ศึกษาการสึกกร่อนของ
พื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม

Studies to the corrosion of
differential surface metals in artificial seawater

น.อ. สบสุข ลีละบุตร
กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสึกกร่อนของพื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม ภายใต้เงื่อนไขที่ อุณหภูมิเฉลี่ย ๓๐°C ความเค็ม ๓๐ ppt ทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นระยะเวลา ๑ ปี โดยการศึกษาพื้นผิวโลหะที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็กทำตัวเรือ ๓ ชนิดได้แก่ โลหะอะลูมิเนียม โลหะสังกะสี และโลหะตะกั่ว ตามลำดับโดยวิธีการวัดความสึกกร่อน ด้วยเครื่องมือวัด (Vernier Caliper) และศึกษาลักษณะการเกิดออกไซด์ ด้วยเครื่องตรวจโครงสร้างภายในของโลหะ (Microscope)

ผลการทดลองพบว่า เกิดการสึกกร่อนบนพื้นผิวของโลหะในลักษณะที่แตกต่างกัน เป็นไปตามค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานที่ ๒๕°C และการเกิดออกไซด์ จะมีลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละคู่โลหะที่ทำการทดลอง

Abstract

This research aimed to studies the corrosion of differential surface metals in artificial seawater in condition to average room temperature 30°C, sanitary 30 ppt (part per thousand) in laboratory, period of experimental in one year. This case to studies metals are pressed into surface of iron metal (ship construction) such as Aluminium metal, Zinc metal and Lead metal respectively. The measurement of the corrosion of surface metals by Vernier Caliper and studies to form of oxide with Microscope.

The results show that the corrosion of surface metals are differential form, according to the standard potential reduction at 25°C , and oxide of metals are specific form in each couple of experiment.

ความสำคัญของปัญหาวิจัย

ในธรรมชาติเมื่อโลหะสัมผัสกับความชื้นในอากาศหรือน้ำ ย่อมเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Oxidation-Reduction Reaction) ทำให้โลหะนั้นเกิดออกไซด์หรือที่เรียกว่าสนิม การที่โลหะเหล็กเกิดสนิม เป็นกระบวนการที่เราสามารถสังเกตเห็นหรือสัมผัสได้ด้วยการชั่ง หากเราต้องการศึกษาการเกิดสนิมเหล็กโดยใช้สมการปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งจะบอกได้ว่า สนิมมาจากเหล็ก ก๊าซออกซิเจน และน้ำหรือความชื้นได้อย่างไร แม้ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องค่อนข้างซับซ้อน แต่พอที่จะสามารถอธิบายได้ว่า พื้นที่ผิวของโลหะบางบริเวณทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด ซึ่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้

$$Fe(s) \longrightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^{-}$$

อิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจะรีดิวซ์ออกซิเจนในอากาศเป็นน้ำที่ขั้วแคโทด ซึ่งเป็นอีกบริเวณหนึ่งบนพื้นผิวเดียวกันของโลหะ ดังปฏิกิริยา

$$O_2(g) + 4H^{+}(aq) + 4e^{-} \longrightarrow 2H_2O(l)$$

ซึ่งสามารถเขียนปฏิกิริยารวมได้ดังนี้

$$2Fe(s)+O_2(g) + 4H^{+}(aq) \longrightarrow 2Fe^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$$

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสภาพของความเป็นกรดนี้ H^{+} ไอออนส่วนหนึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกับน้ำเกิดเป็นกรดคาร์บอนนิก (H_2CO_3) โดยที่ไอออน Fe^{2+} ซึ่งเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดจะถูก ออกซิไดซ์ต่อด้วยออกซิเจน ดังสมการ

$$4Fe^{2+}(aq) + O_2(g) + (4 + 2x)H_2O(l) \longrightarrow 2Fe_2O_3 \cdot x\,H_2O(s)+8H^{+}(aq)$$

เหล็ก (III) ออกไซด์ที่ถูกไฮเดรตนี้คือ สนิมเหล็กนั่นเอง ซึ่งปริมาณน้ำที่อยู่กับเหล็กออกไซด์นั้นจะไม่คงที่

กระบวนการดังกล่าวที่เกิดขึ้นนี้ ย่อมก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ฉะนั้นในวิชาชีพการเป็นทหารเรือ จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาเคมีของโลหะในน้ำทะเล เช่น โครงสร้างตัวเรือหรืออุปกรณ์ ที่มีโลหะเป็นส่วนประกอบ เพื่อเป็นองค์ความรู้พื้นฐานของลูกนาวี ซึ่งสามารถจะนำความรู้ไปพัฒนาต่อยอดในเรื่องของงานวิจัยการป้องกันการสึกกร่อน หรือการเกิดสนิม การสร้างทุ่นระเบิดโดยอาศัยความรู้ทางด้านเทคโนโลยีการกัดกร่อน และงานในหน้าที่ราชการที่เกี่ยวข้องต่อไปได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

๑. เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดสนิมของพื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม

๒. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการสึกกร่อนของพื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม

๓. เพื่อนำผลการศึกษามาบูรณาการในการเรียนการสอนวิชาเคมีพื้นฐาน

๔. เพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องทางทหารเรือ

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเกิดสนิมของพื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม ซึ่งมีขอบเขตการวิจัยดังนี้คือ

๑. ศึกษาการเกิดสนิมของพื้นผิวโลหะได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) โดยทำการเจาะฝังลงในแผ่นเหล็ก (Fe) ทดสอบตามลำดับ

๒. ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการสึกกร่อนของพื้นผิวโลหะอะลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb) ที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็ก (Fe)ทดสอบซึ่งถูกแช่ในน้ำทะเลเทียม

๓. ผลการศึกษาที่ได้นำมาบูรณาการการเรียนการสอนในหัวข้อการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Oxidation-Reduction Reaction) ในวิชาเคมีพื้นฐาน

๔. นำผลการศึกษาไปเป็นข้อมูลหรือประยุกต์ใช้กับงานทดลองหรืองานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสึกกร่อนของโลหะในน้ำทะเล

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองนี้เป็นการศึกษาการเกิดสนิมและเปรียบเทียบความแตกต่างของการสึกกร่อนของพื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม ซึ่งเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการภายใต้เงื่อนไขดังนี้

๑. เตรียมตัวอย่างทดสอบโดยใช้แผ่นเหล็กต่อเรือขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นเหล็กทดสอบนี้มีขนาดกว้าง ๑.๕ นิ้ว ยาว ๓ นิ้ว และหนาประมาณ ๐.๔ – ๐.๖ มิลลิเมตร โดยทำการเจาะฝังโลหะอะลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb) เส้นผ่าศูนย์กลาง (ϕ) ประมาณ ๔ มิลลิเมตร ตรงกึ่งกลางแผ่นเหล็ก จำนวน ๓ แผ่น ตามลำดับ โดยเคลือบสารกันการสึกกร่อนไว้ด้านหนึ่งเพื่อศึกษาการสึกกร่อนเพียงด้านเดียว ดังรูปที่ ๑

รูปที่ ๑ การเจาะฝังโลหะลงในแผ่นเหล็ก

๒.น้ำทะเลเทียมเตรียมจากเกลือโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ๓๐.๖๘ กรัม และเกลือโซเดียมซัลเฟต ($NaSO_4$) ๐.๗๑ กรัม/ปริมาตรน้ำ ๑ ลิตร

สภาพของน้ำทะเลเทียม		
pH	T^0C (Average)	SPGr@30^0C
6.5 - 7.8	30	1.018

๓.ทำการแช่แผ่นเหล็กทดสอบดังกล่าวในน้ำทะเลเทียมปริมาตร ๑ ลิตรในห้องปฏิบัติการซึ่งมีระดับความเค็มประมาณ ๓๐ ppt (part per thousand) โดยทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำทะเลเทียมทุก ๑ เดือน และทำการทดสอบเป็นระยะเวลา ๑ ปี

๔.ทำการตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ (^0C) ความหนาแน่นของน้ำทะเลเทียม (Density of artificial seawater) เพื่อเป็นข้อมูลภายใต้เงื่อนไขตามสภาวะแวดล้อมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

๕.ทำการวัดความหนาของแผ่นโลหะด้วยเครื่องมือวัด (Vernier Caliper) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลหะของโลหะอะลูมิเนียม (Al) สังกะสี (Zn) และตะกั่ว (Pb) ว่ามีการสึกร่อนมากน้อยเพียงใด

๖.ทำการตรวจสอบแผ่นโลหะด้วยเครื่องตรวจโครงสร้างภายในของโลหะ (Microscope) เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดสนิมหรือการสึกร่อนของพื้นผิวโลหะมีความแตกต่างกันอย่างไร

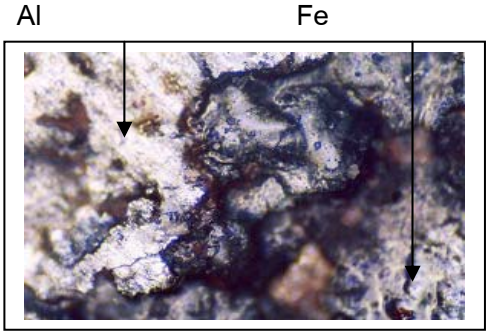
๗.ทำการวิเคราะห์ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลการวิจัย

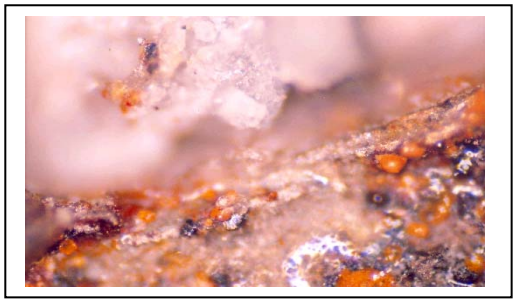
การสึกกร่อนของพื้นผิวโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียมภายใต้เงื่อนไขตามสภาวะแวดล้อมของการทดลอง ในตารางด้านล่างมีผลทำให้เกิดการผุกร่อนในลักษณะที่แตกต่างกัน สรุปดังนี้

๑. ลักษณะการเกิดสนิม

๑.๑ แผ่นโลหะเหล็ก (Fe) ที่เจาะฝังด้วยโลหะอะลูมิเนียม (Al) เกิดการสึกกร่อนบริเวณโลหะอะลูมิเนียมอย่างรวดเร็วในช่วงระยะแรก และเริ่มเกิดเป็นออกไซด์สีขาว ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มครอบคลุมพื้นผิวโลหะอะลูมิเนียม ทำให้อัตราการสึกกร่อนเกิดช้าลงในระยะหลัง จากรูปที่ ๒ (A, B)

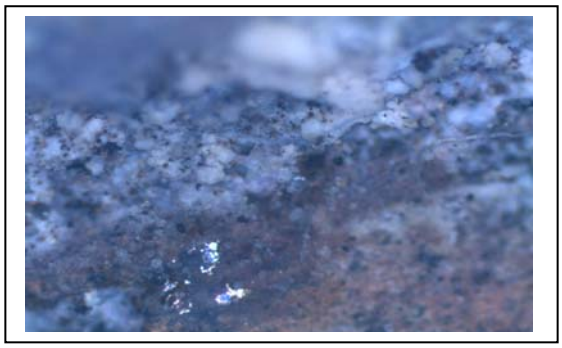


รูปที่ ๒(A) เริ่มต้นการทดลอง



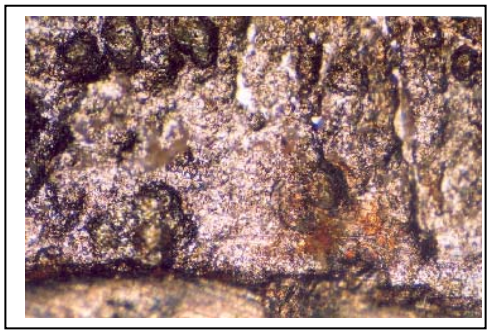
รูปที่ ๒(B) เกิดแผ่นฟิล์มคลุมผิวโลหะ Al

๑.๒ แผ่นโลหะเหล็ก (Fe) ที่เจาะฝังด้วยโลหะสังกะสี (Zn) เกิดการสึกกร่อนซึ่งมีลักษณะการเกิดออกไซด์ของโลหะสังกะสี (Zn) ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง อย่างชัดเจน ดังรูปที่ ๓ แสดงการเกิดออกไซด์ของโลหะสังกะสี (Zn)

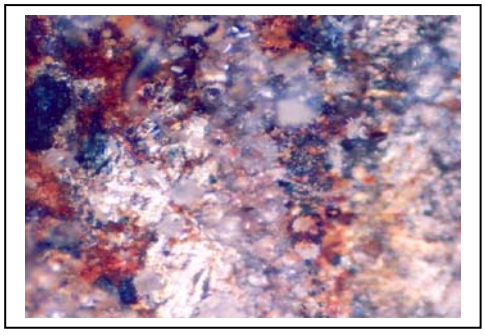


รูปที่ ๓ แสดงการเกิดออกไซด์ (Zn)

๑.๓ แผ่นโลหะเหล็ก (Fe) ที่เจาะฝังด้วยโลหะตะกั่ว (Pb) เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงต้น คือ เกิดการบวมพองของพื้นผิวโลหะเหล็กและเริ่มเป็นสนิมขยายวงกว้างมากขึ้น ขณะที่โลหะตะกั่ว (Pb) ยังคงสภาพเดิมดังรูปที่ ๔ (A และ B)



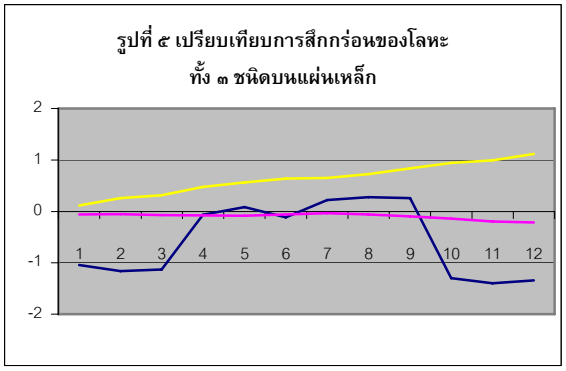
รูปที่ ๔ (A) การพองบวมของผิวโลหะ Fe



รูปที่ ๔ (B) เกิดสนิมเหล็กสีน้ำตาลแดง

๒. ศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการสึกกร่อนของโลหะ

๒.๑ โลหะทั้งสามชนิดที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็กในช่วงระยะเวลาการทดลองที่เท่ากันเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันคือ แนวโน้มการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นจากมากไปหาน้อย ได้แก่ โลหะอะลูมิเนียม (Al) โลหะสังกะสี (Zn) และโลหะตะกั่ว (Pb) ตามลำดับ ดังรูปกราฟที่ ๕



กราฟบน(Zn) กราฟกลาง (Pb) กราฟล่าง (Al)

อภิปรายผลการวิจัย

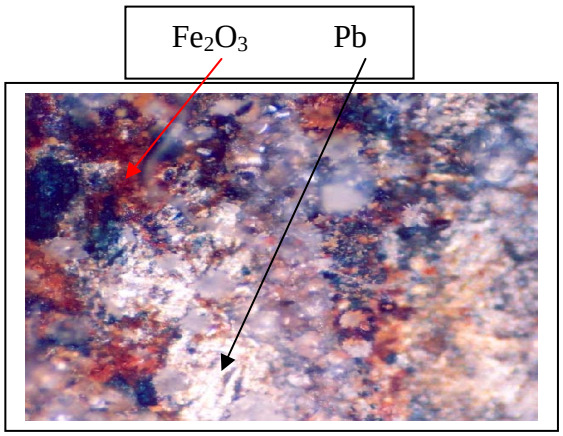
จากการทดลองตามสภาวะเงื่อนไขนี้ ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโลหะทั้งสามชนิดคือ โลหะอะลูมิเนียม (Al), โลหะสังกะสี (Zn), โลหะตะกั่ว (Pb) ที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็ก เกิดการผุกร่อนที่แตกต่างกัน โดยแผ่นอะลูมิเนียมมีการสึกกร่อนอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลอง และเริ่มช้าลง เนื่องจากเกิดออกไซด์สีขาวมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวหน้าโลหะอะลูมิเนียม ซึ่งมีความละเอียดมาก จนทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกผ่านแผ่นฟิล์มลงไปได้ เป็นผลทำให้อัตราการสึกกร่อนลดน้อยลงในช่วงเวลาต่อมา และเป็นสาเหตุให้พื้นผิวของแผ่นเหล็ก บริเวณโดยรอบโลหะอะลูมิเนียม เกิดเป็นสนิมเหล็กเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (ดังรูปที่ ๖)

รูปที่ ๖ แสดงบริเวณรอยต่อระหว่างโลหะเหล็กออกไซด์(Fe_2O_3)
และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกซึม

หากบริเวณโดยรอบโลหะอะลูมิเนียม มีการเกิดออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) กัดเซาะลึกลงไปใต้แผ่นฟิล์มของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งโมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านออกไซด์ของเหล็กได้ดีกว่าทำให้ความชื้นไปสัมผัสกับผิวของโลหะอะลูมิเนียม เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)ได้ต่อไปอีกและเกิดแผ่นฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์อีกครั้งสลับกันไปในลักษณะเช่นนี้ จนแผ่นเหล็กสึกกร่อนนานเข้าอาจสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของแผ่นเหล็กได้ แต่จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการสึกกร่อนบนพื้นผิวของเหล็กเพียงอย่างเดียว

ในกรณีของโลหะสังกะสี (Zn) ที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็ก ลักษณะการเกิดสังกะสีออกไซด์ (ZnO) มีอัตราการเกิดได้ช้ากว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เนื่องจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าคู่ของ (Fe/Al) มีค่ามากกว่าคู่ของ (Fe/Zn) จึงทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ดีกว่าภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน แต่เนื่องจากลักษณะการเกิดผลึกออกไซด์ของอะลูมิเนียม (Al_2O_3) มีช่องว่างในโครงผลึกน้อยกว่าผลึกสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกซึมผ่านผลึกสังกะสีออกไซด์ (ZnO)ได้ดีกว่า ซึ่งมีความต่อเนื่องในการเกิดออกไซด์หรือสนิมได้ดีกว่าอะลูมิเนียม จึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการผุกร่อนบนพื้นแผ่นเหล็กที่สามารถทะลุถึงกันได้รวดเร็วกว่าในกรณีแรก

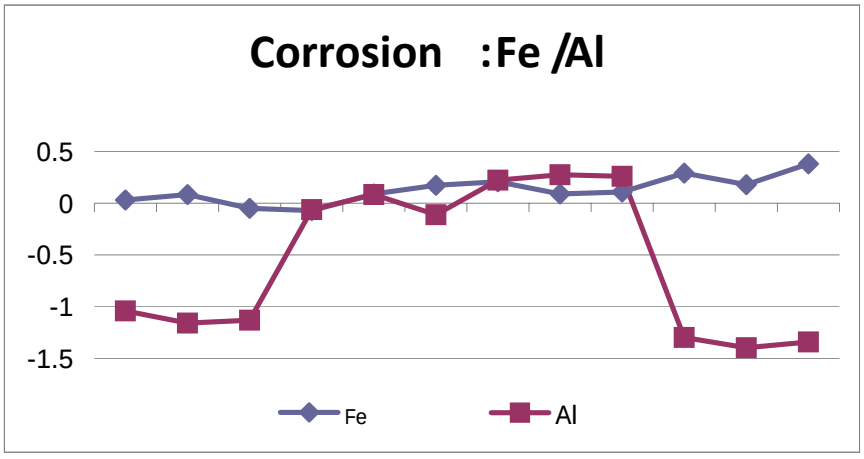
ในกรณีคู่ของโลหะตะกั่ว (Pb) ที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็ก ลักษณะการเกิดสนิมจะเห็นได้ชัดเจนบริเวณโดยรอบโลหะตะกั่ว (Pb) เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของโลหะตะกั่ว (Pb) มีค่า – 0.13 ^{0}E (volt) ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของ โลหะเหล็ก (Fe) มีค่า –0.44 ^{0}E (volt) จึงทำให้โลหะเหล็กเป็นฝ่ายให้อิเล็กตรอน เกิดเป็นเหล็กออกไซด์หรือสนิมเหล็กได้ดีกว่า ดังรูปที่ ๗



รูปที่ ๗ แสดงการเกิดเหล็กออกไซด์

เมื่อเปรียบเทียบการสึกกร่อนของโลหะทั้งสามชนิดแล้วจะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงและการเกิดออกไซด์ในช่วงเวลาเดียวกันที่แตกต่างกันกล่าวคือ

การเกิดออกไซด์ของโลหะอะลูมิเนียม จะมีแผ่นฟิล์มสีขาวปิดบริเวณผิวหน้าของโลหะอะลูมิเนียม ทำให้การสึกร่อนหยุดชะงักไปเป็นช่วง ๆ จนกระทั่งพื้นผิวเหล็กบริเวณรอบข้างอะลูมิเนียมเกิดออกไซด์ โมเลกุลของน้ำซึมผ่านเข้าไปสัมผัสกับโลหะอะลูมิเนียมได้อีกครั้งจึงเกิดการสึกร่อนของโลหะอะลูมิเนียมต่อไป (ดังกราฟรูปที่ ๘)



รูปที่ ๘ การเกิดออกไซด์ของอะลูมิเนียมบนแผ่นเหล็ก

ขณะที่การเกิดออกไซด์ของโลหะสังกะสีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตามลักษณะเส้นกราฟจะสูงขึ้นโดยลำดับ อันเนื่องมาจากลักษณะของสังกะสีออกไซด์ (ZnO) มีรูพรุนสามารถให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านได้จึงเกิดออกไซด์ได้ดีกว่าอะลูมิเนียม

ส่วนของโลหะตะกั่ว จะเห็นได้ว่าเกือบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของโลหะตะกั่วสูงกว่าของเหล็ก สามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าเหล็ก ทำให้เกิดออกไซด์บนพื้นผิวเหล็กได้มากว่าบนพื้นผิวของโลหะตะกั่ว

ข้อเสนอแนะ

๑.การทดลองการสึกกร่อนของโลหะต่างชนิดกันในน้ำทะเลเทียม โดยมีเป้าประสงค์ เพื่อส่งเสริมในการเรียนการสอนวิชาเคมี เรื่อง Oxidation – Reduction Reaction นำหลักการหรือทฤษฎีไปทำการทดลอง ทำให้นักเรียนเกิดทักษะและกระบวนการเรียนรู้จากเรื่องดังกล่าว ซึ่งสามารถนำไปบูรณาการหรือประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคต

๒. การศึกษาต่อยอดจากการทดลองในครั้งนี้ อาจจะศึกษาความแตกต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางของโลหะที่ถูกเจาะฝังลงในแผ่นเหล็ก เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางให้ใหญ่ขึ้น จะมีผลต่อการสึกกร่อนมากน้อยเพียงใด หรือทำการทดลองกับน้ำทะเลจริงเพื่อเปรียบเทียบผลกับการทดลองในครั้งนี้

๓. การใช้โลหะตะปูเกลียวที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันน้อยกว่าเหล็กเจาะทะลุแผ่นเหล็กและทำการศึกษาระยะเวลาการสึกกร่อนจนแผ่นเหล็กทะลุ เพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กัญจนา ตระกูลดู. **เทคโนโลยีการกัดกร่อน.** กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอ็กซ์เพรส มีเดีย, ๒๕๓๔.

Roberge, Pierre R. **Handbook of Corrosion Engineering.** New York : McGraw-Hill, 2000.

Uhlig, Herbert Henry. **The Corrosion Handbook.** New York : J. Wiley, 1948.