

อัตราการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กจากการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าในน้ำ ปราศจากไอออนและสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีการเติมอากาศ

Corrosion Rate of Electrodeposited Ni-Fe Alloys in Aerated Deionized Water and HCl Solutions

สุธา สุทธิเรืองวงศ์*

Sutha Sutthiruangwong*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

Received : 8 July 2015

Accepted : 30 June 2016

Published online : 7 July 2016

บทคัดย่อ

การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กจะให้ข้อมูลพื้นฐาน เช่น อัตราการสูญเสียความหนาของโลหะ และพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการผลิตอุปกรณ์อ่าน และบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดการกัดกร่อนที่อาจเกิดขึ้นได้ การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กสามารถทำได้ด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้าโดยเทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชัน อย่างไรก็ตามการนำโลหะผสมที่อยู่ในอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูลจริงออกมาเพื่อทดสอบนั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร การสร้างโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กจำลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อการศึกษาอัตราการกัดกร่อน งานวิจัยนี้จะสร้างโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กที่สัดส่วนเชิงมวลต่าง ๆ กัน โดยการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าลงบนโลหะทองแดง จากนั้นนำโลหะผสมที่เคลือบผิวได้มาทำการหาอัตราการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออนและน้ำปราศจากไอออนที่ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 และ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นอกจากนี้สารละลายจะถูกทำให้อิ่มตัวด้วยอากาศ โดยออกซิเจนจะสามารถเข้าร่วมในปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้ด้วย ต่างจากงานวิจัยทางด้านการศึกษาการกัดกร่อนโดยทั่วไปที่ใช้ก๊าซเฉื่อยเพื่อกำจัดออกซิเจนออกจากกระบวนการวัด ซึ่งวิธีวัดการกัดกร่อนในงานวิจัยนี้จะคล้ายคลึงกับการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจริงกับอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูลในกระบวนการผลิต ซึ่งอยู่ในสภาพอากาศที่มีออกซิเจนปกติ ซึ่งพบว่าอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe

คำสำคัญ : การกัดกร่อน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โลหะผสมนิกเกิล-เหล็ก โพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชัน

*Corresponding author. E-mail : sutha.su@kmitl.ac.th

Abstract

The study of corrosion rate for Ni-Fe alloys will lead to fundamental data which is useful for manufacturing process of reader-writer in hard disk drive such as metal thickness loss and passivation behavior. The electrochemical technique such as potentiodynamic polarization was applied for corrosion rate study. However the corrosion study of Ni-Fe alloy which embedded in the reader-writer is not feasible due to the nanoscale size of the alloy. This work aims to produce electrodeposited Ni-Fe alloys at different mass fraction. The corrosion rate study was then performed in aerated deionized water and in aerated deionized water with the pH of 2 and 5 by addition of hydrochloric acid. The aeration allowed oxygen to dissolve into solution and oxygen can participate in the corrosion reaction. In the literature, the corrosion measurement is most of the time performed using inert gas to exclude oxygen out of the reaction. The measurement with the presence of oxygen in this work is similar to the actual corrosion of reader-writer in manufacturing process under atmosphere with normal oxygen level. It was found that the corrosion rate of Ni-Fe alloy has been increased with increasing Fe content.

Keywords : corrosion, hard disk drive, Ni-Fe alloys, potentiodynamic polarization

บทนำ

การกัดกร่อนตามนิยามตามมาตรฐาน DIN EN ISO 8044 (เดิม DIN 50900) หมายถึงปฏิกิริยาระหว่างวัสดุโลหะกับสิ่งแวดล้อมซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุนั้น และยังผลให้ความสามารถในการทำหน้าที่ของวัสดุดังกล่าวเสียไป ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถเป็นได้ทั้งปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า หรือปฏิกิริยาทางกายภาพของวัสดุ จากการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี 2542 – 2544 พบว่าในแต่ละปีมีรายจ่ายจำนวน 276 พันล้านเหรียญสหรัฐสูญเสียไปกับการกัดกร่อน ซึ่งเท่ากับประมาณ 3 % ของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP)

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประยุกต์ใช้โลหะผสมที่มีความเป็นแม่เหล็ก เช่น โลหะผสม Ni-Fe ในการผลิตอุปกรณ์เพื่ออ่านและบันทึกข้อมูล โลหะดังกล่าวต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอน จำเป็นจะต้องสัมผัสกับสารเคมีหลายชนิดที่ค่า pH ต่าง ๆ รวมไปถึงการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนหลายครั้งระหว่างกระบวนการผลิต การกัดกร่อนจึงสามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ และเมื่อความสามารถในการอ่านหรือบันทึกข้อมูลของโลหะผสมเสียไปไม่ว่าก่อนหรือหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต ย่อมหมายถึงความสูญเสียซึ่งส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยรวม ยิ่งไปกว่านั้นการวิจัยและพัฒนาโลหะผสมชนิดใหม่ให้มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ดีขึ้น เพื่อสร้างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุและประสิทธิภาพสูงขึ้น จำเป็นจะต้องคำนึงถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากการกัดกร่อนในกระบวนการผลิตด้วย

การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe จะให้ข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการผลิตอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดการกัดกร่อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้ การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของ

โลหะผสม Ni-Fe สามารถทำได้ด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้าโดยเทคนิคโพเทนชิโอสไตนาติกโพลาริเซชัน อย่างไรก็ตามการนำโลหะผสมที่อยู่ในอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูลจริงออกมาเพื่อทดสอบนั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร การสร้างโลหะผสม Ni-Fe จำลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตชิ้นงานตัวอย่างเพื่อการศึกษาอัตราการกัดกร่อน งานวิจัยนี้จะสร้างโลหะผสม Ni-Fe ที่สัดส่วนเชิงมวลต่าง ๆ กัน โดยการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าลงบนโลหะทองแดง จากนั้นนำโลหะผสมที่เคลือบผิวได้มาทำการหาอัตราการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออนและน้ำปราศจากไอออนที่ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 และ 5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นอกจากนี้สารละลายจะถูกทำให้อิ่มตัวด้วยอากาศ โดยออกซิเจนจะสามารถเข้าร่วมในปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้ด้วย ต่างจากงานวิจัยทางด้านอัตราการกัดกร่อนส่วนใหญ่โดยทั่วไปที่มักใช้ก๊าซเฉื่อยเพื่อกำจัดออกซิเจน ออกจากกระบวนการวัด ซึ่งวิธีวัดการกัดกร่อนในงานวิจัยนี้จะคล้ายคลึงกับการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจริงกับอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูลในกระบวนการผลิต ซึ่งอยู่ในสภาพอากาศที่มีออกซิเจนปกติ

การเลือกใช้วัสดุในการผลิตหัวอ่านและบันทึกข้อมูลสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต้องอาศัยสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุหลายชนิด โลหะที่มีสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก (Ferromagnetic) เช่น Co Ni และ Fe ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการผลิตหัวอ่านและบันทึกข้อมูล ประกอบกับปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีความต้องการใช้วัสดุที่มีโมเมนต์แม่เหล็กสูงขึ้นเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูล (Areal density) ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ในโลหะผสม งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งไปที่การศึกษาโลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ในปริมาณสูง ซึ่งการประยุกต์ใช้โลหะผสมในลักษณะนี้อาจนำไปสู่ความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนที่เพิ่มมากขึ้นได้ในกระบวนการผลิต โลหะผสมฟิล์มบาง Ni-Fe เป็นหนึ่งในองค์ประกอบของหัวอ่านและบันทึกข้อมูลในปัจจุบัน วิธีการเตรียมโลหะผสมฟิล์มบาง Ni-Fe สามารถทำได้ด้วยเทคนิคสปัตเตอร์ริง (Sputtering) หรือด้วยวิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electrodeposition) ซึ่งวิธีการหลังนี้เอื้อต่อการผลิตจำนวนมากด้วยค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า

ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ที่ได้จากการรวมวิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าจะมีค่าต่ำกว่าโลหะผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคอื่น (Frankel *et al.*, 1993) อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าสำหรับการผลิตหัวอ่านและบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนมากเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า มีการศึกษาการกัดกร่อนของ $Ni_{80}Fe_{20}$ ที่ได้จากกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยใช้ Saccharin และ Sodium dodecylsulphate เป็นสารเติมแต่ง พบว่าออกซิเจนมีส่วนในการเพิ่มอัตราการกัดกร่อนในสารละลาย NH_4F/HF และเหล็กจะถูกละลายออกมาเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สัดส่วนเชิงมวลของนิกเกิลที่พื้นผิวมีค่าสูงขึ้น และค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential, OCP) จะเลื่อนไปทางด้านแอโนดมากขึ้น (van den Meerakker & Baarslag, 2000) Tetsukawa *et al.*, 2007 รายงานค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential) ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 0.1 N ของโลหะผสมฟิล์มบางชนิดต่างๆเรียงตามลำดับดังนี้ $CoFe < Cu < NiFe < PtMn$ ซึ่งโลหะผสมฟิล์มบางที่ใช้ทดสอบเตรียมได้จากเทคนิคสปัตเตอร์ริง ในบรรยากาศออกซิเจน 0.5 Pa Sriraman *et al.*, 2007 ศึกษาพฤติกรรมของการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe-W ที่ได้จากการรวมวิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 3.5 wt.% ผลการทดลองแสดงว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงอะตอมของทั้งสแตน พบว่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของโลหะผสมมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสัดส่วนเชิงอะตอมมีค่าเกิน 9.2% ความต้านทานการกัดกร่อนจะมีค่าลดลง ทั้งสแตนที่เจือลงในโลหะผสมนั้นเอื้อให้เกิดฟิล์มโลหะที่มีทั้งสแตนสูงและทำให้เกิดพฤติกรรมกัดกร่อนแบบพาสซีฟ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเจือโครเมียมและไทเทเนียมลงในโลหะผสม Ni-Fe ที่ได้จากเตาหลอมโลหะแบบสุญญากาศสามารถลดอัตราการกัดกร่อนในสารละลายกรดอะซิติก 33 vol.% ได้ด้วย (Coutu *et al.*, 2000)

วิธีดำเนินการวิจัย

การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electrodeposition)

นำโลหะทองแดงรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.625 นิ้ว หนา 0.125 นิ้ว มาขัดด้วยกระดาษทราย หมายเลข 280 600 และ 1200 ตามลำดับ โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนร่วมในการขัดเพื่อลดความร้อน นำทองแดงที่ได้แช่ในเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อใส่ลงในอ่างล้างความถี่สูง 44 kHz เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำชิ้นโลหะทองแดงมาเป่าให้แห้งด้วยลมร้อนก่อนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าต่อไป

การเคลือบผิวในงานวิจัยนี้มีกระบวนการบางส่วนคล้ายกับที่อธิบายไว้โดย Bai *et al.*, 2003 ซึ่งโลหะทองแดงตัวอย่างที่ผ่านการขัดผิวจะถูกนำมาประกอบเข้ากับเซลล์เคมีไฟฟ้าชนิด 3 ขั้ว โดยโลหะทองแดงเป็นขั้วทำงาน (Working electrode) แผ่นโลหะแพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม (Counter electrode) และมีขั้วไฟฟ้าชนิดคาลอเมลอิ่มตัว (Saturated calomel electrode) เป็นขั้วอ้างอิง (Reference electrode) ซึ่งใช้เข้าหาขั้วทำงานผ่านทางท่อขนาดเล็กของลั๊กกิน (Luggin capillary) ทองแดงจะถูกจำกัดพื้นที่ผิวที่เปิดออกสู่สารละลายให้มีลักษณะเป็นวงกลมมีพื้นที่ผิว 1.1 cm² การจำกัดนี้กระทำโดยการใส่แหวนรองวงกลมชนิดเพปลอนที่ผิวหน้าของโลหะทองแดงซึ่งจะช่วยป้องกันการรั่วซึมบริเวณผิวสัมผัสได้เป็นอย่างดี สารละลายเพื่อการเคลือบผิวซึ่งประกอบด้วย NiCl₂·6H₂O และ FeCl₂·4H₂O จะถูกเตรียมตามความเข้มข้นที่กำหนดในแต่ละการทดลองเพื่อให้ได้สัดส่วนเชิงมวลของไอออน Ni²⁺ และ Fe²⁺ ตามที่ต้องการ โดยที่ความเข้มข้นโดยรวมของไอออนโลหะมีค่าเท่ากับ 0.1 M พร้อมการปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก สารละลายนี้จะถูกพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเพื่อกำจัดออกซิเจนที่ละลายอยู่เป็นเวลา 30 นาทีก่อนบรรจุลงในเซลล์เคมีไฟฟ้าชนิด 3 ขั้ว จากนั้นเซลล์เคมีไฟฟ้าชนิด 3 ขั้วจะถูกนำมาเชื่อมต่อกับเครื่องโพเทนชิโอสแตท/กัลวานอสแตท และเริ่มทำการเคลือบผิวด้วยเทคนิคโวลแทมเมตรีแบบวนรอบ (Cyclic voltammetry) ค่าศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ -0.100 V จากค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential, OCP) และเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าไปจนถึง -0.500 V จากค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด เป็นจำนวน 250 รอบ

นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเชิงมวลของ Ni²⁺ และ Fe²⁺ ในสารละลายต่อสัดส่วนเชิงมวลของ Ni และ Fe ที่เคลือบผิวได้ ได้ถูกศึกษาโดยเตรียมสารละลายเพื่อการเคลือบผิวให้มีสัดส่วนเชิงมวลของ Ni²⁺ เท่ากับ 0.20 0.40 0.60 และ 0.80 โดยที่เหลือจะเป็นสัดส่วนเชิงมวลของ Fe²⁺ จากนั้นโลหะผสม Ni-Fe ที่เคลือบผิวได้ถูกนำไปตรวจหาสัดส่วนเชิงมวลของ Ni และ Fe ด้วยเครื่องวิเคราะห์ฟลูออเรสเซนซ์รังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence spectrometer, XRF)

การหาอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic polarization)

โลหะผสม Ni-Fe ที่เคลือบผิวได้ถูกนำมาทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน และขัดผิวหน้าออกเล็กน้อยด้วยกระดาษทรายหมายเลข 1200 โดยใช้ น้ำร่วมในการขัด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและชั้นออกไซด์ที่สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติก่อนการทดสอบการกัดกร่อน จากนั้นนำโลหะผสมที่ได้แช่ในเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อใส่ลงในอ่างล้างความถี่สูง 44 kHz เป็นเวลา 5 นาที และนำชิ้นโลหะผสมมาเป่าให้แห้งด้วยลมร้อน

โลหะผสม Ni-Fe ตัวอย่างที่ผ่านการทำความสะอาดจะถูกนำมาประกอบเข้ากับเซลล์เคมีไฟฟ้าชนิด 3 ขั้ว โดยโลหะผสม Ni-Fe เป็นขั้วทำงาน แผ่นโลหะแพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม และมีขั้วไฟฟ้าชนิดคาลอเมลอิ่มตัวเป็นขั้วอ้างอิง ซึ่งใช้เข้าหาขั้ว

ทำงานผ่านทางท่อขนาดเล็กของลัทธิที่ผิวหน้าของโลหะผสม Ni-Fe จะถูกปิดด้วยวงแหวนเทฟลอนเพื่อให้มีพื้นที่ผิวเปิดออกสู่สารละลายเท่ากับ 1 cm^2 จากนั้นขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องโพเทนชิโอสแตท/กัลวานอสแตท

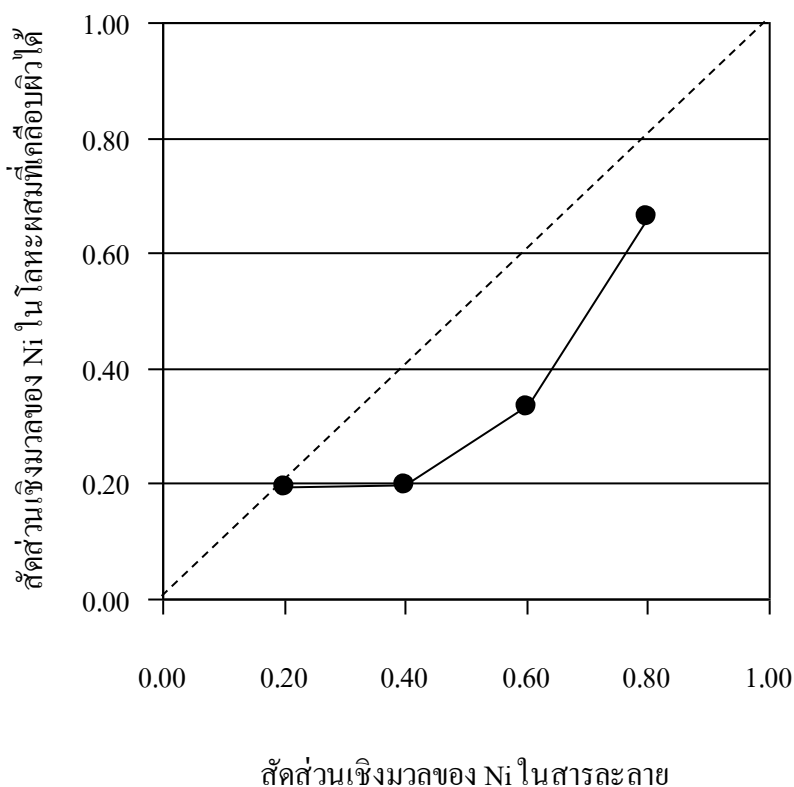
สารละลายเพื่อการทดสอบการกัดกร่อนที่เตรียมได้จากน้ำปราศจากไอออนผสมกับกรดไฮโดรคลอริกถูกปรับให้มี pH เท่ากับ 2 หรือ 5 ในแต่ละการทดลอง สารละลายนี้จะถูกทำให้อิ่มตัวด้วยอากาศ (Aeration) โดยการพ่นอากาศลงไป สารละลายก่อนการทดสอบการกัดกร่อนเป็นเวลา 30 นาที และยังคงพ่นอากาศต่อไประหว่างที่ดำเนินการทดสอบการกัดกร่อน

การเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าของโลหะผสม Ni-Fe จะเริ่มต้นทางด้านแคโทด โดยทันทีที่โลหะผสม Ni-Fe สัมผัสกับสารละลาย ศักย์ไฟฟ้าของโลหะผสม Ni-Fe จะถูกบังคับโดยเครื่องโพเทนชิโอสแตท/กัลวานอสแตทให้มีค่าเท่ากับ -0.500 V จากค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด และเริ่มเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 1.000 V/h จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.500 V จากค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดจึงยุติการทดลอง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจะถูกนำไปหาอัตราการกัดกร่อนต่อไป

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเชิงมวลของ Ni^{2+} และ Fe^{2+} ในสารละลายต่อสัดส่วนเชิงมวลของ Ni และ Fe ที่เคลือบผิวได้

สัดส่วนเชิงมวลของโลหะผสม Ni-Fe ที่เคลือบผิวได้หาได้โดยเครื่องวิเคราะห์ฟลูออเรสเซนซ์รังสีเอกซ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ในสารละลายต่อสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ในโลหะผสมที่เคลือบผิวได้มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (ภาพที่ 1) ทั้งนี้พบว่า Ni ที่เติมลงไปโดยสารละลายไม่สามารถเคลือบผิวได้มากเท่ากับ Fe ทำให้สัดส่วนเชิงมวลของ Ni ในโลหะผสมที่เคลือบผิวได้มีค่าน้อยกว่าสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ในสารละลาย ดังจะเห็นได้ว่าข้อมูลจากการทดลองอยู่ต่ำกว่าแนวเส้น 45° การเคลือบผิวร่วมกันของ Ni Fe และ Co นั้นเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าจะเกิดความแตกต่างของสัดส่วนเชิงมวลของโลหะที่เคลือบบนผิวได้กับสัดส่วนเชิงมวลของไอออนโลหะที่อยู่ในสารละลาย ความแตกต่างนี้เกิดจากการสร้างก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาแคโทดิก ซึ่งจะทำให้เกิดการขาดแคลนไอออนไฮโดรเจน และเมื่อเป็นเช่นนี้ความเข้มข้นของไอออนไฮดรอกซิลในบริเวณนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์ได้มากขึ้น และเนื่องจากความสามารถในการดูดซับที่แตกต่างกันของสารประกอบโลหะไฮดรอกไซด์เป็นไปตามลำดับดังนี้ $\text{Ni}(\text{OH})^+ < \text{Co}(\text{OH})^+ < \text{Fe}(\text{OH})^+$ จึงทำให้สัดส่วนของ Fe ที่เคลือบผิวได้มีค่าสูงกว่าสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ที่อยู่ในสารละลาย (Bai & Hu, 2005) หรืออีกนัยหนึ่งคือสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ที่เคลือบผิวได้มีค่าน้อยกว่าสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ที่อยู่ในสารละลาย

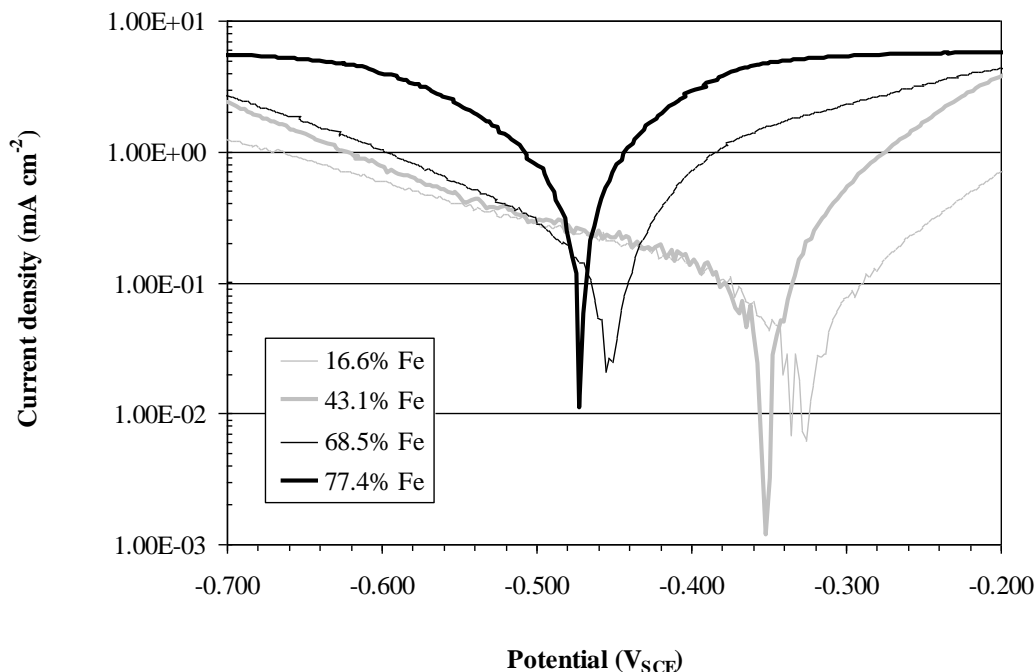


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ในสารละลายต่อสัดส่วนเชิงมวลของ Ni ในโลหะผสมที่เคลือบผิวได้

อัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe

การกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ที่ pH เท่ากับ 2 และมีการเติมอากาศ

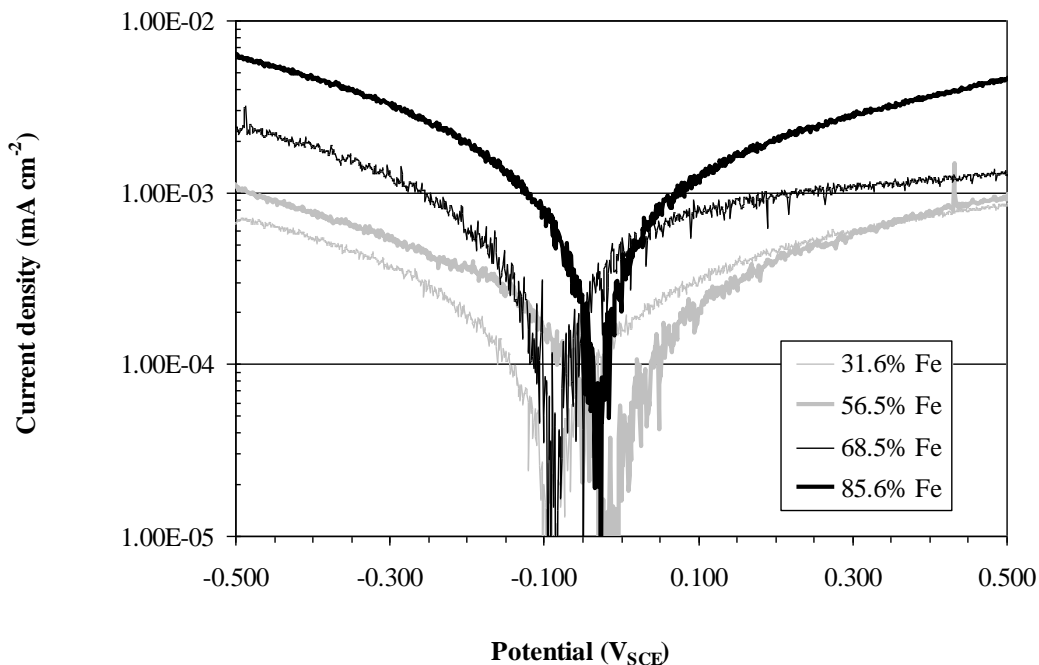
ภาพที่ 2 แสดงกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสม Ni-Fe ในสารละลายกรด HCl ที่ pH เท่ากับ 2 และมีการเติมอากาศ ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าต้านแอโนดในช่วงของศักย์ไฟฟ้าที่ทำการทดลอง บ่งบอกถึงการละลายเป็นไอออนของโลหะลงสู่สารละลายมากขึ้นเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าต้านแอโนด จากการใช้วิธีการประมาณการนอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential) มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อสัดส่วนเชิงมวลของ Fe มีค่ามากขึ้น เหตุนี้แสดงให้เห็นว่าโลหะผสม Ni-Fe ที่มี Fe มากขึ้นนั้นจะมีความเฉื่อยลดลงในสภาวะกรดที่ pH เท่ากับ 2 และมีการเติมอากาศ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe โดยค่าดังกล่าววัดได้ 8.31×10^{-2} 1.35×10^{-1} 4.90×10^{-1} และ 3.32 mA cm^{-2} สำหรับโลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe เท่ากับ 16.6 43.1 68.5 และ 77.4% ตามลำดับ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 2 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสม Ni-Fe ในสารละลายกรด HCl ที่ pH เท่ากับ 2 และมีการเติมอากาศ

การกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ที่ pH เท่ากับ 5 และมีการเติมอากาศ

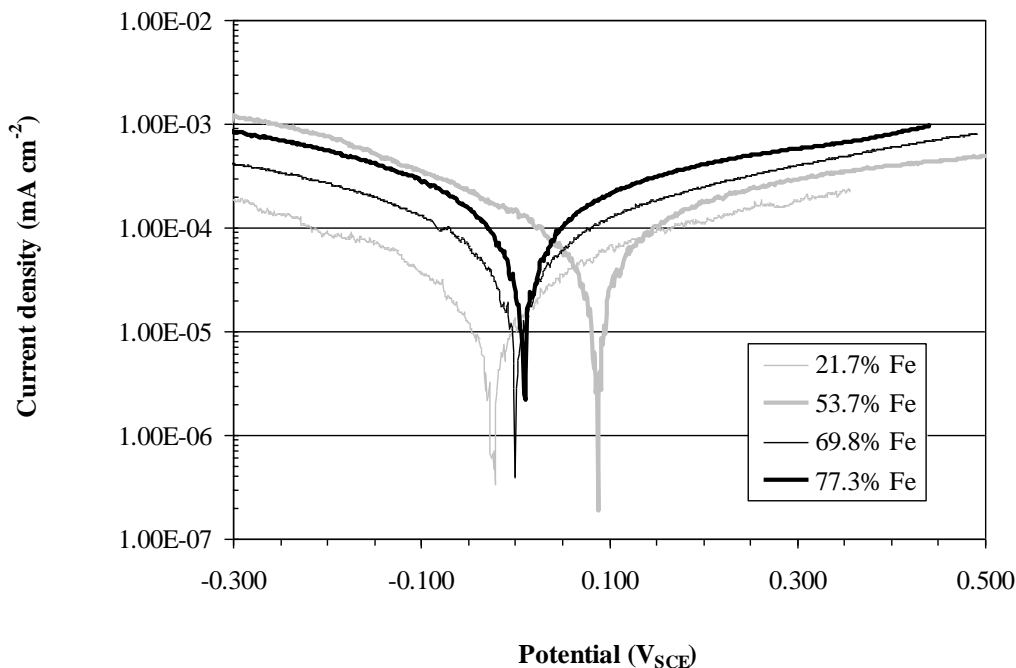
ภาพที่ 3 แสดงกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสม Ni-Fe ในสารละลายกรด HCl ที่ pH เท่ากับ 5 และมีการเติมอากาศ ด้านแอนโนดของกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันสำหรับทุกโลหะผสม Ni-Fe ที่ทำการวัดแสดงให้เห็นถึงการละลายของโลหะลงสู่สารละลาย และไม่พบว่าโลหะผสม Ni-Fe มีพฤติกรรมเชิงป้องกัน ด้วยวิธีการประมาณการนอกช่วงของทาเฟิล ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe สำหรับทุกการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงแคบๆระหว่าง 0.035 และ -0.098 V ซึ่งผลการทดลองไม่บ่งบอกชัดเจนว่าโลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ต่างกันจะมีความเฉื่อยในสารละลายที่ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงไป ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ 2.17×10^{-4} 2.63×10^{-4} 6.90×10^{-4} และ 1.27×10^{-3} mA cm^{-2} สำหรับโลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe เท่ากับ 31.6 56.5 68.5 และ 85.6% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe



ภาพที่ 3 กราฟโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชันของโลหะผสม Ni-Fe ในสารละลายกรด HCl ที่ pH เท่ากับ 5 และมีการเติมอากาศ

การกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ในน้ำปราศจากไอออนที่มีการเติมอากาศ

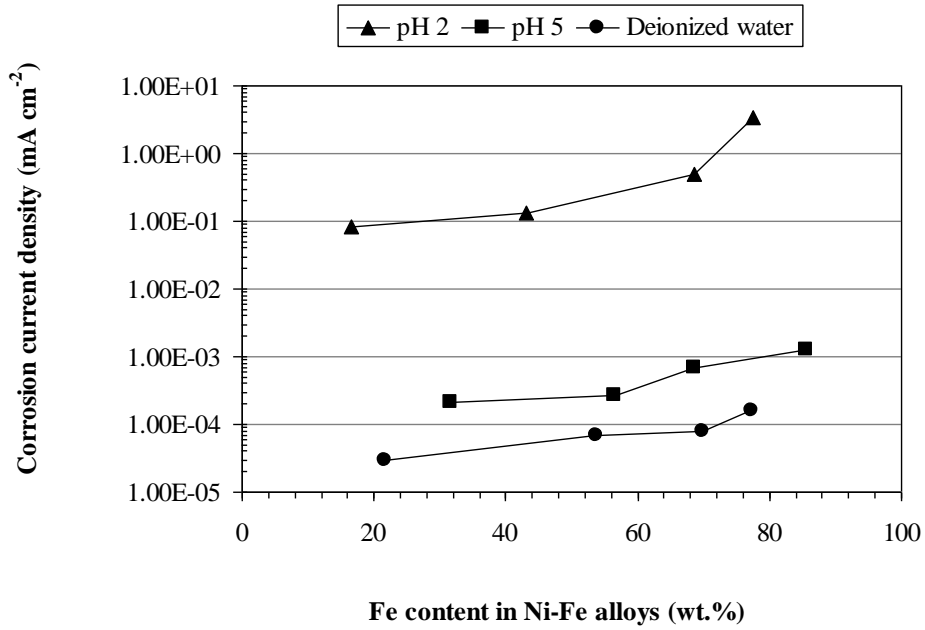
กราฟโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชันของโลหะผสม Ni-Fe แสดงในภาพที่ 4 และเช่นเดียวกับที่พบในสารละลาย pH เท่ากับ 2 และ 5 ไม่พบว่าโลหะผสม Ni-Fe แสดงพฤติกรรมเชิงบ้องกัน ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และแกว่งตัวอยู่ที่ประมาณ -0.023 และ 0.088 V ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ 2.92×10^{-5} 6.71×10^{-5} 7.81×10^{-5} และ 1.58×10^{-4} mA cm^{-2} สำหรับโลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe เท่ากับ 21.7 53.7 69.8 และ 77.3% ตามลำดับ



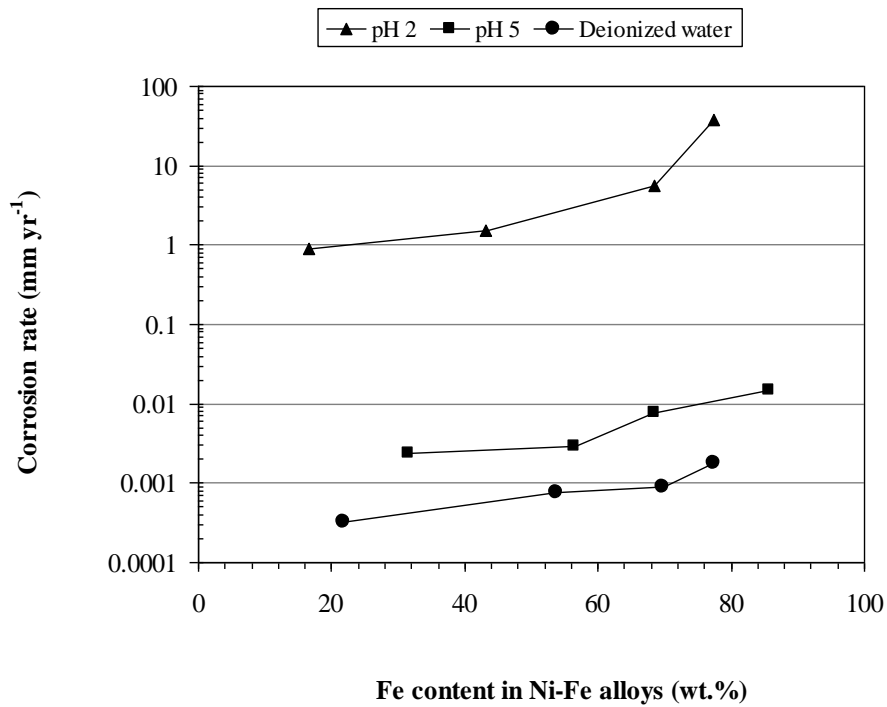
ภาพที่ 4 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของโลหะผสม Ni-Fe ในน้ำปราศจากไอออนที่มีการเติมอากาศ

แผนภูมิอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe

ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันของ Ni เมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ -0.250 V ในขณะที่ Fe มีค่าดังกล่าวเท่ากับ -0.447 V ดังนั้นด้วยการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนเชิงมวลของโลหะที่มีความเฉื่อยต่ำกว่าเช่น Fe ในโลหะผสม Ni-Fe จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้นในสภาวะกรดที่มีการเติมอากาศ เมื่อค่า pH มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 5 พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลงประมาณ 2.5 อันดับของขนาด (Orders of magnitude) ดังแสดงในภาพที่ 5 ในกรณีของน้ำปราศจากไอออนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าต่ำมากที่ประมาณ 10^{-5} mA cm⁻² ทั้งนี้เมื่อความเป็นกรดลดลง ความสามารถในการกัดกร่อนของสารละลายจะลดลงด้วย เนื่องจากจำนวนโปรตอนที่ได้จากการแตกตัวของกรดและทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะนั้นมีจำนวนลดลง นอกจากนี้จากแผนภูมิของพัวเบ (Pourbaix diagram) สำหรับ Ni และ Fe เมื่อ pH ของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นจะพบว่าแนวโน้มการเกิดสารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของโลหะบริเวณพื้นผิวจะมีเพิ่มมากขึ้นด้วย (Pourbaix, 1974; Revie, 2011) อย่างไรก็ตามสารประกอบดังกล่าวนี้ไม่ใช่ชั้นป้องกัน (Passive layer) ที่แท้จริง ซึ่งมีข้อสนับสนุนได้จากการที่ไม่พบพฤติกรรมเชิงป้องกันของโลหะผสม Ni-Fe ในกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันด้านแอโนด แต่การเกิดสารประกอบออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของโลหะ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการกัดกร่อนนี้ ยังคงสามารถช่วยลดอัตราการละลายของโลหะลงสู่สารละลายได้บ้างเนื่องจากการบดบังที่พื้นผิว จากทั้งสองเหตุนี้จึงพบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มค่า pH ของสารละลาย



ภาพที่ 5 ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ในสารละลายที่มีการเติมอากาศ



ภาพที่ 6 อัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ในสารละลายที่มีการเติมอากาศ

ด้วยการประยุกต์ใช้กฎของฟาราเดย์ จะทำให้สามารถคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ได้โดยใช้ข้อมูลจากกราฟโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชัน จำนวนสมมุติฐานที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2 เนื่องจาก Ni และ Fe จะถูก

ออกซิไดซ์เป็น Ni^{2+} และ Fe^{2+} ภาพที่ 6 แสดงอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ในหน่วย $mm\ yr^{-1}$ ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนในภาพที่ 5 ในสภาวะกรดที่มีการเติมอากาศพบว่าอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe

ปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีความต้องการใช้วัสดุที่มีโมเมนต์แม่เหล็กสูงขึ้นเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูล ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ในโลหะผสม งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งไปที่การศึกษาโลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ในปริมาณสูง โลหะผสม Ni-Fe ที่มี Fe มากกว่า 68 % เป็นที่ต้องการเพราะค่าโมเมนต์แม่เหล็กที่สูงขึ้นในระดับดังกล่าวจะทำให้ประสิทธิภาพการเขียนข้อมูลซ้ำมีค่าดีขึ้นอย่างมาก (Cooper *et al.*, 2005; Wood, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความอิ่มตัวทางแม่เหล็ก (Saturation magnetization) ของโลหะผสม Ni-Fe มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe (Tabakovic *et al.*, 2010) การประยุกต์ใช้โลหะผสม Ni-Fe ที่มีสัดส่วนเชิงมวลของ Fe ในปริมาณที่สูงขึ้นนี้สามารถนำไปสู่ความเสียหายเนื่องจากการกัดกร่อนที่เพิ่มมากขึ้นได้ในกระบวนการผลิต ดังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในภาพที่ 6 การวางแผนการผลิตและการวางแผนทางป้องกันล่วงหน้า รวมทั้งการนำสารยับยั้งการกัดกร่อนมาใช้เพิ่มเติมในกระบวนการผลิต สามารถทำได้โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รายงานนี้เป็นค่าอ้างอิง

สรุปผลการวิจัย

โลหะผสม Ni-Fe บนโลหะทองแดงถูกผลิตได้ด้วยวิธีการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคโวลแทมเมตรีแบบวนรอบแผนภูมิอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe ในน้ำปราศจากไอออนและสารละลายที่ pH เท่ากับ 2 และ 5 และมีการเติมอากาศถูกสร้างจากข้อมูลค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนที่ได้จากเทคนิคการทดสอบการกัดกร่อน แบบโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชัน พบว่าอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มสัดส่วนเชิงมวลของ Fe

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- Bai, A., Hua, C., & Wen, T. (2003). Composition control of ternary Fe-Co-Ni deposits using cyclic voltammetry. *Electrochimica Acta*, 48, 2425-2434.
- Bai, A., & Hu, C. (2005). Composition controlling of Co-Ni and Fe-Co alloys using pulse-reverse electroplating through means of experimental strategies. *Electrochimica Acta*, 50, 1335-1345.
- Cooper, E.I., Bonhôte, C., Heidmann, J., Hsu, Y., Kern, P., Lam, J.W., Ramasubramanian, M., Robertson, N., Romankiw, L.T., & Xu, H. (2005). Recent developments in high-moment electroplated materials for recording heads. *IBM Journal of Research and Development*, 49, 103-126.
- Coutu, L., Chaput, L., & Waeckerle, T. (2000). 50.50 FeNi permalloy with Ti and Cr additions for improved hardness and corrosion resistance. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 215-216, 237-239.

- Frankel, G., Brusic, V., Schad, R., & Chang, J. (1993). Pitting corrosion of electroplated permalloy films. *Corrosion Science*, 35, 63-71.
- Pourbaix, M. (1974). *Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions*. Houston: NACE.
- Revie, R.W. (2011). *Uhlig's corrosion handbook*. (3rd ed). New Jersey: Wiley.
- Sriraman, K., Raman, S., & Seshadri, S. (2007). Corrosion behaviour of electrodeposited nanocrystalline Ni-W and Ni-Fe-W alloys. *Materials Science and Engineering A*, 460-461, 39-45.
- Tabakovic, I., Inturi, V., Thurn, J., & Kief, M. (2010). Properties of $Ni_{1-x}Fe_x$ ($0.1 < x < 0.9$) and Invar ($x=0.64$) alloys obtained by electrodeposition. *Electrochimica Acta*, 55, 6749-6754.
- Tetsukawa, H., Hommura, H., Okabe, A., & Soda, Y. (2007). Improved corrosion resistance of spin-valve film. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 313, 300-305.
- van den Meerakker, J., & Baarslag, P. (2000). The behaviour of permalloy in NH_4F/HF solutions. *Corrosion Science*, 42, 1169-1183.
- Wood, R. (2009). Future hard disk drive systems. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321, 555-561.