เอกสารประกอบการเรียนการสอน

รายวิชา 424565

การผุกร่อนและการป้องกัน

(Corrosion and Its Prevention)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พนารัตน์ โทมณี

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทนำ

เอกสารเรื่องการผุกร่อนและการป้องกันฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนรายวิชา 424565 การผุกร่อนและการป้องกันของสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ เนื้อหาของเอกสารฉบับนี้ มุ่งนำเสนอเนื้อหาพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการผุกร่อน อาทิเช่น ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นขณะเกิดการผุกร่อนของโลหะ ตัวแปรที่มีผลต่อการผุกร่อน การคำนวณหาอัตราการผุกร่อนของโลหะ วิธีการป้องกันและลดการผุกร่อนของโลหะ ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีการ รวมถึงหลักในการเลือกใช้วิธีป้องกันการผุกร่อนที่เหมาะสม เป็นต้น

ผู้เขียนหวังว่าเอกสารประกอบการเรียนการสอนฉบับนี้ จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของรายวิชา และมีพื้นฐานที่จะสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการทำงานได้ระดับหนึ่ง

ผู้เขียนยินดีรับฟังข้อเสนอแนะ และคำถามที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในเอกสารประกอบการเรียนการสอนเรื่องการผุกร่อนและการป้องกันฉบับนี้ ด้วยความยินดียิ่ง

พนารัตน์ โทมณี
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1 การผุกร่อน

วัตถุประสงค์:

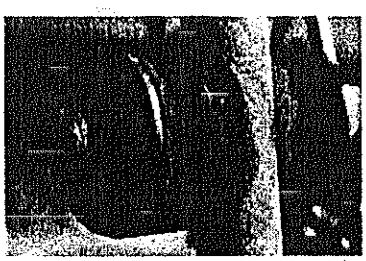
เนื้อหาในบทที่ 1 นี้ มุ่งให้ผู้เรียนได้ทราบถึง

- นิยามของการผุกร่อน
- ประเภทของการผุกร่อน
- หน่วยที่ใช้แสดงอัตราการผุกร่อน
- ผลเสียหายที่เกิดจากการผุกร่อน

1.1 นิยามของการผุกร่อน

การผุกร่อน (corrosion) คือ การเสื่อมสภาพหรือการสูญเสียเนื้อของวัสดุ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมรอบวัสดุนั้น โดยแต่เดิม ถือว่าวัสดุที่เกิดการผุกร่อนได้คือโลหะเท่านั้น แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้ วัสดุที่ถูกนำมาใช้งาน ไม่ได้มีแต่โลหะเพียงอย่างเดียว หากยังมีวัสดุประเภทอื่นๆ ซึ่งเป็นอโลหะ เช่น เซรามิก พลาสติก หรือ ยาง ร่วมด้วย

เมื่อกล่าวถึงการผุกร่อน คนส่วนใหญ่จะนึกถึงการเกิดสนิม (rusting) หรือการที่มีคราบสีน้ำตาลแดงเคลือบอยู่บนผิวของวัตถุที่ทำด้วยเหล็ก คราบสีน้ำตาลแดงหรือที่เรียกกันว่าสนิมเหล็กนี้ ก็คือสารประกอบออกไซด์ (oxide) ของเหล็ก ที่เกิดขึ้นเมื่อเหล็ก (Fe) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำซึ่งอยู่ในในบรรยากาศ (สิ่งแวดล้อม) รอบวัตถุนั้น การเกิดสนิม จึงเป็นหนึ่งในการเสื่อมสภาพของวัสดุเนื่องจากปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม แต่การเกิดสนิม จะใช้กล่าวถึงการเสื่อมสภาพของโลหะเหล็กเท่านั้น ในขณะที่การผุกร่อนจะคลอบคลุมการเสื่อมสภาพของวัสดุชนิดอื่นๆ ด้วย



รูป 1.1 การเกิดสนิมของเหล็ก

เป็นการผุกร่อนโดยปฏิกิริยาเคมีที่มีการให้และรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของ e^- ภายในวัสดุที่เกิดการผุกร่อน และการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น การผุกร่อนแบบนี้จะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อทั้งวัสดุและสิ่งแวดล้อมมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า หรือยอมให้ e^- เคลื่อนผ่านได้ วัสดุที่เกิดการผุกร่อนประเภทนี้จึงมักเป็นโลหะ

- การผุกร่อนโดยตรงเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี หรือสภาพทางกายภาพ (Chemical or physical corrosion)

วัสดุที่เกิดการผุกร่อนโดยกลไกนี้ มักจะเป็นอโลหะที่ไม่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า เช่น ปูนซีเมนต์ (cement) พอลิเมอร์ (polymers) หรือเซรามิก (ceramics) เป็นต้น การผุกร่อนที่เกิดขึ้น มักจะเป็นเพียงการละลายหรือการสลายตัวขององค์ประกอบในวัสดุนั้นเนื่องจากสภาวะของสิ่งแวดล้อม หรือจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่านั้น ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของถุงพลาสติกเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงแดด หรือปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลไซต์ (calcite, $CaCO_3$) กับกรดซัลฟุริกในฝนกรด (acid rain)

$$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 \cdot H_2O + CO_2 \qquad (1\text{-}1)$$

แคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลักอย่างหนึ่งของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานโครงสร้าง เมื่อแคลไซต์ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟุริก เกิดเป็นสารประกอบยิปซัม (gypsum, $CaSO_4.H_2O$) ซึ่งจะร่อนออกจากโครงสร้าง ทำให้โครงสร้างสูญเสียความแข็งแรง และผุพังได้

1.3.3 แบ่งตามสถานะที่เกิดการผุกร่อน

- การผุกร่อนแบบเปียก (Wet corrosion)

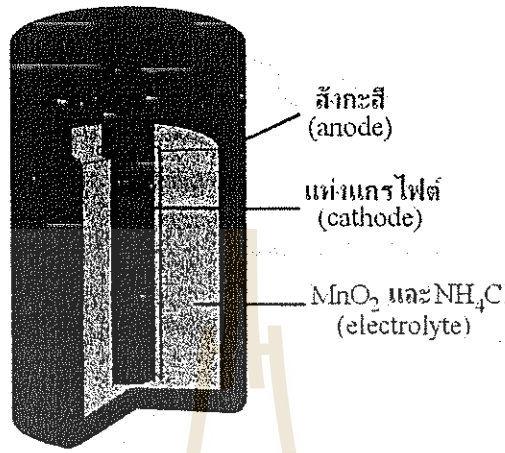
คือการผุกร่อนที่สารซึ่งทำให้เกิดการผุกร่อน (corrodents) อยู่ในสถานะของเหลว ซึ่งมักจะเป็นสารละลายที่มีน้ำหรือสารละลายอิเล็กโตรไลท์ ตัวอย่างเช่น การผุกร่อนของเหล็กกล้าเมื่อแช่อยู่ในน้ำ เป็นต้น การผุกร่อนส่วนใหญ่จะเป็นการผุกร่อนแบบเปียก

- การผุกร่อนแบบแห้ง (Dry corrosion)

คือการผุกร่อนที่ไม่มีของเหลวอยู่ด้วย หรือการผุกร่อนที่อุณหภูมิเหนือ dew point ของสารที่ทำให้เกิดการผุกร่อน (corrodents) ที่อยู่ในสภาวะแวดล้อม นั่นคือ สารที่ทำให้เกิดการผุกร่อนอยู่ในสถานะก๊าซหรือไอ แทนที่จะเป็นของเหลว การผุกร่อนแบบแห้งนี้มักจะเป็นการผุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บริเวณที่เกิดออกซิเดชันบนโลหะสังกะสี เรียกว่าแอโนด (anode) ส่วนบริเวณที่เกิดรีดักชันเรียกว่าแคโทด (cathode) สำหรับในถ่านไฟฉาย รีดักชันของ NH_4^+ และ MnO_2 เกิดขึ้นบนแท่งแกรไฟต์ แท่งแกรไฟต์จึงเป็นแคโทดของถ่านไฟฉาย



รูป 1.2 องค์ประกอบของถ่านไฟฉาย

การผุกร่อนของโลหะ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และเกิดกระแสไฟฟ้า ได้เช่นเดียวกับปฏิกิริยาที่เกิดในถ่านไฟฉาย ตัวอย่างเช่น เมื่อจุ่มชิ้นงานสังกะสี (Zn) ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เจือจาง ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสังกะสีได้อิเล็กตรอน และไอออนสังกะสีในสารละลาย

$$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^- \qquad (1\text{-}4)$$

และปฏิกิริยารีดักชัน โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่อยู่ในสารละลายรับอิเล็กตรอนที่เกิดจากการออกซิเดชันของสังกะสี เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า hydrogen evolution

$$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g) \qquad (1\text{-}5)$$

ไอออนสังกะสี จะรวมเข้ากับไอออนคลอไรด์ ได้เป็นสารประกอบสังกะสีคลอไรด์อยู่ในสารละลาย

$$Zn^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) \qquad (1\text{-}6)$$

ตาราง 1.1 เปรียบเทียบองค์ประกอบในระบบถ่านไฟฉายและระบบที่โลหะสังกะสีจุ่มอยู่ใน HCl

ระบบ	สารให้ e^- (reducing agent)	แอโนด	สารรับ e^- (oxidizing agent)	แคโทด	อิเล็กโตรไลท์
โลหะสังกะสีใน HCl	สังกะสี	บริเวณที่สูญเสีย e^- บนชิ้นสังกะสี	H^+	บริเวณที่สูญเสีย e^- บนชิ้นสังกะสี	HCl
ถ่านไฟฉาย	สังกะสี	บริเวณที่สูญเสีย e^- บนแผ่นสังกะสี	NH_4^+	บริเวณที่เกิดการรับ e^- บนแท่งแกรไฟต์	NH_4Cl และ MnO_2

1.5 อัตราการผุกร่อน

อัตราการผุกร่อน คือค่าที่ใช้บอกความเร็วในการเสื่อมสภาพ หรือการสูญเสียเนื้อของวัสดุใดๆ ในสภาวะแวดล้อมหนึ่งๆ ค่านี้สามารถใช้เป็นตัวเปรียบเทียบได้ว่า ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน วัสดุใดมีความด้านทานต่อการผุกร่อน (corrosion resistance) และเกิดการการผุกร่อนได้ช้ากว่า การแสดงอัตราการผุกรอนมีหลายแบบ เช่น

- แสดงเป็นเปอร์เซนต์น้ำหนักของวัสดุที่หายไป ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (% weight loss)

- แสดงเป็นน้ำหนักของวัสดุที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น
  - มิลลิกรัมที่หายไป ต่อ 1 ตารางเซนติเมตร ต่อ 1 วัน ($mg/cm^2 \cdot day$)
  - มิลลิกรัมที่หายไป ต่อ 1 ตารางเดซิเมตร ต่อ 1 วัน ($mg/dm^2 \cdot day$ หรือ mdd)
  - มิลลิกรัมที่หายไป ต่อ 1 ตารางนิ้วต่อ 1 ชั่วโมง ($mg/in^2 \cdot hr$)
  - กรัมที่หายไป ต่อ 1 ตารางเมตร ต่อ 1 วัน ($g/m^2 \cdot day$)

- แสดงเป็นความหนาของวัสดุที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น
  - มิลลิเมตรต่อปี (mm/year)
  - มิลต่อปี (mils* per year หรือ mpy)

หน่วยของ penetration rate	K
mpy	0.129
μm/year	3.27
mm/year	0.00327

- น้ำหนักของชิ้นงานที่หายไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา สามารถคำนวณได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในการผุกร่อน ตามความสัมพันธ์

$$W = \frac{ItM}{nF} \qquad (1\text{-}10)$$

เมื่อ W = น้ำหนักของชิ้นงานที่หายไป (มิลลิกรัม)
I = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการผุกร่อน (มิลลิแอมป์)
t = เวลาของการเกิดการผุกร่อน (วินาที)
F = ค่าคงที่ฟาราเดย์ (Faraday constant)
= 96485.3383 คูลอมบ์ต่อโมล
= 96485.3383 (แอมป์·วินาที)ต่อโมล

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของอัตราการผุกร่อน สามารถสรุปเป็นตารางการเปลี่ยนหน่วยได้ดังแสดงในตาราง 1.2

ตาราง 1.2 ตารางการเปลี่ยนหน่วยของอัตราการผุกร่อน

หน่วย	mA/cm²	mm/year	mpy	g/m²·day
mA/cm²	1	$3.28\frac{M}{n\rho}$	$129\frac{M}{n\rho}$	$8.95\frac{M}{n}$
mm/year	$0.306\frac{n\rho}{M}$	1	39.4	2.74ρ
mpy	$0.00777\frac{n\rho}{M}$	0.0254	1	0.0694ρ
g/m²·day	$0.112\frac{n}{M}$	$\frac{0.365}{\rho}$	$\frac{14.4}{\rho}$	1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี