



ตำราเรียน สายวิทยาการช่างอากาศ

วิชา การควบคุมการผุกร่อน

CORROSION CONTROL

กองวิทยาการ

กรมช่างอากาศ





กรมช่างอากาศยาน

Directorate of Aeronautical Engineer

ตำราเรียน สายวิทยาการช่างอากาศยาน

วิชา การควบคุมการผุกร่อน

CORROSION CONTROL



## คำนำ

**การผุกร่อน**ของวัสดุโลหะเป็นปัญหาทางวิศวกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงแข็งแรง ความปลอดภัย และความสมควรเดินอากาศของอากาศยาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานซ่อมบำรุงอากาศยานทางทหาร ซึ่งโครงสร้างและระบบต่าง ๆ ต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและรุนแรง ทั้งความชื้น เกลือ สารเคมี อุณหภูมิสูง รวมถึงปัจจัยทางกลที่ส่งผลเร่งให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นได้รวดเร็วและรุนแรงยิ่งขึ้น หากขาดความรู้ ความเข้าใจ และแนวทางในการควบคุมการกัดกร่อนอย่างเป็นระบบ อาจนำไปสู่ความเสียหายของโครงสร้างอากาศยาน ลดอายุการใช้งาน เพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการปฏิบัติการบินโดยรวม ตำราเรียนวิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control) เล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนและการฝึกอบรมสำหรับกำลังพลสายวิทยาการช่างอากาศ โดยมุ่งเน้นให้ผู้อ่านมีความรู้พื้นฐานด้านทฤษฎีการกัดกร่อน กลไกและสาเหตุของการเกิดการกัดกร่อน รูปแบบของการกัดกร่อนชนิดต่าง ๆ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราและความรุนแรงของการกัดกร่อน ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างการกัดกร่อนกับปัจจัยทางกล เช่น ความเค้น การล้า และการเสียดสี ซึ่งประเด็นสำคัญที่พบได้บ่อยในโครงสร้างและชิ้นส่วนอากาศยาน

เนื้อหาในตำราเล่มนี้ได้เรียบเรียงโดยอ้างอิงแนวทางและมาตรฐานสากลที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน อาทิ USAF Technical Order 1-1-691 และ FAA Advisory Circular AC 43-4B เพื่อให้สอดคล้องกับหลักความสมควรเดินอากาศ (Airworthiness) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้อย่างเหมาะสม ทั้งในด้านการตรวจสอบ การวิเคราะห์สาเหตุ การป้องกัน และการควบคุมการกัดกร่อนในระดับหน่วยซ่อมบำรุง

ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่สนใจด้านงานซ่อมบำรุงอากาศยาน ในการเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ และทักษะที่จำเป็นในการควบคุมการกัดกร่อน อันจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และความพร้อมรบของอากาศยานในภารกิจของกองทัพอากาศต่อไป



## สารบัญ

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

คำนำ

สารบัญ

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการกัดกร่อน	หน้า
1.1 บทนำ (Introduction)	1
1.2 ความเป็นมา (Background)	1
1.3 การพัฒนาของการกัดกร่อน (Development of Corrosion)	3
1.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อน (Factors Influencing Corrosion)	4
1.5 รูปแบบของการกัดกร่อน (Forms of Corrosion)	6
1.6 การกัดกร่อนและปัจจัยทางกล (Corrosion and Mechanical Factors)	14
1.7 สารก่อการกัดกร่อนที่พบบ่อย (Common Corrosive Agents)	20
1.8 การกัดกร่อนที่เกิดจากจุลชีพ (Microbiologically Influenced Corrosion)	22
1.9 การกัดกร่อนจากปรอทโลหะบนอะลูมิเนียมอัลลอยด์ (Metallic Mercury Corrosion on Aluminum Alloys)	24
<b>บทที่ 2 ผลกระทบของการกัดกร่อน</b>	
2.1 ทั่วไป (General)	25
2.2 ผลกระทบของการกัดกร่อนต่อโลหะ (Effects of Corrosion on Metals)	26
<b>บทที่ 3 บริเวณที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน และการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน</b>	
3.1 ทั่วไป (General)	33
3.2 บริเวณแนวไอเสีย (Exhaust Trail Areas)	33

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



## สารบัญ

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

บทที่ 3 บริเวณที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน(ต่อ)	หน้า
3.3 ห้องแบตเตอรี่และช่องระบายอากาศของแบตเตอรี่ (Battery Compartments and Battery Vent Openings)	34
3.4 ห้องสุขา พื้นที่เตรียมอาหาร ประตู และพื้นห้องนักบิน (Lavatories, Buffets, Galleys, Doorways, and Cockpit Floorboards)	35
3.5 บริเวณบิลจ์ (Bilge Areas)	35
3.6 ช่องล้อและชุดล้อลงจอด (Wheel Wells and Landing Gear)	36
3.7 ผิวภายนอกลำตัวอากาศยาน (External Skin Areas)	38
3.8 บริเวณที่เกิดการกักเก็บน้ำ (Water Entrapment Areas)	44
3.9 บริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์และช่องลมระบายความร้อน (Engine Frontal Areas and Cooling Air Vents)	44
3.10 ช่องบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Package Compartments)	46
3.11 บริเวณที่เป็นปัญหาอื่น ๆ (Miscellaneous Trouble Areas)	47
3.12 ปัจจัยในการควบคุมการกัดกร่อน (Factors in Corrosion Control)	53
3.13 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventative Maintenance)	59
<b>บทที่ 4 การตรวจสอบการผุกร่อน</b>	
4.1 บททั่วไป (General)	78
4.2 ความถี่ในการตรวจสอบ (Frequency of Inspections)	79



## สารบัญ

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

<b>บทที่ 4 การตรวจสอบการผุกร่อน(ต่อ)</b>	<b>หน้า</b>
4.3 ระดับความลึกของการตรวจสอบที่แนะนำ (Recommended Depth of Inspection)	79
4.4 แนวทางหลักในการตรวจพบการกัดกร่อน (Primary Approach)	81
<b>บทที่ 5 เทคนิคการกำจัดการกัดกร่อน</b>	
<b>หมวดที่ 1 ขั้นตอนด้านความปลอดภัย</b>	<b>93</b>
1. บททั่วไป (General)	93
2. ขั้นตอนการปฏิบัติงานทั่วไปด้านการควบคุมการกัดกร่อน	
<b>หมวดที่ 2 เทคนิคการกำจัดการกัดกร่อน</b>	
<b>(Corrosion Removal Techniques)</b>	<b>99</b>
1. ข้อทั่วไป (General)	99
2. วิธีมาตรฐาน (Standard Methods)	97 99
3. การเตรียมการก่อนการซ่อมแก้ไข (Preparations for Rework)	100
4. การลอกสี (Paint Removal)	100
5. เทคนิคพิเศษ (Special Techniques)	101
6. การปรับผิวและการไล่ผิวบริเวณที่ผ่านการซ่อมแก้ไข (Fairing Or Blending Reworked Areas)	102
7. การทดสอบทางเคมี (Chemical Testing)	107
8. การวิเคราะห์ชนิดโลหะแม่เหล็กด้วยวิธี Chemical Spot Test	108
9. การวิเคราะห์ชนิดโลหะไม่เป็นแม่เหล็กด้วยวิธี Chemical Spot Test	110
10. การทดสอบการปรับสภาพผิวโลหะ (Surface Treatment Testing)	111
11. การทำความสะอาดและปรับสภาพผิวหลังการระบุชนิดโลหะ (Post Identification Cleaning and Refinishing)	112

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



## สารบัญ

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

<b>หมวดที่ 3 การกำจัดการกัดกร่อนด้วยวิธีเชิงกลโดยการพ่นสารขัด</b>	<b>หน้า</b>
<b>(Mechanical Corrosion Removal by Blasting)</b>	<b>113</b>
1. บททั่วไป (General)	113
2. ข้อควรระวังด้านความปลอดภัย (Safety Precautions)	113
3. แนวทางการปฏิบัติก่อนและระหว่างการพ่นสารขัด	114
<b>หมวดที่ 4 ความเสียหายจากการกัดกร่อนและขีดจำกัดการซ่อมแก้ไข</b>	<b>115</b>
<b>(Corrosion Damage and Rework Limits)</b>	<b>115</b>
1. บทอภิปราย (Discussion)	115
2. การกำจัดการกัดกร่อน (Removal of Corrosion)	117
3. การพิจารณาระดับความเสียหายจากการกัดกร่อน (Determining Degree of Corrosion Damage)	117
4. การกำหนดขีดจำกัดการซ่อมปรับแต่ง	118
5. การพิจารณาการลดความหนาของวัสดุหลังการกำจัดการกัดกร่อน (Determining Material Thickness Reduction After Corrosion Cleanup)	118
<b>หมวดที่ 5 อะลูมิเนียมและโลหะผสมอะลูมิเนียม</b>	<b>120</b>
1. การปรับสภาพและการบำบัด (Treatment)	120
2. กระบวนการจัดการผิวอะลูมิเนียม (Processing of Aluminum Surfaces)	120
3. การซ่อมแซมแผ่นโลหะผสมอะลูมิเนียม (Repair of Aluminum Alloy Sheet Metal)	126
4. การกำจัดการกัดกร่อนบริเวณตัวยึดหัวฟั๊ง (Countersunk Fasteners) ในโลหะผสมอะลูมิเนียม	128
5. ตัวอย่างการกำจัดการกัดกร่อนในอะลูมิเนียมและโลหะผสมอะลูมิเนียม	128



## สารบัญ

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

<b>หมวด 6 วัสดุแมกนีเซียมอัลลอย (Magnesium Alloys)</b>	<b>132</b>
1. การบำบัดแผ่นและชิ้นส่วนขึ้นรูปจากแมกนีเซียม (Treatment of Wrought Magnesium Sheets and Forgings)	132
2. การซ่อมแผ่นแมกนีเซียมหลังการกำจัดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง (Repair of Magnesium Sheet Metal After Extensive Corrosion Removal)	133
3. การบำบัดชิ้นหล่อแมกนีเซียมในตำแหน่งติดตั้ง	133
4. ตัวอย่างขั้นตอนการกำจัดการกัดกร่อนของแมกนีเซียม (Example of Removing Corrosion from Magnesium)	134
<b>หมวดที่ 7 โลหะเหล็ก (Ferrous Metals)</b>	<b>140</b>
1. หลักการทั่วไป	140
2. การกำจัดสนิมเหล็กด้วยวิธีเชิงกล	140
3. การปรับสภาพผิวเหล็กด้วยวิธีเคมี (Chemical Surface Treatment of Steel Surfaces)	142
4. การกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนออกจากชิ้นส่วนเหล็กรับแรงสูง (High-Stressed Steel Parts)	142
5. การดูแลรักษาเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Alloys)	143
6. ตัวอย่างขั้นตอนการกำจัดการกัดกร่อนจากชิ้นส่วนเหล็ก	143
<b>หมวดที่ 8 ชิ้นส่วนที่เคลือบผิว (Plated Parts)</b>	<b>145</b>
1. ชิ้นส่วนที่เคลือบโครเมียมและนิกเกิล	145
2. ชิ้นส่วนที่เคลือบแคดเมียมและสังกะสี (Cadmium and Zinc Plated Parts)	145
<b>หมวดที่ 9 โลหะและโลหะผสมอื่น ๆ (Other Metals and Alloys)</b>	<b>147</b>
1. การทำความสะอาดและการฟื้นฟูผิวโลหะมีตระกูล (Noble Metal Coatings — Cleanup and Restoration)	147
2. ทองแดงและโลหะผสมทองแดง (Copper and Copper Alloys)	147
3. โลหะผสมไทเทเนียม (Titanium Alloys)	148

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



## สารบัญ

### วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

#### บทที่ 6 ปัญหาพิเศษ

6.1 การหกรั่วไหลของปรอทและความเสียหายจากการกัดกร่อน (Mercury Spills / Corrosion Damage)	150
6.2 การป้องกันการกัดกร่อนสำหรับอากาศยานเกษตรกรรม (Corrosion Protection for Agricultural Aircraft)	152
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>153</b>



# บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการกัดกร่อน

## 1.1 บทนำ (Introduction)

บทนี้นำเสนอพื้นฐานทฤษฎีการกัดกร่อน (Corrosion Theory) สาเหตุและกลไกการเกิดการกัดกร่อน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราและความรุนแรงของการกัดกร่อน รวมถึงการอธิบายลักษณะรูปแบบของการกัดกร่อนประเภทต่าง ๆ (Forms of Corrosion) และสารหรือสภาพแวดล้อมที่เป็นตัวการสำคัญในการก่อให้เกิดการกัดกร่อน (Corrosive Environments and Agents) ตามแนวทางการควบคุมและป้องกันการกัดกร่อนของอากาศยานที่กำหนดไว้ใน USAF Technical Order 1-1-691 และ FAA Advisory Circular AC 43-4B

## 1.2 ความเป็นมา (Background)

### 1.2.1 ความหมายและหลักการของการกัดกร่อน

ตามนิยามใน USAF T.O. 1-1-691 และ FAA AC 43-4B การกัดกร่อน (Corrosion) เป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่วัสดุโลหะเสื่อมสภาพลงเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reaction) หรือปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Reaction) ระหว่างโลหะกับสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้โลหะเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบของโลหะ เช่น ออกไซด์ (Oxide) ไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) หรือซัลเฟต (Sulfate) ซึ่งทำให้คุณสมบัติทางกล ความแข็งแรง และความสมควรเดินอากาศ (Airworthiness) ของโครงสร้างอากาศยานลดลง

การกัดกร่อนแตกต่างจากการสึกกร่อน (Erosion) ซึ่งเป็นการเสื่อมสภาพของวัสดุที่เกิดจากแรงทางกล เช่น การเสียดสีของอนุภาค การไหลของของไหล หรือแรงกระแทก โดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีหรือไฟฟ้าเคมีเป็นปัจจัยหลัก

สาเหตุพื้นฐานของการกัดกร่อนเกิดจากแนวโน้มตามธรรมชาติของโลหะในการกลับคืนสู่สภาพที่มีเสถียรภาพทางพลังงานมากที่สุด (Thermodynamically Stable State) ซึ่งโดยทั่วไปเป็นสภาพเดียวกับแร่โลหะในธรรมชาติ โลหะมีค่า (Noble Metals) เช่น ทองคำ (Gold) และแพลทินัม (Platinum) มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง เนื่องจากอยู่ในสภาพที่ไม่รวมตัวทางเคมีในธรรมชาติ

### 1.2.2 เงื่อนไขการเกิดการกัดกร่อนแบบไฟฟ้าเคมี

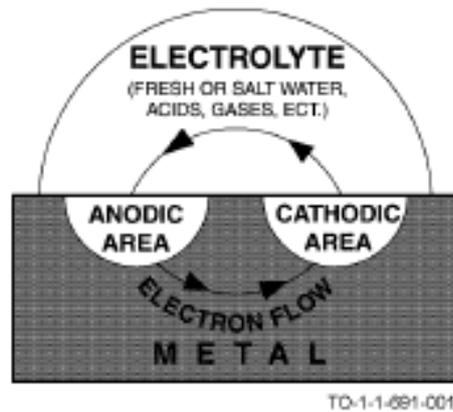
การกัดกร่อนของโครงสร้างอากาศยานส่วนใหญ่เป็นการกัดกร่อนแบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Corrosion) ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีองค์ประกอบครบถ้วนทั้งสี่ประการ ดังแสดงในรูปที่ 2-1 “เซลล์การกัดกร่อนอย่างง่าย (Simplified Corrosion Cell)” ได้แก่

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



1. แอโนด (Anode) เป็นบริเวณของโลหะที่สูญเสียอิเล็กตรอนและเกิดการกัดกร่อน โดยโลหะในตำแหน่งแอโนดจะเสื่อมสภาพหรือสึกกร่อนก่อน
2. แคโทด (Cathode) เป็นบริเวณของวัสดุนำไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเกิดการกัดกร่อนน้อยกว่า ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนจากแอโนด และอาจเป็นโลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น น้ำ ความชื้น น้ำเค็ม หรือสารละลายที่มีไอออน ซึ่งเอื้อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเคมีระหว่างแอโนดและแคโทด
4. การเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Electrical Path) เป็นเส้นทางการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างแอโนดและแคโทด ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากการสัมผัสกันของโลหะโดยตรง หรือผ่านตัวยึด เช่น สลักเกลียว หมุดย้ำ หรือโครงสร้างโลหะร่วมกัน

หากขาดองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง การกัดกร่อนแบบไฟฟ้าเคมีจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หลักการดังกล่าวเป็นพื้นฐานสำคัญในการวิเคราะห์สาเหตุของการกัดกร่อน และการกำหนดมาตรการป้องกันและควบคุมการกัดกร่อนในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน

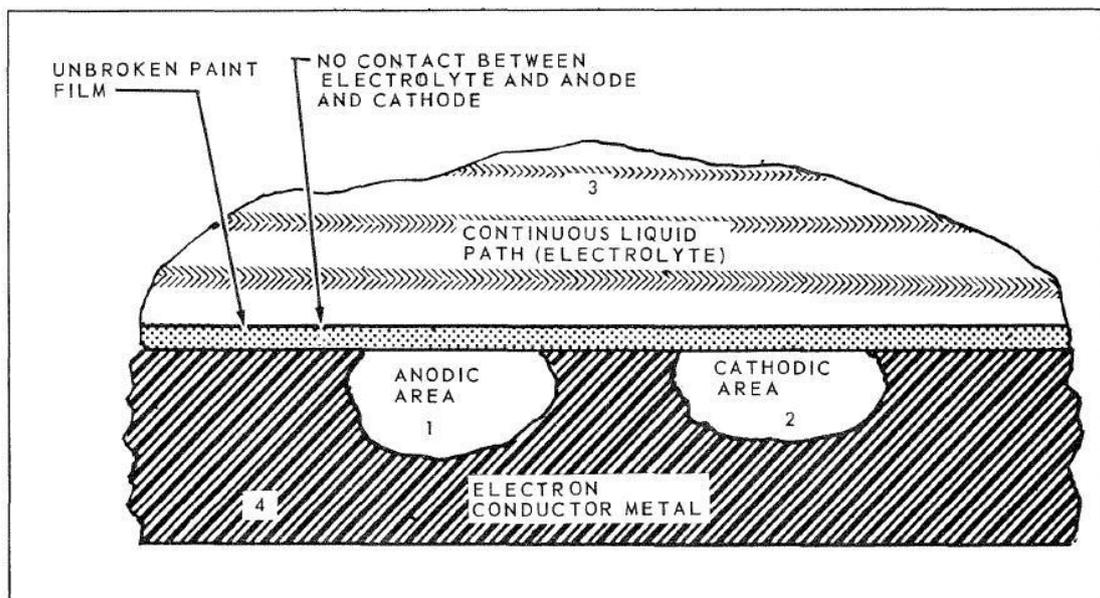


รูปที่ 1-1 เซลล์การกัดกร่อนอย่างง่าย แสดงเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการเกิดการกัดกร่อนแบบไฟฟ้าเคมี

1.2.3 การกำจัดเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งในสี่ประการของการเกิดการกัดกร่อน จะสามารถยับยั้งหรือหยุดยั้งการกัดกร่อนได้ ตัวอย่างเช่น การเคลือบผิวโลหะด้วยฟิล์มสี (Paint Film) ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นระหว่างผิวโลหะกับสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 1-2 “การยับยั้งการกัดกร่อนโดยการเคลือบฟิล์มอินทรีย์บนผิวโลหะ (Elimination of Corrosion by Application of an Organic Film to Metal Surface)”

โลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และไทเทเนียม (Titanium) สามารถสร้างผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่ยึดเกาะกับผิวโลหะเดิมได้อย่างแน่นหนา จนเกิดเป็นชั้นออกไซด์บางที่มองไม่เห็น หรือที่เรียกว่า ฟิล์มพาสซีฟ (Passive Film) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนดำเนินต่อไป

ในทางตรงกันข้าม หากฟิล์มของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนมีลักษณะหลวมและมีรูพรุน (Loose and Porous Film) เช่น ในกรณีของอะลูมิเนียม (Aluminum) และแมกนีเซียม (Magnesium) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะสามารถแทรกซึมผ่านชั้นดังกล่าวได้โดยง่าย ส่งผลให้กระบวนการกัดกร่อนยังคงดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง และก่อให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงมากกว่าที่สามารถประเมินได้จากสภาพผิวภายนอกเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 1-2 การยับยั้งการกัดกร่อนโดยการเคลือบฟิล์มอินทรีย์บนผิวโลหะ

### 1.3 การพัฒนาของการกัดกร่อน (Development of Corrosion)

1.3.1 การกัดกร่อนทุกชนิดเริ่มต้นขึ้นที่ผิวโลหะ (Metal Surface) และกระบวนการกัดกร่อนประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงทางเคมีสองประการ ได้แก่

1. โลหะที่ถูกโจมตีหรือเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidation) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วแอโนด (Anodic Change) และ
2. สารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนจะเกิดการรีดักชัน (Reduction) หรือการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วแคโทด (Cathodic Change)



แนวโน้มของโลหะส่วนใหญ่ที่จะเกิดการกัดกร่อนถือเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญของงานซ่อมบำรุงอากาศยาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมหรือสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น บริเวณที่มีความชื้นสูง บริเวณชายฝั่งทะเล หรือพื้นที่ที่มีมลภาวะทางอากาศ

1.3.2 การเคลือบผิวด้วยสี (Paint Coating) อาจปกป้องระยะเวลาเริ่มต้นของการกัดกร่อนได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อน (Corrosion Products) มีปริมาณมากกว่าโลหะเดิมที่ถูกกัดกร่อน ดังนั้นผิวสีจึงควรได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อค้นหาความผิดปกติของผิว เช่น การพองตัว (Blistering) การหลุดร่อนเป็นแผ่น (Flaking) การบิ่น (Chipping) หรือการเกิดปุ่มนูน (Lumps) ซึ่งอาจเป็นสัญญาณของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายใต้ชั้นสี

#### 1.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อน (Factors Influencing Corrosion)

1.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของโลหะและอัตราการกัดกร่อน ได้แก่

1. ชนิดของโลหะ (Type of Metal)
2. การอบชุบความร้อน (Heat Treatment) และทิศทางของเกรน (Grain Direction)
3. การมีอยู่ของโลหะต่างชนิดที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่า (Galvanic Corrosion)
4. พื้นที่ผิวของแอโนดและแคโทด (Anode and Cathode Surface Areas) ในกรณีการกัดกร่อนแบบกัลวานิก
5. อุณหภูมิ (Temperature)
6. การมีอยู่ของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) เช่น น้ำกรด น้ำทะเล หรือของเหลวจากแบตเตอรี่
7. ความพร้อมของออกซิเจน (Availability of Oxygen)
8. การมีความเข้มข้นที่แตกต่างกันของอิเล็กโทรไลต์ชนิดเดียวกัน (Differential Electrolyte Concentration)
9. การมีอยู่ของสิ่งมีชีวิต (Biological Organisms)
10. ความเค้นทางกลที่กระทำต่อโลหะที่กำลังกัดกร่อน (Mechanical Stress)
11. ระยะเวลาที่โลหะสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน (Time of Exposure)
12. ของเหลวจากห้องส้วมอากาศยาน (Lavatory Fluids) รวมถึงน้ำกรด น้ำทะเล หรือของเหลวจากแบตเตอรี่

1.4.2 โลหะบริสุทธิ์ส่วนใหญ่ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสร้างอากาศยาน จึงมีการนำมาใช้ในรูปของโลหะผสม (Alloys) โลหะผสมส่วนใหญ่ประกอบด้วยโครงสร้างผลึกขนาดเล็กจำนวนมากที่เรียกว่าเกรน (Grains) การกัดกร่อนสามารถเกิดขึ้นได้บนพื้นผิวของเกรนที่มีความต้านทานต่ำกว่า และที่



ขอบเขตระหว่างเกรน (Grain Boundaries) ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) และการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion)

โลหะมีระดับความต้านทานการกัดกร่อนแตกต่างกันอย่างมาก โลหะที่มีความว่องไวทางเคมีสูง (Chemically Active Metals) ซึ่งมีแนวโน้มสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย เช่น แมกนีเซียม (Magnesium) และอะลูมิเนียม (Aluminum) จะเกิดการกัดกร่อนได้ง่าย ในขณะที่โลหะมีค่า (Noble Metals) ซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนได้ยาก เช่น ทองคำ (Gold) และเงิน (Silver) จะเกิดการกัดกร่อนได้ยากมาก

1.4.3 สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราการกัดกร่อน โดยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเพิ่มปริมาณความชื้นในอากาศอิมตัว ส่งผลให้กระบวนการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

1.4.4 อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) หรือสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ จะเกิดขึ้นเมื่อมีการผสมของการควบแน่น (Condensation) ละอองเกลือ (Salt Spray) น้ำฝน หรือน้ำล้าง (Rinse Water) บนผิวโลหะ สิ่งสกปรก เกลือ แก๊สที่มีฤทธิ์เป็นกรด และแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ สามารถละลายอยู่บนผิวที่เปียก เพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ และเพิ่มอัตราการกัดกร่อน

1.4.5 เมื่อบริเวณบางส่วน เช่น ระหว่างผิวสัมผัส (Faying Surfaces) หรือในร่องลึก (Crevices) มีการกักเก็บอิเล็กโทรไลต์ไว้บางส่วน ผิวโลหะในบริเวณนั้นจะเกิดการกัดกร่อนเร็วกว่าโลหะบริเวณอื่น การกัดกร่อนลักษณะนี้เรียกว่า เซลล์ความเข้มข้นของออกซิเจน (Oxygen Concentration Cell) โดยปริมาณออกซิเจนที่ลดลงในอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกกักเก็บ ทำให้โลหะบริเวณดังกล่าวทำหน้าที่เป็นแอโนดเมื่อเทียบกับโลหะบริเวณใกล้เคียงที่สัมผัสอากาศ

1.4.6 คราบเมือก (Slimes) เชื้อรา (Molds) ฟังไจ (Fungi) และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ซึ่งบางชนิดมีขนาดเล็กมาก สามารถเจริญเติบโตบนผิวที่ชื้นได้ บริเวณที่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ตั้งถิ่นฐานมักจะคงสภาพความชื้นไว้ ทำให้มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนสูงขึ้น

1.4.7 กระบวนการผลิต เช่น การกลึง (Machining) การขึ้นรูป (Forming) การเชื่อม (Welding) หรือการอบชุบความร้อน (Heat Treatment) อาจทำให้เกิดความเค้นตกค้าง (Residual Stress) ภายในชิ้นส่วนอากาศยาน ความเค้นดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการแตกร้าวในสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน เมื่อระดับความเค้นเกินค่าขีดจำกัดของการกัดกร่อนจากความเค้น (Stress-Corrosion Threshold)

1.4.8 ในบางกรณี การกัดกร่อนจะดำเนินไปด้วยอัตราคงที่ไม่ว่าระยะเวลาการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมจะยาวนานเพียงใด ในขณะที่บางกรณี อัตราการกัดกร่อนอาจลดลงตามเวลา เนื่องจากมีชั้นผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนทำหน้าที่เป็นแนวกัน หรืออาจเพิ่มขึ้นตามเวลา หากแนวกันดังกล่าวเสื่อมสภาพหรือแตกสลายลง



## 1.5 รูปแบบของการกัดกร่อน (Forms of Corrosion)

รูปแบบของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะที่เกี่ยวข้อง ตำแหน่งที่สื่อก่อการกัดกร่อน (Corrosive Media) สัมผัสกับโลหะ และระยะเวลาที่โลหะสัมผัสกับสภาพแวดล้อมนั้น เพื่อความสะดวกในการอธิบาย รูปแบบของการกัดกร่อนในบทนี้จะเรียกตามชื่อที่องค์การบริหารการบินแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration: FAA) ใช้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

### 1.5.1 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อนสม่ำเสมอ (Uniform Etch Corrosion)

การกัดกร่อนแบบสึกกร่อนสม่ำเสมอ (Uniform Etch Corrosion) เกิดจากการโจมตีทางเคมีโดยตรงต่อผิวโลหะ และจำกัดอยู่เฉพาะบริเวณผิวโลหะเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1-3 “การกัดกร่อนแบบสึกกร่อนสม่ำเสมอ (Uniform Etch Corrosion)” บนผิวโลหะที่ผ่านการขัดเงา (Polished Surface) การกัดกร่อนชนิดนี้มักเริ่มปรากฏในลักษณะผิวหมองหรือด้านลงโดยทั่วไป (General Dulling) หากการกัดกร่อนดำเนินต่อไป ผิวโลหะจะมีความหยาบเพิ่มขึ้น และอาจมีลักษณะคล้ายถูกน้ำค้างจับหรือผิวฝ้า (Frosted Appearance) อย่างไรก็ตาม ควรสังเกตว่า การเปลี่ยนสีหรือความหมองของผิวโลหะที่เกิดจากการสัมผัสอุณหภูมิสูง (Elevated Temperature) ไม่ถือว่าเป็นการกัดกร่อนแบบสึกกร่อนสม่ำเสมอ



รูปที่ 1-3 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อนสม่ำเสมอ (Uniform Etch Corrosion)

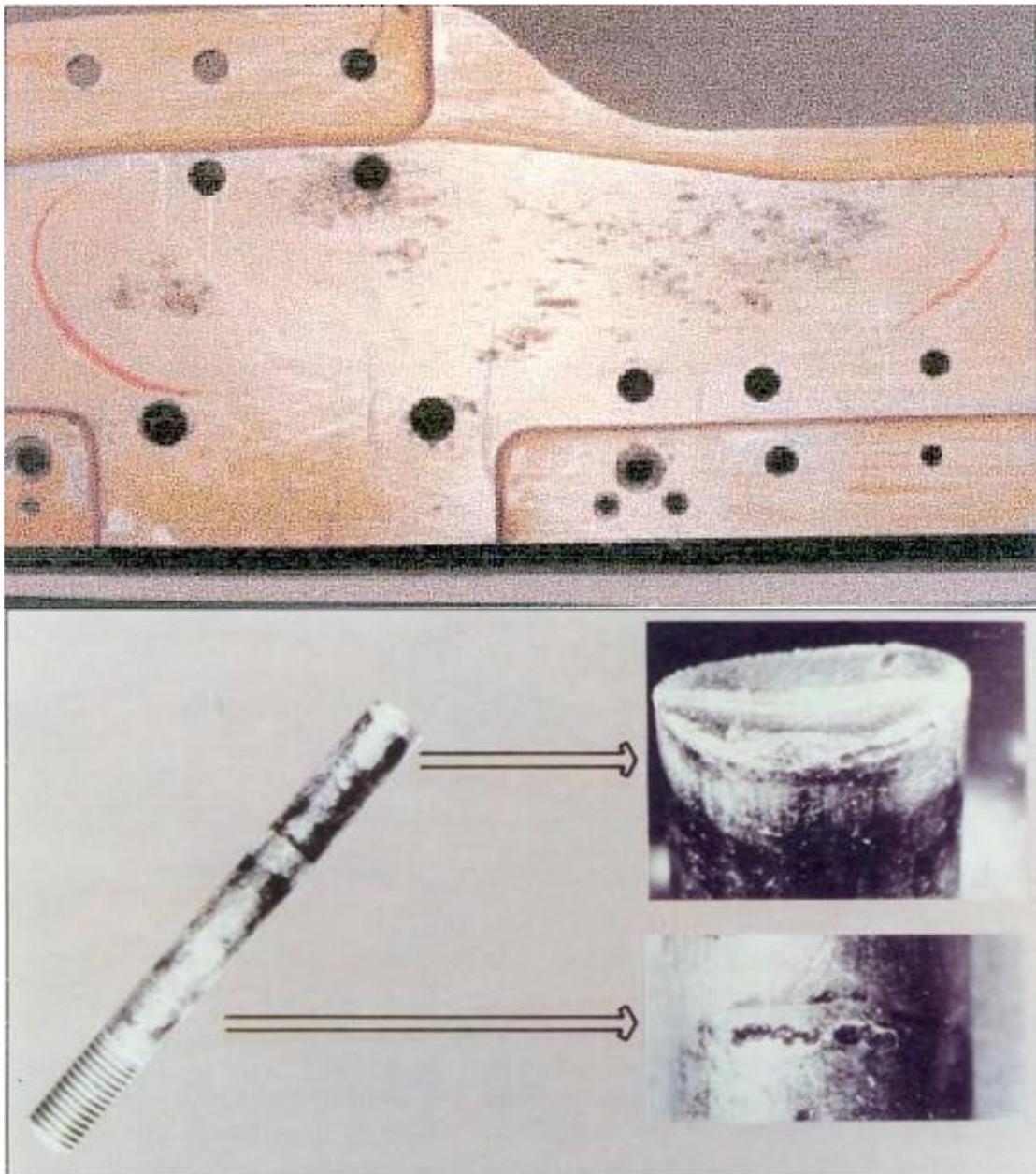
### 1.5.2 การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion)

การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) เป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่พบได้บ่อยที่สุดในโลหะผสมอะลูมิเนียม (Aluminum Alloys) และแมกนีเซียม (Magnesium Alloys) แต่อาจเกิดขึ้นได้กับโลหะผสมชนิดอื่นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 1-4 “การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion)”



ระยะเริ่มต้นของการกัดกร่อนชนิดนี้มักปรากฏในรูปของผงสีขาวหรือสีเทา ลักษณะคล้ายฝุ่นละออง (White or Gray Powdery Deposit) เกาะอยู่เป็นหย่อม ๆ บนผิวโลหะ เมื่อทำความสะอาดคราบดังกล่าวออก จะพบหลุมหรือรูขนาดเล็กจำนวนมากบนผิวโลหะ

สาเหตุสำคัญของการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมคือ การรวมตัวกันของแอโนดขนาดเล็กที่มีความไวต่อการกัดกร่อน (Small Active Anodes) กับแคโทดขนาดใหญ่ที่อยู่ในสภาพพาสซีฟ (Large Passive Cathodes) ซึ่งทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในบริเวณแอโนด หลักการเดียวกันนี้ยังสามารถเกิดขึ้นได้กับโลหะที่ถูกทำให้เกิดสภาพพาสซีฟจากกระบวนการทางเคมี (Chemical Treatment) หรือจากสภาพแวดล้อม (Environmental Conditions)



รูปที่ 1-4 การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion)

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)

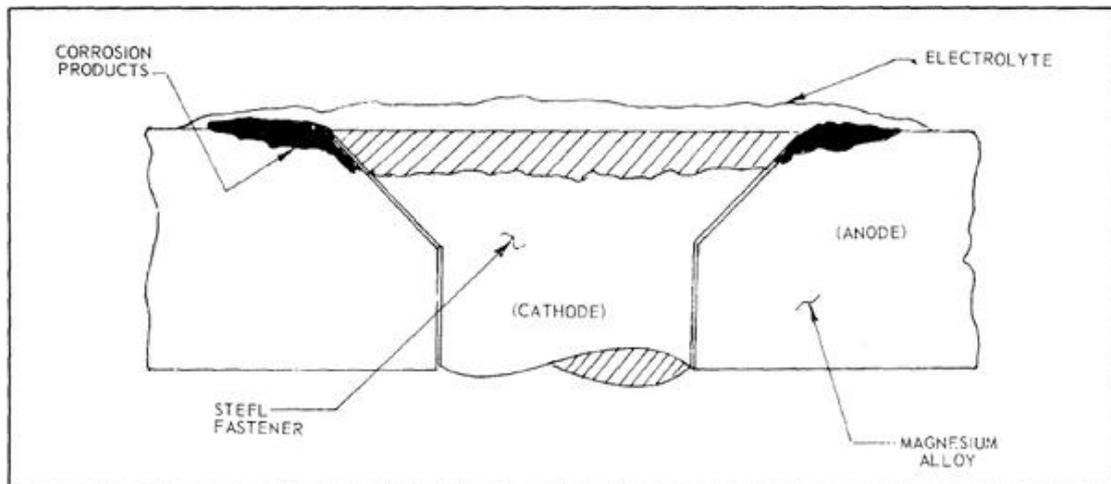
### 1.5.3 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion)

การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) เกิดขึ้นเมื่อโลหะต่างชนิดกันสองชนิดขึ้นไปมีการสัมผัสทางไฟฟ้า (Electrical Contact) ต่อกันในขณะที่มีอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) อยู่ในสภาพแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 2-5 “การกัดกร่อนแบบกัลวานิกของแมกนีเซียมที่อยู่ติดกับตัวยึดเหล็กกล้า (Galvanic Corrosion of Magnesium Adjacent to Steel Fastener)”

อัตราการเกิดการกัดกร่อนชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความว่องไวทางเคมีหรือกิจกรรมปฏิกิริยา (Reaction Activity) ระหว่างโลหะต่างชนิดกัน ยิ่งความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Potential) ระหว่างโลหะทั้งสองมากเท่าใด การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วและรุนแรงมากขึ้นเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น แผ่นผิวอะลูมิเนียมของปีกอากาศยาน (Aluminum Skin Panels) และแผ่นเสริมแรงสแตนเลสสตีล (Stainless Steel Doublers) ที่ยึดติดกันด้วยหมุดย้ำหรือสลักเกลียว หากมีความชื้นและสิ่งปนเปื้อนอยู่ จะเกิดการรวมตัวเป็นคู่อัลวานิก (Galvanic Couple) ทำให้เกิดการกัดกร่อนในบริเวณโลหะที่มีความว่องไวทางเคมีมากกว่า

นอกจากนี้ อัตราการกัดกร่อนแบบกัลวานิกยังขึ้นอยู่กับขนาดหรือพื้นที่ผิวของชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน หากพื้นที่ผิวของโลหะที่เกิดการกัดกร่อน (แอโนด: Anode) มีขนาดเล็กกว่า พื้นที่ผิวของโลหะที่มีความว่องไวทางเคมีน้อยกว่า (แคโทด: Cathode) การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง ในทางตรงกันข้าม หากโลหะที่ทำหน้าที่เป็นแอโนดมีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่กว่าแคโทด การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นช้าลงและมีลักษณะตื้นหรือผิวผืน



รูปที่ 2-5 การกัดกร่อนแบบกัลวานิกของแมกนีเซียมที่อยู่ติดกับตัวยึดเหล็กกล้า



#### 1.5.4 การกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้น หรือการกัดกร่อนในร่อง (Concentration Cell Corrosion หรือ Crevice Corrosion)

การกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้น หรือการกัดกร่อนในร่อง (Concentration Cell Corrosion หรือ Crevice Corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อโลหะกับโลหะ (Metal-to-Metal Joint) บริเวณขอบของรอยต่อของโลหะชนิดเดียวกัน หรือบริเวณผิวโลหะที่ถูกปกคลุมด้วยวัสดุแลกเปลี่ยน เช่น สิ่งสกปรก คราบตะกอน หรือซีลแลนต์ (Sealant) ดังแสดงในรูปที่ 2-6 “การกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้น (Concentration Cell Corrosion)”

การกัดกร่อนชนิดนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ดังนี้

ก. เซลล์ความเข้มข้นของไอออนโลหะ (Metal Ion Concentration Cells) เกิดขึ้นเมื่อมีสารละลายของเหลว ซึ่งอาจเป็นน้ำที่มีไอออนของโลหะละลายอยู่ สัมผัสกับผิวโลหะ บริเวณใต้ผิวสัมผัสหรือผิวประกบ (Faying Surfaces) มักจะมีสารละลายที่หยุดนิ่ง ทำให้มีความเข้มข้นของไอออนโลหะสูง ในขณะที่บริเวณใกล้เคียงรอยแยกจะมีความเข้มข้นของไอออนโลหะต่ำกว่า

ความแตกต่างของความเข้มข้นดังกล่าวจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองตำแหน่ง โดยบริเวณที่สัมผัสกับสารละลายที่มีความเข้มข้นของไอออนโลหะต่ำจะทำหน้าที่เป็นแอโนด (Anode) และเกิดการกัดกร่อน ในขณะที่บริเวณที่มีความเข้มข้นของไอออนโลหะสูงจะทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) และไม่แสดงลักษณะการกัดกร่อน รูปที่ 1-6 แสดงตัวอย่างการกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้นของไอออนโลหะ

ข. เซลล์ความเข้มข้นของออกซิเจน (Oxygen Concentration Cells) โดยทั่วไป สารละลายที่สัมผัสกับผิวโลหะจะมีออกซิเจนละลายอยู่ เซลล์ความเข้มข้นของออกซิเจนจะเกิดขึ้นในบริเวณที่ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถแพร่เข้าสู่สารละลายได้ ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนระหว่างสองตำแหน่งที่ผิวโลหะสัมผัสกับสารละลาย

ตำแหน่งที่มักพบการกัดกร่อนชนิดนี้ ได้แก่

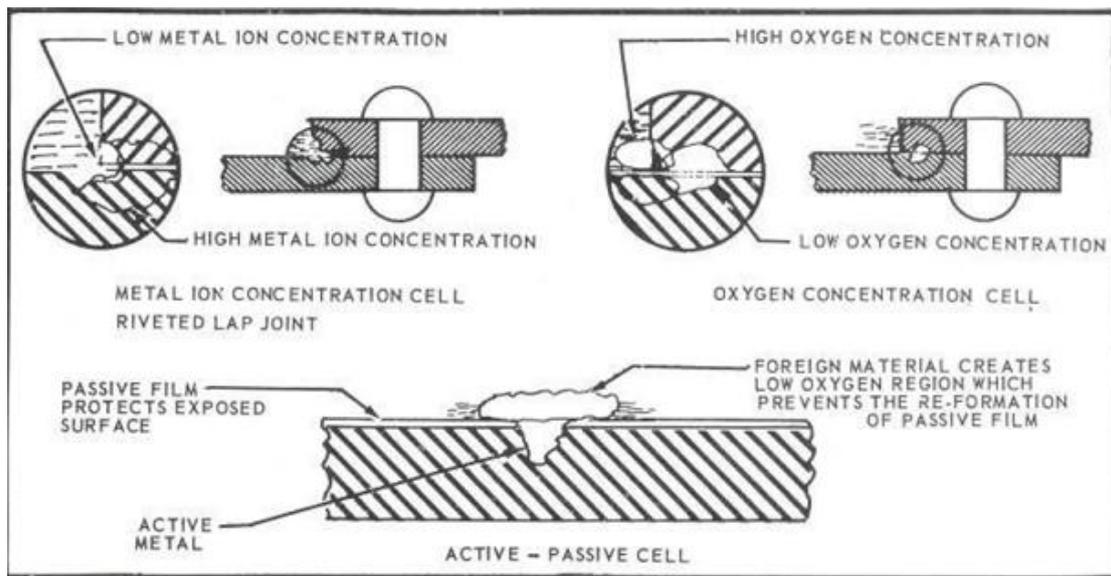
1. บริเวณใต้คราบโลหะหรือคราบที่ไม่ใช่โลหะบนผิวโลหะ
2. ผิวประกบ เช่น รอยต่อปีกแบบย้ำหมุด (Riveted Lap Joints)
3. บริเวณที่มีปะเก็น (Gaskets) ไม้ ยาง หรือวัสดุอื่นสัมผัสกับผิวโลหะ

การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ ซึ่งทำหน้าที่เป็นแอโนด ดังที่แสดงในรูปที่ 1-6 โลหะผสมบางชนิด เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ซึ่งมีความต้านทานการกัดกร่อนจากการเกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive Film) บนผิวโลหะ จะมีความไวต่อการกัดกร่อนในร่องชนิดนี้เป็นพิเศษ

ค. เซลล์แอคทีฟ-พาสซีฟ (Active-Passive Cells) โลหะที่อาศัยฟิล์มพาสซีฟที่ยึดเกาะแน่นกับผิวโลหะ เช่น ฟิล์มออกไซด์ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน โดยเฉพาะเหล็กกล้าทนการกัดกร่อน (Corrosion



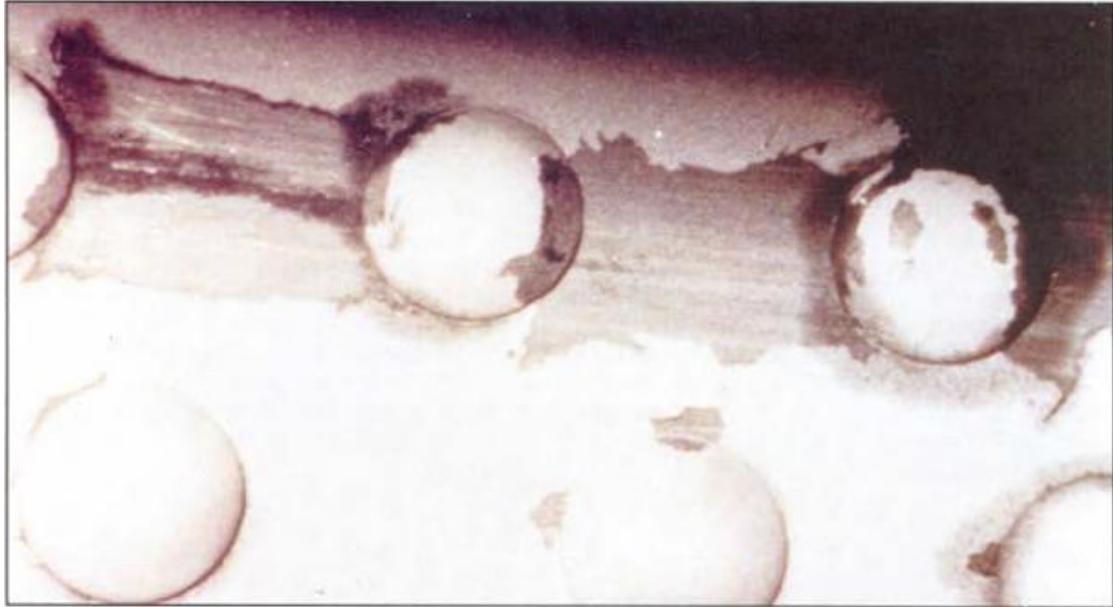
Resistant Steel: CRES) มีแนวโน้มเกิดการกัดกร่อนแบบเซลล์แอคทีฟ-พาสซีฟได้ง่าย โดยทั่วไป การกัดกร่อนชนิดนี้เริ่มต้นจากการเกิดเซลล์ความเข้มข้นของออกซิเจน ตัวอย่างเช่น การสะสมของเกลือบนผิวโลหะร่วมกับน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ จะทำให้เกิดเซลล์ออกซิเจน ฟิล์มพาสซีฟได้คราบสิ่งสกปรกจะถูกทำลาย เมื่อฟิล์มพาสซีฟแตกตัว การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นกับโลหะที่อยู่ในสภาพแอคทีฟ ใต้ฟิล์มนั้น ศักย์ไฟฟ้าจะเกิดขึ้นระหว่างพื้นที่แคโทดขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณที่ยังคงมีฟิล์มพาสซีฟกับพื้นที่แอโนดขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโลหะที่อยู่ในสภาพแอคทีฟ ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 1-6



รูปที่ 1-6 การกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้น (Concentration Cell Corrosion)

### 1.5.5 การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion)

การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นตามแนวขอบเขตของเกรน (Grain Boundaries) ของโลหะ โดยแต่ละเกรนจะมีขอบเขตที่มีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างจากโลหะภายในเกรน เมื่อสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ ขอบเกรนและศูนย์กลางของเกรนสามารถทำปฏิกิริยาต่อกันในลักษณะแอโนดและแคโทดได้ การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเฉพาะเจาะจงตามแนวขอบเกรน ซึ่งอาจนำไปสู่การแยกชั้นของเนื้อโลหะ (Delamination) ดังแสดงในรูปที่ 1-7 “การแตกร้าวและการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนบนคานปีกอากาศยาน (Intergranular Cracking and Corrosion on a Wing Spar Chord)” โลหะผสมอะลูมิเนียมความแข็งแรงสูง เช่น อัลลอยด์ตระกูล 2014 หรือ 7075 จะมีความไวต่อการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนเป็นพิเศษ หากผ่านกระบวนการอบชุบความร้อนที่ไม่เหมาะสม และถูกนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน



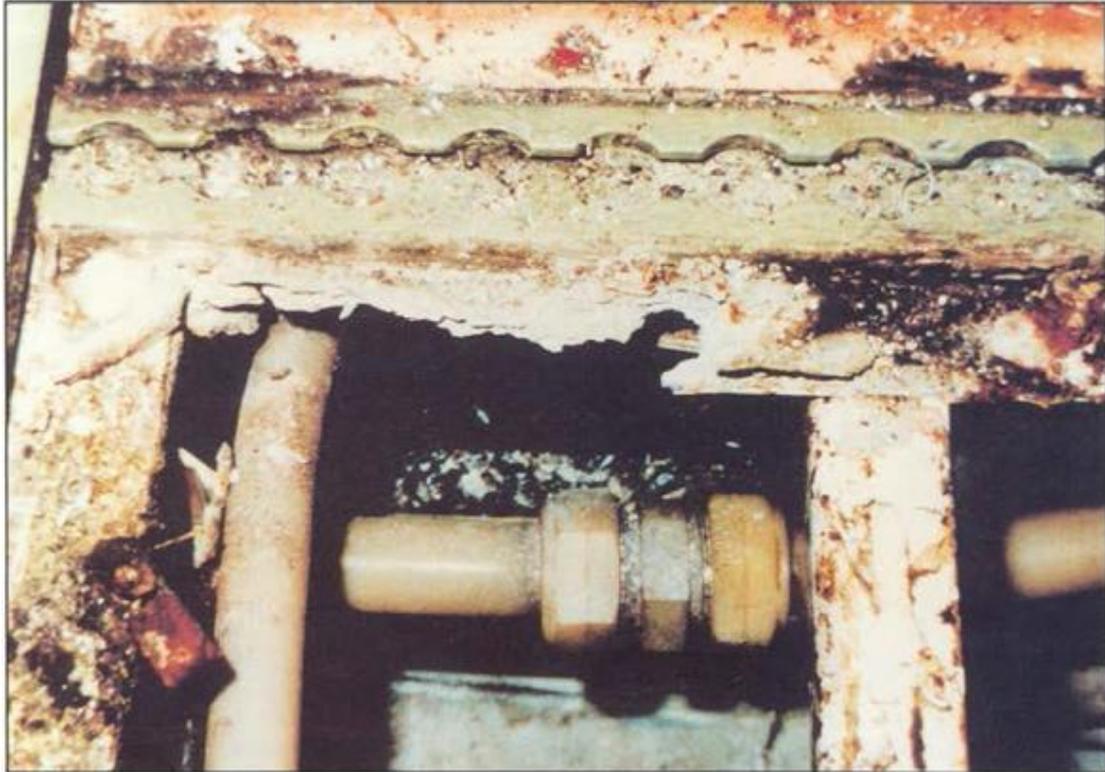
รูปที่ 1-7 การแตกร้าวและการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนบนคานปีกอากาศยาน

### 1.5.6 การกัดกร่อนแบบลอกชั้น (Exfoliation Corrosion)

การกัดกร่อนแบบลอกชั้น (Exfoliation Corrosion) เป็นรูปแบบการกัดกร่อนขั้นรุนแรงของการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) โดยเกิดจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน (Corrosion Products) ที่ขยายตัวขึ้นภายในแนวขอบเกรน (Grain Boundaries) ส่งผลให้เกิดแรงดันดันเกรนบริเวณผิวโลหะให้ยกตัวหรือพองขึ้นจากเนื้อโลหะด้านล่าง

ลักษณะการยกตัวหรือการพองของผิวโลหะ (Lifting Up or Swelling) เป็นหลักฐานที่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนของการกัดกร่อนแบบลอกชั้น การกัดกร่อนชนิดนี้มักพบในชิ้นส่วนโลหะที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูป เช่น การอัดรีด (Extruded) การรีด (Rolled) การขึ้นรูปแบบตีขึ้นรูป (Wrought) และการตีขึ้นรูป (Forged) โดยเฉพาะชิ้นส่วนอะลูมิเนียมและแมกนีเซียมที่มีความแข็งแรงสูง

ตัวอย่างการกัดกร่อนแบบลอกชั้นที่รุนแรงแสดงไว้ในรูปที่ 1-8 “การกัดกร่อนแบบลอกชั้นอย่างรุนแรงของรางที่นั่ง (Severe Exfoliation Corrosion of a Seat Track)” และรูปที่ 1-9 “การกัดกร่อนแบบลอกชั้นอย่างรุนแรง (Severe Exfoliation Corrosion)”



รูปที่ 1-8 การกัดกร่อนแบบลอกชั้นอย่างรุนแรงของรางที่นั่ง



รูปที่ 1-9 การกัดกร่อนแบบลอกชั้นอย่างรุนแรง



### 1.5.7 การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์ม (Filiform Corrosion)

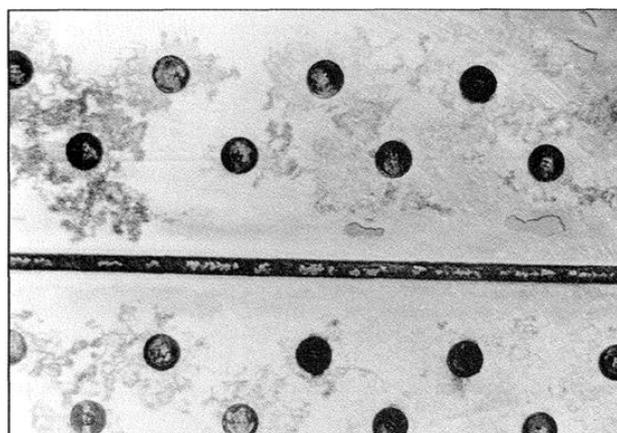
การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์ม (Filiform Corrosion) เป็นรูปแบบพิเศษของการกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้นของออกซิเจน (Oxygen Concentration Cell Corrosion) หรือการกัดกร่อนในร่อง (Crevice Corrosion) ซึ่งเกิดขึ้นบนผิวโลหะที่มีระบบการเคลือบผิวด้วยสารอินทรีย์ (Organic Coating System) เช่น สีรองพื้นและสีทับหน้า

การกัดกร่อนชนิดนี้สามารถสังเกตได้จากร่องรอยของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่มีลักษณะคล้ายเส้นหนอน (Worm-like Trace) ซึ่งแผ่กระจายอยู่ที่ฟิล์มสี ดังแสดงในรูปที่ 1-10 “การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์ม (Filiform Corrosion)” และรูปที่ 1-11 “การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์มก่อนและหลังการลอกสี (Filiform Corrosion Before and After Paint Removal)”

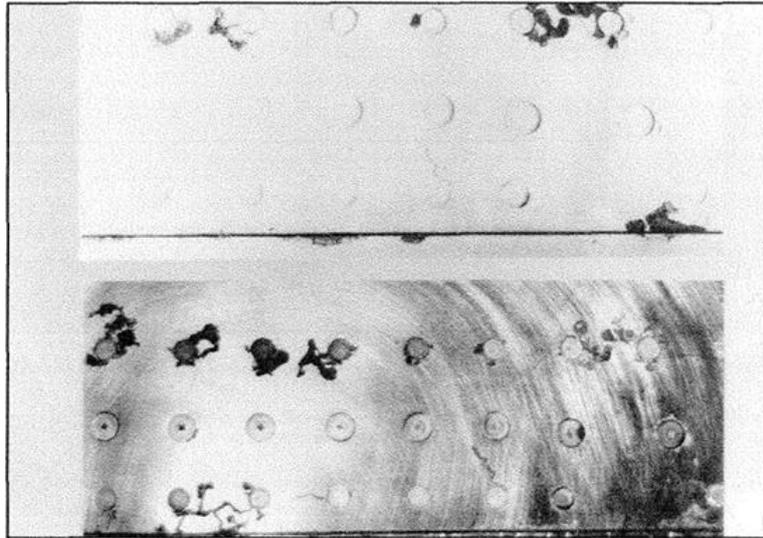
การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์มมักเกิดขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (Relative Humidity) อยู่ในช่วงประมาณ 78 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และผิวโลหะมีสภาพเป็นกรดอ่อน (Slightly Acidic) การกัดกร่อนจะเริ่มต้นจากตำแหน่งที่ระบบการเคลือบผิวเกิดความเสียหาย เช่น รอยแตก รอยบิ่น หรือขอบของชั้นสี จากนั้นการกัดกร่อนจะลุกลามไปได้ชั้นเคลือบ เนื่องจากการแพร่ผ่าน (Diffusion) ของไอน้ำและออกซิเจนในอากาศผ่านชั้นสี

การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์มสามารถเกิดขึ้นได้กับผิวเหล็ก (Steel) และอะลูมิเนียม (Aluminum) หากปล่อยทิ้งไว้โดยไม่กำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน ทำการปรับสภาพผิว (Surface Treatment) และเคลือบผิวป้องกันใหม่ อาจนำไปสู่การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) โดยเฉพาะบริเวณรอบตัวยึด (Fasteners) และแนวรอยต่อ (Seams)

การป้องกันการกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์มสามารถทำได้โดยการเก็บรักษาอากาศยานในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ การเลือกใช้ระบบการเคลือบผิวที่มีอัตราการแพร่ผ่านของออกซิเจนและไอน้ำต่ำ รวมถึงการล้างทำความสะอาดอากาศยานอย่างสม่ำเสมอเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น มลภาวะในอากาศ ออกจากผิวอากาศยาน



รูปที่ 1-10 การกัดกร่อนแบบฟิลิฟอร์ม (Filiform Corrosion)



รูปที่ 1-11 “การกัดกร่อนแบบฟิล์มก่อนและหลังการลอกสี

### 1.6 การกัดกร่อนและปัจจัยทางกล (Corrosion and Mechanical Factors)

ปัจจัยทางกล (Mechanical Factors) มักมีส่วนช่วยเร่งหรือทำให้การกัดกร่อนรุนแรงขึ้น โดยอาจเกิดจากความเค้นตกค้างภายในชิ้นส่วน (Residual Stress) หรือจากภาระโหลดแบบเป็นรอบ (Cyclic Service Loads) ที่กระทำต่อชิ้นส่วนระหว่างการใช้งาน ระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม องค์ประกอบของโลหะผสม (Alloy Composition) การกัดเซาะจากทรายหรือน้ำฝน (Erosion by Sand or Rain) และการสึกหรอทางกล (Mechanical Wear)

ปัจจัยเหล่านี้มักทำงานร่วมกันโดยทำให้ฟิล์มป้องกันบนผิวโลหะ (Surface Protective Films) ถูกทำลายหรือหลุดออก ส่งผลให้ผิวโลหะด้านล่างสัมผัสกับสภาพแวดล้อมและเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น การกัดกร่อนที่มีปัจจัยทางกลเข้ามาช่วยมักทำให้ชิ้นส่วนเสื่อมสภาพเร็วกว่าเมื่อเกิดการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว

ตัวอย่างของการทำงานร่วมกันระหว่างการกัดกร่อนและปัจจัยทางกล ได้แก่ การแตกร้าจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion Cracking) การล้าจากการกัดกร่อน (Corrosion Fatigue) และการกัดกร่อนจากการเสียดสี (Fretting Corrosion)

#### 1.6.1 การแตกร้าจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion Cracking: SCC)

การแตกร้าจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion Cracking) เป็นการแตกร้าตามแนวขอบเกรน (Intergranular Cracking) ของโลหะ ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของความเค้น (Stress) และการกัดกร่อน (Corrosion) ดังแสดงในรูปที่ 1-12 ถึง 1-14

ความเค้นที่ก่อให้เกิด SCC อาจมาจากโหลดภายใน (Internal Stress) หรือโหลดภายนอก (External Loading) สาเหตุของความเค้นภายใน ได้แก่ การเสียดสีที่ไม่สม่ำเสมอระหว่างการขึ้นรูป



เย็น (Cold Working) การเย็นตัวไม่เท่ากันหลังจากอุณหภูมิสูง หรือการจัดเรียงโครงสร้างภายในใหม่ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของโลหะ

ความเค้นภายในยังสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการประกอบ (Assembly Operation) เช่น การอัดบุช (Pressing in Bushings) การหดขึ้นส่วนเพื่อให้เกิดการอัดแน่น (Shrink Fit) การติดตั้งสลักเกลียวแบบอัดแน่น (Interference Bolts) หรือการย้ำหมุด (Riveting)

ความเค้นที่ซ่อนอยู่ภายในโครงสร้าง (Concealed Stress) ถือว่ามีความอันตรายมากกว่าความเค้นจากการออกแบบ (Design Stress) เนื่องจากการแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น มักตรวจพบได้ยาก ก่อนที่โครงสร้างจะสูญเสียค่าความปลอดภัยตามการออกแบบ (Design Safety Factor)

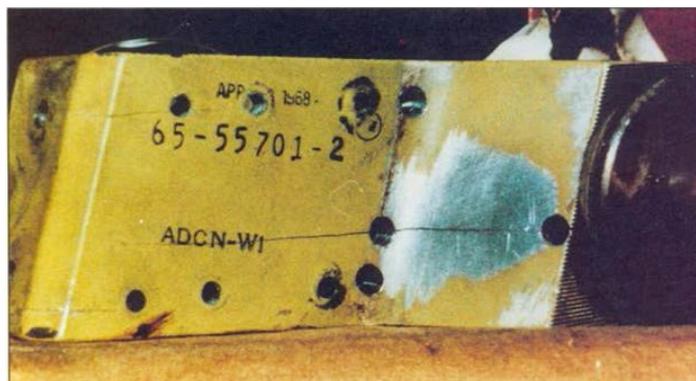
ระดับของความเค้นจะไม่สม่ำเสมอในแต่ละตำแหน่งของโลหะ โดยทั่วไปบริเวณที่มีความเค้น เข้าใกล้ค่าคราก (Yield Strength) จะเอื้อต่อการเกิดการแตกร้าวแบบ SCC เป็นพิเศษ

มีการระบุสภาพแวดล้อมเฉพาะที่ทำให้โลหะผสมบางชนิดเกิด SCC ได้ เช่น

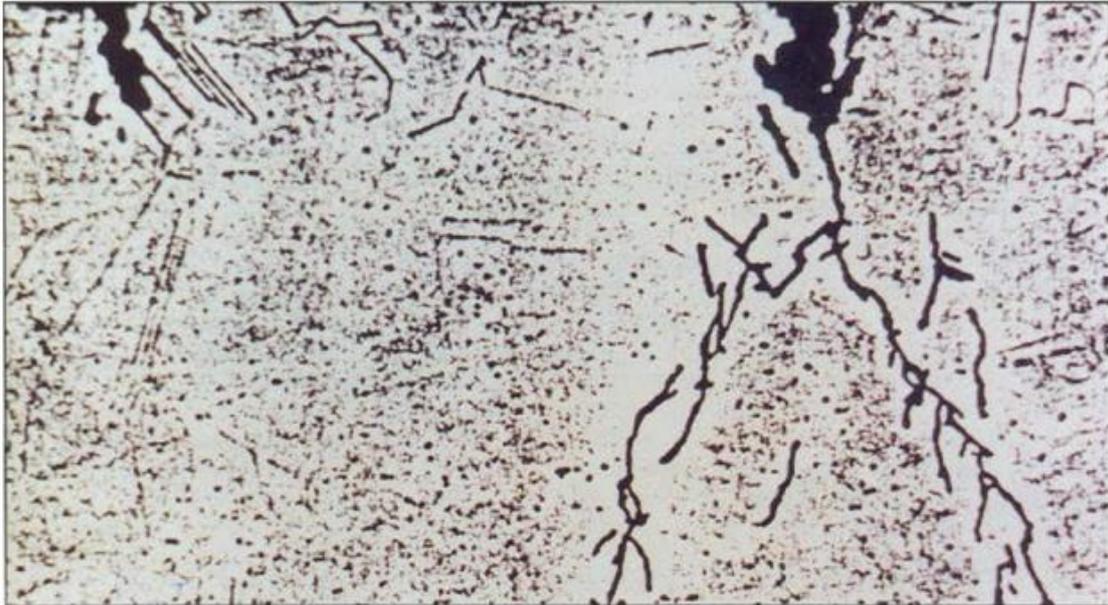
- สารละลายเกลือและน้ำทะเล อาจทำให้เกิด SCC ในเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่ผ่านการอบชุบ และอะลูมิเนียมอัลลอยด์
- สารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริก (Methyl Alcohol-Hydrochloric Acid Solutions) สามารถทำให้ไทเทเนียมอัลลอยด์บางชนิดเกิด SCC
- แมกนีเซียมอัลลอยด์อาจเกิด SCC ได้ในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูง

การลดโอกาสเกิดการแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้นสามารถทำได้โดย การเคลือบผิวป้องกัน (Protective Coatings) การอบคลายความเค้น (Stress Relief Heat Treatment) การใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitors) หรือการควบคุมสภาพแวดล้อม

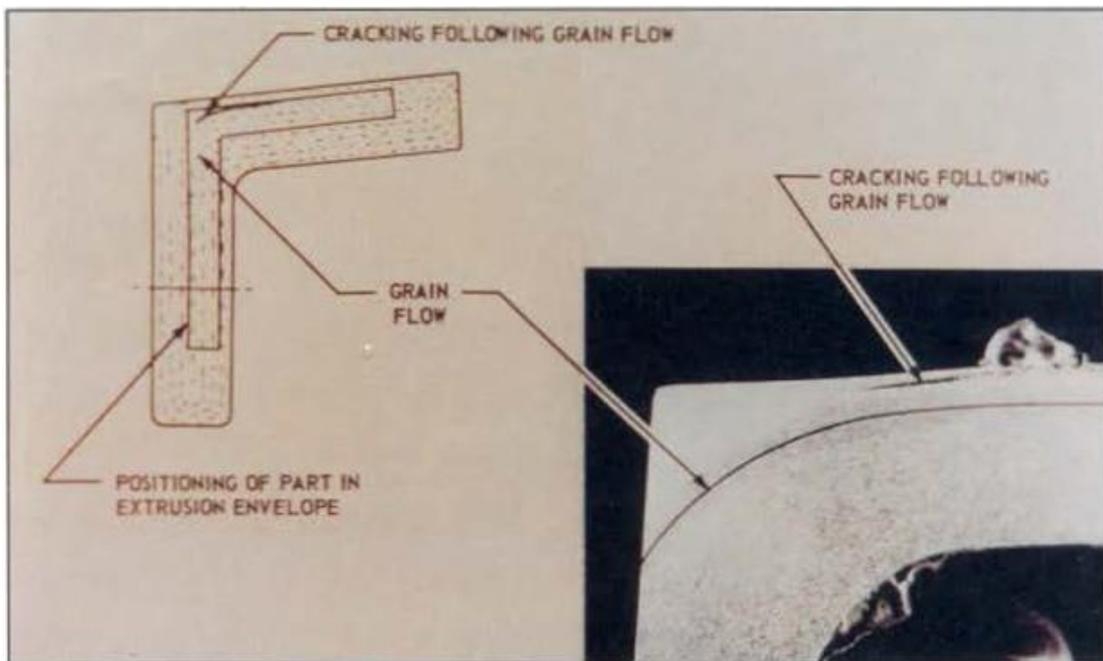
นอกจากนี้ การยิงเม็ดโลหะ (Shot Peening) บนผิวโลหะจะทำให้เกิดความเค้นอัด (Compressive Stress) บนผิว ซึ่งช่วยลดโอกาสการเกิด SCC และเพิ่มค่าความเค้นขีดเริ่มต้น (Threshold Stress Level) ที่ทำให้เกิดการแตกร้าว



รูปที่ 1-12 การแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้นของชิ้นส่วนอัลลอยด์อะลูมิเนียม 7079-T6



รูปที่ 1-13 การแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้นที่เริ่มต้นจากหลุมกัดกร่อนบนวัสดุเหล็กกล้าทนการกัดกร่อน (CRES)



รูปที่ 1-14 การแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้นของชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวนการอัดรีด

### 1.6.2 การล้าจากการกัดกร่อน (Corrosion Fatigue)

การล้าจากการกัดกร่อน (Corrosion Fatigue) เป็นความเสียหายที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของความเค้นแบบเป็นรอบ (Cyclic Stress) และการกัดกร่อน (Corrosion) ซึ่งกระบวนการเกิดความเสียหายสามารถแบ่งออกเป็นสองระยะ ไม่มีโลหะชนิดใดที่สามารถต้านทานความเค้นแบบเป็นรอบได้ หากโลหะนั้นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



โดยทั่วไป ความเสียหายจากการล้าจากการกัดกร่อนจะรุนแรงกว่าความเสียหายที่เกิดจากความเค้นแบบเป็นรอบเพียงอย่างเดียว หรือการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว ความล้มเหลวจากการล้าจากการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นเป็นสองระยะ ได้แก่

ในระยะแรก การกัดกร่อนร่วมกับความเค้นแบบเป็นรอบจะทำให้โลหะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง โดยเกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting) และการก่อตัวของรอยร้าว (Crack Formation) แม้ว่าสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนจะถูกกำจัดออกไปโดยสิ้นเชิงแล้ว การแตกหักจากความเค้นแบบเป็นรอบก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้ในที่สุด

ระยะที่สอง คือ การขยายตัวของรอยร้าว (Crack Propagation) ซึ่งมักเริ่มลุกลามจากหลุมกัดกร่อน ผลของความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration Effects) และคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะ (Physical Properties of the Metal) เป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมพฤติกรรมการขยายตัวของรอยร้าว

โดยทั่วไป การแตกหักของชิ้นส่วนโลหะจากการล้าจากการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นที่ระดับความเค้นซึ่งต่ำกว่าค่าขีดจำกัดความล้า (Fatigue Limit) ที่ได้จากการทดสอบในอากาศปกติในห้องปฏิบัติการ แม้ว่า การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจะมีระดับไม่รุนแรงก็ตาม ด้วยเหตุนี้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปกป้องชิ้นส่วนทุกชิ้นที่รับความเค้นแบบเป็นรอบ แม้จะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเพียงเล็กน้อย

### 1.6.3 การกัดกร่อนจากการเสียดสีสั้น (Fretting Corrosion)

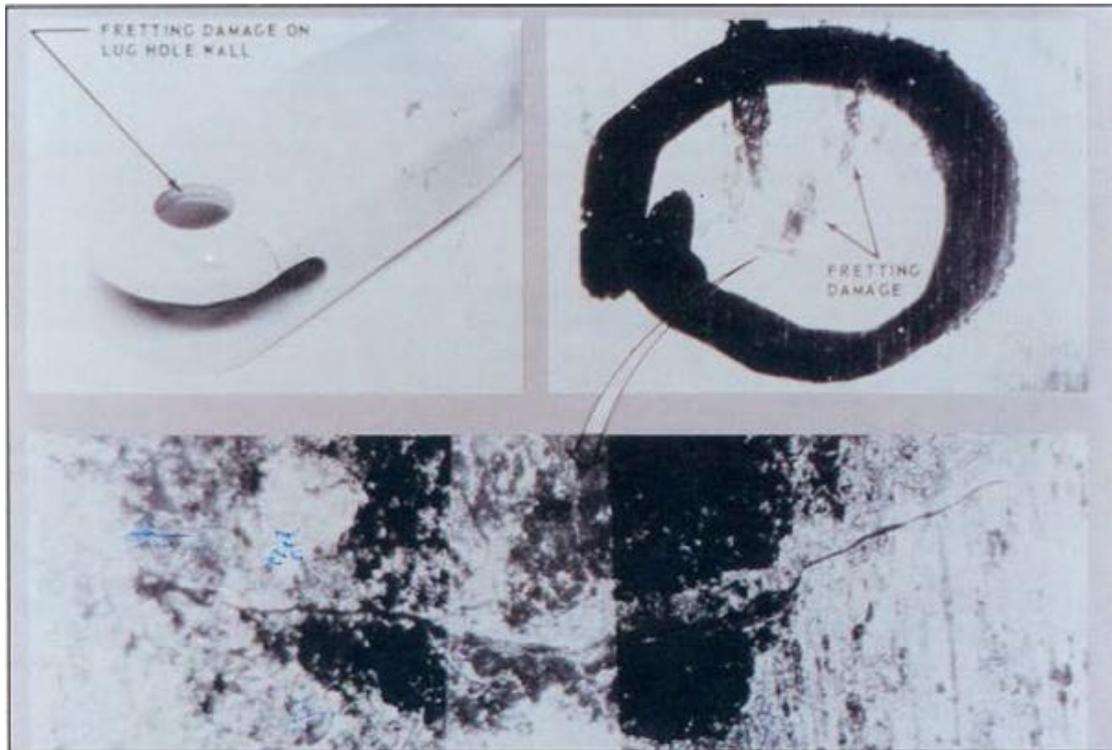
การกัดกร่อนจากการเสียดสีสั้น (Fretting Corrosion) เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิวที่รับโหลดสูงและถูกยึดให้อยู่นิ่งต่อกัน อย่างไรก็ตาม การสั่นสะเทือน (Vibration) ระหว่างการใช้งานอาจทำให้พื้นผิวทั้งสองเกิดการเสียดสีกันในระยะสั้น ๆ ซ้ำ ๆ ส่งผลให้เกิดการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) ซึ่งเรียกว่า การเสียดสีสั้น (Fretting)

การเสียดสีดังกล่าวจะทำให้ฟิล์มป้องกันบนผิวโลหะ (Protective Film) ถูกกำจัดออกไป การเสียดสีอย่างต่อเนื่องจะขัดขวางการก่อตัวของฟิล์มออกไซด์ป้องกัน (Protective Oxide Film) และทำให้ผิวโลหะใหม่ที่มีความว่องไวทางเคมี (Active Metal Surface) สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรง

การกัดกร่อนจากการเสียดสีสั้นสามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมอย่างรุนแรง และอาจนำไปสู่การแตกร้าวจากความเค้นแบบเป็นรอบ ดังแสดงในรูปที่ 2-15 “การกัดกร่อนจากการเสียดสีสั้นและการแตกร้าวจากโหลดแบบเป็นรอบของหูยึด (Fretting Corrosion and Cracking from Cyclic Loading of Lug)”

มาตรการป้องกันการกัดกร่อนจากการเสียดสีสั้น ได้แก่ การลดหรือดูดซับการสั่นสะเทือน (Vibration Dampening) การขันรอยต่อให้แน่น (Tightening Joints) การใช้สารหล่อลื่น

(Lubricant) หรือการติดตั้งวัสดุที่ทนต่อการเสียดสีสั้น (Fretting-Resistant Material) ระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง



รูปที่ 1-15 การกัดกร่อนจากการเสียดสีสั้นและการแตกร้าวจากโหลดแบบเป็นรอบของหูยึด

#### 1.6.4 การอบชุบความร้อน (Heat Treatment)

การอบชุบความร้อนของวัสดุโครงสร้างอากาศยานต้องได้รับการควบคุมอย่างเคร่งครัด เพื่อคงไว้ซึ่งความต้านทานการกัดกร่อน และเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลที่จำเป็น หากการอบชุบความร้อนของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ชนิดเคลือบผิว (Clad Aluminum Alloy) ใช้เวลานานเกินไป หรือดำเนินการที่อุณหภูมิสูงเกินควร อาจทำให้ชั้นเคลือบ (Cladding) เกิดการแพร่ (Diffusion) เข้าไปในเนื้อโลหะ ส่งผลให้คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนของชั้นเคลือบลดลง และลดประสิทธิภาพในการป้องกันเนื้ออะลูมิเนียมอัลลอยด์ด้านใน

อะลูมิเนียมอัลลอยด์ที่มีปริมาณทองแดง (Copper) และสังกะสี (Zinc) สูง จะมีความไวต่อการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) เป็นอย่างมาก หากไม่ได้รับการชุบเย็นอย่างรวดเร็ว (Rapid Quenching) ในระหว่างกระบวนการอบชุบความร้อน

ในกรณีของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Alloys) หากมีการเย็นตัวช้าเกินไปหลังการเชื่อม (Welding) หรือหลังการอบชุบที่อุณหภูมิสูง อาจทำให้เกิดการไวต่อคาร์ไบด์ (Carbide Sensitization) ซึ่งลดความต้านทานการกัดกร่อนของวัสดุ โดยทั่วไป การอบชุบความร้อนหลังการ

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



เชื่อม (Post-Weld Heat Treatment) มักเป็นวิธีที่เหมาะสมในการลดความเค้นตกค้าง (Residual Stress)

### 1.6.5 ความเปราะจากไฮโดรเจน (Hydrogen Embrittlement)

ความล้มเหลวของวัสดุที่เกิดจากสภาพแวดล้อม (Environmentally-Induced Failures) ในหลายกรณี มิได้เกิดจากการออกซิเดชัน (Oxidation) เพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรเจน (Hydrogen Damage)

ไฮโดรเจนในรูปอะตอม (Atomic Hydrogen) เป็นผลิตภัณฑ์ทางแคโทด (Cathodic Product) ของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีหลายชนิด ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการกัดกร่อนตามธรรมชาติ รวมถึงในกระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) หรือการกัดผิวด้วยกรด (Pickling) การที่ไฮโดรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปก๊าซ หรือถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อโลหะ ขึ้นอยู่กับเคมีของผิวโลหะ (Surface Chemistry)

เนื่องจากอะตอมไฮโดรเจนมีขนาดเล็กและมวลต่ำ จึงสามารถแพร่ (Diffuse) ได้อย่างรวดเร็วในโลหะส่วนใหญ่ ไฮโดรเจนสามารถแทรกซึมผ่านผิวโลหะที่สะอาดได้ง่าย และเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่เอื้อต่อการสะสม ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสารละลายในโลหะ (Remain in Solution) ตกผลึกเป็นไฮโดรเจนโมเลกุล (Molecular Hydrogen) ทำให้เกิดโพรงที่มีความดันสูง รอยร้าว หรือแผลพองขนาดใหญ่ (Blisters) หรือทำปฏิกิริยากับโลหะพื้นฐานหรือธาตุผสมเพื่อเกิดไฮไดรด์ (Hydrides)

การสะสมของไฮโดรเจนในโลหะผสมที่มีความแข็งแรงสูง (High-Strength Alloys) มักนำไปสู่การแตกร้าว ซึ่งอาจเกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่รับโหลดคงที่ (Statically Loaded Components) ภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงหรือหลายวันหลังจากการรับโหลด หรือหลังจากสัมผัสแหล่งกำเนิดไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้เรียกว่า การแตกร้าวจากไฮโดรเจนภายใต้ความเค้น (Hydrogen Stress Cracking) การแตกร้าวแบบหน่วงเวลา (Hydrogen Delayed Cracking) หรือการแตกร้าวที่เกิดจากไฮโดรเจน (Hydrogen-Induced Cracking)

กระบวนการแตกหักลักษณะเดียวกันนี้อาจเกิดขึ้นได้กับชิ้นส่วนใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน หลังจากการอบชุบความร้อนหรือการกลึง แล้วนำไปสัมผัสกับแหล่งกำเนิดไฮโดรเจน ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงต้องอยู่ภายใต้การควบคุมอย่างเหมาะสม เพื่อลดการเกิดไฮโดรเจนให้น้อยที่สุด โดยเฉพาะในกระบวนการ เช่น การกัดผิวด้วยกรด หรือการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า



## 1.7 สารก่อการกัดกร่อนที่พบบ่อย (Common Corrosive Agents)

สารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะเรียกว่า สารก่อการกัดกร่อน (Corrosive Agents) สารเหล่านี้ที่พบได้บ่อยที่สุด ได้แก่ กรด (Acids) ต่าง (Alkalis) และเกลือ (Salts) นอกจากนี้ บรรยากาศ (Atmosphere) และน้ำ (Water) ซึ่งเป็นสื่อกลางที่พบได้ทั่วไป ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารก่อการกัดกร่อนได้เช่นกัน

### 1.7.1 กรด (Acids)

โดยทั่วไป กรดที่มีความแรงในระดับปานกลางถึงสูง จะสามารถกัดกร่อนโลหะผสมของโครงสร้างอากาศยานส่วนใหญ่ได้อย่างรุนแรง สารก่อการกัดกร่อนที่มีอันตรายสูงในกลุ่มกรด ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) ซึ่งพบในน้ำกรดแบตเตอรี่ กรดในกลุ่มฮาโลเจน (Halogen Acids) เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric Acid) และกรดไฮโดรโบรมิก (Hydrobromic Acid) รวมถึงสารประกอบไนโตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide Compounds) และกรดอินทรีย์ (Organic Acids) ที่พบในของเสียจากมนุษย์และสัตว์

### 1.7.2 ต่าง (Alkalis)

โดยทั่วไป สารต่าง (Alkalis) จะมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยกว่าสารกรด อย่างไรก็ตาม สารละลายต่างสามารถโจมตีโลหะผสมอะลูมิเนียม (Aluminum Alloys) และแมกนีเซียม (Magnesium Alloys) ได้อย่างรุนแรง หากไม่มีสารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor) ผสมอยู่

สารต่างที่มีฤทธิ์กัดกร่อนอะลูมิเนียมเป็นพิเศษ ได้แก่ โซดาซักผ้า (Washing Soda) โพแทช (Potash) ซึ่งถ้าไม่เป็นตัวอย่างหนึ่ง และปูนขาว (Lime) ซึ่งฝุ่นปูนซีเมนต์เป็นตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม แอมโมเนีย (Ammonia) ซึ่งเป็นสารต่างอีกชนิดหนึ่ง ถือเป็นข้อยกเว้น เนื่องจากโลหะผสมอะลูมิเนียมมีความต้านทานต่อแอมโมเนียได้ดี

### 1.7.3 เกลือ (Salts)

สารละลายเกลือส่วนใหญ่เป็นอิเล็กโทรไลต์ที่ดี (Good Electrolytes) และสามารถส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะได้ โลหะผสมสเตนเลสบางชนิดมีความต้านทานต่อสารละลายเกลือ แต่โลหะผสมอะลูมิเนียม โลหะผสมแมกนีเซียม และเหล็กกล้าชนิดอื่น ๆ มีความไวต่อการกัดกร่อนจากเกลืออย่างมาก

ดังนั้น การปล่อยไอหรือวัสดุโครงสร้างอากาศยานสัมผัสกับเกลือหรือสารละลายเกลือจึงถือเป็นสิ่งที่เป็นอันตรายและควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง

### 1.7.4 บรรยากาศ (The Atmosphere)

สารก่อการกัดกร่อนหลักที่มีอยู่ในอากาศ ได้แก่ ออกซิเจน (Oxygen) และความชื้นในอากาศ (Airborne Moisture) ซึ่งมีอยู่ในปริมาณมาก การกัดกร่อนมักเกิดจากการทำปฏิกิริยาโดยตรงของ



ออกซิเจนและความชื้นกับผิวโลหะ โดยความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะเร่งอัตราการกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Alloys)

อย่างไรก็ตาม บรรยากาศในเขตอุตสาหกรรมและเขตชายฝั่งทะเล อาจมีแก๊สและสารปนเปื้อนอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงผิดปกติร่วมอยู่ด้วย

1.7.4.1 บรรยากาศในเขตอุตสาหกรรม (Industrial Atmospheres) บรรยากาศในเขตอุตสาหกรรมมีสารปนเปื้อนหลายชนิด โดยสารที่พบได้บ่อยที่สุดคือ สารประกอบกำมะถันที่เกิดออกซิเดชันบางส่วน (Partially Oxidized Sulfur Compounds) เมื่อสารเหล่านี้รวมตัวกับความชื้น จะเกิดกรดที่มีฐานกำมะถัน (Sulfur-Based Acids) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะส่วนใหญ่ได้อย่างรุนแรง

ในบริเวณโรงงานอุตสาหกรรมเคมี อาจพบสารก่อการกัดกร่อนในบรรยากาศชนิดอื่นในปริมาณสูงได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมลักษณะดังกล่าวมักจำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเท่านั้น

1.7.4.2 บรรยากาศทางทะเล (Marine Atmospheres) บรรยากาศทางทะเลประกอบด้วยคลอไรด์ (Chlorides) ในรูปของอนุภาคเกลือ หรือหยดน้ำที่อิมิตัวด้วยเกลือ เนื่องจากสารละลายเกลือเป็นอิเล็กโทรไลต์ จึงสามารถโจมตีโลหะผสมอะลูมิเนียมและแมกนีเซียมได้อย่างรุนแรง ซึ่งเป็นโลหะที่มีความไวต่อสภาพแวดล้อมประเภทนี้เป็นอย่างมาก

### 1.7.5 น้ำ (Water)

ความสามารถในการกัดกร่อนของน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุที่ละลายอยู่ สิ่งเจือปนอินทรีย์ (Organic Impurities) และแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะออกซิเจน (Dissolved Oxygen) คุณสมบัติสำคัญของน้ำที่ส่งเสริมการกัดกร่อนคือ ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือความสามารถในการทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์และนำกระแสไฟฟ้า

ปัจจัยทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature) และความเร็วการไหล (Velocity) ก็มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการกัดกร่อนเช่นกัน

1.7.5.1 น้ำธรรมชาติและน้ำทะเล น้ำธรรมชาติที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงที่สุด ได้แก่ น้ำทะเล และน้ำจืดที่มีเกลือละลายอยู่ น้ำทะเลมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงมาก เนื่องจากมีไอออนคลอไรด์ (Chloride Ions) อยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม น้ำในบริเวณท่าเรือมักมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรงยิ่งกว่า เนื่องจากมีของเสียจากอุตสาหกรรมปะปนอยู่ร่วมกับน้ำทะเล

1.7.5.2 น้ำจืดและน้ำใช้ทั่วไป ฤทธิ์กัดกร่อนของน้ำจืดแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ละลายอยู่ในน้ำในพื้นที่นั้น ๆ แหล่งน้ำประปาบางแห่งที่มีการเติมคลอรีน (Chlorine) และฟลูออไรด์ (Fluorides) อาจมีฤทธิ์กัดกร่อนค่อนข้างสูง น้ำที่ผ่านกระบวนการทำให้นุ่มเชิงพาณิชย์ (Commercially Softened Water) และน้ำฝนที่ปนเปื้อนมลภาวะจากอุตสาหกรรม มักมีฤทธิ์กัดกร่อนสูงเช่นกัน



## 1.8 จุลชีพ (Microorganisms)

**1.8.1** การกัดกร่อนที่เกิดจากจุลชีพ (Microbial Corrosive Attack) มีสาเหตุมาจากการกระทำของแบคทีเรีย (Bacteria) เชื้อรา (Fungi) หรือรา (Molds) จุลชีพสามารถพบได้แทบทุกสภาพแวดล้อม โดยแบคทีเรียและเชื้อราถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนมากที่สุด

**1.8.2** แบคทีเรียสามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต (Aerobic Bacteria) และแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตได้เฉพาะในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนอิสระ (Anaerobic Bacteria) แบคทีเรียสามารถเร่งการกัดกร่อนได้โดยการออกซิไดซ์กำมะถัน (Sulfur) เพื่อสร้างกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid)

แบคทีเรียที่อาศัยอยู่ใกล้ผิวโลหะอาจส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อน โดยการลดปริมาณออกซิเจนในบริเวณนั้น หรือปล่อยของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolic By-products) เช่น การออกซิเดชันของสารอินทรีย์ ได้แก่ เหล็ก กำมะถัน ไฮโดรเจน หรือคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดการกัดกร่อน

**1.8.3** เชื้อรา (Fungi) เป็นจุลชีพที่เจริญเติบโตโดยอาศัยสารอินทรีย์เป็นอาหาร แม้ว่าสภาพความชื้นต่ำจะไม่ทำให้จุลชีพตาย แต่จะชะลอการเจริญเติบโตและอาจป้องกันความเสียหายจากการกัดกร่อนได้

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพส่วนใหญ่ ได้แก่

1. อุณหภูมิระหว่าง 68 ถึง 104 องศาฟาเรนไฮต์ (68–104 °F) หรือ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส (20–40 °C) และ
2. ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 85 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์

รา แบคทีเรีย หรือจุลชีพชนิดอื่นสามารถโจมตีสารเคลือบป้องกันความชื้นบางชนิด (Moisture-Proofing Coatings) ได้ โดยเฉพาะเมื่อผิวเคลือบมีการปนเปื้อน ซึ่งขัดแย้งกับความเชื่อเดิมที่ว่า การเคลือบสารป้องกันความชื้นบนวัสดุที่เป็นแหล่งอาหาร หรือการทำให้ช่องภายในแห้งด้วยสารดูดความชื้น (Desiccants) จะสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราได้

การเจริญเติบโตของจุลชีพมักเกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างน้ำกับเชื้อเพลิงอากาศยาน (Aviation Fuel) โดยเชื้อราจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งอาหาร เชื้อราจะสร้างกรดอินทรีย์ (Organic Acids) แอลกอฮอล์ (Alcohols) และเอสเทอร์ (Esters) เป็นผลพลอยได้จากการเจริญเติบโต ซึ่งสารเหล่านี้กลับยิ่งเอื้อต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา

โดยทั่วไป เชื้อรามักยึดเกาะอยู่ที่กันถัง เมื่อถึงแห่งจะปรากฏเป็นคราบสีน้ำตาลบนผิวเคลือบของถัง และสามารถกลับมาเจริญเติบโตได้อีกครั้งเมื่อมีน้ำและเชื้อเพลิงอยู่ร่วมกัน



**1.8.4** สปอร์ (Spore) ของจุลินทรีย์บางชนิดสามารถคงสภาพไม่ทำงาน (Dormant) ได้เป็นเวลานานในสภาพแห้ง และจะกลับมาทำงานได้เมื่อมีความชื้น หากสารดูดความชื้นอิ่มตัวและไม่สามารถดูดซับความชื้นที่แทรกซึมเข้าสู่บริเวณนั้นได้ จุลินทรีย์จะสามารถเริ่มเจริญเติบโตได้อีกครั้ง

สิ่งสกปรก ผุ่น และสารปนเปื้อนในอากาศอื่น ๆ เป็นปัจจัยที่มักถูกมองข้ามมากที่สุดในการส่งเสริมการโจมตีของจุลินทรีย์ แม้แต่สิ่งสกปรกในอากาศเพียงเล็กน้อยก็อาจเพียงพอที่จะกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้โดยไม่ถูกสังเกต

**1.8.5** โดยหลักทั่วไป แหล่งอาหารของเชื้อราจะเป็นวัสดุที่ได้มาจากพืชหรือสัตว์เท่านั้น ดังนั้น วัสดุอย่างขนสัตว์ (Wool) ฝ้าย (Cotton) เชือก (Rope) ขนนก (Feathers) และหนัง (Leather) จึงเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ในขณะที่โลหะและแร่ธาตุไม่ถือเป็นแหล่งอาหาร

แม้ว่าหลักการนี้ยังคงใช้ได้เป็นส่วนใหญ่ แต่ความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ทำให้ยากหรือแทบเป็นไปไม่ได้ที่จะพิจารณาจากชื่อวัสดุเพียงอย่างเดียวว่า วัสดุนั้นสามารถรองรับการเจริญเติบโตของเชื้อราได้หรือไม่ วัสดุสังเคราะห์หลายชนิดที่โดยพื้นฐานมีความต้านทานต่อเชื้อรา อาจกลับมีความไวต่อการโจมตีของเชื้อรา เนื่องจากสารเคมีที่ถูกเติมเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ

**1.8.6** ความเสียหายที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Microbial Growth) สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีกลไกพื้นฐานอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายกลไกทำงานร่วมกัน โดยสามารถอธิบายได้เป็นสามประการ ดังนี้

ประการแรก เชื้อราและจุลินทรีย์มีลักษณะอึดน้ำและมีแนวโน้มกักเก็บความชื้นไว้บนผิววัสดุ ความชื้นดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อนในรูปแบบอื่น ๆ เพิ่มขึ้น

ประการที่สอง เนื่องจากเชื้อราเป็นสิ่งมีชีวิต จึงจำเป็นต้องได้รับอาหารเพื่อการดำรงชีวิต โดยแหล่งอาหารดังกล่าวได้มาจากวัสดุที่เชื้อราเจริญเติบโตอยู่บนผิวนั้น ซึ่งอาจส่งผลให้วัสดุเสื่อมสภาพหรือสูญเสียคุณสมบัติเดิม

ประการที่สาม จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถหลั่งของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อน (Corrosive Fluids) ออกมา ซึ่งสามารถโจมตีวัสดุได้หลายชนิด รวมถึงวัสดุบางประเภทที่ไม่ถือเป็นแหล่งอาหารของเชื้อรา (Non-Fungal Nutrients)

### **1.8.7 การกำจัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Removal of Microbial Growth)**

เพื่อหลีกเลี่ยงการกัดกร่อน ควรกำจัดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ออกจากพื้นผิววัสดุอย่างหมดจด วิธีปฏิบัติที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ การขจัดจุลินทรีย์ด้วยมือ โดยใช้แปรงขนแข็งที่ไม่เป็นโลหะ (Firm, Nonmetallic Bristle Brush) ร่วมกับน้ำ การกำจัดจุลินทรีย์จะทำได้ง่ายขึ้น หากสามารถทำให้บริเวณที่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์คงสภาพเปียกด้วยน้ำตลอดระยะเวลาการทำความสะอาด



นอกจากนี้ ยังสามารถกำจัดจุลชีพได้โดยการใช้ไอน้ำ (Steam) ที่ความดันประมาณ 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (100 psi) และอุณหภูมิไอน้ำไม่เกิน 150 องศาฟาเรนไฮต์ (150 °F) หรือ 66 องศาเซลเซียส (66 °C) ในระหว่างการไอน้ำ ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันร่างกายที่เหมาะสม (Protective Clothing) เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

**หมายเหตุ :** การใช้ไอน้ำที่ความดัน 100 psi อาจก่อให้เกิดความเสียหาย ทำให้สีหรือสารซีลแลนต์ (Sealant) บางชนิดยกตัว หลุดร่อน หรือถูกกำจัดออกจากผิววัสดุได้ จึงควรพิจารณาความเหมาะสมก่อนการใช้งาน

### 1.9 การกัดกร่อนจากปรอทโลหะบนอะลูมิเนียมอัลลอยด์ (Metallic Mercury Corrosion on Aluminum Alloys)

หากเกิดการหกหรือปนเปื้อนของปรอท (Mercury) บนอะลูมิเนียมอัลลอยด์ จะต้องดำเนินการทำความสะอาดโดยทันที เนื่องจากปรอทสามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่รุนแรง ซึ่งลุกลามอย่างรวดเร็ว ทั้งในรูปแบบการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) และการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) และเป็นการกัดกร่อนที่ควบคุมได้ยากมาก

ผลกระทบที่รุนแรงที่สุดจากการปนเปื้อนของปรอทบนอะลูมิเนียมอัลลอยด์ คือ การเกิดอะมัลกัม (Amalgam) ซึ่งเป็นการรวมตัวของปรอทกับโลหะ โดยกระบวนการนี้จะลุกลามอย่างรวดเร็วตามแนวขอบเกรน ส่งผลให้เกิดภาวะเปราะจากโลหะเหลว (Liquid Metal Embrittlement) หากชิ้นส่วนอะลูมิเนียมอัลลอยด์อยู่ภายใต้ความเค้นดึง (Tensile Stress) ภาวะเปราะดังกล่าวจะทำให้เกิดการแยกแตก (Splitting) ของเนื้อโลหะ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการกัดกร่อนแบบลอกชั้นอย่างรุนแรง (Severe Exfoliation)

การตรวจสอบด้วยเอกซเรย์ (X-ray Inspection) อาจเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาผงหรือหยดปรอทขนาดเล็กที่หกปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากปรอทมีความหนาแน่นสูงและสามารถปรากฏให้เห็นได้ชัดเจนบนฟิล์มเอกซเรย์



## บทที่ 2 ผลกระทบของการกัดกร่อน (EFFECTS OF CORROSION)

### 2.1 ทัวไป (General)

โลหะส่วนใหญ่สามารถเกิดการกัดกร่อนได้ อย่างไรก็ตาม การกัดกร่อนสามารถลดลงได้โดยการเลือกใช้โลหะที่มีความต้านทานการกัดกร่อน และการใช้การเคลือบผิวหรือผิวสำเร็จ (Finishes) ที่เหมาะสม วัสดุหลักที่ใช้ในโครงสร้างอากาศยานคือ แผ่นอะลูมิเนียมอัลลอยด์ความแข็งแรงสูง ซึ่งถูกเคลือบหรือหุ้มผิว (Clad) ด้วยอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ เรียกว่า อัลคลัด (Alclad) ซึ่งมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงมาก

อย่างไรก็ตาม การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting) ของผิวอัลคลัดสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการสะสมของเกลือในอากาศ หรือมลพิษจากอุตสาหกรรม ร่วมกับการมีอิเล็กโทรไลต์ เช่น ความชื้น เมื่อผิวอัลคลัดถูกทำลาย การเสื่อมสภาพของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ความแข็งแรงสูงที่อยู่ด้านล่างจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

โลหะชนิดอื่นที่ใช้กันทั่วไปในโครงสร้างอากาศยานจำเป็นต้องมีมาตรการป้องกันการกัดกร่อนเป็นพิเศษ เช่น อะลูมิเนียมอัลลอยด์ความแข็งแรงสูงที่ไม่ใช่อัลคลัด (Non-clad High-Strength Aluminum Alloys) เหล็ก (Steel) และแมกนีเซียมอัลลอยด์ (Magnesium Alloys)

2.1.1 อะลูมิเนียมอัลลอยด์โดยทั่วไปจะมีการเคลือบผิวแบบอะโนไดซ์ (Anodize Coating) หรือการเคลือบแปลงสภาพ (Conversion Coating) จากนั้นจึงทาสีรองพื้น (Primed) หรือทาสีรองพื้นและพ่นสีทับหน้า (Primed and Top coated)

ในอากาศยานรุ่นใหม่บางแบบ ผู้ใช้งานจะเคลือบผิวอะลูมิเนียมด้วยกระบวนการเคลือบไอโลหะ (Ion Vapor Deposition: IVD) ก่อน จากนั้นจึงทาสีรองพื้น และอาจพ่นสีทับหน้าต่อไป

2.1.2 ทองเหลือง (Brass) และบรอนซ์ (Bronze) จำเป็นต้องได้รับการชุบแคดเมียม (Cadmium Plating) การชุบสังกะสี (Zinc Plating) การเคลือบอะลูมิเนียมแบบ IVD หรือการเคลือบแปลงสภาพ (Conversion Coating) ขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ส่วนใหญ่ไม่จำเป็นต้องมีการเคลือบป้องกันเพิ่มเติมดังกล่าว

2.1.3 แมกนีเซียมอัลลอยด์ (Magnesium Alloys) มีความไวต่อการกัดกร่อนสูงมาก โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีเกลือในอากาศหรือมลพิษจากอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางเคมีและไฟฟ้าเคมีเฉพาะ รวมถึงการเคลือบสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อน



## 2.2 ผลกระทบของการกัดกร่อนต่อโลหะ (Effects of Corrosion on Metals)

ต่อไปนี้เป็นลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปของการกัดกร่อนที่พบในโลหะที่ใช้กันทั่วไปในอากาศยาน

### 2.2.1 แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมเป็นโลหะที่มีความว่องไวทางเคมีสูง ใช้ในโครงสร้างอากาศยาน และมีความไวต่อการกัดกร่อนอย่างมาก อีกทั้งป้องกันการกัดกร่อนได้ยาก เมื่อเกิดความเสียหายของชั้นเคลือบป้องกัน จะต้องซ่อมแซมชั้นเคลือบนั้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายรุนแรงต่อโครงสร้าง การกัดกร่อนของแมกนีเซียมอาจตรวจพบได้ง่ายที่สุด เนื่องจากแม้ในระยะเริ่มต้น ผลลัพธ์จากการกัดกร่อนจะมีปริมาณมากกว่าโลหะแมกนีเซียมเดิมหลายเท่า การกัดกร่อนในระยะแรกจะปรากฏในลักษณะการยกตัวของฟิล์มสี และจุดสีขาวบนผิว ซึ่งจะพัฒนาอย่างรวดเร็วเป็นกองหรือเส้นใยคล้ายหิมะ (Snow-like Mounds or Whiskers)

การแก้ไขความเสียหายต้องดำเนินการโดยการกำจัดการกัดกร่อนออกทั้งหมด แล้วทำการเคลือบแปลงสภาพทางเคมี (Chemical Conversion Coating) และเคลือบผิวป้องกันใหม่ แมกนีเซียมจำเป็นต้องมีการเคลือบป้องกันเสมอ และชิ้นส่วนแมกนีเซียมบางชนิดในอากาศยานปัจจุบันได้รับการป้องกันตั้งแต่แรกด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีเฉพาะ เช่น การเคลือบแบบ HAE และ DOW 17

การเคลือบแบบ HAE สามารถสังเกตได้จากลักษณะผิวที่มีสีน้ำตาลหรือเทาเป็นต่างเมื่อยังไม่พ่นสี ส่วนการเคลือบแบบ DOW 17 จะมีสีเขียวถึงเขียวอมเทา การเคลือบแบบไฟฟ้าเคมีมีความหนา มากกว่าการเคลือบด้วยการจุ่มหรือการทาด้วยแปรง และไม่สามารถซ่อมแซมคืนสภาพได้ในภาคสนาม ดังนั้นจึงต้องใช้ความระมัดระวังอย่างยิ่งในการหลีกเลี่ยงการกำจัดหรือซ่อมแซมชั้นเคลือบดังกล่าวโดยไม่จำเป็น

### 2.2.2 เหล็ก (Steel)

การกัดกร่อนของเหล็กสามารถสังเกตได้ง่าย เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนมีลักษณะเป็นสนิมสีแดง (Red Rust) เมื่อโลหะผสมที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลักเกิดการกัดกร่อน ผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนสีเข้มมักจะก่อตัวขึ้นบนผิวโลหะในระยะแรก ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีคุณสมบัติช่วยปกป้องผิวโลหะได้ในระดับหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม หากมีความชื้นอยู่ ฟิล์มออกไซด์ของเหล็กชนิดดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นออกไซด์เหล็กชนิดมีน้ำ (Hydrated Ferric Oxide) หรือสนิมแดง ซึ่งจะส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อนต่อไป โดยการดูดซับความชื้นจากอากาศและเร่งการโจมตีของการกัดกร่อนให้รุนแรงยิ่งขึ้น

วิธีที่เหมาะสมและใช้งานได้จริงมากที่สุดในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็ก คือ การกำจัดผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนออกทั้งหมดด้วยวิธีทางกล (Mechanical Means) และการคงสภาพระบบการเคลือบป้องกัน (Protective Coating System) ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นการเคลือบด้วยการชุบโลหะ (Plating) และมักใช้ร่วมกับระบบการพ่นสี (Paint System)

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



**หมายเหตุ :** เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โดยทั่วไปจะไม่แสดงลักษณะสนิมแดง และควรประเมินสภาพการกัดกร่อนโดยใช้เกณฑ์ตามที่ระบุไว้ในข้อ 2.2.7

### 2.2.3 อะลูมิเนียม (Aluminum)

อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมอัลลอยด์สามารถเกิดการกัดกร่อนได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การกัดกร่อนผิวสม่ำเสมอ (Uniform Surface Corrosion) การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) การกัดกร่อนแบบลอกชั้น (Exfoliation Corrosion) การกัดกร่อนในร่อง (Crevice Corrosion) การแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion Cracking) และการกัดกร่อนจากการเสียดสี (Fretting Corrosion) ดังที่กล่าวไว้ในข้อ 1.5 และ 1.6

ในสภาพแวดล้อมที่มีเกลือในอากาศหรือมลพิษจากอุตสาหกรรม อะลูมิเนียมอัลลอยด์ทุกชนิดจำเป็นต้องได้รับการป้องกันการกัดกร่อน ผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมมีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงสีเทา (White-to-Gray Powdery Material) ซึ่งสามารถกำจัดออกได้ด้วยการขัด เชิงกลหรือการใช้แปรงที่มีความแข็งน้อยกว่าโลหะพื้นฐาน

การกัดกร่อนผิวโดยทั่วไปของอะลูมิเนียมจะลุกลามช้า แต่จะรุนแรงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีเกลือที่ละลายอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ แม้ว่ากาการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็ต้องดำเนินการแก้ไขทันทีเมื่อพบ

อะลูมิเนียมอัลลอยด์บางชนิดมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนผิวทั่วไป แต่จะเกิดการกัดกร่อนในรูปแบบเฉพาะ เช่น การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม หรือการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างได้โดยไม่แสดงอาการกระจายตัวอย่างชัดเจนบนผิว อย่างไรก็ตาม มีการกัดกร่อนอย่างน้อยสามรูปแบบที่ถือว่ารุนแรงเป็นพิเศษสำหรับอะลูมิเนียมอัลลอยด์ ได้แก่

1. การกัดกร่อนแบบเป็นหลุมที่ทะลุผ่านผนังของท่ออะลูมิเนียม (Penetrating Pit-Type Corrosion)
2. การแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้นของชิ้นส่วนที่อยู่ภายใต้ความเค้นต่อเนื่องและสภาพแวดล้อมที่กัดกร่อน
3. การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนที่พบในอะลูมิเนียมอัลลอยด์บางชนิด ซึ่งขอบเกรนมีคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างจากโลหะภายในเกรนอย่างชัดเจน

### 2.2.4 อะลูมิเนียมที่ผ่านการอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum)

ชิ้นส่วนอะลูมิเนียมบางชนิดได้รับการป้องกันด้วยการเคลือบผิวแบบอะโนไดซ์ (Anodized Coating) โดยฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบนผิวอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการกัดกร่อนอยู่แล้ว และกระบวนการอะโนไดซ์จะช่วยเพิ่มความหนาของฟิล์มออกไซด์ดังกล่าว



เมื่อชั้นเคลือบอะโนไดซ์เกิดความเสียหายระหว่างการใช้งาน สามารถฟื้นฟูคุณสมบัติการป้องกันได้บางส่วนด้วยการปรับสภาพผิวทางเคมี (Chemical Surface Treatment) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสามารถฟื้นฟูได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จึงควรหลีกเลี่ยงการทำลายผิวอะโนไดซ์โดยไม่จำเป็น ในระหว่างการปฏิบัติงานหรือการซ่อมบำรุง

### 2.2.5 ไทเทเนียม (Titanium)

ไทเทเนียมมีแนวโน้มก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อชิ้นส่วนโลหะที่อยู่ติดกัน ผ่านกระบวนการกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) ดังนั้น ชิ้นส่วนไทเทเนียมควรถูกแยกออกจากชิ้นส่วนที่อยู่ติดกันด้วยการใช้ชั้นกั้น (Barrier Coatings) หรือฟิล์มป้องกัน (Barrier Films)

ควรทำการตรวจสอบสภาพของชั้นกั้นดังกล่าวอย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูการเสื่อมสภาพของฟิล์ม และตรวจสอบการกัดกร่อนของชิ้นส่วนข้างเคียง นอกจากนี้ การสัมผัสระหว่างไทเทเนียมกับชิ้นส่วนที่ชุบสังกะสีหรือแคดเมียม (Zinc- or Cadmium-Plated Parts) สามารถส่งเสริมให้เกิดการแตกร้าวของไทเทเนียมได้

### 2.2.6 แคดเมียมและสังกะสี (Cadmium and Zinc)

แคดเมียมซึ่งใช้เป็นสารเคลือบ (Cadmium Coating) ทำหน้าที่ปกป้องชิ้นส่วนเหล็ก และให้ผิวสัมผัสที่เข้ากันได้เมื่อชิ้นส่วนสัมผัสกับวัสดุอื่น การกัดกร่อนของแคดเมียมสามารถสังเกตได้จากการเกิดลวดลายสีขาว สีน้ำตาล หรือสีดำบนผิวเคลือบ

สังกะสี (Zinc) จะเกิดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนสีขาวในปริมาณมาก เมื่อการชุบแคดเมียมหรือสังกะสีปรากฏลักษณะผิวต่าง มีโพรงเฉพาะจุด หรือมีรอยแตกในชั้นเคลือบ แสดงว่าชั้นชุบยังคงทำหน้าที่ป้องกันโลหะพื้นฐานอยู่

ชั้นเคลือบแคดเมียมบนเหล็กหรือเหล็กกล้ายังคงปกป้องโลหะพื้นฐานได้ จนกว่าจะเริ่มปรากฏสนิมของเหล็ก (Iron Rust) บนผิวชิ้นส่วน

**หมายเหตุ** : การกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนด้วยวิธีทางกล (Mechanical Removal) ควรจำกัดเฉพาะบริเวณผิวโลหะที่ชั้นเคลือบแคดเมียม (Cadmium) ถูกใช้หมดหรือเสื่อมสภาพแล้วเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการทำลายชั้นเคลือบที่ยังคงทำหน้าที่ป้องกันอยู่



### 2.2.7 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะผสมที่มีเหล็กเป็นฐาน (Iron-Base Alloys) โดยมีโครเมียม (Chromium) เป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 12 และมีธาตุอื่นผสมอยู่เพิ่มเติม เหล็กกล้าไร้สนิมมีทั้งชนิดเป็นแม่เหล็กและไม่เป็นแม่เหล็ก

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเป็นแม่เหล็กสามารถจำแนกได้จากหมายเลขตามมาตรฐานสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าอเมริกัน (American Iron and Steel Institute: AISI) ในกลุ่ม **400 Series** เช่น AISI 410 หรือ AISI 430 ซึ่งมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดไม่เป็นแม่เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดไม่เป็นแม่เหล็กอยู่ในกลุ่ม **AISI 300 Series** เช่น AISI 304 หรือ AISI 316 โดยมีปริมาณนิกเกิล (Nickel) อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 6 ถึง 22 ขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 400 Series มีปริมาณนิกเกิลเพียงประมาณร้อยละ 2 เท่านั้น

ความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดจากความสามารถในการสร้างฟิล์มออกไซด์ป้องกันบนผิวโลหะ ซึ่งเรียกว่า ฟิล์มพาสซีฟ (Passive Film) ฟิล์มดังกล่าวสามารถเสริมความแข็งแรงได้ด้วยการปรับสภาพในสารละลายเคมีบางชนิด อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้าไร้สนิมยังคงสามารถเกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) ได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่รุนแรง เช่น บริเวณที่มีเกลือในอากาศหรือมลพิษจากอุตสาหกรรม

เหล็กกล้าไร้สนิมมีความไวต่อการกัดกร่อนแบบเซลล์ ความเข้มข้นหรือร่อง (Crevice/Concentration Cell Corrosion) และการแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion Cracking) ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและเกลือสูง อีกทั้งยังสามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกกับโลหะชนิดอื่นเกือบทุกชนิดที่สัมผัสกัน หากไม่มีการซีลและการเคลือบป้องกันที่เหมาะสม

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดแข็งตัวด้วยการตกผลึก (Precipitation Hardening Stainless Steels) เช่น PH17-4, PH15-5 และ PH13-8Mo ได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม 400 Series การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถทำได้โดยการรักษาความสะอาดของผิวโลหะอย่างสม่ำเสมอ

### 2.2.8 นิกเกิลและโครเมียม (Nickel and Chromium)

นิกเกิลและโครเมียมเป็นโลหะที่ใช้เป็นทั้งสารเคลือบป้องกัน (Protective Coatings) และธาตุผสมกับเหล็กในเหล็กกล้าไร้สนิม การชุบโครเมียม (Chromium Plating) ยังช่วยให้ผิวโลหะมีความเรียบและทนต่อการสึกหรอ รวมถึงใช้ในการฟื้นฟูชิ้นส่วนที่สึกหรอ

การชุบนิกเกิลเป็นชั้นรอง (Nickel Undercoat) จะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมทางทะเล ระดับการป้องกันขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นชุบ โลหะทั้งสอง



ชนิดสามารถสร้างชั้นออกไซด์ต่อเนื่องบนผิว ซึ่งแม้จะถูกขัดให้มีความเงาสูง ก็ยังคงให้การป้องกัน ทั้งตัวโลหะเองและโลหะที่อยู่ด้านล่าง

อย่างไรก็ตาม ชั้นเคลือบโครเมียมมักมีรอยแตกขนาดเล็ก (Microcracks) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่การกัดกร่อนสามารถเริ่มต้นได้

### 2.2.9 ทองแดงและโลหะผสมทองแดง (Copper and Copper Alloys)

โดยทั่วไป ทองแดงและโลหะผสมทองแดงมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนค่อนข้างดี อย่างไรก็ตาม การกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยก็สามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำจากทองแดงได้อย่างมีนัยสำคัญ

ผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนของทองแดงมักปรากฏเป็นคราบสีเขียวอมฟ้า (Bluish-Green Coating) บนผิววัสดุ เมื่อทองแดงสัมผัสกับโลหะส่วนใหญ่ที่ใช้ในโครงสร้างอากาศยาน ทองแดงจะเป็นโลหะที่มีความว่องไวทางเคมีต่ำกว่า และจะเร่งการกัดกร่อนของโลหะชนิดอื่นอย่างมาก

### 2.2.10 เงิน แพลทินัม และทอง (Silver, Platinum, and Gold)

โลหะเงิน แพลทินัม และทอง โดยทั่วไปไม่เกิดการกัดกร่อนในความหมายปกติ อย่างไรก็ตาม เงินสามารถเกิดการหมอง (Tarnish) เป็นฟิล์มสีน้ำตาลถึงสีดำเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีกำมะถัน ส่วนการหมองของทองมีความบางมากและมักปรากฏในลักษณะผิวสะท้อนแสงที่มีลดลง

2.2.10.1 เมื่อมีการชุบเงิน (Silver Plating) บนทองแดง การกัดกร่อนของทองแดงอาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจากการกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Action) บริเวณรูเข็ม (Pinholes) หรือรอยแตกในชั้นเงิน การกัดกร่อนลักษณะนี้เรียกว่า **เรดเพลก (Red Plague)** ซึ่งปรากฏเป็นผงสะสมสีน้ำตาลแดงบนผิวทองแดงที่ถูกเปิดเผย

2.2.10.2 “เพอร์เฟิลเพลก” (Purple Plague) เป็นสารประกอบที่เปราะ (Brittle Compound) ระหว่างทอง (Gold) และอะลูมิเนียม (Aluminum) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการเชื่อมต่อหรือยึดประสานทองเข้ากับอะลูมิเนียม การเจริญเติบโตของสารประกอบชนิดนี้สามารถทำให้การยึดประสานทางไฟฟ้าในระดับไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronic Interconnection Bonds) ล้มเหลวได้ เนื่องจากความเปราะและการสูญเสียความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่อ

### 2.2.11 ดีบุก (Tin)

ดีบุก (Tin) เป็นวัสดุที่ใช้กันทั่วไปในอุปกรณ์ป้องกันสัญญาณความถี่วิทยุ (Radio-Frequency: RF Shields) ตัวกรองสัญญาณ (Filters) ฝาครอบผลึก (Crystal Covers) และอุปกรณ์สวิตซ์อัตโนมัติ (Automatic Switching Devices)

ดีบุกมีคุณสมบัติเด่นในด้านความสามารถในการบัดกรี (Solderability) และความต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งถือว่าดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบโลหะชนิดอื่น จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของอากาศยาน



โลหะ / โลหะผสม	ประเภทของการกัดกร่อนที่ไวต่อการเกิด	ลักษณะของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน
แมกนีเซียมอัลลอยด์ (Magnesium Alloy)	ไวต่อการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Highly susceptible to pitting)	ผงสีขาว คราบสีขาว กองหรือเส้นใยคล้าย หิมะ และจุดสีขาว บนผิว
เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloy Steel – 4000–8000 Series)	การกัดกร่อนผิวทั่วไป (Surface corrosion) และการกัดกร่อนตามแนว ขอบเกรน (Intergranular corrosion)	คราบสีน้ำตาลแดง (สนิม)
อะลูมิเนียมอัลลอยด์ (Aluminum Alloy)	การกัดกร่อนผิวทั่วไป, เป็นหลุม, ตามแนว ขอบเกรน, ลอกชั้น (Exfoliation), การ แตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (SCC), การล้าจากการกัดกร่อน (Corrosion Fatigue) และการเสียดสีสั้น (Fretting)	ผงสีขาวถึงสีเทา
ไทเทเนียมอัลลอยด์ (Titanium Alloy)	มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงมาก; อย่างไรก็ตาม การสัมผัสกับ วัสดุต่าง ๆ หรือเป็น เวลานานกับตัวทำละลายที่มีคลอรีน (Chlorinated Solvents) อาจทำให้ผิว โลหะเสื่อมสภาพ	โดยทั่วไปไม่พบ ผลิตภัณฑ์การกัด กร่อนที่อุณหภูมิต่ำ; ที่อุณหภูมิสูงกว่า ~700°F (~ 360°C) อาจเกิดชั้นออกไซด์ บนผิวหลายสี
แคดเมียม (Cadmium – ใช้ เป็นสารเคลือบป้องกันเหล็ก)	การกัดกร่อนผิวสม่ำเสมอ ทำหน้าที่เป็น โลหะเสียสละ (Sacrificial) เพื่อปกป้อง เหล็ก	ผงสีขาว เปลี่ยนเป็น สีน้ำตาลหรือสีดำเป็น ต่างบนผิว
เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels – 300 & 400 Series)	การกัดกร่อนแบบเซลล์ความเข้มข้น/ร่อง (Crevice/Concentration Cell), เป็น หลุมในสภาพแวดล้อมทางทะเล, การ แตกร้าวจากการกัดกร่อน (300 Series), การกัดกร่อนผิว (400 Series)	ผิวขรุขระ บางครั้งมี คราบสีแดง น้ำตาล หรือดำ

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



โลหะ / โลหะผสม	ประเภทของการกัดกร่อนที่ไวต่อการเกิด	ลักษณะของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน
โลหะผสมนิกเกิล (Nickel-base Alloys เช่น Inconel, Monel)	โดยทั่วไปมีความต้านทานการกัดกร่อนดีเยี่ยม; อาจเกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมในน้ำทะเล	ผงสีเขียว
ทองเหลือง / บรอนซ์ (Brass, Bronze)	การกัดกร่อนผิวทั่วไป และการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน	คราบผงสีน้ำเงินหรือเขียวน้ำเงิน (Patina)
โครเมียม (ชุบ) – Chromium (plate)	การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม; ส่งเสริมให้เหล็กด้านล่างเกิดสนิมเมื่อมีตำหนิในชั้นชุบ	ไม่พบผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนชัดเจน; อาจเกิดการพองของชั้นชุบเนื่องจากโลหะฐานเกิดสนิม และทำให้ชั้นชุบยกตัว

ตารางที่ 2-1 การกัดกร่อนของโลหะ : ประเภทของการกัดกร่อนและลักษณะของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน (Corrosion of Metals – Type of Attack and Appearance of Corrosion Products)



## บทที่ 3 บริเวณที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน และการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Corrosion-Prone Areas and Preventative Maintenance)

### 3.1 ทั่วไป (General)

บทนี้กล่าวถึงบริเวณที่มักพบปัญหาการกัดกร่อนซึ่งพบได้ทั่วไปในอากาศยานส่วนใหญ่ ผู้ปฏิบัติงานควรให้ความสำคัญกับการทำความสะอาด การตรวจสอบ และการบำบัดป้องกันการกัดกร่อนในบริเวณที่มีความเสี่ยงเหล่านี้ให้ดีขึ้นเป็นพิเศษ

รายการบริเวณที่ระบุไว้ในบทนี้ไม่ได้จัดทำขึ้นสำหรับอากาศยานแบบใดแบบหนึ่งโดยเฉพาะ แต่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดทำโปรแกรมการตรวจสอบและซ่อมบำรุงด้านการกัดกร่อน (Maintenance Inspection Program) ได้ นอกจากนี้ บทยังกล่าวถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการกัดกร่อน และแนวทางการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventative Maintenance)

### 3.2 บริเวณแนวไอเสีย (Exhaust Trail Areas)

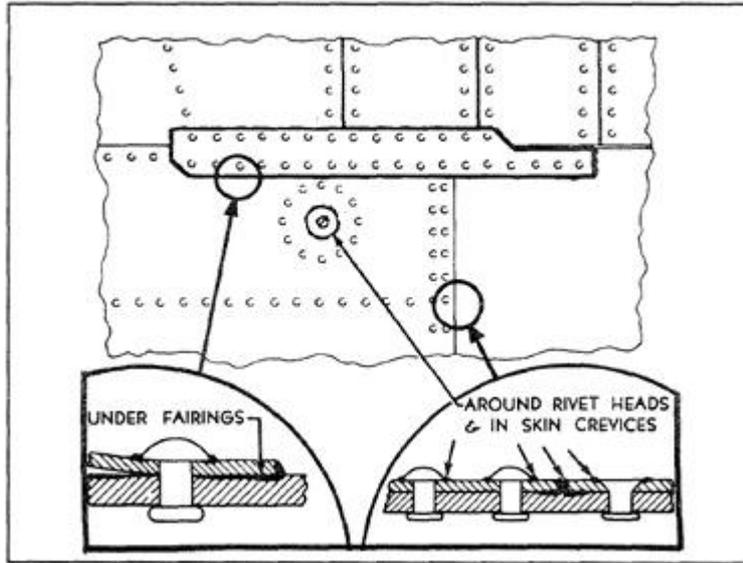
คราบตกค้างจากไอเสียของเครื่องยนต์ ทั้งชนิดกังหันไอพ่น (Jet Engine) และเครื่องยนต์ลูกสูบ (Reciprocating Engine) มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง การตรวจสอบและซ่อมบำรุงบริเวณแนวไอเสียควรให้ความสนใจกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่แสดงใน รูปที่ 3-1 บริเวณควบคุมการกัดกร่อนในแนวไอเสีย (Exhaust Trail Area Corrosion Control Points)

การตรวจสอบควรรวมถึงการถอดแฟริง (Fairings) และแผ่นปิดช่องตรวจ (Access Plates) ที่อยู่ในเส้นทางไหลของแก๊สไอเสีย เพื่อให้สามารถเข้าถึงและตรวจสอบการกัดกร่อนได้อย่างทั่วถึง

3.2.1 ช่องว่าง รอยต่อ แนวตะเข็บ บานพับ และแฟริง เป็นบริเวณที่คราบจากแนวไอเสียสามารถสะสมและติดค้างอยู่ได้ง่าย อีกทั้งเป็นบริเวณที่วิธีการทำความสะอาดตามปกติไม่สามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.2 การสะสมของคราบไอเสียบนพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของปีก บริเวณส่วนท้ายลำตัว (Aft Fuselage) และพื้นผิวแนวหางระดับ (Horizontal Tail Surfaces) จะเกิดขึ้นช้ากว่ามาก และในอากาศยานบางแบบอาจไม่พบการสะสมของคราบดังกล่าวเลย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบอากาศยานและลักษณะการไหลของไอเสีย

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



รูปที่ 3-1 บริเวณควบคุมการกัดกร่อนในแนวโอเสีย

### 3.3 ห้องแบตเตอรี่และช่องระบายอากาศของแบตเตอรี่ (Battery Compartments and Battery Vent Openings)

แม้ว่าจะมีการใช้ระบบสีป้องกัน (Protective Paint Systems) การซีล (Sealing) และการระบายอากาศ (Venting) อย่างทั่วถึงแล้วก็ตาม ห้องแบตเตอรี่ยังคงเป็นบริเวณที่พบปัญหาการกัดกร่อนได้บ่อย ไอระเหย (Fumes) จากอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่ที่เกิดความร้อนสูงเกินไปเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก และสามารถแพร่กระจายเข้าสู่โครงสร้างภายในของอากาศยาน ทำให้พื้นผิวที่ไม่ได้รับการป้องกันเกิดการกัดกร่อนได้

สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Batteries) การทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ และการทำให้คราบกรดเป็นกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate Solution) จะช่วยลดและควบคุมการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากการติดตั้งแบตเตอรี่มีช่องระบายอากาศออกสู่ภายนอกผ่านผิวลำตัวอากาศยาน (External Vent Openings) บริเวณดังกล่าวควรถูกรวมอยู่ในขั้นตอนการตรวจสอบและซ่อมบำรุงด้วย หากอากาศยานใช้แบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นกรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) การรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้

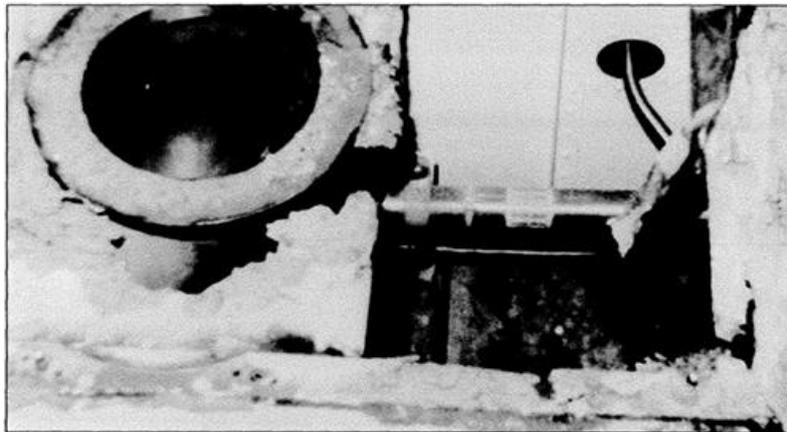
ผู้ปฏิบัติงานควรตรวจสอบคู่มือซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้อง เพื่อระบุชนิดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่ และแนวทางการซ่อมบำรุงที่แนะนำ สำหรับห้องแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium Batteries) ควรทำความสะอาดด้วยสารละลายแอมโมเนีย (Ammonia) หรือกรดบอริก (Boric Acid) จากนั้นทำให้แห้งสนิท และทาเคลือบด้วยวานิชที่ทนต่อด่าง (Alkali-Resistant Varnish)



### 3.4 ห้องสุขา พื้นที่เตรียมอาหาร ประตู และพื้นห้องนักบิน (Lavatories, Buffets, Galleys, Doorways, and Cockpit Floorboards)

บริเวณเหล่านี้ โดยเฉพาะพื้นที่พื้นด้านหลังห้องสุขา อ่างล้างมือ และเตา เป็นจุดที่มีความเสี่ยงสูงเนื่องจากเศษอาหารและของเสียอาจหกหรือสะสมอยู่ แม้ว่าสารปนเปื้อนบางชนิดจะไม่มีฤทธิ์กัดกร่อนโดยตรง แต่สามารถดึงดูดและกักเก็บความชื้นไว้ได้ ซึ่งจะส่งเสริมให้เกิดการกัดกร่อนของโครงสร้างอากาศยาน

ควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษกับบริเวณบิลจ์ (Bilge Areas) และโครงสร้างอากาศยานที่อยู่ใต้พื้นที่เตรียมอาหารและห้องสุขา โดยต้องทำความสะอาดบริเวณเหล่านี้อย่างสม่ำเสมอ และดูแลรักษาสภาพของสารซีลแลนต์ (Sealant) และผิวสีป้องกัน (Protective Sealant and Paint Finishes) ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์อยู่เสมอ



รูปที่ 3-2 ลักษณะความเสียหายที่พบโดยทั่วไปบริเวณพื้นรอบห้องสุขา พื้นที่เตรียมอาหาร และห้องครัวอากาศยาน

### 3.5 บริเวณบิลจ์ (Bilge Areas)

ในอากาศยานทุกแบบ บริเวณบิลจ์ถือเป็นพื้นที่ที่มักพบปัญหาการกัดกร่อนอยู่เสมอ บิลจ์เป็นแอ่งหรือจุดสะสมตามธรรมชาติของของเสียต่าง ๆ เช่น น้ำมันไฮดรอลิกที่รั่วไหล น้ำ สิ่งสกปรก ตัวยึดที่หลุดออกมา เศษโลหะจากการเจาะ (Drill Chips) และเศษวัสดุอื่น ๆ

น้ำมันตกค้างในบริเวณบิลจ์มักจะบดบังน้ำในปริมาณเล็กน้อยที่ตกตะกอนอยู่ด้านล่าง ซึ่งสามารถก่อให้เกิดเซลล์การกัดกร่อนที่ซ่อนอยู่ (Hidden Corrosion Cell) ได้ โดยทั่วไป ยกเว้นกรณีการใช้สารป้องกันการกัดกร่อนชนิดไล่น้ำ (Water-Displacing Corrosion-Preventive Compounds) การดูแลให้บริเวณบิลจ์ปราศจากวัสดุแปลกปลอมทั้งหมด รวมถึงน้ำและน้ำมัน จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการป้องกันการกัดกร่อน

เครื่องดูดฝุ่นที่เหมาะสมและผ้าเช็ดทำความสะอาดที่สะอาด เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำความสะอาดบริเวณดังกล่าว



### 3.6 ช่องล้อและชุดล้อลงจอด (Wheel Wells and Landing Gear)

บริเวณช่องล้อ (Wheel Wells) น่าจะเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายและสภาพแวดล้อมที่รุนแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่นของอากาศยาน เนื่องจากต้องสัมผัสกับโคลน น้ำ เกลือ กรวด และเศษวัสดุอื่น ๆ ที่กระเด็นขึ้นมาจากทางวิ่งระหว่างการปฏิบัติการบิน

ตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนของชุดล้อลงจอดและช่องล้อ แสดงไว้ใน รูปที่ 3-3 จุดเสี่ยงการกัดกร่อนของชุดล้อลงจอดและช่องล้อ (Landing Gear and Wheel Corrosion Points) ซึ่งควรได้รับการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ

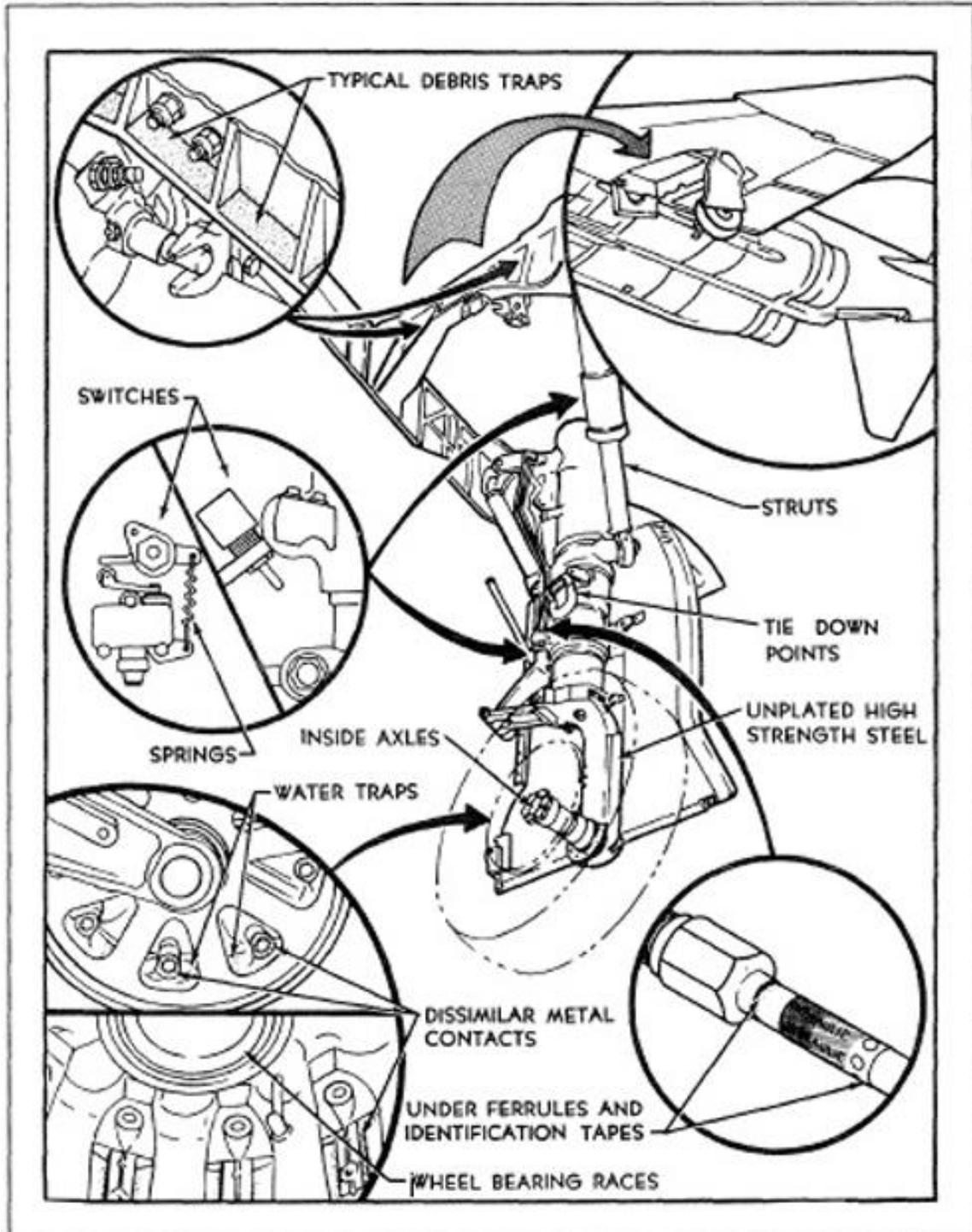
3.6.1 ล้ออากาศยานและบริเวณช่องล้อควรได้รับการทำความสะอาด การหล่อลื่น และการซ่อมแต้มสี (Paint Touch-up) อย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวประกอบด้วยชิ้นส่วนที่มีรูพรุนซับซ้อน ชุดประกอบ และอุปกรณ์ยึดติดจำนวนมาก จึงทำให้การเคลือบผิวด้วยฟิล์มสีป้องกันให้ครอบคลุมทั่วถึงเป็นไปได้ยาก

นอกจากนี้ การใช้สารเคลือบถนอมรักษา (Preservative Coatings) ในบริเวณนี้มักจะบดบังปัญหาที่เกิดขึ้น มากกว่าที่จะช่วยป้องกันการกัดกร่อนอย่างแท้จริง ดังนั้น **ไม่ควรใช้สารเคลือบถนอมรักษาบนล้อชุดล้อลงจอด** เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเบรกอาจทำให้สารเคลือบเสื่อมสภาพหรือก่อให้เกิดอันตรายได้

3.6.2 ระหว่างการตรวจสอบบริเวณช่องล้อและชุดล้อลงจอด ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษกับตำแหน่งที่มักพบปัญหาการกัดกร่อน ดังต่อไปนี้

- ชิ้นส่วนอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง
- พื้นผิวที่เปิดโล่งของสตรัท (Struts) โอลีโอ (Oleos) แขนยึด (Arms) ลิงก์ (Links) และอุปกรณ์ยึดติด เช่น สลักเกลียว (Bolts) หรือพิน (Pins)
- พื้นที่ภายในเพลลา (Axle Interiors)
- สวิตช์แสดงตำแหน่งที่เปิดโล่ง และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ
- ร่องหรือช่องว่างระหว่างคานเสริม (Stiffeners) ซีโครง (Ribs) และผิวล่างของโครงสร้าง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มักกักเก็บน้ำและเศษสิ่งสกปรก
- ล้อที่ทำจากแมกนีเซียม โดยเฉพาะบริเวณรอบหัวสลัก หูยึด (Lugs) และบริเวณโครงล้อ (Wheel Web Areas)
- ท่อแข็งที่เปิดโล่ง โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อแบบ “บี-นัท (B-Nuts)” แฟร์รูล (Ferrules) ใต้แคลมป์ และบริเวณที่มีเทระบุชนิดท่อ (Tubing Identification Tapes)

รูปที่ 3-3 จุดเสี่ยงการกัดกร่อนของชุดล้อลงจอดและช่องล้อ (Landing Gear and Wheel Corrosion Points)



### 3.7 พื้นผิวภายนอกลำตัวอากาศยาน

(External Skin Areas)

พื้นผิวภายนอกของอากาศยานโดยทั่วไปจะถูกเคลือบด้วยผิวป้องกัน (Protective Finishes) และผู้ใช้งานยังสามารถพ่นเคลือบสีเพิ่มเติมได้อีกด้วย พื้นที่ภายนอกของอากาศยานที่ได้รับผลกระทบจากการกัดกร่อนมักสามารถมองเห็นได้โดยตรง หรือเข้าถึงได้ง่ายสำหรับการตรวจสอบและซ่อมบำรุง

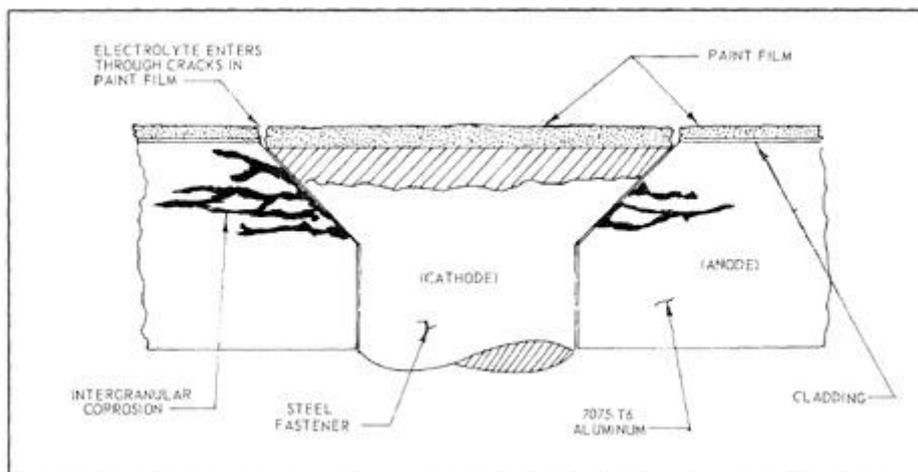
ในอดีตได้มีการให้ความสำคัญกับบริเวณเหล่านี้เป็นอย่างมาก และมีการกำหนดขั้นตอนการซ่อมบำรุงไว้อย่างชัดเจนแล้ว อย่างไรก็ตาม แม้ในบริเวณที่เข้าถึงได้ง่ายเช่นนี้ การจัดวางโครงสร้าง บางลักษณะ หรือการใช้วัสดุหลายชนิดร่วมกัน (Combination of Materials) ก็ยังสามารถก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนที่รุนแรงได้ และจำเป็นต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายร้ายแรง

นอกเหนือจากบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากคราบไอเสียเครื่องยนต์แล้ว บริเวณที่มักพบปัญหาการกัดกร่อนที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

3.7.1 ตัวยึดที่ทำจากเหล็ก ไทเทเนียม เหล็กกล้าทนการกัดกร่อน และโลหะผสมนิกเกิล (Steel, Titanium, Corrosion Resistant Steel (CRES), and Nickel Alloy Fasteners)

ตัวยึด (Fasteners) และบริเวณรอบตัวยึดถือเป็นจุดที่มักเกิดปัญหาการกัดกร่อน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวต้องรับโหลดจากการใช้งานสูง (High Operational Loads) มีโอกาสที่ความชื้นจะแทรกซึมเข้าไปได้ง่าย (Moisture Intrusion) และมักเป็นจุดที่เกิดการสัมผัสกันของโลหะต่างชนิด (Dissimilar Metal Contact) ซึ่งส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกบนผิวอะลูมิเนียมได้

ตัวอย่างของความเสียหายดังกล่าวแสดงไว้ใน รูปที่ 3-4 การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075-T6 ที่อยู่ติดกับตัวยึดเหล็ก (Intergranular Corrosion of 7075-T6 Aluminum Adjacent to Steel Fastener)



รูปที่ 3-4 การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ 7075-T6 ที่อยู่ติดกับตัวยึดเหล็ก (Intergranular Corrosion of 7075-T6 Aluminum Adjacent to Steel Fastener)

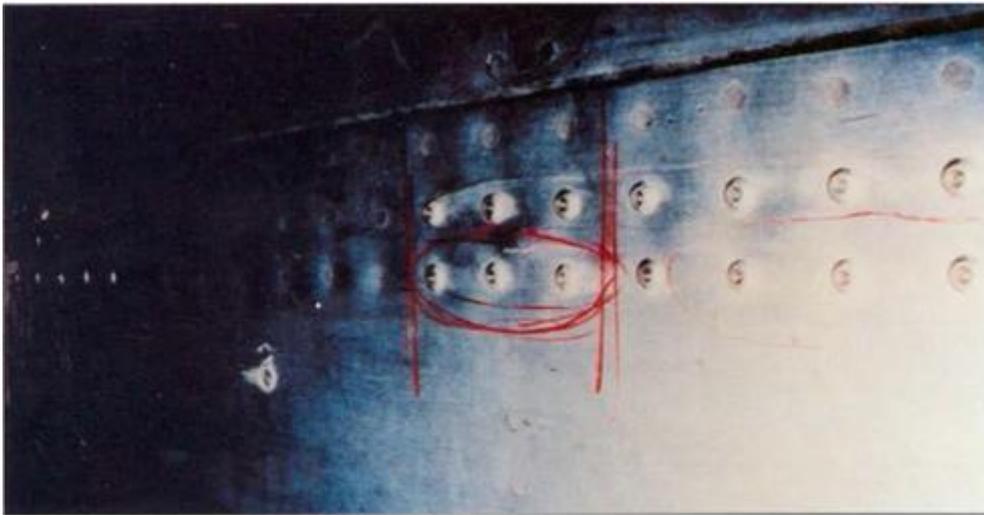
วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



### 3.7.2 ผิวสัมผัสประกบและร่องแคบ (Faying Surfaces and Crevices)

ลักษณะการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสประกบ (Faying Surfaces) แนวตะเข็บ (Seams) และรอยต่อ (Joints) มีลักษณะคล้ายกับการกัดกร่อนที่พบบนตัวยึด โดยมีสาเหตุมาจากการแทรกซึมของความชื้นและสารก่อการกัดกร่อนอื่น ๆ

ผลกระทบของการกัดกร่อนประเภทนี้มักสามารถตรวจพบได้จากการโป่งพอง (Bulging) ของผิวโครงสร้าง ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ว่ามีการกัดกร่อนเกิดขึ้นภายในรอยต่อหรือบริเวณที่ไม่สามารถมองเห็นได้โดยตรง



รูปที่ 3-5 รอยร้าวและการโป่งพองของผิวโครงสร้างที่เกิดจากการกัดกร่อน (Crack and Skin Bulging Caused by Corrosion)

### 3.7.3 ผิวโครงสร้างแมกนีเซียม (Magnesium Skins)

ผิวโครงสร้างที่ทำจากแมกนีเซียมซึ่งผ่านการปรับสภาพผิวอย่างเหมาะสม มีการแยกฉนวน (Insulation) และเคลือบสีอย่างถูกต้อง จะก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนค่อนข้างน้อย หากสามารถรักษาสภาพผิวเดิมไว้ได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม กระบวนการตัดแต่ง (Trimming) การเจาะ (Drilling) และการย้ำหมุด (Riveting) จะทำลายชั้นปรับสภาพผิวเดิมบางส่วน ซึ่งอาจไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับสู่สภาพเดิมได้ทั้งหมดด้วยวิธีการซ่อมแซม (Touch-up Procedures)

3.7.3.1 อากาศยานบางแบบมีการติดตั้งตัวยึดที่ทำจากเหล็ก (Steel Fasteners) ผ่านผิวแมกนีเซียม โดยมีเพียงผิวเคลือบป้องกันใต้หัวตัวยึด และมีการใช้ซีลแลนต์ แบบฟิลเลต (Fillet Sealant) หรือเทป (Tape) บนผิวเพื่อเป็นฉนวน การเคลือบสีในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงอย่างฉับพลัน เช่น ขอบที่ถูกตัดแต่ง มักจะมีความบางโดยธรรมชาติ เมื่อพิจารณาพร้อมกับความไวต่อ



ความชื้นของแมกนีเซียมแล้ว เงื่อนไขเหล่านี้จึงก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนทุกครั้งที่มีการใช้แมกนีเซียมเป็นวัสดุโครงสร้าง

3.7.3.2 การตรวจสอบการกัดกร่อนควรครอบคลุมผิวโครงสร้างแมกนีเซียมทั้งหมด รวมถึงพิตติงหรือชิ้นส่วนโครงสร้างที่ทำจากแมกนีเซียม โดยต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษกับขอบชิ้นงาน บริเวณรอบขอบผิวและตัวยึด รวมถึงตำแหน่งที่สเกิดการแตกร้าว หลุดร่อน หรือสูญหาย

#### 3.7.4 ผิวโครงสร้างที่เชื่อมแบบจุด (Spot-Welded Skins)

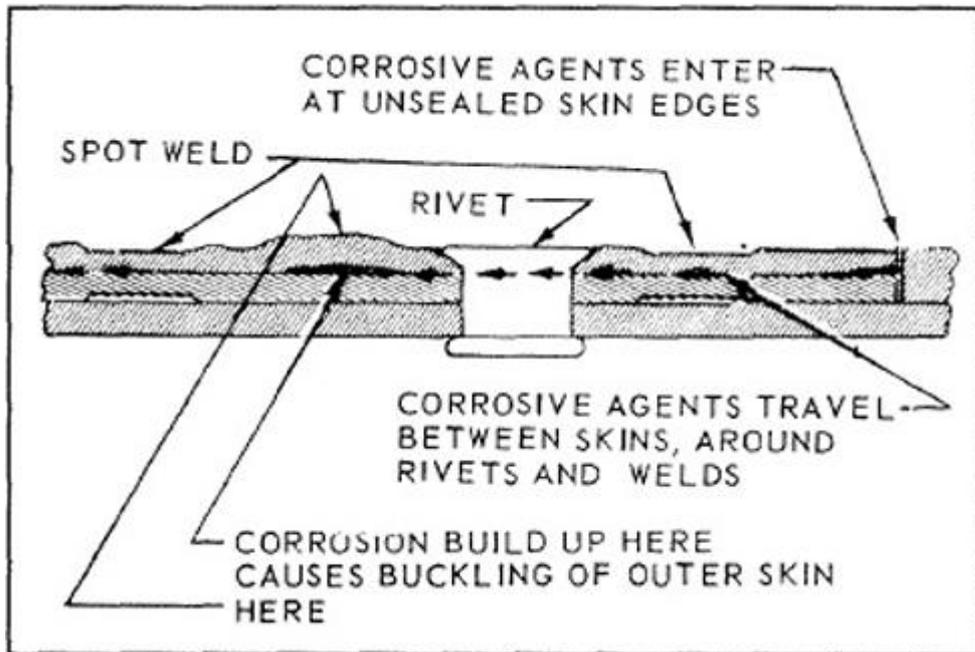
การกัดกร่อนของผิวโครงสร้างที่เชื่อมแบบจุดเกิดขึ้นเป็นหลักจากการแทรกซึมและการกักเก็บของความชื้นหรือสารก่อการกัดกร่อนอื่น ๆ ระหว่างชั้นของโลหะ ดังแสดงใน รูปที่ 3-6 การกัดกร่อนของผิวโครงสร้างที่เชื่อมแบบจุด (Spot-Welded Skin Corrosion)

3.7.4.1 ชุดประกอบที่เชื่อมแบบจุดมีความไวต่อการกัดกร่อนเป็นพิเศษ โดยการกัดกร่อนจะทำให้ผิวโครงสร้างเกิดการโก่งตัว (Skin Buckling) การโป่งพองบริเวณรอยเชื่อมแบบจุด (Spot-Weld Bulging) หรือเกิดการแตกร้าว การกัดกร่อนลักษณะนี้สามารถสังเกตได้จากการปรากฏของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนบริเวณร่องหรือช่องว่างที่สารก่อการกัดกร่อนแทรกซึมเข้าไป

การกัดกร่อนบางส่วนอาจมีจุดเริ่มต้นจากกระบวนการผลิต (Fabricating Processes) อย่างไรก็ตาม การลุกลามจนถึงระดับที่ผิวโครงสร้างโป่งพองหรือรอยเชื่อมแบบจุดแตกหัก มักเป็นผลโดยตรงจากการที่ความชื้นหรือสารก่อการกัดกร่อนเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างหรือแนวตะเข็บที่เปิดอยู่ แม้ว่าวัสดุซีลแลนต์ ชนิดเชื่อมทะลุ (Weld-Through Sealing Materials) จะช่วยลดปัญหานี้ได้ แต่ในอากาศยานที่ใช้งานอยู่จำนวนมากยังคงพบผิวโครงสร้างที่เชื่อมแบบจุดซึ่งไม่ได้รับการซีล

3.7.4.2 การกัดกร่อนอาจเกิดขึ้นได้ทั้งที่ผิวสัมผัสประกบด้านนอก (External Faying Surfaces) และด้านใน (Internal Faying Surfaces) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมักพบการกัดกร่อนรุนแรงกว่าบริเวณด้านนอก เมื่อการกัดกร่อนลุกลามมากขึ้น จะทำให้ผิวโครงสร้างเกิดการโก่งตัว (Skin Buckling) และในที่สุดอาจนำไปสู่การแตกหักของรอยเชื่อมแบบจุด (Spot-Weld Fracture) การตรวจพบการโก่งตัวของผิวโครงสร้างในระยะเริ่มต้น สามารถทำได้โดยการสังเกตด้วยสายตา หรือการลูบคลำไปตามแนวรอยเชื่อมแบบจุด รวมถึงการใช้ไม้บรรทัดตรงหรืออุปกรณ์ขอบตรง (Straight Edge) วางทาบบนผิวโครงสร้าง เพื่อแสดงความไม่สม่ำเสมอของผิวตามแนวรอยเชื่อม

3.7.4.3 เพื่อป้องกันการเกิดสภาพดังกล่าว ควรดูแลให้จุดที่มีโอกาสให้ความชื้นแทรกซึมเข้าไปได้ เช่น ช่องว่าง แนวตะเข็บ และรูที่เกิดจากรอยเชื่อมที่ชำรุด ถูกอุดปิดด้วยวัสดุซีลแลนต์ (Sealant) ชนิดไม่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน (Noncorrosive Sealant) อย่างเหมาะสม



รูปที่ 3-6 การกัดกร่อนของผิวโครงสร้างที่เชื่อมแบบจุด (Spot-Welded Skin Corrosion)

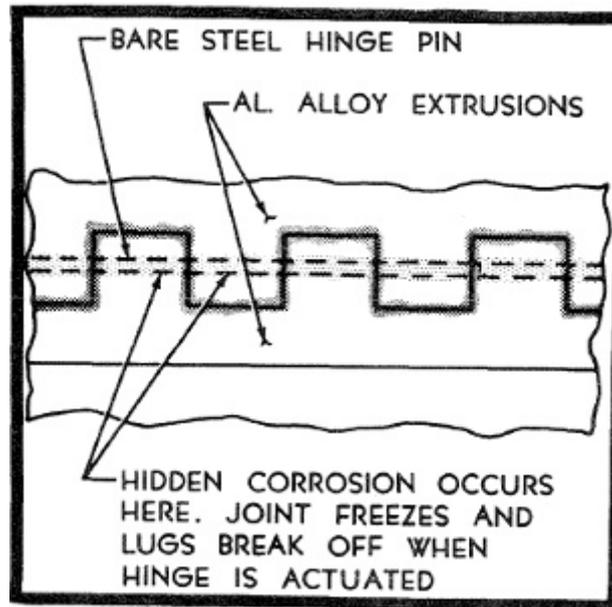
### 3.7.5 บานพับแบบเปียโน (Piano-Type Hinges)

บานพับแบบเปียโนเป็นตำแหน่งที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดการกัดกร่อน เนื่องจากการสัมผัสกันของโลหะต่างชนิด (Dissimilar Metal Contact) ระหว่างพินเหล็ก (Steel Pin) กับแผ่นหุบานพับอะลูมิเนียม (Aluminum Hinge Tangs) นอกจากนี้ บานพับชนิดนี้ยังเป็นตำแหน่งที่กักเก็บสิ่งสกปรกเกลือ และความชื้นได้ง่ายตามธรรมชาติ

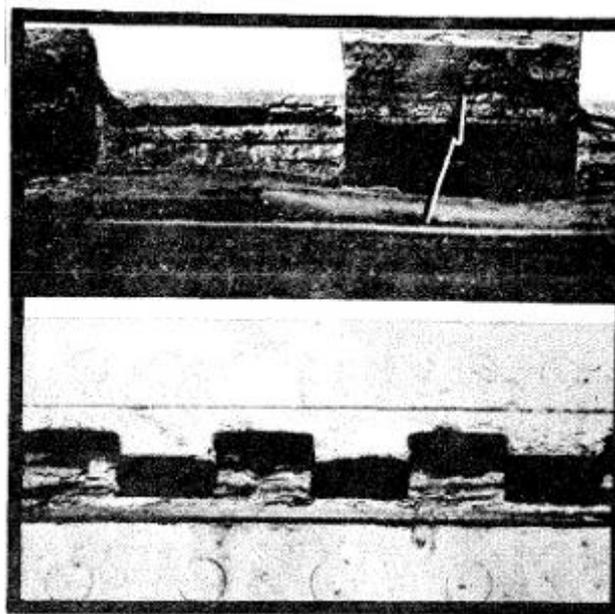
บานพับมักเกิดการกัดกร่อนและติดขัดในตำแหน่งปิดระหว่างช่วงการตรวจสภาพ โดยเฉพาะเมื่อบานพับเป็นส่วนหนึ่งของประตูหรือแผ่นเปิดตรวจ (Access Doors or Plates) ซึ่งจะถูกใช้งานหรือขยับเฉพาะในช่วงที่เปิดเพื่อตรวจสอบเท่านั้น

เมื่อทำการตรวจสอบบานพับ ควรทำการหล่อลื่นและขยับบานพับผ่านรอบการเปิด-ปิดหลายครั้ง เพื่อช่วยให้สารหล่อลื่นซึมแทรกเข้าไปในบริเวณแกนและจุดสัมผัสได้อย่างทั่วถึง

ตำแหน่งเสี่ยงต่อการกัดกร่อนของบานพับแสดงไว้ใน รูปที่ 3-7 จุดเสี่ยงการกัดกร่อนของบานพับ (Hinge Corrosion Points) และตัวอย่างความเสียหายของบานพับที่เกิดจากการกัดกร่อนแสดงไว้ใน รูปที่ 3-8 ความเสียหายของบานพับที่เกิดจากการกัดกร่อน (Hinge Failure Caused by Corrosion)



รูปที่ 3-7 จุดเสี่ยงการกัดกร่อนของบานพับ (Hinge Corrosion Points)



รูปที่ 3-8 ความเสียหายของบานพับที่เกิดจากการกัดกร่อน (Hinge Failure Caused by Corrosion)



### 3.7.6 ผิวโครงสร้างอะลูมิเนียมอัลลอยด์ชนิดหนาหรือเรียวยาว (Heavy or Tapered Aluminum Alloy Skin Surfaces)

ผิวโครงสร้างอะลูมิเนียมอัลลอยด์ที่ผ่านการอบชุบแข็ง (Heat-Treated) และมีความหนาหรือมีลักษณะเรียวยาว มักมีความไวต่อการกัดกร่อนแบบพิตติง (Pitting Corrosion) การกัดกร่อนตามแนวขอบเกรน (Intergranular Corrosion) และการกัดกร่อนแบบเอ็กซ์โฟลลิเอชัน (Exfoliation Corrosion)

ระหว่างการตรวจสอบผิวภายนอก โดยเฉพาะบริเวณรอบหัวตัวยึดแบบฝังจม (Countersunk Fastener Heads) ควรสังเกตการปรากฏของผงสีขาวหรือสีเทา รวมถึงการล่อนหรือฟองของเนื้อโลหะ ซึ่งมักเริ่มต้นจากการเกิดปุ่มนูนขนาดเล็กใต้ฟิล์มสี

3.7.6.1 การแก้ไขการกัดกร่อนประเภทนี้ต้องดำเนินการโดยการกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การกัดกร่อนแบบเอ็กซ์โฟลลิเอชัน จะต้องทำการขัดเกลีและขัดผิวโลหะภายในขอบเขตที่ผู้ผลิตอากาศยานกำหนดไว้ หากยังคงพบผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนหลังจากถึงขีดจำกัดที่กำหนดแล้ว จะต้องติดต่อผู้ผลิตอากาศยานเพื่อขอคำแนะนำหรือขีดจำกัดที่ได้รับอนุญาตเพิ่มเติม การซ่อมแซมจะถือว่าสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อมีการฟื้นฟูผิวป้องกันให้กลับสู่สภาพสมบูรณ์อย่างครบถ้วน

3.7.6.2 บริเวณที่ผ่านการซ่อมแซมควรได้รับการปกป้องด้วยการเคลือบผิวแบบแปรสภาพทางเคมี (Chemical Conversion Coating) ไพรเมอร์ชนิดซีลแลนต์ (Sealant Primer) และสีเคลือบชั้นบน (Topcoat) ตามความเหมาะสม พร้อมทั้งต้องเผื่อระวางบริเวณดังกล่าวอย่างใกล้ชิด เพื่อสังเกตสัญญาณของการกัดกร่อนที่อาจเกิดขึ้นซ้ำ

### 3.7.7 วัสดุคอมโพสิตอินทรีย์ (Organic Composites)

วัสดุคอมโพสิตอินทรีย์ที่ใช้ในอากาศยานก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนที่แตกต่างจากโครงสร้างโลหะทั้งหมด คอมโพสิตประเภทกราไฟต์/อีพ็อกซี (Graphite/Epoxy) ทำหน้าที่เสมือนโลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงมาก (Noble or Cathodic Material) จึงสร้างศักย์ไฟฟ้าสำหรับการเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิก

ศักย์การกัดกร่อนแบบกัลวานิกดังกล่าว เมื่อรวมกับวิธีการยึดติดที่แตกต่างกัน เช่น การยึดด้วยกาว (Adhesive Bonding) โครงสร้างแบบขั้น (Stepped Structures) หรือการใช้ตัวยึดเชิงกลแบบล็อก จะก่อให้เกิดชุดกัลวานิกหลายองค์ประกอบ ซึ่งรุนแรงยิ่งขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงและไอเกลือจากทะเล

การทำซีลแลนต์ (Sealant) อากาศยานบริเวณรอยต่อระหว่างโลหะต่างชนิดกับคอมโพสิตสามารถช่วยป้องกันการกัดกร่อนแบบกัลวานิกได้ หากสามารถไล่ความชื้นออกจากรอยต่อได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานจริงระยะยาว ความชื้นแทบไม่สามารถกำจัดออกได้ทั้งหมด วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดศักย์ไฟฟ้าจึงเป็นการจัดให้มีชั้นไม่เป็นสื่อไฟฟ้าระหว่างผิวคอมโพสิตและโลหะต่างชนิด เช่น ชั้นไฟเบอร์กลาส/อีพ็อกซี ซีลแลนต์ (Sealant) หรือการใช้ร่วมกัน



ทั้งนี้ การทาซีลแลนต์ (Sealant) บริเวณรอยต่อดังกล่าวอาจบดบังการกัดกร่อน หากชั้นซีลแลนต์ เกิดความเสียหายหรือเสื่อมสภาพ

### 3.8 บริเวณที่เกิดการกักเก็บน้ำ (Water Entrapment Areas)

การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการกักเก็บความชื้นไว้ภายในโครงสร้าง ยกเว้นโครงสร้างแบบแซนด์วิช (Sandwich Structures) ข้อกำหนดด้านการออกแบบโดยทั่วไปจะกำหนดให้อากาศยานมีระบายน้ำ (Low-Point Drains) ในทุกตำแหน่งที่มีโอกาสสะสมน้ำหรือของเหลวอื่น ๆ

ในหลายกรณี ระบายน้ำเหล่านี้อาจไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม หรือถูกอุดตันด้วยซีลแลนต์ (Sealant) ตัวยึดที่หลุดเข้าไป สิ่งสกปรก จาระบี หรือเศษวัสดุต่าง ๆ บริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการกักเก็บน้ำจะไม่ก่อให้เกิดปัญหา หากระบายน้ำทำงานได้ตามปกติ และอากาศยานอยู่ในท่าจอดตามปกติบนชุดล้อลงจอด

อย่างไรก็ตาม การอุดตันของระบายน้ำเพียงรูเดียว หรือการเปลี่ยนระดับการวางตัวของอากาศยาน อาจทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนจากการกักเก็บน้ำในบริเวณที่เปรียบเสมือน “อ่างอาบน้ำ” ได้ ดังนั้น จึงแนะนำให้มีการตรวจสอบระบายน้ำจุดต่ำสุดเป็นประจำทุกวัน

### 3.9 บริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์และช่องลมระบายความร้อน (Engine Frontal Areas and Cooling Air Vents)

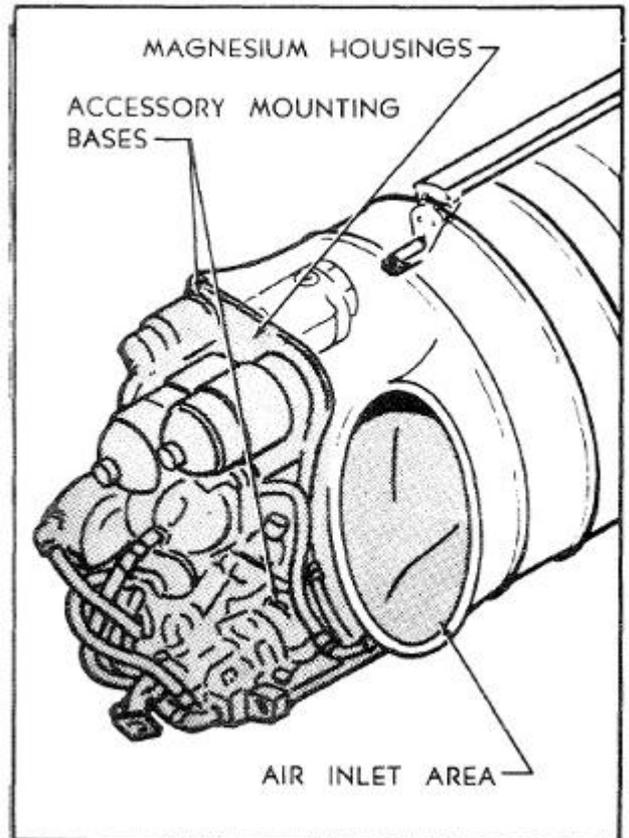
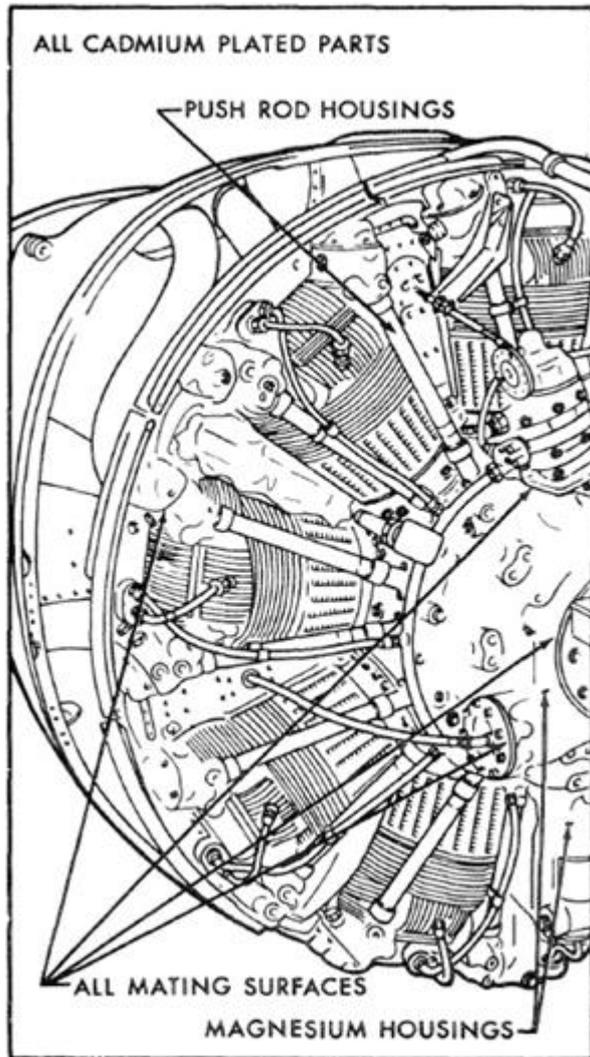
บริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์และช่องลมระบายความร้อนต้องเผชิญกับการขัดถูอย่างต่อเนื่องจากฝุ่นละอองในอากาศ เม็ดกรวดจากทางวิ่ง และฝน ซึ่งล้วนมีแนวโน้มทำลายผิวเคลือบป้องกันบนโครงสร้าง

แผงระบายความร้อนของหม้อน้ำ (Radiator Cooler Cores) หรือครีบบอกสูบของเครื่องยนต์ลูกสูบ ซึ่งออกแบบมาเพื่อการระบายความร้อน มักไม่ได้เคลือบสี นอกจากนี้ ฐานยึดอุปกรณ์ประกอบเครื่องยนต์ (Engine Accessory Mounting Bases) มักมีพื้นผิวแมกนีเซียมหรืออะลูมิเนียมที่ไม่ได้เคลือบสีในบริเวณที่ผ่านการกลิ้ง เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและมีเกลือหรือมลพิษทางอุตสาหกรรมปะปนอยู่ในอากาศ ย่อมเพิ่มความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออากาศที่มีความชื้นและมีเกลือหรือมลพิษทางอุตสาหกรรมไหลผ่านพื้นผิวเหล่านี้อย่างต่อเนื่อง บริเวณดังกล่าวจึงกลายเป็นแหล่งสำคัญที่เอื้อต่อการเกิดการกัดกร่อน การตรวจสอบพื้นที่เหล่านี้ควรครอบคลุมทุกส่วนตามแนวทางเดินของอากาศหล่อเย็น (Cooling Air Path) โดยต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษกับตำแหน่งที่มีสิ่งกีดขวางและร่องแคบต่าง ๆ ซึ่งอาจเกิดการสะสมของคราบเกลือได้ โดยเฉพาะในการปฏิบัติการบินในสภาพแวดล้อมทางทะเล



ตัวอย่างตำแหน่งการกัดกร่อนบริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์แสดงไว้ใน รูปที่ 3-9 การกัดกร่อนบริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์ลูกสูบ (Reciprocating Engine Frontal Area Corrosion) และ รูปที่ 3-10 จุดเสี่ยงการกัดกร่อนบริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์ไอพ่น (Jet Engine Frontal Area Corrosion Points)

**หมายเหตุ:** ในกรณีที่เกี่ยวข้อง ควรอ้างอิงคำแนะนำเฉพาะจากผู้ผลิตเครื่องยนต์ เพื่อใช้เป็นแนวทางเพิ่มเติมในการตรวจสอบและซ่อมบำรุง



รูปที่ 3-9 การกัดกร่อนบริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์ลูกสูบ (Reciprocating Engine Frontal Area Corrosion)

รูปที่ 3-10 จุดเสี่ยงการกัดกร่อนบริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์ไอพ่น (Jet Engine Frontal Area Corrosion Points)



### 3.10 ช่องบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Package Compartments)

ช่องบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นบริเวณที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศไหลผ่านโดยตรง (Ram Air) หรืออากาศจากระบบลมไอพ่นของเครื่องยนต์ (Compressor Bleed Air) ซึ่งทำให้พื้นที่ดังกล่าวต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกับช่องลมระบายความร้อนของเครื่องยนต์ อุปกรณ์ประกอบเครื่องยนต์ และบริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์

แม้ว่าระดับการสัมผัสกับสารก่อการกัดกร่อนจะน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณอากาศที่ไหลผ่านช่องมีน้อยกว่า และมีการออกแบบพิเศษเพื่อลดหรือป้องกันการเกิดน้ำควบแน่นภายในพื้นที่ที่ปิด แต่บริเวณนี้ยังคงถือเป็นพื้นที่เสี่ยงที่ต้องได้รับการตรวจสอบและดูแลเป็นพิเศษ

3.10.1 เนื่องจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breakers) จุดสัมผัสไฟฟ้า (Contact Points) และสวิตช์ (Switches) มีความไวต่อความชื้นและการกัดกร่อนอย่างยิ่ง จึงต้องทำการตรวจสอบสภาพดังกล่าวอย่างละเอียดเท่าที่การออกแบบของอุปกรณ์จะเอื้ออำนวย หากลักษณะการออกแบบทำให้ไม่สามารถตรวจสอบอุปกรณ์เหล่านี้ได้ขณะติดตั้งอยู่กับที่ ควรดำเนินการตรวจสอบเมื่อมีการถอดอุปกรณ์ออกด้วยเหตุผลอื่น

3.10.2 การแก้ไขหรือการกำจัดการกัดกร่อนในอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ควรดำเนินการหรืออยู่ภายใต้การควบคุมของบุคลากรที่มีคุณสมบัติและมีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ

โดยเฉพาะ เนื่องจากวิธีการกำจัดการกัดกร่อนทั่วไปอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์บางชนิดได้

3.10.3 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การบิน (Avionic Equipment) โดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายกับการกัดกร่อนของโครงสร้างอากาศยานพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม มีความแตกต่างที่สำคัญคือ การกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยมากในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อาจก่อให้เกิดการเสื่อมสมรรถนะอย่างรุนแรงหรือทำให้อุปกรณ์ขัดข้องโดยสิ้นเชิง ในขณะที่การกัดกร่อนในระดับเดียวกันบนโครงสร้างขนาดใหญ่ของอากาศยานอาจไม่สามารถสังเกตเห็นได้หรือยังไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน

3.10.4 หมอกควัน (Smog) ควัน เขม่า และสารปนเปื้อนในอากาศชนิดอื่น ๆ มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงมากต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปิดโล่ง ไอระเหยและก๊าซจำนวนมากที่ปล่อยออกมาจากโรงงานหรือกลุ่มอุตสาหกรรมมีสภาพเป็นกรดสูง และสามารถเร่งการเกิดการกัดกร่อนได้อย่างมาก

ตัวอย่างหนึ่งคือผลกระทบจากโอโซน (Ozone) ซึ่งเป็นผลผลิตจากเครื่องเชื่อมโลหะและมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ โอโซนสามารถก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพอย่างสมบูรณ์ของซิลิโคน และสร้างความเสียหายต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความละเอียดอ่อนได้ มีรายงานความเสียหายของอุปกรณ์ที่ถูกจัดเก็บไว้ในคลังแห่งกำเนิดโอโซน ดังนั้น โรงซ่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การบินและพื้นที่จัดเก็บควรมีระบบปรับอากาศที่มีการกรองอากาศ เพื่อช่วยกำจัดโอโซนออกจากพื้นที่ปิดดังกล่าว



3.10.5 บรรยากาศที่มนุษย์สร้างขึ้นอีกประเภทหนึ่งคือบรรยากาศภายในระบบควบคุมสภาพแวดล้อมของอากาศยาน (Aircraft Environmental Control System) ระบบเหล่านี้ทำหน้าที่ส่งอากาศหล่อเย็นไปยังอุปกรณ์ และอาจมีระบบกรองเพื่อแยกความชื้นหรือสารปนเปื้อนออกจากอากาศก่อนเข้าสู่อุปกรณ์

ควรทำการเปลี่ยนหรือทำความสะอาดไส้กรองตามกำหนด และแก้ไขข้อผิดพลาดของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมที่รั่วซึมอยู่เสมอ เพื่อป้องกันการสะสมของความชื้นหรือสารปนเปื้อน ซึ่งอาจก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการกัดกร่อนภายในอุปกรณ์

3.10.6 การควบคุมการกัดกร่อนในระบบอิเล็กทรอนิกส์การบินมีหลักการคล้ายกับการควบคุมการกัดกร่อนในโครงสร้างอากาศยาน แต่ต้องมีการปรับใช้ให้เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมการกัดกร่อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์การบิน ได้แก่

- ระบบป้องกันการกัดกร่อนมีความทนทานต่ำกว่าโครงสร้างอากาศยาน
- การกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยอาจทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้
- มักมีการสัมผัสกันทางไฟฟ้าของโลหะต่างชนิด
- กระแสไฟฟ้ารั่ว (Stray Currents) สามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อน
- โลหะที่มีความไวต่อการกัดกร่อนและโลหะต่างชนิดที่สัมผัสกันมักไม่มีการป้องกันที่เพียงพอ
- กล่องอุปกรณ์แบบปิดอาจเกิดการควบแน่นของไอน้ำจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามวงรอบการบิน
- ระบบอิเล็กทรอนิกส์การบินมีหลายตำแหน่งที่สามารถกักเก็บความชื้นได้
- การกัดกร่อนที่ซ่อนอยู่ภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตรวจพบได้ยาก
- วัสดุหลายชนิดในระบบอิเล็กทรอนิกส์การบินสามารถถูกทำลายได้โดยแบคทีเรียและเชื้อรา
- วัสดุอินทรีย์ เมื่อได้รับความร้อนสูงเกินไป หรือผ่านกระบวนการบ่ม (Curing) ที่ไม่เหมาะสมหรือไม่สมบูรณ์ อาจปล่อยไอระเหยที่มีฤทธิ์กัดกร่อนต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และสร้างความเสียหายต่อผิวเคลือบและฉนวนไฟฟ้า

### 3.11 บริเวณที่เป็นปัญหาอื่น ๆ (Miscellaneous Trouble Areas)

นอกเหนือจากบริเวณที่กล่าวมาแล้ว ยังมีบริเวณอื่น ๆ ที่มักพบปัญหาการกัดกร่อน ซึ่งบางส่วนได้กล่าวไว้ในเอกสารของผู้ผลิตอากาศยาน รายการต่อไปนี้เป็นตัวอย่างเป็นตัวอย่างของบริเวณที่พบบ่อยและควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ



3.11.1 ควรตรวจสอบและเปลี่ยนชุดท่อยืดหยุ่น (Flexible Hose Assemblies) ทุกเส้นที่พบการเสียดสี (Chafing) การแตกถายงาเนื่องจากสภาพอากาศ (Weather Checking) การแข็งตัว การเปลี่ยนสี หลักฐานการเจริญเติบโตของเชื้อรา หรือการฉีกขาดของชั้นเคลือบหรือปลอกป้องกันสภาพอากาศ

3.11.2 ขอบที่ถูกตัดแต่งของแผงโครงสร้างแบบแซนด์วิช (Sandwich Panels) และรูที่ผ่านการเจาะ ควรมีการป้องกันการกัดกร่อนในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง แนะนำให้ใช้การทาด้วยแปรงโดยใช้ น้ำยาสารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor Solution) หรือการทาซีลแลนต์ (Sealant) ตามแนวขอบ หรือใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

เมื่อใช้ซีลแลนต์ (Sealant) ควรอุดช่องว่างหรือโพรงที่ความชื้น สิ่งสกปรก หรือวัสดุแปลกปลอมอื่น ๆ สามารถสะสมได้ โครงสร้างที่อยู่ติดกัน (ไม่ใช่ตัวแผงแซนด์วิชเอง) ควรมีระบบระบายน้ำที่เพียงพอเพื่อป้องกันการสะสมของความชื้น ควรซ่อมแซมความเสียหายหรือรูทะลุของแผงโดยเร็วที่สุด เพื่อป้องกันการแทรกซึมของความชื้นเพิ่มเติม แม้ว่าการซ่อมถาวรอาจต้องเลื่อนออกไปก็ตาม

3.11.3 สายเคเบิล (Control Cables) ไม่ว่าจะเป็ชนิดเหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กกล้าไร้สนิม ก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนได้ โดยสาเหตุหลักมักมาจากบริเวณที่ชั้นเคลือบถนอมรักษา (Preservative Coating) หลุดลอกหรือบางลง

การประเมินสภาพสายเคเบิล ควรเริ่มจากการทำความสะอาดชุดสาย ตรวจสอบการกัดกร่อน และหาสารถนอมรักษาที่ได้รับอนุญาต หากไม่พบการกัดกร่อน แต่หากพบการกัดกร่อนภายนอก ควรคลายแรงตึงของสาย และตรวจสอบลวดด้านในว่ามีกรกัดกร่อนหรือไม่ สายที่พบการกัดกร่อนในเส้นลวดด้านในควรเปลี่ยนใหม่ทันที

ควรให้ความสนใจเป็นพิเศษกับช่วงของสายที่ผ่านรางนำ (Fairleads) ครอบรอก (Sheaves) และบริเวณแขนเบลล์แครงก์ (Bell-Crank Arms) ที่มีร่อง การกำจัดกรกัดกร่อนภายนอกควรทำโดยใช้ผ้าแห้งสะอาดที่มีผิวหยาบ หรือแปรงใยไฟเบอร์ หลังจากกำจัดกรกัดกร่อนจนหมดแล้ว ให้หาสารถนอมรักษาอีกครั้ง

3.11.4 วัสดุเคลือบชั้นบน (Topcoating Materials) ที่ใช้ในถังเชื้อเพลิงแบบรวมเป็นเนื้อเดียว (Integral Fuel Cells) เช่น บุนา-เอ็น (Buna-N) โพลียูรีเทน หรืออีพ็อกซี มีคุณสมบัติในการไล่เชื้อเพลิง แต่สามารถดูดซับความชื้นผ่านชั้นเคลือบได้ และในบางกรณีอาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบพิตติงหรือการกัดกร่อนตามแนวขอบเกรนต่อโครงสร้างอากาศยาน

นอกจากนี้ ยังพบว่าจุลชีพที่อาศัยอยู่ในน้ำที่ปะปนอยู่กับเชื้อเพลิง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงอากาศยานประเภทไอพ่น จะใช้ไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิงและวัสดุเคลือบอย่างสังเคราะห์เป็นแหล่งอาหาร



กรดอินทรีย์ที่ถูกขับถ่ายออกมาและซากจุลชีพจะรวมตัวเป็นมวลลักษณะคล้ายฟองน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งสามารถทำลายชั้นเคลือบถังเชื้อเพลิงและกักกรองโครงสร้างอากาศยานได้

การลดปัญหาการกักกรองจากจุลชีพควรเริ่มจากการป้องกันการปนเปื้อนของน้ำในเชื้อเพลิงให้ได้มากที่สุด ด้วยการจัดการคลังเก็บที่เหมาะสม การกรองเชื้อเพลิงอย่างเพียงพอ และการระบายน้ำที่ปนเปื้อนออกจากถังเชื้อเพลิงแบบรวมอย่างสม่ำเสมอ การระบายน้ำจะช่วยให้ไม่หยุดนิ่งและลดการก่อตัวของกลุ่มจุลชีพ

สามารถลดกิจกรรมของจุลชีพได้เพิ่มเติมโดยการใช้สารชีวฆาต (Biocide) เช่น **Biobor JF** หรือผลิตภัณฑ์ที่เทียบเท่า โดยต้องใช้อัตราส่วนความเข้มข้นและความถี่ในการใช้งานตามคำแนะนำของผู้ผลิต

3.11.5 ขั้วต่อไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดอาจถูกหุ้มด้วยสารอุด (Potting Compound) เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ในการใช้งาน และป้องกันการแทรกซึมของความชื้นเข้าสู่บริเวณที่สายไฟเชื่อมต่อกับขั้วพิน

3.11.5.1 ควรใช้โอริงยาง (Rubber O-Rings) เพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าสู่บริเวณจุดต่อของขั้วพิน และเพื่อป้องกันการสูญเสียแรงดันในห้องที่มีขั้วต่อผ่านผนังกัน (Bulkhead Connectors)

3.11.5.2 การแทรกซึมของความชื้นเข้าสู่ขั้วต่อไฟฟ้าอาจทำให้เกิดการกักกรองและความขัดข้องทางไฟฟ้า ควรถอดและแยกชิ้นส่วนปลั๊กที่สงสัย ทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม และตรวจสอบการกักกรองอย่างละเอียด

3.11.5.3 ในกรณีที่ไม่สามารถซีลอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ดังกล่าวอาจเกิดการแทรกซึมของความชื้นและการกักกรองภายในได้ จึงต้องได้รับการตรวจสอบและดูแลเป็นพิเศษ

3.11.6 ความเสียหายจากการกักกรองอย่างรุนแรงอาจเกิดขึ้นกับ ผนังกดอากาศด้านหลัง (Rear Pressure Bulkhead) บริเวณใต้พื้นอากาศยาน อันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของของเหลวต่าง ๆ การตรวจสอบการกักกรองของผนังกดอากาศด้านหลังอาจจำเป็นต้องมีการถอดชิ้นส่วนและอุปกรณ์ติดตั้งจำนวนมาก เพื่อให้สามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้อย่างทั่วถึง

ในกรณีที่มีรูสำหรับเข้าตรวจ (Inspection Access Holes) การตรวจสอบด้วยกล้องใยแก้วนำแสง (Fiber Optics) จะมีประโยชน์อย่างยิ่ง นอกจากนี้ ยังสามารถใช้วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Inspection: NDI) อื่น ๆ เช่น การเอกซเรย์ (X-ray) การตรวจด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) และการตรวจด้วยกระแสไหลวน (Eddy Current) อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจเหล่านี้จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่ได้รับการฝึกอบรมเฉพาะทาง มีมาตรฐานเปรียบเทียบสำหรับงาน NDI และต้องมีการเข้าถึงตำแหน่งตรวจสอบที่เหมาะสม



การตรวจสอบผนังกวดอากาศด้านหลังอย่างสม่ำเสมอ ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง บริเวณใต้ระดับพื้น จะช่วยป้องกันการสะสมของการกัดกร่อนอย่างรุนแรงระหว่างผนังกวดอากาศกับแผ่นเสริมรอบนอก (Periphery Doubler) บริเวณระดับพื้น การกัดกร่อนลักษณะนี้อาจทำให้ผิวผนังกวดอากาศอ่อนตัวลง และอาจนำไปสู่การสูญเสียแรงดันในห้องโดยสารอย่างฉับพลันได้

3.11.7 อากาศยานรุ่นเก่าบางแบบอาจเกิดการแยกชั้น (Delamination) ในรอยต่อที่ยึดด้วยกาวแบบเย็น (Cold-Bonded Joints) การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวที่แยกออกจากกันมักมีสาเหตุมาจากการแทรกซึมของความชื้นตามขอบของชิ้นส่วนที่ประกบกัน หรือรอบตัวยึดที่ใช้ยึดชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

สัญญาณเริ่มต้นของปัญหาการกัดกร่อนมักปรากฏในรูปของการโป่งพองเฉพาะจุด (Localized Bulging) ของผิวโครงสร้างหรือชิ้นส่วนโครงสร้างภายใน โดยมักเกิดรอบตัวยึด (ดูรูปที่ 3-11 การยกตัวของคานสปาร์ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน – Spar Chord Lifting Caused by Corrosion Products) นอกจากนี้ รอยแตกร้าวของผิวโครงสร้าง หรือหัวตัวยึดที่บวม จม หรือสูญหาย อาจเป็นสัญญาณบ่งชี้การกัดกร่อนอย่างรุนแรงในรอยต่อที่ยึดด้วยกาว

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวโครงสร้าง แผ่นเสริม (Doublers) และสตรึงเจอร์หรือเฟรม จะทำให้เกิดการโป่งพองเฉพาะจุดหรือหมุดย้าถูกดึงออก (ดู รูปที่ 3-12 การโป่งพองของผิวรอบตัวยึด – Skin Bulging Around Fasteners) อย่างไรก็ตาม การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวโครงสร้างกับแผ่นเสริมหรือแผ่นกันฉีก (Tear Straps) ในตำแหน่งที่ไม่มีโครงสร้างรองรับ เช่น สตรึงเจอร์หรือเฟรม จะไม่ก่อให้เกิดการโป่งพองเฉพาะจุดให้สังเกตได้จากภายนอก

การตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจด้วยกระแสไหลวน ความถี่ต่ำจากภายนอก (External Low-Frequency Eddy Current Inspection) จะช่วยระบุขอบเขตของการกัดกร่อนในผิวโครงสร้างได้ ควรทำการเปิดรอยต่อแบบแลป (Lap Joints) โดยใช้ลิ้ม เพื่อประเมินขอบเขตความเสียหายจากการกัดกร่อนอย่างคร่าวๆ (ดู รูปที่ 3-13 การเปิดรอยต่อแลปที่เกิดการกัดกร่อนเพื่อการซ่อม และรูปที่ 3-14 ภาพขยายของรอยต่อแลปที่เกิดการกัดกร่อน) การตรวจสอบด้วยสายตาจากภายในควรสามารถตรวจพบแผ่นเสริมหรือแผ่นกันฉีกที่เกิดการแยกชั้นได้

หลังจากกำจัดการกัดกร่อนและดำเนินการซ่อมแซมแล้ว ควรทาสารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดไล่น้ำและสามารถแทรกซึมได้ (Penetrating Water-Displacement Corrosion Inhibitor) บนผิวสัมผัสประกบทั้งหมด

3.11.8 ร่องของ Flap และ Slat (Flap and Slat Recesses) รวมถึงอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ภายในบริเวณดังกล่าว ซึ่งโดยปกติจะอยู่ในสภาพปิด อาจเกิดการกัดกร่อนโดยไม่สามารถตรวจพบได้ หากไม่มีการตรวจสอบเป็นพิเศษ ดังนั้น บริเวณเหล่านี้ควรได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอด้วยวิธีที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่ซ่อนอยู่

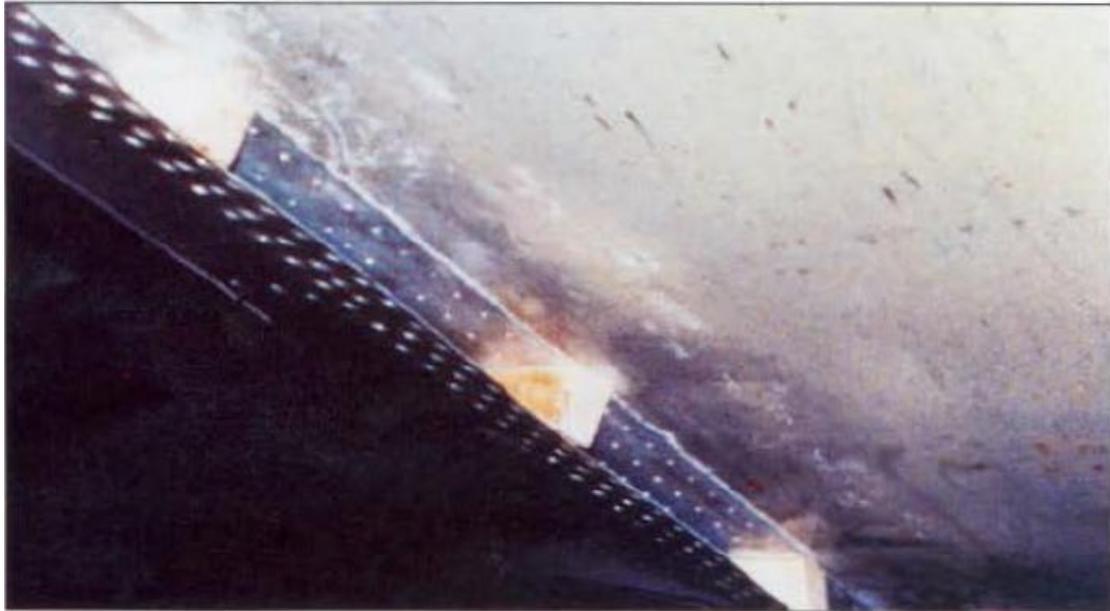


รูปที่ 3-11 การยกตัวของคอร์ดสปาร์ (Spar Chord) ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน (Spar Chord Lifting Caused by Corrosion Products)

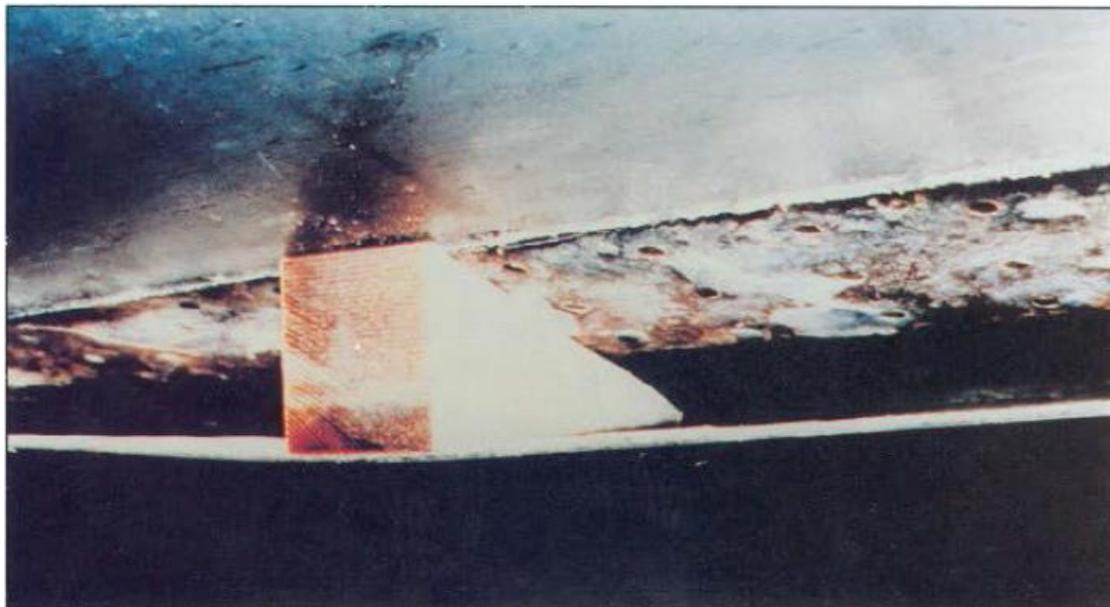




รูปที่ 3-12 การโป่งพองของผิวรอบตัวยึด – Skin Bulging Around Fasteners



รูปที่ 3-13 การเปิดรอยต่อแลปที่เกิดการกัดกร่อนเพื่อการซ่อม



รูปที่ 3-14 ภาพขยายของรอยต่อแลปที่เกิดการกัดกร่อน



### 3.12 ปัจจัยในการควบคุมการกัดกร่อน (Factors in Corrosion Control)

#### 3.12.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน (Corrosion Factors)

ความรุนแรง สาเหตุ และชนิดของการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ขนาดหรือความหนาของชิ้นส่วน วัสดุที่ใช้ กระบวนการอบชุบความร้อน (Heat Treatment) ผิวเคลือบป้องกัน (Protective Finishes) สภาพแวดล้อม มาตรการป้องกัน และการออกแบบโครงสร้าง

3.12.1.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความหนามากโดยทั่วไปจะมีความไวต่อการกัดกร่อนมากกว่า เนื่องจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ชิ้นส่วนผ่านกระบวนการอบชุบความร้อนระหว่างการผลิต เมื่อชิ้นส่วนขนาดใหญ่ถูกนำไปกลึงหรือกัดด้วยสารเคมี (Chemical Milling) หลังการอบชุบ ลักษณะการกัดกร่อนของบริเวณที่บางกว่าอาจแตกต่างจากบริเวณที่หนา

ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนเป็นไปตามข้อกำหนดด้านความแข็งแรงของโครงสร้างและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้เพื่อควบคุมการกัดกร่อน จากมุมมองด้านการซ่อมบำรุง แนวทางที่เหมาะสมคือการตระหนักถึงความจำเป็นในการรักษาความสมบูรณ์และความแข็งแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก และการคงสภาพการป้องกันถาวรบนบริเวณดังกล่าวไว้ตลอดเวลา

3.12.1.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน (In-Service Stresses) และการซ่อมแซมภาคสนาม (Field Repairs) อาจส่งผลต่ออัตราและลักษณะของการกัดกร่อน โครงสร้างอากาศยานที่อยู่ภายใต้ความเค้นแบบเป็นวัฏจักรสูง เช่น ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์ มีความเสี่ยงสูงต่อการแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (Stress-Corrosion Cracking)

บริเวณใกล้เคียงกับชิ้นส่วนที่ผ่านการซ่อมด้วยการเชื่อม มักพบการกัดกร่อนเนื่องจากการกำจัดฟลักซ์เชื่อมไม่สมบูรณ์ หรือการสะสมของสนิมแม่เหล็ก ควรตรวจสอบบริเวณเหล่านี้อย่างใกล้ชิดเพื่อหาสัญญาณของการกัดกร่อน และดำเนินการแก้ไขอย่างเหมาะสมเมื่อพบความผิดปกติ

#### 3.12.2 การควบคุมการกัดกร่อนในการออกแบบ (Corrosion Control in Design)

เนื่องจากการกัดกร่อนเป็นการเสื่อมสภาพของโลหะอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสภาพแวดล้อม การควบคุมหรือการลดอัตราการกัดกร่อนจึงควรถูกนำมาพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการออกแบบอากาศยานตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ก่อนที่อากาศยานจะเข้าสู่การใช้งานจริง ประเด็นด้านการกัดกร่อนที่กล่าวถึงในเอกสาร AC ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลในการลดอัตราการกัดกร่อนผ่านมาตรการควบคุมการกัดกร่อนที่นำมาใช้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการออกแบบ

3.12.2.1 ลักษณะพื้นฐานของวัสดุเป็นปัจจัยสำคัญต่อการกัดกร่อน อะลูมิเนียมอัลลอยด์และแมกนีเซียมอัลลอยด์ชนิดความแข็งแรงสูงที่สามารถอบชุบได้ มีความไวต่อการกัดกร่อนสูง ในขณะที่ไทเทเนียมและเหล็กกล้าไร้สนิมบางชนิดมีความไวต่อการกัดกร่อนในบรรยากาศต่ำกว่า



ผู้ผลิตอากาศยานจะเลือกวัสดุโดยพิจารณาจากความแข็งแรง น้ำหนัก และต้นทุนเป็นหลัก ในขณะที่ความทนทานต่อการกัดกร่อนมักถูกพิจารณาเป็นปัจจัยรอง ดังนั้น การควบคุมการกัดกร่อนควรถูกบรรจุไว้ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นของอากาศยานให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

3.12.2.2 การใช้วัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนมากขึ้นในการออกแบบ มักจะต้องแลกกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามที่ต้องการ น้ำหนักเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบโครงสร้างอากาศยาน ดังนั้น วิธีการหลักในการป้องกันการกัดกร่อนจึงมักเป็นการใช้ผิวเคลือบป้องกันร่วมกับขั้นตอนการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม

3.12.2.3 การใช้โลหะผสมที่ทนต่อการกัดกร่อนไม่สามารถแก้ปัญหาการกัดกร่อนได้ทั้งหมด ความผิดพลาดที่พบได้บ่อยคือการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เกิดการกัดกร่อนด้วยโลหะผสมที่ทนการกัดกร่อนมากกว่า ซึ่งในบางกรณีอาจทำให้การกัดกร่อนย้ายตำแหน่งไปเกิดกับชิ้นส่วนอื่น และมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นแทน

3.12.2.4 การป้องกันการกัดกร่อนจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อวัสดุที่ได้รับการปกป้องมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนโดยธรรมชาติ (Intrinsically Resistant to Corrosion) อะลูมิเนียมอัลลอยด์ผสมทองแดง (Aluminum-Copper Alloys ชุด 2000 series) เป็นที่ทราบกันว่ามีความทนทานต่อการแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (Stress-Corrosion Resistance) และมีคุณสมบัติความแข็งแรงต่อความล้า (Fatigue Strength) ดีกว่าอะลูมิเนียมอัลลอยด์ผสมสังกะสี (Aluminum-Zinc Alloys ชุด 7000 series) ดังนั้น ผู้ออกแบบอากาศยานจึงมักเลือกใช้อะลูมิเนียมอัลลอยด์ชุด 2000 series เป็นวัสดุโครงสร้างหลักบ่อยกว่า

3.12.2.5 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) เกิดจากการที่โลหะต่างชนิดสัมผัสกันทางไฟฟ้า โดยลำดับกัลวานิกของโลหะและโลหะผสม (Galvanic Series of Metals and Alloys) ตามที่แสดงใน ตารางที่ 3-1 ลำดับกัลวานิกของโลหะและโลหะผสม เป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการซ่อมบำรุงอากาศยาน

โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันมากตามตารางที่ 3-1 จะมีแนวโน้มเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกสูงกว่า ในขณะที่โลหะที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันตาม ตารางที่ 3-2 การจัดกลุ่มโลหะและโลหะผสม จะมีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าน้อย จึงถือว่ามีความปลอดภัยมากกว่าเมื่อใช้งานร่วมกัน อย่างไรก็ตาม การนำโลหะจากกลุ่มที่แตกต่างกันมาใช้งานร่วมกัน จะส่งผลให้โลหะในกลุ่มที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเกิดการกัดกร่อน

ค่าศักย์อิเล็กโทรด (Electrode Potentials) ที่แสดงในตารางที่ 3-1 เป็นค่าที่อ้างอิงจากวัสดุบริสุทธิ์ภายใต้สภาวะมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ ในการใช้งานจริง สภาวะแวดล้อมจะแตกต่างกันออกไป ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าอาจเปลี่ยนแปลงไปทางค่าบวกหรือค่าลบได้ เช่นเดียวกับผลกระทบจากธาตุผสมในโลหะอัลลอยด์



แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อการจัดลำดับโดยรวมของลำดับกัลวานิก แต่สามารถส่งผลกระทบต่อความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการกัดกร่อน และในบางกรณีอาจทำให้ลำดับของโลหะสองชนิดสลับกันได้

ตารางที่ 3-1 ลำดับกัลวานิกของโลหะและโลหะผสม

Electrode Potential of Various Metals and Alloys (a)	
Metal or Alloy (b) PH stainless steels	Potential, volts 0.025 0.1 N calomel scale (c)
Magnesium	-1.73
Zinc	-1.10
7072, Alclad 3003, Alclad 6061, Alclad 7075	-0.96
5056, 7079-T6, 5456, 5083, 214, 218	-0.87
5052, 5652, 5086, 1099	-0.85
3004, B214, 1185, 1060, 1260, 5050	-0.84
1100, 3003, 615, 6053, 6061-T6, 6062-T6, 6063, 6363, Alclad 2014, Alclad 2024	-0.83
Cadmium	-0.82
7075-T6, 356-T6, 360	-0.81
2024-T81, 6061-T4, 6062-T4	-0.80
355-T6	-0.79
2014-T6, 113, 750-T5	-0.78
2014-T4, 2017-T4, 2024-T3, and T4	-0.68 to- 0.70 (d)
Mild steel	-0.58
Lead	-0.55
Tin	-0.49
Copper	-0.20
Bismuth	-0.18
Stainless steel (series 300, type 430)	-0.09
Silver	-0.08
Nickel	-0.07
Chromium	-0.49 to +0.018

(a) Data from Alcoa Research Laboratories.  
 (b) The potential of all tempers is the same unless temper is designated.  
 (c) Measured in an aqueous solution of 53g of sodium chloride + 3g hydrogen peroxide per liter at 25 degree c.  
 (d) The potential varies with quenching rate.

ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น

แมกนีเซียม (Magnesium) มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุดในตาราง (ประมาณ -1.73 โวลต์) จึงเป็นโลหะที่มีความไวต่อการกัดกร่อนสูงมาก เมื่อสัมผัสกับโลหะชนิดอื่น

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



สังกะสี (Zinc) และอะลูมิเนียมอัลลอยด์หลายชนิด เช่น 7072, Alclad 3003, 6061, 7075 มีค่าอยู่ในช่วง  $-0.96$  ถึง  $-0.83$  โวลต์ แสดงถึงความไวต่อการกัดกร่อนในระดับสูงถึงปานกลาง แคดเมียม (Cadmium) มีค่าใกล้เคียงอะลูมิเนียมอัลลอยด์หลายชนิด (ประมาณ  $-0.82$  โวลต์) จึงมักถูกใช้เป็นสารเคลือบป้องกันเหล็ก โดยทำหน้าที่เป็นแอโนดสละตัว (Sacrificial Anode) เหล็กกล้าคาร์บอน (Mild Steel) มีค่าอยู่ประมาณ  $-0.58$  โวลต์ มีความทนทานต่อการกัดกร่อนมากกว่าอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม แต่ยังสามารถเกิดการกัดกร่อนได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ทองแดง (Copper) เงิน (Silver) นิกเกิล (Nickel) และโครเมียม (Chromium) มีค่าใกล้เคียงศูนย์มากขึ้น แสดงถึงความเป็นโลหะที่มีศักย์สูง (Noble Metals) และมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง การนำไปใช้ในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน

ในการซ่อมบำรุงหรือออกแบบการซ่อม ควรหลีกเลี่ยงการนำโลหะที่มี ความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้ามาก มาใช้งานสัมผัสกันโดยตรง หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องใช้มาตรการป้องกัน เช่น

- การแยกผิวด้วยซีลแลนต์ หรือวัสดุไม่เป็นสื่อไฟฟ้า
- การเคลือบผิวป้องกัน
- การเลือกใช้โลหะจากกลุ่มที่มีศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3-2 การจัดกลุ่มโลหะและโลหะผสม

GROUP I	Magnesium and Magnesium Alloys.
GROUP II	Aluminum, Aluminum Alloys, Zinc, Cadmium, and Cadmium-Titanium Plate.
GROUP III	Iron, Steels Except Stainless Steels; Lead, Tin, and their Alloys.
GROUP IV	Copper, Brass, Bronze, Copper-Beryllium, Copper-Nickel Chromium, Nickel, Nickel Base Alloys, Cobalt Base Alloys, Carbon Graphite, Stainless Steels, Titanium, and Titanium Alloys.
NOTE:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Metals listed in the same group are considered similar to one another.</li> <li>2. Metals listed in different groups are considered dissimilar to one another.</li> </ol>

กลุ่มที่ 1 (GROUP I) โลหะในกลุ่มนี้มีศักย์ไฟฟ้าต่ำมากและมีความไวต่อการกัดกร่อนสูงที่สุด เมื่อสัมผัสกับโลหะในกลุ่มอื่น จะทำหน้าที่เป็นแอโนดและเกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว จึงต้องได้รับการป้องกันเป็นพิเศษ

กลุ่มที่ 2 (GROUP II) โลหะในกลุ่มนี้มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแมกนีเซียม แต่ยังคงมีแนวโน้มเกิดการกัดกร่อนเมื่อสัมผัสกับโลหะในกลุ่มที่มีศักย์สูงกว่า โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นหรือเกลือ



**กลุ่มที่ 3 (GROUP III)** โลหะในกลุ่มนี้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนมากกว่ากลุ่ม I และ II แต่ยังสามารถเกิดการกัดกร่อนได้ โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับโลหะในกลุ่ม IV ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า

**กลุ่มที่ 4 (GROUP IV)** โลหะในกลุ่มนี้มีศักย์ไฟฟ้าสูง (Noble Metals) และมีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง เมื่อสัมผัสกับโลหะในกลุ่มที่มีศักย์ต่ำกว่า จะทำให้โลหะอีกฝ่ายหนึ่งเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกอย่างรุนแรง

**หมายเหตุ:**

1. โลหะที่อยู่ใน กลุ่มเดียวกัน ถือว่ามีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีใกล้เคียงกัน และสามารถใช้งานสัมผัสกันได้โดยมีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนต่ำ
2. โลหะที่อยู่ใน กลุ่มต่างกัน ถือว่าเป็นโลหะต่างชนิด (Dissimilar Metals) และมีความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกเมื่อใช้งานสัมผัสกัน

**การนำไปใช้ในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน**

ในการออกแบบหรือซ่อมบำรุงอากาศยาน ควรพยายามเลือกใช้โลหะจากกลุ่มเดียวกันให้มากที่สุด หากจำเป็นต้องใช้โลหะจากกลุ่มต่างกันร่วมกัน ต้องมีมาตรการป้องกัน เช่น

- การเคลือบผิวป้องกัน
- การใช้ซีลแลนต์ หรือวัสดุฉนวนไฟฟ้า
- การแยกผิวสัมผัสเพื่อลดการนำไฟฟ้า

**3.12.3 การเคลือบผิวป้องกันการกัดกร่อน (Protective Finishes)** วัสดุฐาน (Base Material) ที่มีการเคลือบผิวป้องกันอย่างเหมาะสม จะสามารถลดการกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพรูปแบบอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเคลือบผิวป้องกันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1) การเคลือบผิวแบบสละตัว (Sacrificial Coatings) ได้แก่ แคดเมียม (Cadmium), สังกะสี (Zinc) และอะลูมิเนียม (Aluminum) การเคลือบผิวประเภทนี้ทำงานโดยยอมให้ตัวเคลือบผิวกัดกร่อนก่อนวัสดุหลัก (Anodic Protection) เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะฐานเกิดการกัดกร่อน แม้ตัวเคลือบจะถูกทำลายบางส่วน โลหะฐานยังคงได้รับการปกป้องตราบไต่ที่การเคลือบยังทำหน้าที่อยู่

2) การเคลือบผิวแบบไม่สละตัว (Non-Sacrificial Coatings)

ได้แก่

- การชุบแข็ง เช่น โครเมียม (Chromium) และ นิกเกิล (Nickel)
- การเคลือบผิวด้วยปฏิกิริยาเคมี (Chemical Conversion Coatings)
- ซีลแลนต์ (Sealants)
- สีรองพื้น (Primers)
- สีทับหน้า (Topcoats)



การเคลือบผิวประเภทนี้ทำหน้าที่เป็น **เกราะป้องกัน (Barrier Protection)** โดยแยกโลหะฐานออกจากสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน หากชั้นเคลือบเสียหาย โลหะฐานจะสูญเสียการป้องกันทันที

### 3.12.4 ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และสภาพแวดล้อม (Geographical Location and Environment)

สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราและรูปแบบของการกัดกร่อน โดยเฉพาะระบบและโครงสร้างที่ต้องเผชิญกับ

- บรรยากาศทางทะเล
- ความชื้นสูง
- ฝนกรด
- ภูมิอากาศเขตร้อน
- สารเคมีจากอุตสาหกรรม
- ฝุ่นและดินในอากาศ

หากเป็นไปได้ ควรจำกัดการใช้งานอากาศยานในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงต่อการกัดกร่อน

#### 3.12.4.1 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นในอากาศอาจอยู่ในรูปของ

- ไอน้ำ (Water Vapor)
- ละอองน้ำ เช่น หมอกหรือไอน้ำ

ซึ่งมักปนเปื้อนด้วย **คลอไรด์ ซัลเฟต และไนเตรต** ทำให้มีฤทธิ์กัดกร่อนสูงขึ้น เมื่อความชื้นควบแน่นและระเหย จะทิ้งสารปนเปื้อนไว้ตามผิวโลหะ โดยเฉพาะบริเวณ

- รอยต่อแนบสนิท (Faying Surfaces)
- รอยต่อที่น้ำซึมได้
- แนวรอยต่อที่เกิดแรงดูดของน้ำแบบคาпилลารี (Capillary Action)

#### 3.12.4.2 เกลือ (Salt)

อนุภาคเกลือเมื่อละลายในน้ำจะกลายเป็นอิเล็กโทรไลต์ที่มีความแรงสูง ลมทะเลสามารถพาเกลือที่ละลายน้ำแล้วเข้าสู่โครงสร้างอากาศยาน ทำให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลเป็นสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนรุนแรงเป็นพิเศษ

#### 3.12.4.3 มลพิษจากอุตสาหกรรม (Industrial Pollutants)

สารมลพิษ เช่น

- คาร์บอน
- ไนเตรต
- โอโซน



- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ซัลเฟต

สามารถเร่งการเสื่อมสภาพของวัสดุโลหะ และก่อให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะอย่างรุนแรง โดยเฉพาะในเขตอุตสาหกรรม

#### 3.12.4.4 อุณหภูมิและภูมิภาค

- อากาศ ร้อนและชื้น เช่น ในเขตร้อน จะเร่งอัตราการกัดกร่อน
- อากาศ เย็นและแห้ง เช่น ในเขตขั้วโลก จะช่วยชะลอการกัดกร่อน

#### 3.12.5 การอบชุบความร้อน (Heat Treatment)

การอบชุบความร้อนอย่างถูกต้องเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของวัสดุ หากควบคุมกระบวนการอบชุบไม่เหมาะสม อาจทำให้โครงสร้างโลหะมีความไวต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะการกัดกร่อนระหว่างเกรน (Intergranular Corrosion) และการแตกร้าวจากความเค้น ร่วมกับการกัดกร่อน (Stress-Corrosion Cracking)

### 3.13 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventative Maintenance)

#### 3.13.1 การป้องกัน (Prevention)

การป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างอากาศยาน จำเป็นต้องอาศัย แผนการป้องกันและควบคุมการกัดกร่อน (Corrosion Prevention and Control Program: CPCP – สำหรับ บ.ที่มีระบบการซ่อมบำรุงในระบบ กองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา จะอยู่ที่ T.O ที่ลงท้ายด้วย -23 ของ บ.แบบนั้น ๆ) ที่มีความครบถ้วน และเริ่มดำเนินการตั้งแต่เริ่มนำอากาศยานเข้าประจำการ โดยแผนดังกล่าวควรประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ ดังต่อไปนี้

##### 3.13.1.1 บุคลากรต้องได้รับการฝึกอบรมอย่างเหมาะสม ในด้านต่อไปนี้

- การรับรู้สภาวะที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน
- เทคนิคการระบุชนิดของการกัดกร่อน
- การตรวจพบ การทำความสะอาด และการบำบัดรักษาการกัดกร่อน
- การหล่อลื่นและการสงวนรักษาโครงสร้างและชิ้นส่วนอากาศยาน

บุคลากรซ่อมบำรุงที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการควบคุมการกัดกร่อนอย่างมีประสิทธิภาพ

##### 3.13.1.2 การตรวจสอบการกัดกร่อนตามกำหนดเวลา (Scheduled Corrosion Inspection)

ต้องมีการกำหนดรอบการตรวจสอบการกัดกร่อนอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สามารถตรวจพบการกัดกร่อนตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง



### 3.13.1.3 การทำความสะอาด ตรวจสอบ หล่อลื่น และสงวนรักษาอย่างสม่ำเสมอ

ควรดำเนินการเป็นระยะตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมการใช้งาน (อ้างอิงรูปที่ 3-15 ถึง 3-20) โดยมีช่วงเวลาที่แนะนำดังนี้

- สภาพแวดล้อมไม่รุนแรง (Mild Zones) : ทุก 90 วันปฏิทิน
- สภาพแวดล้อมปานกลาง (Moderate Zones) : ทุก 45 วันปฏิทิน
- สภาพแวดล้อมรุนแรง (Severe Zones) : ทุก 15 วันปฏิทิน

การทำความสะอาดอย่างทั่วถึงเป็นพื้นฐานสำคัญของการป้องกันการกัดกร่อน

### 3.13.1.4 การบำบัดรักษาการกัดกร่อนโดยทันทีเมื่อพบ (Prompt Corrosion Treatment)

เมื่อพบการกัดกร่อน ต้องดำเนินการแก้ไขทันที เพื่อป้องกันการลุกลามและการสูญเสียความแข็งแรงของโครงสร้าง

### 3.13.1.5 การบันทึกและรายงานข้อมูลอย่างถูกต้อง

ต้องมีการจัดทำบันทึกการตรวจพบการกัดกร่อนอย่างถูกต้อง และรายงานข้อบกพร่องด้านวัสดุหรือการออกแบบไปยังผู้ผลิตอากาศยานและ หน่วยงานที่ควบคุมด้านการซ่อมบำรุงอากาศยาน เช่น กองวิทยาการ กรมช่างอากาศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของอากาศยาน

### 3.13.1.6 การใช้วัสดุ อุปกรณ์ และเอกสารทางเทคนิคที่เหมาะสม

การซ่อมบำรุงต้องดำเนินการโดยใช้

- วัสดุที่ได้รับการรับรอง
- เครื่องมือที่เหมาะสม
- เอกสารทางเทคนิคที่ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน

เพื่อให้การป้องกันและควบคุมการกัดกร่อนเป็นไปตามมาตรฐาน

### 3.13.1.7 การคงสภาพระบบเคลือบผิวพื้นฐาน (Maintenance of Basic Finish Systems)

ต้องดูแลรักษาสภาพของสีรองพื้น สีทับหน้า และระบบเคลือบผิวป้องกันให้สมบูรณ์อยู่เสมอ เนื่องจากเป็นด่านแรกในการป้องกันการกัดกร่อน

### 3.13.1.8 การดูแลให้รูระบายน้ำและทางระบายน้ำใช้งานได้ตามปกติ

ต้องรักษาให้รูระบายน้ำและช่องทางระบายน้ำเปิดโล่งและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยต้องไม่ให้

- ซีลแลนต์ (Sealants)
- วัสดุประดับ
- สิ่งสกปรก



- สารยับยั้งการกัดกร่อน

ไปอุดตันทางระบายน้ำ (ดูรูปที่ 3-21 การอุดตันของทางระบายน้ำซึ่งทำให้เกิดการสะสมของความชื้นและสิ่งปนเปื้อนที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน)

### 3.13.1.9 การเปลี่ยนซีลและปะเก็นที่เสื่อมสภาพ

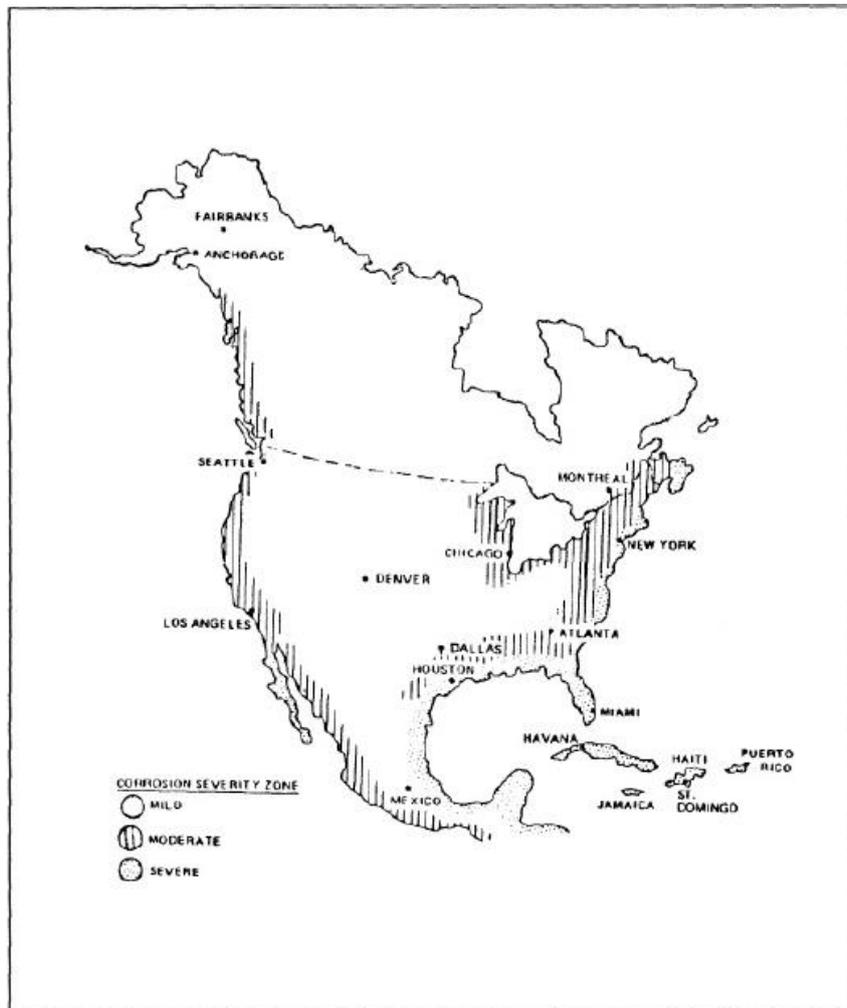
ต้องเปลี่ยนซีลและปะเก็นที่เสื่อมหรือชำรุดโดยใช้ซีลแลนต์ชนิดไม่ก่อการกัดกร่อน เพื่อป้องกันการรั่วซึมและการกักเก็บความชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการกัดกร่อน

### 3.13.1.10 การลดการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อการกัดกร่อน

ควรลดการนำอากาศยานไปใช้งานหรือจอดในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนรุนแรง เช่น

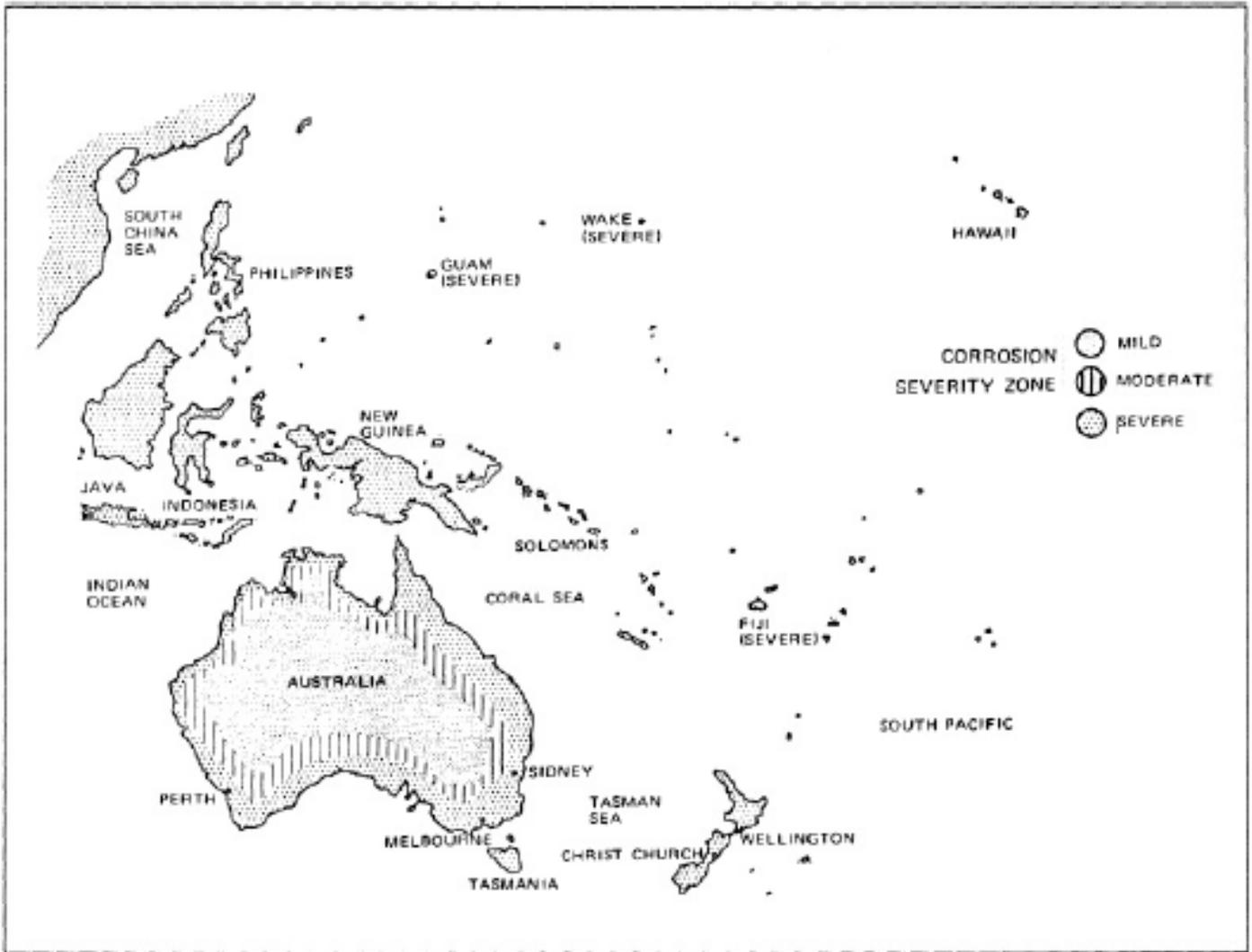
- การจอดกลางแจ้งใกล้ทะเล
- การได้รับละอองเกลือ

และควรใช้งานโรงเก็บอากาศยาน (Hangar) เพื่อช่วยลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

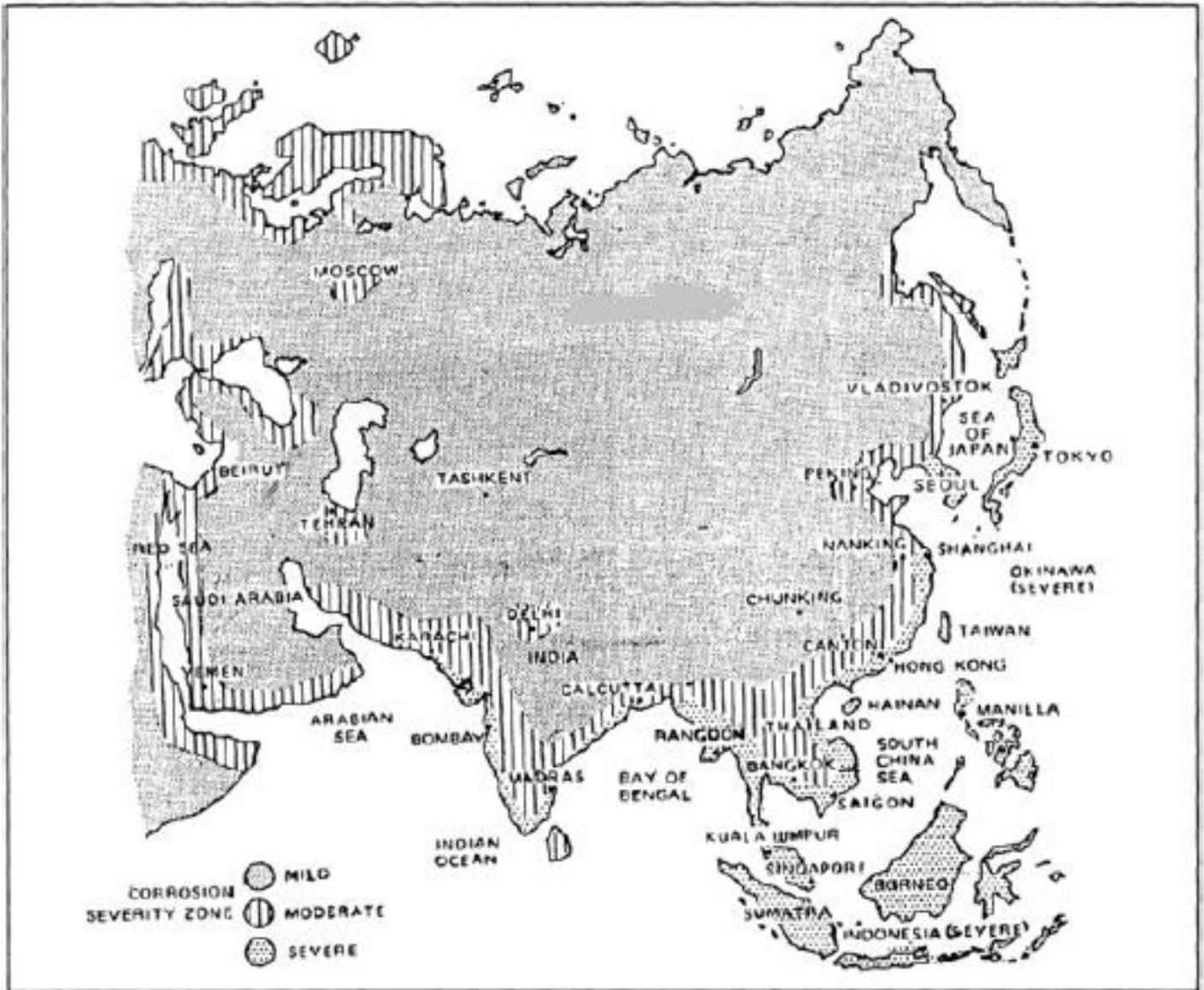


รูปที่ 3-15 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนในทวีปอเมริกาเหนือ





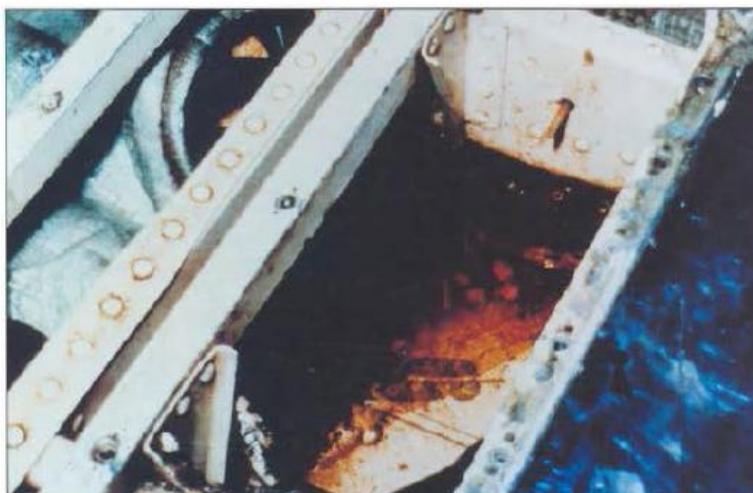
รูปที่ 3-18 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนในภูมิภาคแปซิฟิกใต้



รูปที่ 3-19 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนในทวีปเอเชีย



รูปที่ 3-20 แผนที่แสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนในทวีปยุโรปและเอเชียไมเนอร์



รูปที่ 3-21 ทางระบายน้ำอุดตันซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมของสิ่งปนเปื้อนที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนและความชื้น



### 3.13.2 สารทำความสะอาดสำหรับโลหะ (Cleaning Compounds for Metals)

**หมายเหตุ:** การใช้สารทำความสะอาดในปริมาณมากไม่ได้หมายความว่าจะให้ผลดีกว่าเสมอไป การผสมสารทำความสะอาดในความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะทำให้ค่าความเป็นด่าง (pH) ของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายมากกว่าประโยชน์ ดังนั้น ต้องผสมสารทำความสะอาดตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดเสมอ

#### 3.13.2.1 หลักการทำงานของสารทำความสะอาด

สารทำความสะอาดทำงานโดยอาศัยกลไกหลัก ได้แก่

- การละลายสิ่งสกปรกที่สามารถละลายน้ำได้ (Soluble soils)
- การทำให้น้ำมันและคราบไขมันกระจายตัวเป็นอิมัลชัน (Emulsifying oily soils)
- การแขวนลอยสิ่งสกปรกที่เป็นของแข็ง (Suspending solid soils)

สารทำความสะอาดมีหลายชนิด โดยแต่ละชนิดอาจใช้กลไกหนึ่งหรือหลายกลไกข้างต้นร่วมกันในการทำทำความสะอาดพื้นผิว

#### 3.13.2.2 สารทำความสะอาดชนิดต่าง

ไม่แนะนำให้ใช้สารทำความสะอาดที่มีความเป็นด่างสูงมาก (Highly alkaline) ซึ่งมีค่า pH มากกว่า 10 อย่างไรก็ตาม สารทำความสะอาดชนิดต่างปานกลาง (Moderately alkaline) ที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 10 และเป็นไปตาม **มาตรฐานทางทหาร (MIL-SPEC) MIL-C-85570 Cleaning Compounds, Aircraft, Exterior ประเภทที่ I และ II** เป็นชนิดที่แนะนำให้ใช้งาน

สารทำความสะอาดทั้งประเภทที่ I และ II ประกอบด้วย

- สารซักฟอก (Detergents)
- สารช่วยเกิดฟอง (Foaming agents)
- ตัวทำละลาย (Solvents)

และมีหลักการงานเช่นเดียวกับสารละลายผงซักฟอกทั่วไป

#### 3.13.2.3 สารทำความสะอาดเฉพาะจุดสำหรับพื้นผิวเงาสสูง

สำหรับการทำความสะอาดบริเวณคราบไอเสีย (Exhaust trail areas) บนระบบสีที่มีความเงาสสูง (High-gloss paint systems) แนะนำให้ใช้สารทำความสะอาดเฉพาะจุดชนิดเงาสสูง (High-gloss spot cleaner) ซึ่งเป็นไปตาม **MIL-SPEC MIL-C-85570 ประเภทที่ III**

สารทำความสะอาดชนิดนี้ประกอบด้วย

- ตัวทำละลาย
- สารซักฟอก
- สารขัดถูที่แขวนลอยอยู่ในสารละลาย (Suspended abrasive matter)

โดยทำความสะอาดด้วยการขัดสิ่งสกปรกผ่านการสีกร่อนของผิวชั้นบนที่ยึดเกาะสิ่งสกปรกอยู่



### 3.13.2.4 สารทำความสะอาดชนิดไทโซโทรปิก (Thixotropic) หรือชนิดมีความหนืด

แนะนำให้ใช้สารทำความสะอาดชนิดไทโซโทรปิกหรือชนิดมีความหนืด ซึ่งเป็นไปตาม MIL-SPEC MIL-C-85570 ประเภทที่ V (Type V) สำหรับการทำความสะอาดบริเวณช่องล้อ (Wheel Wells) และใช้ทดแทนการทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายในบางกรณีที่สามารถใช้น้ำล้างได้

สารทำความสะอาดชนิดนี้ประกอบด้วย

- ตัวทำละลาย (Solvents)
- สารซักฟอก (Detergents)
- สารเพิ่มความหนืดบางชนิด (Thickening agents)

เมื่อใช้สารในสภาพไม่เจือจางกับพื้นผิวที่มีคราบน้ำมันหรือจาระบี สารจะยึดเกาะกับพื้นผิวได้นานพอที่จะทำให้คราบสกปรกเกิดการอิมัลชัน โดยปกติใช้เวลาประมาณ 5 ถึง 15 นาที หลังจากนั้นสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำสะอาด

**หมายเหตุ:** การใช้ตัวทำละลายในการทำความสะอาดถูกจำกัดมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม ควรตรวจสอบข้อกำหนดในพื้นที่เกี่ยวกับการกำจัดของเสียอยู่เสมอ

### 3.13.2.5 สารทำความสะอาดชนิดอิมัลชันตัวทำละลาย

สารทำความสะอาดชนิดอิมัลชันตัวทำละลายที่เป็นไปตาม MIL-SPEC MIL-C-43616 (Cleaning Compounds, Aircraft Surface) และ MIL-SPEC MIL-C-85704 (Cleaning Compound, Turbine Engine Gas Path) จะเปลี่ยนสภาพเป็นอิมัลชันเมื่อถูกเจือจางด้วยน้ำ

ตัวทำละลายในสารทำความสะอาดจะทำให้คราบน้ำมันอ่อนตัวลง จากนั้นสารซักฟอกจะช่วยทำให้คราบเหล่านี้เกิดการอิมัลชันและสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำ

### 3.13.2.6 สารทำความสะอาดชนิดสารละลายซักฟอก

สารทำความสะอาดชนิดสารละลายซักฟอกที่เป็นไปตาม MIL-SPEC MIL-D-16791 (Detergents, General Purpose – Liquid, Nonionic) เป็นสารที่ละลายในน้ำ และทำความสะอาดโดย

- การละลายเกลือที่ละลายน้ำได้
- การทำให้น้ำมันที่มีความหนืดต่ำเกิดการอิมัลชัน
- การแขวนลอยฝุ่นและสิ่งสกปรกที่สามารถจัดออกได้ง่าย

สารชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขจัดจาระบีหนัก แต่เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่ภายในที่มีคราบสกปรกเล็กน้อย วัสดุพลาสติก และกระจกครอบเครื่องวัด (Instrument Glass Covers)

### 3.13.2.7 ตัวทำละลายสำหรับการทำความสะอาด

ตัวทำละลายสำหรับการทำความสะอาดทำหน้าที่ละลายคราบน้ำมันและจาระบี เพื่อให้สามารถเช็ดออกหรือซบออกด้วยผ้าได้ง่าย ตัวทำละลายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมากในด้าน



- ประสิทธิภาพการทำความสะอาด
- ความเป็นพิษ
- อัตราการระเหย
- ผลกระทบต่อสี
- ความไวไฟ

การใช้ตัวทำละลายเหมาะสำหรับการทำความสะอาดเฉพาะจุดเท่านั้น ตัวทำละลายแบบแห้ง (Dry Cleaning Solvent) ที่เป็นไปตาม MIL-SPEC MIL-PRF-680 ประเภทที่ II เป็นตัวทำละลายที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดในงานอากาศยาน เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำ ส่งผลกระทบต่อสีเพียงเล็กน้อย และมีความปลอดภัยค่อนข้างสูง

ตัวทำละลายชนิดอื่น เช่น แอลกอฮอล์ คีโตน ตัวทำละลายคลอรีน และแนฟทา เป็นวัสดุเฉพาะทาง และมีข้อจำกัดในการใช้งาน ต้องอ้างอิงคู่มือซ่อมบำรุงและขั้นตอนการทำความสะอาดของผู้ผลิตสำหรับการใช้งานเฉพาะกรณี

### 3.13.2.8 สารทำความสะอาดอื่น ๆ

สารทำความสะอาดอื่นที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงอากาศยาน ได้แก่

- น้ำยาขัดพลาสติก (Plastic Polish) ซึ่งมีสารขัดละเอียดสำหรับขจัดรอยขีดข่วนบนวัสดุหลังคาครอบห้องนักบิน (Canopy)
- สารเคมีชนิดต่างที่ใช้สำหรับปรับสภาพหรือทำให้คราบกรดเฉพาะชนิดเป็นกลาง
- โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Bicarbonate) สำหรับทำให้คราบอเล็กโทรไลต์จากแบตเตอรี่กรดซัลฟิวริกเป็นกลาง
- โซเดียมฟอสเฟตชนิดโมโนเบสิก (Monobasic Sodium Phosphate) และ กรดบอริก (Boric Acid) สำหรับทำให้คราบอเล็กโทรไลต์จากแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียมเป็นกลาง

### 3.13.2.9 การทำความสะอาดด้วยไอน้ำ (Steam Cleaning)

ไม่แนะนำให้ใช้การทำความสะอาดด้วยไอน้ำกับอากาศยานในการใช้งานทั่วไป เนื่องจากไอน้ำสามารถ

- กัดกร่อนและชะล้างชั้นสี
- ทำให้วัสดุพลาสติกเกิดการแตกร้าวแบบละเอียด (Crazing)
- ทำให้กาวหรือสารยึดติดเกิดการหลุดล่อน (Debonding)
- ทำลายฉนวนไฟฟ้า
- ขับไล่สารหล่อลื่นออกจากลูกปืนและชิ้นส่วนที่ต้องการการหล่อลื่น
- ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้และอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอากาศยาน



### 3.13.3 ขั้นตอนการทำความสะอาด (Cleaning Procedures)

#### 3.13.3.1 ขั้นตอนก่อนและระหว่างการทำความสะอาดที่แนะนำ

ควรปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด

- ตัดหรือถอดแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งหมดออกจากอากาศยาน
- ต่อสายกราวด์อากาศยาน (Ground Aircraft)
- เจ้าหน้าที่ล้างอากาศยานต้องสวมอุปกรณ์ป้องกัน เช่น ถุงมือ แวนตานิรภัย หรือผ้ากันเปื้อน
- ป้องกันไม่ให้น้ำหรือสารทำความสะอาดซึมเข้าสู่บริเวณสำคัญ เช่น
  - ประตูที่ปิดอยู่
  - ช่องเปิดต่าง ๆ
  - ช่องระบายอากาศ
  - ช่องพิโตต์-สแตติก (Pitot-Static Openings)
  - ล้ออากาศยาน

ทั้งนี้ ต้องมั่นใจว่าวัสดุป้องกันทั้งหมดถูกถอดออกหลังการทำความสะอาด

- ดำเนินการหล่อลื่นก่อนการล้าง (Pre-wash Lubrication) ตามคู่มือซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้อง
- ผสมสารทำความสะอาดตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- ใช้น้ำในลักษณะการพ่น (Spray) ไม่ใช่ฉีดเป็นสายแรงดัน (Stream) ระหว่างการล้าง
- ห้ามใช้แผ่นขัดหรือวัสดุทำความสะอาดที่มีฤทธิ์กัดกร่อน
- ล้างอากาศยานด้วยน้ำสะอาดเพื่อขจัดสารทำความสะอาดออกทั้งหมด

#### 3.13.3.2 ขั้นตอนหลังการทำความสะอาดที่แนะนำ

หลังจากทำความสะอาดเสร็จสิ้น ควรดำเนินการดังต่อไปนี้

- ถอดฝาครอบ จุกอุด และวัสดุปิดบังทั้งหมดออก
- ตรวจสอบและทำความสะอาดระบายน้ำทุกตำแหน่ง
- ตรวจสอบบริเวณที่ทราบว่าเป็นแหล่งกักเก็บน้ำ (Water Trap Areas) ว่ามีน้ำค้างอยู่หรือไม่ และตรวจสอบการระบายน้ำให้เป็นปกติ
- หล่อลื่นอากาศยานตามคู่มือซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้อง
- ดำเนินการสงวนรักษาสภาพพร้อมใช้งาน (Operational Preservation)

### 3.13.4 การเก็บตอง/สงวนรักษา (Preservation)

การใช้สารป้องกันการกัดกร่อนเป็นประจำในชีวิตประจำวันของงานซ่อมบำรุง ช่วยปกป้องชิ้นส่วนและอุปกรณ์โลหะของอากาศยาน โดยสารเหล่านี้จะป้องกันไม่ให้อากาศกัดกร่อนสัมผัสกับผิวโลหะเปลือย และหลายชนิดยังสามารถขับไล่น้ำและสิ่งปนเปื้อนอื่นออกจากพื้นผิวได้



สารป้องกันการกัดกร่อนบางชนิดมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นควบคู่ไปกับการป้องกันการกัดกร่อน สารเหล่านี้มีลักษณะและความหนืดแตกต่างกัน ตั้งแต่ชนิดข้น สีดำ ไปจนถึงชนิดน้ำมันบาง

- สารชนิดข้นให้การป้องกันการกัดกร่อนที่ดีที่สุด มีอายุการใช้งานยาวนาน แต่ถอดออกได้ยาก
- สารชนิดบางให้การหล่อลื่นได้ดี ไม่แตก ลอก หรือหลุดร่อน แต่จำเป็นต้องถอดออกและทาสีซ้ำเป็นระยะ เพื่อคงประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนอย่างต่อเนื่อง

### 3.13.5 การปรับสภาพผิว (Surface Treatment)

3.13.5.1 ขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการควบคุมการกัดกร่อน คือ การปรับสภาพผิวโลหะด้วยสารเคมีที่กำหนด เพื่อสร้างฟิล์มป้องกันบนพื้นผิวโลหะ การปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี หากดำเนินการอย่างถูกต้อง จะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะ และช่วยเพิ่มการยึดเกาะของสีที่ทาทับในขั้นตอนต่อไป

การปรับสภาพผิวลักษณะนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า

- การเคลือบผิวแบบเคมี (Chemical Conversion Coating)
- การเคลือบผิวโครเมต (Chromate Conversion Coating)
- ฟิล์มเคมี (Chemical Film)
- การเตรียมผิวก่อนการเคลือบ (Pretreatment)

สารปรับสภาพผิวเหล่านี้เป็นสารละลายกรดในน้ำที่ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ออกฤทธิ์ ซึ่งทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของอะลูมิเนียมหรือแมกนีเซียม เพื่อเปลี่ยนพื้นผิวให้เป็นฟิล์มที่มีความต้านทานการกัดกร่อน

3.13.5.1.1 สารเคมีสำหรับการปรับสภาพผิว อะลูมิเนียมและโลหะผสมอะลูมิเนียม ต้องเป็นไปตาม MIL-SPEC, MIL-C-81706 Chemical Conversion Materials for Coating Aluminum and Aluminum Alloys

3.13.5.1.2 สารเคมีสำหรับการปรับสภาพผิว โลหะผสมแมกนีเซียม ต้องเป็นไปตาม Aerospace Material Specification (AMS)-M-3171 Magnesium Alloy, Processes for Pretreatment and Prevention of Corrosion On

3.13.5.1.3 การปรับสภาพผิวของ โลหะเหล็ก (Ferrous Metals) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และไทเทเนียม ก่อนการทาสี จะจำกัดเฉพาะการจัดการกัดกร่อนและการทำความสะอาดพื้นผิวเท่านั้น

3.13.5.2 การเตรียมผิวก่อนการเคลือบผิวแบบเคมี พื้นผิวต้องได้รับการเตรียมอย่างเหมาะสมก่อนการใช้สารเคลือบผิวแบบเคมี



3.13.5.2.1 ต้องไล่ขอบสีเดิม (Feather Edge) บริเวณขอบของพื้นที่ที่ถูกลอกสีด้วยสารเคมี ก่อนการปรับสภาพผิวและการทาสีใหม่ เพื่อให้เกิดรอยต่อที่เรียบและซ้อนทับกันอย่างกลมกลืนระหว่างสีเดิมและสีใหม่

3.13.5.2.2 ทำความสะอาดพื้นที่ด้วยแผ่นขัดชนิดละเอียดหรือละเอียดมาก (Fine หรือ Very Fine Abrasive Mat) ที่ชุ่มด้วยน้ำสะอาด

3.13.5.2.3 ล้างพื้นผิวด้วยน้ำสะอาดให้ทั่วถึง โดยต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษกับบริเวณ

- หัวสลักยึด
- รอยต่อ
- บริเวณที่อาจเกิดการสะสมของคราบตกค้าง

ในขั้นตอนนี้ พื้นผิวต้องไม่มีอาการน้ำแตกตัวหรือไม่เปียกสม่ำเสมอ (Water Beading หรือ Water Breaks) พื้นผิวที่เกิดอาการดังกล่าวมักปนเปื้อนด้วยน้ำมันหรือจาระบี ซึ่งจะส่งผลเสียต่อขั้นตอนการเคลือบผิว การสี และการทาสีในลำดับต่อไป

3.13.5.2.4 หากพื้นผิวยังมีอาการ Water Breaks ให้ทำความสะอาดซ้ำด้วยสารทำความสะอาดสำหรับอากาศยาน ร่วมกับแผ่นขัด แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดให้ทั่วถึงอีกครั้ง

3.13.5.3 การเคลือบผิวแบบเคมี (Chemical Conversion Coating)

การเคลือบผิวแบบเคมีสามารถทำได้โดยใช้

- แปรง
- ฟองน้ำแบบแท่ง (Sponge Stick Moistener)
- เครื่องพ่นที่ไม่ทำให้เกิดละอองฝอย (Non-Atomizing Sprayer)

โดยทั่วไป

- สำหรับ อะลูมิเนียม ต้องได้สีเหลืองถึงสีทอง ใช้เวลาประมาณ 2–4 นาที
- สำหรับ แมกนีเซียม จะได้สีเขียวอมน้ำตาล สีทองเหลือง หรือสีเหลืองอมน้ำตาล ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที ถึง 2 นาที

3.13.5.4 หลังจากการเคลือบผิวแบบเคมีเสร็จสิ้น ให้ล้างชิ้นส่วนด้วยน้ำสะอาดทันทีและให้ทั่วถึง ห้ามเช็ดด้วยผ้าหรือเศษผ้าใด ๆ เนื่องจากอาจทำให้ฟิล์มเคลือบผิวที่เพิ่งก่อตัวเกิดความเสียหายหรือปนเปื้อน

3.13.5.5 ปล่อยให้พื้นผิวที่ผ่านการเคลือบผิวแบบเคมีแห้งเป็นระยะเวลา **ไม่น้อยกว่า 30 นาที และไม่เกิน 4 ชั่วโมง** ก่อนดำเนินการทาสี เพื่อให้ฟิล์มเคลือบผิวมีเสถียรภาพเหมาะสมต่อการยึดเกาะของสี



### 3.13.6 สารซีลแลนต์ (Sealants) ให้อ้างอิงมาตรฐาน MIL-SPEC MIL-PRF-81733 - Sealing and Coating Compound, Corrosion Inhibitive

3.13.6.1 สารซีลแลนต์เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการป้องกันและควบคุมการกัดกร่อน เนื่องจากสามารถป้องกันการแทรกซึมของ

- ความชื้น
- เกลือ
- ฝุ่น
- ของเหลวต่าง ๆ ของอากาศยาน

ซึ่งล้วนเป็นสาเหตุให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง เพื่อให้สารซีลแลนต์มีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้อง เลือกชนิดของซีลแลนต์ให้เหมาะสมกับตำแหน่งหรือสภาพการใช้งาน และต้อง ทาอย่างถูกวิธี

3.13.6.2 สารซีลแลนต์มีประโยชน์อย่างยิ่งเมื่อใช้ในบริเวณต่อไปนี้

- ถังเชื้อเพลิง (Fuel Tank)
- บริเวณรับแรงดัน (Pressure Areas)
- การซีลป้องกันสภาพอากาศ (Weather Sealing)
- ผนังกันไฟ (Firewalls)
- ระบบไฟฟ้า (Electrical)
- บริเวณที่ต้องทนกรด (Acid-Resistant Areas)
- หน้าต่าง (Windows)
- งานที่ต้องทนอุณหภูมิสูง (High Temperature Applications)
- การซีลเพื่ออากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Sealing)

3.13.6.3 มีสารซีลแลนต์หลายชนิดให้เลือกใช้ โดยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกัน ควรอ้างอิง คู่มือของผู้ผลิตอากาศยาน เพื่อเลือกชนิดของสารซีลแลนต์และวิธีการใช้งานที่ถูกต้อง รวมถึงต้องปฏิบัติตาม คำเตือนและข้อควรระวังของผู้ผลิต อย่างเคร่งครัด โดยทั่วไป สารซีลแลนต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. ชนิดที่ต้องใช้สารเร่งการแข็งตัว (Curing Agent)
2. ชนิดที่แข็งตัวได้เองเมื่อสัมผัสอากาศ

- สารซีลแลนต์ประเภท โพลีซัลไฟด์ (Polysulfide), โพลีไทโออีเทอร์

(Polythioether) และ โพลียูรีเทน (Polyurethane) ประกอบด้วย

- สารพื้นฐานหรือพรีโพลิเมอร์ (Base / Prepolymer) และ
- สารเร่งการแข็งตัว (Accelerator / Curing Agent)

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



เมื่อผสมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันอย่างทั่วถึง ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้สารพื้นฐานแข็งตัวกลายเป็นวัสดุ ยาง การแข็งตัวขึ้นอยู่กับชนิดของสารพื้นฐาน ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความชื้น โดยการแข็งตัว สมบูรณ์อาจใช้เวลาจนถึง 7 วัน

#### - สารซีลแลนต์ชนิดซิลิโคน (Silicone Sealing Compounds)

สารซีลแลนต์ชนิดซิลิโคนโดยทั่วไปเป็นสารชนิดส่วนประกอบเดียว (One-Component) ซึ่ง แข็งตัวจากปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ หากทาซิลิโคนในชั้นที่หนาเกินไป หรือทาในลักษณะที่ ชัดขวางไม่ให้ความชื้นจากอากาศซึมเข้าสู่เนื้อวัสดุ สารซีลแลนต์อาจไม่สามารถแข็งตัวได้เลย

นอกจากนี้ สารซีลแลนต์ซิลิโคนหลายชนิดจะปลดปล่อย กรดอะซิติก (Acetic Acid) ระหว่างกระบวนการแข็งตัว ซึ่งมีกลิ่นคล้ายน้ำส้มสายชู โดยกรดดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดปัญหาการ กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อโลหะและอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการกัดกร่อน

ดังนั้น การใช้สารซีลแลนต์ซิลิโคนบนอากาศยานควรจำกัดเฉพาะ **ผลิตภัณฑ์ชนิดไม่ก่อการ กัดกร่อน (Noncorrosive)** ที่เป็นไปตามมาตรฐาน MIL-SPEC MIL-A-46146 Adhesives-Sealants, Silicone, RTV, Noncorrosive (For Use with Sensitive Metals and Equipment) เพื่อป้องกันผลกระทบต่อโลหะที่ไวต่อการกัดกร่อนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอากาศยาน

- สารซีลแลนต์บางชนิดจำเป็นต้องใช้ **ไพรเมอร์เฉพาะ (Special Primer)** หรือ **สารช่วยเพิ่มการยึดเกาะ (Adhesion Promoter)** ก่อนการทาซีลแลนต์ เพื่อให้เกิดแรงยึดเกาะที่ดี ระหว่างซีลแลนต์กับพื้นผิวโลหะ ต้องใช้เฉพาะไพรเมอร์หรือสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะที่ผู้ผลิต ผลิตภัณฑ์นั้นแนะนำเท่านั้น

#### 3.13.6.4 ขั้นตอนการทาซีลแลนต์ (Sealant Application Procedures)

- ให้ผู้จัดการกัดกร่อนออกทั้งหมด ดำเนินการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี และทาสิ รองพื้น (Primer) บนพื้นผิวทุกตำแหน่ง **ยกเว้นพื้นผิวภายในถังเชื้อเพลิง** หากพื้นผิวเกิดการปนเปื้อน ภายหลังการปรับสภาพผิว ให้ทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายสำหรับการทำความสะอาดและผ้า สะอาด จากนั้นเช็ดให้แห้งทันทีด้วยผ้าสะอาด **ห้ามปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกจากพื้นผิวเอง**

- ให้อุดหรือปิดบังพื้นที่รอบบริเวณที่จะทาซีลแลนต์ (Masking) เพื่อป้องกันไม่ให้ซีล แลนต์สัมผัสกับพื้นที่ข้างเคียงระหว่างการทาและการเกลี่ยหลังการทา ตัวอย่างบริเวณที่เหมาะสม สำหรับการทำ Masking ได้แก่ การซีลแบบฟิลเลต (Fillet Sealing) บริเวณรอยต่อซ้อน (Lap Seams) และรอยต่อชน (Butt Seams) บนผิวภายนอกอากาศยาน

- ในกรณีที่ผู้ผลิตกำหนด ให้ทาสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะเป็นชั้นบาง และปล่อยให้ แห้งด้วยการระเหย โดยห้ามสัมผัสพื้นผิว เป็นระยะเวลา 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ก่อนทำการทาซีล แลนต์



- สารซีลแลนต์ชนิดใช้ปาด (Spatula-Type Sealant) สามารถทำได้ด้วยไม้พายหรือเกรียงที่ทำจากวัสดุไม่เป็นโลหะ ควรหลีกเลี่ยงการกักอากาศไว้ภายในซีลแลนต์ โดยทำการกดและปาดซีลแลนต์ให้แน่นเข้าไปในร่องหรือโพรง ด้วยการเลื่อนไม้พายกลับเข้าหาตัวอย่างมั่นคงระหว่างแนวเทปที่ปิดบังไว้การเกลี่ยผิวจะทำให้ได้ง่ายขึ้น หากจุ่มไม้พายที่ไม่เป็นโลหะลงในน้ำก่อนใช้งาน

- หากใช้แปรงในการทาซีลแลนต์ ให้ทาและเกลี่ยจนได้ความหนาตามที่ต้องการ

- การทาซีลแลนต์ด้วยปืนอัดซีลแลนต์ (Caulking Gun) โดยทั่วไปไม่จำเป็นต้องทำ Masking และเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการอุดรอยต่อหรือการขึ้นรูปปะเก็นในตำแหน่งใช้งานจริง (Form-in-Place Gaskets)

- หากใช้ปืนพ่น ให้พ่นซีลแลนต์เป็นแนวต่อเนื่องสม่ำเสมอ เพื่อให้ชั้นซีลแลนต์มีความสม่ำเสมอและไม่เกิดช่องว่าง

- ปล่อยให้ซีลแลนต์แห้งหรือแข็งตัวตามระยะเวลาและเงื่อนไขที่ผู้ผลิตกำหนด

- ในกรณีที่ต้องทาสีรองพื้นบนซีลแลนต์ ให้ดำเนินการทันทีเมื่อซีลแลนต์ **ไม่เหนียวติดมือ (Tack-Free)** แล้ว จากนั้นจึงทาสีทับหน้า (Topcoat) ตามความจำเป็น

- การใช้ซีลแลนต์ระหว่างผิวสัมผัส (Faying Surface Sealant) ให้ทาซีลแลนต์ระหว่างผิวสัมผัสของชิ้นส่วนตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไป โดยให้ใช้ซีลแลนต์ชนิดนี้กับการประกอบทุกครั้ง และหากเป็นไปได้ให้ใช้ร่วมกับการซีลแบบฟิลเลต (Fillet Sealing)

การซีลผิวสัมผัสแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

**1. ชนิดถอดได้ (Removable Type)** ใช้กับประตูเข้าถึง แผงที่ถอดได้ แผ่นตรวจสอบหน้าต่าง เป็นต้น โดยปกติจะทาซีลแลนต์บนโครงสร้างย่อย (Substructure) และทาสารกันติด (Parting Agent) บนแผงที่ถอดได้ ระหว่างกระบวนการแข็งตัวของซีลแลนต์

**2. ชนิดถาวร (Permanent Type)** ใช้สำหรับการซีลระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้างที่ยึดติดถาวรเข้าด้วยกัน โดยใช้ซีลแลนต์ชนิดยึดเกาะสูง (High-Adhesion Sealant)

### 3.13.6.5 การซีลแบบฟิลเลตหรือซีลแนวรอยต่อ (Fillet / Seam Sealing)

ช่างซ่อมบำรุงอากาศยานนิยมใช้การซีลแบบฟิลเลตหรือซีลแนวรอยต่อ ซึ่งครอบคลุมรอยต่อโครงสร้างหรือแนวตะเข็บตาม

- คานเสริม (Stiffeners)
- รอยต่อแผ่นผิว (Skin Butts)
- ผนัง
- สปาร์
- ลองเจอร์อน (Longerons) รวมถึงการซีลรอบอุปกรณ์ยึดและตัวยึดต่าง ๆ



ควรใช้การซีลแบบฟิลเลตร่วมกับการซีลผิวสัมผัส และสามารถใช้แทนการซีลผิวสัมผัสได้ในกรณีทีลำดับการประกอบไม่เอื้ออำนวยต่อการซีลผิวสัมผัส

### 3.13.6.6 การซีลแบบฉีต (Injection Sealing)

การซีลแบบฉีตใช้สำหรับอุดโพรงหรือช่องว่างที่เกิดจาก

- รูปทรงเยื้อง (Structural Joggle)
- ช่องว่าง
- ช่องเปิดต่าง ๆ

ให้ใช้เฉพาะซีลแลนต์ที่ผู้ผลิตอากาศยานหรืออุปกรณ์แนะนำ และฉีตซีลแลนต์เข้าไปในบริเวณนั้นด้วยปืนซีลแลนต์ วิธีนี้ช่วยให้เกิดแนวซีลต่อเนื่อง ซึ่งมักไม่สามารถทำได้ด้วยการซีลแบบฟิลเลต

ก่อนการซีลแบบฉีต ต้องทำความสะอาดโพรงหรือช่องว่างให้ปราศจาก

- ฝุ่น
- เศษโลหะ
- ครีปโลหะ (Burrs)
- จาระบี
- น้ำมัน

3.13.6.7 การซีลตัวยึด (Fastener Sealing) วิธีการซีลตัวยึดแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวยึด และอาจทำการซีลในระหว่างหรือหลังการประกอบ

1. **ตัวยึดถาวร (Permanent Fasteners)** ให้ทาซีลแลนต์ในรูยึด หรือจุ่มตัวยึดลงในซีลแลนต์ แล้วติดตั้งตัวยึดในขณะที่ซีลแลนต์ยังเปียกอยู่
2. **ตัวยึดถอดได้ (Removable Fasteners)** เริ่มขันตัวยึดเข้าไปในรู จากนั้นทาซีลแลนต์ที่ด้านล่างของหัวตัวยึดหรือบริเวณร่องเคาน์เตอร์ซิงก์
3. **การซีลหลังการประกอบ** ให้ทาซีลแลนต์ที่หัวตัวยึดภายหลังการติดตั้งเสร็จสิ้น

3.13.6.8 การซีลถังเชื้อเพลิง ให้ดำเนินการซีลถังเชื้อเพลิงตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในคู่มือซ่อมบำรุงของผู้ผลิตอากาศยานโดยเคร่งครัด

### 3.13.7 ระบบสีและขั้นตอนการซ่อมแต่งสี (Paint Finishes and Touchup Procedures)

3.13.7.1 ระบบสีทำหน้าที่ปกป้องพื้นผิวที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมจากการกัดกร่อนและการเสื่อมสภาพในรูปแบบต่าง ๆ วัตถุประสงค์ในการใช้งานระบบสีตามแผนการทาสี (Scheduled Paint Schemes) ได้แก่

- ความต้องการการมองเห็นชัดเจน (High Visibility)
- เครื่องหมายแสดงเอกลักษณ์และการระบุอากาศยาน



- การป้องกันการสึกหรอ (Abrasion Protection)
- การเคลือบเฉพาะทาง เช่น สีบริเวณทางเดิน (Walkway Coatings)

3.13.7.2 ระบบสีของอากาศยานประกอบด้วย **สีรองพื้น (Primer)** และ **สีทับหน้า (Topcoat)** โดย

- สีรองพื้นช่วยเพิ่มการยึดเกาะและมีสารยับยั้งการกัดกร่อน
- สีทับหน้าช่วยเพิ่มความทนทานให้กับระบบสี ทั้งต่อสภาพอากาศ สารเคมี และให้สีสันตามความต้องการด้านการปฏิบัติการ

3.13.7.3 พื้นผิวบางประเภทของอากาศยาน เช่น พื้นผิวที่มีส่วนผสมของเทฟลอน (Teflon-filled), พื้นผิวป้องกันการกัดกร่อนจากฝน (Rain Erosion), หรือบริเวณทางเดิน (Walkways) จำเป็นต้องใช้ระบบสีหรือสารเคลือบเฉพาะทาง เนื่องจากลักษณะการใช้งานหรือสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติการ สำหรับพื้นผิวเหล่านี้ ให้ยึดถือและปฏิบัติตาม คู่มือซ่อมบำรุงเฉพาะรุ่นของผู้ผลิตอากาศยาน อย่างเคร่งครัด

3.13.7.4 สำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency: EPA) ร่วมกับหน่วยงานควบคุมมลพิษทางอากาศในระดับท้องถิ่น ได้ออกข้อกำหนดเพื่อจำกัดปริมาณ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Content: VOC) หรือปริมาณตัวทำละลายในสีที่ใช้กับอากาศยานและบริเวณที่ภาคพื้น ผู้ปฏิบัติงานต้องทำความเข้าใจและปฏิบัติตามข้อกำหนดเหล่านี้อย่างเคร่งครัด เพื่อหลีกเลี่ยงมลพิษหรือค่าปรับจำนวนมาก

3.13.7.5 ประสิทธิภาพและการยึดเกาะของระบบสีส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับ **การเตรียมพื้นผิวอย่างถูกต้องและพิถีพิถัน** ก่อนการซ่อมแต่งสีหรือการทาสีใหม่

- พื้นผิวสีที่ผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานต้องได้รับการขัดผิว (Scuff-Sanding) เพื่อให้สีใหม่ที่ทาทับสามารถยึดเกาะได้ดี การขัดผิวควรทำให้พื้นผิวมีความหยาบอย่างทั่วถึง โดยอาจใช้การขัดด้วยมือหรือใช้เครื่องมือไฟฟ้า

- ในการเตรียมขั้นสุดท้าย ต้องมั่นใจว่าพื้นผิว

- ปราศจากการกัดกร่อน
- ได้รับการเตรียมผิวอย่างเหมาะสม
- ขอบสีเดิมถูกไล่ระดับ (Feathered)
- ผ่านการทำความสะอาด
- ได้รับการเคลือบผิวแบบเคมี (Conversion Coating)

ให้เปลี่ยนสารซิลแลนต์ตามแนวรอยต่อใหม่เมื่อจำเป็น และทำการปิดบังพื้นที่ (Masking) ตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของสี (Overspray)



3.13.7.6 การพ่นสีสำหรับงานซ่อมแต่ง ทาสีทับ หรือทาสีทั้งลำ (Spray Application for Touch-Up, Overcoat, and Total Repaint) แนวทางการเตรียมและการพ่นสี มีดังนี้

- ให้เจือจางสีรองพื้น (Primer) ด้วยทินเนอร์ที่ผู้ผลิตสีแนะนำ ตามอัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นคนให้เข้ากันและพ่นเป็นชั้นบางสม่ำเสมอ ความหนาของสีรองพื้นแตกต่างกันไปตามชนิด แต่โดยทั่วไป ความหนาฟิล์มแห้งรวมควรอยู่ที่ประมาณ 0.6–0.9 มิล (0.0006–0.0009 นิ้ว) โดยฟิล์มที่เคลือควรมีลักษณะโปร่งแสง ปล่อยให้สีรองพื้นแห้งในอากาศก่อนการพ่นสีทับหน้า และต้องศึกษาข้อแนะนำของผู้ผลิตสีอย่างละเอียด โดยทั่วไปควรพ่นสีทับหน้า ภายใน 24 ชั่วโมง หลังการพ่นสีรองพื้น

- สีทับหน้า (Topcoat) ต้องเจือจางด้วยทินเนอร์ตามคำแนะนำของผู้ผลิต คนให้เข้ากัน และพ่นเป็นชั้นบางสม่ำเสมอ ความหนาของสีทับหน้าแตกต่างกันไปตามชนิด แต่โดยทั่วไป ความหนาฟิล์มแห้งรวมควรอยู่ที่ประมาณ 1.5–2.0 มิล (0.0015–0.002 นิ้ว) จากนั้นปล่อยให้สีแห้งในอากาศตามขั้นตอนและระยะเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด

- การพ่นสีที่มีส่วนผสมของเทพลอน หรือสารป้องกันการเสียดสี (Anti-Chafe Coatings) ต้องพ่นบนสีรองพื้น และปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- การพ่นสารเคลือบบริเวณทางเดิน (Walkway Compounds) ต้องพ่นบนสีรองพื้น และปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตเช่นเดียวกัน



## บทที่ 4 การตรวจสอบการผุกร่อน (INSPECTION REQUIREMENTS)

### 4.1 บททั่วไป (General)

การตรวจสอบการผุกร่อนควรเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบบำรุงประจำวัน หรือการตรวจก่อนบิน (Preflight Inspection) ยกเว้นกรณีที่เป็นข้อกำหนดเฉพาะในพื้นที่เสี่ยง การให้ความสำคัญกับปัญหาการกัดกร่อนเพียงช่วงเวลาที่เกิดปัญหา แล้วละเลยการตรวจสอบจนกว่าจะเกิดวิกฤตครั้งถัดไป ถือเป็นแนวปฏิบัติที่ไม่ปลอดภัย สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว

การตรวจสอบการกัดกร่อนเป็นข้อกำหนดที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง และจำเป็นต้องมีการตรวจเป็นประจำทุกวัน หากมีการจัดตั้งหน่วยหรือคณะทำงานเฉพาะด้านการควบคุมการกัดกร่อน ควรวางแผนตารางการซ่อมบำรุงให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถตรวจสอบและซ่อมแซมได้ โดยมีการถอดแผ่นเปิดตรวจ (Access Plates) และเคลื่อนย้ายหรือถอดชิ้นส่วนที่เกิดขวางออกจากพื้นที่ตรวจ

4.1.1 โดยทั่วไป คู่มือการตรวจสอบของผู้ผลิตอากาศยานมีความครอบคลุมเพียงพอสำหรับการตรวจสอบทุกส่วนของอากาศยานหรือเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม **ไม่ควรละเว้นการตรวจสอบชิ้นส่วนหรือพื้นที่ใด ๆ ของอากาศยาน** ให้ใช้คู่มือเหล่านี้เป็นแนวทางหลักในการตรวจสอบการกัดกร่อนในแต่ละพื้นที่

4.1.2 อย่างไรก็ตาม พื้นที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน (Trouble Areas) ถือเป็นกรณีที่แตกต่างกันออกไป ประสพการณ์แสดงให้เห็นว่า การรวมกันของปัจจัยบางประการสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ แม้ว่าจะมีการตรวจตามรอบปกติแล้วก็ตาม พื้นที่เสี่ยงเหล่านี้อาจเป็นลักษณะเฉพาะของอากาศยานบางรุ่น หรืออาจพบได้ในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกันของอากาศยานหลายแบบ

4.1.3 เส้นทางการบินและฐานปฏิบัติการจะทำให้อากาศยานบางลำสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ก่อการกัดกร่อนมากกว่าลำอื่น สภาพแวดล้อมในการใช้งานอาจจัดระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนเป็น **ระดับต่ำ (Mild), ระดับปานกลาง (Moderate) หรือ ระดับรุนแรง (Severe)** แผนทีแสดงระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนในพื้นที่ปฏิบัติการทั่วโลกแสดงไว้ใน รูปที่ 3-15 ถึง 3-20 พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งอาจมีความกัดกร่อนสูงจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น

- มลพิษทางอุตสาหกรรมที่ลอยอยู่ในอากาศ
- สารเคมีที่ใช้บนทางวิ่งและทางขับเพื่อป้องกันการเกิดน้ำแข็ง
- ความชื้น
- อุณหภูมิ

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



- ทิศทางลมประจำที่พัดพาสภาพแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเข้ามา

#### 4.2 ความถี่ในการตรวจสอบ (Frequency of Inspections)

นอกเหนือจากการตรวจสอบบำรุงตามรอบปกติ ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดพิเศษดังต่อไปนี้

- อากาศยานที่ปฏิบัติงานใน **สภาพแวดล้อมรุนแรง** ต้องตรวจสอบการกัดกร่อนทุก **15 วันปฏิบัติ**
- อากาศยานที่ปฏิบัติงานใน **สภาพแวดล้อมปานกลาง** ต้องตรวจสอบทุก **45 วันปฏิบัติ**
- อากาศยานที่ปฏิบัติงานใน **สภาพแวดล้อมระดับต่ำ** ต้องตรวจสอบทุก **90 วันปฏิบัติ**
- ต้องทำการล้างอากาศยานก่อนการตรวจสอบการกัดกร่อนทุกครั้ง
- การตรวจสอบควรดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้และประสบการณ์ด้านปัญหาและการแก้ไขการกัดกร่อน
- สำหรับอากาศยานที่มีการใช้งานบินไม่บ่อย ควรกำหนด **โปรแกรมตรวจสอบและซ่อมแซมการกัดกร่อนโดยอิงตามระยะเวลา (Calendar-Based)** แทนการอิงชั่วโมงบิน

เนื่องจากสภาพแวดล้อมการใช้งานอาจไม่แน่นอน ควรปรับรอบเวลาการตรวจสอบตามผลการตรวจพบการกัดกร่อนที่ผ่านมา เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง

#### 4.3 ระดับความลึกของการตรวจสอบที่แนะนำ (Recommended Depth of Inspection)

โดยทั่วไป ข้อกำหนดด้านการตรวจสอบการกัดกร่อนที่กำหนดไว้ จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าการตรวจสอบพื้นที่ห้องต่าง ๆ และโพรงภายในอากาศยานอย่างเพียงพอ การบำรุงรักษาจะถือว่าเหมาะสมสำหรับสภาพการใช้งานส่วนใหญ่ เมื่อปฏิบัติตามข้อกำหนดการตรวจทั่วไปควบคู่กับการตรวจสอบพื้นที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนที่พบบ่อยเป็นระยะ เพื่อช่วยให้การตรวจครอบคลุมครบถ้วน จึงสรุประดับความลึกของการตรวจสอบไว้ดังนี้

##### 4.3.1 การตรวจประจำวันและการตรวจก่อนบิน (Daily and Preflight Inspection)

ให้ตรวจสอบช่องว่าง รอยต่อ บานพับ และผิวสัมผัสสประกะบ (Faying Surfaces) ภายในบริเวณห้องเครื่องยนต์และผิวโครงสร้างภายนอกอากาศยาน รวมถึงพื้นที่ทั้งหมดที่สามารถตรวจได้โดย **ไม่ต้องถอดสกรูหรือแผ่นปิดตรวจ** เช่น

- บริเวณบิลจ์ (Bilge Areas)
- บริเวณล้อและช่องล้อ (Wheel and Wheel Well Areas)
- ห้องแบตเตอรี่
- ท่อระบายน้ำของถังเชื้อเพลิงและโพรงโครงสร้าง
- บริเวณด้านหน้าของเครื่องยนต์ รวมถึงช่องรับอากาศ



- บริเวณทางไอเสียของเครื่องยนต์

การตรวจในระดับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาสัญญาณเริ่มต้นของการกัดกร่อน คราบเกลือ ความชื้นสะสม และสิ่งสกปรกที่อาจก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว

#### 4.3.2 การตรวจเชิงลึก (In-depth Inspections)

ให้ถอดแผ่นปิดที่ยึดด้วยสกรู แผ่นเปิดตรวจ และชิ้นส่วนผิวโครงสร้างที่สามารถถอดได้ตามความจำเป็น เพื่อให้สามารถตรวจสอบโพรงภายในได้อย่างละเอียด

ในกรณีที่พบสารเคลือบกันสนิมภายในที่มีความหนาและมีสภาพน่าสงสัย ให้ทำการขจัดออกบางส่วนอย่างน้อยในลักษณะ **ตรวจแบบจุด (Spot Check)** เพื่อประเมินสภาพผิวโลหะด้านล่าง

ควรตรวจสอบภายในอากาศยานในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนสูง ได้แก่

- บริเวณรอบห้องน้ำ
- ห้องครัวหรือพื้นที่เตรียมอาหาร
- ใต้พื้นห้องโดยสาร
- ห้องเก็บสัมภาระ

ตัวอย่างการกัดกร่อนที่ตรวจพบภายหลังการถอดแผ่นครอบธรณีประตูห้องบรรทุก แสดงไว้ใน **รูปที่ 4-1**

#### 4.3.3 การตรวจประจำปี (Annual Inspections)

ให้ดำเนินการตรวจสอบการกัดกร่อนในระหว่างการตรวจประจำปี หรือในระหว่างการตรวจเชิงลึกตามรอบที่กำหนด ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถเข้าถึงพื้นที่ของอากาศยานที่ปกติไม่สามารถเข้าถึงได้ เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีการกัดกร่อนสะสมในบริเวณซ่อนเร้นหรือโครงสร้างหลัก

#### 4.3.4 สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Preventive Compounds)

ให้ใช้สารป้องกันการกัดกร่อนตามที่ผู้ผลิตอากาศยาน (OEM) แนะนำ เช่น LPS3, Dinol AV5 หรือผลิตภัณฑ์เทียบเท่า รวมถึงสารป้องกันการกัดกร่อนรุ่นพัฒนาขั้นสูง เพื่อช่วยลดโอกาสการเกิดการกัดกร่อนอย่างมีประสิทธิภาพ

ควรนำผลการตรวจสอบการกัดกร่อนมาทบทวนร่วมกับการใช้งานสารป้องกันการกัดกร่อน เพื่อ

- ประเมินประสิทธิภาพของสารที่ใช้
- กำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทาสีหรือปรับปรุงการเคลือบ



รูปที่ 4-1 การกัดกร่อนที่ตรวจพบภายหลังการถอดแผ่นครอบธรณีประตูห้องบรรทุกสัมภาระ

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



#### 4.4 แนวทางหลักในการตรวจพบการกัดกร่อน (Primary Approach)

การตรวจพบการกัดกร่อนอาศัยหลักการสำคัญคือ การตรวจสอบตามรอบอย่างสม่ำเสมอ การตรวจพบและแก้ไขตั้งแต่ระยะเริ่มต้นจะช่วยลดค่าใช้จ่าย ลดระยะเวลาที่อากาศยานต้องหยุดใช้งาน และลดความเสี่ยงต่อเหตุขัดข้องระหว่างการบินหรือเหตุที่เกี่ยวข้องกับการบิน

การตรวจสอบการกัดกร่อนทุกครั้งควรเริ่มต้นจาก การทำความสะอาดพื้นที่ที่จะทำการตรวจอย่างทั่วถึง จากนั้นให้ทำการตรวจสอบด้วยสายตา โดยใช้ไฟฉาย กระจกตรวจ และแว่นขยาย กำลังขยายประมาณ 5 ถึง 10 เท่า เพื่อค้นหาข้อบกพร่องที่เห็นได้ชัดหรือบริเวณที่มีความน่าสงสัย

ภายหลังจากการตรวจทั่วไป หากพบความเสียหายหรือพื้นที่ที่ต้องสงสัย ให้ดำเนินการตรวจสอบอย่างละเอียด ซึ่งอาจใช้วิธีการหนึ่งหรือหลายวิธีดังต่อไปนี้

##### 4.4.1 การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NDI)

###### 4.4.1.1 การตรวจด้วยสายตา

(Visual Inspection)

การตรวจด้วยสายตาเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจพบและประเมินสภาพการกัดกร่อน การตรวจลักษณะนี้อาศัยการมองเห็นโดยตรงไปยังพื้นผิวของอากาศยาน หรือการมองในมุมเอียงต่ำ เพื่อช่วยให้สังเกตความผิดปกติของผิวโลหะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

นอกจากการใช้สายตาแล้ว การใช้ **ประสาทสัมผัสการสัมผัสด้วยมือ** ยังเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจพบการกัดกร่อนที่ซ่อนอยู่และพัฒนาไปมากแล้ว เช่น การโป่งตัวของผิว โครงสร้างหรือความไม่เรียบของพื้นผิว

เครื่องมือช่วยตรวจสอบอื่น ๆ ที่สามารถใช้ร่วมกับการตรวจด้วยสายตา ได้แก่

- กระจกตรวจ
- กล้องส่องตรวจภายใน (Borescope)
- เครื่องมือวัดเชิงแสง
- เครื่องมือวัดความลึก

การตรวจด้วยสายตาสามารถตรวจพบลักษณะความเสียหายจากการกัดกร่อนได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น

- สีแตก หลุด ลอก หรือยกตัวขึ้น (แสดงในรูปที่ 4-2 และ 4-3)
- หัวหมุดย้าบุงหรือตันตัวขึ้นจากแรงดันของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน (รูปที่ 4-4)
- ผิวโครงสร้างโป่งนูนหรือยกตัวขึ้นรอบตัวยึด (รูปที่ 4-5)
- รอยแตกร้าวบริเวณโครงสร้างหรือผิวสัมผัสประกบ (รูปที่ 4-6 และ 4-7)
- การสะสมของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนในระดับรุนแรง (รูปที่ 4-8 และ 4-9)

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



- ลักษณะบ่งชี้ของการกัดกร่อน (*Indications of Corrosive Attack*)

ลักษณะของการกัดกร่อนที่ตรวจพบอาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและระยะเวลาที่การกัดกร่อนเกิดขึ้น โดยทั่วไป

- อลูมิเนียมและแมกนีเซียมจะแสดงคราบผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนเป็นผงสีขาว
- โลหะกลุ่มเหล็กจะแสดงคราบเป็นสีแดงไปจนถึงสีน้ำตาลแดงเข้ม

- การเข้าถึงพื้นที่ตรวจสอบที่ยากต่อการมองเห็น (*Inspection of Obscure or Restricted Areas*)

ในบางกรณี โครงสร้างอากาศยานหรือการติดตั้งอุปกรณ์อาจบังพื้นที่ตรวจสอบ หรือทำให้พื้นที่นั้นยากต่อการตรวจด้วยสายตาโดยตรง เพื่อให้การตรวจสอบมีประสิทธิภาพ ควรจัดให้มีการเข้าถึงพื้นที่ตรวจอย่างเหมาะสม โดยอาจดำเนินการดังนี้

- ถอดแผ่นปิดตรวจหรืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียง
- ทำความสะอาดพื้นที่ตามความจำเป็น
- ขจัดสีหรือซิลแลนต์ที่หลวม แตก หรือเสื่อมสภาพ

เครื่องมืออย่างกระจกตรวจ กล้องส่องตรวจภายใน และไฟเบอร์ออปติก มีประโยชน์อย่างยิ่งในการช่วยให้สามารถสังเกตพื้นที่ซ่อนเร้นได้ ซึ่งตัวอย่างสภาพลักษณะดังกล่าวแสดงไว้ใน รูปที่ 4-10 ถึง 4-18



รูปที่ 4-2 การกัดกร่อนใต้สีที่แตกและหลุดล่อนบนผิวปีกอากาศยาน



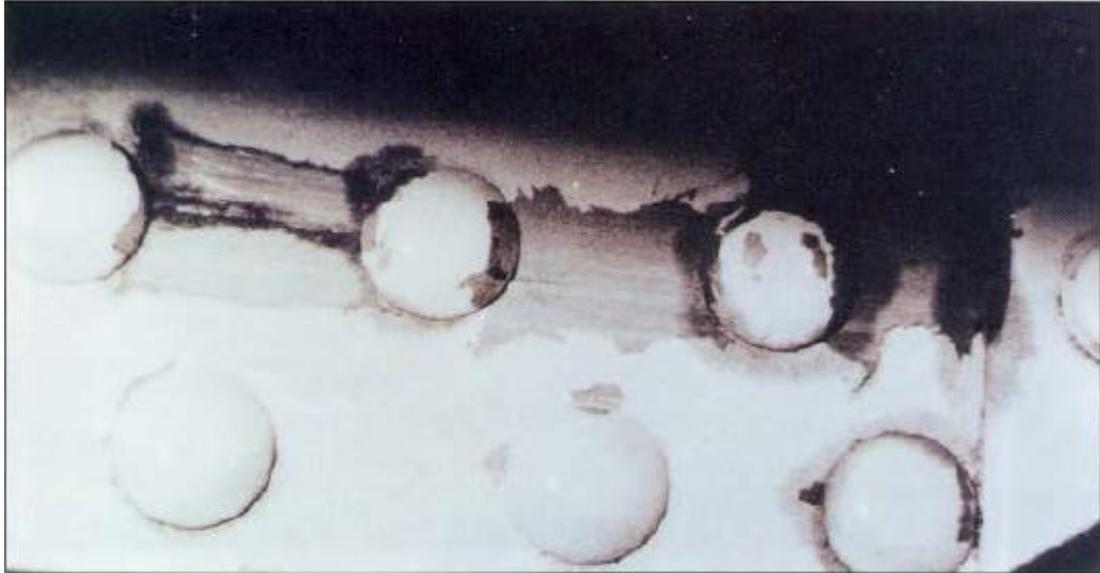
รูปที่ 4-3 การกัดกร่อนที่ป้องกันจากการพองตัวของชั้นสีภายในถึงเชื้อเพลิง



รูปที่ 4-4 หัวหมุดย้ายกตัว (Popped Rivet Heads) อันเป็นผลจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน



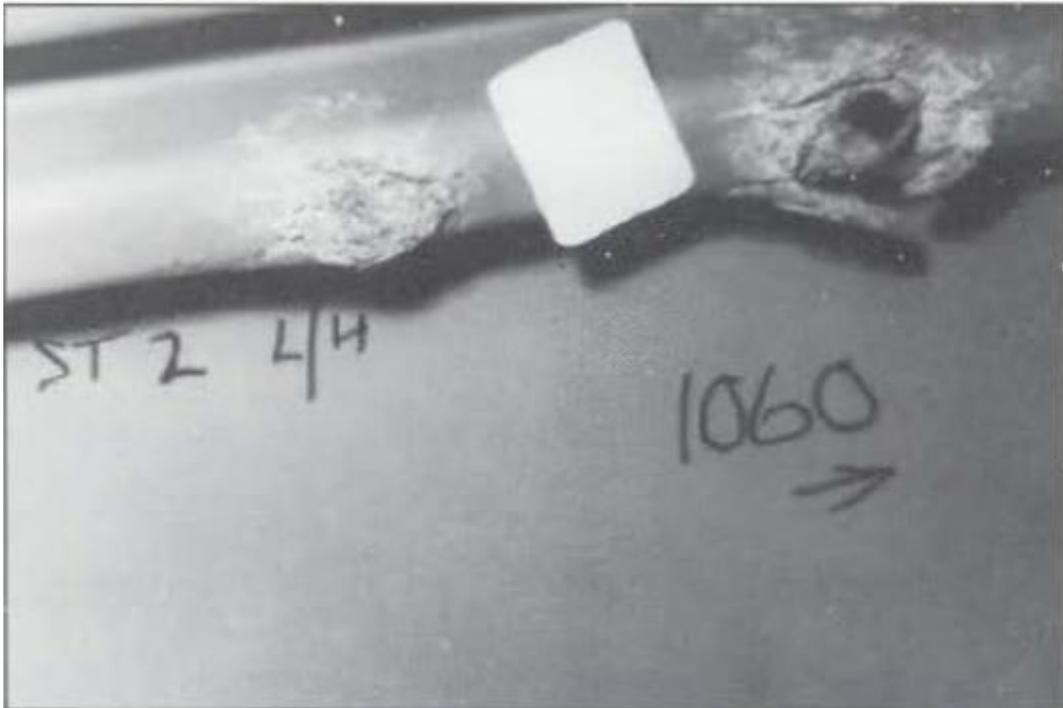
รูปที่ 4-5 ผิวโครงสร้างโป่งรอบตัวยึด (Fasteners) อันเกิดจากแรงดันของผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน



รูปที่ 4-6 รอยแตกร้าวจากการกัดกร่อนระหว่างตัวยึดบนคานปีกอากาศยาน



รูปที่ 4-7 การกัดกร่อนที่ผิวสัมผัส (Faying Surface Corrosion) บนคานปีก พร้อมการแตกร้าวจากการกัดกร่อนที่มองเห็นได้



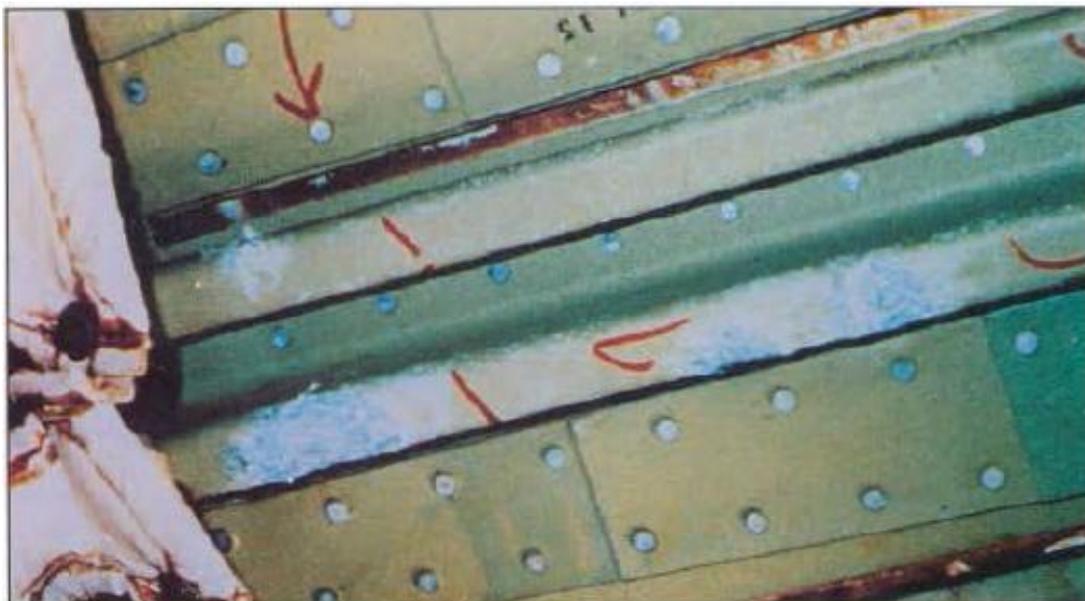
รูปที่ 4-8 การกัดกร่อนอย่างรุนแรงของสตริงเกอร์บริเวณส่วนบนลำตัว (Severe Crown Stringer Corrosion)



รูปที่ 4-9 การกัดกร่อนของคานปีกส่วนคอर्ड (Spar Chord Corrosion)



รูปที่ 4-10 การถอดซีลแลนต์แบบฟิลเลตออกจากขอบด้านในของรอยต่อแบบซ้อน (Lap Joint) ทำให้เห็นขอบเขตการกัดกร่อนทั้งหมด



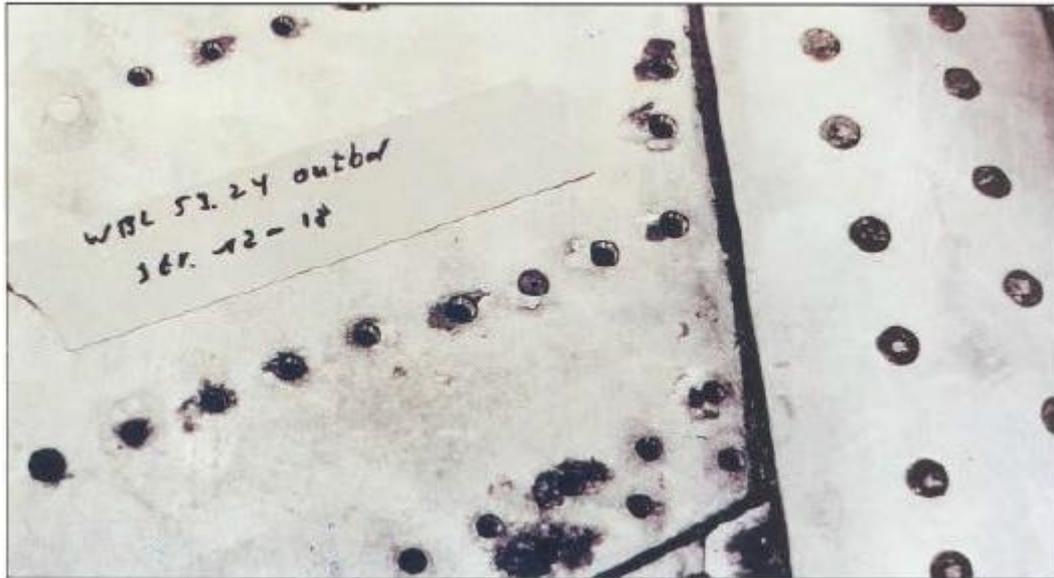
รูปที่ 4-11 การถอดแผ่นฉนวนกันความร้อน (Insulation Blankets) ทำให้พบการกัดกร่อนที่ซ่อนอยู่



รูปที่ 4-12 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นใต้สารปรับระดับผิว (Leveling Compound) ซึ่งติดตั้งไว้ระหว่างการซ่อมแซมช่องทางออกฉุกเฉินบนปีก (Overwing Exit) ครึ่งก่อน



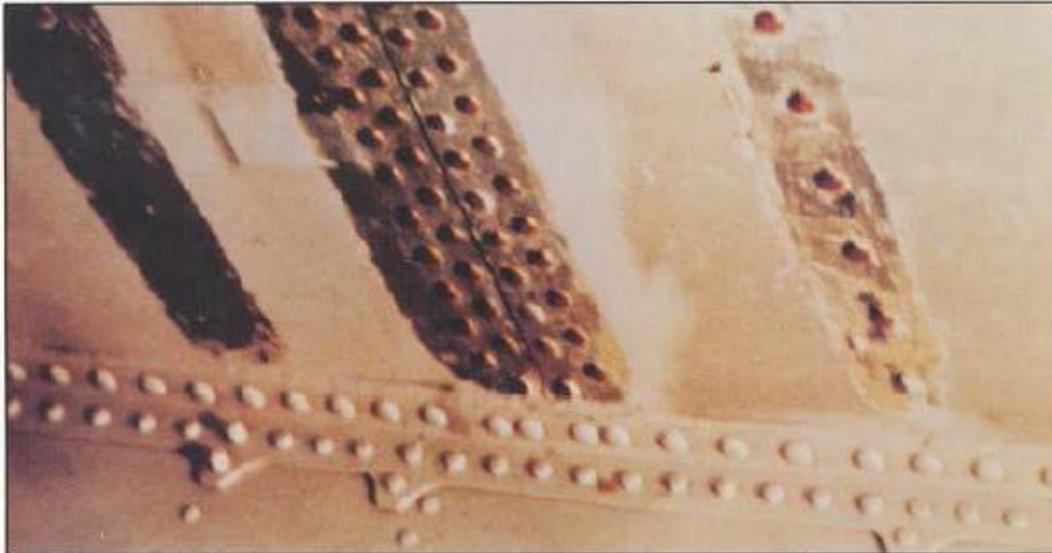
รูปที่ 4-13 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นด้านหลังชิ้นส่วนโครงสร้างบนคานปีกอากาศยาน



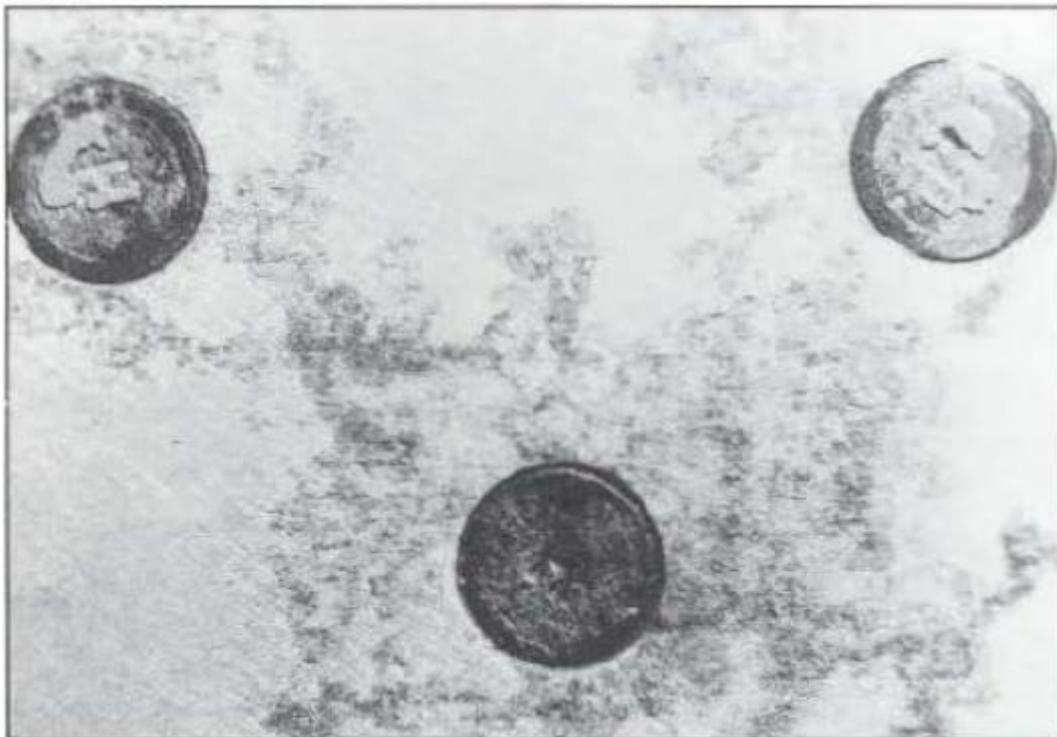
รูปที่ 4-14 รอยต่อแบบซ้อน (Lap Joint) ที่เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง



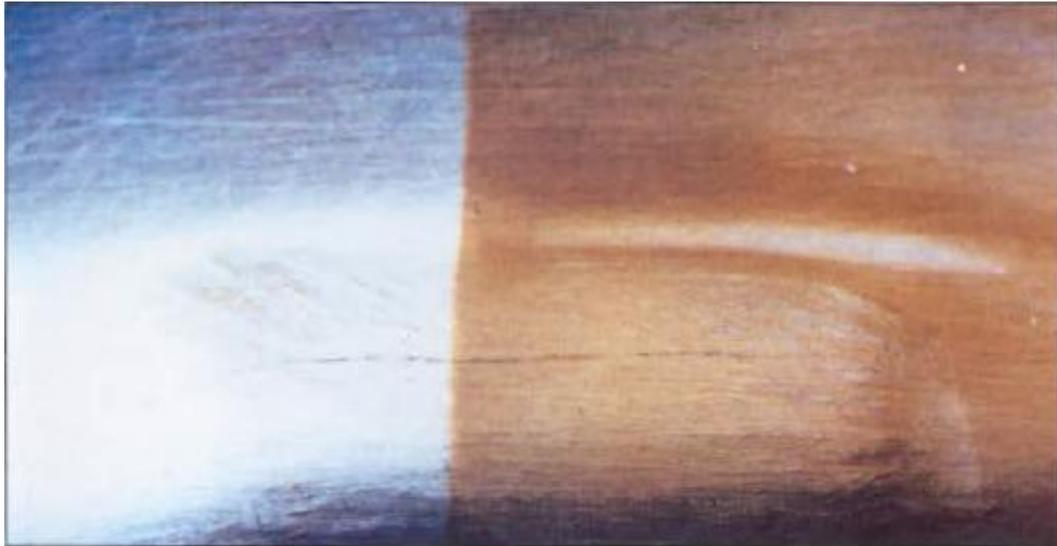
รูปที่ 4-15 รอยต่อแบบซ้อน (Lap Joint) ที่เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง



รูปที่ 4-16 การลอกสีเฉพาะบริเวณ (Local Paint Removal) เพื่อเปิดเผยขอบเขตการกัดกร่อนทั้งหมด



รูปที่ 4-17 บริเวณที่เกิดการกัดกร่อนหลังจากลอกสีออกจากผิวปีกอากาศยาน



รูปที่ 4-18 การปรับสภาพผิวด้วย Bonderite 1200 ก่อนการทาสี ซึ่งช่วยเน้นให้เห็นการกัดกร่อนหรือรอยแตกร้าวที่ยังคงหลงเหลืออยู่

#### 4.4.1.2 วิธีการตรวจสอบอื่น ๆ (Other NDI Methods)

นอกเหนือจากการตรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) แล้ว ยังมี **วิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Inspection: NDI)** หลายวิธีที่สามารถนำมาใช้ช่วยตรวจหาการกัดกร่อนและความเสียหายที่มองไม่เห็นได้ วิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดเฉพาะ และ **ต้องดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่ NDI ที่ได้รับการรับรองเท่านั้น** รวมทั้งต้องใช้เครื่องมือที่ผ่านการปรับเทียบ (Calibration) และมี **Reference Standard** เพื่อให้ผลการตรวจมีความน่าเชื่อถือ

##### Liquid Dye Penetrant Inspection (PT)

การตรวจแบบ **สารแทรกซึม (Liquid Penetrant)** ใช้สำหรับตรวจหารอยแตกร้าวขนาดใหญ่จาก

- Stress Corrosion Cracking
- Corrosion Fatigue

บนโลหะ **ที่ไม่เป็นรูพรุน** ทั้งกลุ่มเหล็กและไม่ใช่เหล็ก

##### หลักการ

- สารสีจะแทรกซึมเข้าสู่รอยแตก รอยแยก หรือโพรงเล็ก ๆ ด้วยแรงแคปิลลารี
- เมื่อเช็ดสีส่วนเกินออกและทา Developer
- Developer จะดูดสีจากรอยแตกออกมา ทำให้เห็นตำแหน่งและลักษณะความเสียหาย

##### การแปลผล

- ปริมาณและความเร็วที่สีปรากฏ → บ่งชี้ขนาดและความรุนแรงของ Defect
- เหมาะกับ รอยแตกที่เปิดถึงผิว (Surface-Breaking Cracks)



### Magnetic Particle Inspection (MT)

ใช้สำหรับตรวจหาความไม่ต่อเนื่องบนหรือใกล้ผิวของ โลหะที่เป็น Ferromagnetic (เช่น Carbon Steel, Low Alloy Steel)

#### หลักการ

- ทำให้ชิ้นงานเกิดสนามแม่เหล็ก
- โรยหรือพ่นผงแม่เหล็ก
- บริเวณที่มีรอยแตกจะทำให้สนามแม่เหล็กผิดปกติ → ผงแม่เหล็กรวมตัว

#### ข้อจำกัด

- ใช้ไม่ได้กับ Aluminum, Titanium
- ต้องควบคุมทิศทางสนามแม่เหล็กให้เหมาะสม

### Eddy Current Inspection (ET)

เป็นหนึ่งในวิธี สำคัญมากสำหรับงานอากาศยาน

#### Low-Frequency Eddy Current

- ใช้ตรวจ การบางลงจาก Corrosion
- ตรวจ Corrosion ด้านหลังผิว (Hidden Corrosion) ได้ระดับหนึ่ง
- ต้องใช้ Reference Standard เปรียบเทียบความหนาที่ไม่กัดกร่อน

#### High-Frequency Eddy Current

- เหมาะสำหรับตรวจ รอยแตกที่เปิดถึงผิว
- ใช้ได้กับ
  - ผิวเรียบ
  - รูสลัก (Fastener Holes)

#### ข้อดี

- ไม่ต้องถอดชิ้นส่วนมาก
- เหมาะกับ Lap Joints, Multilayer Structure

### X-Ray Inspection(RT)

การตรวจด้วยรังสีเอกซ์มี การใช้งานจำกัดสำหรับ Corrosion

#### หลักการ

- ยิงรังสี X-Ray ผ่านชิ้นงาน
- फिल्मด้านหลังแสดงความแตกต่างของความหนาแน่น

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



### การแปลผล

- ความหนาแน่นสูง → ภาพเข้ม
- ความหนาแน่นต่ำ (Corrosion, Crack) → ภาพจาง

### ข้อจำกัด

- ไม่ไวต่อ Corrosion ระดับเล็ก-ปานกลาง
- ต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับการรับรอง
- มีข้อจำกัดด้านความปลอดภัยจากรังสี

### Ultrasonic Inspection (UT)

การตรวจด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมีความไวสูงมาก เมื่อ มีผิวโลหะต่อเนื่องให้ตรวจ

### การใช้งาน

- ตรวจ
  - Exfoliation Corrosion
  - Stress-Corrosion Cracking
  - General Thinning

### ข้อจำกัดสำคัญ

- Digital Thickness Gauge ไม่แม่นยำ หากยังไม่ขจัด Corrosion ออก
- ต้องให้เจ้าหน้าที่ที่มีประสบการณ์แปลผลสัญญาณ

ใช้ Ut เพื่อ “ประเมินแนวโน้มน” มากกว่าตัดสินขอบเขต Damage ทันที

### Acoustic Emission Testing (AE)

#### ใช้สำหรับตรวจ

- Corrosion
- Moisture
- ใน โครงสร้าง Honeycomb ที่ยึดด้วย Adhesive

#### หลักการ

- ตรวจจับสัญญาณเสียง/พลังงานที่เกิดจาก
  - การขยายตัวจากความร้อน
  - การเริ่มต้นหรือการลุกลามของ Corrosion

#### จุดเด่น

- ตรวจพบได้ตั้งแต่ Corrosion ระยะเริ่มต้น
- เหมาะกับโครงสร้าง Composite / Bonded Structure



# บทที่ 5 เทคนิคการกำจัดการกัดกร่อน

## (CORROSION REMOVAL TECHNIQUES)

### หมวดที่ 1 ชั้นตอนด้านความปลอดภัย

#### 1. บททั่วไป (General)

ข้อควรระวังด้านความปลอดภัยทั่วไปต่อไปนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการและปฏิบัติงานกับวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นอันตรายทางกายภาพ รวมถึงขั้นตอนการตอบสนองกรณีฉุกเฉินเพื่อการปฐมพยาบาลและการรักษาเบื้องต้นแก่บุคลากรที่อาจสัมผัสกับสารอันตรายโดยไม่ได้ตั้งใจ วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นอันตรายจะมีการอ้างอิงไปยังข้อควรระวังด้านความปลอดภัยและขั้นตอนการจัดการเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะ บุคลากรทุกคนที่มีหน้าที่ใช้งานหรือจัดการวัสดุอันตราย ต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และความคุ้นเคยอย่างถ่องแท้กับข้อมูลและแนวทางปฏิบัติที่ระบุไว้ในหัวข้อต่อไปนี้

#### 1.1 ข้อควรระวังด้านความปลอดภัย (Safety Precautions)

เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้งานหรือจัดการกับตัวทำละลาย (solvents) น้ำยาทำความสะอาดเฉพาะทาง น้ำยาลอกสี ต่างหรือกรดเข้มข้น สารกัดผิว (etchants) น้ำยาขจัดการกัดกร่อนที่มีส่วนผสมของกรด หรือสารกระตุ้นผิว (surface activation material) เช่น Bonderite 1200 ให้ปฏิบัติตามข้อควรระวังด้านความปลอดภัยต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด

- หลีกเลี่ยงการสูดดมไอระเหยของตัวทำละลายหรือกรดเป็นเวลานาน ห้ามใช้ตัวทำละลายหรือกรดในพื้นที่อับอากาศโดยไม่มีระบบระบายอากาศที่เพียงพอ หรือไม่มีอุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจที่ได้รับการรับรอง
- ห้ามเติมน้ำลงในกรดโดยเด็ดขาด ต้องเติมกรดลงในน้ำเท่านั้น
- ผสมสารเคมีทุกชนิดตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด
- ต้องจัดเตรียมน้ำสะอาดสำหรับใช้ในกรณีฉุกเฉินไว้ในบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงานก่อนเริ่มงาน
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสตัวทำละลาย น้ำยาทำความสะอาด สารกัดผิว กรด หรือสารเคลือบผิวแบบแปลงสภาพ (conversion coating material) เช่น สารละลาย Bonderite กับผิวหนังเป็นเวลานานหรือซ้ำ ๆ ให้สวมถุงมือยางหรือถุงมือพลาสติกเมื่อใช้งานสารดังกล่าว และให้สวมแว่นตานิรภัยหรือหน้ากากป้องกันใบหน้า รวมถึงเครื่องแต่งกายป้องกันที่เหมาะสมเมื่อทำความสะอาด ลอกสี กัดผิว หรือเคลือบผิวในลักษณะงานเหนือศีรษะ



6. เมื่อผสมต่าง (alkalis) กับน้ำหรือสารอื่น ให้ใช้ภาชนะที่ออกแบบมาเพื่อทนต่อความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี
7. หากมีน้ำยาลอกสี สารกัดผิว หรือสารเคลือบผิวแบบแปลงสภาพสัมผัสร่างกาย ผิวหนัง หรือเสื้อผ้า ให้ล้างออกทันที
8. หากมีสารกระเด็นเข้าตา ให้รีบล้างตาด้วยน้ำสะอาดทันที และนำผู้บาดเจ็บเข้ารับการรักษาทางการแพทย์โดยเร็ว
9. ห้ามรับประทานอาหาร หรือเก็บอาหารไว้ในพื้นที่ที่อาหารอาจดูดซึมสารพิษได้ และต้องล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนรับประทานหรือสูบบุหรี่
10. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าบริเวณปฏิบัติงานและพื้นที่โดยรอบในรัศมี **ไม่น้อยกว่า 50 ฟุต** ปราศจากแหล่งกำเนิดประกายไฟหรือแหล่งจุดติดไฟทั้งหมด ในกรณีที่มีการใช้งานสารที่มีจุดวาบไฟ (flash point) **140 °F หรือต่ำกว่า**
11. ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ดับเพลิงที่เหมาะสมไว้ใกล้พื้นที่ทำความสะอาดหรือการปรับสภาพผิวตลอดระยะเวลาปฏิบัติงาน
12. ในกรณีที่มีการใช้งานวัสดุไวไฟ ต้องทำการต่อสายดิน (grounding) ให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟจากไฟฟ้าสถิต
13. หากสารเคมี เช่น กรด ต่าง น้ำยาลอกสี หรือสารเคลือบผิวแบบแปลงสภาพ (conversion coating) หกรดใส่อุปกรณ์หรือเครื่องมือ ให้ดำเนินการแก้ไขทันที โดยล้างด้วยน้ำสะอาดหากสามารถทำได้ หรือทำการปรับสภาพเป็นกลาง (neutralization) โดย
  - ใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (baking soda) สำหรับกรด
  - ใช้สารละลายกรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 5 ในน้ำ สำหรับด่าง
14. ห้ามใช้ตัวทำละลายที่มีจุดวาบไฟต่ำกว่า 100 °F เช่น เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone: MEK) และอะซิโตน (Acetone) ในพื้นที่อับอากาศ
15. ทำความสะอาดอุปกรณ์ เครื่องมือ และพื้นที่ปฏิบัติงานทั้งหมดให้เรียบร้อยหลังเสร็จสิ้นการทำงาน
16. ปฏิบัติตามมาตรการด้านความปลอดภัยของหน่วยงานหรือองค์กรอย่างครบถ้วน
17. ตรวจสอบกฎหมายและข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เพื่อพิจารณาข้อจำกัดเกี่ยวกับการใช้งานตัวทำละลาย ไพรเมอร์ และสีทับหน้า
18. กำจัดของเสีย วัสดุใช้แล้ว และสารเคมีตกค้างตามข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่อย่างถูกต้อง



## 1.2 Emergency Safety Procedures

### หมายเหตุ:

บุคลากรต้องมีความคุ้นเคยกับขั้นตอนความปลอดภัยฉุกเฉินต่อไปนี้อย่างครบถ้วน ก่อนการใช้งานวัสดุหรือสารเคมีใด ๆ ที่มีการอ้างอิงถึงขั้นตอนความปลอดภัยฉุกเฉิน

### 1.2.1 กรณีสัมผัสทางกายภาพกับสารต่อไปนี้

- Methyl alcohol
- Xylene
- Methyl ethyl ketone (MEK)
- Petroleum naphtha
- Methyl isobutyl ketone
- Chromates
- Toluene
- Dichromate
- Trichloroethylene
- Acetates
- Epoxy resin
- Cyclohexanone
- Methylene chloride
- Cellosolve
- Brush Bonderite
- Carbon tetrachloride

### 1.2.2 ให้ปฏิบัติดังนี้

- หากสารกระเด็นเข้าตา **ห้ามขยี้ตา**
- รีบล้างตาทันทีด้วยน้ำสะอาดอย่างน้อย **15 นาที** โดยเปิดเปลือกตาบนและล่างเป็นระยะ เพื่อให้ล้างได้ทั่วถึง
- หากสารกระเด็นโดนเสื้อผ้าหรือร่างกายในบริเวณกว้าง ให้ **ถอดเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนออกทันที**
- ล้างร่างกายด้วยสบู่และน้ำปริมาณมาก
- ซักเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนให้สะอาดก่อนนำกลับมาใช้อีกครั้ง
- หากมีอาการระคายเคือง แสบร้อน หรืออาการผิดปกติ ให้รีบนำผู้ได้รับสารไปพบแพทย์ทันที
- หากสารกระเด็นถูกบริเวณร่างกายที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ให้ ล้างออกทันทีด้วยสบู่และน้ำสะอาด



- หากมีอาการ ปวดศีรษะ หรือมีอาการผิดปกติอื่น ๆ อันเกิดจากการได้รับสารเคมีหรือไอระเหยมากเกินไป ให้ ย้ายออกไปยังบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทหรืออากาศบริสุทธิ์ทันที
- หากสูดดมไอระเหยเข้าไปจนทำให้ การหายใจช้าลงหรือหยุดหายใจ
  - รีบนำผู้ประสบเหตุออกจากแหล่งสารเคมี
  - เริ่มทำการช่วยฟื้นคืนชีพ CPR / ใช้เครื่อง AED ทันที
  - แจ้งหน่วยแพทย์ฉุกเฉินในพื้นที่
  - ให้ดำเนินการช่วยเหลือต่อเนื่องจนกว่าหน่วยแพทย์ฉุกเฉินจะมาถึง

### 1.2.3 กรณีสัมผัสทางกายภาพกับสารต่อไปนี้

- Hydrofluoric acid
- Nitric acid
- Phosphoric acid
- Phenol
- Cresols
- Tricresyl phosphate

### 1.2.4 วิธีปฏิบัติเมื่อได้รับสารในข้อ 1.2.3

- **กรณีสารกระเด็นเข้าตา**
  - ใช้กระดาษทิชชูหรือวัสดุนุ่ม เช็ดเปลือกตาอย่างรวดเร็ว
  - รีบล้างตาทันทีด้วยน้ำสะอาดไหลอ่อน ๆ จากก๊อกน้ำดื่ม แก้วน้ำ หรือแหล่งน้ำใกล้เคียง โดย เปิดเปลือกตาบนและล่างค้างไว้
  - แจ้งหน่วยแพทย์ฉุกเฉิน และล้างตาต่อเนื่องจนกว่าหน่วยแพทย์จะมาถึง
- **กรณีสารกระเด็นถูกผิวหนังในบริเวณที่เข้าถึงได้ง่าย**
  - ราดน้ำสะอาดบริเวณที่สัมผัสสารอย่างต่อเนื่องจนกว่ารถพยาบาลจะมาถึง
- **กรณีสารกระเด็นถูกเสื้อผ้าหรือร่างกายในบริเวณกว้าง**
  - ราดน้ำสะอาดทั่วร่างกายทันที
  - ถอดเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนออก ขณะราดน้ำอย่างต่อเนื่อง
  - ปฏิบัติต่อเนื่องจนกว่าหน่วยแพทย์ฉุกเฉินจะมาถึง
- **กรณีกลิ่นสารเคมีเข้าไป**
  - หากผู้ประสบเหตุ รู้สึกตัว
    - กระตุ้นให้อาเจียนโดยใช้นิ้วแตะบริเวณโคนลิ้น
    - ให้ดื่มน้ำสะอาดปริมาณมาก
    - ล้างปากซ้ำหลายครั้ง



- หากผู้ประสบเหตุ **หมดสติ**
  - ห้ามให้ดื่มของเหลวใด ๆ
  - เริ่มทำการช่วยฟื้นคืนชีพ CPR / AED ทันที
  - ดำเนินการต่อเนื่องจนกว่าหน่วยแพทย์ฉุกเฉินจะมาถึง
  - หากผู้ประสบเหตุฟื้นคืนสติระหว่างรอ ให้เปลี่ยนไปปฏิบัติตามขั้นตอนสำหรับผู้รู้สึกรู้สีกตัวทันที

## 2. ขั้นตอนการปฏิบัติงานทั่วไปด้านการควบคุมการกัดกร่อน (General Corrosion Control Work Procedures)

ประสิทธิผลของการควบคุมและป้องกันการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับการทำงานตามขั้นตอนพื้นฐานอย่างเคร่งครัด จึงขอแนะนำแนวปฏิบัติงานทั่วไป ดังนี้

2.1 กรณีที่ **ไม่ทราบขั้นตอนการซ่อมแก้ (rework procedures) หรือ ไม่ทราบชนิดวัสดุที่ใช้** ให้ติดต่อผู้ผลิตอากาศยาน หรือผู้แทนที่ได้รับอนุญาตจากผู้ผลิต ก่อนดำเนินการใด ๆ

2.2 พื้นที่ปฏิบัติงาน เครื่องมือ อุปกรณ์ และชิ้นส่วน ต้องสะอาด ปราศจากเศษโลหะ เศษผง เม็ดทราย สิ่งสกปรก และสิ่งแปลกปลอมทุกชนิด

2.3 ห้ามทำเครื่องหมายบนผิวโลหะใด ๆ ด้วยดินสอกาแฟไฟต์ หรือเครื่องมือมีคมและปลายแหลมทุกชนิดให้ใช้เครื่องหมายชั่วคราวที่สามารถล้างออกได้ (เช่น เครื่องหมายที่ละลายน้ำได้ หรือ methyl chloroform) สำหรับงานกำหนดตำแหน่ง หรือทำเครื่องหมายบนอากาศยานเพื่อระบุบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน

2.4 ห้ามใช้กราไฟต์เป็นสารหล่อลื่นสำหรับชิ้นส่วนใด ๆ เนื่องจากกราไฟต์มีศักย์ไฟฟ้าเป็นแคโทดเมื่อเทียบกับโลหะโครงสร้างทั้งหมด และจะก่อให้เกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกเมื่อมีความชื้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ในรูปแบบแห้ง

2.5 ตรวจสอบร่องเท้าและเครื่องแต่งกายก่อนเข้าปฏิบัติงาน ว่าปราศจากเศษโลหะ เศษเสี้ยน เศษริเวต สิ่งสกปรก หรือทราย ต้องนำสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวออกทั้งหมดก่อนเดินหรือทำงานบนผิวโลหะ เช่น ปีก แพนหาง หรือถังเชื้อเพลิง

2.6 ห้ามขีด ถู หรือขูดผิวโลหะใด ๆ เว้นแต่จะเป็นไปตามขั้นตอนที่ได้รับอนุญาต หากเกิดรอยขีดข่วนโดยไม่ตั้งใจ ให้ประเมินความเสียหาย และดำเนินการแก้ไขรอยดังกล่าว พร้อมทั้งทำการปรับสภาพพื้นผิวตามความจำเป็น

2.7 ห้ามขีดเงาผิวโลหะที่มีการเคลือบผิวเพื่อความสวยงาม การขีดเงาจะทำให้สารเคลือบป้องกันถูกกำจัดออก และผิวโลหะที่ขีดจนเงามาก มักมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าผิวที่ไม่ได้ขีด เว้นแต่จะได้รับการป้องกันด้วยสารเคลือบ เช่น แวกซ์ หรือสี อย่างไรก็ตาม แผ่นผิวโลหะเปลือยที่ขีดจนเงา

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



มากจะมีความต้านทานการกัดกร่อนดีกว่าแผ่นผิวโลหะเปลือยที่ยังคงสภาพผิวจากโรงงาน หากมีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

2.8 ขณะปฏิบัติงานเชื่อม เจียร หรือเจาะ ต้องป้องกันพื้นที่โดยรอบ เพื่อไม่ให้เศษวัสดุหรือคราบตกค้างปนเปื้อน ในบริเวณที่ไม่สามารถป้องกันได้ ให้ทำความสะอาดคราบตกค้างออกโดยทันที

2.9 เปลี่ยนสกรู โบลต์ และแหวนรอง ที่มีการกัดกร่อนรุนแรงทันที

2.10 เมื่อสารเคลือบป้องกัน เช่น การชุบแคดเมียม ได้รับความเสียหาย ให้รีบปรับสภาพและเคลือบผิวด้วยสารป้องกันที่เหมาะสมโดยทันที เพื่อป้องกันการกัดกร่อนเพิ่มเติม



## หมวดที่ 2 เทคนิคการกำจัดการกัดกร่อน (Corrosion Removal Techniques)

### 1. ข้อทั่วไป (General)

เมื่อสามารถสังเกตเห็นการกัดกร่อนที่ยังคงมีความรุนแรงอยู่ด้วยสายตา ควรเริ่มดำเนินการตรวจสอบเชิงรุกและจัดทำแผนการซ่อมแก้ไขอย่างเป็นระบบ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพเพิ่มเติมของโครงสร้างอากาศยาน

วิธีการประเมินความเสียหายจากการกัดกร่อน และขั้นตอนการซ่อมแก้ไขบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน ซึ่งแนะนำให้ใช้ในการดำเนินงานทำความสะอาดและซ่อมบำรุง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ โดยทั่วไป การซ่อมแก้ไขจะประกอบด้วย

- การทำความสะอาดและลอกสารเคลือบผิวออกทั้งหมดในบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน
- การกำจัดผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนออกทั้งหมด
- การฟื้นฟูผิวโลหะและการเคลือบผิวป้องกันใหม่ให้เหมาะสม

#### 1.1 การซ่อมแก้ไขความเสียหายจากการกัดกร่อนต้องดำเนินการโดย **กำจัดการกัดกร่อนและผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนออกทั้งหมด**

หากความเสียหายจากการกัดกร่อนเกินกว่าขีดจำกัดที่ผู้ผลิตอากาศยานกำหนดไว้ใน **Structural Repair Manual (SRM)** จะต้องดำเนินการดังต่อไปนี้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง

- เปลี่ยนชิ้นส่วนที่ได้รับความเสียหาย หรือ
- ขออนุญาตทางวิศวกรรมที่ได้รับการรับรองจาก FAA เพื่อให้สามารถใช้งานชิ้นส่วนนั้นต่อไปได้

1.2 กรณีพบความเสียหายจากการกัดกร่อนในโครงสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งมีระดับความเสียหายเกินกว่าที่ SRM อนุญาต และไม่สามารถเปลี่ยนชิ้นส่วนได้ในทางปฏิบัติ ให้ติดต่อผู้ผลิตอากาศยานโดยตรง เพื่อขอรับ **ขีดจำกัดในการซ่อมแก้ไข (Rework Limits)** และ **ขั้นตอนการซ่อมแก้ไขที่เหมาะสม**

### 2. วิธีมาตรฐาน (Standard Methods)

มีวิธีมาตรฐานหลายวิธีสำหรับการกำจัดการกัดกร่อน โดยทั่วไปนิยมใช้ **วิธีเชิงกล (Mechanical methods)** และ **วิธีทางเคมี (Chemical methods)**

วิธีเชิงกลประกอบด้วย

1. การขัดด้วยมือ โดยใช้แผ่นขัด (Abrasive Mat) กระดาษทราย หรือวัสดุที่มีอะลูมิเนียมออกไซด์ผสมอยู่
2. การขัด เจียร หรือขัดเงาด้วยเครื่องมือไฟฟ้า โดยใช้แผ่นขัด ล้อเจียร แผ่นทราย หรือแผ่นยางขัดชนิดพิเศษ



อย่างไรก็ตาม วิธีที่ใช้ต้องพิจารณาจาก ชนิดของโลหะ และ ระดับความรุนแรงของการกัดกร่อน ในหัวข้อต่อไปจะอธิบายวิธีการกำจัดการกัดกร่อนที่เหมาะสมสำหรับโลหะแต่ละชนิด ตามระดับความรุนแรงของการกัดกร่อนในแต่ละช่วง

### 3. การเตรียมการก่อนการซ่อมแก้ (Preparations for Rework)

เมื่อมีการซ่อมแก้โครงสร้างที่เกิดการกัดกร่อน ต้องกำจัดผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนออก อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากกระบวนการกัดกร่อนอาจยังดำเนินต่อไปได้ แม้ว่าผิวที่ได้รับผลกระทบจะถูกปรับสภาพและเคลือบผิวใหม่แล้วก็ตาม

ก่อนเริ่มการซ่อมแก้ ให้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. จัดตำแหน่งอากาศยานในบริเวณล้างอากาศยาน หรือจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับล้างอากาศยาน เพื่อให้สามารถล้างและชะล้างผิวได้อย่างรวดเร็ว
2. ต่อสายกราวด์ไฟฟ้าสถิต (Static Ground Line) เข้ากับอากาศยาน
3. เตรียมอากาศยานให้พร้อมสำหรับการปฏิบัติงานภาคพื้นอย่างปลอดภัย ได้แก่
  - ถอดแบตเตอรี่อากาศยาน ภาชนะบรรจุออกซิเจนเหลว (Lox) (ถ้ามีติดตั้ง) และตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าและไฮดรอลิกภายนอก
  - ติดตั้งหมุดนิรภัย ชงเต็อน และค้ำยันนิรภัย (Jury Struts) ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด
4. ป้องกันช่อง Pitot-Static ช่องระบายอากาศ (Louvers) ช่องรับอากาศ (Air Scoops) ช่องเปิดเครื่องยนต์ ล้อ ยาง แผงผิวแมกนีเซียม และภายในอากาศยาน จากความชื้นและสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดหรือปรับผิว
5. ป้องกันพื้นผิวที่อยู่ติดกับบริเวณซ่อมแก้ ไม่ให้สัมผัสกับสารลอกสีทางเคมี สารกำจัดการกัดกร่อน และสารปรับสภาพผิวโลหะ

### 4. การลอกสี (Paint Removal)

ให้ยึดถือตามคู่มือซ่อมบำรุงของผู้ผลิตอากาศยาน (Original Equipment Manufacturer: Oem) เป็นหลัก สำหรับแนวทางเฉพาะ

4.1 สำหรับพื้นที่ผิวโลหะขนาดเล็ก ให้ลอกสีด้วยวิธีเชิงกลโดยใช้แผ่นขัดชนิดความหยาบปานกลาง (Medium Grade Abrasive Mat)

สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ แนะนำให้ใช้วิธีการลอกสีด้วยสารเคมีเป็นหลัก

4.2 แนะนำให้ใช้สารลอกสีทางเคมีชนิดฟีนอลิก (Phenolic) และไม่ใช่ฟีนอลิก (non-phenolic) ที่มีส่วนผสมของ Methylene Chloride สำหรับลอกสีบน พื้นผิวโลหะเท่านั้น



**ห้ามใช้** สารลอกสีที่มีส่วนผสมของกรด เนื่องจากจะก่อให้เกิด **Hydrogen Embrittlement** กับ เหล็กกล้ากำลังสูง (High-Strength Steel) และเหล็กกล้าไร้สนิมบางชนิด  
ขั้นตอนการลอกสีด้วยสารเคมีที่แนะนำ มีดังนี้

1. ปิดคลุม (Masking) หน้าต่างอะคริลิก กระจกครอบห้องนักบิน (Canopy) ชิ้นส่วนพลาสติก ท่อสายไฟที่เปิดโล่ง พื้นผิวคอมโพสิต ล้อและยาง รวมถึงบริเวณอื่น ๆ ที่ไม่สามารถทำความสะอาดคราบสารลอกสีได้ หรือไม่สามารถทำการพ่นสีใหม่ได้
2. กำจัดสารซิลแลนต์ออก โดยตัดซิลแลนต์ส่วนเกินด้วยที่ขีดพลาสติกชนิดคม
3. ทาสารลอกสีให้หนาและต่อเนื่องทั่วบริเวณผิวที่ต้องการลอกสี
4. ปลอ่ยให้สารลอกสีทำปฏิกิริยาจนสีเกิดการย่น (Wrinkle) และหลุดลอกออกทั้งหมด หากบางบริเวณสียังติดแน่นหรือสารแห้ง ให้ทาสารลอกสีซ้ำตามความจำเป็น สามารถใช้ที่ขีด Micarta แผ่นขัด หรือแปรงใยสังเคราะห์ช่วยกำจัดสีที่หลุดยาก
5. กำจัดสีที่หลุดและคราบสารลอกสี โดยล้างและขัดด้วยน้ำสะอาดร่วมกับแปรงไนลอนขนแข็ง หรือแผ่นขัด
6. หลังจากล้างน้ำอย่างทั่วถึงแล้ว ให้ถอดวัสดุปิดคลุมออก และทำความสะอาดบริเวณนั้นอีกครั้งด้วยน้ำยาทำความสะอาดอากาศยาน เพื่อกำจัดคราบสารลอกสีที่ตกค้างทั้งหมด

4.3 สำหรับพื้นผิวคอมโพสิต ให้ลอกสีด้วย **วิธีเชิงกลเท่านั้น** (เช่น การขัดหยาบแบบ Scuff Sanding) พื้นผิวคอมโพสิตรวมถึงไฟเบอร์กลาส (Fiberglass), เคพลาร์ (Kevlar), คาร์บอน และกราไฟต์ เนื่องจากพื้นผิวคอมโพสิตมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ เช่น ลายเส้นใย (Fiber Weave) จึงไม่สามารถลอกระบบสีออกทั้งหมดได้โดยไม่ทำให้เส้นใยผิวหน้าเสียหาย

4.4 สามารถลอกสีด้วยวิธีเชิงกลได้ทั้งแบบใช้แรงมือ หรือใช้เครื่องมือไฟฟ้าพร้อมแผ่นขัดชนิดละเอียดหรือละเอียดมาก หรือแปรงขัดแบบ Flap Brush หากใช้เครื่องมือไฟฟ้า ต้องระมัดระวังไม่ให้มีการกัดกร่อนหรือสูญเสียเนื้อวัสดุฐาน (Base Material)

## 5. เทคนิคพิเศษ (Special Techniques)

ในบางกรณี อาจจำเป็นต้องใช้ขั้นตอนหรือวิธีเฉพาะในการกำจัดการกัดกร่อน ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การซ่อมแก้ที่กำหนดกรณีลักษณะพิเศษดังกล่าว ให้ปฏิบัติตาม **วิธีการกำจัดการกัดกร่อนที่ระบุไว้ โดยเฉพาะ** อย่างเคร่งครัด

ตัวอย่างเช่น

- การกำจัดการกัดกร่อนภายในรู (Hole) อาจทำได้โดยการขยายขนาดรู
- การพ่นทรายหรือขัดด้วยวัสดุขัด (Abrasive Blasting) สามารถใช้กำจัดการกัดกร่อนบนตัวยึดเหล็ก (Steel Fasteners) แผ่นผิวด้านข้าง หรือชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนหรือไม่สม่ำเสมอ



## 6. การปรับผิวและการไล่ผิวบริเวณที่ผ่านการซ่อมแก้ (Fairing Or Blending Reworked Areas)

ให้ทำการปรับผิว (Fair) หรือไล่ผิว (Blend) บริเวณที่เป็นแอ่งหรือรอยยุบทั้งหมดซึ่งเกิดจากการซ่อมแก้การกัดกร่อน ให้เรียบกลมกลืนกับพื้นผิวโดยรอบ การปรับผิวสามารถดำเนินการได้ดังนี้

6.1 กำจัดขอบคม ผิวขรุขระ และการกัดกร่อนทั้งหมดออกจากบริเวณที่เสียหาย บริเวณที่ถูกคว้านหรือขีดออก (Dish-Out) ทุกตำแหน่งต้องมีลักษณะเป็นรูปวงรี โดยให้แกนยาวของวงรีวางตัวดังนี้

- แนวปีก (Spanwise) สำหรับปีกและแพนหางระดับ
- แนวยาวตามลำตัว (Longitudinally) สำหรับลำตัวอากาศยาน
- แนวตั้ง (Vertically) สำหรับแพนหางตั้ง

ให้เลือกใช้วัสดุขัดที่เหมาะสมสำหรับการปรับผิว โดยอ้างอิงจาก ตารางที่ 5-1 วัสดุขัดสำหรับการกำจัดการกัดกร่อน (Abrasives For Corrosion Removal)

6.2 ทำการซ่อมแก้บริเวณที่เป็นแอ่ง โดยสร้างลักษณะการไล่ผิวให้เรียบต่อเนื่อง (Smoothly-Blended Dish-Out) ด้วยอัตราส่วน **ความยาวต่อความลึก (Length-To-Depth Ratio) เท่ากับ 20:1** (ดูรูปที่ 5-1 การไล่ผิวจากการกัดกร่อนแบบแอ่งเดี่ยว และรูปที่ 5-2 ตัวอย่างการกำจัดหลุมการกัดกร่อนที่ยอมรับได้ในบริเวณที่มีหลุมการกัดกร่อนหลายหลุมอยู่ใกล้กัน ให้กำจัดเนื้อวัสดุระหว่างหลุมออก เพื่อให้พื้นผิวเรียบ ลดความไม่สม่ำเสมอหรือการเป็นคลื่นของผิว (ดูรูปที่ 5-3 การไล่ผิวหลุมหลายหลุมในบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน และรูปที่ 5-4 ลักษณะหน้าตัดของบริเวณที่ซ่อมแก้ในพื้นที่เข้าถึงจำกัด)ก่อนทำการไล่ผิวการกัดกร่อนบนโครงสร้างอะลูมิเนียม ให้ถอด **Nutplate เหล็ก และตัวยึดเหล็ก** ออกก่อนเนื่องจากอนุภาคเหล็กหรือทองแดงที่ฝังอยู่ในอะลูมิเนียมอาจกลายเป็นจุดเริ่มต้นของการกัดกร่อนในอนาคต (ดูรูปที่ 5-5 อนุภาคเหล็กจากตัวยึดหรือ Nutplate ที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนในอนาคตในโครงสร้างอะลูมิเนียม) ต้องกำจัดผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนออกทั้งหมด ระหว่างการไล่ผิว เพื่อป้องกันการกลับมาเกิดการกัดกร่อนซ้ำ (ดูรูปที่ 5-6 และ 5-7 ตัวอย่างการกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนซ้ำ)

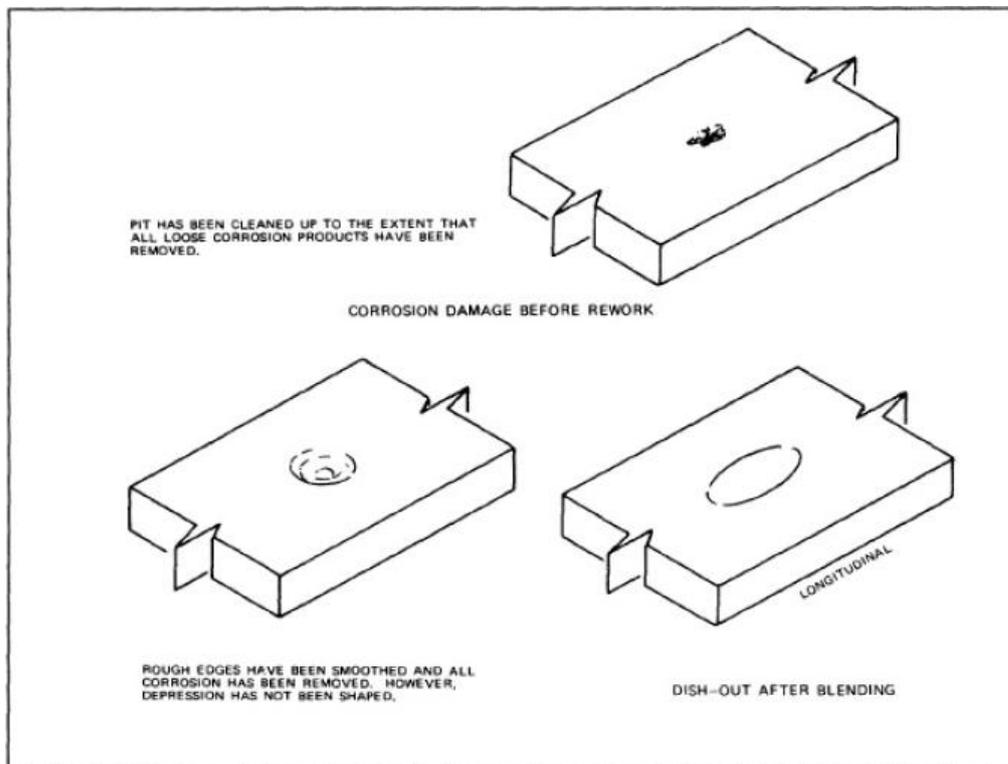
6.3 ในบริเวณโครงสร้างที่มีความสำคัญหรือรับแรงสูง (Critical And Highly Stressed Areas) อาจยังคงมีหลุม (Pits) เหลืออยู่หลังจากกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนแล้ว หลุมเหล่านี้ต้องทำการไล่ผิวออกเพื่อขจัด **จุดรวมความเค้น (Stress Risers)** ซึ่งอาจนำไปสู่การแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion Cracking)

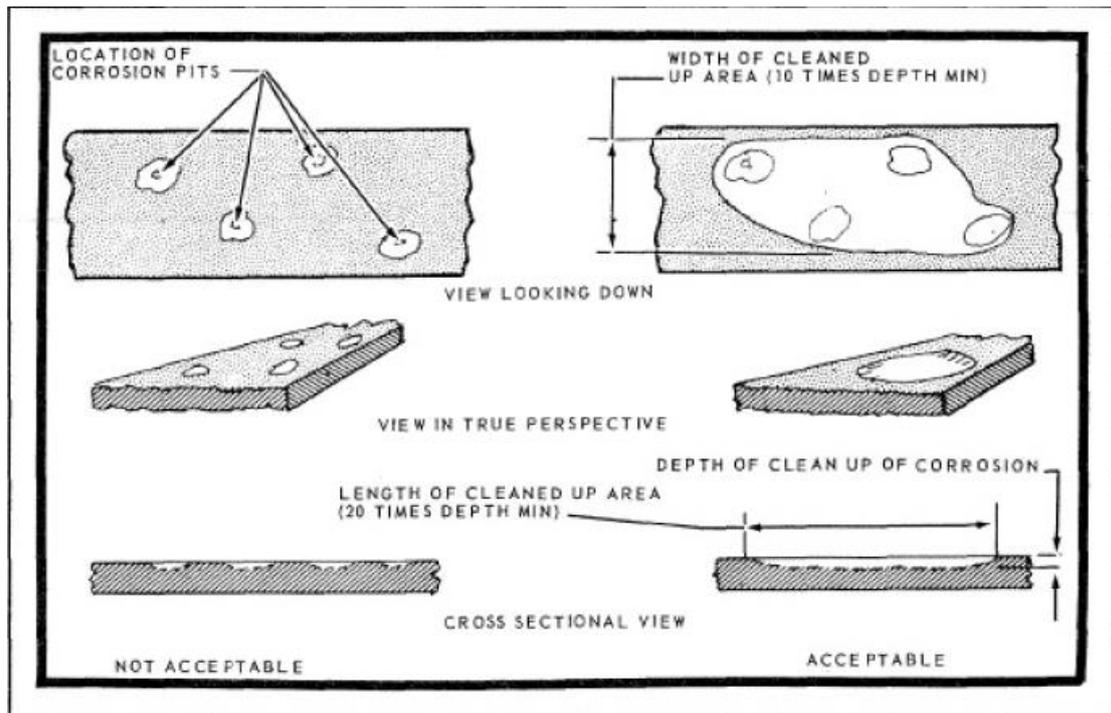
อย่างไรก็ตาม หากหลุมดังกล่าวอยู่ในโครงสร้างที่ไม่สำคัญ (Noncritical Structures) ไม่จำเป็นต้องทำการไล่ผิวด้วยการพ่นวัสดุขัด (Abrasive Blasting) เนื่องจากจะทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อโลหะโดยไม่จำเป็น

ตารางที่ 5-1 วัสดุขัดสำหรับการกำจัดการกัดกร่อน (Abrasives For Corrosion Removal)

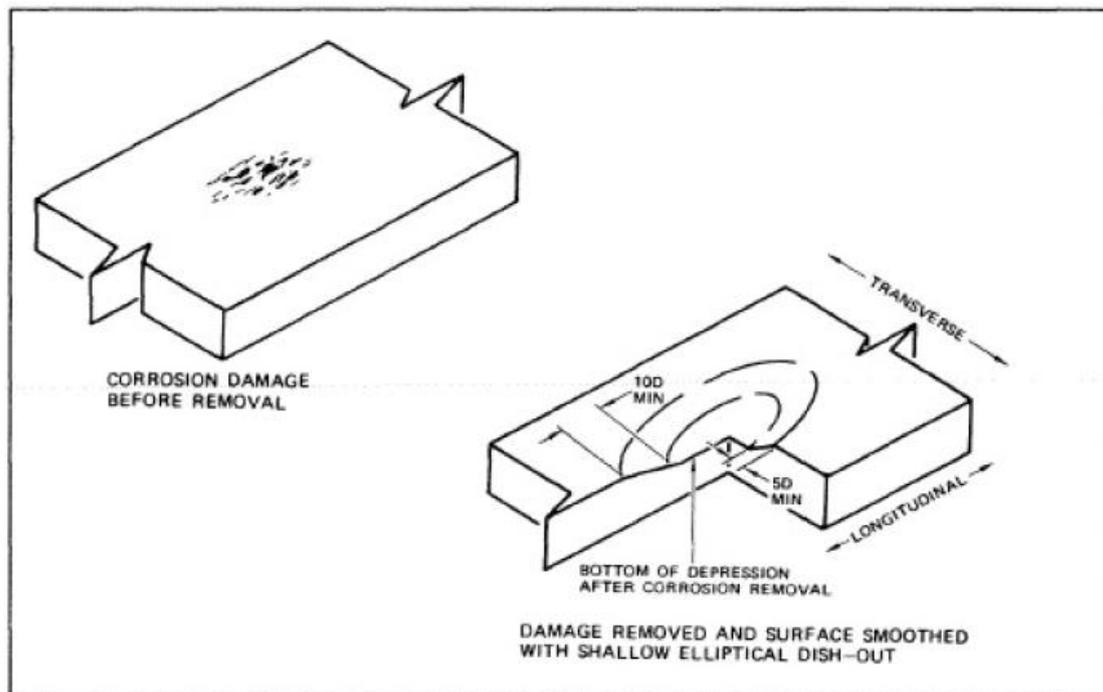
Metals or Materials to be Processed	Restrictions	Operation	Abrasive Paper or Cloth			Abrasive Fabric or Pad	Aluminum	Stainless Steel	Pumice 350 Mesh Or Finer	Abrasive Wheel
			Aluminum Oxide	Silicon Carbide	Garnet					
Ferrous Alloys	Does Not Apply to Steel Heat Treated to Strengths to 220,000 psi and Above	Corrosion Removal Or Fairing	150 Grit or Finer	180 Grit or Finer		Fine to Ultrafine	X	X	X	X
		Finishing	400 Grit				X	X	X	
Aluminum Alloys Except Clad Aluminum	Do Not Use Silicon Carbide Abrasive	Corrosion Removal or Fairing	150 Grit or Finer		7/0 Grit or Finer	Very Fine and Ultrafine	X		X	X
		Finishing	400 Grit				X		X	
Clad Aluminum	Sanding Limited to the Removal of Minor Scratches	Corrosion Removal or Fairing	240 Grit or Finer		7/0 Grit or Finer	Very Fine And Ultrafine			X	X
		Finishing	400 Grit						X	
Magnesium Alloys		Corrosion Removal or Fairing	240 Grit or Finer			Very Fine and Ultrafine	X		X	X
		Finishing	400 Grit				X		X	
Titanium		Cleaning and Finishing	150 Grit or Finer	180 Grit or Finer				X	X	X

รูปที่ 5-1 การไล่ผิวจากการกัดกร่อนแบบแอ่งเดี่ยว

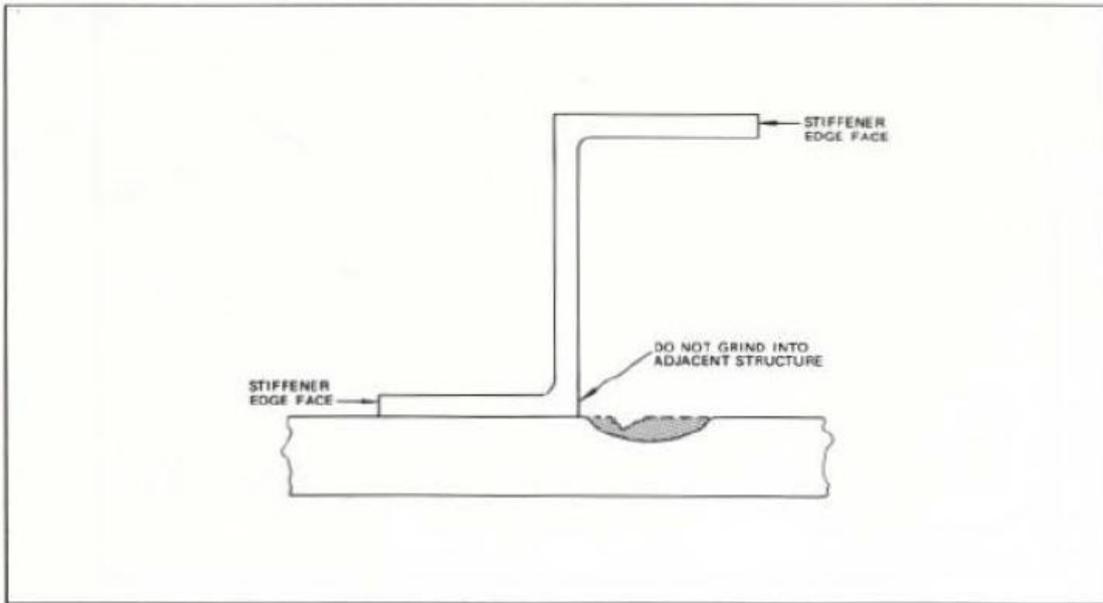




รูปที่ 5-2 ตัวอย่างการกำจัดหลุมการกัดกร่อนที่ยอมรับได้



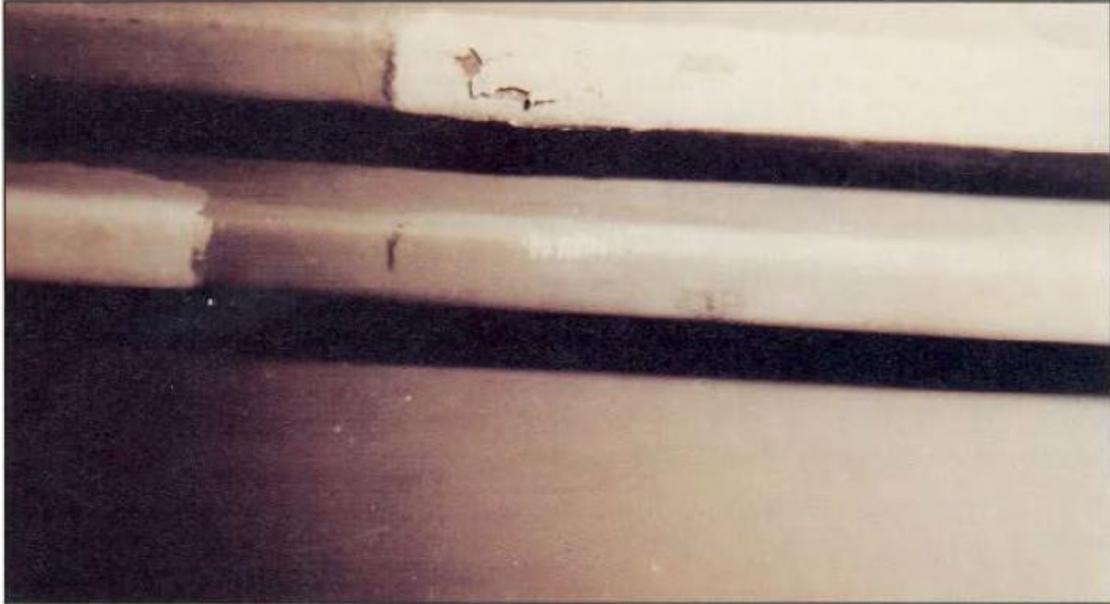
รูปที่ 5-3 การไล่ผิวหลุมหลายหลุมในบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน



รูปที่ 5-4 ลักษณะหน้าตัดของบริเวณที่เชื่อมแก้ไขในพื้นที่เข้าถึงจำกัด



รูปที่ 5-5 อนุภาคเหล็กจากตัวยึดหรือ Nutplate ที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนในอนาคตในโครงสร้างอะลูมิเนียม



รูปที่ 5-6 ตัวอย่างการกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนซ้ำ



รูปที่ 5-7 ตัวอย่างการกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนซ้ำ



## 7. การทดสอบทางเคมี (Chemical Testing)

7.1 ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งในการควบคุมการกัดกร่อน คือ การระบุชนิดของโลหะที่เกิดการกัดกร่อน การระบุชนิดโลหะให้ถูกต้องมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดมีคุณลักษณะทางเคมีเฉพาะตัว ซึ่งแตกต่างกันอย่างมากทั้งระหว่างโลหะต่างชนิดกัน และระหว่างโลหะผสม (Alloy) ของโลหะชนิดเดียวกัน

คุณลักษณะทางเคมีดังกล่าวทำให้สารทำความสะอาดทางเคมีและสารเคลือบป้องกันทางเคมี ทำปฏิกิริยากับโลหะแต่ละชนิดแตกต่างกัน ในบางกรณีอาจเกิดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งสามารถลดความแข็งแรงเชิงโครงสร้างของโลหะอย่างรุนแรง หรือทำให้โครงสร้างเสียหายได้

7.1.1 วิธีหลักในการระบุชนิดโลหะ คือ การอ้างอิงจาก **Structural Repair Manual (Srm)** ของอากาศยาน ในกรณีที่ Srm ให้ข้อมูลจำกัด หรือจำเป็นต้องทราบรายละเอียดเพิ่มเติม เช่น สภาพการอบชุบความร้อน (Heat Treatment) หรือชนิดของการเคลือบผิว แหล่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดคือ **ผู้ผลิตอากาศยาน** โดยสามารถตรวจสอบจากแบบอากาศยาน (Aircraft Drawing)

7.1.2 ให้ใช้การทดสอบทางเคมี เมื่อวิธีการอื่นไม่สามารถระบุชนิดโลหะได้ และต้องปฏิบัติตามข้อควรระวังดังต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด

- บุคลากรต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับข้อควรระวังด้านความปลอดภัย และขั้นตอนความปลอดภัยฉุกเฉินอย่างครบถ้วน
- การทดสอบทางเคมีแบบจุด (Chemical Spot Test) ต้องดำเนินการโดย **บุคลากรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเท่านั้น**
- ห้ามใช้การทดสอบทางเคมีในการระบุชนิดของตัวยึด (Fasteners)
- ห้ามใช้การทดสอบทางเคมีในการระบุเหล็กกล้ากำลังสูง (High-Strength Steel)

7.2 ก่อนทำการทดสอบทางเคมีกับชิ้นส่วนจริง ให้ใช้ **ชิ้นงานตัวอย่าง (test samples)** สำหรับการทดสอบก่อน ให้กำหนดวิธีเตรียมผิวเบื้องต้นและจำแนกชนิดโลหะในขั้นต้น ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกบริเวณผิวที่จะทดสอบซึ่งไม่มีการกัดกร่อน และลอกสีออกจากพื้นที่ประมาณ **1 ตารางนิ้ว** โดยใช้การขัดด้วยมือหรือสารลอกสีที่ได้รับอนุญาต  
**ข้อควรระวัง:** ต้องป้องกันไม่ให้สารลอกสีสัมผัสกับชิ้นส่วนคอมโพสิต
2. ทำความสะอาดผิวบริเวณที่ใช้ทดสอบให้สะอาด
3. ระบุชนิดโลหะในเบื้องต้นโดยการเปรียบเทียบกับสายตากับตัวอย่างโลหะที่เคยระบุชนิดไว้แล้ว (ถ้ามี)
4. ตรวจสอบว่าโลหะเป็นชนิด **เหล็ก (ferrous)** หรือ **ไม่ใช่เหล็ก (non-ferrous)** โดยนำแม่เหล็กไปแตะที่ผิวโลหะที่เปิดเผย
  - หากมีแรงดูดติด แสดงว่าเป็นโลหะเฟอร์รัสชนิดแม่เหล็ก (เหล็กหรือเหล็กกล้า)



- หากไม่มีแรงดูดติด บ่งชี้ว่าโลหะฐานเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติก (austenitic stainless steel) หรือเป็นโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (nonferrous metal) เช่น อะลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม”

## 8. การวิเคราะห์ชนิดโลหะแม่เหล็กด้วยวิธี Chemical Spot Test

ในการสร้างอากาศยาน ผู้ผลิตมักเลือกใช้โลหะกลุ่มเหล็กที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก (Magnetic Ferrous Alloys) เช่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง (High-Strength Steel) และสแตนเลสบางชนิด โลหะเหล่านี้มักได้รับการเคลือบผิวด้วยโลหะอื่น เช่น โครเมียม (Chromium), นิกเกิล (Nickel), สังกะสี (Zinc), แคดเมียม (Cadmium), เงิน (Silver) หรือการเคลือบผิวหลายชั้นร่วมกัน เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน

**8.1** หากโลหะแม่เหล็กถูกเคลือบด้วยแคดเมียม สังกะสี หรือโครเมียม ชั้นเคลือบดังกล่าวจะยังคงแสดงสมบัติการดูดแม่เหล็ก ส่วนการเคลือบนิกเกิลจะแสดงสมบัติการดูดแม่เหล็กเพียงเล็กน้อย แม้ว่าวัสดุฐาน (Substrate) หรือโลหะพื้นฐานจะไม่ใช่แม่เหล็กก็ตาม

**8.2** ในกรณีที่จำเป็นต้องระบุชนิดของโลหะเคลือบผิวอย่างชัดเจน จะต้องดำเนินการทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ก่อนการทดสอบด้วยสารเคมี

**ข้อควรระวัง (CAUTION):** ห้ามทำการทดสอบด้วยวิธี Chemical Spot Test กับเหล็กที่ผ่านการอบชุบความร้อนมีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งแต่ 220,000 psi ขึ้นไป

**8.3** หยดกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid: HCl) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ลงบนผิวโลหะที่เตรียมไว้ โดยต้องแน่ใจว่าผิวโลหะแห้งสนิทก่อนหยดกรด

- หากเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและมีคราบสีเข้มปรากฏ แสดงว่าโลหะนั้นคือ สังกะสี (Zinc)
- หากเกิดปฏิกิริยาช้าหรือไม่เกิดปฏิกิริยา อาจเป็น แคดเมียม โครเมียม นิกเกิล หรือเหล็ก

**8.4** หลังจากผ่านไป 1 นาที ให้หยดโซเดียมซัลไฟด์ (Sodium Sulfide: Na<sub>2</sub>S) ลงในหยดกรด HCl เดิม

**ข้อควรระวัง (CAUTION):** การผสม Na<sub>2</sub>S กับกรดจะก่อให้เกิดก๊าซพิษ ต้องจัดให้มีการระบายอากาศที่เหมาะสม และห้ามผสมสารทั้งสองในปริมาณมาก

ผลที่ได้จากปฏิกิริยา

- เกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าเป็น สังกะสี
- เกิดวงแหวนสีเหลืองรอบตะกอนสีขาว แสดงว่าเป็น แคดเมียม
- เกิดวงแหวนสีดำรอบตะกอนสีขาว แสดงว่าเป็น เหล็กหรือเหล็กกล้า
- เกิดตะกอนสีดำ แสดงว่าเป็น โครเมียมหรือนิกเกิล



8.5 เพื่อยืนยันผลการทดสอบของแคดเมียม สังกะสี เหล็ก หรือเหล็กกล้า ให้หยดกรดไนตริก (Nitric Acid:  $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ลงบนตำแหน่งใหม่ของผิวโลหะ จากนั้นรอ 1 นาที แล้วหยด  $\text{Na}_2\text{S}$  ลงไป

- เกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าเป็น สังกะสี
- เกิดตะกอนสีเหลือง แสดงว่าเป็น แคดเมียม
- เกิดจุดสีดำ แสดงว่าเป็น เหล็กหรือเหล็กกล้า

8.6 การยืนยันการทดสอบโครเมียม (Chromium) ให้หยดกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid:  $\text{HCl}$ ) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ลงบนตำแหน่งผิวโลหะใหม่ จากนั้นหยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric Acid:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ลงในหยด  $\text{HCl}$  เดิม หากเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวภายในเวลา 1-2 นาที ให้ระบุได้ว่าโลหะนั้นคือ โครเมียม (Chromium)

8.7 การยืนยันการทดสอบนิกเกิล (Nickel) ให้หยดสารละลายไดเมทิลไกลออกซิม (Dimethylglyoxime:  $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$ ) ลงบนตำแหน่งผิวโลหะใหม่ จากนั้นหยดแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium Hydroxide:  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ลงในหยดสารละลายดังกล่าว หากเกิดตะกอนสีชมพูถึงสีแดง ให้ระบุได้ว่าโลหะนั้นคือ นิกเกิล (Nickel)

8.8 หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบชนิดโลหะ ให้ทำความสะอาดและคืนสภาพผิว (Cleaning and Refinishing) ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในข้อ 11

## 9. การวิเคราะห์ชนิดโลหะไม่เป็นแม่เหล็กด้วยวิธี Chemical Spot Test

โลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็กซึ่งพบได้บ่อยในการสร้างอากาศยาน ได้แก่

- อะลูมิเนียม (Aluminum)
- แมกนีเซียม (Magnesium)
- เหล็กกล้าออสเทนนิติก (Austenitic Steel) ซึ่งมักใช้ในรูปแบบ สแตนเลส 18-8 โดยเลข 18-8 หมายถึงองค์ประกอบ โครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ และนิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์

การระบุชนิดโลหะไม่เป็นแม่เหล็กอย่างชัดเจน ให้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

9.1 หยดกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ ) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ลงบนผิวโลหะที่เตรียมไว้ และปล่อยให้ทิ้งไว้ 1 นาที โดยต้องแน่ใจว่าผิวโลหะแห้งก่อนหยดกรด

**หมายเหตุ:** คราบสังกะสี (Zinc deposit) บนโลหะไม่เป็นแม่เหล็กจะเกิดปฏิกิริยากับ  $\text{HCl}$  10 เปอร์เซ็นต์ แต่จะไม่เกิดจุดสีดำ

การแปลผล

- หากเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วหรือรุนแรง และเกิดจุดสีดำ แสดงว่าเป็น แมกนีเซียม
- หากเกิดปฏิกิริยาช้า แสดงว่าเป็น อะลูมิเนียม

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



• หากไม่เกิดปฏิกิริยา แสดงว่าเป็น **เหล็กกล้าออสเทนนิติก หรือโลหะเคลือบที่ไม่เป็นแม่เหล็ก**

9.2 หากผลการทดสอบตามข้อ 9.1 ไม่เกิดจุดสีดำ ให้ตรวจสอบการมีอยู่ของสังกะสี (Zinc) ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในข้อ 8.5

9.3 หากผลการทดสอบตามข้อ 9.2 เป็นลบ (ไม่พบสังกะสี) ให้ยืนยันการทดสอบแมกนีเซียมและอะลูมิเนียม โดยหยดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide: NaOH) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ลงบนตำแหน่งผิวโลหะใหม่ แล้วพิจารณาผลดังนี้

- หากไม่เกิดปฏิกิริยา แสดงว่าเป็น **แมกนีเซียม**
- หากเกิดปฏิกิริยาและเกิดจุดใสไม่มีสี แสดงว่าเป็น **อะลูมิเนียมอัลลอยเป็ลือย (Bare Aluminum Alloy)**

9.4 หากยืนยันว่าเป็นอะลูมิเนียมอัลลอยตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อแยกชนิดของอะลูมิเนียมอัลลอย โดยหยดแคดเมียมคลอไรด์ (Cadmium Chloride:  $CdCl_2$ ) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ลงบนตำแหน่งผิวโลหะใหม่

- หากเกิดตะกอนสีเทาเข้ม (Dark gray deposit) ภายในไม่กี่วินาที ให้ระบุได้ว่าโลหะนั้นเป็นอะลูมิเนียมอัลลอย 7075 หรือ 7178 แบบไม่หุ้มผิว (Bare Aluminum Alloy)
- หากเกิดตะกอนสีเทาเข้มภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที ให้ระบุได้ว่าโลหะนั้นเป็น อะลูมิเนียมอัลลอย 7075 หรือ 7178 แบบหุ้มผิว (Clad Aluminum Alloy)
- หากไม่เกิดตะกอนภายในเวลา 2 นาที ให้ระบุได้ว่าโลหะนั้นเป็น อะลูมิเนียมอัลลอย 2024 อย่างไรก็ตาม อาจพบตะกอนสีจางมาก (Faint deposit) ปรากฏขึ้นหลังจากประมาณ 15–20 นาที

#### 9.5 การยืนยันโลหะสเตนเลสชนิดออสเทนนิติก (Austenitic Steel)

ให้เตรียมสารละลายโดยละลาย **คอปเปอร์ริคคลอไรด์ (Cupric Chloride:  $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ )** ปริมาณ 10 กรัม ในน้ำกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid: HCl) ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นหยดสารละลายดังกล่าวลงบนผิวโลหะบริเวณใหม่ที่เตรียมไว้

หลังจากผ่านไป 2 นาที ให้หยดน้ำกลั่น (Distilled Water) จำนวน 3–4 หยด ลงบนหยดสารละลาย HCl แล้วปล่อยให้ผิวโลหะแห้ง หากปรากฏ **จุดสีน้ำตาล (Brown spot)** บนผิวโลหะ ให้ระบุได้ว่าโลหะนั้นเป็น **สเตนเลสชนิดออสเทนนิติก (Austenitic Steel)**

#### 9.6 การตรวจสอบวัสดุเคลือบผิว (Plating Material)

หากไม่พบปฏิกิริยาตามที่ระบุไว้ในข้อ 9.1 หรือ 9.5 ให้ดำเนินการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าผิวโลหะเป็นวัสดุเคลือบผิวหรือไม่ ตามวิธีที่อธิบายไว้ใน **หัวข้อ 8**

#### 9.7 กรณีพบวัสดุเคลือบผิวบนโลหะไม่เป็นแม่เหล็ก

หากผลการทดสอบในข้อ 9.6 แสดงว่ามีวัสดุเคลือบผิวอยู่บนโลหะไม่เป็นแม่เหล็ก ให้ดำเนินการ **ขัดชั้นเคลือบผิวออกด้วยวิธีทางกล (Mechanical Abrasion)** จากนั้นจึงระบุชนิดโลหะฐาน (Base



Metal) โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) และ/หรือการทดสอบทางเคมี ตามขั้นตอนในหัวข้อ 8

### 9.8 การทำความสะอาดและปรับสภาพผิวหลังการทดสอบ

หลังจากกระบวนการชุบโลหะเรียบร้อยแล้ว ให้ทำความสะอาดและปรับสภาพผิวตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 11

## 10. การทดสอบการปรับสภาพผิวโลหะ (Surface Treatment Testing)

การปรับสภาพผิวโลหะ (Surface Treatment) ที่พบได้บ่อยในโครงสร้างอากาศยาน ได้แก่

- การเคลือบผิวแบบเคมี (Chemical Conversion Coating)
- การฟอสเฟตสำหรับเหล็ก (Phosphate Treatment for Steel)
- การเคลือบโครเมตสำหรับอะลูมิเนียม (Chromate Treatment)

รวมถึงการเคลือบด้วยแล็กเกอร์ (Lacquer) และฟิล์มโครเมต (Chromate Film) โดยสามารถระบุชนิดการปรับสภาพผิวได้ตามวิธีต่อไปนี้

### 10.1 การทดสอบผิวฟอสเฟต (Phosphate Treatment)

ให้หยดกรดไนตริก (Nitric Acid:  $\text{HNO}_3$ ) ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ลงบนผิวโลหะ จากนั้นหยดสารละลาย แอมโมเนียมออร์โธโมลิบเดต ( $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ ) จำนวน 2 หยด หากเกิด ตะกอนสีเหลือง (Yellow precipitate) แสดงว่าผิวโลหะผ่านการฟอสเฟต

10.2 การทดสอบผิวโครเมต (Chromate Treatment) ผิวโครเมตบนสังกะสี แคดเมียม อะลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม มักมีสีเด่นชัด แสดงถึงการเคลือบผิว อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจมีการฟอกสีโครเมต (Bleached Chromate) และเคลือบทับด้วยแล็กเกอร์เพื่อความสวยงาม ทำให้ไม่สามารถตรวจพบด้วยสายตาได้

หมายเหตุ: การฟอกสีจะลดประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของฟิล์มโครเมต

### 10.3 การทดสอบแล็กเกอร์ (Lacquer Finish)

หยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Concentrated Sulfuric Acid:  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ลงบนผิวโลหะ

- หากมีแล็กเกอร์ ผิวจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วโดยไม่เกิดฟอง
- หากไม่มีแล็กเกอร์ สีจะไม่เปลี่ยน
- ในกรณีโลหะสังกะสี จะไม่เกิดฟองรุนแรง
- ในกรณีโลหะแคดเมียม จะไม่เกิดปฏิกิริยา

### 10.4 การทดสอบฟิล์มโครเมต (Chromate Film)

หยดสารละลายตะกั่วอะซีเตต (Lead Acetate:  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ลงบนผิวโลหะ



- หากผิวผ่านการเคลือบโครเมต จะไม่เปลี่ยนสีภายใน 10 วินาที
- หากไม่มีการเคลือบ จะเกิดจุดสีเข้มทันที

### 11. การทำความสะอาดและปรับสภาพผิวหลังการระบุชนิดโลหะ

(Post Identification Cleaning and Refinishing)

หมายเหตุ: สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบแบบจุดทดสอบมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง

#### 11.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดหลังการทดสอบ

หลังจากระบุชนิดโลหะเรียบร้อยแล้ว ให้ดำเนินการดังนี้

1. ใช้ผ้าแห้งซับสารเคมีที่ตกค้างออกจากผิวโลหะ
2. ใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดบริเวณทดสอบซ้ำหลายครั้ง
3. ตรวจสอบความเป็นกรด-ด่างโดยใช้กระดาษลิตมัส (Litmus Paper) หากกระดาษเปลี่ยนสี ให้ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 จนไม่เกิดการเปลี่ยนสี
4. ทำให้ผิวโลหะแห้งสนิท
5. หากพบการกัดกร่อน ให้ดำเนินการกำจัดการกัดกร่อน และปรับสภาพผิวหรือทำสีใหม่ตามความเหมาะสม



### หมวดที่ 3 การกำจัดการกัดกร่อนด้วยวิธีเชิงกลโดยการพ่นสารขัด (Mechanical Corrosion Removal by Blasting)

#### 1. บททั่วไป (General)

การพ่นสารขัด (Abrasive Blasting) เป็นกระบวนการทำความสะอาดหรือปรับสภาพผิว โดยอาศัยการพ่นอนุภาคของสารขัด (Abrasive Particles) ด้วยความเร็วสูงไปยังพื้นผิววัสดุ กระบวนการนี้สามารถใช้ได้กับโลหะ พลาสติก และวัสดุอื่น ๆ

การพ่นสารขัดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสนิมและการกัดกร่อน รวมถึงการทำความสะอาดพื้นผิวก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป เช่น การทาสี (Painting) หรือการชุบผิวโลหะ (Plating) ทั้งนี้ควรปฏิบัติตามหลักปฏิบัติมาตรฐานในการพ่นสารขัด ดังต่อไปนี้

- สามารถใช้อุปกรณ์พ่นสารขัดได้ทุกชนิด แต่ **แนะนำให้ใช้การพ่นในตู้ (In-Cabinet Blasting)** เพื่อควบคุมการฟุ้งกระจายของสารขัด
- การพ่นด้วยปืนพ่นภายนอก (External Gun Blasting) สามารถใช้ได้ หากมีระบบกักเก็บและกู้คืนสารขัดที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ

#### 2. ข้อควรระวังด้านความปลอดภัย (Safety Precautions)

ผู้ปฏิบัติงานต้องได้รับการป้องกันอย่างเหมาะสม โดยสวมอุปกรณ์ป้องกันใบหน้าและศีรษะอย่างครบถ้วน และใช้อากาศบริสุทธิ์สำหรับการหายใจ (Breathing Air) เท่านั้น

ควรตระหนักถึงอันตรายเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด ดังนี้

- **แมกนีเซียม (Magnesium)** มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้เมื่อทำการพ่นสารขัด
- การพ่นสารขัดแบบแห้งกับ **โลหะผสมไทเทเนียม (Titanium Alloys)** และ **เหล็กกำลังสูง (High Tensile Strength Steel)** อาจทำให้เกิดประกายไฟ (Sparking)
- ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีความเข้มข้นของไอระเหยไวไฟ (Flammable Vapors) ในบริเวณปฏิบัติงาน
- อุปกรณ์พ่นสารขัดแบบแห้งและชิ้นงานต้องต่อสายดิน (Static Grounding) เพื่อป้องกันไฟฟ้าสถิต

**หมายเหตุ:** ให้ศึกษาคำแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพ่นสารขัดจากคู่มือบำรุงรักษาของผู้ผลิตอากาศยาน (OEM Maintenance Manual)



### 3. แนวทางการปฏิบัติก่อนและระหว่างการพ่นสารขัด

#### 3.1 การถอดชิ้นส่วนออกจากอากาศยาน

หากเป็นไปได้ ควรถอดชิ้นส่วนออกจากอากาศยานก่อนทำการพ่นสารขัด ในกรณีที่ไม่สามารถถอดออกได้ ต้องทำการปิดบังหรือป้องกันพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อป้องกันการกระแทกของสารขัดและการปนเปื้อนเข้าสู่ระบบต่าง ๆ เช่น

- ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)
- ระบบน้ำมัน (Oil System)
- ระบบเชื้อเพลิง (Fuel System)

#### 3.2 สภาพชิ้นงานก่อนการพ่น

ชิ้นงานต้องอยู่ในสภาพ สะอาดและแห้งสนิท ก่อนทำการพ่นสารขัด เพื่อให้การกำจัดการกัดกร่อนมีประสิทธิภาพและสม่ำเสมอ

#### 3.3 การป้องกันผิวงานที่มีค่าความเผื่อแคบ (Close-Tolerance Surfaces)

พื้นผิวที่มีค่าความเผื่อทางมิติสูง เช่น

- บูช (Bushings)
- เพลาแบริ่ง (Bearing Shafts)

ต้องได้รับการปิดบัง (Masking) อย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันความเสียหายจากการพ่นสารขัด

#### 3.4 ขอบเขตการพ่นสารขัด

ให้พ่นสารขัด เฉพาะเท่าที่จำเป็นเพื่อกำจัดการกัดกร่อนหรือสารเคลือบที่เสื่อมสภาพเท่านั้น หลังจากพ่นสารขัดแล้ว ต้องดำเนินการปรับสภาพผิวหรือกระบวนการเคลือบผิว (Surface Treatment) ที่กำหนดไว้ทันที เพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนซ้ำ



## หมวดที่ 4 ความเสียหายจากการกัดกร่อนและขีดจำกัดการซ่อมแก้ไข (Corrosion Damage and Rework Limits)

### 1. บทอภิปราย (Discussion)

หลังจากดำเนินการตรวจสอบทั่วไป (General Inspection) และทำความสะอาดแล้ว ต้องทำการประเมินการกัดกร่อน (Corrosion Evaluation) เพื่อกำหนดลักษณะและขอบเขตของการซ่อมแก้ไขหรือการปรับสภาพ (Repair or Rework) ที่เหมาะสม

ในหลายกรณี อาจจำเป็นต้องทำการ **ปรับผิวเฉพาะที่ (Local Blending)** ของบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินขอบเขตความเสียหายจากการกัดกร่อนได้อย่างครบถ้วน ดูตัวอย่างได้จากรูปที่ 5-1, 5-2, 5-3 และ 5-4

การจัดระดับความเสียหายจากการกัดกร่อน (Corrosion Damage Classification) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

**1.1 ระดับการกัดกร่อนระดับที่ 1 (Corrosion Level 1)** หมายถึงความเสียหายจากการกัดกร่อนที่อยู่ในระดับเล็กน้อยหรือควบคุมได้ โดยมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1. ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างรอบการตรวจสอบติดต่อกัน และยังคงอยู่ในขีดจำกัดความเสียหายที่ยอมรับได้ (Allowable Damage Limits)
2. ความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างรอบการตรวจสอบติดต่อกัน และไม่จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงโครงสร้าง (Structural Reinforcement) ไม่ต้องเปลี่ยนชิ้นส่วน (Replacement) และไม่ต้องกำหนดการตรวจสอบตามหลักความทนทานต่อความเสียหาย (Damage Tolerance-Based Inspection) เพิ่มเติม
3. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างรอบการตรวจสอบติดต่อกัน ซึ่งเกินขีดจำกัดที่ยอมรับได้ แต่สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเหตุการณ์เฉพาะ (Specific Event) ที่ไม่ใช่ลักษณะการใช้งานปกติของอากาศยานลำอื่นในฝูงบินเดียวกัน
4. การกัดกร่อนเล็กน้อยที่เกิดขึ้นหลายครั้งระหว่างรอบการตรวจสอบ และเมื่อเวลาผ่านไปจำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงโครงสร้าง เปลี่ยนชิ้นส่วน หรือกำหนดการตรวจสอบตามหลัก Damage Tolerance เพิ่มเติม

### 1.2 ระดับการกัดกร่อนระดับที่ 2 (Corrosion Level 2)

หมายถึงการกัดกร่อนที่มีความรุนแรงมากขึ้น และต้องได้รับการซ่อมแก้ไขที่เกินกว่าปกติ โดยมีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

1. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการตรวจสอบการกัดกร่อนสองครั้งติดต่อกัน และจำเป็นต้องมีการซ่อมแก้ไขหรือการปรับผิว (Rework or Blend-Out) เพียงครั้งเดียว แต่การซ่อมแก้้นั้นเกินขีดจำกัดที่ยอมรับได้



2. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างรอบการตรวจสอบติดต่อกันในลักษณะกว้างขวาง (Widespread Corrosion) และต้องมีการปรับผิวครั้งเดียวซึ่งเข้าใกล้ขีดจำกัดสูงสุดของการซ่อมแก้ที่อนุญาต กล่าวคือ ไม่ใช่การกัดกร่อนเล็กน้อยตามนิยามของระดับที่ 1 ข้อ 3

**1.3 ระดับการกัดกร่อนระดับที่ 3 (Corrosion Level 3)** หมายถึงการกัดกร่อนที่พบตั้งแต่การตรวจสอบการกัดกร่อนครั้งแรก หรือในการตรวจสอบครั้งถัดมา และผู้ใช้งานอากาศยาน (Operator) พิจารณาแล้วเห็นว่าเป็น ประเด็นเร่งด่วนด้านความสมควรเดินอากาศ (Urgent Airworthiness Concern) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการบิน และต้องดำเนินการแก้ไขโดยเร่งด่วนตามข้อกำหนดของผู้ผลิตหรือหน่วยงานกำกับดูแล



รูปที่ 5-8 การกัดกร่อนรุนแรงที่จำเป็นต้องตัดแต่ง (Trimming Out) บริเวณที่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 6-9 การกัดกร่อนบริเวณรูยึดสลัก (Fastener Holes) ที่แก้ไขโดยวิธีสปอตเฟซซิง (Spot Facing)



## 2. การกำจัดการกัดกร่อน (Removal of Corrosion)

การกำจัดการกัดกร่อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่

1. การกำจัดด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical Removal) และ
2. การกำจัดด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Removal)

การเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับชนิดและตำแหน่งของโครงสร้าง ชนิดและความรุนแรงของการกัดกร่อน รวมถึงความพร้อมของเครื่องมือซ่อมบำรุง

วิธีเชิงกลเป็นวิธีที่ใช้งานมากที่สุด โดยประกอบด้วย การขัด (Sanding) การขัดเงา (Buffing) การเจียร (Grinding) และการตัดเปลี่ยนชิ้นส่วน (Section Removal) ควรหลีกเลี่ยงการใช้แปรงลวดโลหะอ่อนที่มีส่วนผสมของทองแดง (Copper Alloy Wire Brush) เนื่องจากคราบทองแดงที่ตกค้างบนผิวโลหะจะเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดการกัดกร่อนในอนาคต หากจำเป็นต้องใช้แปรง ควรใช้แปรงสแตนเลส (Stainless Steel Brush) หรือแปรงอโลหะ (Nonmetallic Brush)

วิธีเชิงกลสามารถใช้ได้กับการกัดกร่อนทุกระดับ ได้แก่ ระดับเล็กน้อย ปานกลาง และรุนแรง ส่วนวิธีทางเคมีควรใช้เฉพาะกับการกัดกร่อนระดับเล็กน้อย และใช้ได้เฉพาะในบริเวณที่มั่นใจว่าสารเคมีจะไม่แพร่กระจายไปยังส่วนอื่นของโครงสร้าง

## 3. การพิจารณาระดับความเสียหายจากการกัดกร่อน (Determining Degree of Corrosion Damage)

การประเมินระดับความเสียหายจากการกัดกร่อนต้องอาศัยเครื่องมือวัดที่เหมาะสม เช่น

- เกจวัดความลึกแบบหน้าปัด (Depth Dial Gauge)
- ไม้บรรทัดตรง (Straight Edge)
- วัสดุพิมพ์แบบ (Molding Compound)

ต้องกำจัดการกัดกร่อนออกก่อนจึงจะสามารถวัดความเสียหายได้อย่างถูกต้อง ก่อนทำการวัด ให้ตรวจสอบว่าบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนนั้นเป็นพื้นที่ที่เคยผ่านการซ่อมปรับแต่ง (Reworked Area) มาก่อนหรือไม่ หากเป็นการกัดกร่อนที่เกิดในร่องหรือบริเวณที่เคยทำการแฟร์หรือเบลนด์ (Faired or Blended Area) ให้คำนวณความเสียหายรวมถึงเนื้อวัสดุที่ถูกตัดออกไปจากการซ่อมครั้งก่อนด้วย ขั้นตอนการวัดความเสียหายด้วยเกจวัดความลึก มีดังนี้

1. กำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่หลวมออกให้หมด
2. วางเกจวัดความลึกตามลักษณะที่แสดงในรูปที่ 5-10 การวัดความเสียหายจากการกัดกร่อนด้วยเกจวัดความลึก (Corrosion Damage and Rework Measurement Using Depth Dial Gauge)



หมายเหตุ: ฐานของเกจต้องวางแนบสนิทกับผิวที่ไม่เสียหายทั้งสองด้านของบริเวณกััดกร่อน สำหรับผิวโค้งเว้าหรือโค้งนูน ให้จัดวางฐานเกจให้ตั้งฉากกับรัศมีของผิว

3. วัดค่าความลึกหลายตำแหน่ง
4. เลือกค่าที่ลึกที่สุดเป็นค่าความลึกของความเสียหายจากการกัดกร่อน

#### 4. การกำหนดขีดจำกัดการซ่อมปรับแต่ง

(Determining Rework Limits)

ขีดจำกัดความเสียหายที่ยอมรับได้ (Allowable Damage Limits) จะระบุไว้ในตารางของคู่มือซ่อมผู้ผลิต (Manufacturer's Repair Manual หรือ SRM) ซึ่งแสดงปริมาณเนื้อวัสดุสูงสุดที่สามารถตัดออกได้จากพื้นผิวที่เสียหาย หากไม่มีเกณฑ์ระบุไว้ ต้องติดต่อผู้ผลิตอากาศยานเพื่อขอขีดจำกัดการซ่อมที่ได้รับอนุญาต

#### 5. การพิจารณาการลดความหนาของวัสดุหลังการกำจัดการกัดกร่อน

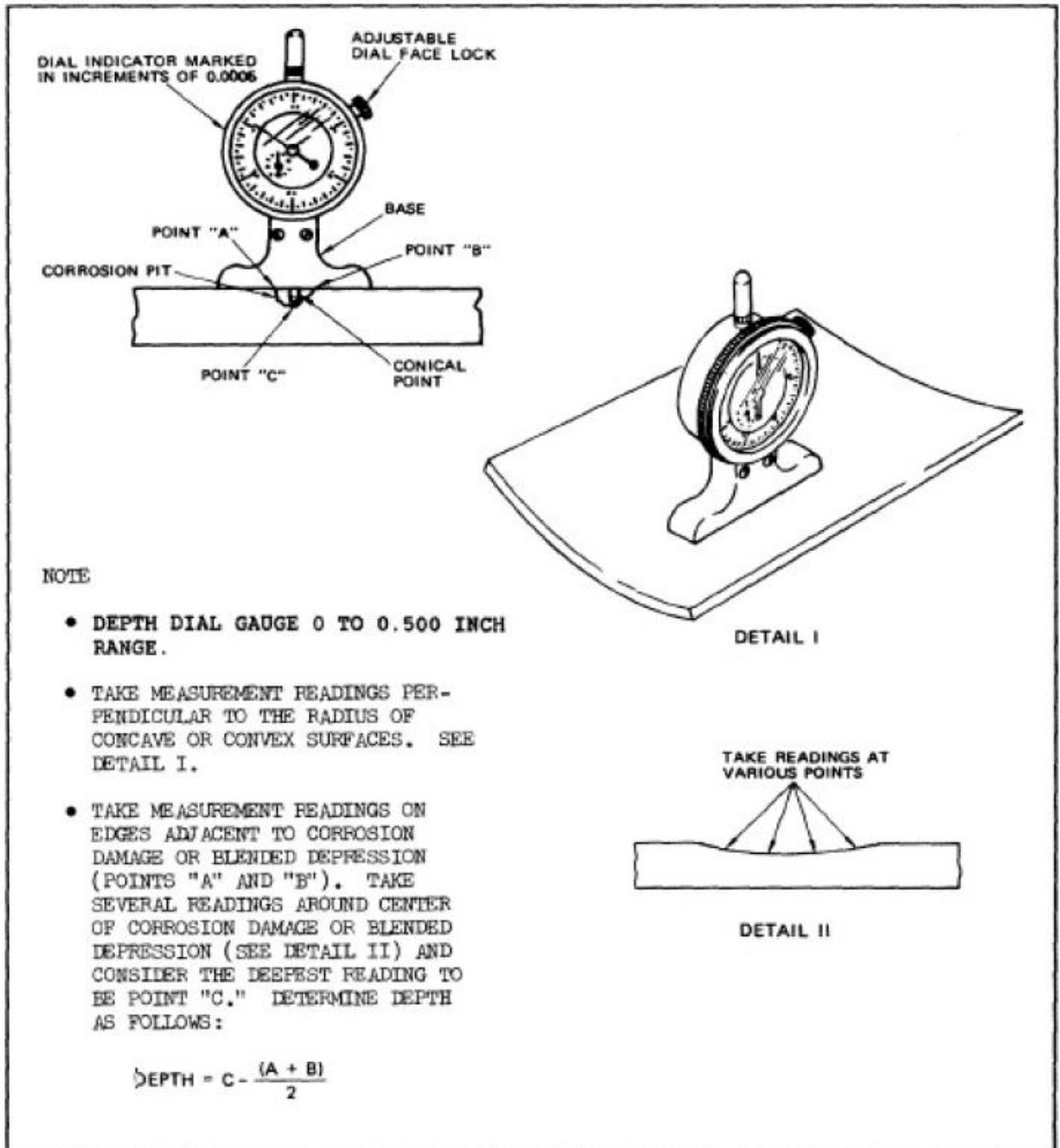
(Determining Material Thickness Reduction After Corrosion Cleanup)

ปริมาณการตัดเนื้อวัสดุที่ยอมรับได้ระหว่างการกำจัดการกัดกร่อน มักกำหนดไว้ในตารางขีดจำกัดความเสียหายของผู้ผลิต จำเป็นต้องทำการวัดอย่างแม่นยำ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเนื้อวัสดุเกินกว่าค่าที่อนุญาต

5.1 สามารถใช้เครื่องวัดความหนาแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Thickness Tester) เพื่อวัดความหนาของแผ่นโครงสร้างหลังการซ่อมได้ วิธีนี้ต้องดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่ตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NDI) ที่ผ่านการรับรอง และต้องชี้แจงมาตรฐานอ้างอิงในการเปรียบเทียบเครื่องมือ

5.2 การวัดปริมาณเนื้อวัสดุที่ถูกตัดออก ซึ่งมักเท่ากับความลึกของหลุมที่ผ่านการเบลนด์ (Blended Pits) สามารถทำได้โดยใช้เกจวัดความลึก (ดูรูปที่ 5-10) หากไม่สามารถใช้เกจได้ อาจใช้วิธีพิมพ์รอยด้วยดินน้ำมัน ยางเหลว หรือวัสดุอื่นที่ให้ผลแม่นยำ เพื่อประเมินปริมาณเนื้อวัสดุที่ถูกกำจัดออก

หากตรวจพบว่าการกำจัดการกัดกร่อนมีแนวโน้มจะเกินขีดจำกัดที่อนุญาต ต้องหยุดการซ่อมทันที และดำเนินการตามแนวทางที่ผู้ผลิตอากาศยานกำหนด หรือขอการอนุมัติทางวิศวกรรมเพิ่มเติมก่อนดำเนินการต่อ



รูปที่ 5-10 การวัดความเสียหายจากการกัดกร่อนและการซ่อมปรับแต่ง โดยใช้เกจวัดความลึกแบบหน้าปัด



## หมวดที่ 5 อะลูมิเนียมและโลหะผสมอะลูมิเนียม

### 1. การปรับสภาพและการบำบัด (Treatment)

โดยทั่วไป การกัดกร่อนของอะลูมิเนียมสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพขณะติดตั้งอยู่กับโครงสร้างอากาศยาน โดยไม่จำเป็นต้องถอดชิ้นส่วนออกจากเครื่อง การบำบัดประกอบด้วย

1. การกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนด้วยวิธีทางกล (Mechanical Removal)
2. การยับยั้งวัสดุที่อาจตกค้างอยู่ด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Inhibition) และ
3. การฟื้นฟูผิวเคลือบถาวรของผิวโลหะ (Restoration of Permanent Surface Coating)

รายละเอียดของการบำบัดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับว่าสภาพผิวอะลูมิเนียมเป็นผิวเปลือย (Bare Aluminum) หรือเป็นผิวที่ได้รับการปกป้องด้วยระบบสี (Paint Coating)

### 2. กระบวนการจัดการผิวอะลูมิเนียม (Processing of Aluminum Surfaces)

#### 2.1 ผิวอะลูมิเนียมเปลือย (Bare Aluminum Surfaces)

แม้ว่าจะมีอากาศยานที่ไม่ได้ทำสีใช้งานในสภาพแวดล้อมทางทะเลอยู่ไม่มาก แต่ในที่นี้ยังคงนำเสนอข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะของผิว Alclad และการบำบัดผิวดังกล่าว

อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Aluminum) มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าโลหะผสมอะลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง ผู้ผลิตจึงนิยมใช้วิธีการรีดแผ่นอะลูมิเนียมบริสุทธิ์บาง ๆ หนาประมาณ 1–5 มิล (mils) เคลือบอยู่บนผิวของโลหะผสมอะลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูงกว่า ผิวลักษณะนี้เรียกว่า Alclad ซึ่งให้การป้องกันการกัดกร่อนได้ดี

ผู้ใช้งานสามารถดูแลรักษาผิว Alclad ให้อยู่ในสภาพขัดเงาได้ (ดูรูปที่ 5-12 การขัดและเพิ่มความเงาของผิว Alclad) อย่างไรก็ตาม ในการทำความสะอาดต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดคราบหรือรอยขีดข่วนบนผิวอะลูมิเนียมที่เปิดเผย และที่สำคัญยิ่งกว่า คือ หลีกเลี่ยงการกำจัดผิว Alclad โดยไม่จำเป็น เพราะจะทำให้เนื้อโลหะผสมฐานซึ่งไวต่อการกัดกร่อนมากกว่าถูกเปิดเผยออกมา

#### 2.2 การจัดการผิวอะลูมิเนียมเพิ่มเติมก่อนการพ่นสี

ก่อนการพ่นสีบนผิวอะลูมิเนียม สามารถใช้กระบวนการทำความสะอาดที่เข้มข้นกว่า และการแก้ไขผิวที่ละเอียดมากขึ้นได้ การพ่นสีให้ได้การยึดเกาะที่ดี จำเป็นต้องมีการเตรียมผิวก่อนพ่นสี (Pre-paint Treatment) อย่างเหมาะสมและถูกต้องตามขั้นตอน

#### 2.3 การบำบัดพิเศษของผิวอโนไดซ์ (Special Treatment of Anodized Surfaces)

การอโนไดซ์ (Anodizing) เป็นกระบวนการบำบัดผิวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดสำหรับโลหะผสมอะลูมิเนียม ชิ้นส่วนที่ผลิตใหม่หรือผ่านการซ่อมปรับแต่งมักผ่านกระบวนการแช่ในถังไฟฟ้าเคมี (Electrolytic Bath) ทั้งระหว่างและก่อนกระบวนการขึ้นรูปจากแผ่นโลหะ



ในกระบวนการอโนไดซ์ แผ่นอะลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นขั้วบวก (Anode) ในสารละลายที่มีกรดโครมิก (Chromic Acid) หรือสารออกซิไดซ์ที่คล้ายกัน ทำให้เกิดฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide Film) ที่มีความหนาและความหนาแน่นสูงขึ้นบนผิวโลหะ อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นฟิล์มป้องกันตามธรรมชาติอยู่แล้ว การอโนไดซ์เป็นเพียงการเพิ่มความหนาและประสิทธิภาพของฟิล์มดังกล่าว เมื่อฟิล์มอโนไดซ์ถูกทำลายในระหว่างการใช้งาน จะสามารถฟื้นฟูได้เพียงบางส่วนด้วยกระบวนการทางเคมีเท่านั้น ดังนั้น **ควรหลีกเลี่ยงการทำลายฟิล์มอโนไดซ์โดยไม่จำเป็น** ระหว่างการซ่อมบำรุงหรือการทำความสะอาด

### 2.3.1 เครื่องมือและวัสดุที่ใช้กับผิวอโนไดซ์

ห้ามใช้ใยเหล็ก (Steel Wool) แปรงลวดเหล็ก แปรงโลหะผสมทองแดง หรือวัสดุขัดที่มีความรุนแรงกับผิวอะลูมิเนียมทุกชนิด เครื่องมือที่ยอมรับได้ ได้แก่ ใยอะลูมิเนียม (Aluminum Wool) แปรงใยไฟเบอร์ (Fiber Bristle Brush) และวัสดุขัดชนิดอ่อน

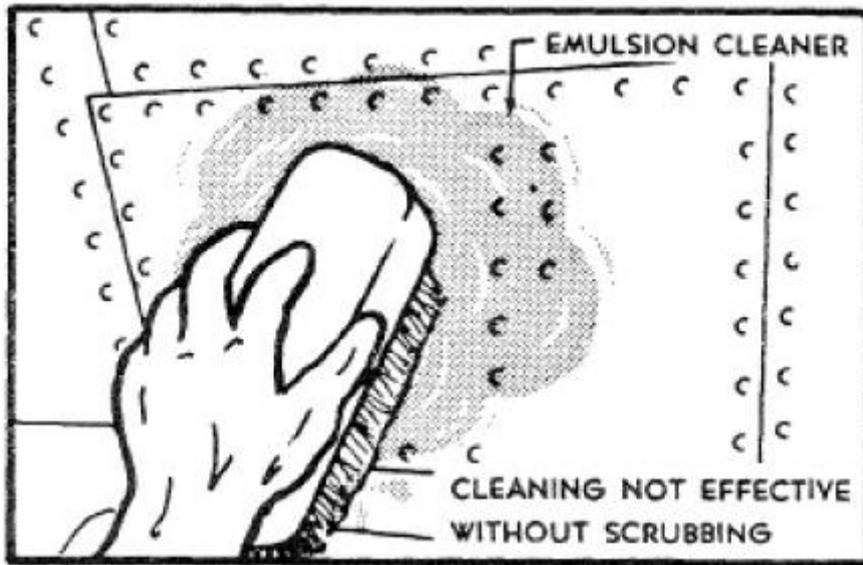
อย่างไรก็ตาม ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างยิ่งในการทำทำความสะอาด เพื่อไม่ให้ฟิล์มป้องกันแตกหรือหลุดลอก โดยเฉพาะบริเวณขอบแผ่นอะลูมิเนียม (ดูรูปที่ 5-11 การขจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกบนผิว และรูปที่ 5-13 การทำความสะอาดและลอกสี)

### 2.3.2 แปรงใยแทมปิโก (Tampico Fiber Brush) และวิธีการกำจัดการกัดกร่อนบนผิวอโนไดซ์

แปรงใยแทมปิโก (Tampico Fiber Brush) เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการกำจัดการกัดกร่อนส่วนใหญ่บนผิวอะลูมิเนียมที่ผ่านการอโนไดซ์ การทำให้ผิวเกิดลักษณะขัดเงา (Buffed Finish) หรือการใช้แปรงลวด (Wire Brush Finish) ไม่ว่าจะด้วยวิธีใดก็ตาม ถือเป็นสิ่งต้องห้าม เนื่องจากจะทำลายฟิล์มป้องกันผิวและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดการกัดกร่อนในอนาคต

ในการปฏิบัติงาน ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูงสุดเพื่อคงไว้ซึ่งชั้นเคลือบป้องกัน (Protective Coating) ให้มากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ หากฟิล์มอโนไดซ์ถูกทำลายจนไม่สามารถรักษาไว้ได้ ให้ดำเนินการบำบัดผิวอโนไดซ์ในลักษณะเดียวกับผิวอะลูมิเนียมชนิดอื่นตามขั้นตอนมาตรฐาน

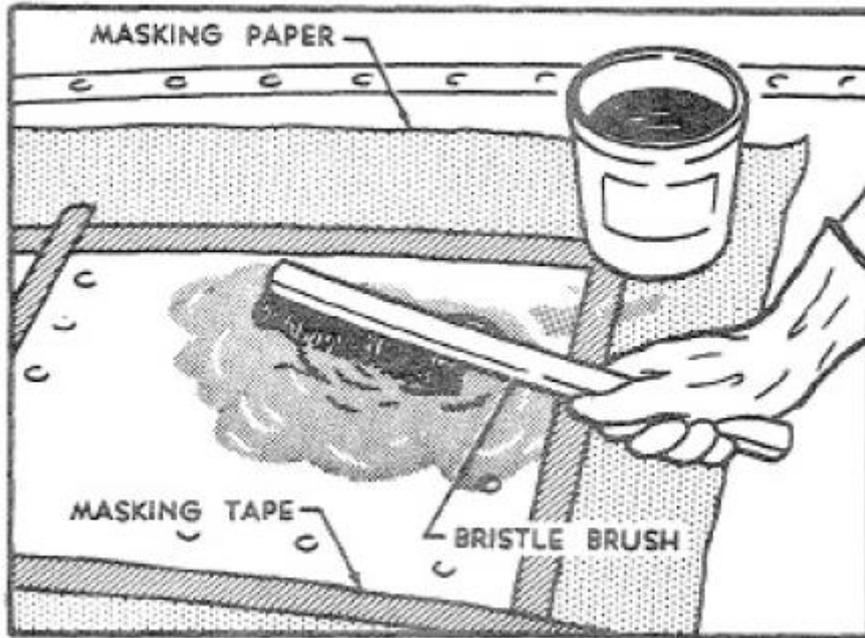
วิธี การพ่นวัสดุขัดแบบสุญญากาศ (Vacuum Blasting) ถือเป็นวิธีที่ยอมรับได้สำหรับการกำจัดการกัดกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Corrosion) เนื่องจากสามารถควบคุมการฟุ้งกระจายของวัสดุขัดและลดการปนเปื้อนได้ อย่างไรก็ตาม ห้ามใช้วิธี Vacuum Blasting เพื่อกำจัดการกัดกร่อนระหว่างเกรน (Intergranular Corrosion) เนื่องจากไม่สามารถขจัดการกัดกร่อนที่เกิดลึกภายในโครงสร้างเนื้อโลหะได้ และอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนโดยไม่สามารถตรวจพบได้จากภายนอก



รูปที่ 5-11 การขจัดคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกบนผิว



รูปที่ 5-12 การขัดและเพิ่มความเงาของผิว Alclad



รูปที่ 5-13 การทำความสะอาดและลอกสี

### 2.3.3 การเคลือบผิวแบบเคมี (Chemical Conversion Coating)

การเคลือบผิวแบบเคมี (Chemical Conversion Coating) ตามข้อกำหนด **Military Specification (MIL-SPEC) MIL-C-81706: Chemical Conversion Materials for Coating Aluminum and Aluminum Alloys** เป็นกระบวนการบำบัดผิวทางเคมีที่ใช้กับโลหะผสมอะลูมิเนียม เพื่อเตรียมสภาพผิวให้เหมาะสมสำหรับการพ่นสี (Paint Finishing) กระบวนการนี้ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน และส่งเสริมการยึดเกาะของสีรองพื้นและสีทับหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.4 กระบวนการพิเศษสำหรับการกัดกร่อนระหว่างเกรนบนผิวอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบชุบ (Special Processing of Intergranular Corrosion in Heat-Treated Aluminum Alloy Surfaces)

การกัดกร่อนระหว่างเกรน (Intergranular Corrosion) มักเกิดรุนแรงในโลหะผสมอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบชุบด้วยความร้อน (Heat-Treated Aluminum Alloys) โดยลักษณะการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นตามแนวขอบเกรน (Grain Boundaries) ของโลหะผสม ซึ่งบริเวณขอบเกรนมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างจากเนื้อโลหะภายในเกรน

เมื่อขอบเกรนเหล่านี้สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) จะเกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว และในกรณีที่รุนแรงมาก อาจเกิดการยกตัวของชั้นโลหะ (Layer Lifting) หรือที่เรียกว่า **การกัดกร่อนแบบเอ็กซ์โฟลิเอชัน (Exfoliation Corrosion)**



ในการซ่อมบำรุง ต้องกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนทั้งหมด รวมถึงชั้นโลหะที่เกิดการแยกชั้น (Delaminated Metal Layers) ที่มองเห็นได้ เพื่อให้สามารถประเมินขอบเขตความเสียหายที่แท้จริง และตรวจสอบความแข็งแรงเชิงโครงสร้างที่ยังคงเหลือของชิ้นส่วนได้อย่างถูกต้อง จำเป็นต้องใช้การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Inspection: NDI) เพื่อกำหนดขอบเขตการกัดกร่อนทั้งหมด

- สำหรับอะลูมิเนียม ใช้การตรวจแบบ Eddy Current NDI Mapping
- สำหรับสแตนเลสสตีล ใช้การตรวจแบบ Liquid Penetrant หรือ Magnetic Particle NDI

#### 2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการกำจัดการกัดกร่อนระหว่างเกรน

ให้ใช้เครื่องมือ เช่น มีดขูดโลหะ (Metal Scraper) ตะไบหมุน (Rotary File) หรือหินเจียร (Abrasive Wheel) เพื่อกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนทั้งหมด และคงเหลือเฉพาะเนื้ออะลูมิเนียมที่ยังมีความสมบูรณ์ทางโครงสร้าง

**หมายเหตุ:** แนะนำให้ใช้ตะไบหมุน (Rotary File) เฉพาะกรณีการกัดกร่อนระหว่างเกรนหรือการกัดกร่อนแบบเอ็กซ์โพสิชันที่รุนแรงเท่านั้น

#### 2.4.2 สภาพความคมของเครื่องมือตัด

ตะไบหมุนที่ใช้งานต้องมีความคมเพียงพอ เพื่อให้สามารถตัดเนื้อโลหะได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เกิดการปาดหรือป้ายโลหะ (Smearing) หากเครื่องมือทื่อ จะทำให้เนื้อโลหะถูกป้ายปิดรอยแตกหรือรอยแยกจากการกัดกร่อน ส่งผลให้ดูเหมือนว่าการกัดกร่อนถูกกำจัดแล้ว ทั้งที่ในความเป็นจริงยังคงมีการกัดกร่อนหลงเหลืออยู่

#### 2.4.3 ประเภทเครื่องมือที่แนะนำ

ควรใช้ตะไบหมุนปลายคาร์ไบด์ (Carbide-Tip Rotary Files) หรือมีดขูดโลหะ เนื่องจากสามารถรักษาความคมได้นานกว่า ห้ามใช้วิธีการพ่นวัสดุขัด (Abrasive Blasting) เพื่อกำจัดการกัดกร่อนระหว่างเกรน เนื่องจากไม่สามารถขจัดการกัดกร่อนที่เกิดลึกตามแนวขอบเกรนได้อย่างเหมาะสม และอาจปกปิดความเสียหายที่แท้จริง

#### 2.4.4 การตรวจสอบหลังการกำจัดการกัดกร่อน

การตรวจสอบด้วยแว่นขยายกำลังขยาย 5 เท่า ถึง 10 เท่า (5X–10X Magnifying Glass) หรือการตรวจด้วยวิธี สารแทรกซึม (Dye Penetrant Inspection) จะช่วยยืนยันได้ว่าโลหะที่เสื่อมสภาพ (Unsound Metal) และผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อน (Corrosion Products) ถูกกำจัดออกอย่างสมบูรณ์แล้ว การตรวจสอบขั้นตอนนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการหลงเหลือของการกัดกร่อนที่อาจพัฒนาเป็นความเสียหายในอนาคต

#### 2.4.5 การปรับผิวและการไล่ระดับผิว (Blending / Fairing)



เมื่อกำจัดการกัดกร่อนออกจนหมดแล้ว ให้ทำการปรับผิวหรือไล่ระดับผิว (Blend หรือ Fair) บริเวณที่ทำการกำจัดการกัดกร่อน โดยใช้ อัตราส่วนความยาวต่อความลึก (Length-to-Depth Ratio) เท่ากับ 20:1 เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดจุดรวมความเค้น (Stress Riser)

ในกรณีที่เป็น ให้ใช้ล้อขัดที่ทำจากยางฐาน (Rubber-Base Wheels) ซึ่งฝังด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide Impregnated Wheels) เพื่อให้ได้ผิวที่เรียบและต่อเนื่องกับผิวเดิมของโครงสร้าง

#### 2.4.6 การบำบัดผิวและการพ่นพู่ระบบสี

ให้ทำการเคลือบผิวแบบเคมี (Chemical Conversion Coating) บนผิวโลหะที่ถูกเปิดออกทั้งหมด จากนั้นพ่นพู่ระบบสี (Paint Coatings) ในลักษณะเดียวกับการบำรุงรักษาผิวอะลูมิเนียมทั่วไป ขั้นตอนดังกล่าวประกอบด้วย การทำความสะอาด การยับยั้งการกัดกร่อน และการป้องกันผิว โดยสามารถอ้างอิงภาพประกอบดังนี้

รูปที่ 5-14 การทำความสะอาดและยับยั้งการกัดกร่อนบนผิวอะลูมิเนียม

รูปที่ 5-15 การกำจัดสารยับยั้งส่วนเกิน

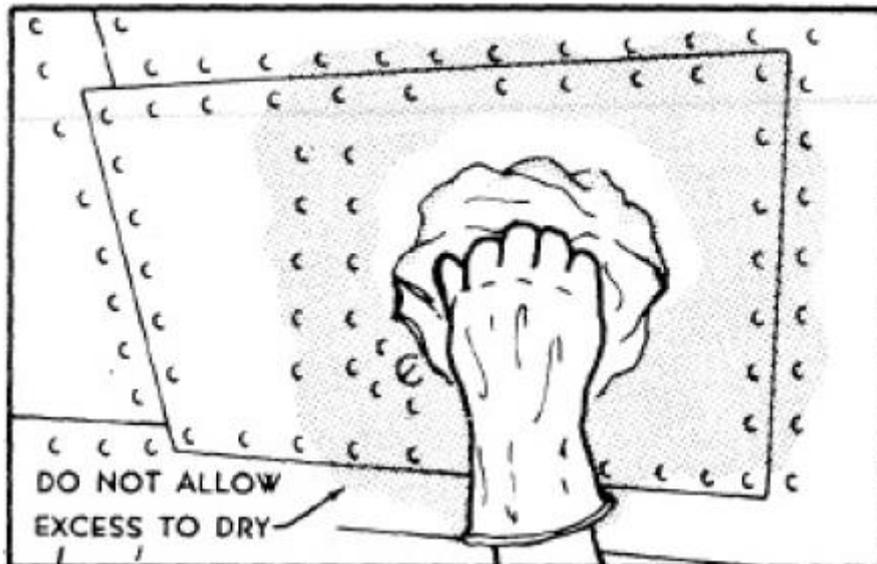
รูปที่ 5-16 การเคลือบแว็กซ์บนผิวที่ทำความสะอาดแล้ว

#### 2.4.7 การซ่อมกรณีเกินขีดจำกัด

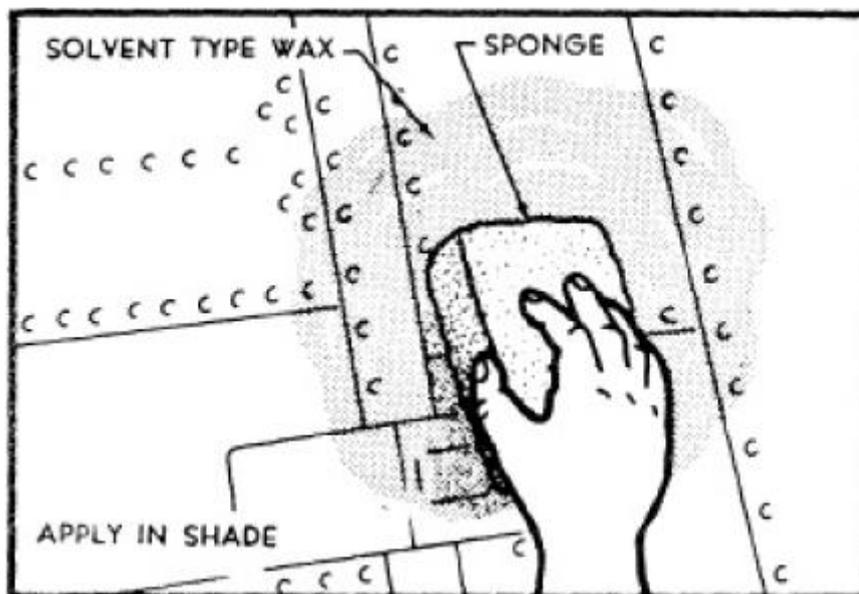
ในกรณีที่ความเสียหายจากการกัดกร่อนมีขอบเขตเกินกว่าที่กำหนดไว้ใน Structural Repair Manual (SRM) จะต้องดำเนินการซ่อมตามคำแนะนำของวิศวกรผู้รับผิดชอบ (Cognizant Engineer) หรือปฏิบัติตามคำสั่งซ่อมที่ได้รับการอนุมัติจากผู้ผลิตอากาศยานตามข้อกำหนดของ FAA-approved Instructions เท่านั้น



รูปที่ 5-14 การทำความสะอาดและยับยั้งการกัดกร่อนบนผิวอะลูมิเนียม



รูปที่ 5-15 การกำจัดสารยับยั้งส่วนเกิน



รูปที่ 5-16 การเคลือบแว็กซ์บนผิวที่ทำความสะอาดแล้ว

### 3. การซ่อมแซมแผ่นโลหะผสมอะลูมิเนียม (Repair of Aluminum Alloy Sheet Metal)

หลังจากดำเนินการกำจัดการกัดกร่อน (Corrosion Removal) ในบริเวณกว้างหรือในระดับที่มีการตัดเนื้อโลหะออกจำนวนมากแล้ว ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 1. กรณีมีโอกาสเกิดการชั่งน้ำในบริเวณที่ปรับผิวแล้ว (Blended Area)

หากบริเวณที่ทำการไล่ระดับผิว (Blend/Fair) มีลักษณะที่อาจกักเก็บน้ำหรือความชื้นได้ ให้ดำเนินการเคลือบผิวด้วย การแปรสภาพทางเคมี (Chemical Conversion Coating)



ก่อน จากนั้นเติมพื้นที่ดังกล่าวด้วย กาวโครงสร้าง (Structural Adhesive) หรือ ซีลแลนท์ (Sealant) ให้ได้ระดับและแนวผิวใกล้เคียงกับผิวโครงสร้างเดิมของแผ่นผิวอากาศยาน (Original Skin Contour)

ในกรณีที่พื้นที่ซ่อมมีขนาดเล็กและยังไม่ส่งผลให้ความแข็งแรงเชิงโครงสร้างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สามารถดำเนินการเคลือบผิวป้องกัน (Protective Finish) ต่อไปได้ตามขั้นตอนปกติ

## 2. กรณีการกำจัดการกัดกร่อนเกินขีดจำกัดที่กำหนด

หากการกำจัดการกัดกร่อนมีขอบเขตเกินกว่าที่อนุญาตไว้ใน คู่มือการซ่อมโครงสร้าง (Structural Repair Manual: SRM) จะต้องประสานงานกับ วิศวกรผู้รับผิดชอบ (Cognizant Engineer) หรือผู้ผลิตอากาศยาน เพื่อขอคำแนะนำหรือขั้นตอนการซ่อมที่เหมาะสมก่อนดำเนินการต่อ

## 3. กรณีมีแผ่นเสริมโครงสร้างภายนอก (Exterior Doublers)

บริเวณที่มีแผ่นเสริมโครงสร้างภายนอกติดตั้งอยู่ ต้องทำการซีลและป้องกัน (Seal and Insulate) อย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันการแทรกซึมของความชื้นและลดความเสี่ยงของการเกิดการกัดกร่อนซ้ำในอนาคต

## 4. แผ่นเสริมโครงสร้าง (Doublers) ควรเลือกใช้แผ่นเสริมที่ทำจาก อะลคลัด (Alclad) เมื่อสามารถจัดหาได้ โดยหลังจากดำเนินการตัด เจาะ และคว้านหัววีเวต (Cutting, Drilling, Countersinking) เสร็จสิ้นแล้ว ควรทำการ อนโอดซ์ (Anodized) ซึ่งเป็นวิธีที่แนะนำมากที่สุด หรืออย่างน้อยต้องผ่านกระบวนการ เคลือบแปรสภาพทางเคมี (Chemical Conversion Coating) ก่อนนำไปใช้งาน

## 5. การเตรียมรูวีเวต ให้ทำการเจาะ คว้าน เคลือบผิว และรองพื้น (Prime) รูวีเวตทุกตำแหน่ง ก่อนติดตั้งแผ่นเสริม เพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนในระยะยาว

## 6. การใช้สารซีล (Sealing Compound) ให้ทาสารซีลที่เหมาะสมลงบนบริเวณที่จะติดตั้งแผ่นเสริม โดยต้องทาในปริมาณเพียงพอเพื่อให้สามารถเติมเต็มช่องว่าง (Voids) ทั้งหมดในบริเวณที่ทำการซ่อม

## 7. การติดตั้งวีเวตแบบเปียก (Wet Installation) ให้ติดตั้งวีเวตในขณะที่มีสารซีลอยู่ โดยต้องมั่นใจว่าสารซีลถูกดันออกมาเติมเต็มภายในรูวีเวตอย่างเพียงพอ เพื่อให้วีเวตทุกตัว รวมถึงขอบของแผ่นซ่อม (Repair Plate) ถูกปิดผนึก ป้องกันการแทรกซึมของความชื้น

## 8. การเก็บงานหลังติดตั้ง หลังจากติดตั้งวีเวตแล้ว ให้กำจัดสารซีลส่วนเกินออกทั้งหมด จากนั้น ทาสารซีลแบบฟิลเลต (Fillet Sealant) รอบขอบแผ่นซ่อม เมื่อสารซีลแข็งตัวสมบูรณ์แล้ว ให้เคลือบผิวด้วยสีป้องกัน (Protective Paint Finish) บนบริเวณที่ทำการซ่อม



#### 4. การกำจัดการกัดกร่อนบริเวณตัวยึดหัวฝั่ (Countersunk Fasteners) ในโลหะผสม

##### อะลูมิเนียม

ในโลหะผสมอะลูมิเนียม การกัดกร่อนแบบระหว่างเกรน (Intergranular Corrosion) มักเริ่มต้นที่บริเวณหัวฝั่ของตัวยึด (Countersink) โดยเฉพาะเมื่อใช้ตัวยึดที่ทำจากเหล็ก (Steel Fasteners) ทั้งนี้ ไม่สามารถกำจัดการกัดกร่อนในบริเวณหัวฝั่ได้อย่างสมบูรณ์ หากยังไม่ได้ถอดตัวยึดออก

**4.1** เมื่อพบการกัดกร่อนรอบหัวตัวยึดแบบถาวร (Fixed Fastener Head) ต้องถอดตัวยึดออกเพื่อให้สามารถกำจัดการกัดกร่อนได้อย่างสมบูรณ์ ลดโอกาสเกิดการกัดกร่อนซ้ำ และป้องกันการสูญเสียความแข็งแรงเชิงโครงสร้าง หลังจากนั้นควรทำการเคลือบแปรสภาพทางเคมี รองพื้น และติดตั้งตัวยึดกลับโดยใช้วิธีติดตั้งแบบเปียกด้วยสารซีล

**4.2** ทุกครั้งที่ถอดตัวยึดเหล็กชนิดถอดได้ (Removable Steel Fasteners) ออกจากแผ่นเปิดตรวจ (Access Panels) ให้ตรวจสอบสภาพตัวยึด รวมถึงสภาพของชั้นเคลือบ (Plating) หากพบความเสียหายทางกลหรือความเสียหายของชั้นเคลือบ ต้องเปลี่ยนตัวยึดใหม่ โดยสามารถเลือกวิธีติดตั้งได้ดังนี้

- **วิธีที่แนะนำ** ใช้แปรสภาพสารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Preventive Compound) บนโครงสร้างรองรับและภายในรูตัวยึด จากนั้นใส่ตัวยึด ทาสารซีลบริเวณหัวฝั่ แล้วขันและตั้งแรงบิด (Torque) ภายในช่วงเวลาการใช้งานของสารซีล
- ทาสารป้องกันการกัดกร่อนบนโครงสร้างรองรับและตัวตัวยึด จากนั้นติดตั้งและตั้งแรงบิดตามกำหนด
- ทารองพื้น (Primer) บนตัวยึด และขณะรองพื้นยังเปียก ให้ติดตั้งและตั้งแรงบิดทันที

#### 5. ตัวอย่างการจัดการกัดกร่อนในอะลูมิเนียมและโลหะผสมอะลูมิเนียม

**5.1 การเตรียมอากาศยาน** ให้เตรียมอากาศยานสำหรับการกำจัดการกัดกร่อนตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในหัวข้อ 3 ของหมวดที่ 2 และดำเนินการกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน โดยต้องปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานที่ระบุไว้ในหัวข้อ 2 ของหมวดที่ 1 อย่างเคร่งครัด

**5.2 การระบุชนิดของโลหะ (Identify the Metal)** ต้องทำการยืนยันชนิดของโลหะให้แน่ชัดว่าเป็นอะลูมิเนียม (Aluminum) ก่อนเริ่มกระบวนการกำจัดการกัดกร่อน เพื่อให้สามารถเลือกวิธีการและสารเคมีที่เหมาะสมได้อย่างถูกต้อง

**5.3 การทำความสะอาดพื้นที่ (Clean the Area)** ทำความสะอาดบริเวณที่จะทำการแก้ไข โดยขจัดสิ่งสกปรก คราบไขมัน และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ หากมีชั้นสี (Paint Coating) ปกคลุมอยู่ ให้ทำการลอกสีออกตามความจำเป็นก่อนดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

#### 5.4 การประเมินขอบเขตของการกัดกร่อน (Determine the Extent of the Corrosion)

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



ประเมินระดับและขอบเขตความเสียหายจากการกัดกร่อน ตามวิธีการที่ระบุไว้ในข้อ หัวข้อที่ 3 ของ หมวดที่ 4

- หากเป็นการกัดกร่อนระดับเล็กน้อย (Light Corrosion) ให้ดำเนินการตามข้อ 5.5.5
- หากเป็นการกัดกร่อนระดับปานกลางหรือรุนแรง (Moderate หรือ Severe Corrosion) ให้ดำเนินการตามข้อ 5.5.6

### 5.5 การกำจัดการกัดกร่อนระดับเล็กน้อย (Light Corrosion Removal)

ห้ามใช้วิธีการกำจัดการกัดกร่อนด้วยสารเคมีในสถานะอุณหภูมิสูงกว่า 100 °F หรือ ต่ำกว่า 40 °F

การกำจัดการกัดกร่อนระดับเล็กน้อยสามารถทำได้โดยการขัดถูด้วยมือ ใช้เครื่องมือ วัสดุขัด

(Abrasives) หรือใช้วิธีทางเคมี ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.5.1 ทำการปิดบัง (Masking) บริเวณใกล้เคียงอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้อายุการกำจัดการกัดกร่อน (Brighteners) สัมผัสกับ

- แมกนีเซียม (Magnesium)
- อะลูมิเนียมผิวออกไซด์ (Anodized Aluminum)
- กระจก แผ่นอะคริลิกหรือเพลิกซิกลาส (Glass / Plexiglas)
- วัสดุผ้า (Fabric Surfaces)
- ชิ้นส่วนเหล็กทั้งหมด

ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมถุงมือกันกรด หน้ากากป้องกัน และเครื่องแต่งกายป้องกันสารเคมี หากสารเคมี กระเด็นสัมผัสผิวหนังหรือดวงตา ให้ล้างออกทันทีด้วยน้ำสะอาดจำนวนมาก และปฏิบัติตามขั้นตอน ความปลอดภัยที่ระบุไว้ใน หมวดที่ 1 ขั้นตอนด้านความปลอดภัย (Section 1, Safety Procedures)

5.5.2 เจือจางสารกำจัดการกัดกร่อนตามมาตรฐาน SAE AMS 1604 – Corrosion Removing Compound for Aircraft Surfaces, Type I ด้วยน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:1

การผสมสารต้องทำในภาชนะที่ทำจากไม้ พลาสติก หรือภาชนะที่มีผิวบุด้วยพลาสติกเท่านั้น จากนั้น นำสารละลายที่ได้ไปใช้งานด้วยวิธีไหลลาด เช็ด ถูด้วยฟองน้ำ แปรง หรือผ้า

5.5.3 สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ ให้หาสารละลายในลักษณะเคลื่อนไหวเป็นวงกลม เพื่อช่วยรบกวนฟิล์มผิวหน้าและให้สารเคลือบกระจายตัวอย่างทั่วถึง ควรเริ่มทาจากบริเวณต่ำสุดแล้วไล่ขึ้นด้านบน สารละลายจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหากใช้งานในสภาพอุ่น (ไม่เกิน 140 °F) และทำการขัดถูอย่างแรงด้วยแปรงที่ไม่ใช่โลหะ ทนกรด หรือแผ่นไนลอนผสมอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide Abrasive Nylon Mat)

5.5.4 ปล่อยให้สารละลายสัมผัสผิวงานประมาณ 12 นาที ห้ามปล่อยให้สารแห้งบนผิวโลหะ เพราะจะทำให้เกิดคราบเป็นเส้น สำหรับพื้นผิวภายนอกขนาดใหญ่ ให้ล้างสารออกด้วยน้ำแรงดันสูง

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



5.5.5 เช็ดสารออกด้วยผ้าสะอาดที่ชุบน้ำหมาด ๆ โดยล้างผ้าในน้ำสะอาดบ่อยครั้ง ทำซ้ำหลายรอบ โดยใช้ผ้าสะอาดผืนใหม่ เพื่อให้แน่ใจว่าสารเคมีถูกกำจัดออกทั้งหมด

5.5.6 เช็ดพื้นที่ให้แห้งด้วยผ้าแห้งสะอาด และทำการตรวจสอบว่ามีสารกัดกร่อนหลงเหลืออยู่หรือไม่

5.5.7 หากยังพบสารกัดกร่อน ให้ทำซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 5.5.5 อีกครั้ง

**หมายเหตุ (Note):**

หากยังพบสารกัดกร่อนหลงเหลืออยู่หลังจากดำเนินการครบสองครั้งแล้ว ให้เปลี่ยนไปใช้วิธีการกำจัดสารกัดกร่อนแบบเชิงกล (Mechanical Removal) ตามที่ระบุไว้ในข้อ 5.5.6

5.5.8 เมื่อกำจัดสารกัดกร่อนออกจนหมดแล้ว ให้ดำเนินการต่อไปตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในข้อ 5.5.6.4

## 5.6 การกำจัดสารกัดกร่อนระดับปานกลางและรุนแรง (Moderate and Severe Corrosion Removal)

การกำจัดสารกัดกร่อนระดับปานกลางและระดับรุนแรง ให้ใช้วิธีการกำจัดเชิงกล (Mechanical Removal) ด้วยวิธีที่เหมาะสมตามขั้นตอนต่อไปนี้

**หมายเหตุ (Note):** ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมแว่นตานิรภัยหรือหน้ากากป้องกันใบหน้า (Face Shield) เพื่อป้องกันเศษผงสารกัดกร่อนที่อาจหลุดกระเด็นออกมาในระหว่างการปฏิบัติงาน ต้องป้องกันพื้นที่ใกล้เคียง และป้องกันไม่ให้เศษสารกัดกร่อนที่ถูกกำจัดออกไปก่อให้เกิดความเสียหายเพิ่มเติมกับโครงสร้างหรือระบบอื่น

5.6.1 กำจัดเศษผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่หลวม (Loose Corrosion Products) โดยการขูดด้วยมือ โดยใช้เครื่องมือหรือวัสดุขัด (Abrasives) ที่เหมาะสม

สามารถใช้วิธีพ่นทรายแบบแห้ง (Dry Abrasive Blasting) ตามมาตรฐาน

- MIL-SPEC MIL-G-9954, Glass Beads: For Cleaning and Peening โดยใช้ลูกแก้วเบอร์ 10, 11, 12, 13 หรือ
- A-A-1722, Grain, Abrasive (Soft Blasting), Types I และ III

เป็นทางเลือกในการกำจัดสารกัดกร่อนบนอะลูมิเนียมทั้งชนิด Alclad และ Nonclad ได้ ห้าม ใช้วิธีพ่นขัดเพื่อลอกผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่มีความรุนแรงมาก (Heavy Corrosion Products) เครื่องพ่นแบบแรงดันตรง (Direct-Pressure Machine) ต้องตั้งค่าความดันหัวฉีดดังนี้

- อะลูมิเนียมชนิด Alclad: 30–40 psi
- อะลูมิเนียมชนิด Nonclad: 40–45 psi

หากเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.0625 นิ้ว ต้องได้รับความเห็นชอบทางวิศวกรรมจากผู้ผลิตอากาศยานก่อนดำเนินการพ่นขัด



5.6.2 กำจัดการกัดกร่อนที่หลงเหลืออยู่ด้วยการขัดด้วยมือ หรือใช้เครื่องมือไฟฟ้าที่ได้รับอนุญาต (Hand-Operated Power Tools) เครื่องมือไฟฟ้าที่นิยมใช้ ได้แก่

- แปรงแบบแผ่น (Flap Brush)
- ตะไบหมุน (Rotary File)
- แผ่นขัด (Sanding Pad)
- หินขัด (Abrasive Wheel)

**ห้ามใช้ตะไบหมุน (Rotary File) กับแผ่นผิว (Skin) ที่มีความหนาน้อยกว่า 0.0625 นิ้ว ให้เลือกชนิดวัสดุขัดที่เหมาะสมตาม ตารางที่ 5-1 (Table 5-1)**

5.6.3 ปรับผิวบริเวณที่ทำการกำจัดการกัดกร่อนให้เรียบ (Blending/Fairing) โดยใช้สัดส่วน **ความยาวต่อความลึก 20:1** ทำการขัดด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้นตามลำดับ จนถึงกระดาษทรายเบอร์ **400 Grit**

5.6.4 ทำความสะอาดบริเวณที่ซ่อมปรับผิวแล้ว โดยใช้น้ำยาทำความสะอาดชนิดตัวทำละลายสำหรับงานแห้ง (Dry Cleaning Solvent) ห้ามใช้น้ำมันก๊าด (Kerosene) ในขั้นตอนนี้

5.6.5 ตรวจสอบความลึกของบริเวณที่ปรับผิว (Faired Depressions) เพื่อยืนยันว่าการกำจัดเนื้อโลหะยังไม่เกินขีดจำกัดที่อนุญาตตามคู่มือซ่อม (Rework Limits)

5.6.6 ทำการเคลือบผิวด้วย สารเคลือบแปลงสภาพทางเคมี (Chemical Conversion Coating) บนบริเวณที่ซ่อม

5.6.7 ทำการพ่นสีหรือเคลือบสีป้องกัน (Paint Finish) บนบริเวณที่ซ่อมแล้ว เพื่อคืนสภาพการป้องกันการกัดกร่อนให้สมบูรณ์



## หมวด 6 วัสดุแมกนีเซียมอัลลอย (Magnesium Alloys)

### 1. การบำบัดแผ่นและชิ้นส่วนขึ้นรูปจากแมกนีเซียม (Treatment of Wrought Magnesium Sheets and Forgings)

การกัดกร่อนที่เกิดกับแผ่นผิว (Skin) ที่ทำจากแมกนีเซียม มักพบได้บริเวณขอบแผ่นผิว ใต้แหวนรอง (Hold-down Washers) หรือในบริเวณที่เกิดความเสียหายทางกายภาพ เช่น จากการตัดเฉือน (Shearing) การเจาะ (Drilling) การขัดถู (Abrasion) หรือ แรงกระแทก (Impact) สาเหตุสำคัญประการหนึ่งคือการกักเก็บความชื้น (Moisture Entrapment) ใต้หรือด้านหลังรอยแยกของแผ่นผิว (Skin Crevices)

หากแผ่นผิวสามารถถอดออกได้โดยสะดวก ควรถอดออกเพื่อให้สามารถดำเนินการยับยั้งและบำบัดการกัดกร่อนได้อย่างสมบูรณ์

**หมายเหตุ (Note):** ให้ยึดแนวทางการบำบัดแผ่นและชิ้นส่วนแมกนีเซียมตามคู่มือซ่อมบำรุงของผู้ผลิตอากาศยาน (OEM Maintenance Manual)

- 1.1 เมื่อสามารถปฏิบัติได้ ให้กำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical Removal) โดยใช้แปรงขนแข็ง (Stiff Bristle Brushes) และเครื่องมือทำความสะอาดที่ไม่ใช่โลหะ (Nonmetallic Cleaning Tools) ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการปฏิบัติงานภาคสนาม
- 1.2 ต้องหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของเศษเหล็กจากแปรงลวดเหล็ก เครื่องมือเหล็ก หรือวัสดุขัดที่สกปรก เนื่องจากเศษเหล็กที่ฝังอยู่ในพื้นผิวแมกนีเซียมอาจก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนที่รุนแรงยิ่งกว่าความเสียหายเดิม
- 1.3 ในกรณีที่แหวนรองฉนวน (Insulating Washers) ซึ่งทำจากอะลูมิเนียม ไม่สามารถยึดติดกับแผ่นแมกนีเซียมได้อย่างแน่นหนา จะมีโอกาสเกิดการกัดกร่อนใต้แหวนรองได้ หากไม่ดำเนินการแก้ไขอย่างเหมาะสม
  - 1.3.1 ให้ถอดสกรูเครื่อง (Machine Screws) ออกจากตำแหน่งที่แหวนรองฉนวนหลวมทั้งหมด เพื่อดำเนินการปรับสภาพผิว (Surface Treatment) บนแผ่นแมกนีเซียม
  - 1.3.2 ในกรณีที่เป็ยตัวยึดถาวร (Permanent Fasteners) ให้ถอดทั้งแหวนรองฉนวนและตัวยึดออก เพื่อให้สามารถกำจัดการกัดกร่อนได้อย่างสมบูรณ์
  - 1.3.3 หากมีโอกาสที่น้ำจะสะสมในบริเวณรูคว้าน (Counterbored Area) ที่เคยติดตั้งแหวนรอง ให้ใช้วัสดุซิลแลนท์ (Sealant) อุดเต็มบริเวณดังกล่าว หากมีหลายตำแหน่งอยู่ใกล้กัน อาจใช้ซิลแลนท์ในลักษณะเป็นแถบยาวเพื่อปิดคลุมพื้นที่ทั้งหมด



## 2. การซ่อมแผ่นแมกนีเซียมหลังการกำจัดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง (Repair of Magnesium Sheet Metal After Extensive Corrosion Removal)

หลักการซ่อมแผ่นแมกนีเซียมโดยทั่วไปจะเหมือนกับการซ่อมแผ่นอะลูมิเนียมอัลลอย แต่มีข้อแตกต่างสำคัญคือ อาจจำเป็นต้องพ่น **อีพ็อกซีไพรเมอร์ (Epoxy Primer)** จำนวน **สองชั้น** ทั้งบนแผ่นซ่อมเสริม (Doubler) และแผ่นผิวเดิม แทนที่จะเป็นเพียงชั้นเดียว ในกรณีที่การขึ้นรูปแมกนีเซียมให้ได้ตามรูปทรงทำได้ยาก สามารถใช้แผ่นอะลูมิเนียมอัลลอยแทนได้ แต่ต้องให้ความสำคัญกับการแยกโลหะต่างชนิด (Dissimilar Metal Insulation) อย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้เทปไวนิล (Vinyl Tape) สามารถช่วยแยกโลหะต่างชนิดได้อย่างแน่นอน แต่ยังจำเป็นต้องซีลขอบทั้งหมด เพื่อป้องกันการแทรกซึมของความชื้นระหว่างผิวสัมผัส

แนะนำให้ใช้ **ซีลแลนท์ชนิดไม่ก่อการกัดกร่อน (Noncorrosive Sealant)** เท่านั้น เนื่องจากทำหน้าที่ได้ทั้งเป็นฉนวนแยกโลหะและเป็นวัสดุปิดผนึกในตัว

## 3. การบำบัดชิ้นหล่อแมกนีเซียมในตำแหน่งติดตั้ง

(In-Place Treatment of Magnesium Castings)

โดยทั่วไป **ชิ้นหล่อแมกนีเซียม (Magnesium Castings)** จะมีลักษณะ **พรุน (Porous)** มากกว่าแผ่นแมกนีเซียมชนิดขึ้นรูป (Wrought Magnesium Skin) และมีแนวโน้มเกิดการกัดกร่อนแบบแทรกซึม (Penetrating Corrosion Attack) ได้ง่ายกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

การบำบัดการกัดกร่อนของชิ้นหล่อแมกนีเซียมในภาคสนาม มักใช้แนวทางเดียวกันกับการบำบัดพื้นที่แมกนีเซียมทั่วไป อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโครงสร้างภายในของชิ้นหล่อมักมีความซับซ้อนและมีรูพรุน

การกัดกร่อนจึงสามารถลุกลามเข้าสู่เนื้อโลหะได้รวดเร็วและรุนแรง

ตัวอย่างชิ้นหล่อแมกนีเซียมที่พบได้บ่อยในอากาศยานสมัยใหม่ ได้แก่

- เสื้อเครื่องยนต์ (Engine Cases)
- เบลแครงก์ (Bell Cranks)
- ฟิตติ้ง (Fittings)
- ฝาครอบ (Covers)
- แผ่นปิด (Plates)
- มือจับ (Handles) และชิ้นส่วนประกอบอื่น ๆ

เมื่อเกิดการกัดกร่อนกับชิ้นหล่อแมกนีเซียม ต้องดำเนินการบำบัด **โดยเร็วที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ (At the Earliest Practicable Opportunity)** เพื่อป้องกันการแทรกซึมของการกัดกร่อนเข้าสู่เนื้อโลหะ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงและเป็นอันตรายต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง



ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำเค็ม (Salt Water Environment) โดยเฉพาะกับเสื้อเครื่องยนต์แมกนีเซียม อาจเกิดลักษณะการกัดกร่อนเป็นรูพรุนคล้ายรอยมอดกัด หรือที่เรียกว่า “Moth Holes” และสามารถเกิดการทะลุผ่านของเนื้อโลหะ (Complete Penetration) ได้ภายในเวลาเพียง **ข้ามคืน** หากไม่ได้รับการบำบัดอย่างทันที่

### 3.1 การแยกผิวสัมผัสเพื่อการบำบัด

หากสามารถดำเนินการได้ ควร **แยกผิวสัมผัส (Faying Surfaces)** ที่เกี่ยวข้องออกจากกัน เพื่อให้สามารถบำบัดการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นแล้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันการลุกลามของการกัดกร่อนในอนาคต โดยให้ปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนการบำบัดเช่นเดียวกับที่ใช้กับแผ่นแมกนีเซียม (Magnesium Skin)

ในกรณีของ **เสื้อเครื่องยนต์ (Engine Cases)** มักใช้การเคลือบผิวด้วย **สีอบ (Baked Enamel Overcoat)** แทนระบบสีชั้นบน (Topcoat) ประเภทอื่น อย่างไรก็ตาม **สีแห้งอากาศ (Air-Drying Enamel)** ที่มีคุณภาพดี สามารถใช้ฟื้นฟูการป้องกันการกัดกร่อนได้อย่างเหมาะสมเช่นกัน

### 3.2 การประเมินความแข็งแรงโครงสร้างหลังการกำจัดการกัดกร่อน

หากจำเป็นต้องกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนออกจาก **ชิ้นหล่อโครงสร้าง (Structural Casting)** ในปริมาณมาก ควรขอให้ **ผู้ผลิตอากาศยาน (Aircraft Manufacturer)** ทำการประเมินความเพียงพอของความแข็งแรงโครงสร้างที่ยังคงเหลืออยู่

โดยทั่วไป **คู่มือซ่อมโครงสร้าง (Structural Repair Manual: SRM)** จะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมิติ (Dimensional Tolerance Limits) สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความสำคัญ หากมีข้อสงสัยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งาน ต้องประสาน **กองวิทยาการ กรมช่างอากาศ** หรือหน่วยงานรับผิดชอบในการควบคุมความสมควรเดินอากาศ เพื่อพิจารณาเพิ่มเติม

## 4. ตัวอย่างขั้นตอนการกำจัดการกัดกร่อนของแมกนีเซียม

(Example of Removing Corrosion from Magnesium)

โดยหลักการ หากเป็นไปได้ ควรถอดชิ้นส่วนแมกนีเซียมที่เกิดการกัดกร่อนออกจากอากาศยานเพื่อทำการบำบัด อย่างไรก็ตาม หากไม่สามารถถอดออกได้ ให้เตรียมอากาศยานตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ และต้องปฏิบัติตามข้อควรระวังด้านความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด

### 4.1 การระบุชนิดโลหะ

ต้องยืนยันให้แน่ชัดว่าโลหะที่ทำการบำบัดคือ **แมกนีเซียม (Magnesium)** โดยใช้วิธีการทดสอบที่เหมาะสมตามขั้นตอนการระบุชนิดโลหะ

### 4.2 การทำความสะอาดพื้นที่

ทำความสะอาดบริเวณที่จะทำการบำบัด เพื่อขจัดคราบสกปรก น้ำมัน และสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ



### 4.3 การลอกสี

ลอกสีเคลือบออก หากจำเป็น เพื่อให้สามารถประเมินและกำจัดการกัดกร่อนได้อย่างทั่วถึง

### 4.4 การประเมินขอบเขตความเสียหาย

ประเมินขอบเขตของการกัดกร่อน

- หากเป็น การกัดกร่อนเล็กน้อย (Light Corrosion) ให้ดำเนินการตามข้อ 4.5
- หากเป็น การกัดกร่อนปานกลางหรือรุนแรง (Moderate / Severe Corrosion) ให้ดำเนินการตามข้อ 4.6

### 4.5 การกำจัดการกัดกร่อนเล็กน้อย

ห้ามใช้ขั้นตอนนี้กับ

- ชิ้นส่วนที่ยึดติดด้วยกาว (Adhesive Bonded Parts)
- จุดประกอบที่สารเคมีอาจค้างอยู่
- พื้นที่ที่เปิดโลหะไว้โดยเฉพาะเพื่อการต่อกราวด์หรือการนำไฟฟ้า

#### 4.5.1 กำจัดการกัดกร่อนเบื้องต้น

กำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่หลวมออกโดยใช้

- ไยอะลูมิเนียม (Aluminum Wool) หรือ
- แผ่นขัด ผ้าขัด หรือกระดาษขัดที่เหมาะสม

#### 4.5.2 การป้องกันชิ้นส่วนข้างเคียง

ปิดคลุมวัสดุและชิ้นส่วนอื่น ๆ โดยเฉพาะ

- ชิ้นส่วนยาง
- ตลับลูกปืน
- อินเสิร์ตแบบหล่อหรืออัด

เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีบำบัดหรือไอระเหยของสารนั้น

#### 4.5.3 การเตรียมสารละลายบำบัดการกัดกร่อน

เตรียมสารละลายบำบัดในอัตราส่วนดังนี้

- โซเดียมไดโครเมต (Sodium Dichromate) 1.5 ปอนด์
- กรดไนตริกเข้มข้น (Concentrated Nitric Acid:  $\text{HNO}_3$ ) 1.5 ไซน
- น้ำ 1 แกลลอน

ให้เตรียมและเก็บสารละลายในภาชนะ โพลีเอทิลีน (Polyethylene) หรือ แก้ว (Glass) ที่สะอาดเท่านั้น และผสมตามลำดับที่ปลอดภัย

1. เติมน้ำลงในภาชนะในปริมาตร เท่ากับ 1/4 ของปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ต้องการ



2. เติม โซเดียมไดโครเมต (Sodium Dichromate) ตามอัตราส่วนที่กำหนดทั้งหมดลงไปใต้น้ำ แล้วกวนสารละลายจนสารเคมีละลายหมด
  3. เติมน้ำเพิ่มจนได้ปริมาตรประมาณ 2/3 ของปริมาณสารละลายทั้งหมด
  4. ค่อย ๆ เติม กรดไนตริก (Nitric Acid:  $\text{HNO}_3$ ) ในปริมาณทั้งหมดที่กำหนดลงในสารละลาย พร้อมกวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึง
- ข้อควรระวัง:** ต้องเติมกรดลงในน้ำเท่านั้น ห้ามเติมน้ำลงในกรด
5. เติมน้ำส่วนที่เหลือจนได้ปริมาตรสารละลายครบตามที่ต้องการ และกวนจนสารละลายมีความเข้มข้นสม่ำเสมอตลอดทั้งภาชนะ

#### 4.5.4 การกำจัดการกัดกร่อนด้วยสารละลายเคมี

ใช้ผ้าหรือสำลีชุบสารละลายกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เช็ดถูบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนเป็นเวลา 1-2 นาที จากนั้นเช็ดให้แห้ง

#### 4.5.5 การล้างทำความสะอาด

ล้างพื้นที่ที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำสะอาดอย่างทั่วถึง พร้อมขัดด้วยไม้ถูพื้น แปรง หรือแผ่นขัดที่เหมาะสม จากนั้นเช็ดให้แห้ง

#### 4.5.6 การทำซ้ำขั้นตอน

ทำซ้ำขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นตามความจำเป็น จนกระทั่ง กำจัดการกัดกร่อนออกหมดทั้งหมด

#### 4.5.7 ขั้นตอนหลังการกำจัดการกัดกร่อน

เมื่อกำจัดการกัดกร่อนออกหมดแล้ว ให้ดำเนินการตามขั้นตอนใน ข้อ 4.7 ต่อไป

### 4.6 การกำจัดการกัดกร่อนปานกลางและรุนแรง

(Mechanical Removal of Moderate and Severe Corrosion)

ในการกำจัดการกัดกร่อนระดับปานกลางถึงรุนแรง ให้ใช้วิธีเชิงกล (Mechanical Removal) โดยต้องสวม แวนนิรภัยหรือกระบังหน้า (Face Shield) เพื่อป้องกันอันตรายจากเศษผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่อาจกระเด็นออกมา และต้องป้องกันพื้นที่ข้างเคียงไม่ได้รับความเสียหายเพิ่มเติม

#### 4.6.1 การกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนขั้นต้น

กำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่รุนแรงด้วยการแปรงมือ โดยใช้

- แปรงสแตนเลส (Stainless Steel Brush) หรือ
- แปรงใยสังเคราะห์ (Fiber Brush)

จากนั้นใช้ การพ่นขัดแบบสุญญากาศ (Vacuum Abrasive Blasting) ด้วยลูกแก้วตามมาตรฐาน

- MIL-SPEC MIL-G-9954 ขนาด 10, 11, 12 หรือ 13
- หรือ A-A-1722 ชนิด Type I หรือ Type III

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



สำหรับเครื่องพ่นแบบแรงดันตรง (Direct-Pressure Machine) ให้ตั้งแรงดันที่หัวฉีด 10–35 psi  
สำหรับเครื่องพ่นแบบดูด (Suction Type) ให้ใช้แรงดัน สูงขึ้นประมาณ 50%

#### 4.6.2 การกำจัดการกัดกร่อนตกค้าง

กำจัดการกัดกร่อนที่ยังหลงเหลืออยู่ด้วยการขัดมือ หรือใช้เครื่องมือไฟฟ้าแบบมือถือที่ได้รับอนุญาต

#### 4.6.3 การบำบัดหลังการกำจัด

เมื่อกำจัดการกัดกร่อนทั้งหมดที่สามารถมองเห็นได้ด้วยแว่นขยายแล้ว ให้ทา สารละลายบำบัดการกัดกร่อน (Corrosion Treating Solution) ลงบนพื้นที่นั้น

#### 4.7 การปรับผิว (Fairing / Blending) หลังการซ่อม

ปรับผิวบริเวณที่เป็นแอ่งจากการซ่อมให้เรียบ โดยใช้ อัตราส่วนความยาวต่อความลึก 20:1 (20:1 Blend Ratio)

- ทำความสะอาดพื้นที่ที่ซ่อมด้วยกระดาษทรายเบอร์ 240
- ขัดให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 300
- ขัดละเอียดขั้นสุดท้ายด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400

#### 4.8 การตรวจสอบความลึกหลังการปรับผิว

วัดความลึกของบริเวณที่ปรับผิวแล้ว และยืนยันว่า ความลึกที่ถูกกำจัดออกไม่เกินขีดจำกัดการซ่อม (Rework Limits) ที่กำหนดไว้

#### 4.9 การทำความสะอาดพื้นที่หลังการซ่อม

ทำความสะอาดพื้นที่ที่ผ่านการซ่อมด้วย ตัวทำละลาย (Solvent) ที่เหมาะสม เพื่อให้พื้นผิวอยู่ในสภาพ Water Break Free (น้ำแผ่ตัวสม่ำเสมอ ไม่จับเป็นหยด)

**ข้อห้าม:** ห้ามใช้ น้ำมันก๊าด (Kerosene) เนื่องจากจะทิ้งคราบตกค้างและรบกวนการยึดเกาะของสารเคลือบผิว

#### 4.10 การเตรียมและการเคลือบผิวแมกนีเซียมด้วยสารแปลงสภาพ (Magnesium Conversion Coating)

ให้เตรียมและใช้งานสารแปลงสภาพผิวแมกนีเซียมตามมาตรฐาน AMS-M-3171, Magnesium Alloy, Processes for Pretreatment and Prevention of Corrosion On, Type VI (DOW-19) โดยมีขั้นตอนดังนี้



#### 4.10.1 การเตรียมสารละลายแปลงสภาพ (Conversion Solution)

1. ตวง **น้ำกลั่น (Distilled Water)** ปริมาตร 1 แกลลอน ใส่ภาชนะสะอาดที่ทำจาก **โพลีเอทิลีน (Polyethylene)** หรือแก้ว
2. เติม **โครเมียมไตรออกไซด์ (Chromium Trioxide)** ชนิดผงแห้ง หรือ **กรดโครมิก (Chromic Acid)** เกรดเทคนิค ปริมาณ 1.3 ออนซ์
3. เติม **แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต (Calcium Sulfate Dihydrate:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )** ปริมาณ 1 ออนซ์
4. กวนสารละลายอย่างแรงเป็นเวลาอย่างน้อย **15 นาที** เพื่อให้สารละลายอิมัลชันด้วยแคลเซียมซัลเฟต จากนั้นพักสารละลายไว้อีก **15 นาที** ก่อนถ่ายแยก (Decant)
5. ก่อนนำไปใช้งาน ให้ **ถ่ายเฉพาะสารละลายใส** ลงในภาชนะใช้งาน (หลีกเลี่ยงการถ่ายตะกอนแคลเซียมซัลเฟตที่ยังไม่ละลาย)

#### 4.10.2 การเคลือบผิวแมกนีเซียม

6. ใช้วิธี **ชุบถู (Swabbing)** ทาสารละลายลงบนผิวโลหะ จนพื้นผิวเปลี่ยนเป็นสีด้าน ซึ่งอาจมีลักษณะตั้งแต่
  - เขียว-น้ำตาล
  - สีทองเหลือง (Brassy)
  - เหลือง-น้ำตาล
  - น้ำตาลเข้ม

ภายใต้สภาวะเหมาะสม (อุณหภูมิ  $70^\circ\text{F}$  หรือสูงกว่า และใช้สารสดใหม่) ระยะเวลาการเคลือบโดยทั่วไปคือ

- 1-2 นาที → फिल्मสีทองเหลือง
- 3-5 นาที → फिल्मสีน้ำตาลเข้ม

ในสภาวะไม่เหมาะสม หากยังไม่ปรากฏสีตามที่กำหนด อาจต้องขยายระยะเวลาการเคลือบเป็น **20-30 นาที** จนได้ฟิล์มที่ต้องการ

##### ข้อแนะนำ:

- เพื่อการยึดเกาะของสีที่ดีที่สุด ควรให้ได้ฟิล์ม **สีน้ำตาลเข้ม ไม่มีผง**
  - การทาสารนานเกินไปจะทำให้ฟิล์ม **เป็นผง (Powdering)** และลดการยึดเกาะของสี
  - ห้ามขัดถูแรงบนผิวที่ยังเปียก เพราะจะทำลายฟิล์ม
  - การพ่นแรงดันสูง หรือการเสียดสีรุนแรง จะทำลายชั้นเคลือบใหม่
7. ล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย **1 ชั่วโมง** สำหรับในพื้นที่ที่มีความชื้นสูง ควรเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้ง



#### 4.11 การทาสีรองพื้นและสีทับหน้า

เมื่อผิวแปลงสภาพแห้งสนิทแล้ว ให้ทำ

- สีรองพื้น (Primer) และ
- สีทับหน้า (Topcoat Finish) ตามขั้นตอนและชนิดสีที่ระบุในคู่มือผู้ผลิตอากาศยาน

#### 4.12 การเก็บงานขั้นสุดท้าย

ถอดวัสดุปิดบัง (Masking) และอุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดออก ตรวจสอบความเรียบร้อยของผิวงาน และยืนยันว่าไม่มีสารตกค้างหรือความเสียหายต่อบริเวณใกล้เคียง



## หมวดที่ 7 โลหะเหล็ก (Ferrous Metals)

### 1. หลักการทั่วไป

การกัดกร่อนที่พบเห็นได้บ่อยที่สุดชนิดหนึ่งคือ **สนิมเหล็กสีแดง (Red Iron Rust)** ซึ่งโดยทั่วไปเกิดจากการออกซิเดชันของผิวเหล็กเมื่อสัมผัสกับบรรยากาศ (Atmospheric Oxidation) โลหะบางชนิดเมื่อเกิดออกไซด์จะสร้างชั้นฟิล์มที่ช่วยปกป้องโลหะฐาน (Base Metal) แต่ **สนิมเหล็กสีแดงไม่ใช่ชั้นป้องกัน** ตรงกันข้าม สนิมชนิดนี้จะดูดซับความชื้นจากอากาศและทำหน้าที่เสมือนตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ส่งเสริมให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นต่อไปอย่างต่อเนื่อง

#### 1.1 สนิมเหล็กสีแดงมักเริ่มปรากฏที่

- หัวสลักเกลียว (Bolt Heads)
- น็อตยึด (Hold-down Nuts)
- อุปกรณ์โลหะของอากาศยานที่ไม่ได้รับการป้องกันผิว รวมถึงบริเวณใต้แผ่นป้ายชื่อ (Nameplates) ที่ยึดติดกับชิ้นส่วนเหล็ก

โดยทั่วไป การเกิดสนิมในบริเวณดังกล่าวยังไม่ถือว่าเป็นอันตรายในทันที และมักไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงเชิงโครงสร้างของชิ้นส่วนหลัก อย่างไรก็ตาม การพบสนิมในลักษณะนี้ **เป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงการบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอ** และอาจสะท้อนถึงการกัดกร่อนที่กำลังเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความสำคัญเชิงโครงสร้างมากกว่า

1.2 เมื่อเกิดความเสียหายของชั้นสี (Paint Failure) หรือเกิดความเสียหายเชิงกล (Mechanical Damage) ที่ทำให้พื้นผิวเหล็กซึ่งรับแรงสูง (Highly Stressed Steel) สัมผัสกับบรรยากาศโดยตรง แม้การเกิดสนิมเพียงเล็กน้อยก็ถือว่า **มีความเสี่ยงสูงต่อความปลอดภัย** และจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดและควบคุมการกัดกร่อนโดยทันที

### 2. การกำจัดสนิมเหล็กด้วยวิธีเชิงกล

วิธีที่เหมาะสมและใช้งานได้จริงมากที่สุดในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็ก คือ การกำจัดผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนออกทั้งหมดด้วยวิธีเชิงกล (Mechanical Removal) ดังแสดงตัวอย่างใน

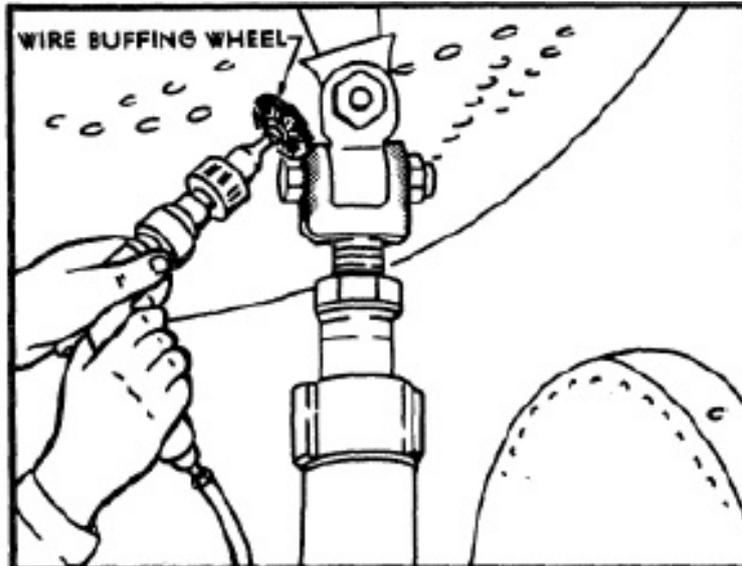
- รูปที่ 5-17 การกำจัดสนิมออกจากพื้นผิวเหล็กทั่วไป
- รูปที่ 5-18 การกำจัดสนิมออกจากชิ้นส่วนเหล็กรับแรงสูง

สำหรับเหล็กกำลังสูง (High-Strength Steel) แนะนำให้ใช้ **การขัดด้วยมือ (Hand Sanding)** เป็นหลัก ไม่แนะนำให้ใช้เครื่องมือกำลัง (Powered Tools) เนื่องจากอาจทำให้เกิดความร้อนเฉพาะจุด (Local Overheating) และเกิดรอยบาก (Notches) ซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวและการวิบัติของชิ้นส่วนได้

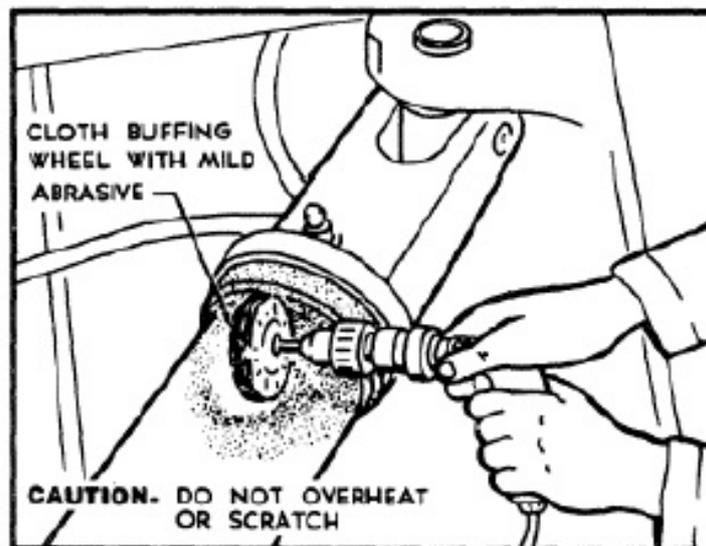
อย่างไรก็ตาม แม้จะทำการขัดด้วยวิธีเชิงกลแล้ว ก็มักจะยังมีเศษสนิมหลงเหลืออยู่บริเวณก้นหลุมเล็ก ๆ (Pits) และร่องแคบ (Crevices)

2.1 สำหรับพื้นผิวภายนอก วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ การพ่นขัดด้วยวัสดุขัด (Abrasive Blasting) ซึ่งสามารถกำจัดสนิมออกได้เกือบทั้งหมด เมื่อใช้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับชนิดของวัสดุ

2.2 หลังจากกำจัดสนิมออกแล้ว ต้องทาสีหรือเคลือบผิวโลหะโดยเร็วที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดสนิมซ้ำ ไม่ควรปล่อยให้พื้นผิวที่ทำความสะอาดแล้วสัมผัสความชื้นหรือเปียกน้ำก่อนการทาสีไม่ว่าในกรณีใด ๆ



รูปที่ 5-17 การกำจัดสนิมออกจากพื้นผิวเหล็กทั่วไป



รูปที่ 5-18 การกำจัดสนิมออกจากชิ้นส่วนเหล็กรับแรงสูง



### 3. การปรับสภาพผิวเหล็กด้วยวิธีเคมี (Chemical Surface Treatment of Steel Surfaces)

**ข้อควรระวัง** การใช้กระบวนการปรับสภาพผิวด้วยวิธีเคมีบนชิ้นส่วนเหล็กกำลังสูง (High-Strength Steel) ต้องได้รับ **การอนุมัติทางวิศวกรรม (Engineering Authorization)** ก่อนเสมอ

**3.1** มีวิธีการที่ยอมรับได้ในการเปลี่ยนสนิมเหล็กให้เป็นสารฟอสเฟต (Phosphate) หรือชั้นเคลือบป้องกันอื่น ๆ เช่น

- กระบวนการ Parco Lubrizing
- สารเตรียมฟอสเฟตสังกะสี (Zinc Phosphate Preparations)

อย่างไรก็ตาม กระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ **ถังเคมีร้อน (Hot Tanks)** ที่ติดตั้งในโรงงาน จึง **ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานภาคสนาม**

**3.2** สารบางชนิด เช่น

- กรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid)
- เจลกำจัดสนิมชนิด Naval Jelly

สามารถใช้เป็น **ตัวแปลงสนิม (Rust Converter)** ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีที่ไม่ต้องควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนอย่างเคร่งครัด และเมื่อสามารถล้างและทำให้กรดที่ตกค้างเป็นกลางได้อย่างสมบูรณ์

**3.3** โดยทั่วไป วิธีการดังกล่าว **ไม่เหมาะสมกับอากาศยานที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว** การใช้สารเคมีหรือสารยับยั้งการกัดกร่อน (Chemical Inhibitors) กับชิ้นส่วนเหล็กที่ติดตั้งอยู่กับอากาศยาน ไม่เพียงแต่ **ไม่พึงประสงค์** แต่ยังมี **ความเสี่ยงสูง** เนื่องจากอาจเกิดการกักเก็บสารเคมีไว้ในซอกหรือโพรง ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งมีอันตรายมากกว่าประโยชน์ที่ได้รับ

### 4. การกำจัดผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนออกจากชิ้นส่วนเหล็กรับแรงสูง

(High-Stressed Steel Parts)

**ห้ามใช้แปรงลวด (Wire Brush)** กับชิ้นส่วนเหล็กรับแรงสูงโดยเด็ดขาด การกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยบนพื้นผิวของชิ้นส่วนประเภทนี้ถือว่า **มีความเสี่ยงสูง** ต้องกำจัดอย่างระมัดระวัง รอยขีดข่วนบนผิวโลหะ หรือการเปลี่ยนโครงสร้างผิวจากความร้อนสูงเฉพาะจุด อาจเป็นสาเหตุให้เกิด **การวิบัติฉับพลัน (Sudden Failure)** ได้

วิธีที่เหมาะสม ได้แก่

- การใช้กระดาษทรายละเอียดชนิด **อะลูมิเนียมออกไซด์ (Fine Grit Aluminum Oxide)**
- การใช้สารขัดละเอียด เช่น **Rouge** ร่วมกับล้อผ้าขัด (Cloth Buffing Wheels)

ข้อควรคำนึงที่สำคัญ:

- **ต้องควบคุมไม่ให้ผิวเหล็กร้อนเกินไป**

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



- **Abrasive Blasting** สามารถใช้ได้กับเหล็กกำลังสูงที่อยู่ภายนอกอากาศยาน
- หลังจากกำจัดการกัดกร่อนแล้ว ต้อง **ทาสีหรือเคลือบผิวป้องกันทันที**

## 5. การดูแลรักษาเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel Alloys)

ห้ามใช้สารทำความสะอาดเชิงเคมี (Chemical Cleaners) กับเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิมแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

- **ชนิดเป็นแม่เหล็ก (Magnetic Stainless Steel)**
  - เป็นชนิดเฟอร์ริติก (Ferritic) หรือมาร์เทนซิติก (Martensitic)
  - ระบุด้วยหมายเลขซีรี่ส์ 400 series
  - มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนได้ และให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับเหล็กรับแรงสูงตามข้อ 4
- **ชนิดไม่เป็นแม่เหล็ก (Nonmagnetic Stainless Steel)**
  - เป็นชนิดออสเทนนิติก (Austenitic)
  - ระบุด้วยหมายเลขซีรี่ส์ 300 series
  - มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่า โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมทางทะเล

5.1 เหล็กออสเทนนิติกจะเกิดความต้านทานการกัดกร่อนจาก **ฟิล์มออกไซด์ (Oxide Film)** ฟิล์มนี้ไม่ควรถูกกำจัดออก แม้ว่าผิวจะเปลี่ยนสี ฟิล์มดังกล่าวมักเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตด้วยกระบวนการ **Passivation** หากฟิล์มนี้ถูกทำลายจากการขัดหรืออุบัติเหตุ อาจ **ไม่สามารถฟื้นตัวได้** หากไม่ได้ผ่านกระบวนการ **Repassivation**

5.2 หากเกิดการเสื่อมสภาพหรือการกัดกร่อนบนเหล็กออสเทนนิติกจนกระทบต่อ

- ความแข็งแรงเชิงโครงสร้าง (Structural Integrity) หรือ
- ความพร้อมใช้งาน (Serviceability)

จำเป็นต้อง **ถอดชิ้นส่วนนั้น** ออกจากอากาศยาน

## 6. ตัวอย่างขั้นตอนการกำจัดการกัดกร่อนจากชิ้นส่วนเหล็ก

หากเป็นไปได้ ควรถอดชิ้นส่วนเหล็กที่เกิดการกัดกร่อนออกจากอากาศยาน หากไม่สามารถถอดได้ ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนเตรียมอากาศยานและข้อควรระวังด้านความปลอดภัยตามข้อ 6.1, 6.2 และ 6.10 **ข้อห้าม** ไม่อนุญาตให้ใช้วิธีเคมีหรือการเคลือบแปลงสภาพทางเคมีกับชิ้นส่วนเหล็ก

6.1 ระบุชนิดโลหะให้แน่ชัดว่าเป็นเหล็ก และตรวจสอบสถานะการอบชุบความร้อน (Heat-Treated Condition)

6.2 ทำความสะอาดพื้นที่ที่จะซ่อม

**คำเตือน** ห้ามใช้สารลอกสีที่มีกรดกับเหล็กกำลังสูง



6.3 ลอกสีออก หากจำเป็น

6.4 การกำจัดการกัดกร่อนในเหล็กที่ผ่านการอบชุบ  $\geq 220,000$  psi ให้ใช้เฉพาะ

- การขัดด้วยมือ หรือ
- การพ่นขัดแบบแห้ง (Dry Abrasive Blasting)

6.5 เหล็กที่อบชุบต่ำกว่า 220,000 psi ให้กำจัดการกัดกร่อนเชิงกล ดังนี้

- 6.5.1 ใช้แปรงสแตนเลสขัดคราบหนา หรือใช้ Abrasive Blasting
  - ใช้ Aluminum Oxide (A-A-59316) หรือ Glass Beads (MIL-G-9954)
  - แรงดันหัวพ่น 40–50 psi
  - ต้องขออนุมัติผู้ผลิต หากชิ้นงานบางกว่า 0.0625 นิ้ว
- 6.5.2 กำจัดคราบที่เหลือด้วยการขัดมือหรือเครื่องมือกำลังที่ได้รับอนุญาต
- 6.5.3 ผิวโลหะจะไวต่อปฏิกิริยามากหลังขัดสนิม ต้องลง Primer ภายใน 1 ชั่วโมง

6.6 ปรับผิวบริเวณเว้าด้วยอัตราส่วน 20:1 (ความยาว : ความลึก) ขัดด้วยกระดาษทราย 240 → 300 → 400 grit

6.7 ตรวจสอบความลึกของการขัดว่าไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนด

6.8 ทำความสะอาดด้วย Dry Cleaning Solvent (ห้ามใช้ Kerosene)

6.9 เคลือบผิวป้องกันหรือสีเฉพาะตามที่กำหนด

6.10 ถอดวัสดุปิดบังและอุปกรณ์ป้องกันออก



## หมวดที่ 8 ชิ้นส่วนที่เคลือบผิว (Plated Parts)

### 1. ชิ้นส่วนที่เคลือบโครเมียมและนิกเกิล

(Chromium and Nickel Plated Parts)

การเคลือบผิวด้วย นิกเกิล (Nickel Plating) และ โครเมียม (Chromium Plating) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเป็นชั้นป้องกันและเพิ่มความทนทานต่อการสึกหรอให้กับชิ้นส่วนเหล็กกำลังสูง (High-Strength Steel) เช่น

- เพลาและผิวสัมผัสของชุดล้อขึ้น-ลง (Landing Gear Journals)
- ลูกสูบของโช้คอัพ (Shock Strut Pistons)

การเคลือบทั้งสองชนิดนี้ทำหน้าที่เป็น ชั้นกายภาพที่ค่อนข้างไม่ยอมให้สารแทรกซึม (Impervious Physical Coating) ปกป้องโลหะฐานด้านล่าง อย่างไรก็ตาม เมื่อเกิดรอยแตกหรือความเสียหายบนผิวเคลือบ การป้องกันดังกล่าวจะสูญเสียไปทันที

1.1 การซ่อมปรับสภาพ (Rework) ชิ้นส่วนที่เคลือบโครเมียมหรือนิกเกิล มีข้อกำหนดสูง เนื่องจากชิ้นส่วนเหล่านี้ต้องรับภาระงานเชิงวิกฤต (Critical Requirements)

1.2 การซ่อมปรับสภาพที่ยอมรับได้โดยทั่วไป คือ การขัดเบา ๆ (Light Buffing) เพื่อกำจัดผลิตภัณฑ์กัดกร่อน และทำให้ผิวมีความเรียบตามที่ต้องการ ทั้งนี้ ต้องไม่ทำให้ความหนาของชั้นเคลือบลดต่ำกว่าค่าขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (Minimum Allowable Thickness)

1.3 เมื่อมีความจำเป็นต้องขัดชิ้นส่วนที่เคลือบโครเมียมหรือนิกเกิล ควรทา สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Preventive Compound) บริเวณนั้นทันที หากสามารถดำเนินการได้

1.4 ต้องถอดและเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้นใหม่ เมื่อ

- การขัดทำให้ความหนาของชั้นเคลือบต่ำกว่าค่าขั้นต่ำ หรือ
- โลหะฐาน (Base Metal) ได้รับความเสียหายจากการกัดกร่อนแล้ว

1.5 ชิ้นส่วนที่ถอดออกสามารถนำกลับมาใช้งานได้อีก โดยให้บุคลากรที่ผ่านการฝึกอบรมในโรงงานเฉพาะทาง (Specialized Shop) ทำการลอกชั้นเคลือบเดิมออกทั้งหมด และเคลือบใหม่ตามวิธีและมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ

### 2. ชิ้นส่วนที่เคลือบแคดเมียมและสังกะสี

(Cadmium and Zinc Plated Parts)

การเคลือบ แคดเมียม (Cadmium Plating) ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานอากาศยาน ทั้งกับโลหะเหล็กและโลหะผสมทองแดง เพื่อเป็นการป้องกันการกัดกร่อน การป้องกันของแคดเมียมเป็นแบบ การสละตัว (Sacrificial Protection) กล่าวคือ แคดเมียมจะสึกกร่อนแทนโลหะฐานที่อยู่ด้านล่าง

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



ผิวแคดเมียมที่ทำงานได้ตามปกติ อาจปรากฏลักษณะเป็นจุดต่าง (Mottling) มีสีตั้งแต่ขาว น้ำตาล ไปจนถึงดำ ซึ่งเป็น **สัญญาณของการป้องกันแบบสละตัว ห้ามกำจัดรอยต่างเหล่านี้เพื่อความสวยงามโดยเด็ดขาด** แม้ในกรณีที่ชั้นเคลือบเกิดรอยแตก และเห็นผิวเหล็กหรือทองแดงด้านล่าง แคดเมียมก็ยังคงให้การป้องกันการกัดกร่อนได้ในระดับหนึ่ง

**2.1** เมื่อชั้นเคลือบแคดเมียมเกิดความเสียหายจริง และเริ่มพบผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนของโลหะฐาน อาจจำเป็นต้องทำความสะอาดเชิงกล (Mechanical Cleaning) บ้าง แต่ให้จำกัดเฉพาะการกำจัดคราบกัดกร่อนของโลหะฐานเท่านั้น

**2.2 ห้ามทำความสะอาดผิวแคดเมียมด้วยแปรงลวด (Wire Brush) ไม่ว่ากรณีใด ๆ** หากต้องการการป้องกันเพิ่มเติม ให้

- ทาไพรเมอร์ (Primer) เฉพาะจุด หรือ
- ใช้สารเคลือบป้องกันชั่วคราว (Temporary Preservative Coating)

การฟื้นฟูชั้นเคลือบแคดเมียม **ไม่สามารถทำได้ในภาคสนาม**

**2.3 การเคลือบ สังกะสี (Zinc Plating)** ให้การป้องกันในลักษณะเดียวกับแคดเมียม ดังนั้น แนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดความเสียหาย จึงใช้หลักการเดียวกันกับชั้นส่วนที่เคลือบแคดเมียม



## หมวดที่ 9 โลหะและโลหะผสมอื่น ๆ (Other Metals and Alloys)

### 1. การทำความสะอาดและการฟื้นฟูผิวโลหะมีตระกูล (Noble Metal Coatings — Cleanup and Restoration)

การเคลือบผิวด้วย เงิน (Silver) แพลทินัม (Platinum) และ ทอง (Gold) มักใช้ในชุดประกอบอากาศยาน เนื่องจากมีความทนทานต่อการกัดกร่อนผิวหน้า และมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าหรือการนำความร้อนที่ดี อิเล็กโทรดที่เคลือบเงิน (Silver-Plated Electrodes) อาจเกิดคราบหมองสี น้ำตาลหรือดำ จากสารซัลไฟด์ (Sulfide Tarnish) ซึ่งสามารถทำความสะอาดได้เมื่อจำเป็น โดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้

- นำชิ้นงานไปสัมผัสกับแผ่นแมกนีเซียม (Magnesium Sheet) ขณะจุ่มอยู่ในสารละลายน้ำอุ่นที่ผสมเกลือแกงและเบกกิ้งโซดา
- ใช้แผ่นขัดละเอียด (Fine Grade Abrasive Mat) หรือยางลบดินสอ (Pencil Eraser) จากนั้นทำความสะอาดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Cleaning)

ในกรณีที่เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบอยู่กับระบบ ต้องทำให้แห้งอย่างระมัดระวัง และต้องกำจัดความชื้นออกทั้งหมด โดยทั่วไป ไม่แนะนำให้ทำความสะอาดผิวเคลือบทองหรือแพลทินัมในภาคสนาม

### 2. ทองแดงและโลหะผสมทองแดง (Copper and Copper Alloys)

ทองแดงและโลหะผสมทองแดงมีความทนทานต่อการกัดกร่อนค่อนข้างสูง การกัดกร่อนที่พบบ่อยอยู่ในรูปของคราบเปื้อนหรือคราบหมอง (Staining and Tarnish) ซึ่งโดยทั่วไป ไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งานของชิ้นส่วน

อย่างไรก็ตาม หากมีความจำเป็นต้องกำจัดคราบดังกล่าวสามารถใช้สารละลายกรดโครมิก (Chromic Acid Solution) อัตราส่วน 8–24 ออนซ์ต่อแกลลอนน้ำ โดยเติมอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่ในปริมาณเล็กน้อย ไม่เกิน 50 หยดต่อแกลลอน ซึ่งเป็นสารละลายที่มีประสิทธิภาพในการทำให้ผิวโลหะเงาขึ้น (Brightening Bath) นอกจากนี้ สามารถกำจัดคราบได้ด้วยแผ่นขัดละเอียดหรือยางลบดินสอ แล้วตามด้วยการทำความสะอาดด้วยตัวทำละลาย

2.1 จุ่มชิ้นส่วนที่มีคราบลงในสารละลายที่อุณหภูมิปกติ หรือในกรณีที่ไม่สามารถถอดชิ้นส่วนได้ สามารถทาสารละลายลงบนผิวที่มีคราบด้วยแปรงขนาดเล็ก

2.2 ต้องระมัดระวังไม่ให้สารละลายตกค้างหรือถูกกักอยู่ในชิ้นส่วน หลังการปรับสภาพต้องล้างทำความสะอาดอย่างทั่วถึง และกำจัดสารตกค้างออกทั้งหมด

2.3 การกัดกร่อนของทองแดงในระดับรุนแรง สามารถสังเกตได้จากการสะสมของเกลือทองแดงสีเขียวถึงฟ้า (Green-to-Blue Copper Salts) ผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนเหล่านี้ต้องกำจัดออกด้วยวิธีเชิงกล เช่น

วิชา การควบคุมการผุกร่อน (Corrosion Control)



- แปรงขนแข็ง
- แปรงลวดทองเหลือง (Brass Wire Brush)
- กระดาษทรายเบอร์ 400
- การพ่นขัดด้วยลูกแก้ว (Glass Bead Blasting) ตาม MIL-SPEC MIL-G-9954 ขนาด 13

ในการพ่นขัดด้วยลูกแก้ว ให้ตั้งแรงดันลมที่หัวฉีด 20–30 psi สำหรับเครื่องแบบ Direct-Pressure ห้ามพ่นขัดท่อทองแดงแบบถัก (Braided Copper Flexible Lines) หลังการซ่อมต้องเคลือบผิวป้องกันกลับคืน และการใช้กรดโครมิกจะช่วยกำจัดผลิตภัณฑ์กัดกร่อนที่หลงเหลืออยู่ได้

2.4 ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ทำจากทองเหลือง (Brass) และบรอนซ์ (Bronze) มักได้รับการป้องกันด้วยการเคลือบแคดเมียม (Cadmium Plating) คราบต่างของแคดเมียม **ไม่ควรถูกกำจัดออก** และไม่ควรทำความสะอาดเชิงกล เว้นแต่เริ่มพบผลิตภัณฑ์กัดกร่อนของทองแดงจริง ๆ

ในกรณีดังกล่าว การกำจัดชั้นแคดเมียมต้องทำให้น้อยที่สุด และจำกัดเฉพาะบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนเท่านั้น

### 3. โลหะผสมไทเทเนียม (Titanium Alloys)

ไทเทเนียมและโลหะผสมไทเทเนียมมีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงมาก เนื่องจากจะเกิดฟิล์มออกไซด์ป้องกัน (Protective Oxide Film) บนผิวโลหะเมื่อสัมผัสอากาศ เมื่อไทเทเนียมถูกให้ความร้อน จะเกิดชั้นออกไซด์ที่มีสีแตกต่างกันตามอุณหภูมิ ได้แก่

- สีฟ้า ที่อุณหภูมิประมาณ 700–800 °F
- สีม่วง ที่อุณหภูมิประมาณ 800–950 °F
- สีเทาหรือดำ ที่อุณหภูมิ 1,000 °F ขึ้นไป

การกัดกร่อนของไทเทเนียมตรวจพบได้ยาก แต่อาจเกิดการเสื่อมสภาพจากคราบเกลือและสิ่งเจือปนของโลหะ โดยเฉพาะเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดคราบผิวหน้าเป็นระยะ

3.1 ทำความสะอาดผิวไทเทเนียมจนปราศจากคราบหรือผลิตภัณฑ์กัดกร่อน โดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งต่อไปนี้

- แปรงลวดสเตนเลส
- ขัดด้วยมือโดยใช้กระดาษทรายหรือแผ่นขัดอะลูมิเนียมออกไซด์
- พ่นขัดแบบแห้งด้วยลูกแก้ว (MIL-SPEC MIL-G-9954) ขนาด 10, 11, 12 หรือ 13 หรือ อะลูมิเนียมออกไซด์ (A-A-59316 Type I) เกรด A หรือ B โดยใช้แรงดันลมที่หัวฉีด 40–50 psi สำหรับเครื่องแบบ Direct-Pressure
- ขัดด้วยมือโดยใช้น้ำยาขัดอะลูมิเนียมและผ้านุ่ม



### 3.2 ห้ามใช้สารทำความสะอาดกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีน (Chlorinated Hydrocarbon Cleaners)

กับโลหะผสมไทเทเนียมที่ใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง เนื่องจากสารดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการแตกร้าวจากการกัดกร่อนภายใต้ความเค้น (Stress-Corrosion) ในไทเทเนียมได้



## บทที่ 6 ปัญหาพิเศษ (SPECIAL PROBLEMS)

### 6.1 การหกั่วไหลของปรอทและความเสียหายจากการกัดกร่อน (Mercury Spills / Corrosion Damage)

6.1.1 การมีอยู่ของปรอท (Mercury) และสารประกอบของปรอท (Mercury Salts) ในสินค้าขนส่งทางอากาศถือเป็นความเสี่ยงที่สามารถเกิดขึ้นได้จริง ระหว่างการบรรทุก การขนถ่าย หรือการเคลื่อนย้ายสินค้า อาจเกิดความเสียหายต่อภาชนะบรรจุ กล่อง หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ปรอทรั่วไหลและสัมผัสกับโครงสร้างอากาศยาน

6.1.2 การหกั่วไหลของปรอทหรือสารประกอบของปรอทภายในอากาศยาน จำเป็นต้องดำเนินการแยกพื้นที่และกักกันทันที เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและการเปราะ (Embrittlement) ของโครงสร้างที่ทำจาก

- อะลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum Alloy)
- สเตนเลสสตีลกลุ่ม 300 และ 400 (300-series, 400-series Stainless Steel)
- ชิ้นส่วนทองเหลืองที่ไม่ชุบผิว เช่น กระจอกปรับความตึงของสายควบคุม (Turnbuckle Barrels)

6.1.3 ปรอทสามารถแทรกซึมเข้าสู่โลหะได้ผ่านกระบวนการอะมัลกัมเมชัน (Amalgamation) โดยผ่านรอยแตกของผิวเคลือบ เช่น อนโนไดซ์ (Anodize), โครเมต/บอนเดอไรต์ (Bonderite), สี หรือซิลแลนต์ พื้นผิวที่ขัดเงา เป็นมัน หรือมีรอยขีดข่วน รวมถึงความชื้น จะเร่งกระบวนการดังกล่าว ปรอทจะโจมตีบริเวณขอบเกรนของโลหะ (Grain Boundaries) ทำให้โครงสร้างเปราะและความแข็งแรงลดลงอย่างรุนแรง โดยในกรณีอะลูมิเนียมอัลลอยที่มีรอยขีดข่วนใหม่ อาจเกิดการทะลุของแผ่นโลหะได้ภายในเวลาเพียง 3-4 นาที

6.1.4 ปรอทเป็นสารพิษสูงและสามารถแพร่กระจายได้ง่ายมาก โดยติดไปกับมือ รองเท้า เสื้อผ้า และเครื่องมือ ข้อควรระวังเมื่อเกิดการหกั่วไหลของปรอท ได้แก่

6.1.4.1 หลีกเลี่ยงการสัมผัสพื้นผิวที่สงสัยว่าปนเปื้อน ใช้แผ่นไม้หรือแผ่นใยสังเคราะห์รองรับน้ำหนักขณะทำงาน

คำเตือน: ห้ามหยิบปรอทด้วยมือเปล่าโดยเด็ดขาด

6.1.4.2 สวมถุงคลุมรองเท้า (Wing Socks) และชุดป้องกันแบบใช้แล้วทิ้ง เพื่อป้องกันการขีดข่วนผิวโลหะ และกำจัดอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างถูกวิธีหลังใช้งาน



6.1.4.3 ห้ามนำเสื้อผ้าที่ใช้ในพื้นที่ปนเปื้อนไปใช้ในพื้นที่อื่น ให้ทิ้งถุงคลุมรองเท้าและชุดป้องกันในภาชนะโลหะที่ไม่ได้ใช้งาน นอกอากาศยาน และประสานหน่วยงานด้านการจัดการของเสียตามข้อกำหนดของหน่วยงานสาธารณสุข

6.1.4.4 ทำความสะอาดเสื้อผ้า รองเท้า และเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในพื้นที่ปนเปื้อนด้วยน้ำร้อนและสบู่ หรือไอน้ำ ดอกสวานที่ใช้ในพื้นที่ปนเปื้อนต้องทิ้งทันที

6.1.4.5 ล้างมือด้วยสบู่และน้ำอย่างทั่วถึงทุกครั้งหลังสัมผัสปรอท ห้ามรับประทานอาหาร สูบบุหรี่ หรือสิ่งนำมุกก่อนล้างมือ

6.1.4.6 ปรอทสามารถระเหยได้ในอุณหภูมิปกติ หากอากาศไม่ถ่ายเทจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

**คำเตือน:** ต้องจัดให้มีการระบายอากาศที่ดีเสมอ

6.1.4.7 ห้ามใช้ตัวทำละลาย สารขัด หรือวัสดุทำความสะอาดใด ๆ บนพื้นที่ปนเปื้อน เพราะอาจเร่งการกัดกร่อน

6.1.4.8 หากมือปนเปื้อนปรอท ห้ามสัมผัสโลหะเปลือยรอบข้างเพื่อป้องกันการแพร่กระจาย

**6.1.5 แม้มบางกรณีการหกรั่วไหลของปรอทอาจไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเนื่องจากมีชั้นป้องกัน** เช่น สี คราบน้ำมัน หรือสิ่งสกปรก แต่ห้ามประมาท ทุกกรณีต้องถือว่าเป็นอันตราย และต้องตรวจสอบดังนี้

6.1.5.1 ระบุตำแหน่งที่ปรอทหก และนำปรอทออกจากพื้นผิว จากนั้นถอดวัสดุปูพื้น

6.1.5.2 ห้ามถอดแผ่นปิด ช่องตรวจ นอต หมุดย้ำ หรือสลักเกลียวในบริเวณพื้น เนื่องจากปรอทอาจไหลลงสู่โครงสร้างด้านล่าง

6.1.5.3 ตรวจสอบพื้นโลหะ รางเบาะ รางบรรทุก และโครงสร้างใกล้เคียง รวมถึงโครงสร้างใต้พื้น

6.1.5.4 ใช้แว่นขยายกำลังขยาย 10 เท่า ตรวจสอบ หากเริ่มกัดกร่อนจะพบคราบสีเทาอ่อนลักษณะคล้าย “Christmas Tree”

6.1.5.5 หากยังไม่สามารถทำความสะอาดได้ทันที ให้เคลือบด้วยสารป้องกันการกัดกร่อนหรือใช้น้ำมันเครื่องเพื่อชะลอการกัดกร่อนและการแพร่กระจาย

6.1.5.6 ในห้องบรรทุกสินค้าด้านล่าง ให้ใช้เครื่องเอกซเรย์แบบพกพา (Portable X-ray) ตรวจสอบการกัดกร่อนแฝง หยอดปรอทจะปรากฏเป็นจุดสีขาวบนภาพเอกซเรย์

6.1.5.7 ตรวจสอบกระบอกปรับสายควบคุมที่ทำจากทองเหลืองหรือบรอนซ์ หากพบการเปลี่ยนสีเพียงเล็กน้อยให้เปลี่ยนทันที

## 6.1.6 วิธีการเก็บกู้ปรอท

**คำเตือน:** หลีกเลี่ยงการสูดดมไอปรอท



**ข้อควรระวัง:** ห้ามใช้ลมอัดเป่าไล่ปรอท

6.1.6.1 ใช้เครื่องดูดฝุ่นกำลังสูงร่วมกับภาชนะแก้วแบบดักจับ (Trap-Type Glass Container)

6.1.6.2 ใช้ลูกยางดูดน้ำหรือหลอดหยดยา หากไม่มีเครื่องดูดฝุ่น โดยสามารถใช้เทปกาวเซลลูโลสเก็บหยดเล็ก ๆ ได้

6.1.6.3 ทำความสะอาดและตรวจสอบพื้นที่ทันทีหลังพบการหกรั่วไหล

## 6.2 การป้องกันการกัดกร่อนสำหรับอากาศยานเกษตรกรรม (Corrosion Protection for Agricultural Aircraft)

**6.2.1 หลักการทั่วไป** สารเคมีที่ใช้ในการพ่นหรือโปรยทางการเกษตรมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ส่งผลให้โครงสร้างโลหะ ไม้ และผ้าเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ความสะอาดของอากาศยานจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด หากสามารถทำความสะอาดอย่างทั่วถึงทุกวัน จะช่วยลดความจำเป็นของมาตรการป้องกันพิเศษ

### 6.2.2 ข้อควรปฏิบัติ

6.2.2.1 เคลือบโครงสร้างโลหะด้วยไพรเมอร์อีพ็อกซี 2 ชั้น หรือสารป้องกันการกัดกร่อนตาม MIL-C-16173

6.2.2.2 เคลือบสายควบคุมที่ไม่ใช่สแตนเลสด้วยสารป้องกัน หรือเปลี่ยนเป็นสายชนิดทนการกัดกร่อน

6.2.2.3 ตรวจสอบโครงสร้างสำคัญเป็นระยะ หากพบการกัดกร่อนรุนแรงต้องเปลี่ยนชิ้นส่วน

6.2.2.4 เพิ่มช่องเปิดเพื่อให้สามารถตรวจสอบส่วนล่างและด้านท้ายลำตัวได้สะดวก

6.2.2.5 เพิ่มการระบายน้ำและการระบายอากาศภายในโครงสร้าง

6.2.2.6 ในการหุ้มผิวใหม่ ให้เคลือบโครงสร้างโลหะและไม้ด้วยไพรเมอร์อีพ็อกซี 2 ชั้น ตามด้วยสีป้องกัน

6.2.2.7 พ่นสารยับยั้งการกัดกร่อนภายในปีกและลำตัวที่ปิดทึบ

6.2.2.8 ล้างผิวภายนอกด้วยน้ำสะอาดอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง และล้างภายในโดยระมัดระวังไม่ให้กระทบวงจรไฟฟ้า

6.2.2.9 ปิดผนึกช่องเปิดต่าง ๆ ของปีก ลำตัว และผิวควบคุม เพื่อป้องกันฝุ่นและสารเคมีเข้าสู่โครงสร้าง



## บรรณานุกรม

1. Federal Aviation Administration. (2018). *Advisory Circular AC 43-4B: Corrosion Control for Aircraft*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
2. Federal Aviation Administration. (2023). *Advisory Circular AC 43.13-1B: Acceptable Methods, Techniques, and Practices – Aircraft Inspection and Repair*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation.
3. U.S. Department of Defense. (Latest Revision). *MIL-STD-889: Dissimilar Metals*. Washington, D.C.: Department of Defense.
4. U.S. Department of Defense. (Latest Revision). *MIL-C-81706: Chemical Conversion Materials for Coating Aluminum and Aluminum Alloys*. Washington, D.C.: Department of Defense.
5. SAE International. (Latest Revision). *SAE AMS 1604: Corrosion Removing Compound for Aircraft Surfaces*. Warrendale, PA: SAE International.
6. SAE International. (Latest Revision). *SAE AMS-M-3171: Magnesium Alloy – Processes for Pretreatment and Prevention of Corrosion*. Warrendale, PA: SAE International.
7. U.S. Department of Defense. (Latest Revision). *MIL-G-9954: Glass Beads for Cleaning and Peening*. Washington, D.C.: Department of Defense.
8. U.S. Department of Defense. (Latest Revision). *MIL-C-16173: Corrosion Preventive Compound, Solvent Cutback, Cold Application*. Washington, D.C.: Department of Defense.
9. ASM International. (2010). *ASM Handbook, Volume 13A: Corrosion – Fundamentals, Testing, and Protection*. Materials Park, Ohio: ASM International.
10. Fontana, M. G. (1986). *Corrosion Engineering* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill Book Company.
11. Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
12. Boeing Commercial Airplanes. (Latest Revision). *Structural Repair Manual (SRM)*. Seattle, WA: The Boeing Company.



13. Lockheed Martin Aeronautics Company. (Latest Revision). *Aircraft Structural Repair and Corrosion Control Manuals*. Fort Worth, TX: Lockheed Martin.
14. International Organization for Standardization. (2014). *ISO 8044: Corrosion of Metals and Alloys – Basic Terms and Definitions*. Geneva: ISO.
15. American Society for Nondestructive Testing. (2016). *ASNT Handbook, Volume 1: Nondestructive Testing Overview*. Columbus, OH: ASNT.

