



การป้องกันการสูญเสียธาตุผสมในใบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์: ส่วนที่ 2

Prevention of dealloying in manganese aluminium bronze propeller: Part II

ณัฏฐ์ ธารีลาภ^{*1)} เกศินี ศรีรักษาสินธุ์²⁾ นคร ศรีสุขุมบวรชัย¹⁾ เสวียง เกื่อนบุญ³⁾ และ ชูชาติ นิติปัญญาวงศ์¹⁾
Napachat Tareelap^{*1)}, Kaysinee Sriraksasin²⁾, Nakorn Srisukhumbowornchai¹⁾, Swieng Thuanboon³⁾ and
Choochat Nitipanyawong¹⁾

¹⁾สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

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

²⁾กลุ่มงานส่งเสริมและจัดการงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

Research Promotion and Administration Unit, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140.

³⁾กองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ กรุงเทพมหานคร 10700

Thonburi Naval Dockyard, The Royal Thai Naval Dockyard, The Royal Thai Navy, Bangkok, 10700.

Received July 2013

Accepted November 2013

บทคัดย่อ

ใบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์เกิดความเสียหายเนื่องจากการสูญเสียธาตุผสมดังอธิบายไว้ในส่วนที่ 1[1] ในงานนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสมด้วยอะลูมิเนียมและสังกะสีกันกร่อน ผลการทดลองพบว่าโลหะกันกร่อนทั้ง 2 ชนิดสามารถใช้ป้องกันการกัดกร่อนของใบจักรชนิดนี้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุจะเกิดขึ้นในน้ำทะเลน้อยกว่าน้ำกร่อย ทั้งนี้เนื่องจากขณะใช้งานในน้ำทะเล อาจเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาแคโทดิกกับแคลเซียมในน้ำทะเล เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบป้องกันใบจักรจากการกัดกร่อน

คำสำคัญ : การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ การป้องกันการกัดกร่อน การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก แมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ โลหะกันกร่อน

Abstract

Due to the failure of manganese aluminium bronze (MAB) propeller caused by dealloying corrosion as described in Part I [1], this work aims to study the prevention of dealloying corrosion using aluminium and zinc sacrificial anodes. The results indicated that both of the sacrificial anodes could prevent the propeller from dealloying. Moreover, the dealloying in seawater was less than that found in brackish water. It was possible that hydroxide ions, from cathodic reaction, reacted with calcium in seawater to form calcium carbonate film protecting the propeller from corrosion.

*Corresponding author. Tel.: +6-62-470-8644; fax: +6-62-470-8643
Email address: napachat.tar@kmutt.ac.th

Keywords : Dealloying corrosion, Corrosion prevention, Cathodic protection, Manganese aluminium bronze (MAB), Sacrificial anode

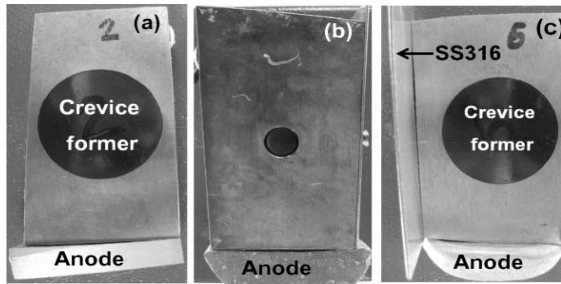
1. บทนำ

การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของไบจักรแมงกานีสอะลูมิเนียมบรอนซ์ (Manganese aluminium Bronze; MAB) ชนิด 8Mn-8Al-Cu เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical potential) ระหว่างเฟส α และ β โดยการกัดกร่อนจะเริ่มจากเฟส β ซึ่งประกอบด้วยอะลูมิเนียม แมงกานีส และนิกเกิลในปริมาณมากกว่าที่ประกอบอยู่ในเฟส α จึงทำให้เฟส β มีความไวต่อปฏิกิริยาการกัดกร่อนมากกว่า หรือ เป็นแอโนดเมื่อเทียบกับเฟส α เมื่อเกิดการกัดกร่อนขึ้นจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเคมีระหว่างเฟส α และ เฟส β เปลี่ยนแปลงอีกครั้ง โดยเฟส α เดิมจะเกิดการกัดกร่อนแทน และเนื่องจากในเฟส α ประกอบด้วย อะลูมิเนียม และแมงกานีส ซึ่งมีความไวต่อปฏิกิริยามากกว่าทองแดง จึงเกิดการชะละลาย (leaching) ออก เหลือเพียงโลหะทองแดง ดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้ในส่วนที่ 1[1] ซึ่งเหตุดังกล่าวทำให้ไบจักรมีสมบัติทางกลลดลง และนำไปสู่ความเสียหายในที่สุด ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ไบจักรเกิดความเสียหายขึ้น ในงานนี้จึงศึกษาการป้องกันการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของไบจักร โดยใช้โลหะกันกร่อน (Sacrificial anode) เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความเป็นไปได้ในการใช้ป้องกัน อีกทั้งกรมอุทกหารเรือยังมีเทคโนโลยีในการผลิตโลหะกันกร่อนเพื่อใช้งานเองในกองทัพ[2] โดยโลหะกันกร่อนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นสังกะสีกันกร่อน และอะลูมิเนียมกันกร่อน ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้าเคมีต่ำกว่า (More negative electrochemical potential) ไบจักร ที่ผลิตจากโลหะกลุ่มทองแดง เมื่อนำโลหะกันกร่อนมาติดกับไบจักร โลหะกันกร่อนจะเกิดการ

กัดกร่อนแทนไบจักร แต่เนื่องจากไบจักรมีการติดตั้งกับแท่นติด (Housing) เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 และมีการใช้งานทั้งในสภาวะน้ำกร่อย และน้ำทะเล ซึ่งมีปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลการป้องกันการกัดกร่อนของไบจักรภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ตามสภาวะการใช้งานจริง เพื่อให้ได้แนวทางการป้องกันการกัดกร่อนของไบจักรที่สามารถนำไปใช้งานได้

2. วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองติดตั้งกะสีกันกร่อนและอะลูมิเนียมกันกร่อนกับชิ้นงานไบจักรตัวอย่าง ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ได้แก่ (1) ไบจักรตัวอย่าง (MAB) ที่ไม่มีการติดกับโลหะใดๆ (2) ไบจักรตัวอย่างที่มีการติดกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 (MAB+SS316) (3) ไบจักรตัวอย่างที่ติดอะลูมิเนียมกันกร่อน (MAB+Al anode) (4) ไบจักรตัวอย่างที่ติดสังกะสีกันกร่อน (MAB+Zn anode) (5) ไบจักรตัวอย่างที่ติดอะลูมิเนียมกันกร่อนและติดกับเหล็กกล้าไร้สนิม (MAB+SS316+Al anode) และ (6) ไบจักรตัวอย่างที่ติดสังกะสีกันกร่อนและติดกับเหล็กกล้าไร้สนิม (MAB+SS316+Zn anode) โดยมีสัดส่วนพื้นที่ระหว่างไบจักรต่อโลหะกันกร่อนเป็น 4:1 และไบจักรที่ติดกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 จะมีสัดส่วนพื้นที่ของไบจักรต่อเหล็กกล้าไร้สนิมเป็น 1.2 :1 นอกจากนี้ทุกชิ้นงานทดสอบยังมีการติดตั้งวัสดุทำมุมอับ (Crevice former) ซึ่งทำมาจากวัสดุจำพวกเรซิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร (รูปที่ 1) เพื่อศึกษาผลการกัดกร่อนเปรียบเทียบบริเวณภายในและภายนอกมุมอับ



รูปที่ 1 (a) ด้านหน้า และ (b) ด้านหลัง ของใบจี้กรตัวอย่างที่มีการติดโลหะกันกร่อนและวัสดุทำมุมอับ และ (c) ใบจี้กรตัวอย่างที่มีการติดแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเพิ่มเติม

หลังจากเตรียมชิ้นงานตามเงื่อนไขต่างๆ เรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานทั้งหมดไปทำการทดสอบแบบแช่ (Immersion test) ในน้ำกร่อย ณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ในน้ำทะเล ณ ท่าเรือกลางอ่าว กองเรือยุทธการ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ประมาณ 28-33 วัน โดยในระหว่างการทดสอบมีการวัดและบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเทียบกับแท่งกราฟิตด้วยเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าแบบหลายช่องสัญญาณที่มีระบบบันทึกข้อมูล (Multi-channel data acquisition)

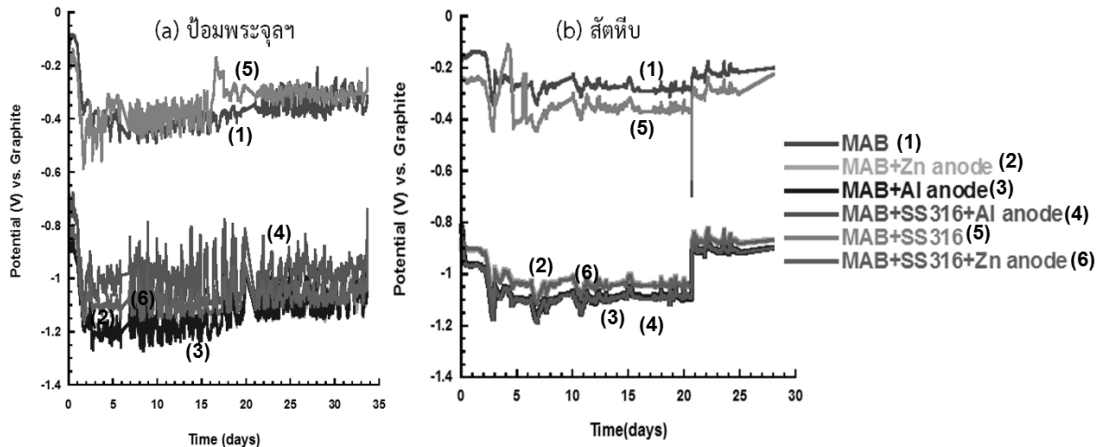
เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้น ทำความสะอาดชิ้นงานแล้วตรวจสอบชิ้นงานโดยการสังเกต (Visual inspection) เพื่อเปรียบเทียบการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบทั้ง 6 ชิ้น ในเบื้องต้น หากสังเกตพบการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุในชิ้นงานใด จะนำชิ้นงานนั้นไปทำภาคตัดขวาง เพื่อยืนยันการเกิดการกัดกร่อนในรูปแบบดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ใบจี้กรตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลและน้ำกร่อย เปรียบเทียบกับใบจี้กรตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการทดสอบ (As-received) ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น Bruker D8 Discover เพื่อศึกษาเฟสของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการกัดกร่อน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนอิสระขณะแช่ชิ้นงานตัวอย่างในน้ำกร่อยและน้ำทะเล

ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนอิสระ (free corrosion potential) ของใบจี้กรระหว่างการแช่ใบจี้กรตัวอย่างในน้ำทะเลและน้ำกร่อย แสดงใน จากกราฟจะเห็นว่า ใบจี้กรที่แช่อยู่ในน้ำกร่อยและน้ำทะเลมีพฤติกรรมการกัดกร่อนคล้ายกัน โดยศักย์ไฟฟ้าของชิ้นงานแบ่งเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน กลุ่มแรก ได้แก่ ใบจี้กรที่ไม่มีการติดกับโลหะกันกร่อนใดๆ (MAB) และ ใบจี้กรที่ติดกับเหล็กกล้าไร้สนิม 316 (MAB + SS316) ส่วนกลุ่มที่ 2 ได้แก่ ใบจี้กรที่ติดกับสังกะสีและอะลูมิเนียมกันกร่อน (MAB+Zn anode และ MAB+Al anode) และ ใบจี้กรที่ติดกับโลหะกันกร่อนและเหล็กกล้าไร้สนิม 316 (MAB+SS316+Zn anode และ MAB+SS316+Al anode) จากกราฟในรูปที่ 2 จะเห็นว่า ใบจี้กรในกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีโลหะกันกร่อนติดอยู่นั้น มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าใบจี้กรในกลุ่มแรกประมาณ 600-800 มิลลิโวลต์ ซึ่งการที่ศักย์ไฟฟ้าลดต่ำลงมากนั้น ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของใบจี้กรต่ำลงมากพอที่จะทำให้ใบจี้กรเปลี่ยนจากสภาวะที่เกิดการกัดกร่อน (Corrosion) มาเป็นสภาวะที่มีภูมิคุ้มกันตัวเอง (Immune) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่เกิดการกัดกร่อนตามแผนภูมิ E-pH หรือแผนภูมิ Pourbaix ในรูปที่ 3 โดยผลดังกล่าวเป็นไปตามหลักการการป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก (Cathodic protection) [3]

หากพิจารณาศักย์ไฟฟ้าของใบจี้กรที่ติดโลหะกันกร่อนทั้ง 2 ชนิดใน พบว่า ในสภาวะน้ำกร่อย ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าสังกะสีกันกร่อนหรืออะลูมิเนียมกันกร่อน มีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนมากกว่ากัน เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ใกล้เคียงกันมาก ประกอบกับมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า (fluctuation) เนื่องจากภาวะน้ำขึ้น-น้ำลง ในบริเวณนั้นมาก

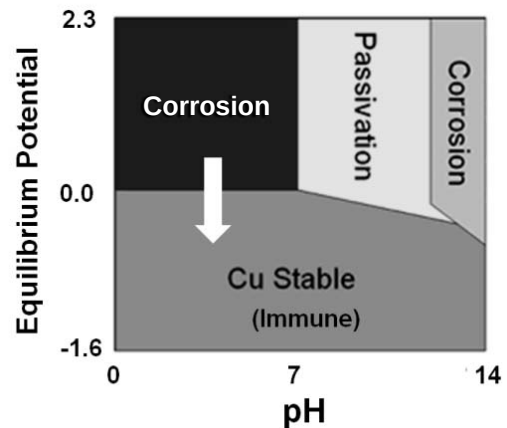


รูปที่ 2 ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนอิสระของใบจักรที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆระหว่างการทดสอบใน (a) น้ำกร่อยบริเวณ บ่อมพระจุลจอมเกล้าเป็นเวลา 33 วัน และ (b) น้ำทะเลบริเวณกองเรือยุทธการ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เป็นเวลา 28 วัน

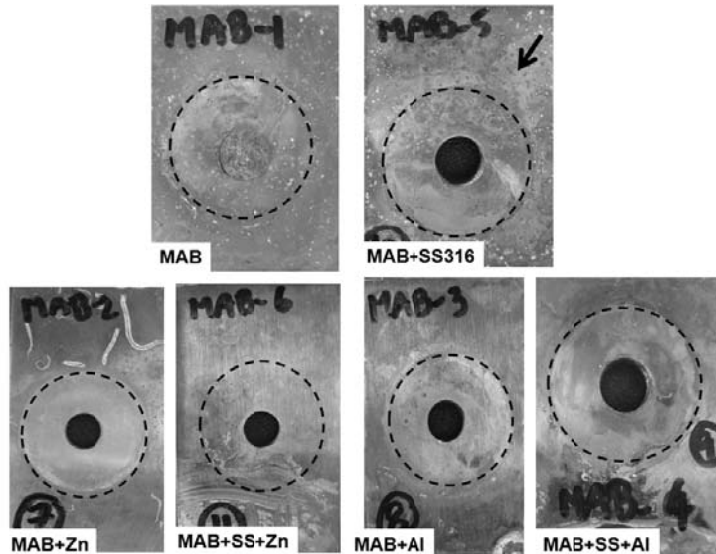
สำหรับการทดสอบในสภาวะน้ำทะเล พบว่า ศักย์ไฟฟ้าของใบจักรที่ติดอะลูมิเนียมกันกร่อน จะมี ศักย์ไฟฟ้าลดลงมากกว่าใบจักรที่ติดสังกะสีกันกร่อน ประมาณ 100 มิลลิโวลต์ ซึ่งแสดงว่าการติดอะลูมิเนียม กันกร่อนสามารถลดศักย์ไฟฟ้าให้ใบจักรอยู่ในสภาวะที่มี ภูมิคุ้มกันได้มากกว่าสังกะสีกันกร่อน ทั้งนี้เนื่องจาก อะลูมิเนียมกันกร่อนมีศักย์ไฟฟ้าเคมีต่ำกว่าสังกะสีกัน กร่อน (ศักย์ไฟฟ้าเคมีของอะลูมิเนียมและสังกะสีกันกร่อน มีค่า -1.0 และ -0.85 โวลต์ ตามลำดับ[4]) จึงทำให้ ความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างอะลูมิเนียมกันกร่อน กับใบจักร มีมากกว่าระหว่างสังกะสีกันกร่อนหรือกล่าวได้ ว่าอะลูมิเนียมกันกร่อนมีความสามารถในการป้องกันการ กัดกร่อน (protection ability) ได้ดีกว่าสังกะสีกันกร่อน

3.2 ลักษณะใบจักรหลังผ่านการทดสอบแบบแช่ ในน้ำกร่อย

หลังจากการแช่ใบจักรในสภาวะน้ำกร่อยบริเวณ บ่อมพระจุลจอมเกล้าเป็นเวลา 33 วัน แล้ว ผู้วิจัยได้ทำ การตรวจสอบลักษณะใบจักรเบื้องต้นดังแสดงในรูปที่ 4

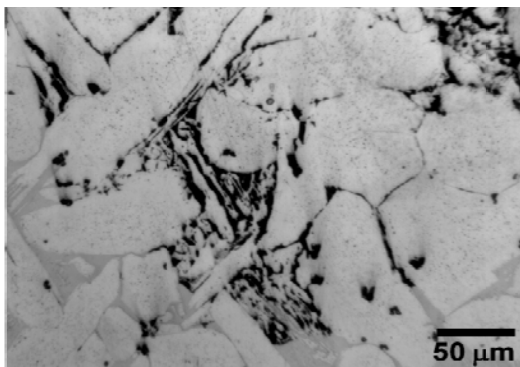


รูปที่ 3 แผนภูมิ E-pH อย่างง่าย (simplified) ของ โลหะทองแดงในน้ำ (ดัดแปลงจาก [5])



รูปที่ 4 ลักษณะไบจักรหลังจากแช่ในน้ำกร่อย บริเวณป้อมพระจุลจอมเกล้า เป็นเวลา 33 วัน

จากรูปจะเห็นว่าไบจักรในกลุ่มที่ 1 (MAB, MAB+SS316) ซึ่งอยู่แถวบนของรูปที่ 4 จะเกิดการกัดกร่อนทั่วไปทั้งบริเวณด้านนอก และด้านใต้วัสดุทำมุมอับ (พื้นที่ในวงกลมเส้นประ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไบจักรติดกับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม (MAB+SS316) จะทำให้ไบจักรเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุอย่างเห็นได้ชัดเจนเกือบทั่วทั้งชิ้นงาน (รอยสีแดง บริเวณลูกศรชี้) เมื่อทำภาคตัดขวางในบริเวณนี้จะพบการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ ดังแสดงในรูปที่ 5 คล้ายกับที่เคยรายงานไว้ในส่วนที่ 1 [1]

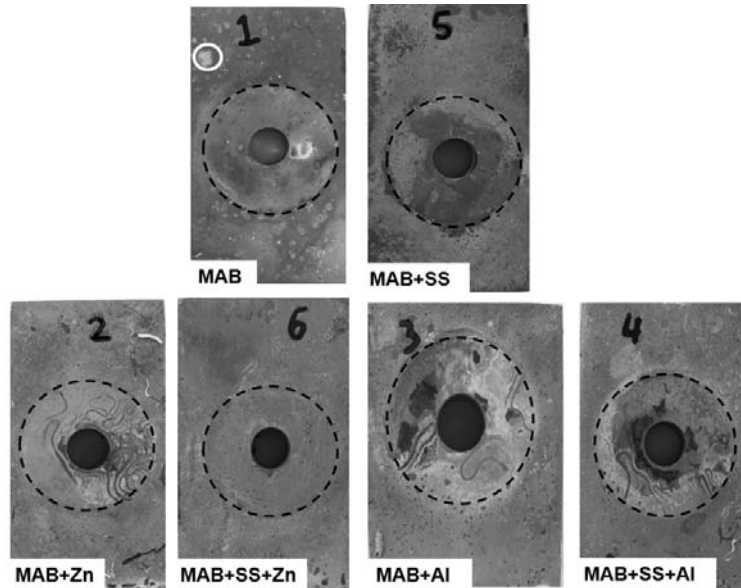


รูปที่ 5 การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุที่พบในชิ้นงาน MAB+SS316

หากเปรียบเทียบผลการแช่ชิ้นงานไบจักรตัวอย่างในน้ำกร่อยธรรมชาติและในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.6% ที่เตรียมขึ้นดังที่กล่าวไว้ในส่วนที่ 1 [1]

พบว่าการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุจะเกิดในน้ำกร่อยธรรมชาติได้มากกว่าในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เตรียมขึ้น แม้ว่าทั้งสองสภาวะนี้จะมีปริมาณคลอไรด์ใกล้เคียงกันก็ตาม แสดงว่าองค์ประกอบอื่นที่มีอยู่ในน้ำกร่อยธรรมชาตินอกเหนือจากปริมาณคลอไรด์ เป็นปัจจัยร่วมที่เร่งให้เกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของไบจักรชนิดนี้ด้วย

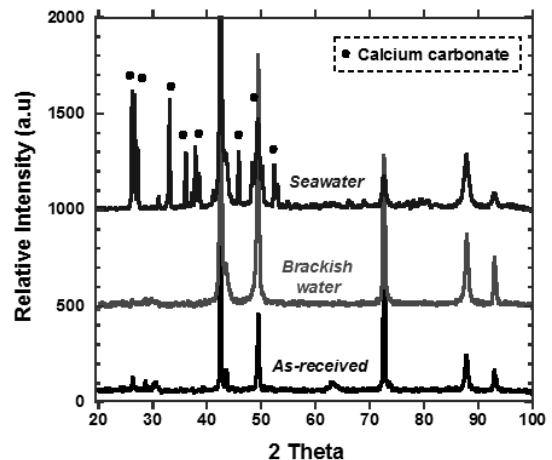
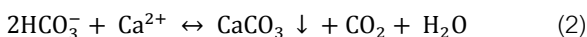
เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการทดลองแบบต่างๆ เห็นว่าการติดตั้งไบจักรกับเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316 ซึ่งเป็นสภาวะที่ใช้งานจริง เป็นเงื่อนไขที่ทำให้ไบจักรเกิดการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุมากที่สุด ประมาณ ร้อยละ 60 โดยพื้นที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาอนุกรมกัลวานิก (Galvanic series) ของโลหะชนิดต่างๆ ในสภาวะน้ำทะเล[6] พบว่าโลหะผสมทองแดงชนิดอะลูมิเนียมบรอนซ์มีศักย์ไฟฟ้าเคมีในช่วง -0.4 ถึง -0.3 โวลต์ ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมกับขั้วไฟฟ้ามาตรฐานชนิดคาโลเมล (Standard Calomel Electrode; SCE) แสดงว่าโลหะผสมทองแดงมีความไวต่อปฏิกิริยา(active) มากกว่า ดังนั้นเมื่อโลหะทั้งสองชนิดนี้มาสัมผัสหรือติดกัน จึงทำให้ไบจักรมีสภาพเป็นแอโนด ซึ่งจะถูกร่งให้เกิดการกัดกร่อนได้มากขึ้น



รูปที่ 6 ลักษณะใบจักรหลังจากแช่ในน้ำทะเล บริเวณอำเภอสัตหีบเป็นเวลา 28 วัน

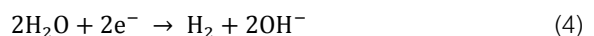
3.3 ลักษณะใบจักรหลังผ่านการทดสอบแบบแช่ในน้ำทะเล

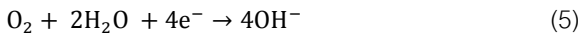
จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าใบจักรมีลักษณะเปลี่ยนไปหลังจากแช่ในน้ำทะเล โดยใบจักรส่วนใหญ่มีฟิล์มแข็งสีขาวปกคลุมอยู่ที่ผิวและไม่พบการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ ยกเว้นชิ้นงาน MAB ที่พบการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุในบางบริเวณ (วงกลม) และไม่เห็นฟิล์มสีขาวปกคลุมเหมือนกับชิ้นงานอื่น เมื่อตรวจสอบชิ้นงานที่แช่ในน้ำทะเล และมีฟิล์มสีขาวปกคลุมด้วยเทคนิค XRD เปรียบเทียบกับชิ้นงานที่แช่ในน้ำจืดและชิ้นงานที่ไม่ได้ทดสอบการกัดกร่อน ปรากฏว่าพบสัญญาณของแคลเซียมคาร์บอเนตเฉพาะบนใบจักรตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเลเท่านั้น ดัง X-Ray diffractograms ในรูปที่ 7 จึงอาจเป็นไปได้ว่าฟิล์มนี้เกิดจากการตกตะกอน (Precipitation) ของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในน้ำทะเลหรือที่เรียกว่ากระบวนการ Calcification [7] ดังสมการ



รูปที่ 7 X-Ray diffractograms ของชิ้นงานที่ผ่านการแช่ในน้ำทะเล และน้ำจืดเทียบกับชิ้นงานที่ไม่ได้ทดสอบ

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าการเกิดสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตในสมการที่(3) นั้น ต้องใช้ไฮดรอกไซด์ไอออน(OH^-) เป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยา และเมื่อพิจารณาปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะเห็นว่า ไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแคโทดิก (Cathodic reaction) ดังสมการ





ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าชิ้นงานที่มีการติดโลหะกันกร่อน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาแคโทดิกจะได้ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเป็นไฮดรอกไซด์ตามสมการที่ (4) และ (5) และไฮดรอกไซด์จะรวมตัวกับ Ca^{2+} และ CO_2 เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต(สมการที่ (3)) เคลือบบนชิ้นงานดังกล่าว ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นนี้ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ไบจอร์สัมผัสกับสิ่งแวดล้อม จึงทำให้การกัดกร่อนเกิดน้อยลง

ส่วนชิ้นงาน MAB+SS แม้ว่าจะไม่มีการติดกับโลหะกันกร่อนแต่ยังสังเกตเห็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกับไบจอร์ตัวอย่างที่มีการติดโลหะกันกร่อน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการติดไบจอร์กับเหล็กกล้าไร้สนิม จะเกิดเซลล์กัลวานิกขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์เป็นไฮดรอกไซด์ จึงเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตได้เช่นกัน

ส่วนไบจอร์ MAB ที่ไม่ได้มีการติดกับโลหะชนิดใดเลย จะเกิดเป็นเซลล์กัลวานิกจุลภาค (Microgalvanic cell) ระหว่างเฟส α และ β ในไบจอร์เอง ซึ่งกรณีนี้อาจเกิดไฮดรอกไซด์ในปริมาณน้อย จึงเกิดสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตน้อย ทำให้สังเกตเห็นได้ยาก อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ก็ยังพบสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเหมือนกับกรณีอื่นๆ แต่พบในปริมาณเพียงเล็กน้อย (ไม่ได้แสดงผล XRD)

เมื่อพิจารณาบริเวณใต้วัสดุทำมุมอับของไบจอร์ตัวอย่างที่ไม่มีการติดโลหะกันกร่อน และเป็นบริเวณที่ไม่มีสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบอยู่ จะพบการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สำหรับไบจอร์ตัวอย่างที่แช่น้ำกร่อยและมีการติดโลหะกันกร่อน บริเวณใต้วัสดุทำมุมอับยังคงมีสีบรอนซ์ของคล้ายกับไบจอร์ก่อนการทดสอบ ซึ่งแสดงว่า การติดโลหะ

กันกร่อนช่วยป้องกันการกัดกร่อนของไบจอร์ทั้งการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุ และการกัดกร่อนแบบตามมุมอับได้

หากเปรียบเทียบผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ (รายงานไว้ในส่วนที่ 1[1]) และในธรรมชาติ พบว่าพฤติกรรมการกัดกร่อนของไบจอร์ค่อนข้างแตกต่างกัน โดยผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าเมื่อแช่ไบจอร์ในสารละลายที่มีปริมาณไฮดรอกไซด์มากเทียบเท่าน้ำทะเล ไบจอร์จะเกิดการกัดกร่อนมากกว่าการแช่ในสภาวะที่มีปริมาณไฮดรอกไซด์น้อยกว่า และเมื่อเกิดการกัดกร่อนแล้วจะมีอัตราการกัดกร่อนมากกว่าในสภาวะอื่น แต่การทดสอบในธรรมชาติ โดยเฉพาะการทดสอบในน้ำทะเล พบว่าการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุกลับไม่ชัดเจนเท่ากับการทดสอบในน้ำกร่อย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของปัจจัยทางธรรมชาติ ที่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีและพฤติกรรมการกัดกร่อนของไบจอร์เปลี่ยนไป

4. สรุปผลการวิจัย

(1) สังกะสีกันกร่อน และอะลูมิเนียมกันกร่อนสามารถใช้ป้องกันการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุผสมของไบจอร์เมangkani สังกะสีอะลูมิเนียมบรอนซ์(8Al-8Mn-Cu) ทั้งในสภาวะการใช้งานที่เป็นน้ำกร่อย และน้ำทะเลได้

(2) การกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุของไบจอร์เมangkani สังกะสีอะลูมิเนียมบรอนซ์ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมการใช้งานเป็นสำคัญ โดยการกัดกร่อนแบบสูญเสียธาตุจะเกิดขึ้นในน้ำกร่อยธรรมชาติมากกว่าในน้ำทะเล เนื่องจากในน้ำทะเล สามารถเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบบนไบจอร์ตัวอย่าง ทำให้การกัดกร่อนเกิดน้อยลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานต่างๆได้แก่ กรมอุทกหารเรือ ป้อมพระ

จุลจอมเกล้า และ กองเรือยุทธการ ฐานทัพเรือสัตหีบ ที่
อำนวยความสะดวก ทั้งในด้านสถานที่เก็บข้อมูลและ
สนับสนุนการดำเนินงานในด้านต่างๆ และขอขอบคุณ
นักวิจัยในแผนงาน “การพัฒนาศักยภาพการป้องกันการ
กัดกร่อนของเรือหลวงตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง”
ทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ และการอภิปราย
ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tareelap N, Sriraksasin K, Nitipanyawong C, Termsuksawad P. Dealloying Corrosion of Manganese Aluminium Bronze Propeller: Part I. KKU Engineering Journal. 2013; 40(4);561-568 (In Thai)
- [2] Mungsantisuk P, Srihirun S. Study and Manufacturing of Aluminium Anode for using in Royal Thai Navy. Defense Industry Journal. 2008;1(1):5-11. (In Thai)
- [3] Baeckmann WV., Schwenk W., Prinz W. Handbook of Cathodic Corrosion Protection. Gulf Professional Publishing, Houston; 1997
- [4] Davis JR. Corrosion: understanding the basics: ASM International (OH); 2000.
- [5] Tarr M. Simplified Pourbaix diagram for copper [cited 2013 July 13]. Available from: URL:http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0152_caf/images/u08_01_fig3.gif
- [6] Jones D. Principles and Prevention of Corrosion. MacMillan Publishing Company, New York; 1992.
- [7] Copin Montégut C, Copin Montégut G. Theoretical considerations about the reactions of calcification in sea water. Marine chemistry. 1999;63(3):213-24.