



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสมของใบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์: ส่วนที่ 1

Dealloying corrosion of manganese aluminium bronze propeller: part I

นภฉัตร ธารีลาภ*¹⁾ เกศินี ศรีรักษาสินธุ์²⁾ ชูชาติ นิติปัญญาวงศ์¹⁾ และ ปรีชา เต็มสุขสวัสดิ์¹⁾

Napachat Tareelap*¹⁾, Kaysinee Sriraksasin²⁾, Choochat Nitipanyawong¹⁾ and Preecha Termsuksawad¹⁾

¹⁾สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

Division of Materials Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 10140

²⁾สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

Institute for Scientific and Technological Research and Services (ISTRS), King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 10140

Received November 2012

Accepted August 2013

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากลไกและปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสมของใบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ชนิด 8Al-8Mn-Cu ผลการทดลองพบว่า การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุเริ่มจากเฟส β ซึ่งประกอบด้วยอะลูมิเนียมแมงกานีส และนิกเกิลในปริมาณมากกว่าที่ประกอบอยู่ในเฟส α จึงทำให้เฟส β มีความไวต่อปฏิกิริยาการกัดกร่อนมากกว่าหรือเป็นแอโนดเมื่อเทียบกับเฟส α เมื่อเฟส β เกิดการกัดกร่อนขึ้นแล้วจะเหลือธาตุทองแดงเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ศักย์ไฟฟ้าเคมีของเฟส β เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฟส β เดิมจะกลับเป็นแคโทด จึงทำให้การกัดกร่อนเกิดต่อเนื่องไปยังเฟส α ที่เป็นแอโนด นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณคลอไรด์ไอออนที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ใบจักรใช้งาน เป็นปัจจัยสำคัญต่อการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ : การกัดกร่อน การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ แมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ใบจักร

Abstract

This work is aimed to study mechanism and parameter influencing dealloying of 8Al-8Mn-Cu Manganese Aluminium Bronze (MAB). The results revealed that β -phase was a corrosion onset site or anode as it contained larger amounts of, highly reactive metals, aluminium manganese and nickel than α -phase. Since these reactive metals were leached, copper was left behind. This phenomenon led to alteration of electrochemical potential thereby the β -phase turned to be a cathode causing of corrosion propagation to α -phase anode. In addition amount of chloride ions in service environment affected the dealloying of 8Al-8Mn-Cu MAB in this work.

Keywords : Corrosion, Dealloying, Manganese aluminium bronze (MAB), Propeller

*Corresponding author. Tel.: +66-2470-8644; fax: +66-2470-8643

Email address: napachat.tar@kmutt.ac.th

1. บทนำ

เนื่องจากกรมอุทหาเรือ มีการใช้งานใบจักรชนิดแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ (Manganese aluminium bronze, MAB) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง แมงกานีส นิกเกิล และอะลูมิเนียม ซึ่งโลหะผสมชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง ง่ายต่อการหล่อ การเชื่อม และสามารถผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้มีความสามารถในการเป็นแม่เหล็ก (Magnetic permeability) ต่ำ [1] ซึ่งสมบัติดังกล่าวมีความเหมาะสมกับเรือหลวงที่มีการใช้งานเฉพาะด้านในกองทัพเรือ อย่างไรก็ตามในระหว่างการใช้งานใบจักรชนิดนี้เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสม (Dealloying, selective leaching) ซึ่งเป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่มักพบในโลหะผสมซึ่งประกอบด้วยโลหะตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยโลหะที่มีความเสถียรน้อยกว่า จะเกิดการชะละลายออก (leaching) หากพิจารณาในกรณีของโลหะผสมชนิดนี้ นิกเกิล แมงกานีส และอะลูมิเนียมซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับ -0.26 , -1.18 และ -1.67 โวลต์ [2] ตามลำดับ จะมีความไวต่อปฏิกิริยา (Active) มากกว่าทองแดงที่เป็นส่วนผสมหลักซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับ $+0.34$ โวลต์ [2] และเมื่อพิจารณาจากความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของธาตุผสมจะเห็นว่าอะลูมิเนียมจะมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด ดังนั้นในการเกิดการสูญเสียธาตุของโลหะชนิดนี้ จึงมักเป็นการสูญเสียธาตุอะลูมิเนียมที่เรียกว่า Dealuminification [3, 4] เมื่อเกิดการสูญเสียธาตุผสมขึ้นแล้วจะทำให้โลหะผสมนั้นมีความแข็งแรงลดลง และเกิดความเสียหายในที่สุด เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นทางกรมอุทหาเรือ ต้องส่งใบจักรเรือไปซ่อมยังต่างประเทศ ทำให้เสียงบประมาณในคราวละลายหลายล้านบาท และเมื่อทำการศึกษาเอกสารการวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบรายงานเกี่ยวกับการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของ MAB ที่มีส่วนผสมเหมือนที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุ ศึกษากลไก และปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน

แบบสูญเสียธาตุของโลหะผสม MAB ที่มีใช้งานในกรมอุทหาเรือเพื่อนำไปสู่แนวทางในการป้องกันการกัดกร่อนซึ่งจะนำเสนอในตอนที่ 2 ต่อไป

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

วัสดุใบจักรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้คือ โลหะผสมแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ ส่วนผสม 8Al-8Mn-Cu โดยจะทำการศึกษาวิจัยทั้งส่วนของภาควิเคราะห์ใบจักรที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ และ การศึกษาการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของใบจักร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์ใบจักรที่เกิดความเสียหาย

นำใบจักรบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสมมาทำภาคตัดขวาง (Cross-section) แล้วเตรียมตัวอย่างทางโลหะวิทยา (Metallographic preparation) โดยการขัดชิ้นงานจนถึงระดับความละเอียด 1 ไมครอน แล้วกัด (Etch) ในสารละลาย ผสมที่ประกอบด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 25 มิลลิลิตร, เพอริคลอไรด์ (FeCl_3) 5 กรัม และน้ำ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นนำไปศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทำการวิเคราะห์สัดส่วนโดยพื้นที่เฟสจากภาพ (Image analysis) ด้วยโปรแกรม Image J องค์ประกอบทางเคมีของใบจักรในสถานที่เกิดและยังไม่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุจะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF) และ Energy dispersive spectroscopy (EDS) นอกจากนี้ยังทำการวัดความแข็งแรงจุลภาคของบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุและบริเวณใกล้เคียงโดยใช้หัวกดแบบวิกเกอร์ส น้ำหนักกด 100 gf เป็นเวลา 15 วินาทีเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลในบริเวณต่างๆ ของใบจักร

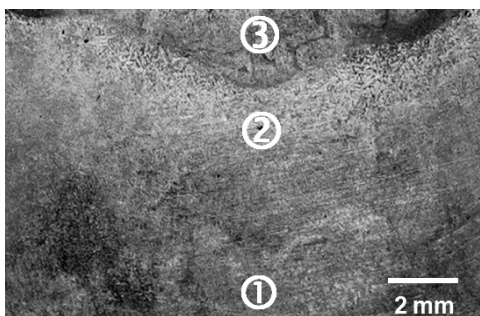
2.2 การศึกษาการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของใบจักร

เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยและกลไกในการเกิดการกัดกร่อนของใบจักร จึงนำชิ้นส่วนใบจักรในส่วนที่ยังไม่เกิดการสูญเสียธาตุขนาด 2.0×1.5 ตารางเซนติเมตร มาทำการแช่ (Immersion test) ในสารละลาย NaCl 0.6% และ 3.5% (น้ำกร่อยและน้ำทะเลจำลอง ตามสภาวะการใช้งานของใบจักร) เป็นเวลา 90 วัน แล้วทำภาคตัดขวางเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของใบจักรที่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคเมื่อทำการเร่งการกัดกร่อนด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี (Anodic polarization) ในสารละลาย 3.5% NaCl ด้วยอัตราการเพิ่มศักย์ไฟฟ้า 1 มิลลิโวลต์ต่อวินาที โดยมีขั้วเงิน/เงินคลอไรด์ (Ag/AgCl) เป็นขั้วอ้างอิงมาตรฐานและแพลทินัมเป็นขั้วร่วม

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนของการวิเคราะห์ใบจักรที่เกิดการสูญเสียธาตุและการศึกษาการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของใบจักรดังนี้

3.1 ลักษณะทั่วไปของบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุนบนใบจักร



รูปที่ 1 ภาพตัดขวางในบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุนบนใบจักร

รูปที่ 1 แสดงภาคตัดขวางของบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุนบนใบจักร จากภาพจะเห็นว่าบริเวณ

① เป็นบริเวณที่ไม่เกิดการสูญเสียธาตุ หรือที่เรียกว่า parent area บริเวณนี้จะมีสีเหลืองเหมือนสีของบรอนซ์ทั่วไป ถัดมาเป็นบริเวณที่ ② ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเข้มของสีเหลือง ไม่เท่ากับบริเวณที่ ① เนื่องจากเป็นบริเวณที่เริ่มมีการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุเกิดขึ้น ส่วนบริเวณที่ ③ เป็นบริเวณ ที่เห็นสีแดงของทองแดงได้อย่างชัดเจน ซึ่งบริเวณที่ ③ นี้เป็นบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุอย่างสมบูรณ์ (Dealloy area)

3.2 ความแข็งจุลภาคของใบจักรบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุเทียบกับบริเวณที่ไม่เกิดการสูญเสียธาตุ

เพื่อให้ทราบถึงผลของการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุต่อสมบัติเชิงกล ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความแข็งจุลภาคในบริเวณต่างๆซึ่งพบว่า ในบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุอย่างสมบูรณ์ (บริเวณ ③) มีความแข็งเฉลี่ยประมาณ 40 Hv ซึ่งต่ำกว่าในบริเวณ Parent area (บริเวณ ①) โดยในบริเวณนี้มีความแข็งประมาณ 180 Hv ส่วนบริเวณที่เริ่มเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ (บริเวณ ②) จะมีความแข็งประมาณ 70 Hv ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่อยู่ระหว่างบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุและบริเวณ parent area

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของใบจักรด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence (XRF)

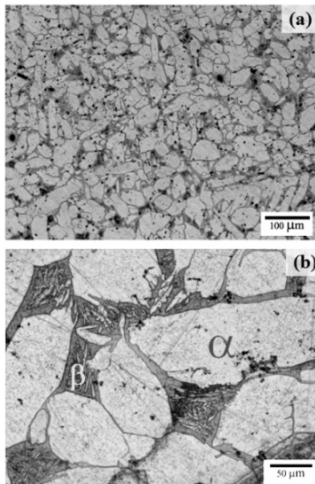
ในการศึกษานี้ได้นำชิ้นงานบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับบริเวณ Parent area ด้วยเทคนิค XRF ซึ่งพบว่าบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุมีการลดลงของปริมาณธาตุต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอะลูมิเนียมดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการลดลงของปริมาณธาตุดังกล่าว สอดคล้องกับความแข็งที่ลดลงในหัวข้อ 3.2 และการสูญเสียธาตุอะลูมิเนียมที่มักเกิดขึ้นในโลหะประเภทอะลูมิเนียมบรอนซ์ นี้เรียกว่า “Dealuminification” [3, 4] ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว

ตารางที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนักของธาตุในบริเวณต่างๆ ของใบจักรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRF

Elements (wt.%)	Cu	Mn	Al	Ni	Fe	Si	Zn	Cl	S
Parent area	Bal.	8.13	8.04	2.64	2.22	0.12	0.05	0.03	0.02
Dealloy area	Bal.	7.20	6.97	2.02	1.79	0.25	0.28	0.13	0.20

3.4 โครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมีของใบจักรที่วิเคราะห์ด้วย SEM-EDS

จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของใบจักรในบริเวณ parent area พบว่า ใบจักรชนิดนี้มีโครงสร้างจุลภาคเป็นแบบสองเฟส (Dual-phase) ประกอบด้วยเฟส α -Cu ที่เป็นสีอ่อน และ เฟส β ที่เป็นสีเข้ม [5] ดังแสดงในรูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ด้วยภาพ พบว่ามีเฟส α และเฟส β ประมาณร้อยละ 70 และ 30 โดยพื้นที่ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีด้วยเทคนิค EDS พบว่า เฟส α -Cu มีปริมาณอะลูมิเนียมประมาณ 8% ส่วนเฟส β มีปริมาณอะลูมิเนียม 12-14% โดยน้ำหนัก ซึ่งการมีส่วนผสมทางเคมีที่ต่างกันของแต่ละเฟส เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนดังจะกล่าวต่อไป



รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของใบจักรที่ยังไม่เกิดการสูญเสียธาตุผสมที่กำลังขยาย (a) 50 เท่า และ (b) 200 เท่า

3.5 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของใบจักรบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุผสม

รูปที่ 3(a) แสดงลักษณะของใบจักรบริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุและบริเวณใกล้เคียง จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคที่บริเวณต่างๆ ในรูปที่ 3(a) โดยเริ่มจากบริเวณ Parent area (รูปที่ 3(b)) ซึ่งประกอบด้วยเฟส α และ β ไปยังบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุอย่างสมบูรณ์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคที่เกิดจากการกัดกร่อนอย่างชัดเจน โดยการกัดกร่อนจะเริ่มเกิดที่เฟส β (รูปที่ 3(c)) ดังเห็นเป็นสีเข้มซึ่งแสดงถึงการกัดกร่อน ในขณะที่เฟส α ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเข้าไปใกล้บริเวณที่เกิดการสูญเสียธาตุจะสังเกตเห็นพบการกัดกร่อนของ เฟส β มากขึ้น อีกทั้งยังสังเกตเห็นรอยสีแดงของทองแดงในบริเวณขอบของเฟส α ดังในรูปที่ 3(d) อีกด้วย จากนั้นการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ จะเกิดมากขึ้นเรื่อยๆ โดยสังเกตจากสีแดงของทองแดงที่เริ่มมีมากขึ้น (รูปที่ 3(e)) จนในที่สุดจะสังเกตเห็นเฉพาะสีของทองแดงในบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 3(f)) ซึ่งบริเวณที่เห็นเป็นสีของทองแดงนั้น เป็นบริเวณของเฟส α เดิม ส่วนบริเวณเฟส β เดิมจะเห็นเป็นสีดำเนื่องจากถูกกัดกร่อน การสังเกตพบเป็นสีแดงนั้น อาจเนื่องจากธาตุชนิดอื่นที่ผสมอยู่ในโลหะชนิดนี้มีการชะละลายออกไปเหลือไว้เพียงทองแดงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากการวิเคราะห์บริเวณนี้ด้วยเทคนิค EDS พบว่าประกอบด้วยโลหะทองแดงมากกว่า 90% โดยน้ำหนัก

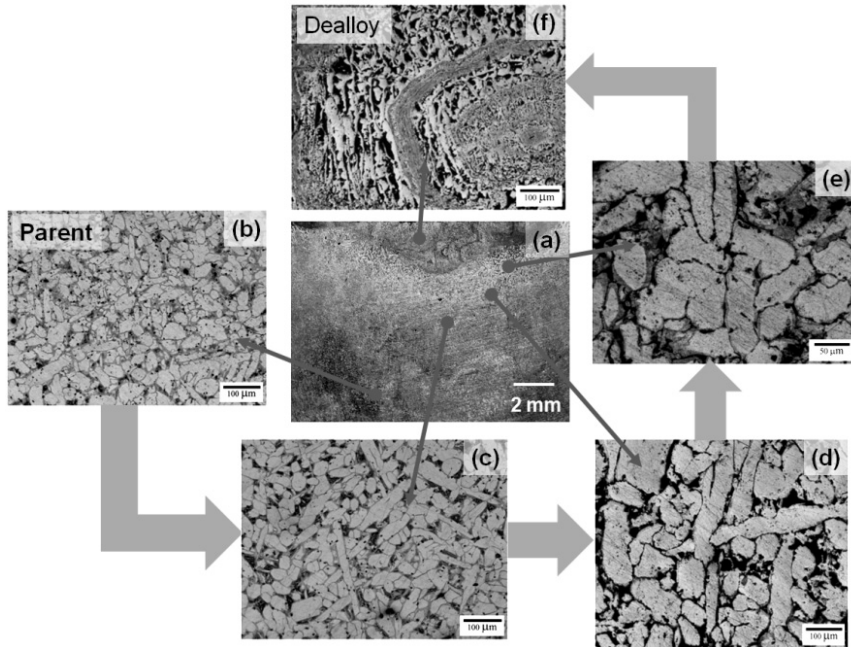
เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแต่ละเฟส ในบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุเปรียบเทียบกับ Parent area ด้วยเทคนิค EDS ในตารางที่ 2 พบว่าทั้งสองบริเวณมีปริมาณธาตุแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฟส α ใน Parent area ประกอบด้วยอะลูมิเนียมและแมงกานีสเท่ากันประมาณ 8% ในขณะที่เฟส β ประกอบด้วยอะลูมิเนียมและแมงกานีสประมาณ 14% และ 10% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบธาตุนิกเกิลในเฟส β อีกด้วย

เมื่อพิจารณาบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ (Dealloy area) พบว่าธาตุหลัก เช่น อะลูมิเนียมและแมงกานีส ในเฟส α มีปริมาณลดลงจากเดิม แต่การลดลงของธาตุทั้งสองนั้น ยังลดลงน้อยกว่าที่ลดลงในเฟส β ดังข้อมูลในตารางที่ 2 นอกจากนี้ธาตุนิกเกิล (~3-6%) ที่เคยพบในเฟส β ในบริเวณ parent area ยังหายไปหลังเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าเฟส α และ β มีส่วนผสมทางเคมีไม่เหมือนกัน จึงทำให้เกิดความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้าเคมีขึ้น โดยในเฟส β ประกอบด้วยธาตุอะลูมิเนียม แมงกานีส และนิกเกิลซึ่งเป็นธาตุที่มีความไวต่อปฏิกิริยา (Active) ในปริมาณมากกว่าธาตุชนิดเดียวกันที่พบใน เฟส α ผลดังกล่าวจึงทำให้ เฟส β มีความไวต่อปฏิกิริยามากกว่าในเฟส α จึงเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าหรือเป็นแอโนดเมื่อ

เทียบกับเฟส α และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่ที่จะเห็นว่าเฟส β มีพื้นที่น้อยกว่าเฟส α ผลดังกล่าวจึงทำให้เฟส β เกิดการกัดกร่อนรุนแรงมากยิ่งขึ้น ดังผลการสูญเสียธาตุในตารางที่ 2 เมื่อเฟส β เกิดการกัดกร่อนขึ้นแล้ว จะเหลือธาตุทองแดงอยู่เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเคมีระหว่างเฟส α - β โดยเฟส β เดิมจะกลายเป็นแคโทด ในขณะที่ เฟส α กลับเป็นแอโนด ผลดังกล่าวจึงทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อเนื่องไปยังเฟส α โดยการขยายตัวของการกัดกร่อนจะเริ่มเกิดขึ้นในบริเวณขอบของเฟส α ที่อยู่ติดกับเฟส β (รูปที่ 3(d)) เนื่องจากความแตกต่างทางศักย์ไฟฟ้าเคมีระหว่าง 2 เฟส เป็นแรงผลักดัน (Driving force) ให้เกิดขึ้น และเนื่องจากในเฟส α ประกอบด้วยอะลูมิเนียม และแมงกานีส ซึ่งมีความไวต่อปฏิกิริยามากกว่าทองแดงที่เป็นองค์ประกอบหลัก จึงเกิดการชะละลาย ทำให้ เฟส α เกิดการสูญเสียธาตุผสม เมื่อการสูญเสียธาตุผสมนี้เกิดขึ้นที่บริเวณขอบของเฟส α แล้วทำให้บริเวณนี้เหลือเพียงโลหะทองแดงเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้บริเวณนี้เป็นแคโทด เมื่อเทียบกับบริเวณด้านในที่ยังไม่เกิดการสูญเสียธาตุ ความต่างนี้ก็เป็นแรงผลักดันให้การสูญเสียธาตุขยายตัวเข้าไปภายในเฟส α อย่างต่อเนื่อง จนในที่สุดจะเห็นเป็นสีของทองแดงในเฟส α ดังแสดงในรูปที่ 3(f)

ตารางที่ 2 ร้อยละโดยน้ำหนักเฉลี่ยของธาตุในเฟสต่างๆบนใบจักรในบริเวณต่างๆ(วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS)

Phase	Elements (Wt.%)						
	Dealloy area			Parent area			
	Al	Mn	Cu	Al	Mn	Ni	Cu
α	7.00	8.69	Bal.	8.53	8.35	-	Bal.
β	0.95	1.47	Bal.	13.38	10.22	4.69	Bal.

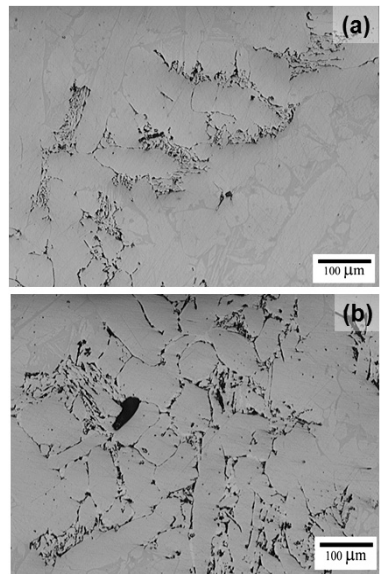


รูปที่ 3 ขั้นตอนการเกิดการสูญเสียธาตุของไบจักร MAB (a) ภาพถ่ายบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสมและบริเวณใกล้เคียง (b) โครงสร้างจุลภาคในบริเวณที่ยังไม่เกิดการสูญเสียธาตุผสมซึ่งประกอบด้วยเฟส α (สีอ่อน) และ เฟส β (สีเข้ม) (c) การกัดกร่อนเริ่มเกิดขึ้นที่เฟส β (d) การกัดกร่อนขยายตัวไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างเฟส α - β (e) การกัดกร่อนขยายตัวไปในเฟส α และ (f) การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุอย่างสมบูรณ์ในเฟส β และ α

3.6 การศึกษาการกัดกร่อนด้วยวิธีการแช่

เพื่อเป็นการยืนยันว่าเฟส β เป็นเฟสที่เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ ผู้วิจัยจึงได้นำส่วนของไบจักรมาทำการแช่ในสารละลายเกลือ (NaCl) 0.6% และ 3.5% (น้ำกร่อยและน้ำทะเลจำลอง ตามสภาวะการใช้งานจริงของไบจักร) เป็นเวลา 90 วัน ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคตามภาคตัดขวางได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคพบว่าทุกชิ้นงานเกิดการกัดกร่อนที่เฟส β ในระยะเริ่มแรกคล้ายกับที่พบในไบจักรที่มีการใช้งานจริง (หัวข้อ 3.5) โดยชิ้นงานที่แช่ในสารละลาย 3.5 และ 0.6% NaCl พบการกัดกร่อนประมาณ 5-10% และ 1-3% ของพื้นที่ทดสอบ ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในสารละลายเข้มข้น 3.5% NaCl มีความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนมากกว่า จึงทำให้เกิดการกัดกร่อนได้มากกว่า เนื่องจากเป็นสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามพฤติกรรมกัดกร่อนของไบจักรอาจ

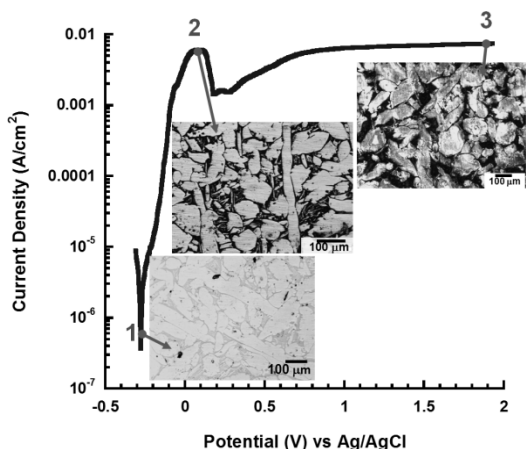
ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาตินอกเหนือจากปริมาณคลอไรด์ไอออนได้



รูปที่ 4 การกัดกร่อนที่เฟส β ของไบจักรที่แช่ในสารละลาย (a) 0.6% NaCl และ (b) 3.5% NaCl เป็นเวลา 90 วัน

3.7 โครงสร้างจุลภาคของไบจักรหลังจากเร่งการกัดกร่อนด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี

เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างการกัดกร่อนและโครงสร้างทางโลหวิทยา ในงานวิจัยนี้จึงทดลองเร่งการกัดกร่อนโดยจ่ายศักย์ไฟฟ้าให้กับไบจักร แล้วศึกษาโครงสร้างทางโลหวิทยาที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการจ่ายศักย์ไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางโลหวิทยาเมื่อทำการเร่งการกัดกร่อนด้วยศักย์ไฟฟ้าค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของไบจักรเมื่อเร่งการกัดกร่อนโดยการเพิ่มศักย์ไฟฟ้า (Anodic polarization)

จากรูปที่ 5 ศักย์ไฟฟ้าหมายเลข 1 เป็นศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนอิสระของไบจักร เมื่ออยู่ในสารละลาย 3.5% NaCl ซึ่งในขณะนั้นยังไม่มีแรงให้เกิดการกัดกร่อนด้วยศักย์ไฟฟ้า โครงสร้างจุลภาคของไบจักรจึงเป็นโครงสร้างเหมือนกับที่พบใน Parent area ที่ประกอบด้วยเฟส α และเฟส β เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้า หรือเร่งการกัดกร่อน (ศักย์ไฟฟ้าหมายเลข 2) อัตราการกัดกร่อนก็จะมากขึ้นด้วย (สังเกตจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น) และพบการกัดกร่อนเกิดขึ้นที่เฟส β และเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าสูงมากขึ้นไปอีก (หมายเลข 3) แม้ว่าจะไม่เห็นการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอีก แต่เมื่อ

ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหวิทยาของชิ้นงาน จะพบการกัดกร่อนบริเวณเฟส β มากขึ้น และในเฟส α เริ่มมีสีของทองแดงเกิดขึ้น เหมือนที่พบในหัวข้อ 3.5 จึงสรุปได้ว่าการเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของไบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เริ่มต้นมาจากเฟส β ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งได้ศึกษาการกัดกร่อนของ MAB ชนิด Cu-9Al-2Mn [3, 4] ว่าเฟส β มีความไวต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุมากกว่าเฟส α เช่นกัน

4. สรุปผลการวิจัย

การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของไบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ชนิด 8Al-8Mn-Cu เกิดขึ้นจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างเฟส α และ β หรือที่เรียกว่าเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกจุลภาค (Microgalvanic corrosion) โดยเฟส β ซึ่งประกอบด้วยธาตุที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากกว่าที่มีอยู่ในเฟส α จะเป็นแอโนด จึงเกิดการกัดกร่อนขึ้นที่เฟส β ก่อน และการกัดกร่อนที่เฟสนี้จะถูกเร่งให้เกิดรุนแรงขึ้นเนื่องจากผลของสัดส่วนพื้นที่ เมื่อเฟส β เกิดการกัดกร่อนขึ้นแล้ว จะเหลือธาตุทองแดงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีผลให้ศักย์ไฟฟ้าเคมีระหว่างสองเฟสเปลี่ยนแปลง โดยเฟส β เดิมกลับเปลี่ยนเป็นแคโทด จึงมีผลทำให้การกัดกร่อนเกิดต่อเนื่องไปยังเฟส α ซึ่งส่งผลให้ไบจักรมีความแข็งแรงลดลง และอาจนำไปสู่ความประลัยได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณ น.ท.ดร.เสวียง เกื้อนบุญ กองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง กรมอุทกหารเรือ สำหรับชิ้นงานทดสอบ และขอขอบคุณนักวิจัยในแผนงาน “การพัฒนาศักยภาพ

การป้องกันการกัดกร่อนของเรือหลวงตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง” ทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ และการอภิปราย ที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Copper Development Association Inc. Aluminum Bronzes. [cited 2013 Feb 13]. Available from: URL: http://www.copper.org/publications/newsletters/innovations/2002/08/aluminum_bronze.pdf.
- [2] Davis JR. Corrosion: understanding the basics: ASM International (OH). 2000.
- [3] Han Z, He YF, Lin HC, Zhao H. Dealloying characterizations of Cu-Al alloy in marine environment. *Journal of Materials Science Letters*. 2000; 19(5): 393-5.
- [4] Han Z, Zhao H. Effect of [beta] martensite transformation on dealuminification behavior of Cu-9Al-2Mn alloy in a marine environment. *Materials Science and Engineering A*. 2003; 345(1-2): 8-13.
- [5] Rowlands JC. Electrochemical aspects of preferential phase corrosion in complex alloys. *Corrosion Science*. 1962; 2(2): 89-94.