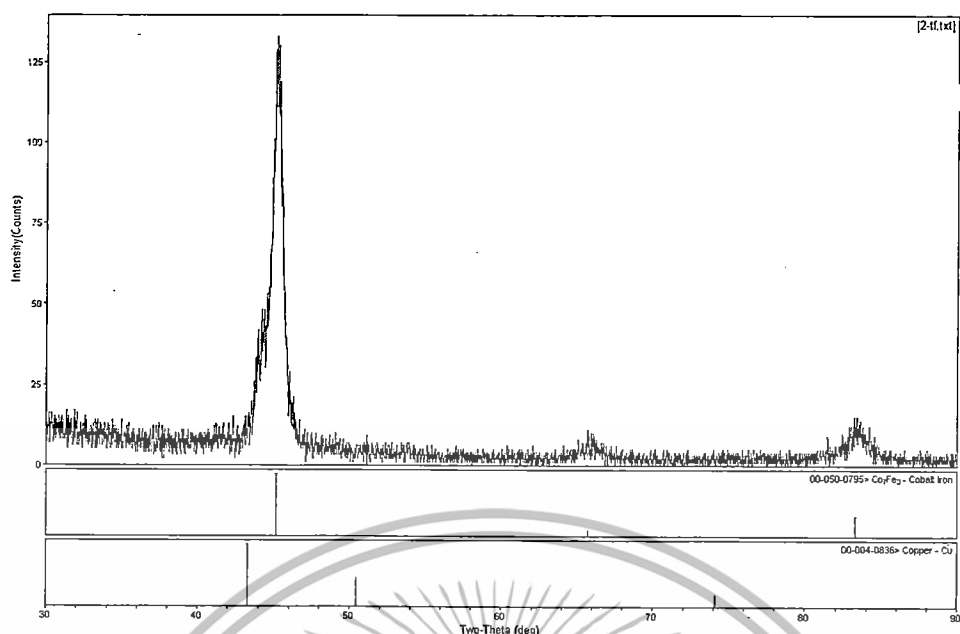
4.1.4.2 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกของโลหะผสม Co-Fe ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานที่เคลือบผิวในอัตราส่วน Co-Fe ที่ต่างกันคือ 21.17:78.83 40.90:59.10 62.55:37.45 และ 76.22:23.78 โดยเริ่มสแกนจาก 30 ถึง 90 องศา ทำการสแกนโดยใช้โหมดในการวิเคราะห์ฟิล์มบางระดับนาโนเมตรเพื่อลดการรบกวนจากฟิสิกของทองแดงที่ใช้เป็นชิ้นงานตัวอย่างของการเคลือบผิว ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการสแกนพบว่าโครงสร้างผลึกของ CoFe มีรูปร่างเป็นทรงลูกบาศก์ (Cubic) ซึ่งฟิสิกที่ได้ตรงกับ Fe_3Co_7 จากฐานข้อมูล XRD ที่มีผู้เคยทดลองมาแล้ว โดยตรงกับฐานข้อมูล XRD ของ Baker มีฟิสิกทรงลูกบาศก์แสดงที่มุม 45 66 และ 84 องศา และผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่มีผู้ศึกษาผลของความหนาแน่นของกระแสที่ใช้ในการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าของ Co-Fe ด้วย XRD พบว่าในการเคลือบผิวที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสที่น้อยกว่า 40 mA/cm^2 ลักษณะฟิล์มของ Co-Fe จะเป็นแบบ bcc ที่มุม 45 66 และ 84 องศา [34] ซึ่งการทดลองของเราใช้กระแสในการเคลือบผิวเพียง 5 mA ต่อพื้นที่ 0.785 cm^2 ซึ่งเทียบเป็นความหนาแน่นกระแสได้กับ 6.67 mA/cm^2 ซึ่งถือได้ว่าใช้ความหนาแน่นกระแสในการเคลือบผิวน้อยมากจึงทำให้ลักษณะโครงสร้างที่พบเป็นแบบทรงลูกบาศก์แบบ bcc และการเคลือบผิวในแต่ละอัตราส่วนของ Co-Fe ที่ 21.17:78.83 40.90:59.10 62.55:37.45 และ 76.22:23.78 ให้ผลของโครงสร้างที่เป็นทรงลูกบาศก์เหมือนกัน ทำให้เห็นได้ว่าในแต่ละอัตราส่วนของ Co-Fe ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก ตามรูปที่ 4.10 ถึง 4.13

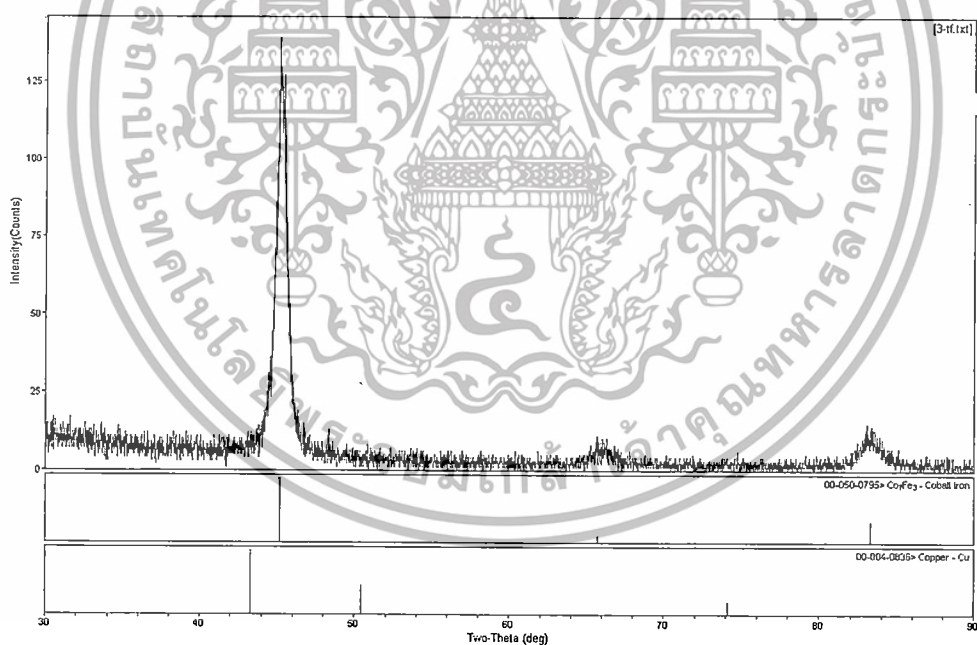


รูปที่ 4.10 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 21.17:78.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

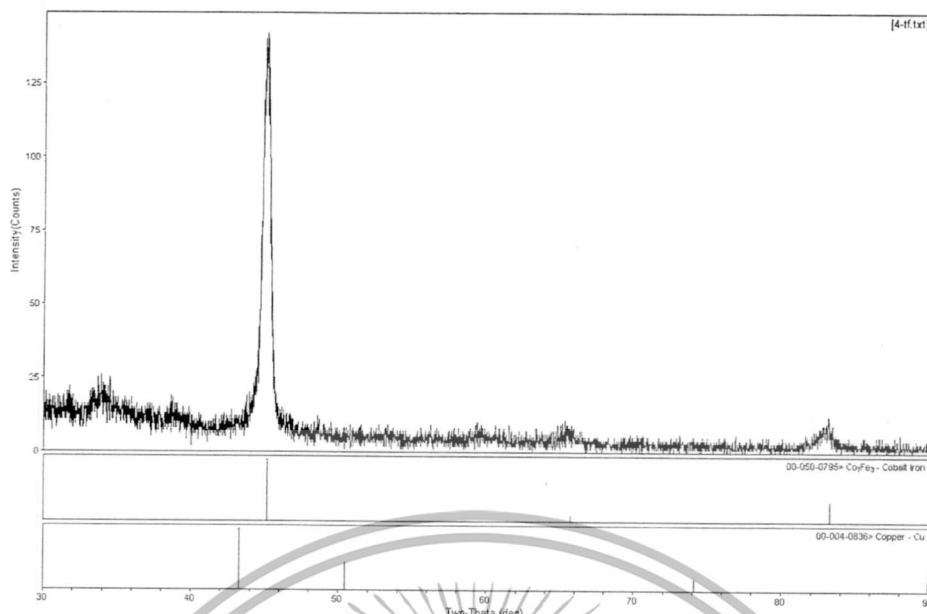


รูปที่ 4.11 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 40.90:59.10



รูปที่ 4.12 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 62.55:37.45

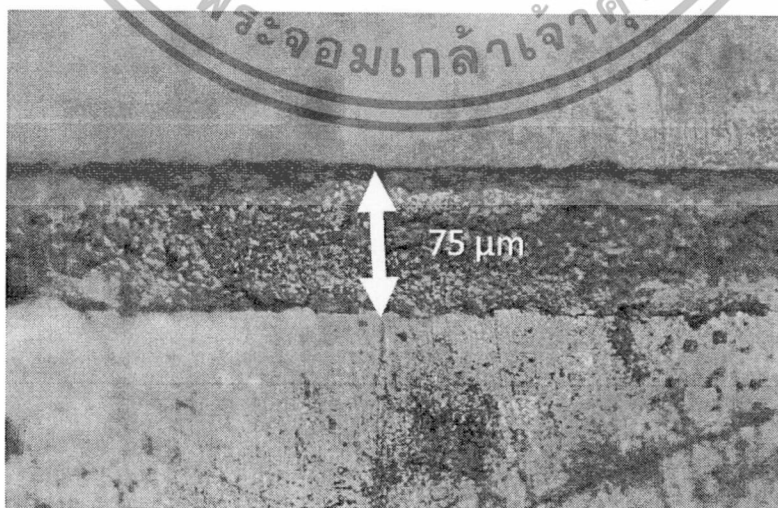
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผล XRD ของการเคลือบผิวของ Co-Fe ที่อัตราส่วน 76.22:23.78

4.1.4.3 การตรวจสอบความหนาของชั้นฟิล์ม Co-Fe จากการศึกษาภาคตัดขวาง (Cross section)

จากการนำเอาชิ้นงานตัวอย่าง Co-Fe ไปทำการศึกษาหาความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิคการหาความหนาจากภาคตัดขวาง โดยได้เลือกชิ้นงานที่อัตราส่วน Co:Fe เท่ากับ 37.45:62.55 ไปทำการทดสอบพบว่าชั้นฟิล์ม Co-Fe มีความหนาท่ากับ 75 ไมโครเมตร (μm) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งเทคนิคการหาความหนาทำได้โดยการนำชิ้นงานไปหล่อเรซินและตัดในแนวขวางเพื่อดูความหนาของชิ้นงาน จากนั้นทำการวัดความหนาผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 500 เท่า

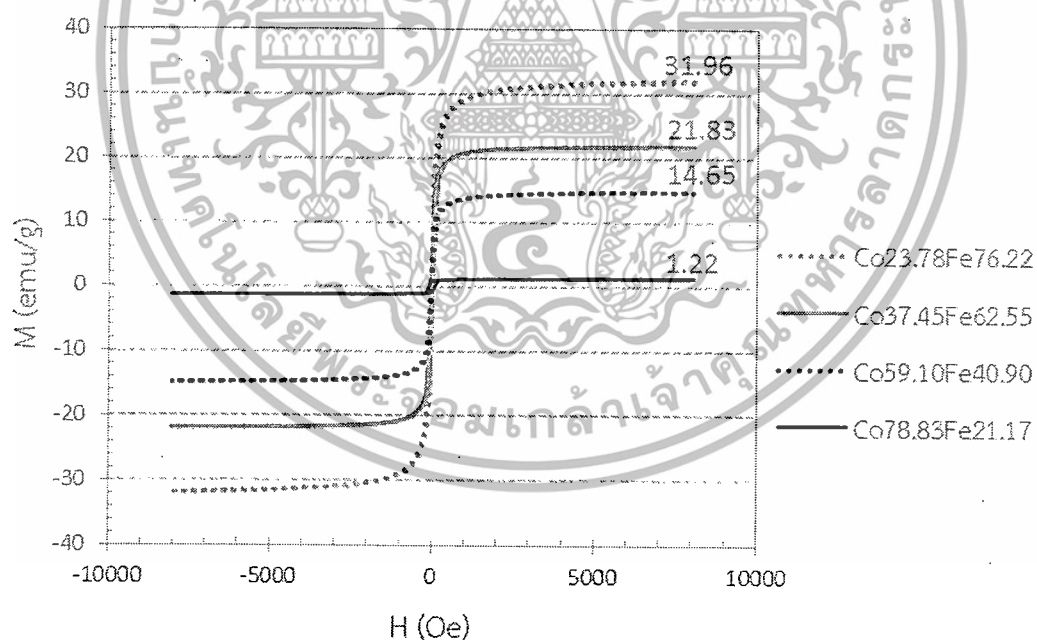


รูปที่ 4.14 ความหนาของฟิล์ม Co-Fe จากการศึกษาภาคตัดขวาง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.4 ตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารตัวอย่างด้วยวิธีการสั่น (Vibrating Sample Magnetometer, VSM)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแมกเนไทเซชัน (M) กับค่าสนามแม่เหล็กภายนอก (H) หรือ วงฮิสเทอรีซิส (hysteresis loop) ของชิ้นงานตัวอย่าง Co-Fe ที่มีอัตราส่วน 23.78:76.22 37.45:62.55 59.10:40.90 และ 78.83:21.17 พบว่าที่ทุกอัตราส่วนมีวงฮิสเทอรีซิสเรียวยาวและแคบ มีค่าแมกเนไทเซชันตกค้างอิมิตัว (M_r) ใกล้เคียงกับค่าแมกเนไทเซชันอิมิตัว (M_s) ซึ่งค่าที่ใกล้เคียงกันนี้เป็นตัวที่บ่งบอกและแสดงถึงพฤติกรรมสารแม่เหล็กแบบเฟอร์โรชนิดอ่อน (soft ferromagnetic) [3] และยังพบว่าโลหะผสมฟิล์มบางที่มีอัตราส่วน Co-Fe 23.78:76.22 37.45:62.55 59.10:40.90 และ 78.83:21.17 มีค่าแมกเนไทเซชันอิมิตัวเท่ากับ 31.96 21.83 14.65 และ 1.22 emu/g ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe สูงจะมีค่าความเป็นแม่เหล็กหรือค่าแมกเนไทเซชันอิมิตัวสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับที่มีผู้เคยศึกษาไว้ว่า Fe จะมีค่าความเป็นแม่เหล็กสูงกว่า Co คือ Fe มีค่าความเป็นแม่เหล็กอิมิตัวเท่ากับ 1714 emu/g ส่วน Co จะมีค่าความเป็นแม่เหล็กอิมิตัวเท่ากับ 1422 emu/g [3] ดังนั้นโลหะผสม Co-Fe ที่มีอัตราส่วน Fe สูงนั้นจะแสดงผลของค่าความเป็นแม่เหล็กอิมิตัวสูงกว่าอัตราส่วนที่มี Fe ต่ำดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วงฮิสเทอรีซิสของโลหะผสมฟิล์มบางที่อัตราส่วนต่างๆ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อน

ชิ้นงานตัวอย่าง Co-Fe สำหรับใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนถูกสร้างขึ้นจากการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าที่ดีที่สุดที่ได้จากการศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า คือ ใช้ช่วงของกระแสไฟฟ้าในการเคลือบผิว 5 mA เวลาในการเคลือบผิว 5 ชั่วโมง ความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะ Co-Fe ในสารละลาย 0.1 โมลาร์ และปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้ได้เท่ากับ 2 โดยเลือกศึกษา Co-Fe ที่อัตราส่วนความเข้มข้น 20:80 40:60 60:40 และ 80:20 หลังจากนั้นได้นำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปตรวจสอบอัตราส่วนขององค์ประกอบธาตุ Co-Fe ของชั้นฟิล์มด้วย XRF โดยวัด 2 จุดต่อหนึ่งตัวอย่างทุกครั้งก่อนนำชิ้นงานไปทดสอบการกัดกร่อน

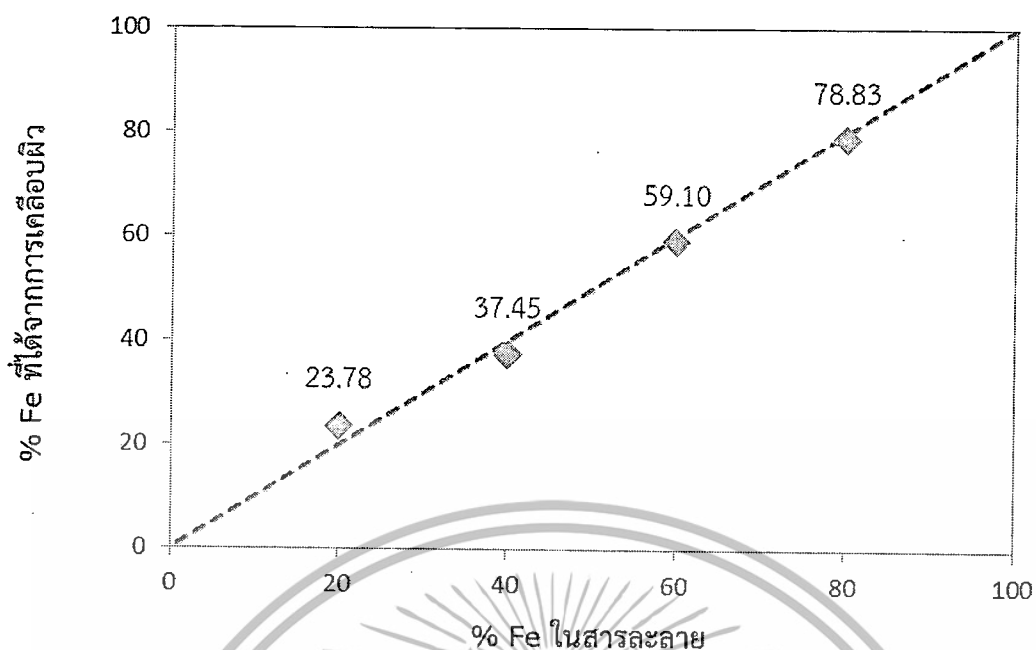
4.2.1 การทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3

ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 3 ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนขององค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วย XRF (ชิ้นงานตัวอย่าง Co-Fe ที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH3 นี้เป็นชิ้นงานชุดเดียวกันกับชิ้นงานสำหรับวัดสมบัติของการเคลือบผิว) ผลการตรวจสอบพบว่าอัตราส่วนขององค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.49 ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.5 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH3

อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co ₂₀ Fe ₈₀	77.09	22.91	80.56	19.44	78.83	21.17
Co ₄₀ Fe ₆₀	58.72	41.28	59.47	40.53	59.10	40.90
Co ₆₀ Fe ₄₀	35.42	64.58	39.47	60.53	37.45	62.55
Co ₈₀ Fe ₂₀	26.84	73.16	20.71	79.29	23.78	76.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

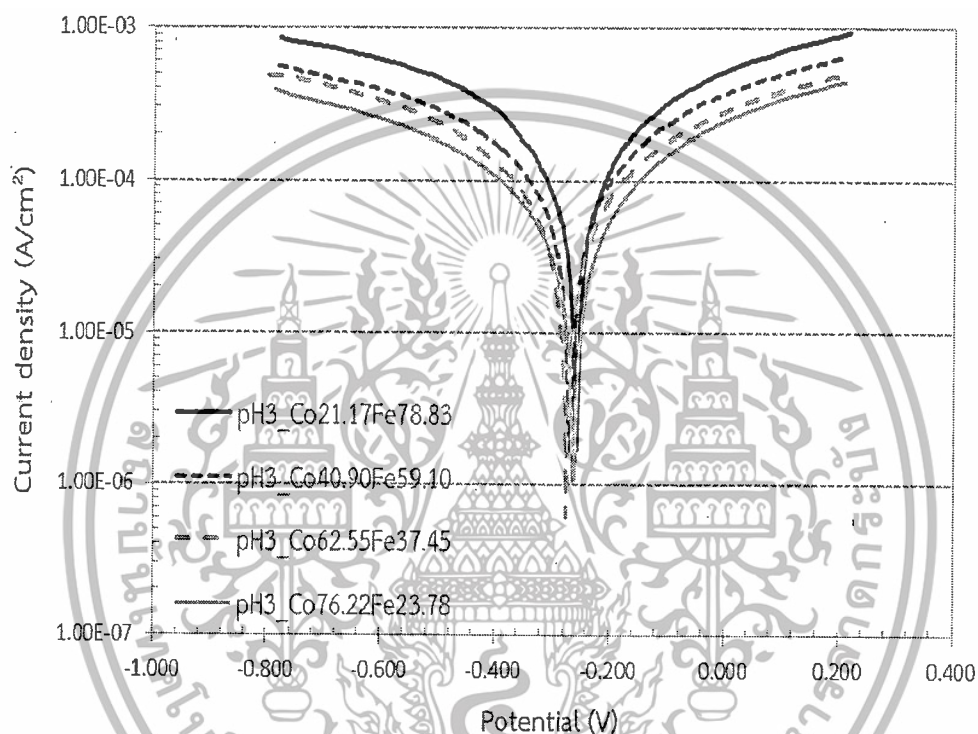


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH3

จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมมาทำการทดสอบการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชัน ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของการกัดกร่อนของชิ้นงานโลหะตัวอย่าง Co-Fe ในสารละลาย pH3 โดยการใช้ชิ้นงานโลหะตัวอย่างเป็นขั้วทำงาน (Working electrode, WE) และอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ pH3 ที่มีการพ่นแก๊สออกซิเจนในสารละลายเพื่อสร้างให้สภาวะแวดล้อมของชุดการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาวะแวดล้อมจริงในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สารละลายนี้มีการปรับค่าความเป็นกรด-เบสด้วยกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) ใช้ขั้วอ้างอิงมาตรฐาน Ag/AgCl (Reference electrode, RE) และโลหะแพลตินัมเป็นขั้วตรงข้าม (Counter electrode, CE) โดยป้อนศักย์ไฟฟ้าเริ่มจาก -0.500 โวลต์ จากค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential, OCP) ไปทางบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะได้เส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและค่า $\log i$ ($i = I/A$ หรือความหนาแน่นของกระแส) ซึ่งจะได้กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ในสารละลาย pH3 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และรายงานผลค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และยังสามารถนำค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนไปคำนวณหาค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ของโลหะผสม Co-Fe ในแต่ละอัตราส่วนมีค่าไม่ต่างกันมากโดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ -0.26 โวลต์ ส่วนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) จะแปรผันตามกันตามกฎของฟาราเดย์ โดยค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนและค่าอัตราการกัดกร่อนจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยตามลำดับเมื่อโลหะผสม Co-Fe มีอัตราส่วน Fe จาก 20 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และจะ

เอกรัฟฟิง (Anodic stripping) ไม่ว่างกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อโลหะผสม Co-Fe มีอัตราส่วน Fe จาก 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูป ความสัมพันธ์ที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 ขึ้นงานตัวอย่างที่มีปริมาณ Fe สูงเมื่อเกิดการกัดกร่อนขึ้นแล้วจะ เกิดอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH3 มากกว่าชิ้นงานที่มีปริมาณ Fe ต่ำกว่าเนื่องจาก Fe มีค่า ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (standard reduction potential) เท่ากับ -0.440 โวลต์ ส่วน Co มีค่าเท่ากับ -0.277 โวลต์ ดังนั้นโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่มีปริมาณ Fe ผสมอยู่มากกว่าจะมีความเสี่ยงในการ เกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็วมากกว่าโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่มีปริมาณ Fe ผสมอยู่น้อย

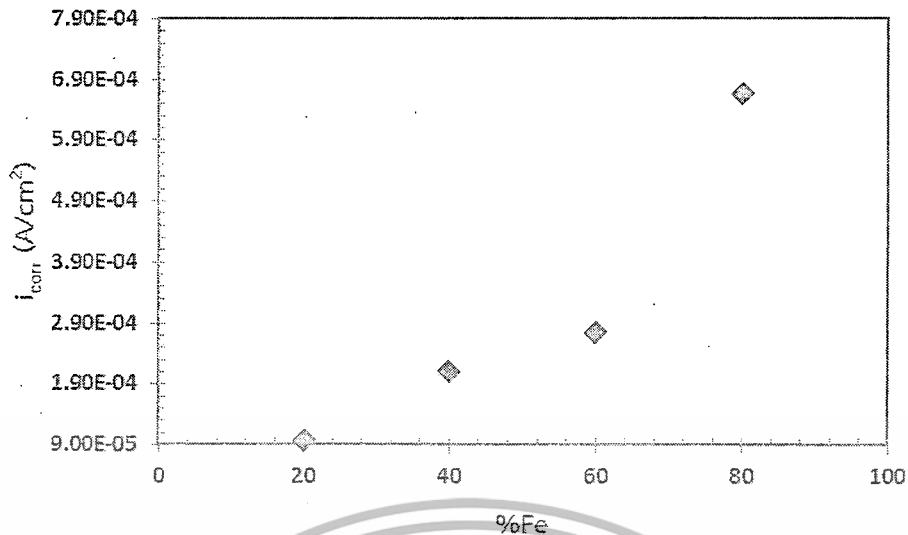


รูปที่ 4.17 กราฟโพเทนเชียลโอไดนามิกโพลาร์ไรเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารละลาย pH 3

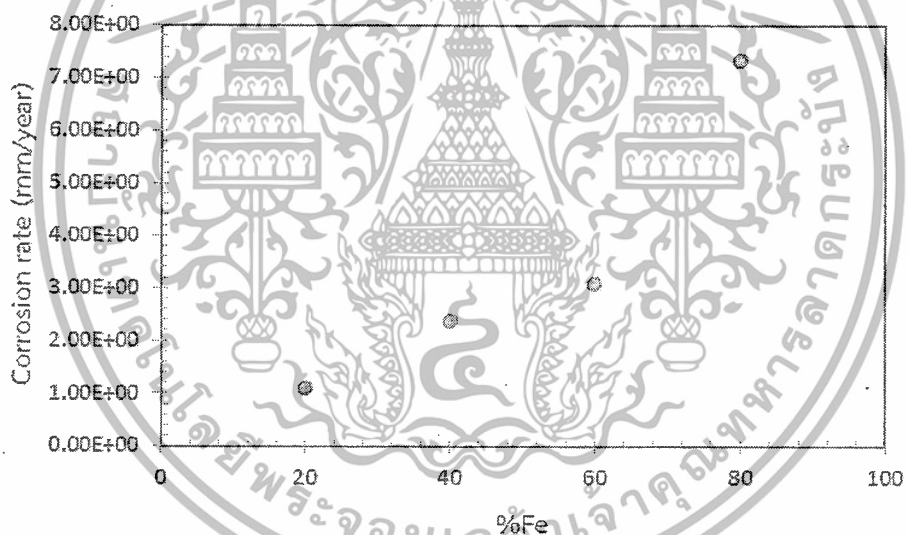
ตารางที่ 4.6 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารละลาย pH 3

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm^2)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co21.17Fe78.83	$6.67\text{E}-04$	-0.264	7.34
Co40.90Fe59.10	$2.76\text{E}-04$	-0.258	3.07
Co62.55Fe37.45	$2.11\text{E}-04$	-0.264	2.38
Co76.22Fe23.78	$9.72\text{E}-05$	-0.261	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในสารละลาย pH3



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH3

4.2.2 การทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4

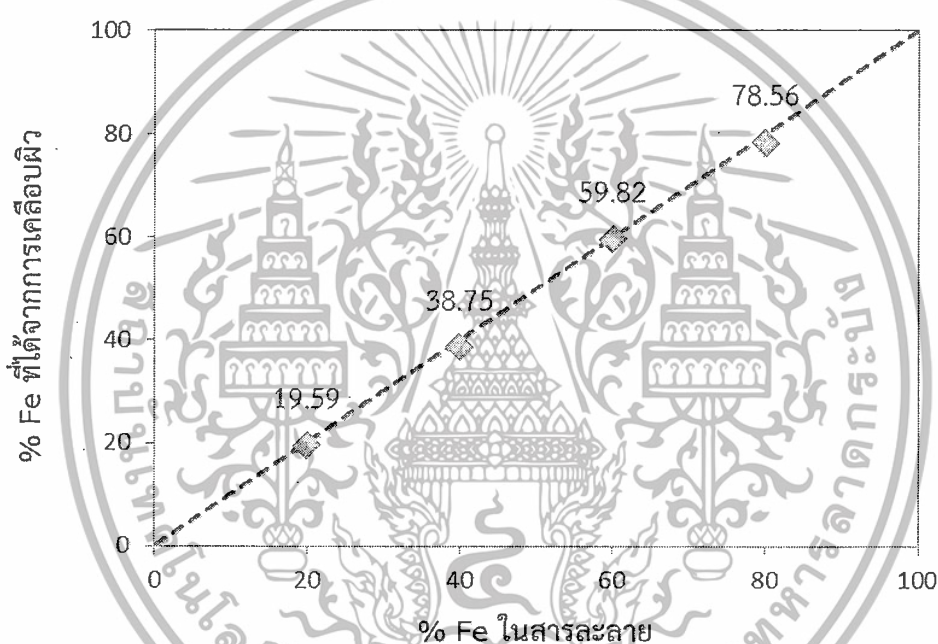
ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 4 ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วย XRF ผลการตรวจสอบพบว่าอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ

0.59 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH4

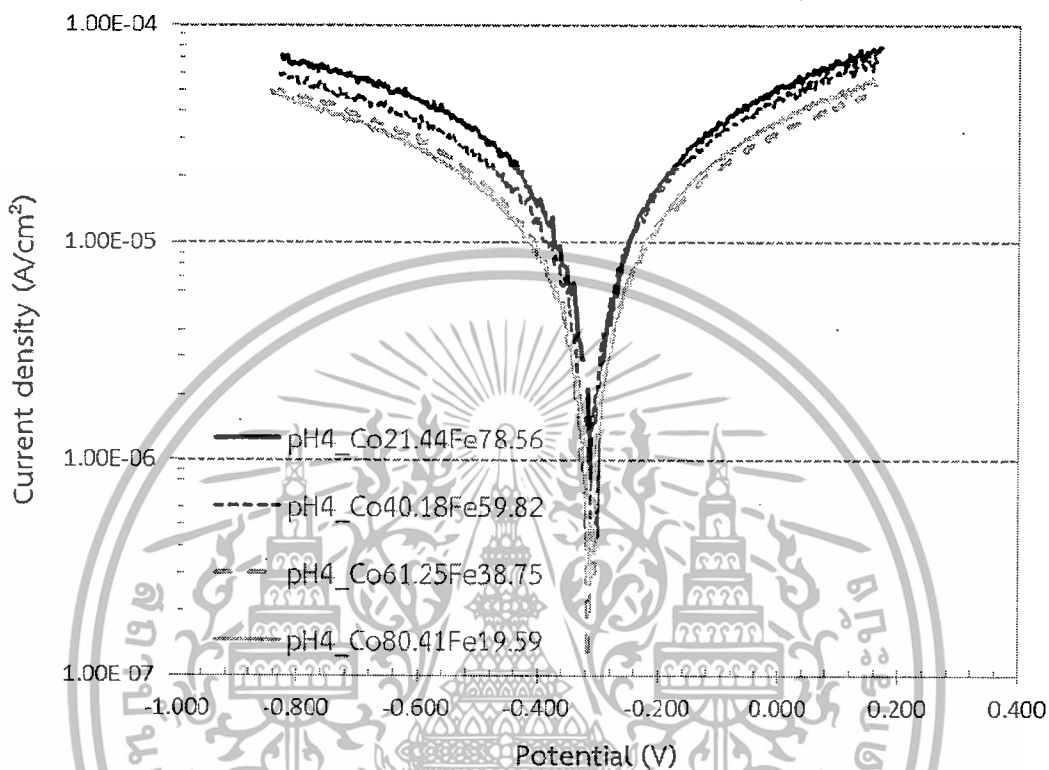
อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co20Fe80	78.21	21.79	78.90	21.10	78.56	21.44
Co40Fe60	60.34	39.66	59.31	40.69	59.82	40.18
Co60Fe40	38.41	61.59	39.08	60.92	38.75	61.25
Co80Fe20	19.21	80.79	19.98	80.02	19.59	80.41



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH4

กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ในสารละลาย pH4 ในรูปที่ 4.21 แสดงผลค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และยังสามารถนำค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนไปคำนวณหาค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ของโลหะผสม Co-Fe ในแต่ละอัตราส่วนมีค่าไม่ต่างกันมากโดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ -0.300 โวลต์ ส่วนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) จะแปรผันตามกัน ที่อัตราส่วน Fe จาก 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์จะไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน แต่จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนและค่าอัตราการกัดกร่อนไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กักร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อโลหะผสม Co-Fe มีอัตราส่วน Fe เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ที่ 4.22 และรูปที่ 4.23 ทั้งนี้สามารถอธิบายการเพิ่มขึ้นของอัตราการกัดกร่อนเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ Fe ได้เช่นเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 4.2.1

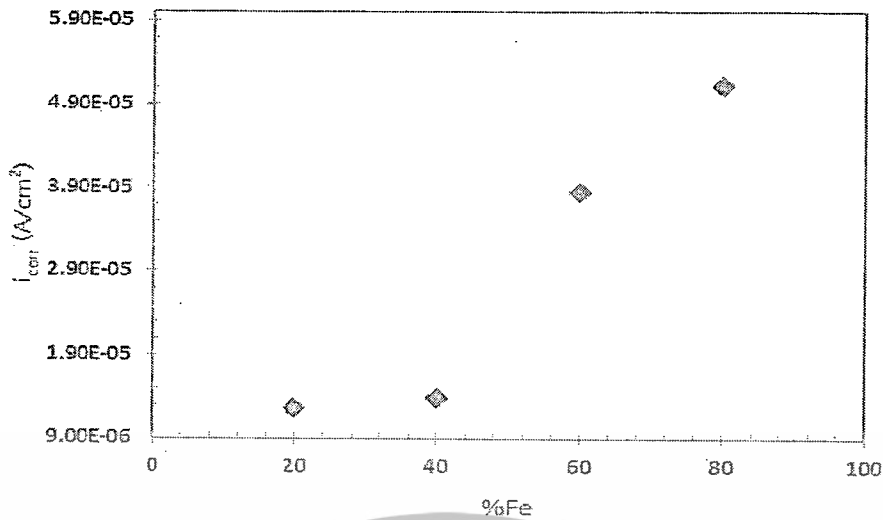


รูปที่ 4.21 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารละลาย pH4

ตารางที่ 4.8 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารละลาย pH4

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co21.44Fe78.56	5.12E-05	-0.311	5.64E-01
Co40.18Fe59.82	3.85E-05	-0.314	4.28E-01
Co61.25Fe38.75	1.39E-05	-0.308	1.56E-01
Co80.41Fe19.59	1.27E-05	-0.314	1.44E-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในสารละลาย pH4



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH4

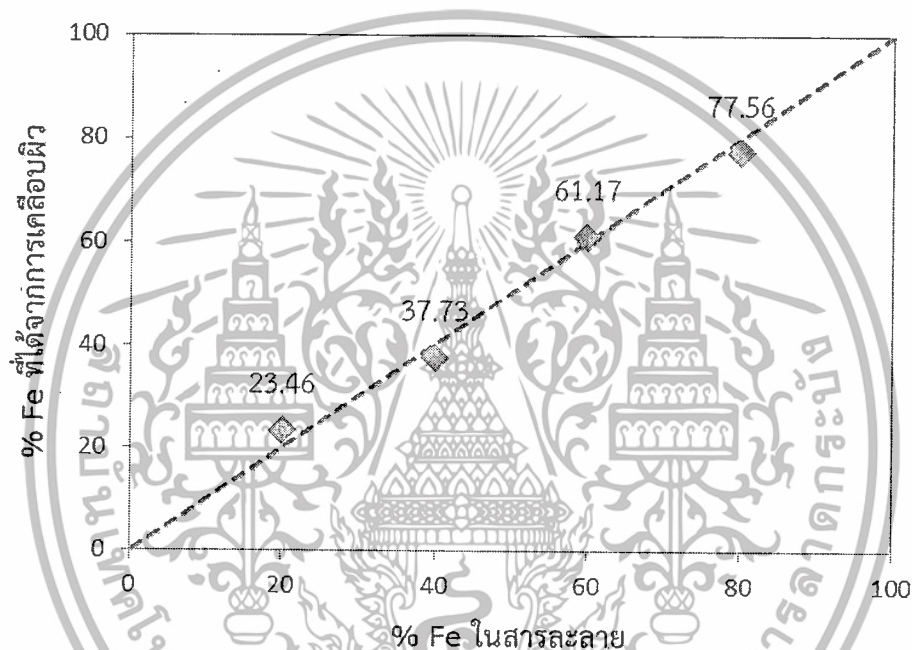
4.2.3 การทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5

ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5 ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วย XRF ผลการตรวจสอบพบว่าอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.65 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH5

อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co20Fe80	80.61	19.39	74.52	25.48	77.56	22.44
Co40Fe60	63.60	36.40	58.73	41.27	61.17	38.83
Co60Fe40	36.47	63.53	38.99	61.01	37.73	62.27
Co80Fe20	22.95	77.05	23.97	76.03	23.46	76.54



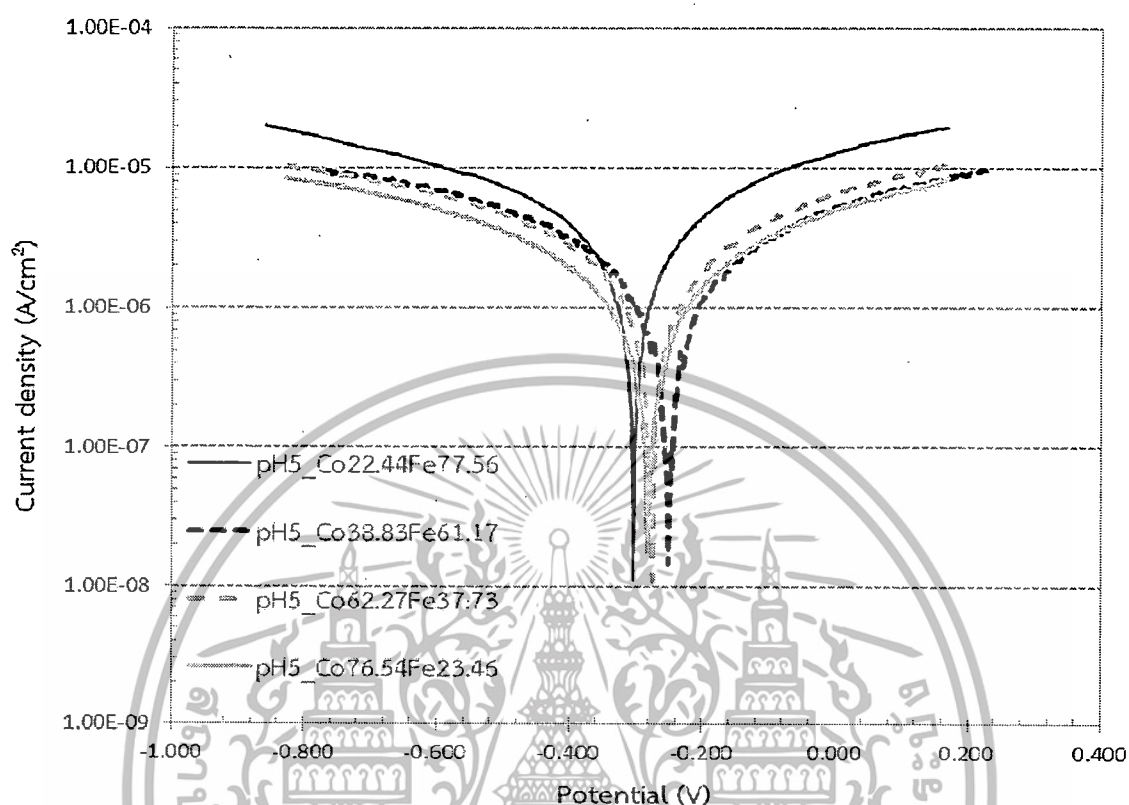
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH5

กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ในสารละลาย pH5 ในรูปที่ 4.25 แสดงผลค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และยังสามารถนำค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนไปคำนวณหาค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ของโลหะผสม Co-Fe ในแต่ละอัตราส่วนมีค่าไม่ต่างกันมากโดยมีค่าอยู่ที่ -0.250 ถึง -0.300 โวลต์ โดยค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนและค่าอัตราการกัดกร่อนจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยตามลำดับเมื่อโลหะผสม Co-Fe มีอัตราส่วน Fe จาก 20 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และจะสูงขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อโลหะผสม Co-Fe มีอัตราส่วน Fe จาก 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 การเพิ่มขึ้นของอัตราการกัดกร่อนเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การดูแลของศูนย์วิจัยและพัฒนาการวิจัยวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของ Fe ในโลหะผสมฟิล์มบางที่เคลือบผิวได้ สอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 เมื่อ pH มีค่าเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

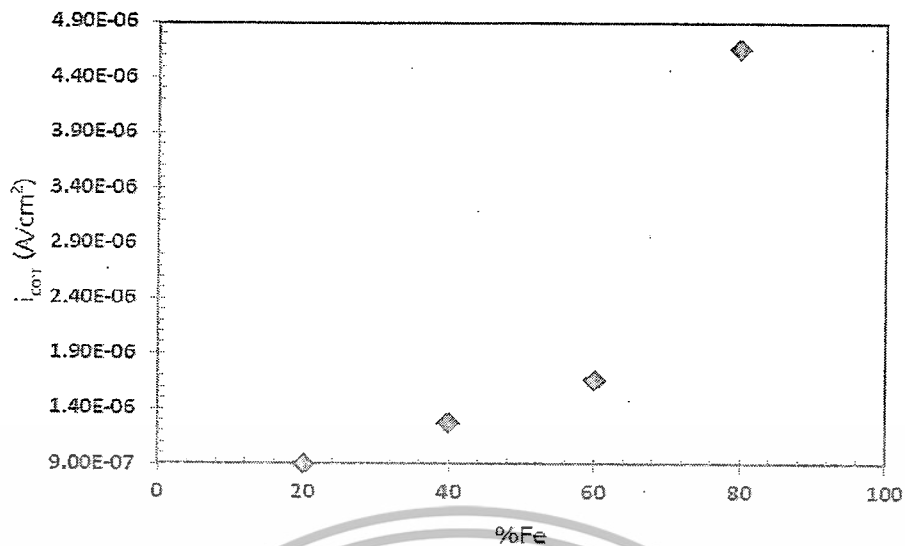


รูปที่ 4.25 กราฟโพเทนเชียลโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารละลาย pH 5

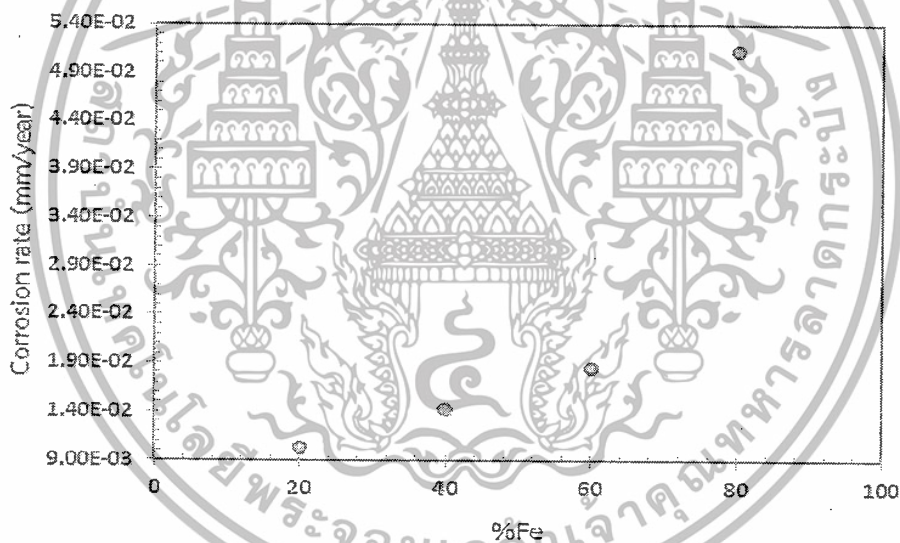
ตารางที่ 4.10 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารละลาย pH5

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm^2)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co22.44Fe77.56	4.66E-06	-0.304	5.13E-02
Co38.83Fe61.17	1.66E-06	-0.250	1.85E-02
Co62.27Fe37.73	1.27E-06	-0.275	1.43E-02
Co76.54Fe23.46	9.05E-07	-0.281	1.03E-02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในสารละลาย pH5



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย pH5

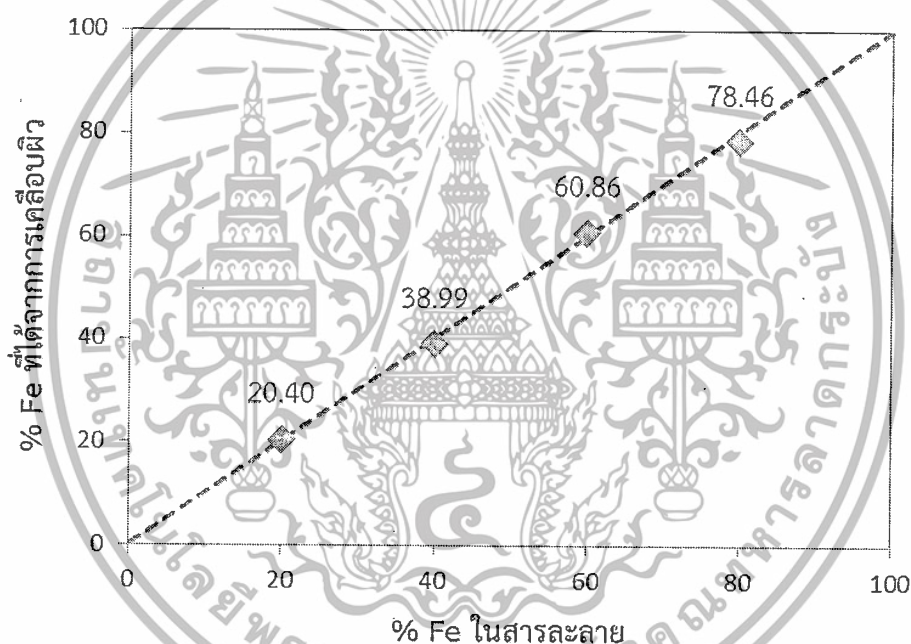
4.2.4 การทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน (Deionization water)

ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วย XRF ผลการตรวจสอบพบว่าอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.33 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน

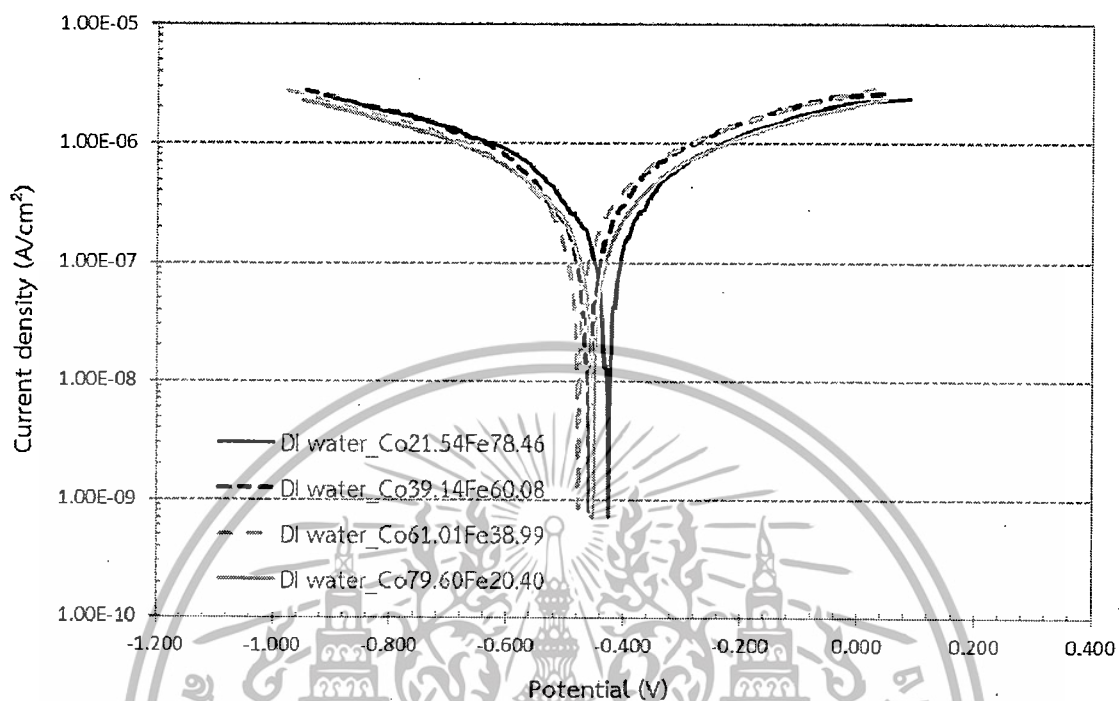
อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	%Fe	%Co	%Fe	%Co	%Fe	%Co
Co20Fe80	77.68	22.32	79.24	20.76	78.46	21.54
Co40Fe60	59.93	40.07	61.80	38.20	60.86	39.14
Co60Fe40	39.59	60.41	38.39	61.61	38.99	61.01
Co80Fe20	20.82	79.18	19.97	80.03	20.40	79.60



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน

กราฟโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ในน้ำปราศจากไอออน ในรูปที่ 4.29 แสดงผลค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) ถูกรายงานในตารางที่ 4.12 จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) ของโลหะผสม Co-Fe ในแต่ละอัตราส่วนมีค่าไม่ต่างกันมาก ดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ที่ 4.30 และรูปที่ 4.31 จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าอัตราส่วนขององค์ประกอบของโลหะผสม Co-Fe ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อที่จะทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการค้า แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของอัตราการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน เนื่องจากน้ำปราศจากไอออนมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยจึงไม่สร้างความแตกต่างที่ชัดเจน

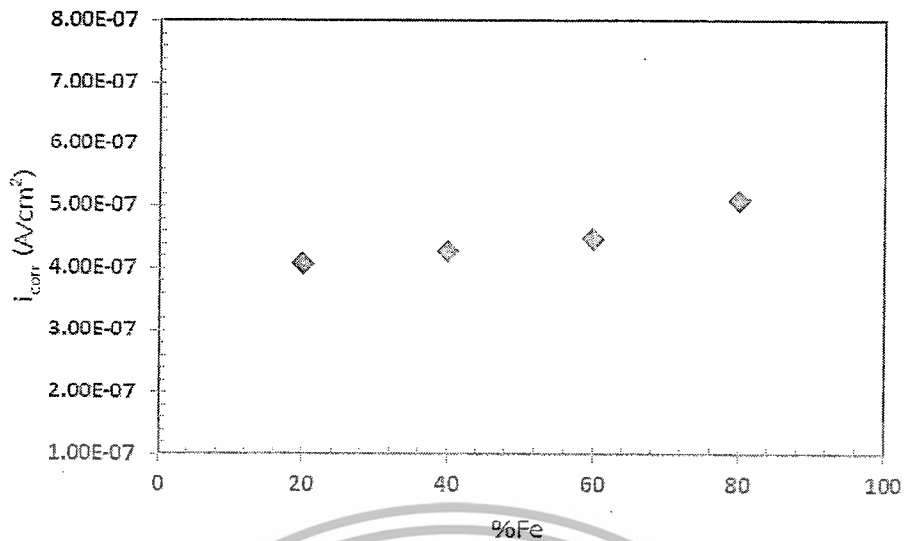


รูปที่ 4.29 กราฟโพเทนซีโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในน้ำปราศจากไอออน

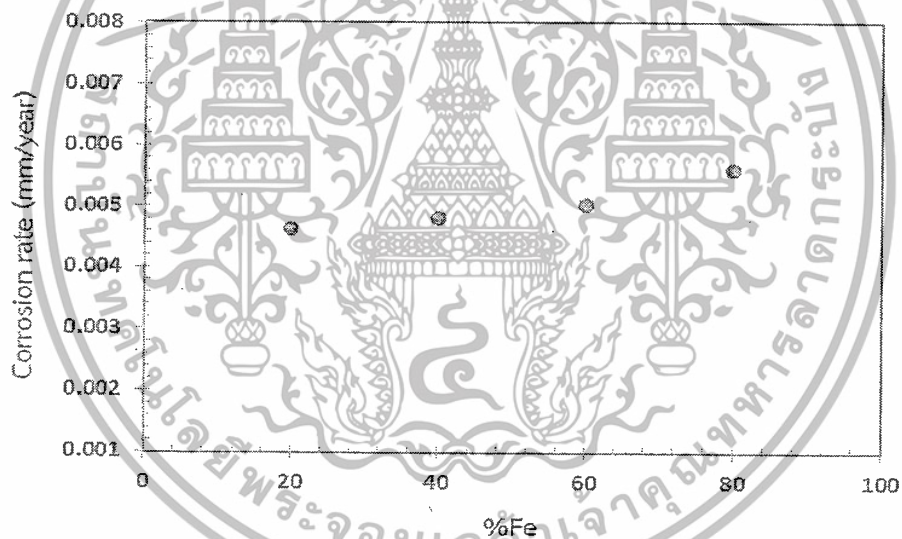
ตารางที่ 4.12 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในน้ำปราศจากไอออน

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm^2)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co21.54Fe78.46	5.10E-07	-0.442	5.62E-03
Co39.14Fe60.08	4.48E-07	-0.446	5.02E-03
Co61.01Fe38.99	4.28E-07	-0.482	4.81E-03
Co79.60Fe20.40	4.08E-07	-0.410	4.64E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในน้ำปราศจากไอออน



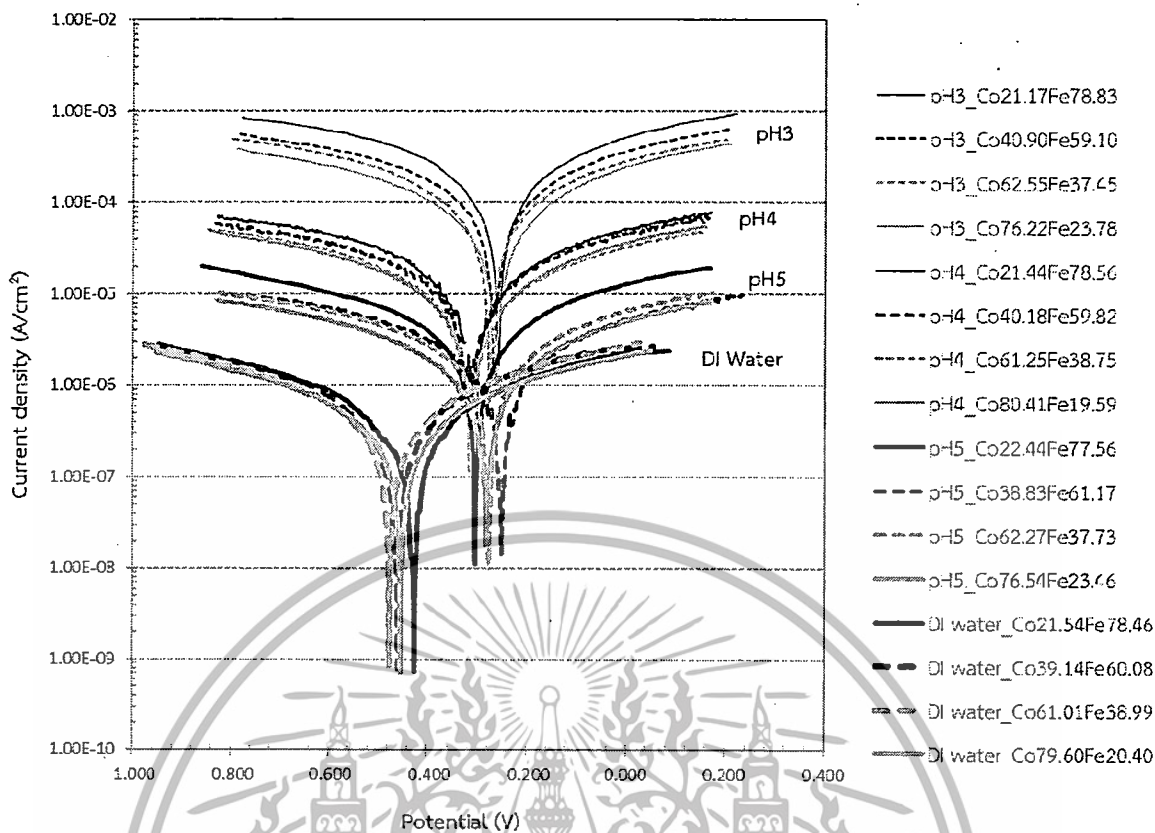
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนระหว่างสารละลาย pH3 pH4 pH5 และน้ำปราศจากไอออน

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารละลาย pH3 pH4 pH5 และ น้ำปราศจากไอออนพบว่า pH มีผลโดยตรงต่ออัตราการกัดกร่อน สารที่มี pH ต่ำหรือมีค่าความเป็นกรดสูงจะทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe มากกว่าสารละลายที่มี pH สูง ซึ่งสังเกตได้จากค่า i_{corr} และค่าอัตราการกัดกร่อนของ pH3 จะสูงกว่า pH4 pH5 และ น้ำปราศจากไอออนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.32 ทั้งนี้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) ที่เลื่อนไปทางขวาเมื่อค่า pH ลดลง แสดงให้เห็นชัดเจนว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้อัตราส่วนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่มีปริมาณ Fe สูงจะทำให้เกิดการกัดกร่อนมากกว่าโลหะผสมฟิล์มบางที่มีอัตราส่วน Fe ต่ำในสารละลาย pH4 และ pH5 ส่วนในน้ำปราศจากไอออนนั้นจะมีความแตกต่างที่มีค่าน้อยมาก

จะเห็นได้ว่าการเกิดการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบางในสารละลายที่มีค่า pH ต่ำเกิดขึ้นเนื่องจากโลหะผสมจะเกิดการกัดกร่อนได้ไอออนของโลหะผสม (Me^{2+}) ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอโนด คือ $Me \rightarrow Me^{2+} + 2e^-$ การเปลี่ยนค่า pH มีผลต่อปฏิกิริยารีดักชันของ H^+ ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือค่าอัตราการกัดกร่อนด้วย น้ำที่ค่อนข้างเป็นกรดคือมีค่า pH ลดลงกว่า 5 มีผลให้อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นเพราะ H^+ จากกรดสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันคือ $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ ได้มากขึ้นและออกซิเจนในน้ำยังมีบทบาทในการช่วยเร่งปฏิกิริยาของการกัดกร่อนโดย ออกซิเจนในสารละลายกรดเป็นตัวรับอิเล็กตรอนและเกิดปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มเติมที่แคโทดคือ $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ จากปฏิกิริยารีดักชันของกรดที่มากขึ้น และรวมกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ จึงมีผลเร่งอัตราการกัดกร่อนในน้ำที่เป็นกรดให้มากขึ้น



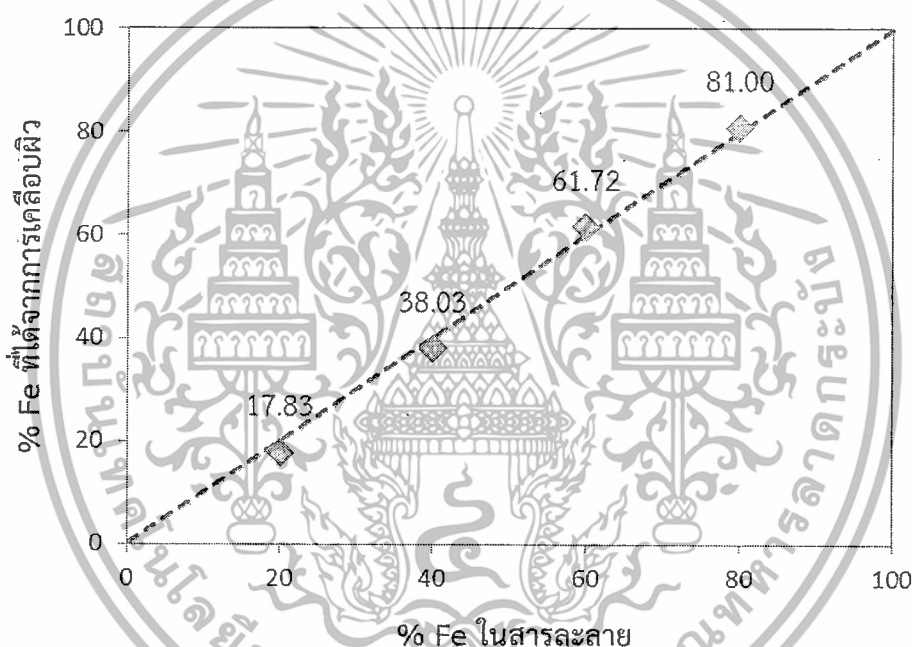
รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆในสารละลาย pH3 pH4 pH5 และน้ำปราศจากไอออน

4.2.6 การทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน (Coolant)

ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวด้วย XRF ผลการตรวจสอบพบว่าอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.21 ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.13 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน

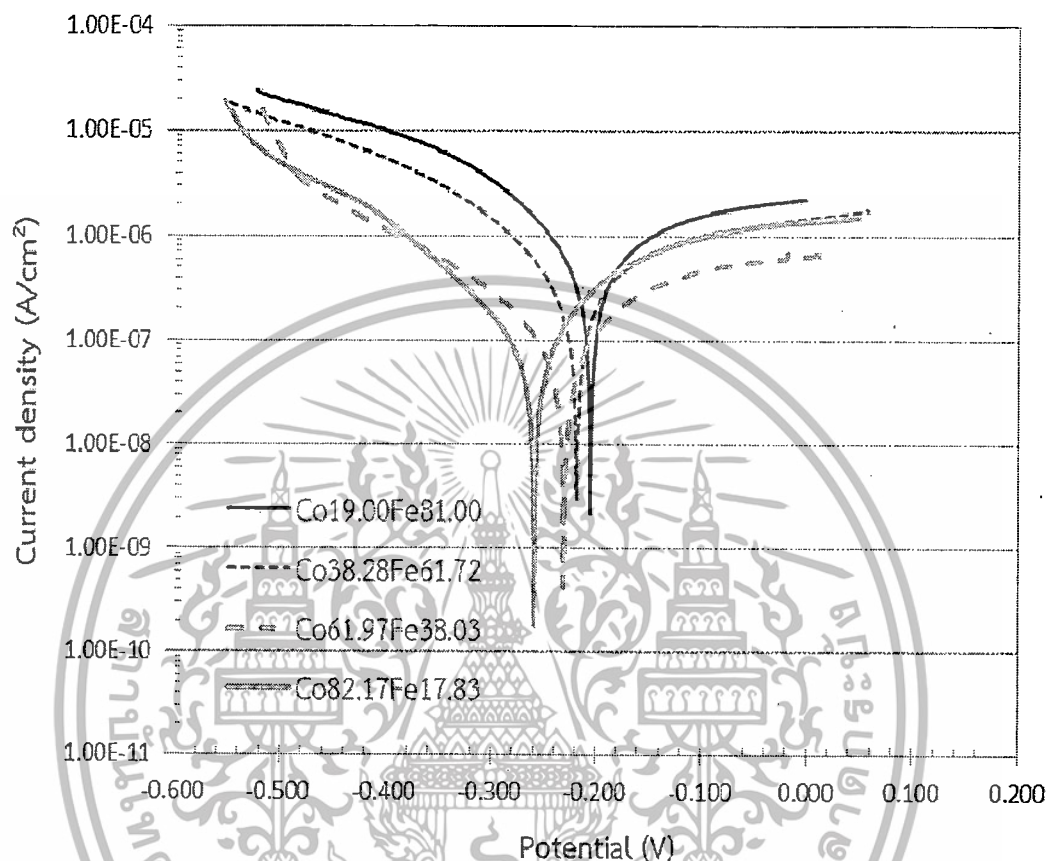
อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co20Fe80	78.95	21.05	83.06	16.94	81.00	19.00
Co40Fe60	62.03	37.97	61.41	38.59	61.72	38.28
Co60Fe40	40.18	59.82	35.88	64.12	38.03	61.97
Co80Fe20	18.33	81.67	17.33	82.67	17.83	82.17



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน

รูปที่ 4.34 แสดงผลค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) แสดงในตารางที่ 4.14 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน (E_{corr}) ของโลหะผสม Co-Fe ในแต่ละอัตราส่วนมีค่าไม่ต่างกันมากโดยมีค่าประมาณ -0.200 ถึง -0.260 โวลต์ ส่วนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) จะแปรผันตามกันที่อัตราส่วน Fe จาก 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์จะไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจน แต่จะเห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนและค่าอัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อโลหะผสม Co-Fe เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีอัตราส่วน Fe ตั้งแต่ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ดังแสดงในรูปความสัมพันธ์ที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 ชิ้นงานตัวอย่างที่มีปริมาณ Fe สูงจะมีอัตราการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อนมากกว่าชิ้นงานตัวอย่างที่มีปริมาณ Fe ต่ำ

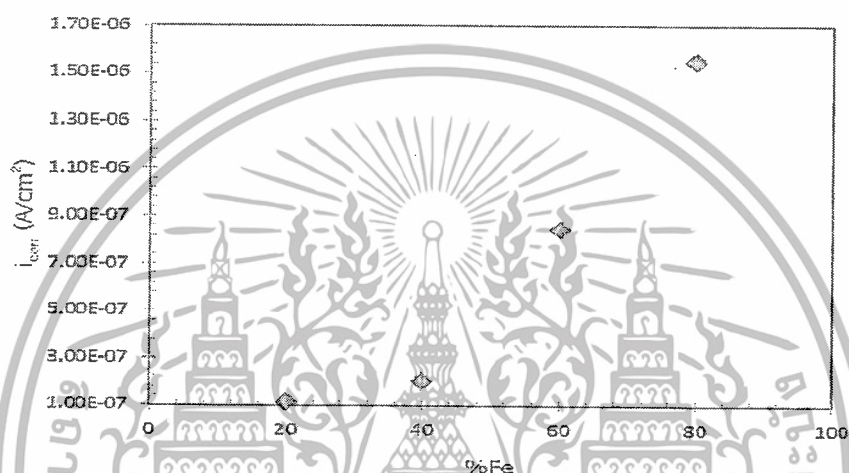


รูปที่ 4.34 กราฟโพเทนซีโอไดนามิกโพลาร์ไรเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารช่วยลดความร้อน

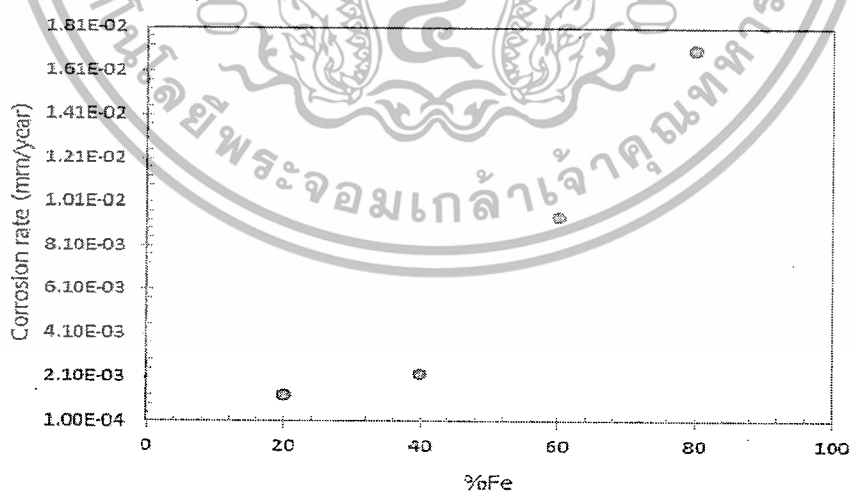
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารช่วยลดความร้อน

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm^2)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co19.00Fe81.00	1.55E-06	-0.204	1.71E-02
Co38.28Fe61.72	8.48E-07	-0.216	9.43E-03
Co61.97Fe38.03	2.01E-07	-0.239	2.26E-03
Co82.17Fe17.83	1.12E-07	-0.260	1.28E-03



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในสารช่วยลดความร้อน



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารช่วยลดความร้อน

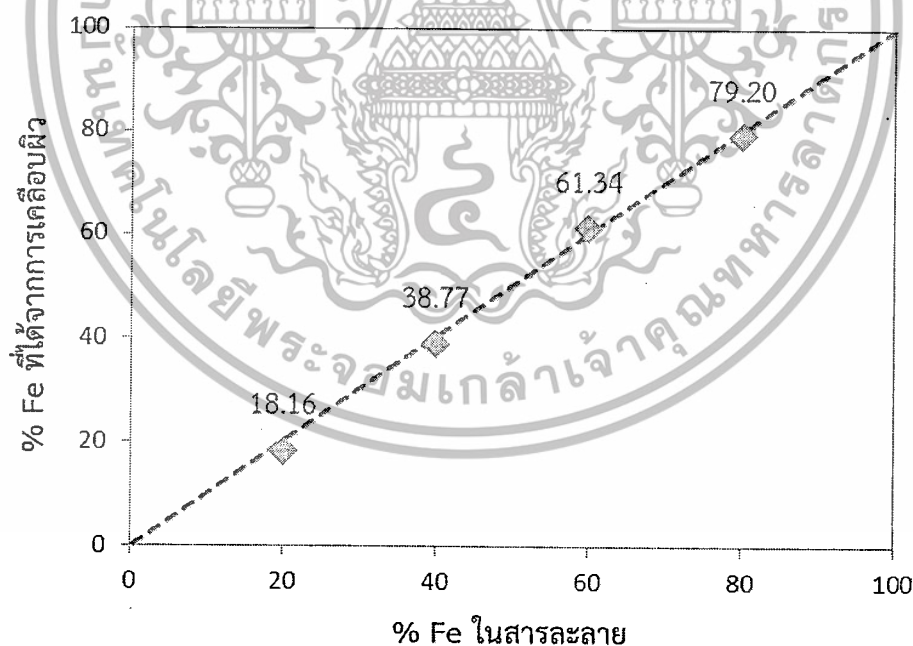
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น (Lubricant)

ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการละลายที่ใช้ในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.92 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.37

ตารางที่ 4.15 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น

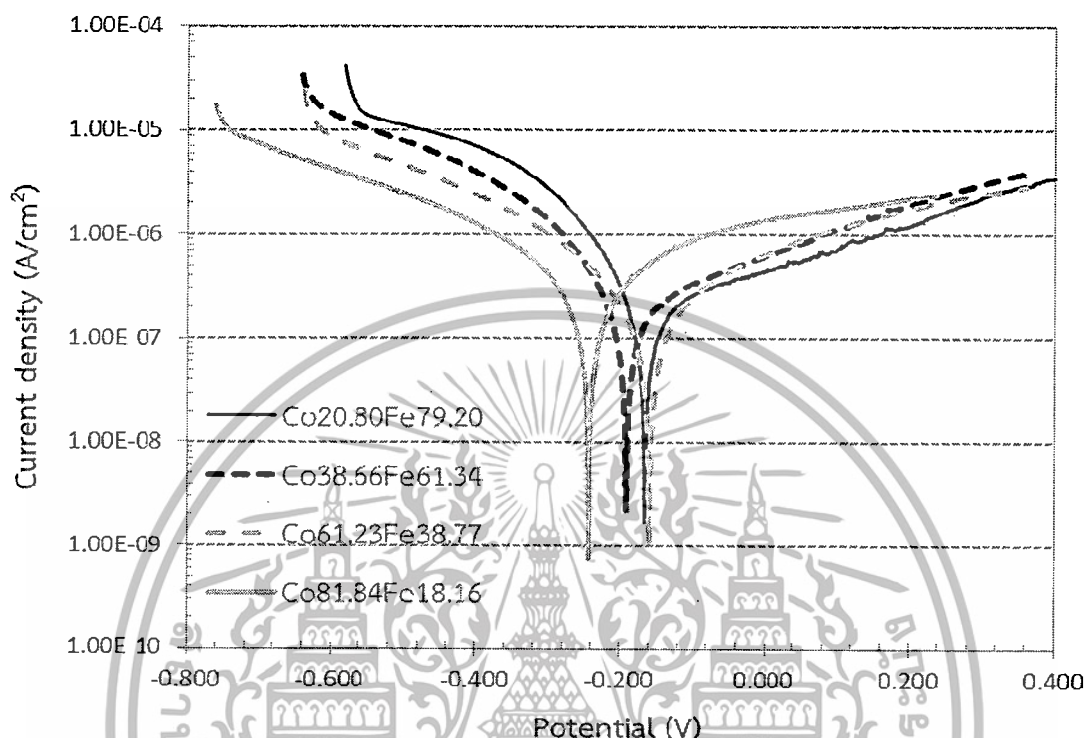
อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co20Fe80	79.41	20.59	78.99	21.01	79.20	20.80
Co40Fe60	58.57	41.43	64.11	35.89	61.34	38.66
Co60Fe40	39.13	60.87	38.41	61.59	38.77	61.23
Co80Fe20	17.96	82.04	18.36	81.64	18.16	81.84



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.38 ถึง 4.40 และตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าโลหะผสมฟิล์มบางที่มีปริมาณ Fe สูงขึ้น จะมีอัตราการกัดกร่อนที่มากกว่าโลหะผสมฟิล์มบางที่มีค่าต่ำ ค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อนของแต่ละชิ้นงานมีค่าไม่ต่างกันมากอยู่ที่ประมาณ -0.171 ถึง -0.223 โวลต์

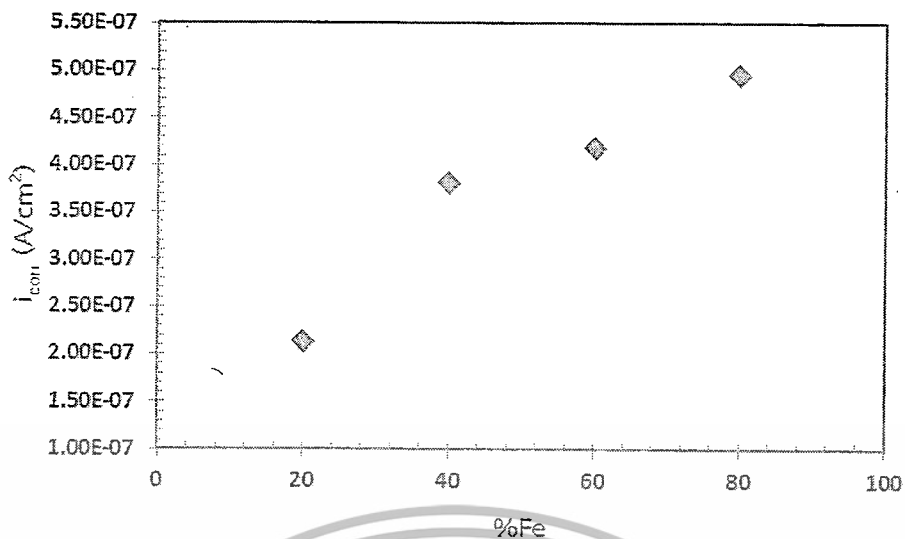


รูปที่ 4.38 กราฟโพเทนเชียลไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารหล่อลื่น

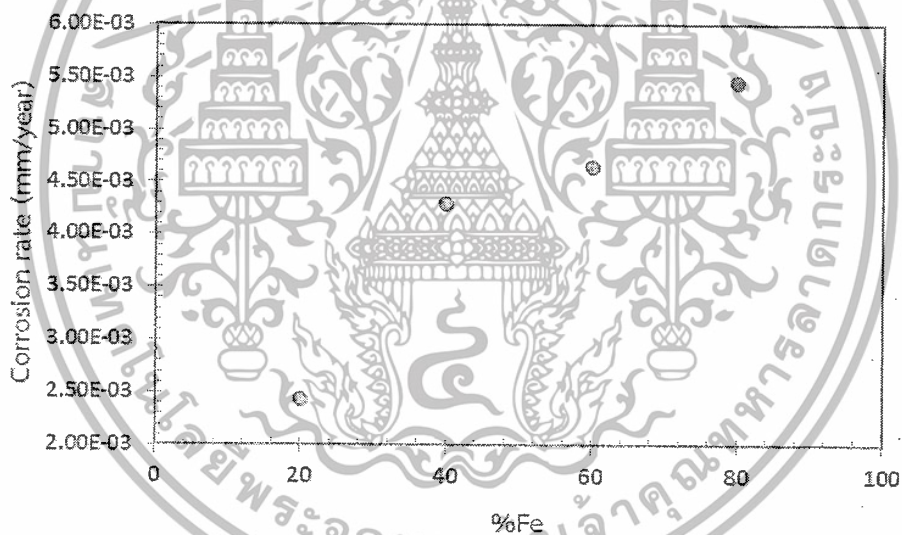
ตารางที่ 4.16 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารหล่อลื่น

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm^2)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co20.80Fe79.20	4.95E-07	-0.171	5.45E-03
Co38.66Fe61.34	4.18E-07	-0.189	4.65E-03
Co61.23Fe38.77	3.82E-07	-0.195	4.29E-03
Co81.84Fe18.16	2.14E-07	-0.223	2.43E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในสารหล่อลื่น



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารหล่อลื่น

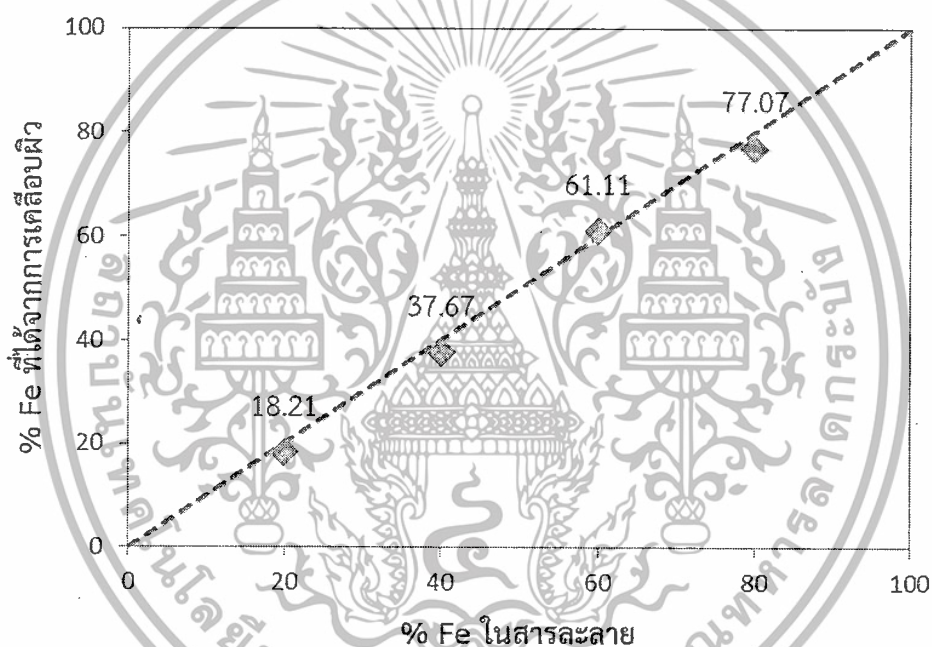
4.2.8 การทดสอบการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรลิโดน (Pyrrolidone)

ก่อนการนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรลิโดน ได้นำชิ้นงานไปตรวจสอบอัตราส่วนองค์ประกอบของ Co-Fe ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ที่ใส่ลงไปในการเคลือบผิว โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.44 ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และ รูปที่ 4.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 อัตราส่วน Co-Fe ที่ได้จาก XRF ของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรไรโดน

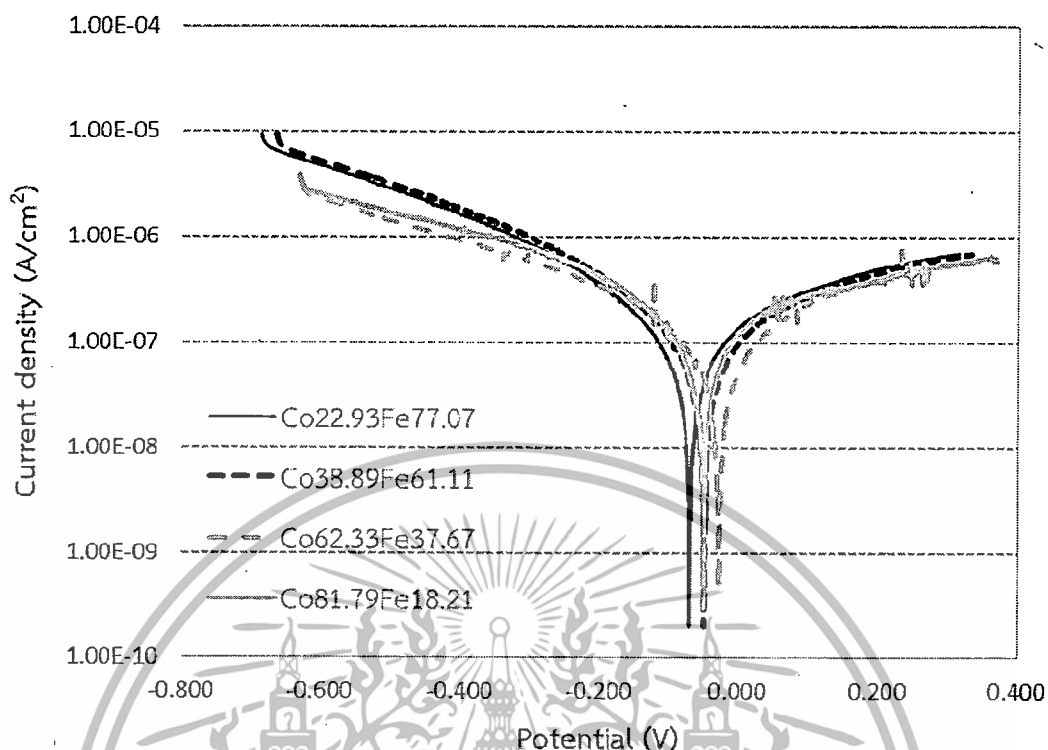
อัตราส่วน Co-Fe	จุดที่ 1		จุดที่ 2		ค่าเฉลี่ย	
	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)	Fe (%)	Co (%)
Co20Fe80	78.48	21.52	75.67	24.33	77.07	22.93
Co40Fe60	62.17	37.83	60.04	39.96	61.11	38.89
Co60Fe40	38.41	61.59	36.94	63.06	37.67	62.33
Co80Fe20	18.92	81.08	17.51	82.49	18.21	81.79



รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Fe ในสารละลายและปริมาณ Fe ที่ได้จาก การเคลือบผิวของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรไรโดน

จากรูปที่ 4.42 ถึง 4.44 และตารางที่ 4.18 ไม่พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อนหรืออัตราการกัดกร่อน และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของ Fe ในโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ทั้งนี้ค่าอัตราการกัดกร่อนมีค่าอยู่ประมาณ 1.39×10^{-3} ถึง 2.05×10^{-3} mm/year ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนอยู่ในช่วง -0.022 ถึง -0.078 โวลต์ อัตราการกัดกร่อนที่วัดได้ในสารกลุ่มไพโรไรโดนมีค่าต่ำกว่าที่วัดได้ในน้ำปราศจากไอออน เนื่องจากสารในกลุ่มนี้เป็นตัวทำละลายและมีค่าสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) ที่ต่ำจึงทำให้ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเกิดได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

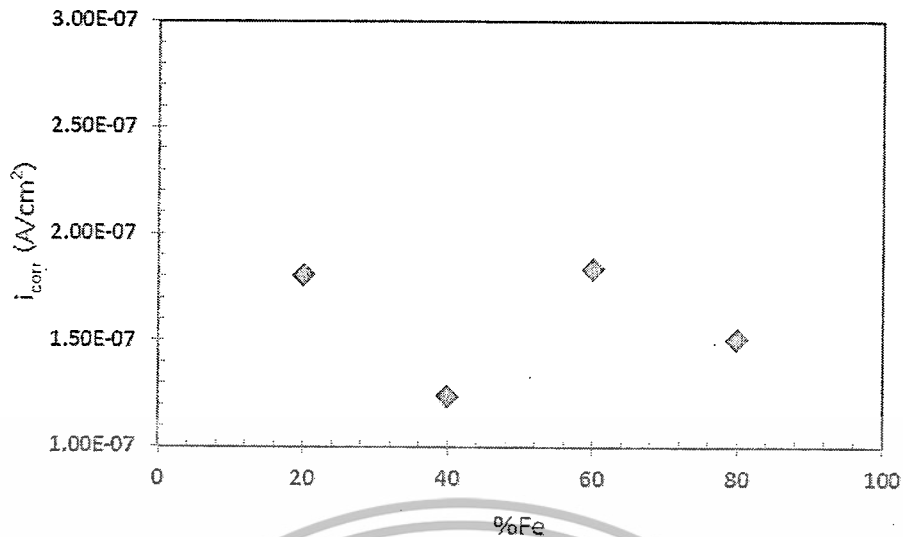


รูปที่ 4.42 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารกลุ่มไพโรไรโดน

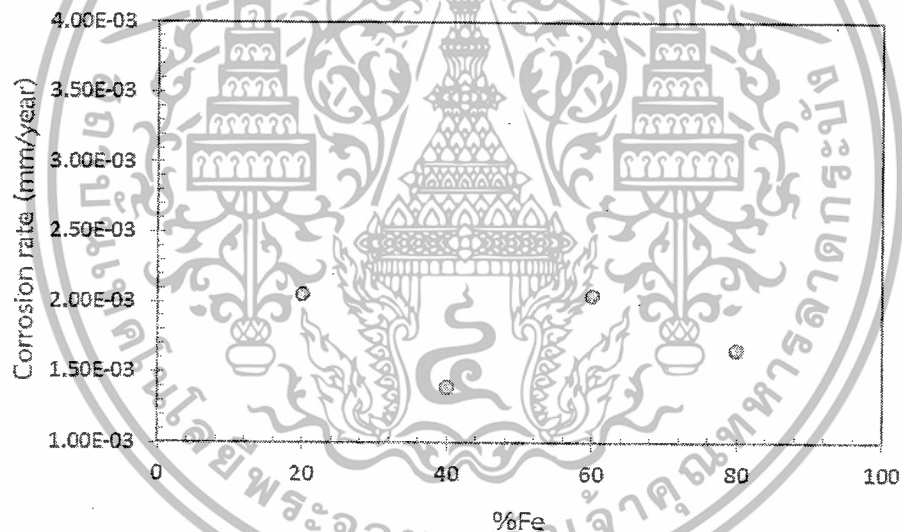
ตารางที่ 4.18 ผลของการทดสอบการกัดกร่อนของ Co-Fe ในสารกลุ่มไพโรไรโดน

อัตราส่วน Co-Fe	i_{corr} (A/cm^2)	E_{corr} (V)	Corrosion rate (mm/year)
Co22.93Fe77.07	$1.50\text{E}-07$	-0.078	$1.66\text{E}-03$
Co38.89Fe61.11	$1.84\text{E}-07$	-0.042	$2.04\text{E}-03$
Co62.33Fe37.67	$1.24\text{E}-07$	-0.022	$1.39\text{E}-03$
Co81.79Fe18.21	$1.80\text{E}-07$	-0.041	$2.05\text{E}-03$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน (i_{corr}) ในสารกลุ่มไพโรไรโดน

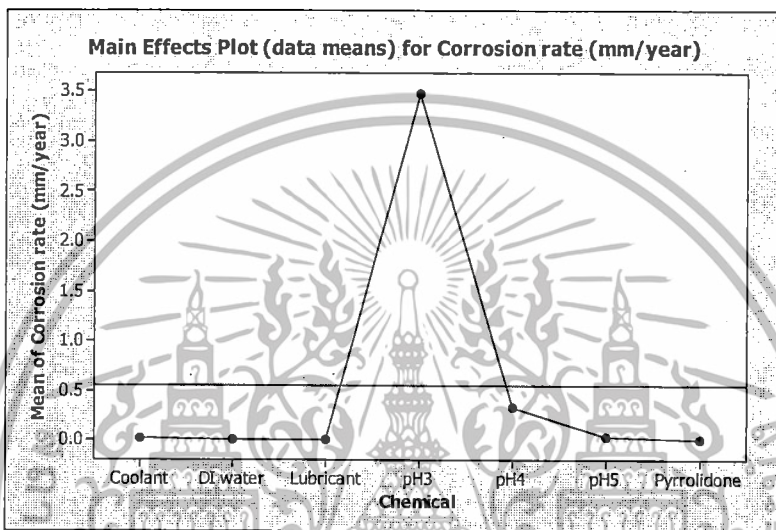


รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe ของชิ้นงานตัวอย่างและค่าอัตราการกัดกร่อนในสารกลุ่มไพโรไรโดน

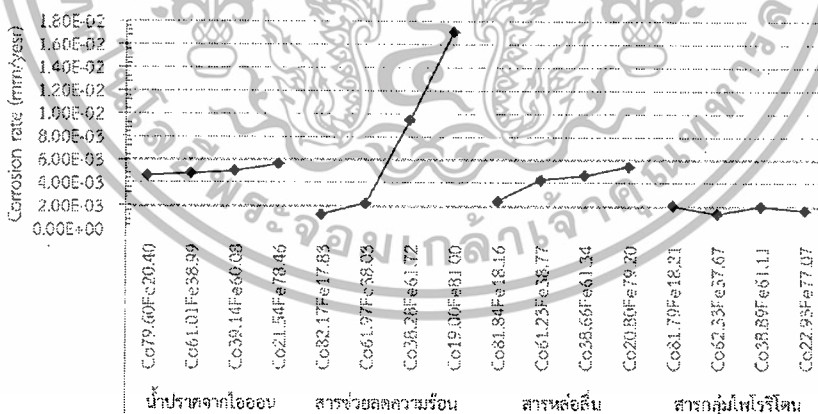
4.2.9 เปรียบเทียบผลการทดสอบกัดกร่อนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe . ที่อัตราส่วนต่างๆ ในสารละลาย pH3 pH4 pH5 น้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไพโรไรโดน เมื่อพิจารณาค่าอัตราการกัดกร่อนพบว่า pH3 เป็นสารที่ทำให้มีอัตราการกัดกร่อนมากที่สุด รองลงมาคือ pH4 และ pH5 ตามลำดับ ส่วนน้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไพโรไรโดน ให้ค่าการกัดกร่อนน้อยในระดับใกล้เคียงกัน สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้จากอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยในสารเคมีต่างๆในรูปที่ 4.45 นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะผสม Co-Fe ที่มีอัตราส่วน Fe ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าอัตราการกัดกร่อนมากที่สุดในน้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไพโรริโดน และรองลงมาคือโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe ประมาณ 60 40 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.46 โลหะผสมในแต่ละอัตราส่วนจะมีแนวโน้มทำให้อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนของ Fe สูง ยกเว้นสารกลุ่มไพโรริโดนที่ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในแต่ละอัตราส่วน ส่วนโลหะผสมที่มีอัตราส่วน 60 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปจะเห็นความแตกต่างของอัตราการกัดกร่อนที่ชัดเจนเมื่ออยู่ในสารช่วยลดความร้อน



รูปที่ 4.45 อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยในสารเคมีต่างๆ



รูปที่ 4.46 การเปรียบเทียบค่าอัตราการกัดกร่อนระหว่างสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตหัวอ่าน-หัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 การตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุที่เหลือจากการทดสอบการกัดกร่อน

นำชิ้นงานตัวอย่าง Co-Fe ที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลาย pH 5 ไปตรวจสอบหาอัตราส่วนขององค์ประกอบ Co-Fe ที่เหลือหลังการทดสอบการกัดกร่อนด้วยเทคนิค XRF พบว่าโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe สูงจะมีอัตราส่วนการหายไปของ Fe สูงกว่าโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe ต่ำกว่าดังแสดงในตารางที่ 4.19 และ 4.20 ซึ่งผลการทดสอบนี้จะสอดคล้องกับผลการทดสอบการกัดกร่อนที่พบว่าโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่มีปริมาณ Fe ผสมอยู่มากกว่าจะมีความเสี่ยงในการเกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็วมากกว่าโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่มีปริมาณ Fe ผสมอยู่น้อย

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบอัตราส่วนของ Co และ Fe ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนด้วยสารละลาย pH5

อัตราส่วน Co-Fe	%wt ของ Co-Fe ก่อนทดสอบการกัดกร่อน			%wt ของ Co-Fe ที่เหลือหลังทดสอบการกัดกร่อน		
	Cu (%)	Fe (%)	Co (%)	Cu (%)	Fe (%)	Co (%)
Co22.44Fe77.56	74.67	19.65	5.69	88.72	7.07	4.21
Co28.83Fe61.17	72.51	16.82	10.68	89.48	9.58	8.75
Co62.27Fe37.73	67.61	12.22	20.17	81.06	7.64	16.38
Co76.54Fe23.46	69.98	7.04	22.98	83.86	5.31	17.14

ตารางที่ 4.20 อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ที่หายไปของ Co และ Fe หลังการทดสอบการกัดกร่อน

อัตราส่วน Co-Fe	อัตราส่วนที่หายไป	
	Fe (%)	Co (%)
Co22.44Fe77.56	64.00	26.00
Co28.83Fe61.17	43.00	18.00
Co62.27Fe37.73	37.50	18.80
Co76.54Fe23.46	24.60	25.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

5.1.1 ผลของช่วงของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลือบผิว

จากผลการทดลองพบว่าช่วงกระแสที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบผิวคือ 5 มิลลิแอมแปร์ ถ้าใช้ช่วงกระแสมากกว่านี้ในการเคลือบผิวจะส่งผลให้พื้นผิวเกิดรอยไหม้ขึ้นได้ และจากการศึกษาวิเคราะห์รอยไหม้ที่เกิดขึ้นด้วย TOF SIMS พบว่ารอยไหม้ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นสารประกอบโลหะออกไซด์

5.1.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว

จากการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวพบว่าเวลาที่ใช้สำหรับการเคลือบผิวเพิ่มมากขึ้นความหนาของชั้นเคลือบก็จะมากขึ้นตามลำดับ จากผลของ XRF เมื่อใช้เวลาในการเคลือบผิวมากขึ้นจะทำให้พบสัญญาณที่บ่งบอกปริมาณ Cu ที่ใช้เป็นชั้นงานตัวอย่างสำหรับการเคลือบผิวน้อยลงตามลำดับ

5.1.3 ผลของความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะสำหรับการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะสำหรับการเคลือบผิว พบว่าความเข้มข้นที่ 0.1 โมลาร์เหมาะสมกว่าความเข้มข้นที่ 0.01 โมลาร์ เนื่องจากที่ 0.01 โมลาร์นั้นเกิดการเคลือบผิวที่ไม่สมบูรณ์ เกิดพื้นผิวที่มีลักษณะลกร่อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไอออนในสารละลายมีน้อยเกินไป

5.1.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของโลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe

จากผลการตรวจสอบอัตราส่วนของโลหะผสม Co-Fe ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์พบว่าปริมาณไอออนของ Co-Fe ที่ใส่ไปในสารละลายของการเคลือบผิวและเปอร์เซ็นต์ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบติดบนชิ้นงานตัวอย่างมีความสัมพันธ์กันคือ อัตราส่วนของ Co-Fe ที่ได้จากการเคลือบผิวมีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วน Co-Fe ไอออนที่ใส่ลงไปในการละลาย

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานที่เคลือบผิวในอัตราส่วน Co-Fe ที่ต่างกันพบว่าโครงสร้างผลึกของ CoFe มีรูปร่างเป็นทรงลูกบาศก์ (Cubic) และในแต่ละอัตราส่วนของ Co:Fe ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึก

จากการศึกษาหาความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิคการหาความหนาจากภาคตัดขวาง โดยได้เลือกชิ้นงานที่อัตราส่วน Co:Fe เท่ากับ 37.45:62.55 ไปทำการทดสอบพบว่าชั้นฟิล์ม Co-Fe มีความหนาเท่ากับ 75 ไมโครเมตร (μm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กพบว่าที่ทุกอัตราส่วนมีวงฮิสเทอรีซิสรีแวกซ์และแคบ มีค่าแมกเนไทเซชันตกค้างอิมิตัว (Mr) ใกล้เคียงกับค่าแมกเนไทเซชันอิมิตัว (Ms) ซึ่งค่าที่ใกล้เคียงกันนี้เป็นตัวที่บ่งบอกและแสดงถึงพฤติกรรมสารแม่เหล็กแบบเฟอร์โรชนิดอ่อน (soft ferromagnetic) และโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe สูงจะมีค่าความเป็นแม่เหล็กหรือค่าแมกเนไทเซชันอิมิตัวสูงขึ้นตามลำดับ

5.2 การศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อน

จากผลของการศึกษาพฤติกรรมของการกัดกร่อนโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพรบไโรเซชันในสารละลาย pH3 pH4 pH5 น้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไพโรรีโตน เมื่อพิจารณาค่าอัตราการกัดกร่อนพบว่า pH3 เป็นสารที่ทำให้มีอัตราการกัดกร่อนมากที่สุด รองลงมาคือ pH4 และ pH5 ตามลำดับ ส่วนน้ำปราศจากไอออน สารช่วยลดความร้อน สารหล่อลื่น และสารกลุ่มไพโรรีโตน จะให้ค่าอัตราการกัดกร่อนน้อยในระดับใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนโลหะผสม Co-Fe ต่อการเกิดการกัดกร่อนพบว่า โลหะผสมฟิล์มบาง Co-Fe ที่มีอัตราส่วน Fe ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าอัตราการกัดกร่อนมากที่สุดในทุกสารละลาย ยกเว้นน้ำปราศจากไอออนและสารกลุ่มไพโรรีโตนที่ไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน และรองลงมาคือโลหะผสมที่มีอัตราส่วน Fe 60 40 และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] B.D. Cullity and C.D. Grahan. "Introduction to Magnetic Material" IEEE Press 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854.
- [2] Jeffrey R. Childress and Robert E. Fontana Jr. 2005. "Magnetic recording read head sensor technology." *C. R. Physique*. Vol.6 : 997-1012.
- [3] S.-Y. Chu, C. Kline, M.-Q. Huang, and M. E. McHenry. 1999. "Preparation characterization and magnetic properties of an ordered FeCo single crystal." *Journal of Applied Physics*. Vol.85 : 6031-6033.
- [4] Allen Bai and Chi-Chang Hu. 2002. "Effects of electroplating variables on the composition and morphology of nickel cobalt deposits plated through means of cyclic voltammetry." *Electrochimica Acta*. Vol.47 : 3447-3456.
- [5] อนันต์ ทองมอญ. 2544. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : กองบริหารอุตสาหกรรม.
- [6] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 2556. สารแม่เหล็ก. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/98/magnetic1/index.htm>. 2554.
- [7] ผศ.ดร.สุภาสินี ลิ้มปานภาพ. 2557. สมบัติอื่นๆของวัสดุ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.physics.kku.ac.th/315205/sites/default/files/chapter12.pdf>.
- [8] ธานินทร์ แดงกาวรัมย์ และ จิราภรณ์ กิตติกุล. 2555. "การประดิษฐ์ไมโครเซนเซอร์ทางเคมีไฟฟ้าสำหรับตรวจวัดตะกั่ว." *โครงการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้*.
- [9] M.S. Chandrasekar and Malathy Pushpavanam. 2008. "Pulse and pulse reverse plating conceptual advantages and applications." *Electrochimica Acta*. Vol.53 : 3313-3322.
- [10] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557. X-ray fluorescence spectrometry (XRF). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRF/GettingStartOf_XRFs.htm.
- [11] ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2557. X-ray Diffractometer (XRD). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 2557. กล้องจุลทรรศน์.
[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/62/light1/ligh_29.htm
- [13] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2557. Scanning electron microscope (SEM). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/nanotech/Page/Unit4-5.html>
- [14] นุชรีย์ ชมเชย. 2553. “การพัฒนาและศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะของวัสดุร่วมเคลือบ-อนุภาคแม่เหล็กนาโน.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [15] วลัยพร ปฤษณารุณ เอื้อใจ. 2551. “การพัฒนาและการวิเคราะห์เครื่องมือวัดค่า pH ที่ทำจากพอลิเมอร์นำไฟฟ้า” ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [16] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 2557. “การกัดกร่อน” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
<http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/2/corrosion/corrosionthaiintro1.htm>
- [17] พรศักดิ์ อรรถวานิช. 2546. โลหการวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] ศิริลักษณ์ นิวิฐจรยงค์. 2545. การกัดกร่อนและการเลือกใช้วัสดุ. กรุงเทพฯ: ศูนย์ตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [19] ไชยา พรหมโส. 2557. ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://sckhemistry.blogspot.com/2010/10/9312.html>
- [20] หนึ่งหทัย คงอินทร์ อติทยา จันเสนา และอรรณภรณ์ ใจปราณี. 2551. “การศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ด้วยสารสกัดจากใบรางจืด สาบเสือ และพญาอในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [21] F.E.Rasmussen, J.T.Ravnikilde, P.T.Tang and O.Hansen. 2001. “Electroplating and characterization of Co-Ni-iron and Ni-Fe for magnetic.” *Microsystems applications Sensors and Actuators*. Vol.92 : 242-248.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] Pompen Yaichareon, Pichet Limsuwan and Pongpan Chindaudom. “Research and Development of Thin Films Process by Ion Plating Method.” Department of Chemistry Science. KMUTT.
- [23] Nasser Kanani. “Electroplating-Basic Principle, Process and Practice.” Atotech Deutschland GmbH Berlin. Germany.
- [24] Allen Baib, Chi-Chang Hua. 2005. “Composition controlling of Co–Ni and Fe–Co alloys using pulse-reverse electroplating through means of experimental strategies.” *Electrochimica Acta*. Vol.50 : 1335–1345.
- [25] PennyTsay, Chi-ChangHu, Chun-KuoWang. 2005 “Compositional effects on the physical properties of iron–nickel deposits prepared by means of pulse-reverse electroplating.” *MaterialsChemistryandPhysics*. Vol.89 : 275–282.
- [26] StephaneVilain,JeanEbothe. 2001. “GrowthandtopologyofCo–FeandCo–Ni alloyelectrodepositsstudied Byatomicforcemicroscopy.” *Materials Science and Engineering*. Vol15 : 199–201.
- [27] Z.Zhang.et.al. 2001. “Study on the behavior of Zn–Fe alloy electroplating.” *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Vol.516 : 127–130.
- [28] Allen Bai, Chi-Chang Hu and Ten-Chin Wen. 2003. “Composition control of ternary Fe–Co–Ni deposits using cyclic voltammetry.” *Electrochimica Acta*. Vol.48 : 2425–2434.
- [29] Chengwen Qiang et al. 2010. “The influence of pH and bath composition on the properties of Fe–Co alloy film electrodeposition.” *Applied Surface Science*. Vol.257 : 1371–1376.
- [30] Wei Lu et al. 2013. “XRD, SEM and XAS studies of FeCo films electrodeposited at different current density.” *Electrochem Sci*. Vol.8 : 914–923.
- [31] N. X. Sun and S. X. Wang. 2000. “Soft High Saturation Magnetization ($\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.3}$) $_{1-x}\text{N}_x$ Thin Films For Inductive Write Heads.” *IEEE Transaction on magnetic*. Vol.36 : 2506–2508.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [32] ยงยุทธ แก้วจรัส. 2554. “การควบคุมขนาดผลึกของวัสดุสารแม่เหล็กเฟอร์โรชนิด CoFe ด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมีสำหรับหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.” งานประชุมวิชาการ ม.อ.ภูเก็ตวิทยานานาชาติ.
- [33] LI Jing-feng et al. 2006. “Electrodeposition behavior of nanocrystalline CoNiFe soft magnetic thin film.” *Trans. Nonferrous Met. SOC. China*. Vol.16 : 659-665.
- [34] Hakan Kockar et al. 2010. “Role of electrolyte pH on structural and magnetic properties of Co-Fe films.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol. 322 : 1095-1097.
- [35] P. Poddar et al. 2004. “Grain size influence on soft ferromagnetic properties in Fe-Co nanoparticles.” *Materials Science and Engineering*. Vol. B106 : 95-100.
- [36] K.R. Sriraman et al. 2007. “Corrosion behaviour of electrodeposited nanocrystalline Ni-W and Ni-Fe-W alloys.” *Materials Science and Engineering*. Vol. 460 : 39-45.
- [37] Amnuaysak Chianpairot et al. 2011. “Corrosion of nanocrystalline Ni-W alloys in alkaline and acidic 3.5 wt.% NaCl Solutions.” *Corrosion Science*. Vol. 53 : 1066-1071.
- [38] Min Zhang et al. 2011. “Corrosion behavior of magnetic refrigeration material La-Fe-Co-Si in distilled water.” *Journal of Alloys and Compounds*. Vol.509 : 3627-3631.
- [39] Vaishaka R. Rao et al. 2013. “Magnetically induced electrodeposition of Zn-Ni alloy coatings and their corrosion behaviors.” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. Vol.345 : 48-54.
- [40] Elvira Goomez et al. 2005. “Structural, magnetic and corrosion properties of electrodeposited cobalt-nickel-molybdenum alloys.” *Electrochemistry Communications*. Vol.7 : 275-281.
- [41] S.Tanaka et al. “Magnetic properties and corrosion resistance of Co-Ni-Fe film and its application to the thin film inductive head” *IEEE*. HB-07.
- [42] S.Takahashi et al. 1987. “Magnetic properties of Fe-Co nitride thin film.” *IEEE Transaction on magnetic*. Vol.23 : 3630-3633.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS

PURE AND APPLIED CHEMISTRY INTERNATIONAL

CONFERENCE 2013 (PACCON2013)



GLOBAL

Chemical Science for Green Community



January 23-25, 2013

Bangsaen Beach

THAILAND

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CORROSION BEHAVIOR OF ELECTRODEPOSITED THIN FILM Co-Fe ALLOYS IN AERATED pH 4 SULFURIC ACID SOLUTION

Atittaya Chansena¹, Sutha Sutthiruangwong^{2,*}

¹ College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

² Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

* Author for correspondence; E-Mail: kssutha@kmitl.ac.th

Abstract: This work was separated into two parts, Co-Fe electrodeposition and corrosion study. According to electrodeposition, Co-Fe alloys were electrodeposited on copper substrate by cyclic galvanodynamic polarization technique. $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ were used as the source of cobalt and iron. The electrodeposition was studied in the field of effect of current range and electrodeposition time. The current range of 5 mA, total concentration of 0.1 M, and 5 hours of electrodeposition time are selected for this study. All the compositions of Co-Fe alloys were determined by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) before corrosion measurement. The compositions of Co-Fe alloy can be controlled by adjusting Fe^{2+} and Co^{2+} concentration in the electrodeposition bath. The composition of Co-Fe alloy in deposit can be correlated with the Co and Fe concentration in solution. The corrosion behavior of Co-Fe alloys was studied in aerated pH 4 solution using potentiodynamic polarization technique. Corrosion current density was found to be increased with increasing Fe content.

1. Introduction

Soft magnetic materials are a central component of electromagnetic devices such as step motors, magnetic sensors, transformers and magnetic recording heads. In magnetic recording head technology, there are needs of higher areal density to increase storage capacity [1-3]. One of the common alloys for giant magneto resistive materials is Co, Ni, and Fe. Ferromagnetic materials Fe, Co and Ni can present instinctive magnetization as 1714, 1422 and 484 emu/cm^3 respectively. Co and Fe alloys are important materials in read/write head technology because they have the unique magnetic property to give high value of magnetization [4]. The parameters of electrodeposition such as the current density, electrolyte composition and bulk pH value on the deposited Co-Fe layer properties (morphology, structure, magnetic properties) have been investigated [5]. Magnetic alloy can be prepared by several techniques such as electrodeposition, DC sputtering, RF sputtering, chemical vapour deposition (CVD) and physical vapour deposition (PVD). Electrodeposition seems to be an interesting technique to prepare magnetic alloys because of high coating rate, easy to control alloys composition, be able to coat on curve or not flat surface, high density of metal alloy, good adhesion and low cost [6,7]. In previous research the electrodeposition was studied by several techniques such as cyclic voltammetry, pulse and pulse reverse plating [8-10]. Co-Fe electrodeposition can be

controlled by adjusting Co^{2+} and Fe^{2+} in the solution [11]. XRD patterns of the precursor CoFe_2O_4 at different temperatures was found to be a spinel structure [12]. Corrosion is the major problem in chemical and many other industries. In general, corrosion is the result of water with a low pH. Acidic waters have lots of H^+ ions in the water to react with the electrons at the cathode, so corrosion is enhanced. Potentiodynamic polarization technique is the general technique to determine corrosion rate [13, 14]. The potentiodynamic polarization study of the addition of a small amount of Co on the corrosion properties of low alloy steel in a sulfuric acid solution was found that a higher Co content improves the active corrosion resistance [15].

In this study, the corrosion parameters were investigated in order to understand the corrosion behavior of Co-Fe alloy in aerated pH 4 solution by potentiodynamic polarization technique. It should be noted that there is small amount of research of corrosion issue on Co-Fe alloys fabricated using electrodeposition.

2. Materials and Methods

2.1 Co-Fe electrodeposition

Co-Fe alloy was deposited on copper substrate with diameter of 1.6 cm. Copper substrate was ground with 600 and 2000 grit SiC , respectively. Cleaning procedure was applied to remove lubricant and fingerprints on copper substrate. The copper substrate was cleaned with surfactant, rinsed with DI water, sonicated in isopropyl alcohol for 5 min and then dried with hot air. $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ were used as the source of cobalt and iron. The ratio of Co:Fe in the bath was specified as 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20. The electrolyte was kept constant at pH 2 (adjusted by HCl). All solutions were prepared by using deionization water. The solution used for electrodeposition was purged with nitrogen gas for 30 min before deposition and during the experiment. The electrodeposition of Co-Fe alloy was done by Potentiostat/Galvanostat (PGSTAT 302N). The cyclic galvanodynamic polarization has been used for electrodeposition. Figure 1 shows the method of cyclic galvanodynamic polarization. The current was applied in cathodic region by starting from 0 mA for electrodeposition. The scan rate was kept constant at 1×10^{-4} A/s. The working electrode is copper substrate. Platinum and Ag/AgCl (3M KCl) were used as the counter and reference electrodes, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A lugging capillary was set at about 2 mm from copper substrate.

The electrodeposition was studied for the effect of current range, electrodeposition time and ion concentration in electrodeposition bath. The current range was varied as 4, 5, 6, 7.5, 10 and 15 mA to determine the optimal current range for deposition. The electrodeposition time was varied as 1, 3, 5 and 7 hours and the ion concentration in electrodeposition bath was varied as 0.01 and 0.1 M. The composition of Co-Fe deposits was measured by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and the crystal structure was determined by X-ray diffractometer (XRD).

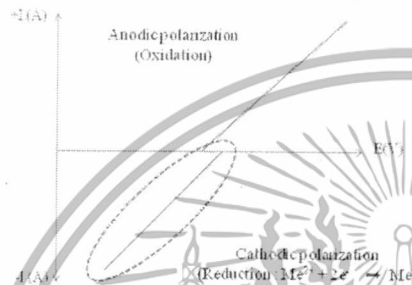


Figure 1. Cyclic galvanodynamic polarization for electrodeposition

2.2 Corrosion study

Potentiodynamic polarization test was applied to study the corrosion behavior of Co-Fe deposits in aerated pH 4 sulfuric acid solution at room temperature. The electrochemical measurement was measured by Potentiostat/Galvanostat (PGSTAT 302N) with a three-electrode cell. Platinum was used as a counter electrode. Ag/AgCl (3M KCl) was used as a reference electrode. A lugging capillary was set at about 2 mm from Co-Fe alloy substrate. The electrolyte used for measurement was purged with atmospheric air for 30 min before measuring and during the measurement to simulate the actual read/write head production environment and to ensure the oxygen saturation. The polarization was performed starting at -0.500 V from the open circuit potential (OCP). The scan rate was kept constant at 0.00028 V/sec (1000 mV/hour). The potential range of potentiodynamic polarization covered both cathodic and anodic region.

3. Results and Discussion

3.1 Co-Fe Electrodeposition

3.1.1 Effect of current range

The current range was varied as 4, 5, 6, 7.5, 10 and 15 mA to determine the proper current range for electrodeposition. The electrodeposition parameters were initially set as follows: 0.1 M total ion concentration, 3 hours of electrodeposition time, Co:Fe ratio of 60:40 and pH of the solution equals to 2. Figure 2 shows the surface morphology with current range of 4, 5, 6, 7.5, 10 and 15 mA respectively. Co-Fe

alloys were fabricated by cyclic galvanodynamic polarization technique on copper substrate and currents were applied at the cathodic region starting from 0 mA. The surface morphology with current of 4, 5 and 6 mA shows no significant difference (see Figures 2a, 2b and 2c). The surfaces with current equal or higher than 7.5 mA show severe burn (see Figures 2d, 2e and 2f) due to higher current density per area. From the study current 4-6 mA is proposed as the proper current range for electrodeposition. For this work, 5 mA was used as a fixed current range for Co-Fe electrodeposition.

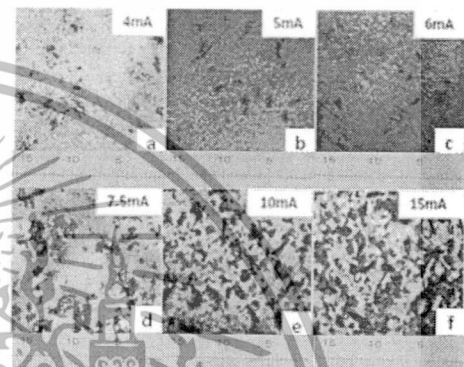


Figure 2. Surface morphology at different current range (milli inch)

3.1.2 Effect of electrodeposition time

The electrodeposition time was varied as 1, 3, 5 and 7 hours. The electrodeposition parameters were initially set as follows: 5 mA of current range, 0.1 M total ion concentration, Co:Fe ratio of 60:40 and pH 2. The composition of sample was determined by XRF. The XRF has been done for 2 points on the deposit. The data are shown in Table 1. Figure 3 shows the relationship between electrodeposition time and %Cu found from XRF. The %Cu was found to be decreased with increasing electrodeposition time. It means the deposition thickness was increased when the electrodeposition time was increased. Table 2 shows the average of Co and Fe contents in the deposit after normalization. The Co:Fe weight fraction in the deposit obtaining from XRF was similar to the ratio of Co:Fe in the solution. The difference between Co-Fe in deposit and Co-Fe in solution is about 1.33%.

Table 1: Composition of the Co-Fe deposit with different electrodeposition time

Time (hour)	2 points average			Stdev
	%Cu	%Co	%Fe	
1	93.6	3.77	2.63	0.05
3	79.8	12.18	8.06	0.03
5	48.1	30.75	21.14	0.27
7	27.6	44.32	28.07	0.62

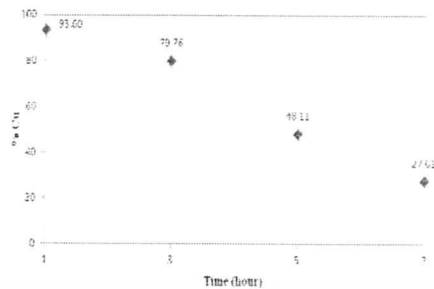


Figure 3. Relationship between electrodeposition time and %Cu from XRF

Table 2: Average Co and Fe content in the deposit

Time (hour)	Average		Stdev
	%Co	%Fe	
1	58.89	41.11	0.78
3	60.20	39.80	0.14
5	59.27	40.73	0.49
7	61.23	38.77	0.85

The crystal structure of sample was determined by XRD. The results of 1, 3, 5 and 7 hour electrodeposition time are shown in Figure 4. It can be confirmed that the structure of Co-Fe alloys are cubic structure for all electrodeposition time.

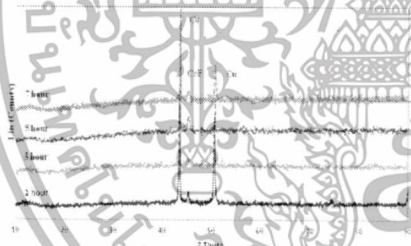


Figure 4. XRD pattern of Co-Fe alloys with different electrodeposition time

3.1.3 Effect of ion concentration

The ion concentration in electrodeposition bath was varied as 0.01 and 0.1 M. The electrodeposition parameters were initially set as follows: 5mA of current range, 5 hours of electrodeposition time, Co:Fe ratio of 60:40 and pH 2. Figure 5 shows the surfaces of deposited Co-Fe using 0.01 and 0.1 M ion concentration in electrodeposition bath. The surface obtained from 0.01 M shows incomplete deposition because of low ion concentration in electrodeposition bath. The surface obtained from 0.1 M shows complete deposition on copper substrate.

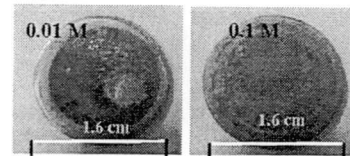


Figure 5. Surface deposit at 0.01 and 0.1 M ion concentration in electrodeposition bath

3.2 Corrosion behavior of Co-Fe deposits

For corrosion measurement, the Co-Fe alloys were prepared using 5 hour electrodeposition time, 0.1 M ion concentration and 5 mA current range with the ratio of Co:Fe as follows: 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20. The Co-Fe composition was determined by XRF before corrosion testing. The relationship between Fe content in the deposit and Fe concentration in the solution is shown in Figure 6. Table 3 shows the average of Co and Fe contents in the deposition after normalization. The obtained composition can be controlled by adjusting the concentration composition of Co-Fe ion in solution.



Figure 6. Relationship between %Fe in solution and %Fe in deposit

Table 3: Average Co and Fe contents in the deposit (for corrosion test)

Composition	Average		Stdev
	%Co	%Fe	
Co20Fe80	21.45	78.55	1.02
Co40Fe60	40.18	59.82	0.12
Co60Fe40	61.25	38.75	0.89
Co80Fe20	80.41	19.59	0.29

Figure 7 shows potentiodynamic polarization curves of Co-Fe alloys with Co:Fe ratio of 20:80, 40:60, 60:40 and 80:20 in aerated pH 4 solution. Tafel's extrapolation was used to determine corrosion potential (E_{corr}) and corrosion current density (i_{corr}). The E_{corr} of all samples maintain at around -0.310 V. The i_{corr} was found to be slightly increased with increasing Fe content. High Fe content alloy shows higher corrosion rate than that of low Fe content alloy. Fe is more active than Co because the standard

reduction potential value of Fe is lower than that of Co. The standard reduction potential of Fe is -0.440 V and the standard reduction potential of Co is -0.277 V. Therefore, the alloy with high Fe content was corroded in aerated pH 4 sulfuric acid solution faster than the alloy with high Co content. Corrosion parameters are listed in Table 4.

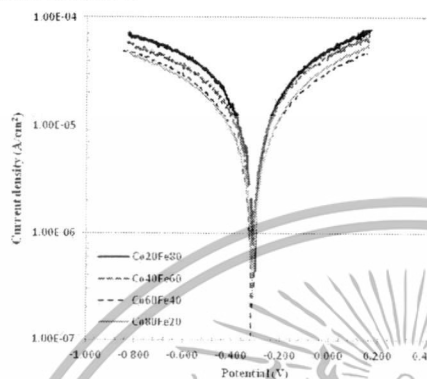


Figure 7. Potentiodynamic polarization curves of Co-Fe alloys with different weight fraction in aerated pH 4 solution

Table 4: Corrosion parameters for Co-Fe alloys in aerated pH 4 sulfuric acid solution

Compositions	i_{corr} (A/cm ²)	E_{corr} (V)
Co20Fe80	5.12×10^{-3}	-0.311
Co40Fe60	3.85×10^{-5}	-0.314
Co60Fe40	1.39×10^{-5}	-0.308
Co80Fe20	1.27×10^{-5}	-0.314

4. Conclusions

The Co-Fe alloys have been produced by using cyclic galvanodynamic polarization. The proper current range was 5 mA. Surface was burnt with high current. The composition of Co-Fe in electrodeposition bath can be related to Co-Fe content in deposit. The composition of the deposit can be controlled by adjusting Fe²⁺ and Co²⁺ in electrodeposition bath. According to XRD results, cubic crystal structure was obtained. The deposit thickness was increased when electrodeposition time was increased. Higher corrosion current density was obtained from the alloy with higher Fe content.

Acknowledgements

This work is supported by College of Data Storage Innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (DSTAR, KMITL) and National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC). Western Digital (Thailand) Company Limited is thankful for the equipment.

References

- [1] Dennis E. Speliotis, *Magnetic recording beyond the Prst 100 Years*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 193 (1999) 29-35.
- [2] RogerWood, *Future hard disk drive systems*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 321 (2009) 555-561.
- [3] LI Jing-feng, *Electrodeposition behavior of nanocrystalline CoNiFe soft magnetic thin film*, Trans. Nonferrous Met. SOC. China 16(2006) 659-665
- [4] B.D. Cullity, C.D. Grahnan, *Introduction to Magnetic Material*, IEEE Press 445 Hoes Lane,Piscataway, NJ 08854.
- [5] E.I. Cooper, C. Bonhote, J. Heidmann, Y. Hsu, P. Kern, J.W. Lam, M. Ramasubramanian, N. Robertson, L.T. Romankiw, H. Xu, IBM J. Res. Dev. 49 (2005) 103.
- [6] Pompen Yaichareon, Pichet Limsuwan, Pongpan Chindaudom, *Research and Development of Thin Films Process by Ion Plating Method*, Department of Chemistry, Science, KMUTT.
- [7] Nasser Kanani, *Electroplating-Basic Principle, Process and Practice*, Atotech Deutschland GmbH, Berlin, Germany.
- [8] Allen Bai, Chi-Chang Hu, *Effects of electroplating variables on the composition and morphology of nickel-cobalt deposits plated through means of cyclic voltammetry*, Electrochimica Acta 47 (2002) 3447-3456.
- [9] Allen Bai, Chi-Chang Hua, *Composition controlling of Co-Ni and Fe-Co alloys using pulse-reverse electroplating through means of experimental strategies*, Electrochimica Acta 50 (2005) 1335-1345.
- [10] Penny Tsay, Chi-Chang Hu, Chun-Kuo Wang, *Compositional effects on the physical properties of iron-nickel deposits prepared by means of pulse-reverse electroplating*, Materials Chemistry and Physics 89 (2005) 275-282.
- [11] Allen Bai a, Chi-Chang Hua, Ten-Chin Wen b, *Composition control of ternary Fe-Co-Ni deposits using cyclic voltammetry*, Electrochimica Acta 48 (2003) 2425-2434.
- [12] Y.X.Gong, L.Zhen, J.T.Jiang, C.Y.Xu, W.Z.Shao. *Preparation of CoFe alloy nanoparticles with tunable electromagnetic wave absorption performance*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 321 (2009) 3702-3705.
- [13] Ammuaysak Chianpairot, Gobboon Lothongkum, Christopher A. Schuh, Yuttanant Boonyongmanerat, *Corrosion of nanocrystalline Ni-W alloys in alkaline and acidic 3.5 wt.% NaCl solutions*, Corrosion Science 53 (2011) 1066-1071.
- [14] K.R. Sriraman, S. Ganesh Sundara Raman, S.K. Seshadri, *Corrosion behaviour of electrodeposited nanocrystalline Ni-W and Ni-Fe-W alloys*, Materials Science and Engineering A 460-461 (2007) 39-45.
- [15] Keon Ha Kim, Seung Hwan Lee, Nguyen Dang Nam, Jung Gu Kim, *Effect of cobalt on the corrosion resistance of low alloy steel in sulfuric acid solution*, Corrosion Science 53 (2011) 3576-3587.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวอติยา จันเสนา

วัน เดือน ปีเกิด 7 ธันวาคม 2529

ที่อยู่ 100/557 ซ.มีสุข ถ.แจ้งวัฒนะ 10 แยก9-1 แขวงทุ่งสองห้อง
เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

ประวัติการศึกษา 2551 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน
พ.ศ. 2552 –ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกร บริษัทเวสเทิร์นดิเจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1. สุธา สุทธิเรืองวงศ์ หนึ่งหทัย คงอินทร์ อติยา จันเสนา และ อัจฉราภรณ์ ใจปราณี. “ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกโดยสารสกัดจากใบพลูยอ” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. ปีที่ 15, ฉบับที่ 1. 2553. หน้า 79-87.
2. Chansena A., Sutthiruangwong S. “Corrosion Behavior of Electrodeposited Thin Film Co-Fe Alloys in Aerated pH4 Sulfuric Acid Solution” Proc. PACCON. 2013. pp. 410-413.
3. Chansena A., Sutthiruangwong S. “Corrosion Behavior of Electrodeposited Co-Fe Alloys in Aerated pH5 Solution” Proc. SST. 2013. pp. 284-288.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้