รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของเหล็กชุบสังกะสี ความต้านทานการกัดกร่อนสูง

Investigation and Development of the Performance of High Corrosion Resistant Galvanized Steels

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

จัดทำโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนันท์ บุญยงมณีรัตน์ และคณะ
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2557

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของเหล็กชุบสังกะสี
ความต้านทานการกัดกร่อนสูง

Investigation and Development of the Performance of
High Corrosion Resistant Galvanized Steels

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

จัดทำโดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนันท์ บุญยงมณีรัตน์ และคณะ
สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2557

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และขอขอบพระคุณบริษัท บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) คุณศิษฏ์ คุ้มเศรณี คุณสุกัญญา ทรัพย์เกิด และทีมงานในฝ่ายบำรุงรักษาและตรวจสอบ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและร่วมดำเนินการในการทดสอบชิ้นงานในบรรยากาศใกล้น้ำทะเลในการศึกษาวิจัยนี้

เอชหมู่
เอชทะเบียน 018106
วัน, เดือน, ปี 6 ก.พ. 62

สารบัญ

1.	บทนำ	2
2.	วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
3.	ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	4
4.	แผนการวิจัย	8
5.	ผลการทดลองและอภิปรายผล	10
6.	สรุปผลการวิจัย	21
7.	ผลลัพธ์	30
8.	เอกสารอ้างอิง	30

คณะผู้วิจัย

ชื่อผู้รับผิดชอบ	หน้าที่รับผิดชอบ	สัดส่วนความรับผิดชอบ
หัวหน้าโครงการ: อาจารย์ ดร.ยุทธนันท์ บุญยงมณีรัตน์ หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4243 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : yuttanant.b@chula.ac.th	• วางแผนงานและดูแลกิจกรรมในภาพรวมของโครงการ • ศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยีการผลิตเหล็กขุบสังกะสีและปัญหาการกัดกร่อน	20 %
ผู้ร่วมงาน		
1. **อาจารย์ ดร. ณัฏฐิตา ขวนเกริกกุล** หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4234 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : Nutthita.c@chula.ac.th	• สืบค้นข้อมูลด้านกระบวนการขุบเคลือบสังกะสี และสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กขุบสังกะสี	10 %
2. **ดร. สุพิณ แสงสุข** หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4243 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : Supin.t@chula.ac.th	• ศึกษาและพัฒนากระบวนการเคลือบ Passivation เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กขุบสังกะสี	10 %
3. นางสาวปราณี รัตนวลีดิโรจน์ หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4221 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : pranee.r@chula.ac.th	• ศึกษาและพัฒนากระบวนการเคลือบ Passivation เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กขุบสังกะสี • กำกับดูแลด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการขุบสังกะสี	15%
4. นางสาวกนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4233 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : kanokwan.s@chula.ac.th	• ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กขุบเคลือบ	15%

ชื่อผู้รับผิดชอบ	หน้าที่รับผิดชอบ	สัดส่วนความรับผิดชอบ
ผู้ร่วมงาน		
5. นายจุมพฏ วานิชสัมพันธ์ หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4219 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : wjumpot@chula.ac.th	• เตรียมชิ้นงานเหล็กขุบสังกะสีด้วยเครื่องขุบสังกะสีอัตโนมัติระดับประลอง • วิเคราะห์ชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์, SEM, XRD	10 %
6. นายอดิศักดิ์ ถือพลอย หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4241 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : Adisak.T@chula.ac.th	• เตรียมชิ้นงานเหล็กขุบสังกะสีด้วยเครื่องขุบสังกะสีอัตโนมัติระดับประลอง • ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแบบละอองเกลือ	10 %
7. นางสาวสวลี เสนาพิทักษ์ หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4241 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : sawalee.s@chula.ac.th	• ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานด้วยเครื่องโพเทนชิโอสแตท • เป็นผู้ประสานงานโครงการ	10 %

หน่วยงานรับผิดชอบหลัก

สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่
เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 02-218-4209-10 โทรสาร 02-611-7586

บทสรุปผู้บริหาร

โครงงานวิจัยนี้ศึกษาถึงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีการผลิตเหล็กชุบสังกะสีแบบใหม่ ที่เรียกชื่อว่า Galvaniche เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมและชุมชนของประเทศไทย ตลอดจนหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กชุบสังกะสีให้เหมาะสมกับสภาวะบรรยากาศจริงของประเทศไทย งานวิจัยได้ชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีชุบเคลือบ Galvaniche สามารถประยุกต์ใช้กับชิ้นส่วนเหล็กโครงสร้างเพื่อป้องกันการกัดกร่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างค่อนข้างซับซ้อนและที่ใช้งานในบริเวณใกล้น้ำทะเล เช่น น็อตสกรู โดยให้ผิวชุบเคลือบที่เรียบ เงา ชั้นเคลือบมีความสม่ำเสมอและเข้าซอกได้ดี การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของอ่าวไทยเป็นเวลา 1 ปี และการทดสอบด้วยการพ่นละอองเกลือเป็นเวลา 432 ชั่วโมง ล้วนแสดงให้เห็นว่า Galvaniche สามารถปกป้องผิวเหล็กจากการกัดกร่อนและเกิดสนิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหนือกว่า Galvanizing และ zinc electroplating รวมถึงเมื่อเทียบกับเหล็กเสตนเลส 304 ด้วยเช่นกัน

1. บทนำ

เหล็กเป็นวัสดุพื้นฐานที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ในครัวเรือนไปจนถึงผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น วัสดุก่อสร้าง ชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติเด่นด้านความแข็งแรงและความเหนียว จึงทำให้สามารถขึ้นรูปและดัดโค้งงอได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยของเหล็กที่ทราบกันดีคือ การกัดกร่อนและการเกิดสนิม ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ที่ทำให้เหล็กเกิดการเสื่อมสภาพ การเกิดสนิมมีผลทำให้สมบัติความแข็งแรงและความเหนียวของเหล็กลดลง ซึ่งเป็นปัจจัยที่เสี่ยงต่อการใช้งาน โดยเฉพาะในกรณีของเหล็กรูปพรรณที่ใช้ในงานก่อสร้างหรือผลิตสิ่งปลูกสร้างและโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น อาคารที่อยู่อาศัย, สะพาน, เสาไฟฟ้า, แท่นขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น นอกจากนี้ในกรณีของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่นั้น การถอดชิ้นส่วนเพื่อเปลี่ยนอะไหล่ชิ้นใหม่เข้าไปทดแทนชิ้นส่วนเก่าที่เสื่อมสภาพจากการกัดกร่อนเป็นขั้นตอนที่ทำได้ยาก มีค่าใช้จ่ายสูง และส่งผลกระทบต่อกระบวนการหรือกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น ในงานโครงสร้างแท่นขุดเจาะน้ำมันในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ชิ้นส่วนเหล็กโครงสร้างซึ่งมีการเคลือบด้วยสังกะสีมีความจำเป็นที่ต้องได้รับการซ่อมแซมทุก 3 ปี จากปัญหาการกัดกร่อนคิดเป็นมูลค่ากว่า 16 ล้านบาทต่อปีต่อ 1 แท่นขุดเจาะ สำหรับในอุตสาหกรรมเคมี เช่น โรงงานกลั่นน้ำมันหนึ่งๆ ในประเทศไทยมีค่าใช้จ่ายในการทำรุงซ่อมแซมเหล็กเคลือบสังกะสีที่เสียหายกว่า 15 ล้านบาทต่อปี ในส่วนของอาคารที่อยู่อาศัยและโครงสร้างสำหรับสาธารณูปโภคพื้นฐาน หากมีการกักขังของน้ำ เช่น จากปัญหาน้ำท่วมก็สามารถก่อให้เกิดการกัดกร่อนของชิ้นส่วนเหล็กที่สำคัญต่อโครงสร้าง เช่น ผนัง, หลังคา, เหล็กข้ออ้อยเสริมแรงคอนกรีต, โครงสร้างของเสาไฟฟ้าแรงสูงได้เช่นกัน ดังนั้นการป้องกันการกัดกร่อนหรือการเกิดสนิมของเหล็กจึงเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประเด็นที่มีความน่าสนใจในการวิจัย

ทั้งนี้ในช่วงปี พ.ศ. 2551 – 2553 คณะผู้วิจัยได้ดำเนินงานวิจัยโครงการ "การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน" โดยการสนับสนุนจากสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย จากงานวิจัยนั้น

คณะผู้จัยได้พัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิวเหล็กด้วยสังกะสีแบบใหม่ขึ้นมีชื่อว่าเทคโนโลยี "Galvaniche" โดยจากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคการพ่นละอองเกลือ พบว่า เหล็กขึ้นงานตัวอย่างที่เคลือบสังกะสีด้วยแนวทางใหม่นี้มีความต้านทานต่อการเกิดสนิม (10 % Red Rust) ที่ดีกว่าเหล็กชุบสังกะสีทั่วไปถึงกว่า 1,300 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย (ประมาณ 6 เท่า) ถึงแม้ชั้นเคลือบอัลลอยสังกะสีจะบางกว่า 3 เท่าก็ตาม

โครงงานวิจัยนี้จะเป็นการต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานดังกล่าว เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีการผลิตเหล็กชุบสังกะสีแบบใหม่ เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมและชุมชนของประเทศไทย ตลอดจนหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กชุบสังกะสีให้เหมาะสมกับสภาวะบรรยากาศจริงของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและแนวทางประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชุบเคลือบ Galvaniche สำหรับเหล็กชุบสังกะสีที่นำไปใช้งานในบริเวณใกล้น้ำทะเล

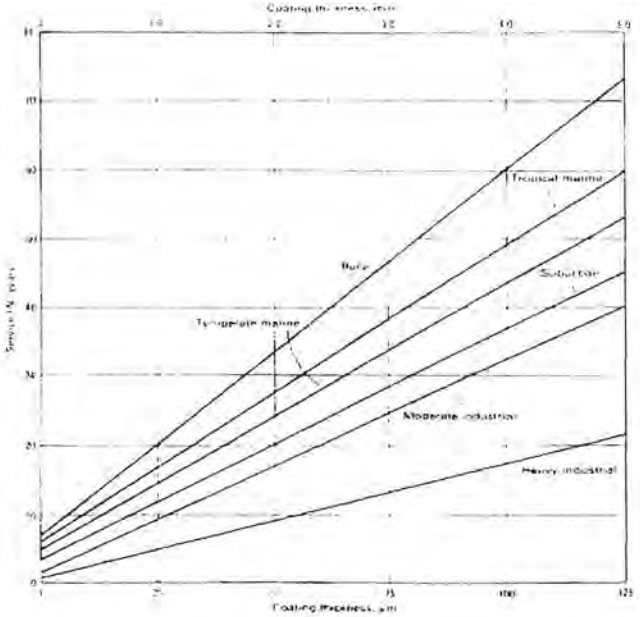
2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กชุบเคลือบชนิดต่างๆ และเหล็กชุบสังกะสี Galvaniche ต่อสภาวะบรรยากาศของประเทศไทย

2.3 เพื่อเข้าใจถึงความเชื่อมโยงของผลการทดสอบสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กชุบสังกะสีระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องจำลองสภาวะการกัดกร่อน และการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีกับการทดลอบภายใต้บรรยากาศจริงที่สภาวะใกล้น้ำทะเล

2.4 เพื่อการพัฒนาบุคลากรวิจัย และเสริมประสบการณ์และศักยภาพของกลุ่มวิจัย นำไปสู่การพัฒนาเป็นศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทาง (Center of Excellence) ด้านการวิจัยและพัฒนาวัสดุโลหะต้านทานการกัดกร่อน

3. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การกัดกร่อนของเหล็กก่อให้เกิดความเสียหาย เป็นอันตรายและเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นจำนวนมากดังที่แสดงไว้ข้างต้น โดยเมื่อนำเหล็กไปใช้งานเหล็กจะสัมผัสกับบรรยากาศและความชื้นทำให้เหล็กสูญเสียอิเล็กตรอน นำไปสู่การกัดกร่อนและการเกิดสนิม การเคลือบสังกะสีบนผิวเหล็กจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนให้กับเหล็ก โดยสังกะสีช่วยทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นระหว่างผิวเหล็กกับสภาวะแวดล้อม (barrier Protection) ป้องกันผิวเหล็กจากการสัมผัสกับความชื้นและบรรยากาศ อีกทั้งยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนในแบบแคโทดิก (cathodic protection) โดยเมื่อสังกะสีหลุดล่อนไปบางส่วนและผิวเหล็กเริ่มสัมผัสกับบรรยากาศ เหล็กจะยังคงได้รับการป้องกันจากการกัดกร่อนไว้ได้ [1] อย่างไรก็ตีการกัดกร่อนของผิวเคลือบสังกะสีสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อใช้งาน โดยสังกะสีจะผุกร่อนออกไปพร้อมกับการเกิดสนิมของสังกะสี ($ZnCO_3$; $ZnOH_2$) เมื่อสังกะสีได้สลายไประดับหนึ่ง ท้ายที่สุดสนิมสีแดงของเหล็ก (Fe_2O_3) จะปรากฏขึ้น ซึ่งแสดงว่าการกัดกร่อนได้เกิดขึ้นในชั้นผิวเหล็กกล้า ทั้งนี้ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กชุบสังกะสี โดยทั่วไปแล้วขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นเคลือบสังกะสี ประสิทธิภาพของชั้นเคลือบ และสภาวะบรรยากาศที่นำเหล็กไปใช้งานดังแสดงในกราฟด้านล่าง



รูปที่ 1 จำกัดเวลาการใช้งานของเหล็กชุบสังกะสีแบบดั้งเดิมที่ความหนาชั้นเคลือบและสภาวะบรรยากาศต่างๆ [2]

ปัจจุบันได้มีความพยายามในการพัฒนาเทคนิคการเคลือบสังกะสีขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชั้นเคลือบสังกะสีในการใช้งานในสภาวะที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น สภาวะน้ำทะเลซึ่งมีปริมาณคลอไรด์สูง ซึ่งสามารถทำลายชั้นฟิล์ม passivation บนผิวโลหะลง นำไปสู่การกัดกร่อนในอัตราที่รวดเร็ว อย่างไรก็ดี ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเหล็กชุบสังกะสีที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิคต่างๆ เมื่อใช้งานในสภาวะบรรยากาศของประเทศไทยยังมีอยู่โดยจำกัด

เทคนิคการเคลือบสังกะสี 2 ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้มีดังนี้

1) การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนวิธีการดั้งเดิม (Galvanizing)

การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การเตรียมผิว (surface pretreatment) และการชุบชิ้นงานในบ่อสังกะสีหลอมเหลว วิธีการเตรียมผิวเหล็กก่อนการชุบสังกะสีเริ่มด้วยขั้นตอนการจุ่มชิ้นงานในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่าง (caustic cleaning) เช่น โซดาไฟ

(NaOH) ที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อกำจัดคราบไขมันออกจากผิวชิ้นงาน ต่อด้วยการจุ่มชิ้นงานลงในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid pickling) เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดกำมะถันหรือกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อกำจัดคราบสนิมที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน โดยกรดเหล่านี้สามารถซึมไปตามรอยแยกของชั้นสนิม (Fe_2O_3, Fe_3O_4 และ FeO) และทำการละลายสนิมจากผิวเหล็ก

หลังจากจุ่มกรดแล้ว ชิ้นงานเหล็กจะถูกนำไปเคลือบสารละลายฟลักซ์ที่มีแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวชิ้นงานเกิดคราบสนิมก่อนการชุบสังกะสีและเพื่อช่วยให้เหล็กและสังกะสีมีสมบัติ wettability ที่ดีต่อกัน การเคลือบฟลักซ์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก ฟลักซ์จะลอยปกคลุมอยู่บนผิวสังกะสีหลอมเหลวในบ่อสังกะสี และชิ้นงานเหล็กจะสัมผัสสังกะสีหลังจากเคลื่อนผ่านชั้นฟลักซ์โดยทันที ในวิธีที่ 2 ชิ้นงานจะถูกจุ่มในสารละลายฟลักซ์ในบ่อฟลักซ์ และทำให้แห้งด้วยการอบร้อนก่อนนำไปจุ่มในบ่อสังกะสีต่อไป

บ่อสังกะสีหลอมเหลวมักทำจากเหล็กที่มีโลหะเจือต่ำหรือเซรามิก อุณหภูมิที่นิยมใช้อยู่ที่ประมาณ 450 °C (สังกะสีมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 419.5 องศาเซลเซียส) โดยน้ำสังกะสีอาจมีโลหะชนิดอื่นเจืออยู่เล็กน้อย เช่น อะลูมิเนียม (Al) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) และนิกเกิล (Ni) การเจือโลหะทำเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของสังกะสีหลอมเหลว เช่น ให้มีความหนืดต่ำ และเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับผิวเหล็ก เป็นต้น ชิ้นงานที่ดึงขึ้นจากบ่อสังกะสีแล้ว ทำให้เย็นตัวได้โดยทิ้งไว้ในอากาศ หรือทำให้เย็นด้วยอย่างรวดเร็วในน้ำ

ทั้งนี้การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน ยังแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการหลัก คือ กระบวนการชุบสังกะสีแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) และกระบวนการชุบสังกะสีแบบไม่ต่อเนื่อง (Non-continuous Process หรือ General Galvanizing) โดยในกระบวนการแรกใช้กับชิ้นงานขนาดยาว เช่น ขดลวดเหล็กหรือแผ่นเหล็กม้วนซึ่งจะถูกคลี่ออก และเคลื่อนตัวสู่บ่อในแต่ละขั้นตอนของการชุบสังกะสีอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วที่คงที่ และชิ้นงานมักสัมผัสกับน้ำสังกะสีเพียงไม่กี่วินาที ส่วนในกระบวนการหลังนั้นมักใช้กับ

ชิ้นงานประเภทเหล็กท่อ, เหล็กฉาก, คานเหล็ก และสกรูน็อต โดยชิ้นงานซึ่งถูกจับยึดด้วยระบบเครนจะถูกจุ่มลงในบ่อสารเคมีเตรียมผิวและบ่อสังกะสีด้วยความเร็วและระยะเวลาที่แตกต่างกันออกไป ชิ้นงานมักอยู่ในบ่อสังกะสีเป็นเวลา 1 - 10 นาที [1]

เหล็กชุบสังกะสีที่ผลิตขึ้นโดยวิธีดั้งเดิมนั้นประกอบด้วยโครงสร้างชั้นเคลือบหลายชั้น ซึ่งขณะทำการชุบร้อนนั้น เหล็กและสังกะสีจะแพร่เข้าหากันและทำปฏิกิริยาเกิดเป็นชั้นเคลือบ Fe-Zn Intermetallics เฟสต่างๆ ซึ่งมีส่วนประกอบโลหะและความหนาที่แตกต่างกันไป ชั้นเคลือบ 4 ชั้นที่มักสังเกตพบประกอบด้วย (1) ชั้นเฟสแกมมา (Γ), Fe_3Zn_{10}, ซึ่งอยู่ติดกับผิวเหล็ก และมีเหล็กเป็นองค์ประกอบในช่วง 23.5 - 28.0 wt % (2) ชั้นเฟสเดลตา (δ), $FeZn_{10}$ มีปริมาณของเหล็กเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วง 7.0 - 11.5 wt % (3) ชั้นเฟสซีตา (ζ), $FeZn_{13}$ มีปริมาณของเหล็กในช่วง 5 - 6 wt % และ (4) ชั้น เอตา (η) ซึ่งเป็นโลหะสังกะสีเกือบทั้งหมด ทั้งนี้ชั้นเฟส Γ มีขนาดบางมากระดับ ~1 ไมครอน ในขณะที่ชั้นเคลือบเฟส δ และ ζ มีขนาดหนากว่า อยู่ในระดับ 10 – 100 ไมครอน โดยชั้นเคลือบ Fe-Zn Intermetallics ทั้งสองสามารถมีขนาดความหนาเพิ่มขึ้นได้หากเพิ่มระยะเวลาทำการชุบร้อน ส่วนชั้น η เกิดจากน้ำสังกะสีในบ่อชุบที่ติดมากับชิ้นงานเหล็ก ดังนั้นขนาดความหนาจึงถูกควบคุมด้วยความหนืดของน้ำสังกะสี และการควบคุมการไหลของน้ำสังกะสีบนชิ้นงาน [3 - 4]

2) การชุบสังกะสีด้วยเทคนิค Galvaniche

Galvaniche เป็นเทคนิคการชุบสังกะสีที่พัฒนาขึ้นโดยคณะผู้วิจัย โดยขั้นตอนการผลิตจะแตกต่างจากการชุบสังกะสีวิธีดั้งเดิม โดยมีการเคลือบชั้นรองพื้นด้วยไฟฟ้าการชุบร้อนในบ่อสังกะสี ทั้งนี้ชั้นรองพื้นสามารถเตรียมขึ้นได้ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น Electro deposition และ Eletroless deposition ในขั้นตอนการชุบร้อนนั้นสังกะสีหลอมเหลวจะทำปฏิกิริยากับชั้นรองพื้น และให้ชั้นเคลือบที่มีความบางอันเนื่องจากอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาของสังกะสีและชั้นรองพื้นมีค่าต่ำ

จากการศึกษาด้านสมบัติการกัดกร่อนในสภาวะละอองเกลือในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าเหล็ก Galvaniche มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงกว่าเหล็ก Galvanizing เป็นเวลาอย่างน้อย 1,300 ชั่วโมง (ประมาณ 6 เท่า) ถึงแม้ชั้นเคลือบอัลลอยของวัสดุจะมีความบางกว่ากันถึง 3 เท่าก็ตาม [5] นอกจากนี้ ได้มีการพัฒนาแบบจำลองต้นทุนราคา (cost modeling) ของ Galvaniche ขึ้นและได้พบว่า Galvaniche สามารถประยุกต์ใช้ในราคาต้นทุนใกล้เคียงกับการชุบสังกะสีแบบดั้งเดิม [6] ดังนั้น เทคนิค Galvaniche นี้จึงมีโอกาสนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกัดกร่อนให้กับเหล็ก รวมถึงช่วยประหยัดการใช้ทรัพยากรสังกะสีลง

4. แผนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม ดังนี้

4.1 สำรวจและวิเคราะห์ปัญหาการกัดกร่อนในสภาวะบรรยากาศบริเวณใกล้น้ำทะเล

คณะผู้วิจัยจะวิเคราะห์ลักษณะการกัดกร่อนของชิ้นส่วนเหล็กที่มีการใช้อยู่จริงในบริเวณใกล้น้ำทะเล รวมถึงวิธีการเคลือบผิวเหล็กและระยะห่างของชิ้นส่วนเหล็กจากระดับน้ำทะเล ข้อมูลในส่วนนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ซึ่งจะเป็นฐานความรู้สำคัญในการศึกษาและพัฒนาเหล็กเคลือบสังกะสีในขั้นต่อไป

4.2 ผลิตชิ้นงานเหล็กเคลือบสังกะสี

คณะผู้วิจัยดำเนินการผลิตชิ้นงานเหล็กเคลือบสังกะสีด้วยเทคนิค Galvaniche ขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรการผลิต อันได้แก่ ความหนาชั้นเคลือบและองค์ประกอบทางเคมีของชั้นเคลือบที่มีต่อสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนและประสิทธิภาพการใช้งานในสภาวะใกล้น้ำทะเล

ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเป็นสกรูขนาด M16ที่ชุบเคลือบผิว ซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีของลักษณะชิ้นงานเหล็กที่ใช้กันมากในงานสิ่งปลูกสร้าง รวมทั้งมีความจำเป็นที่ต้องได้รับการบำรุงรักษาเป็นอย่างมากในการใช้งานใกล้น้ำทะเล เนื่องจากมักมีอัตราการกัดกร่อนที่สูง และมีความสำคัญในการยึดชิ้นส่วนต่างๆ เข้าไว้

ด้วยกัน ทั้งนี้ การชุบชิ้นงานเหล็กด้วยสังกะสีดำเนินการในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สายการชุบสังกะสีอัตโนมัติระดับประลองที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

4.3 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติการกัดกร่อน

ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิค Galvaniche และชิ้นงานเชิงพาณิชย์ที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิค Galvanizing รวมถึงชิ้นงานเหล็กเสตนเลส ถูกนำไปทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนด้วยเทคนิคต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การทดสอบในสภาวะใกล้น้ำทะเล

คณะวิจัยได้สร้างความร่วมมือกับบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) โดยทางบริษัทได้อนุเคราะห์บริเวณแท่นขุดเจาะน้ำมันในอ่าวไทยให้ใช้เป็นสถานีติดตั้งชิ้นงานสกรูน็อต เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานเป็นระยะเวลา 12 เดือน โดยแบ่งออกเป็น 2 บริเวณ คือ Lower Deck ซึ่งเป็นชั้นเหนือน้ำทะเล 11 เมตร และ Upper Deck ซึ่งเป็นชั้นถัดขึ้นไป ในส่วนนี้ชิ้นงานแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่ม Galvanizing, กลุ่ม Galvaniche และกลุ่ม Electroplated Zinc โดย 2 กลุ่มแรกได้ผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ ส่วนกลุ่มหลังเป็นสกรูที่ทางบริษัทซื้อมาใช้จากทางท้องตลาด โดยในทุกๆ เดือนจะมีการนำชิ้นงานตัวอย่างมาวิเคราะห์ถึงลักษณะและอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น

4.3.2 การทดสอบในสภาวะจำลองละอองเกลือ

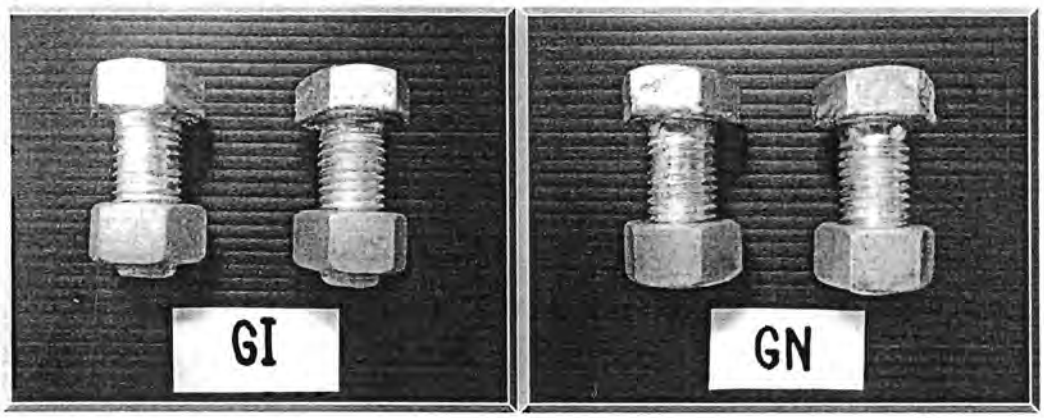
กลุ่มชิ้นงานแผ่นเหล็กถูกนำมาทดสอบภายใต้สภาวะละอองเกลือตามมาตรฐาน ASTM B117 โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 wt % เป็นระยะเวลาประมาณ 20 วัน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะและอัตราการกัดกร่อนเป็นระยะ และทำการวิเคราะห์ถึงความเชื่อมโยงของผลที่ได้จากสภาวะจำลองและสภาวะใกล้น้ำทะเล ในส่วนนี้ชิ้นงานแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มเหล็กกล้าที่ไม่ผ่านการชุบ (CS), กลุ่ม Galvanizing (GI), กลุ่ม Galvaniche (GN) และกลุ่มเหล็กเสตนเลส (SS)

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

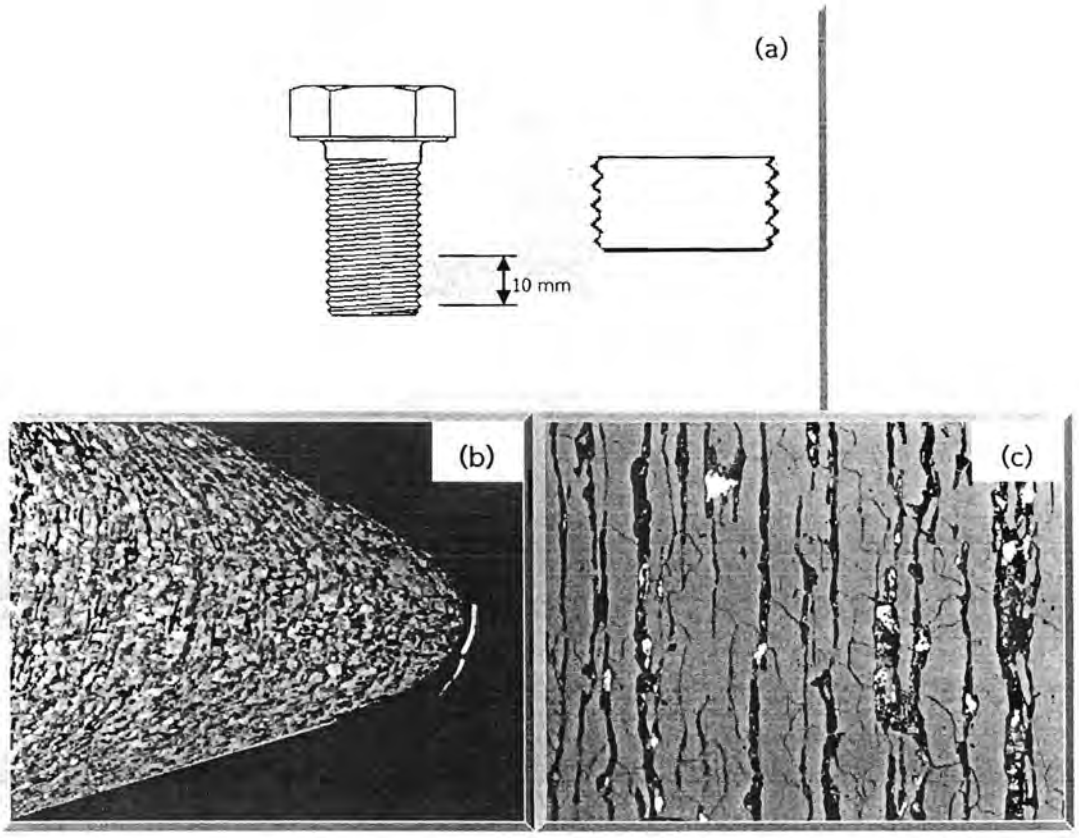
5.1 การผลิตชิ้นงานเหล็กเคลือบสังกะสี

ได้ทำการทดลองผลิตชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีจากชิ้นงานสกรูเหล็กมิลดำ ด้วยวิธีชุบร้อนแบบดั้งเดิมและด้วยแนวทางใหม่ที่มีชั้นเคลือบรองพื้น ขั้นตอนการชุบร้อนที่มีชั้นเคลือบรองพื้นเป็นดังแสดงในแผนภูมิด้านล่าง ส่วนขั้นตอนการชุบร้อนแบบดั้งเดิมมีความคล้ายคลึงกันแต่ไม่มีขั้นตอนชุบเคลือบด้วยไฟฟ้า

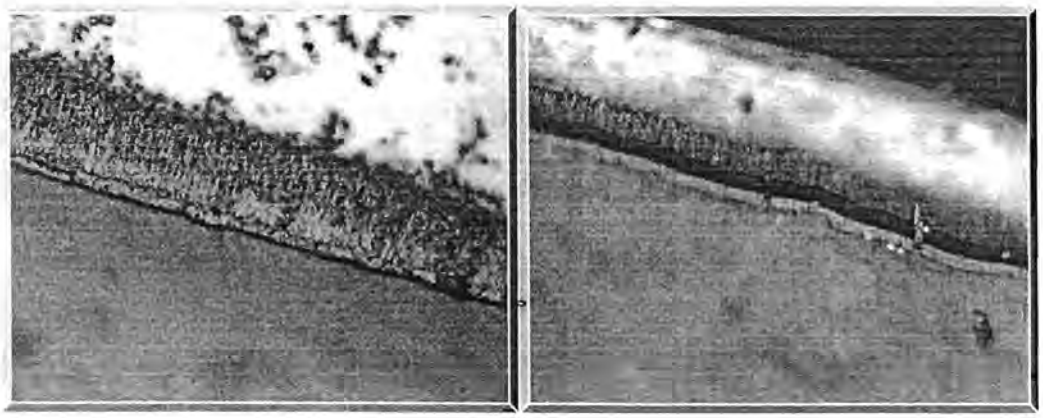
โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นงานที่ผลิตได้มีคุณภาพที่ดีและมีความคล้ายคลึงกันในแต่ละกลุ่มชิ้นงาน สามารถนำไปใช้ในการศึกษาในส่วนต่อไป ภาพด้านล่าง (รูปที่ 2 และ 3) แสดงถึงลักษณะภายนอกและโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งสังเกตได้ว่าชั้นเคลือบมีความสม่ำเสมอและผิวเคลือบ Galvaniche มีความบางกว่าผิวเคลือบ Galvanizing อย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4)



รูปที่ 2 ชิ้นงานสกรูเหล็กชุบสังกะสี Galvanizing (GI) และชิ้นงานสกรูเหล็กชุบสังกะสีด้วยเทคนิค Galvaniche (GN)



รูปที่ 3 (a) ส่วนของชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค (b) โครงสร้างจุลภาคบริเวณเกลียว กำลังขยาย 50X และ (c) แกนกลางของชิ้นงานทดสอบ กำลังขยาย 100X



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของชั้นเคลือบที่บริเวณเกลียวชิ้นงานสกรูเหล็กชุบสังกะสีแบบดั้งเดิม(GI) (ซ้าย) และชิ้นงานสกรูเหล็กชุบสังกะสีด้วยเทคนิค Galvaniche (GN) (ขวา)

5.2 การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อน

หลังจากได้ดำเนินการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงานในบรรยากาศใกล้น้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยเป็นระยะเวลา 12 เดือน และภายใต้สภาวะละอองเกลือตามมาตรฐาน ASTM B117 เป็นระยะเวลาประมาณ 20 วัน ได้ผลที่สำคัญดังนี้

1) รูปที่ 5 - 14 แสดงภาพชิ้นงานกลุ่มต่างๆ ซึ่งได้ติดตั้งที่ Lower deck และ Upper deck ของแท่นขุดเจาะกลางทะเล โดยรูปที่ 5 และ 6 แสดงสภาวะบรรยากาศบริเวณ Lower deck ซึ่งอยู่ใกล้ระดับผิวน้ำทะเลมากกว่า Upper deck มีความรุนแรงในการกัดกร่อนที่สูงกว่า สังเกตจากการเกิดสนิมขาวบนผิวชิ้นงานกลุ่มต่างๆ ตั้งแต่เดือนที่ 3 ทั้งนี้คาดว่าเป็นเพราะไอเกลือจากน้ำทะเลระเหยมาสัมผัสกับผิวชิ้นงานและสะสมอยู่บนผิวชิ้นงานในปริมาณที่มากกว่า ส่วนบริเวณ Upper deck นั้น การที่อยู่ห่างจากผิวน้ำทะเลออกไปทำให้ มีไอเกลือมาปะทะชิ้นงานในปริมาณที่ต่ำกว่า และผิวชิ้นงานมีความชื้นสะสมแต่เพียงน้อย สังเกตจากรูปที่ 7 - 14 การกัดกร่อนของทุกกลุ่มชิ้นงานในบริเวณ Lower deck มีอัตราสูงกว่าที่อยู่ในบริเวณ Upper deck อย่างชัดเจน

2) สำหรับชิ้นงานที่ติดตั้งบริเวณ Upper deck พบว่า มีเฉพาะกลุ่มชิ้นงาน Electroplated Zinc ที่มีสนิมแดงปรากฏอย่างชัดเจน โดยคราบสนิมแดงเริ่มก่อตัวขึ้นและกระจายอยู่ตามสลักเกลียวตั้งแต่เดือนที่ 6 ของการทดสอบ (รูปที่ 9) หลังทำการทดสอบไปเป็นเวลา 12 เดือน พบว่า ปริมาณคราบสนิมแดงนั้นมีอยู่ประมาณ 0.6 % หากประมาณด้วยกฎอัตราการกัดกร่อนแบบเส้นตรงและใช้เกณฑ์การจำกัดสนิมแดงที่ 5 % แล้ว ชิ้นงาน Electroplated Zinc จะมีอายุการใช้งานประมาณ 8 ปี ภายใต้สภาวะบรรยากาศบริเวณ Upper deck ส่วนชิ้นงาน Galvanizing และ Galvaniche นั้น พบว่า มีการกัดกร่อนในปริมาณต่ำกว่ามาก อยู่ที่ 0.04 และ 0.03 ตามลำดับ

3) สำหรับชิ้นงานที่ติดตั้งบริเวณ Lower deck พบว่า ชิ้นงานในกลุ่ม Electroplated Zinc และ Galvanizing เริ่มมีคราบสนิมแดงกระจายอยู่ในเดือนที่ 6 หลังการทดสอบผ่านไปเป็นเวลา 12 เดือน ปริมาณคราบสนิมแดงได้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่ผิวชิ้นงาน Electroplated Zinc โดยมีค่าเท่ากับ 21.2 % ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ชิ้นงาน Electroplated Zinc มีอายุการใช้งานต่ำกว่า 1 ปี ในสภาวะบรรยากาศบริเวณ Lower deck ส่วนชิ้นงาน Galvanizing นั้น มีเปอร์เซ็นต์ Red rust อยู่ที่ 2.5 % ซึ่งประมาณได้ว่าชิ้นงานกลุ่มนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปี สำหรับชิ้นงาน Galvaniche นั้น มีเปอร์เซ็นต์ Red rust 0.3 % ซึ่งประมาณได้ว่าชิ้นงาน Galvaniche จะมีอายุการใช้งานได้ประมาณ 16 ปี

4) รูปที่ 15 แสดงลักษณะชิ้นงานหลังการทดสอบผ่านไปเป็นเวลา 12 เดือน สังเกตได้ว่าคราบสนิมขาวซึ่งเป็นสนิมของสังกะสีกระจายอยู่ตามผิวของชิ้นงานทุกกลุ่ม ส่วนสนิมแดง จะสังเกตพบเด่นชัดได้ในชิ้นงาน Electroplated Zinc พื้นที่ของคราบสนิมแดงที่ปรากฏบนผิวชิ้นงานที่ทำการทดสอบไปเป็นเวลา 12 เดือน สามารถสรุปได้ดังกราฟในรูปที่ 16 ที่แสดงด้านล่าง

5) รูปที่ 17 และรูปที่ 18 แสดงผลการทดสอบการกัดกร่อนด้วยละอองเกลือในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ชิ้นงาน Galvanizing (GI) มีการกัดกร่อนในอัตราที่สูงกว่าชิ้นงาน Galvaniche (GN) อย่างชัดเจน โดยชิ้นงาน Galvanizing ตรวจไม่พบสนิมแดงในประมาณ 100 ชั่วโมงแรกของการ

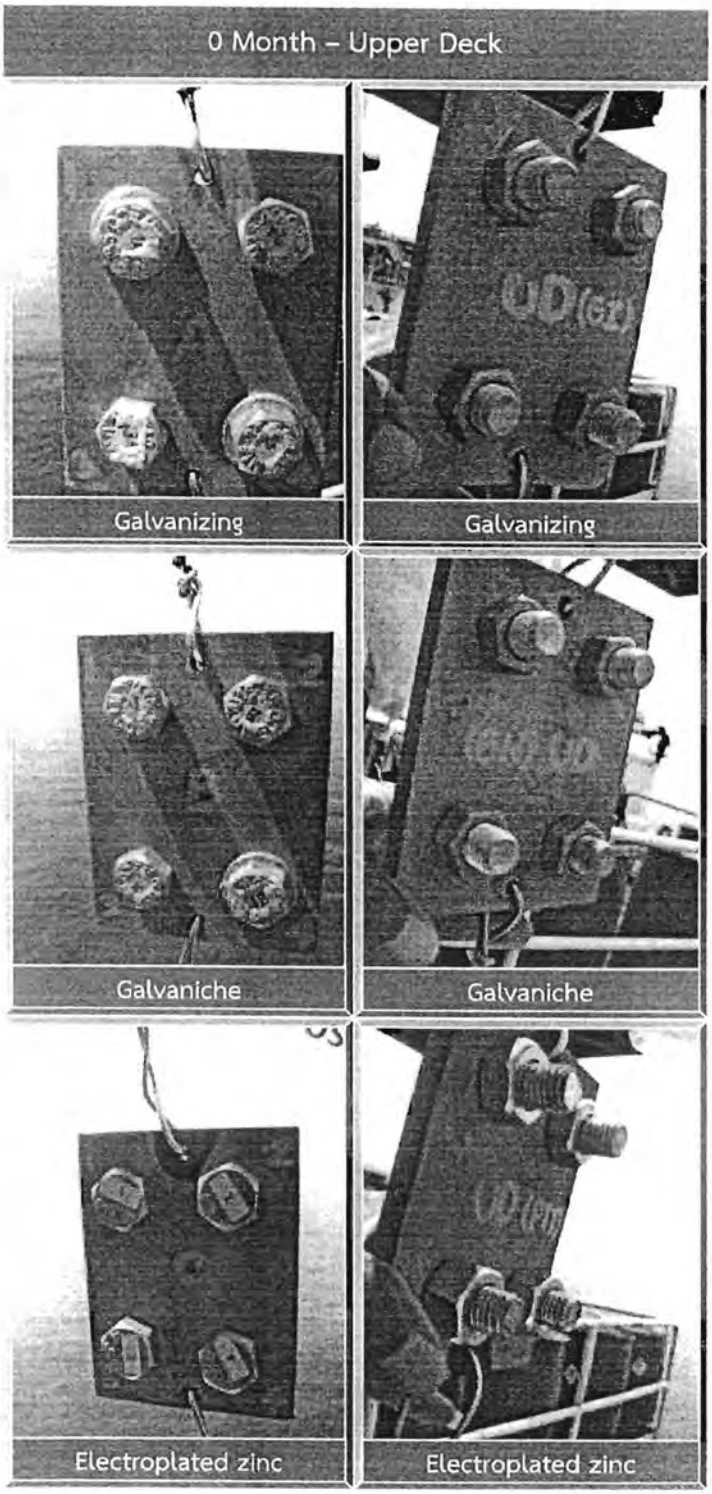
ทดสอบ ในช่วงนี้ผิวเคลือบสังกะสีกำลังทำหน้าที่เป็น Barrier protection ช่วยป้องกันผิวเหล็กจากการสัมผัสกับบรรยากาศ หลังจากนั้นพบว่า การกัดกร่อนเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลาประมาณ 150 – 350 ชั่วโมง ในช่วงนี้คาดว่าผิวเคลือบสังกะสีของชิ้นงานกำลังช่วยป้องกันการกัดกร่อนให้กับเหล็กด้วย Sacrificial protection ตั้งแต่เวลาประมาณ 350 ชั่วโมง เป็นต้นไป พบว่า การกัดกร่อนเกิดขึ้นด้วยอัตราที่สูงขึ้น ในช่วงนี้คาดว่า Sacrificial protection ของผิวเคลือบสังกะสีได้เริ่มลดประสิทธิภาพลง เนื่องจากมีปริมาณสังกะสีที่ถูกกัดกร่อนออกไปแล้วเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การกัดกร่อนของผิวเหล็กดำเนินไปอย่างรวดเร็ว

6) ในส่วนของชิ้นงาน Galvaniche ที่ทดสอบในบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดสอบที่ 432 ชั่วโมง ไม่สามารถตรวจพบคราบสนิมแดงที่ผิวได้เด่นชัด ผลที่ได้นั้นคล้ายคลึงกับที่พบในชิ้นงาน Stainless steel 304 ที่นำมาเปรียบเทียบ จากผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าความต้านทานการกัดกร่อนของ Galvaniche นั้นสูงกว่า Galvanizing และอยู่ในระดับเดียวกับ Stainless steel 304 ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

7) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนที่บรรยากาศน้ำทะเลที่อ่าวไทยและบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการแล้ว พบว่า บรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการมีความรุนแรงในการกัดกร่อนที่สูงกว่ามาก ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไปที่เป็นการเร่งการกัดกร่อน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะชิ้นงานในระยะเวลาทดสอบสั้นๆ

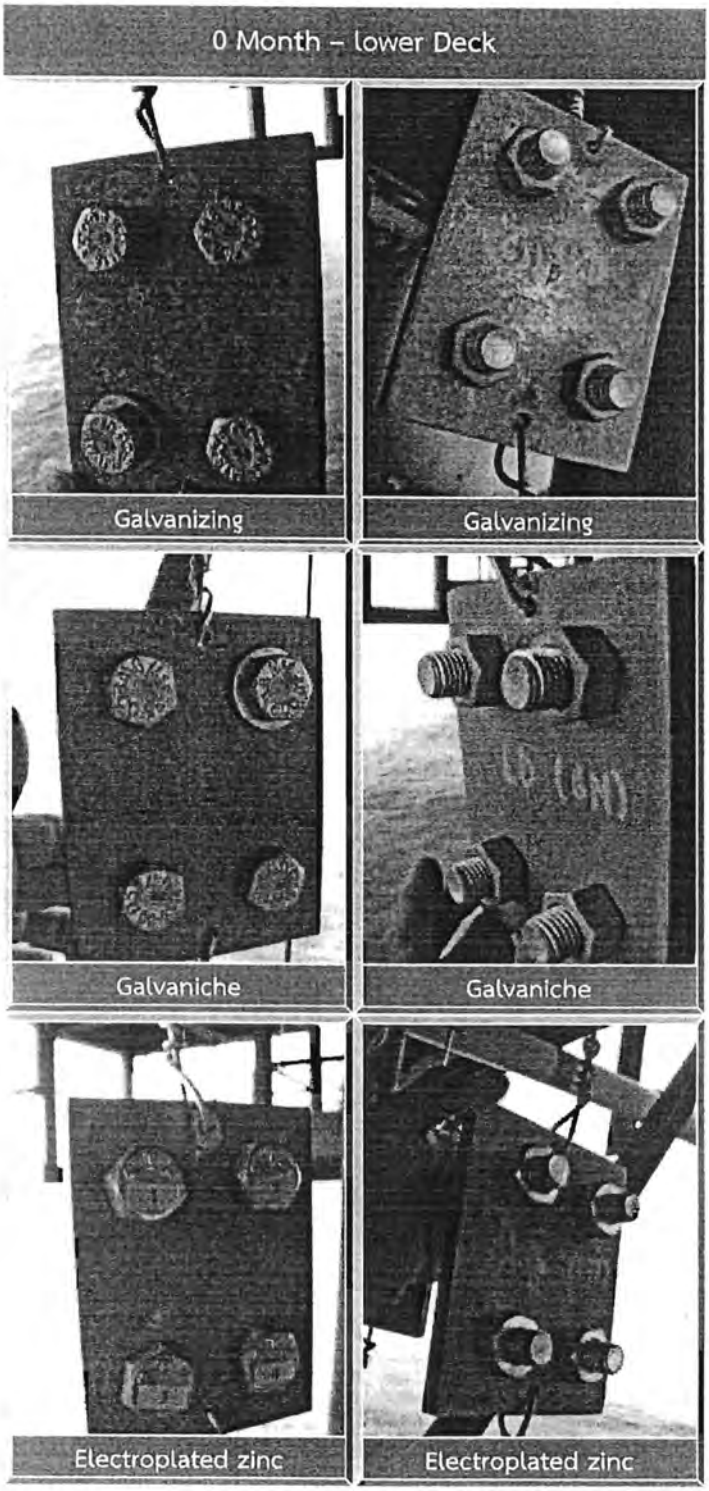
8) ในการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจริงที่บริเวณ Lower deck ชิ้นงาน Galvanizing มีเปอร์เซ็นต์สนิมแดงที่ 2.5 % หลังการทดสอบเป็นเวลา 1 ปี (8,600 ชั่วโมง) คราบสนิมแดงในปริมาณที่เท่ากันนี้เกิดขึ้นบนชิ้นงาน Galvanizing หลังการทดสอบด้วยละอองเกลือในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลาประมาณ 200 ชั่วโมง ดังนั้นอัตราเร่งของบรรยากาศละอองเกลือของห้องปฏิบัติการเทียบกับบรรยากาศบริเวณ Lower deck อยู่ที่ประมาณ 45 เท่า

9) หากใช้ค่าความแตกต่างของความรุนแรงในการกัดกร่อนของ 2 บรรยากาศนี้ผนวกกับผลการทดลองในบรรยากาศจริงในการคำนวณความต้านทานการกัดกร่อนของ Galvaniche ในบรรยากาศละอองเกลือจะได้ว่า Galvaniche ที่ทดสอบในบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการจะมีคราบสนิมแดงเกิดขึ้นในปริมาณ 5 % เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 4 เดือน ค่านี้ถือว่าเป็นค่าที่สูงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับ Galvanizing และสารเคลือบ Fluoropolymer ที่มีความต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการในระดับ 200 และ 2,000 ชั่วโมง ตามลำดับ

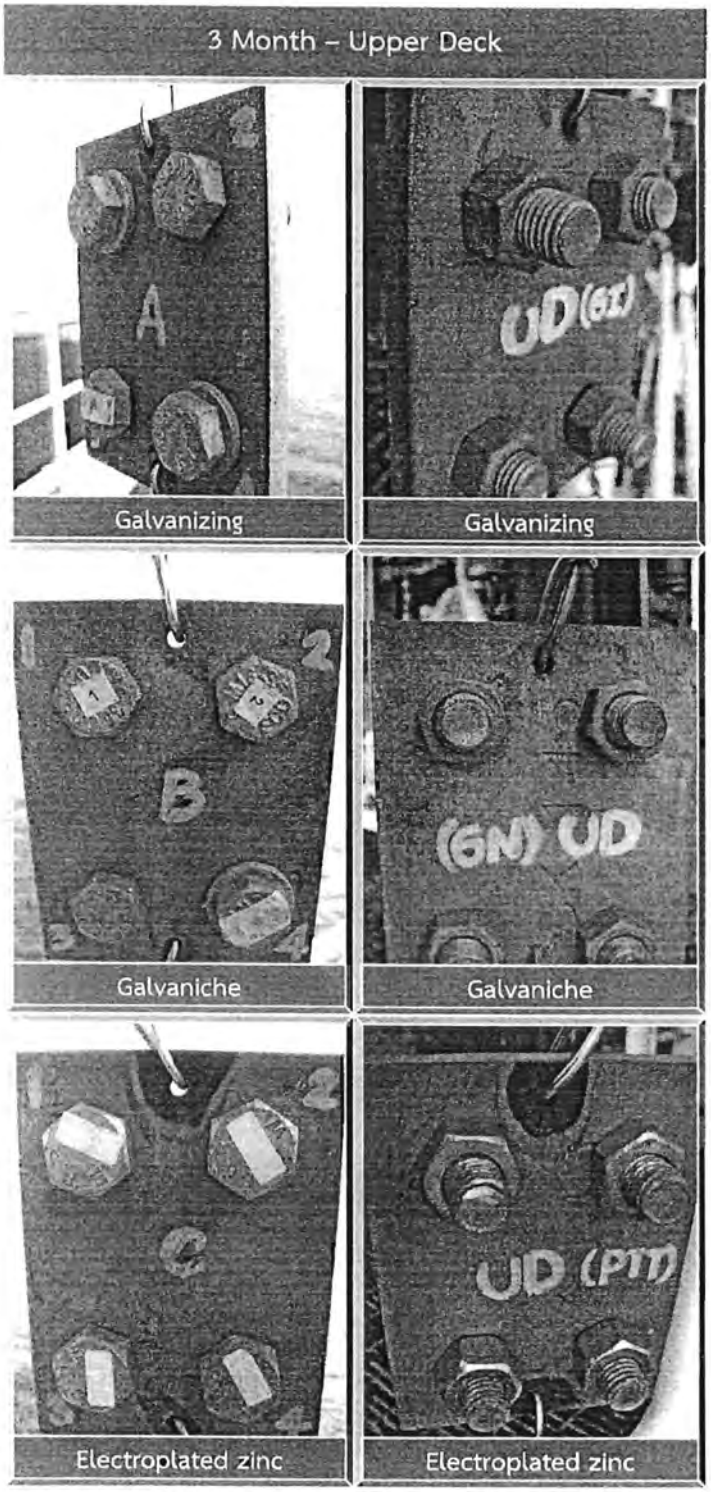


รูปที่ 5 การติดตั้งชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Upper Deck ของแท่นขุดเจาะเพื่อทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเล

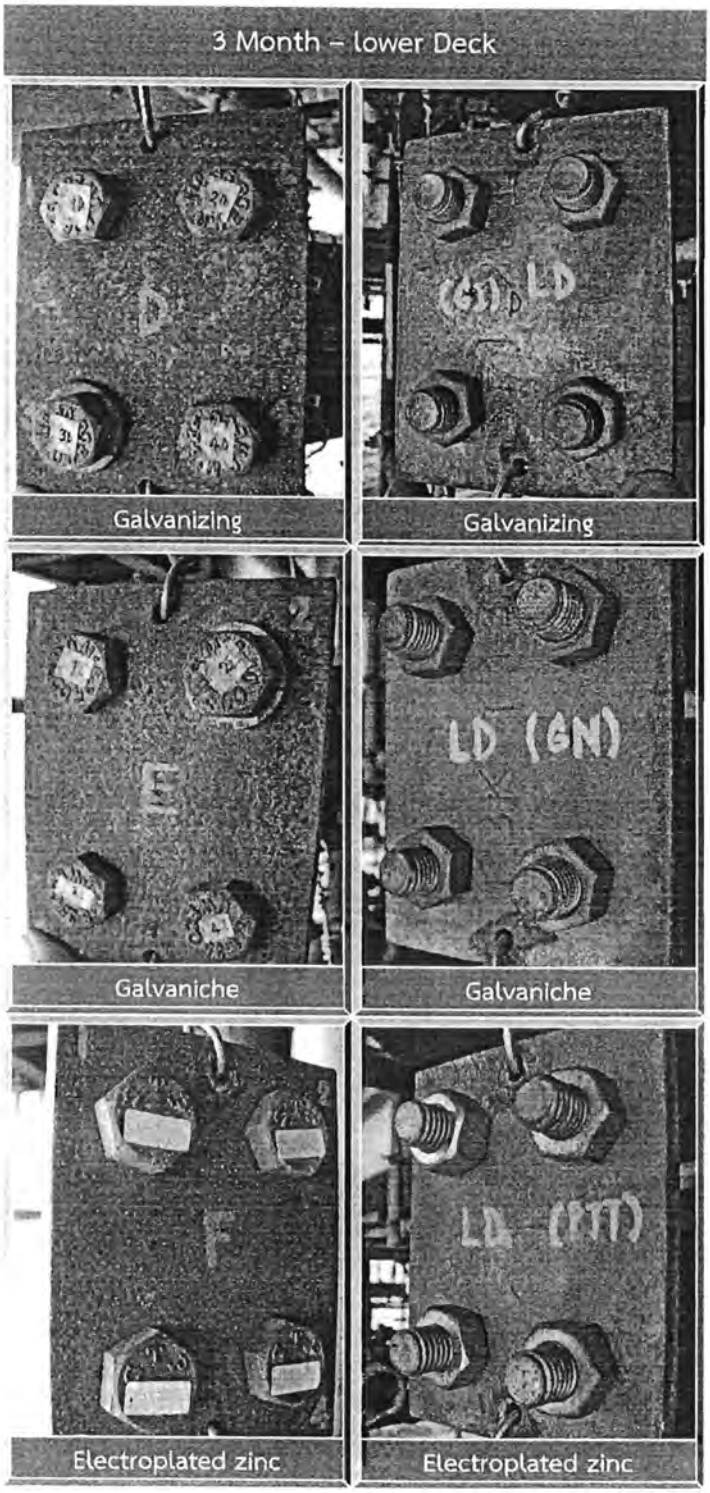
i28211881



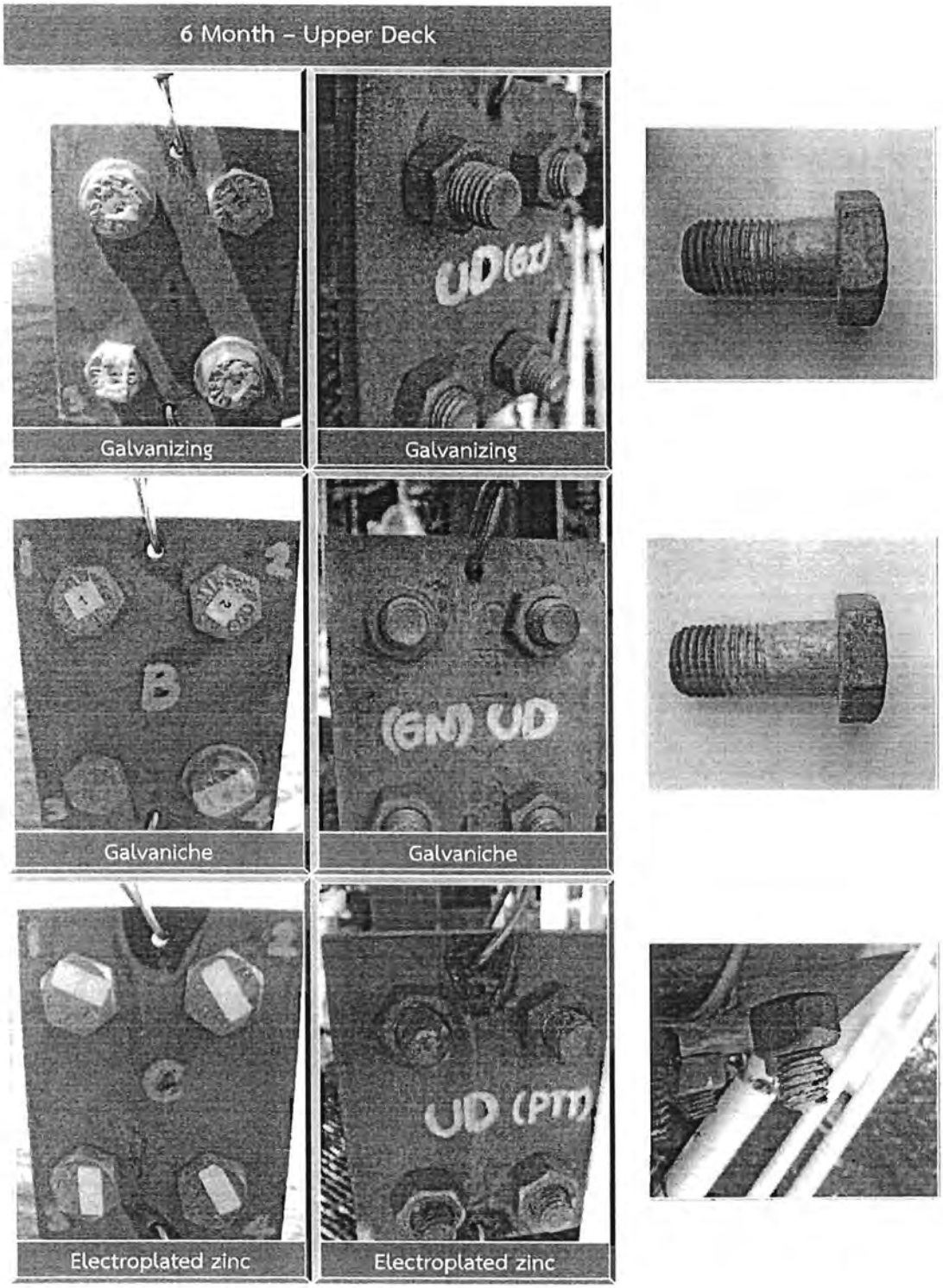
รูปที่ 6 การติดตั้งชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะเพื่อทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเล



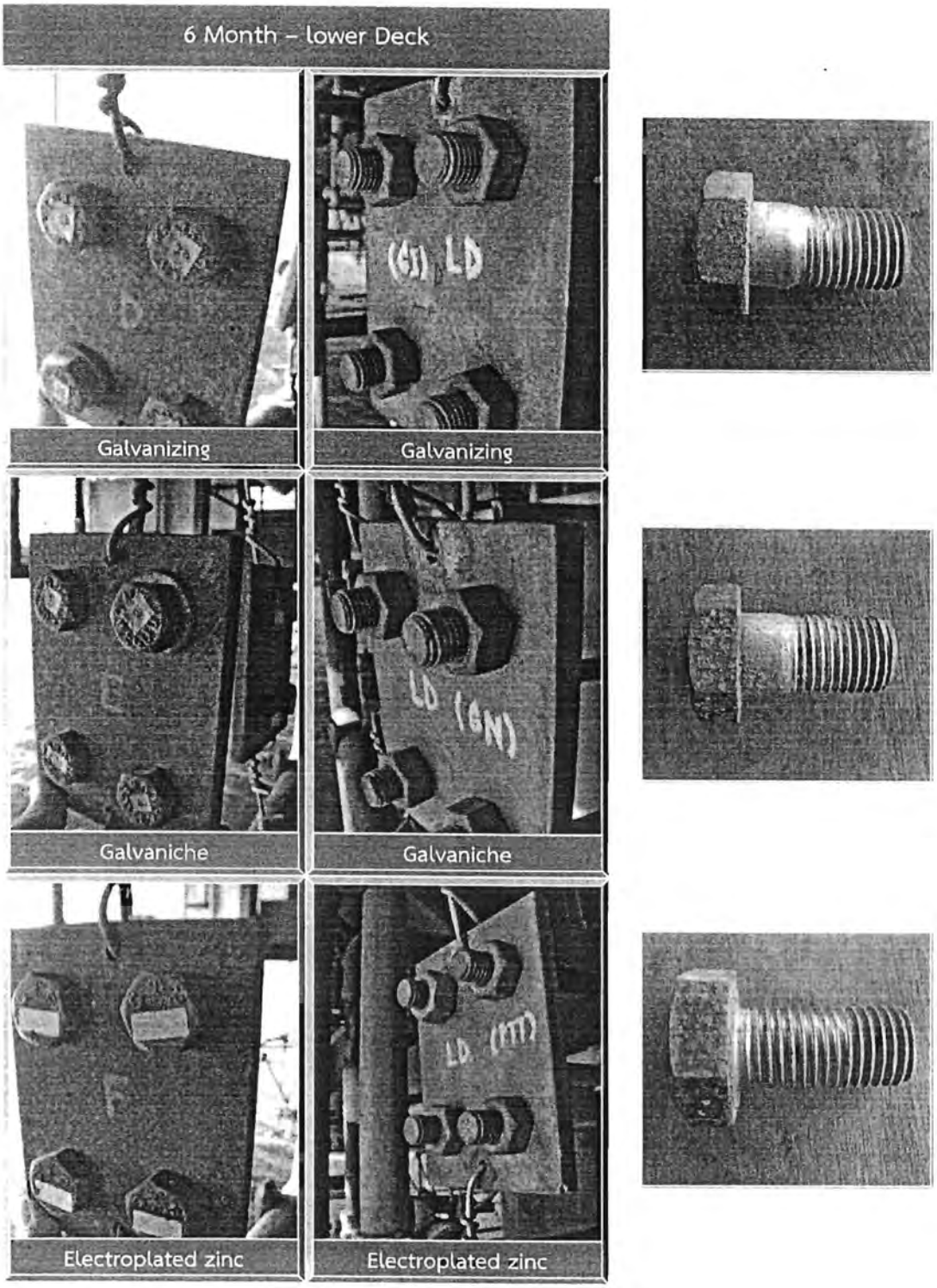
รูปที่ 7 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Upper Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน



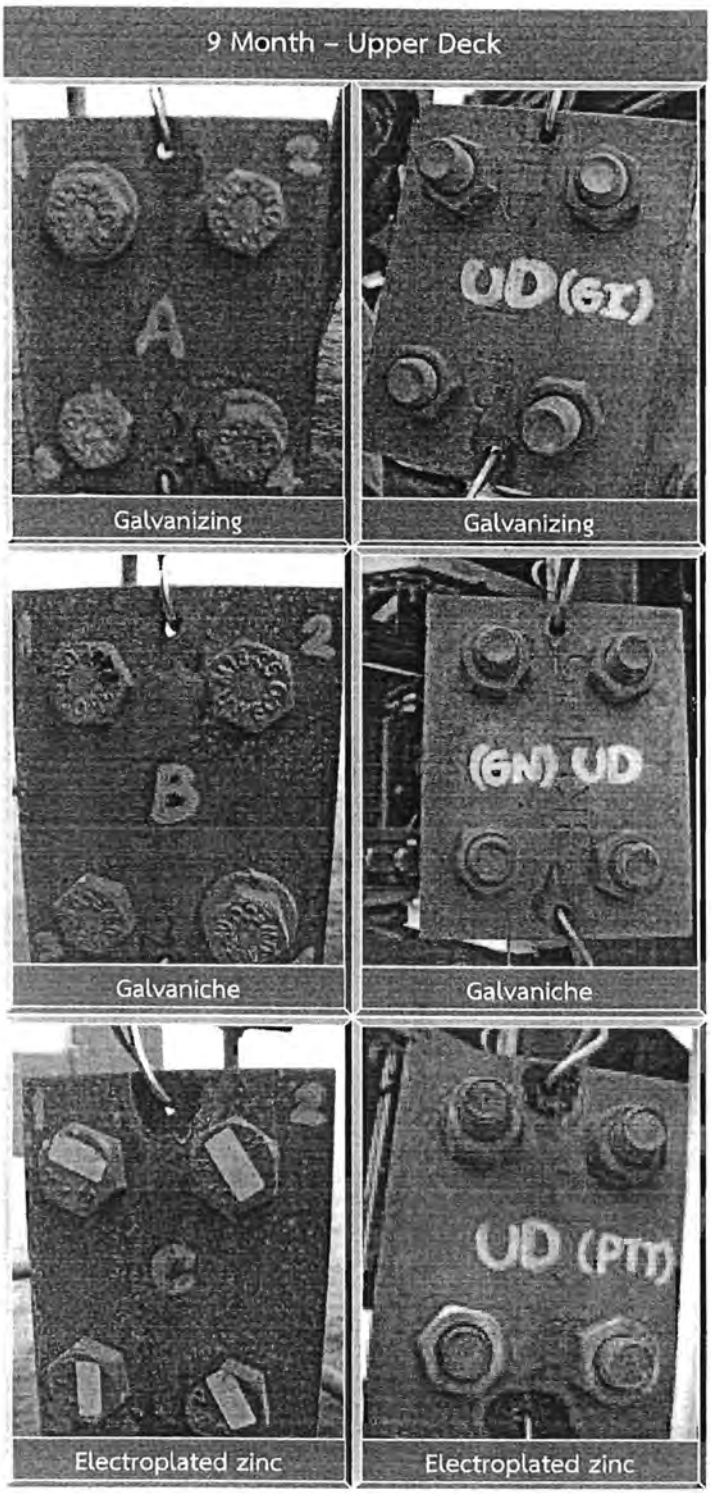
รูปที่ 8 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน



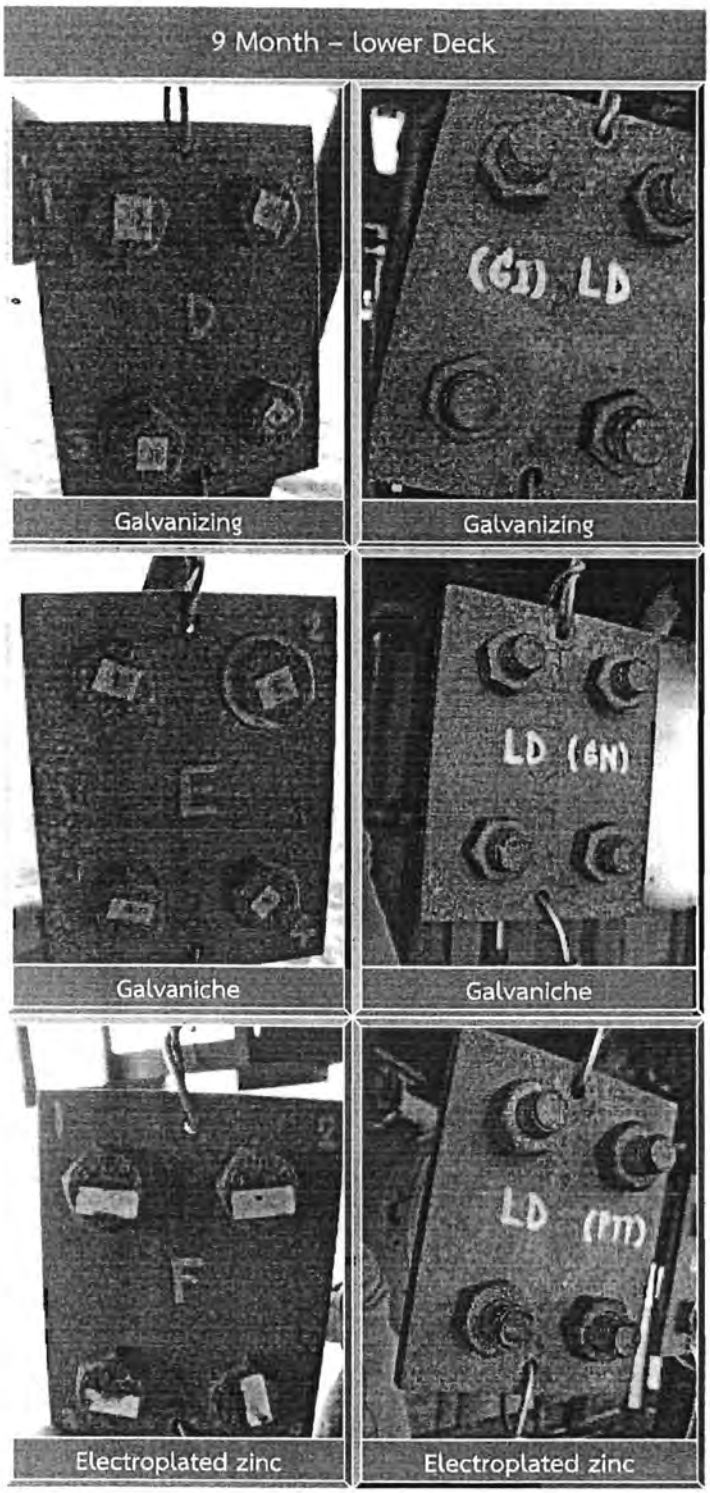
รูปที่ 9 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Upper Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน



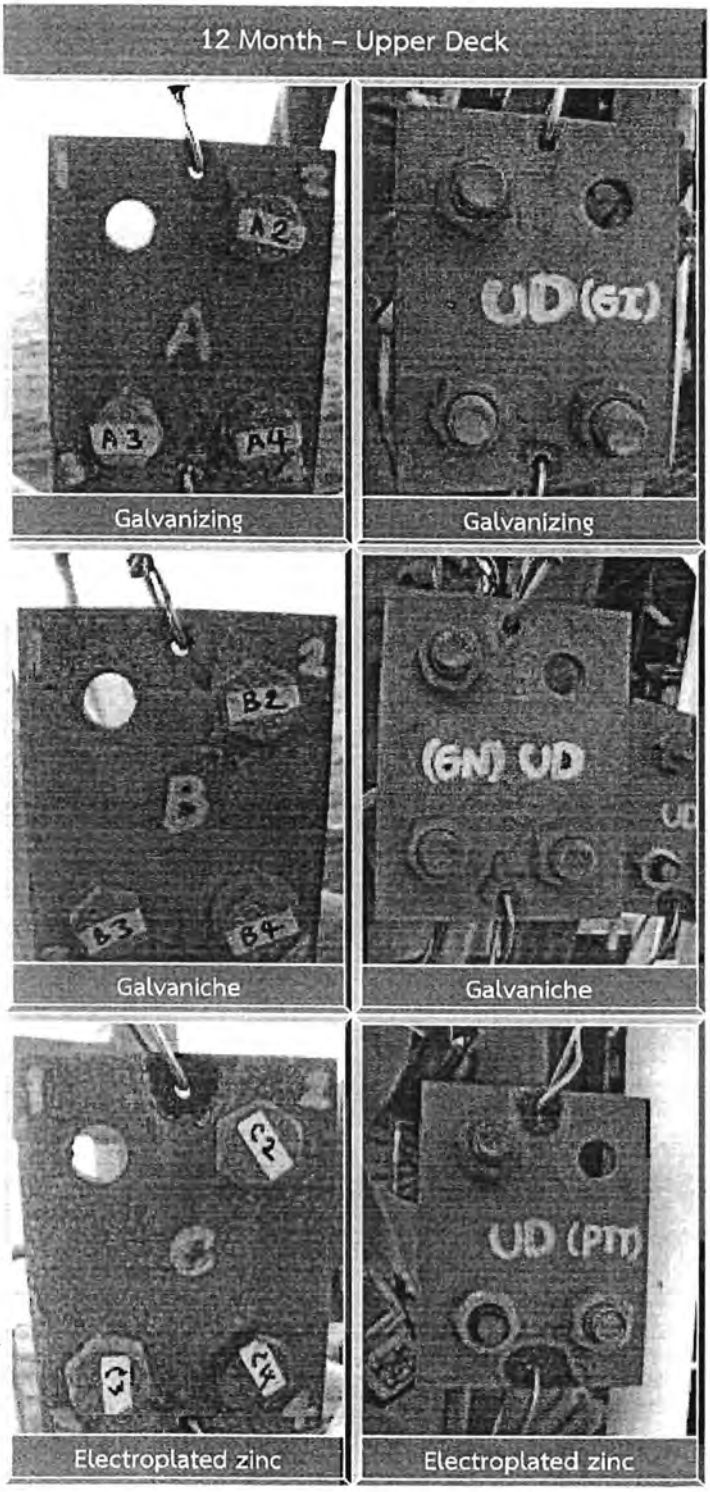
รูปที่ 10 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน



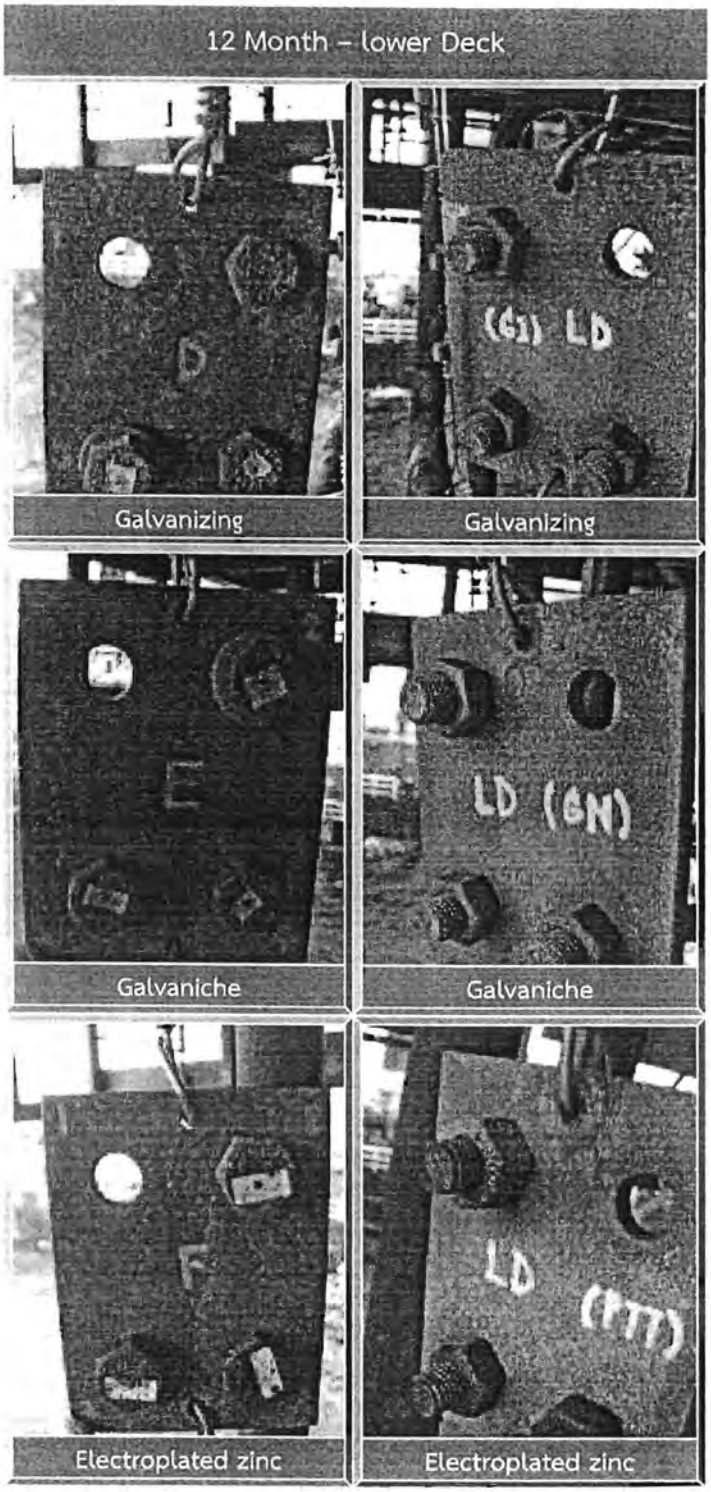
รูปที่ 11 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Upper Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 9 เดือน



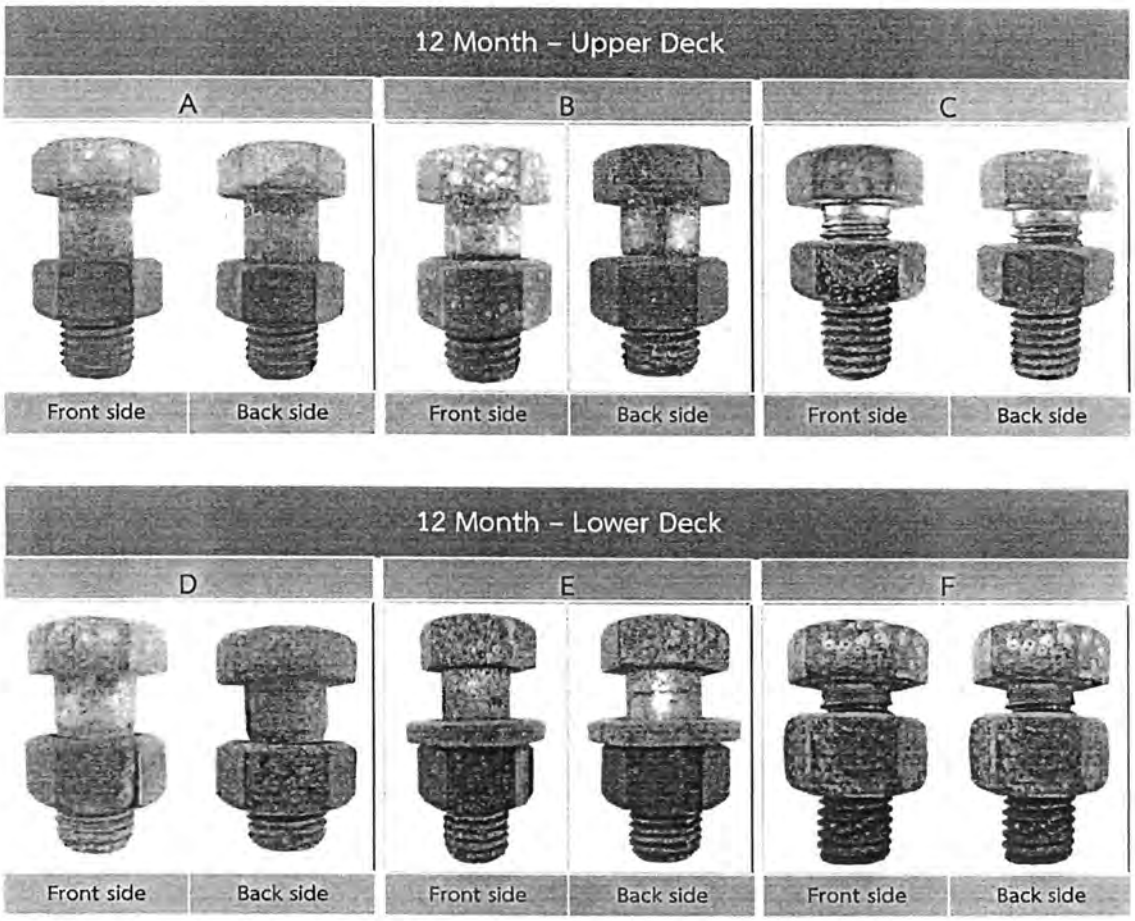
รูปที่ 12 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 9 เดือน



รูปที่ 13 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Upper Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน

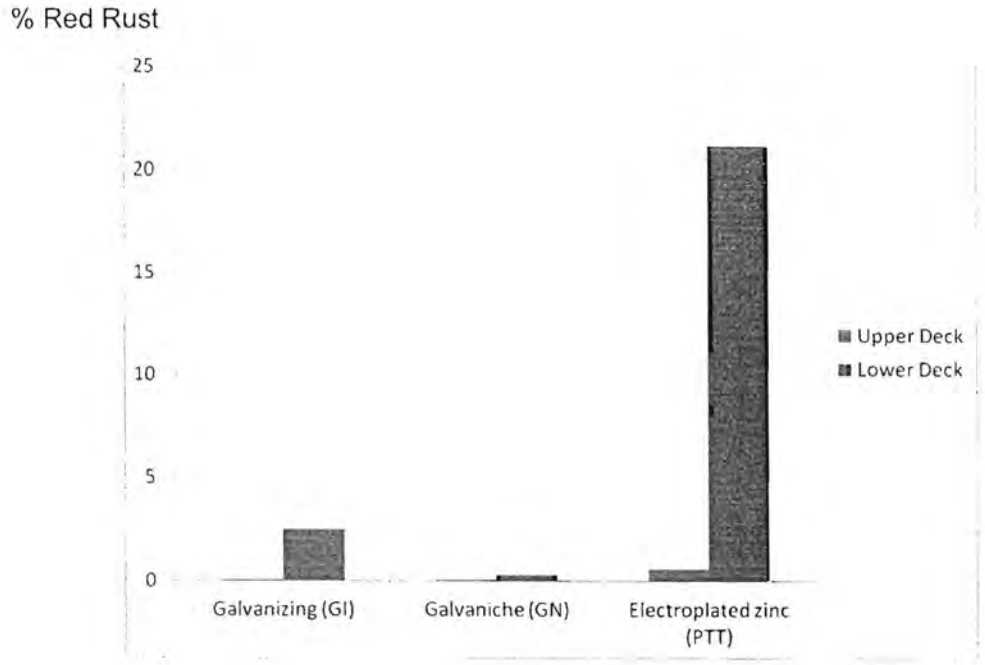


รูปที่ 14 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน

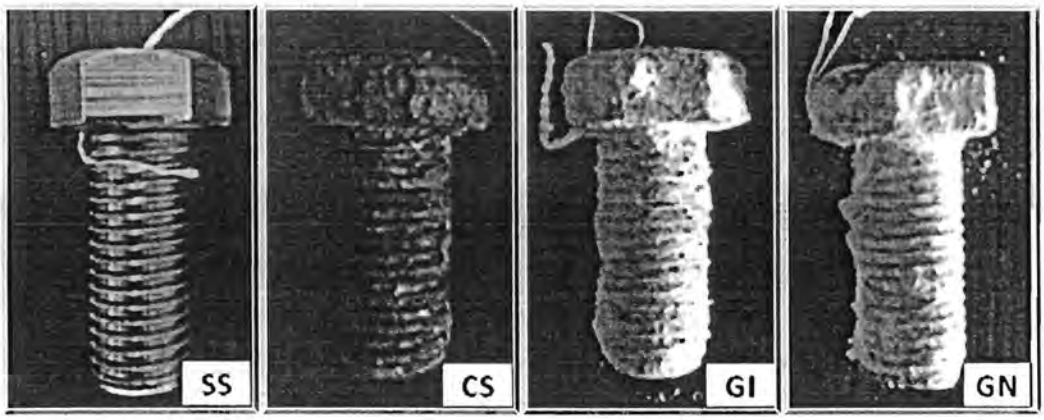


รูปที่ 15 ลักษณะชิ้นงาน Galvanizing (A; D), Galvaniche (B; E) และ Electroplated Zinc (C; F)

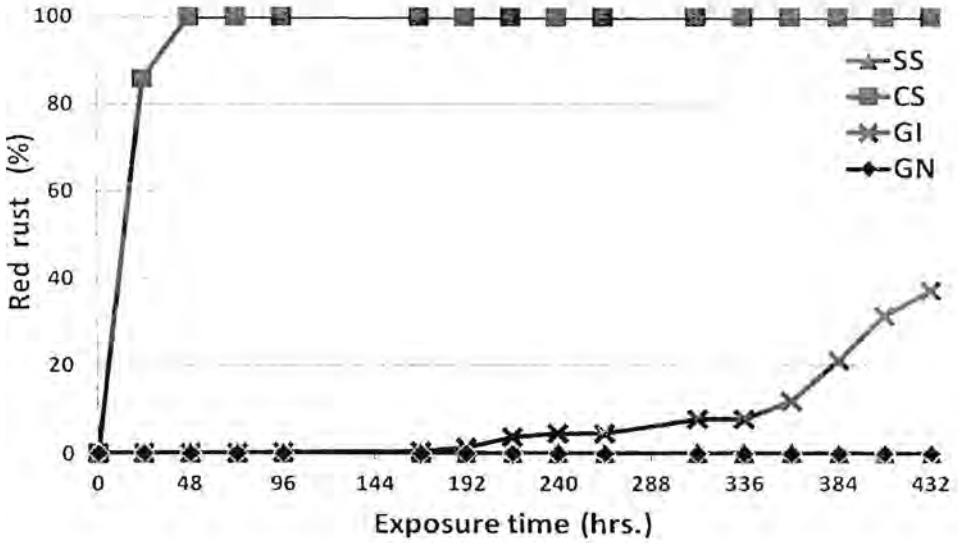
หลังการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลเป็นระยะเวลา 12 เดือน



รูปที่ 16 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ผิวที่มีคราบสนิมแดงปรากฏบนชิ้นงานทั้งสามชุดหลังทำการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศใกล้น้ำทะเลเป็นระยะเวลา 12 เดือน



รูปที่ 17 ชิ้นงานสกรูแสตนเลส (SS), สกรูเหล็กมิลดำ (CS), สกรูเหล็กเคลือบ Galvanizing (GI) และสกรูเหล็กเคล้อบ Galvaniche (GN) หลังการทดสอบการกัดกร่อนด้วยละอองเกลือในห้องปฏิบัติการเป็นเว่ลา 432 ชั่วโมง



รูปที่ 18 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ผิวที่มีคราบสนิมแดงปรากฏบนชิ้นงานทั้งสามชุดหลังทำการทดสอบการกัดกร่อนด้วยละอองเกลือในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 432 ชั่วโมง

6. สรุปผลการวิจัย

โดยสรุปแล้วงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยที่วางไว้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 งานวิจัยได้ชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีชุบเคลือบ Galvaniche สามารถประยุกต์ใช้กับ ชิ้นส่วนเหล็กโครงสร้าง เพื่อป้องกันการกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ชิ้นส่วน เช่น น็อตสกรู ที่ใช้งานในบริเวณใกล้น้ำทะเล ทั้งนี้การทดลองต่อยอดการทำการชุบเคลือบ Gavaniche จากงานวิจัยเดิมที่ทำการศึกษาเฉพาะเหล็กแผ่น มาสู่การศึกษาการชุบเคลือบบนน็อตสกรู ในที่นี้ได้แสดงให้เห็นว่า การชุบเคลือบ Galvaniche สามารถ ให้ผิวชุบที่มีความสม่ำเสมอแม้ในบริเวณที่เป็นเกลียว มีซอกมีมุม อีกทั้งผิวเคลือบมีความบางสอดคล้องกับผลการศึกษาในกรณีของเหล็กแผ่นชุบ

6.2 การศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กน็อตสกรูทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กชุบสังกะสีแบบชุบร้อนทั่วไป (Galvanizing) เหล็กชุบเคลือบ Galvaniche และเหล็กชุบสังกะสีแบบไฟฟ้า (Electroplated zinc) ในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของอ่าวไทย (ด้วยความร่วมมือและอนุเคราะห์จาก ปตท. สผ. ในการทดสอบ) เป็นเวลา 1 ปี ได้แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงาน Electroplated zinc มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนต่ำที่สุด โดยมีคราบสนิมแดงอยู่ที่ 21.2 % ส่วนชิ้นงาน Galvanizing มีคราบสนิมแดง 2.5 % ซึ่งประมาณการได้ว่าอายุการใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 2 ปี ในส่วนนี้ชิ้นงาน Galvaniche นั้น มีคราบสนิมแดงเกิดขึ้นเพียง 0.3 % ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเคลือบ Galvaniche สามารถปกป้องผิวเหล็กจากการกัดกร่อนและเกิดสนิมได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ใน 3 กลุ่มชิ้นงานนี้

6.3 การทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กเคลือบ ด้วยการพ่นละอองเกลือตามมาตรฐาน ASTM B117 มีความสอดคล้องกับที่ทำการทดสอบในบรรยากาศเหนือน้ำทะเล กล่าวคือ เหล็กเคลือบ Galvaniche มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนที่สูงกว่าเหล็กเคลือบ Galvanizing อย่างเด่นชัด โดยที่ เมื่อเวลาการทดสอบภายใต้บรรยากาศละอองเกลือผ่านไปประมาณ 200 ชั่วโมง และ 300 ชั่วโมง เหล็กเคลือบ Galvanizing มีคราบสนิมแดงปรากฏประมาณ 2.5 % และ 5 % ตามลำดับ ในขณะที่เหล็กเคลือบ Galvaniche ไม่มีคราบสนิมแดงปรากฏแต่อย่างใดหลังการทดสอบเป็นเวลา 432 ชั่วโมง ผลการศึกษาทำให้ประมาณการได้ว่า อัตราเร่งของบรรยากาศละอองเกลือของห้องปฏิบัติการเทียบกับบรรยากาศเหนือน้ำทะเล (Lower Deck) มีค่าอยู่ที่ประมาณ 45 เท่า และความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กเคลือบ Galvaniche อาจมีค่าสูงถึง 3,000 ชั่วโมง ในบรรยากาศละอองเกลือของห้องปฏิบัติการ

6.4 โครงการวิจัยนี้ได้ร่วมดำเนินการวิจัยโดยบุคลากรในศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเคลือบผิวโลหะของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งก่อให้เกิดการประสานงานและการเรียนรู้การทำงานเป็นทีมอย่างเป็นระบบ เพื่อการสร้างองค์ความรู้ทางวิชาการและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ประสบการณ์และการ

พัฒนาศักยภาพของกลุ่มวิจัยที่ได้จากโครงการนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาเป็นศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิวโลหะและวัสดุต่อไป

7. ผลลัพธ์

7.1 องค์ความรู้ทางด้านการพัฒนาและประยุกต์ใช้เหล็กชุบสังกะสีความต้านทานการกัดกร่อนสูง หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ ภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชนผู้สนใจทั่วไป ที่ต้องการใช้งานเหล็กชุบสังกะสีในสภาวะบรรยากาศใกล้น้ำทะเลของประเทศไทย

7.2 การเข้าร่วมเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ 1 ครั้ง: The 7th Thailand Metallurgy Conference (TMETC) – Krabi, October 2013 เรื่อง Influence of hot-dip coatings on mechanical and corrosion behaviors of steel bolts นำเสอแบบบรรยายโดย ธนิต เคนหงส์

7.3 การตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ – อยู่ระหว่างการยื่นส่งให้วารสารพิจารณาตีพิมพ์

8. เอกสารอ้างอิง

[1] A.R. Marder, The metallurgy of zinc-coated steel, Progress in Materials Science, 45, 2000, p. 191.

[2] A.R. Marder, Effects of surface treatments on materials performance, Materials selection and design, ASM Handbook, 20, 1997, p. 470.

[3] M. Zapponi, A. Quiroga, T. Perez, Segretation of alloying elements during the hot-dip coating solidification process, Surface and Coatings Technology, 122, 1999, p. 18.

[4] J.D. Culcasi, P.R. Sere, C.I. Elsner, A.R. Di Sarli, Control of the growth of zinc-iron phases in the hot-dip galvanizing process, Surface and Coatings Technology, 122, 1999, p. 21.

[5] R. Sa-nguanmoo, E. Nisaratanaporn, Y. Boonyongmaneerat, Hot-dip galvanization with pulse- electrodeposited nickel pre-coatings, Corrosion Science, 53, 2011, p.122.

[6] S. Akamphon, S. Sukkasi, Y. Boonyongmaneerat, "Reduction of zinc consumption with enhanced corrosion protection in hot-dip galvanized coatings: a process-based cost analysis, Resources, Consevation & Recycling, 2011.