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

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 ● ศึกษาและวิเคราะห์เทคโนโลยีการผลิตเหล็กชุบสังกะสีและปัญหาการกัดกร่อน	20 %
ผู้ร่วมงาน		
1. อาจารย์ ดร. ณัฏฐิตา ชวนเกริกกุล หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท	● สืบค้นข้อมูลด้านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี และสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของ	10 %

แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4234 โทรสาร 0 2611 7586 E-mail : Nutthita.c@chula.ac.th	เหล็กชุบสังกะสี	
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 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กชุบสังกะสี	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 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กชุบสังกะสี ● กำกับดูแลด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบสังกะสี	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	● ศึกษาและวิเคราะห์สมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กชุบเคลือบ	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	● เตรียมชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีด้วยเครื่องชุบสังกะสีอัตโนมัติระดับประลอง ● 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	● เตรียมชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีด้วยเครื่องชุบสังกะสีอัตโนมัติระดับประลอง ● ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแบบละอองเกลือ	10 %
7. นางสาวสวลี เสนาพิทักษ์ หน่วยงาน: สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0 2218 4241 โทรสาร 0 2611 7586	● ทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นงานด้วยเครื่องโพเทนชิโอสแตท ● เป็นผู้ประสานงานโครงการ	10 %

E-mail : sawalee.s@chula.ac.th		

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 ในประเทศไทยมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงซ่อมแซมเหล็กเคลือบสังกะสีที่เสียหายกว่า 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 เหล็กชิ้นงานตัวอย่างที่เคลือบสังกะสีด้วยแนวทางใหม่นี้มีความต้านทานต่อการเกิดสนิม (10 % Red Rust) ที่ดีกว่าเหล็กชุบสังกะสีทั่วไปถึงกว่า 1,300 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อย (ประมาณ 6 เท่า) ถึงแม้ชั้นเคลือบอัลลอยสังกะสีจะบางกว่า 3 เท่าก็ตาม

โครงงานวิจัยนี้จะเป็นการต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานดังกล่าว เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีการผลิตเหล็กชุบสังกะสีแบบใหม่ เพื่อเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมและชุมชนของประเทศไทย ตลอดจนหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเหล็กชุบสังกะสีให้เหมาะสมกับสภาวะบรรยากาศจริงของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและแนวทางประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชุบเคลือบ Galvaniche สำหรับเหล็กชุบสังกะสีที่นำไปใช้งานในบริเวณใกล้น้ำทะเล

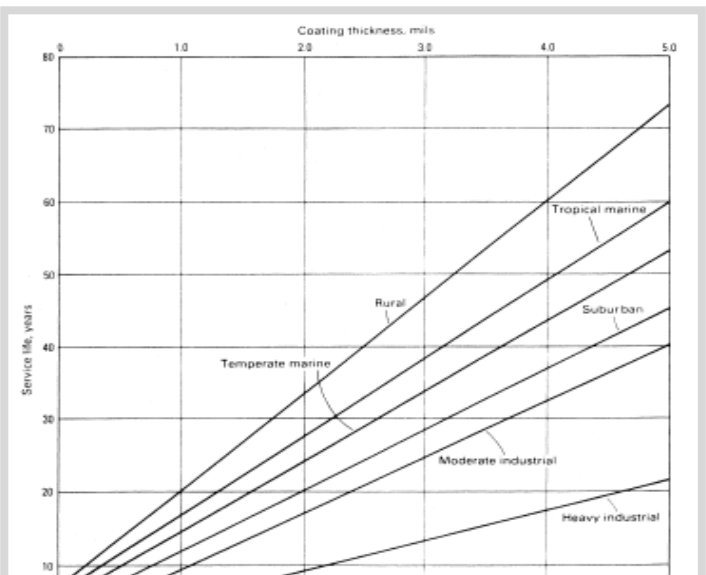
2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กชุบเคลือบชนิดต่างๆ และเหล็กชุบสังกะสี Galvaniche ต่อสภาวะบรรยากาศของประเทศไทย

2.3 เพื่อเข้าใจถึงความเชื่อมโยงของผลการทดสอบสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กชุบสังกะสีระหว่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องจำลองสภาวะการกัดกร่อน และการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีกับการทดสอบภายใต้บรรยากาศจริงที่สภาวะใกล้น้ำทะเล

2.4 เพื่อการพัฒนาบุคลากรวิจัย และเสริมประสบการณ์และศักยภาพของกลุ่มวิจัย นำไปสู่การพัฒนาเป็นศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทาง (Center of Excellence) ด้านการวิจัยและพัฒนาวัสดุโลหะต้านทานการกัดกร่อน

3. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การกัดกร่อนของเหล็กก่อให้เกิดความเสียหาย เป็นอันตรายและเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเป็นจำนวนมากดังที่แสดงไว้ข้างต้น โดยเมื่อนำเหล็กไปใช้งานเหล็กจะสัมผัสกับบรรยากาศและความชื้น ทำให้เหล็กสูญเสียอิเล็กตรอน นำไปสู่การกัดกร่อนและการเกิดสนิม การเคลือบสังกะสีบนผิวเหล็กจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนให้กับเหล็ก โดยสังกะสีช่วยทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นระหว่างผิวเหล็กกับสภาวะแวดล้อม (barrier Protection) ป้องกันผิวเหล็กจากการสัมผัสกับความชื้นและบรรยากาศ อีกทั้งยังช่วยป้องกันการกัดกร่อนในแบบแคโทดิก (cathodic protection) โดยเมื่อสังกะสีหลุดล่อนไปบางส่วนและผิวเหล็กเริ่มสัมผัสกับบรรยากาศ เหล็กจะยังคงได้รับการป้องกันจากการกัดกร่อนไว้ได้ [1] อย่างไรก็ดี การกัดกร่อนของผิวเคลือบสังกะสีสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อใช้งาน 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 $^{\circ}$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 และชิ้นงาน

เหล็กจะสัมผัสสังกะสีหลังจากเคลื่อนผ่านชั้นฟลักซ์โดยทันที ในวิธีที่ 2 ชิ้นงานจะถูกจุ่มในสารละลายฟลักซ์ในบ่อฟลักซ์ และทำให้แห้งด้วยการอบร้อนก่อนนำไปจุ่มในบ่อสังกะสีต่อไป

บ่อสังกะสีหลอมเหลวมักทำจากเหล็กที่มีโลหะเจือต่ำหรือเซรามิก อุณหภูมิที่นิยมใช้อยู่ที่ประมาณ 450 $^{\circ}$C (สังกะสีมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 419.5 องศาเซลเซียส) โดยน้ำสังกะสีอาจมีโลหะชนิดอื่นเจืออยู่เล็กน้อย เช่น อะลูมิเนียม (Al) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) และนิกเกิล (Ni) การเจือโลหะทำเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของสังกะสีหลอมเหลว เช่น ให้มีความหนืดต่ำ และเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกับผิวเหล็ก เป็นต้น ชิ้นงานที่ดึงขึ้นจากบ่อสังกะสีแล้ว ทำให้เย็นตัวได้โดยทิ้งไว้ในอากาศ หรือทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วในน้ำ

ทั้งนี้การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน ยังแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการหลัก คือ กระบวนการชุบสังกะสีแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) และกระบวนการชุบสังกะสีแบบไม่ต่อเนื่อง (Non-continuous Process หรือ General Galvanizing) โดยในกระบวนการแรกใช้กับชิ้นงานขนาดยาว เช่น ขดลวดเหล็กหรือแผ่นเหล็กม้วนซึ่งจะถูกคลี่ออก และเคลื่อนตัวสู่บ่อในแต่ละขั้นตอนของการชุบสังกะสีอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วที่คงที่ และชิ้นงานมักสัมผัสกับน้ำสังกะสีเพียงไม่กี่วินาที ส่วนในกระบวนการหลังนั้นมักใช้กับชิ้นงานประเภทเหล็กท่อ, 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 เอดา (η) ซึ่งเป็นโลหะสังกะสีเกือบทั้งหมด ทั้งนี้ชั้นเฟส Γ มีขนาดบางมากระดับ ~1 ไมครอน ในขณะที่ชั้นเคลือบเฟส δ และ ζ มีขนาดหนากว่า อยู่ในระดับ 10 – 100 ไมครอน โดยชั้นเคลือบ Fe-Zn Intermetallics ทั้งสองสามารถมีขนาดความหนาเพิ่มขึ้นได้หากเพิ่มระยะเวลาทำการชุบร้อน ส่วนชั้น η เกิดจากน้ำสังกะสีในบ่อชุบ

ที่ติดมากับชิ้นงานเหล็ก 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 ขึ้น เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรการผลิต อันได้แก่ ความหนาชั้นเคลือบและองค์ประกอบทางเคมีของชั้นเคลือบที่มีต่อสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนและประสิทธิภาพการใช้งานในสภาวะใกล้น้ำทะเล

ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเป็นสกรูขนาด M16ที่ชุบเคลือบผิว ซึ่งเป็นตัวแทนที่ดีของลักษณะชิ้นงานเหล็กที่ใช้กันมากในงานสิ่งปลูกสร้าง รวมทั้งมีความจำเป็นที่ต้องได้รับการบำรุงรักษาเป็นอย่างมากในการใช้งานใกล้น้ำทะเล เนื่องจากมักมีอัตราการกัดกร่อนที่สูง และมีความสำคัญในการยึดชิ้นส่วนต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ทั้งนี้ การชุบชิ้นงานเหล็กด้วยสังกะสีดำเนินการในห้องปฏิบัติการ โดยใช้สายการชุบสังกะสีอัตโนมัติระดับประลองที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

4.3 การวิเคราะห์ทดสอบสมบัติการกัดกร่อน

ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิค Galvaniche และชิ้นงานเชิงพาณิชย์ที่ผลิตขึ้นด้วยเทคนิค Galvanizing รวมถึงชิ้นงานเหล็กเสตนเลส ถูกนำไปทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนด้วยเทคนิคต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การทดสอบในสภาวะใกล้น้ำทะเล

คณะวิจัยได้สร้างความร่วมมือกับบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) โดยทางบริษัทได้อนุเคราะห์บริเวณแท่นขุดเจาะน้ำมันในอ่าวไทยให้ใช้เป็นสถานีติดตั้งชิ้นงานสกรูน๊อต 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

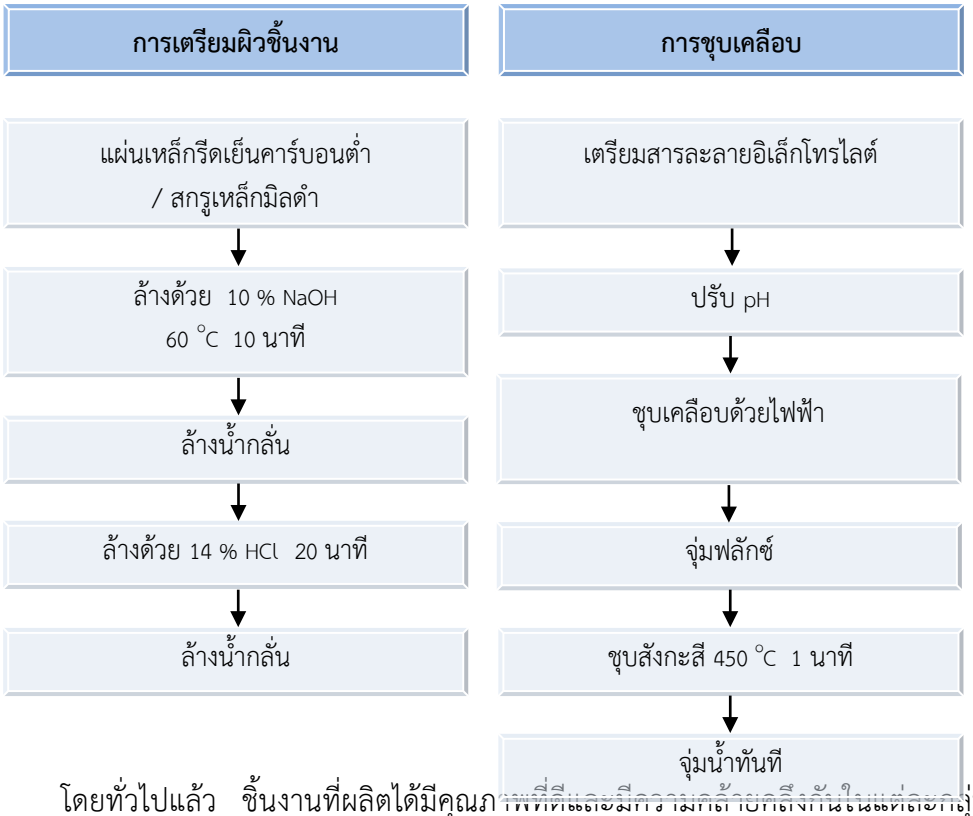
กลุ่มชิ้นงานแผ่นเหล็กถูกนำมาทดสอบภายใต้สภาวะละอองเกลือตามมาตรฐาน ASTM B117 โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 5 wt % เป็นระยะเวลาประมาณ 20 วัน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะและอัตราการกัดกร่อนเป็นระยะ และทำการวิเคราะห์ถึงความเชื่อมโยงของผลที่ได้จาก

สภาวะจำลองและสภาวะใกล้น้ำทะเล ในส่วนนี้ชิ้นงานแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มเหล็กกล้าที่ไม่ผ่านการชุบ (CS), กลุ่ม Galvanizing (GI), กลุ่ม Galvaniche (GN) และกลุ่มเหล็กเสตนเลส (SS)

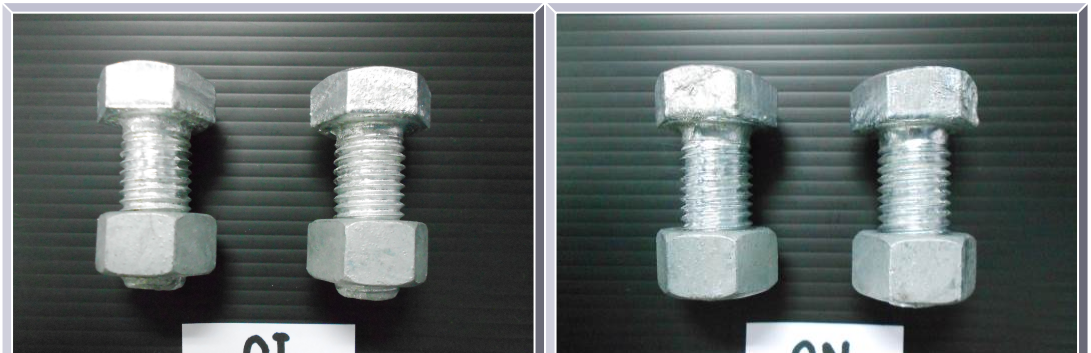
5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

5.1 การผลิตชิ้นงานเหล็กเคลือบสังกะสี

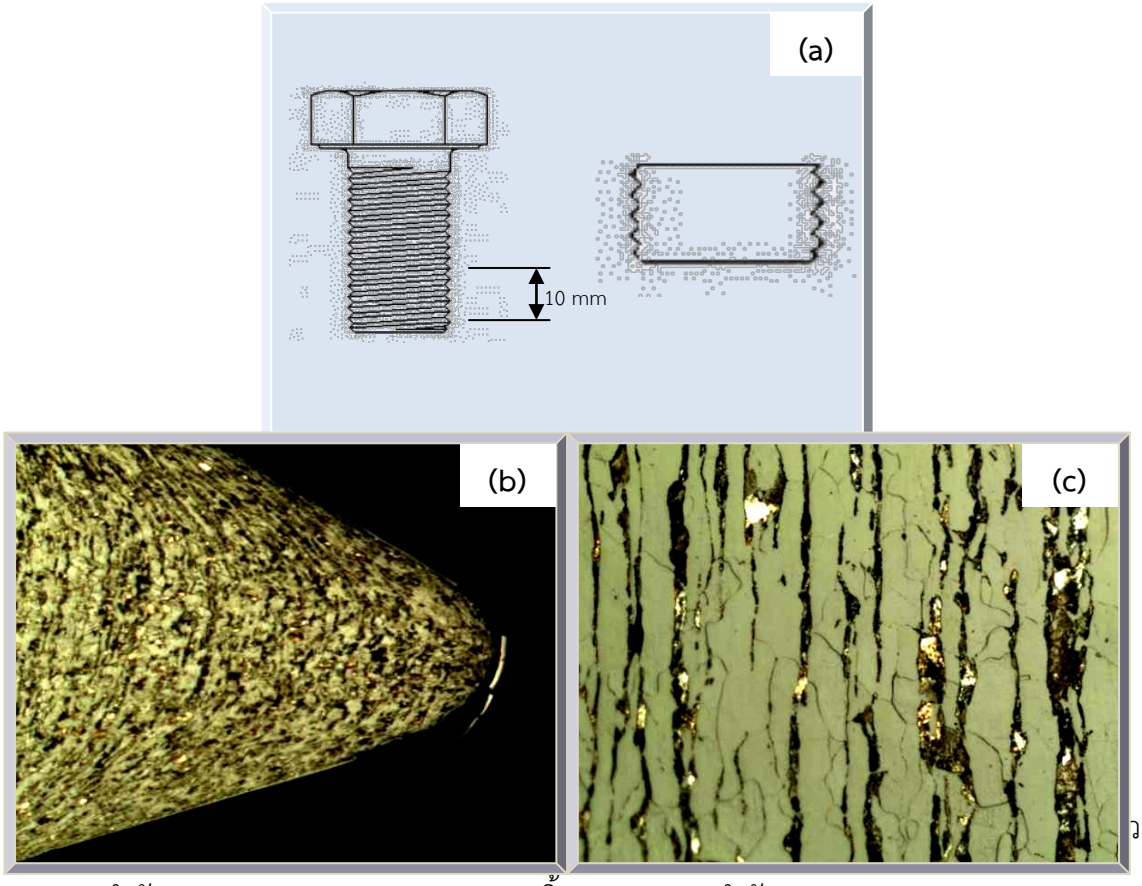
ได้ทำการทดลองผลิตชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสีจากชิ้นงานสกรูเหล็กมิลดำ ด้วยวิธีชุบร้อนแบบดั้งเดิมและด้วยแนวทางใหม่ที่มีชั้นเคลือบรองพื้น ขั้นตอนการชุบร้อนที่มีชั้นเคลือบรองพื้นเป็นดังแสดงในแผนภูมิด้านล่าง ส่วนขั้นตอนการชุบร้อนแบบดั้งเดิมมีความคล้ายคลึงกันแต่ไม่มีขั้นตอนชุบเคลือบด้วยไฟฟ้า



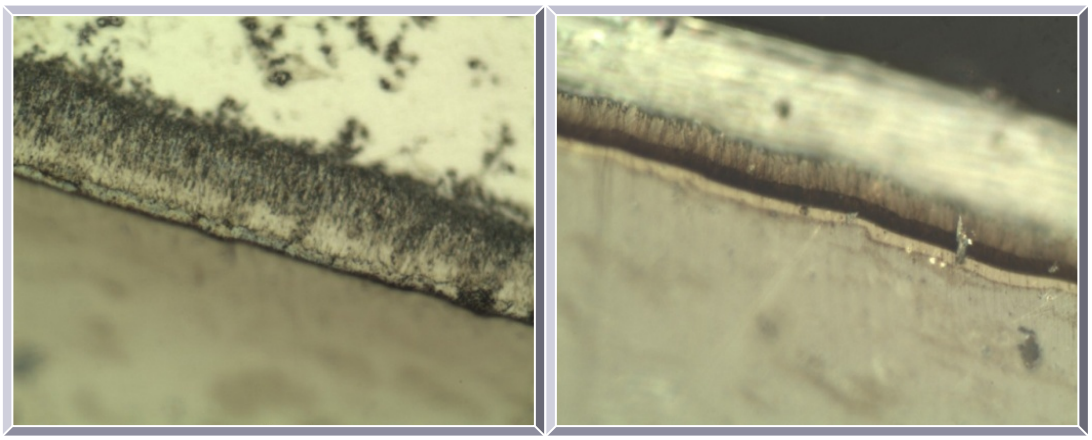
โดยทั่วไปแล้ว ชิ้นงานที่ผลิตได้มีคุณภาพที่ดีและมีความคล้ายคลึงกันในแต่ละกลุ่มชิ้นงาน สามารถนำไปใช้ในการศึกษาในส่วนต่อไป ภาพด้านล่าง (รูปที่ 2 และ 3) แสดงถึงลักษณะภายนอกและโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานเหล็กชุบสังกะสี ซึ่งสังเกตได้ว่าชั้นเคลือบมีความสม่ำเสมอและผิวเคลือบ Galvaniche มีความบางกว่าผิวเคลือบ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



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



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

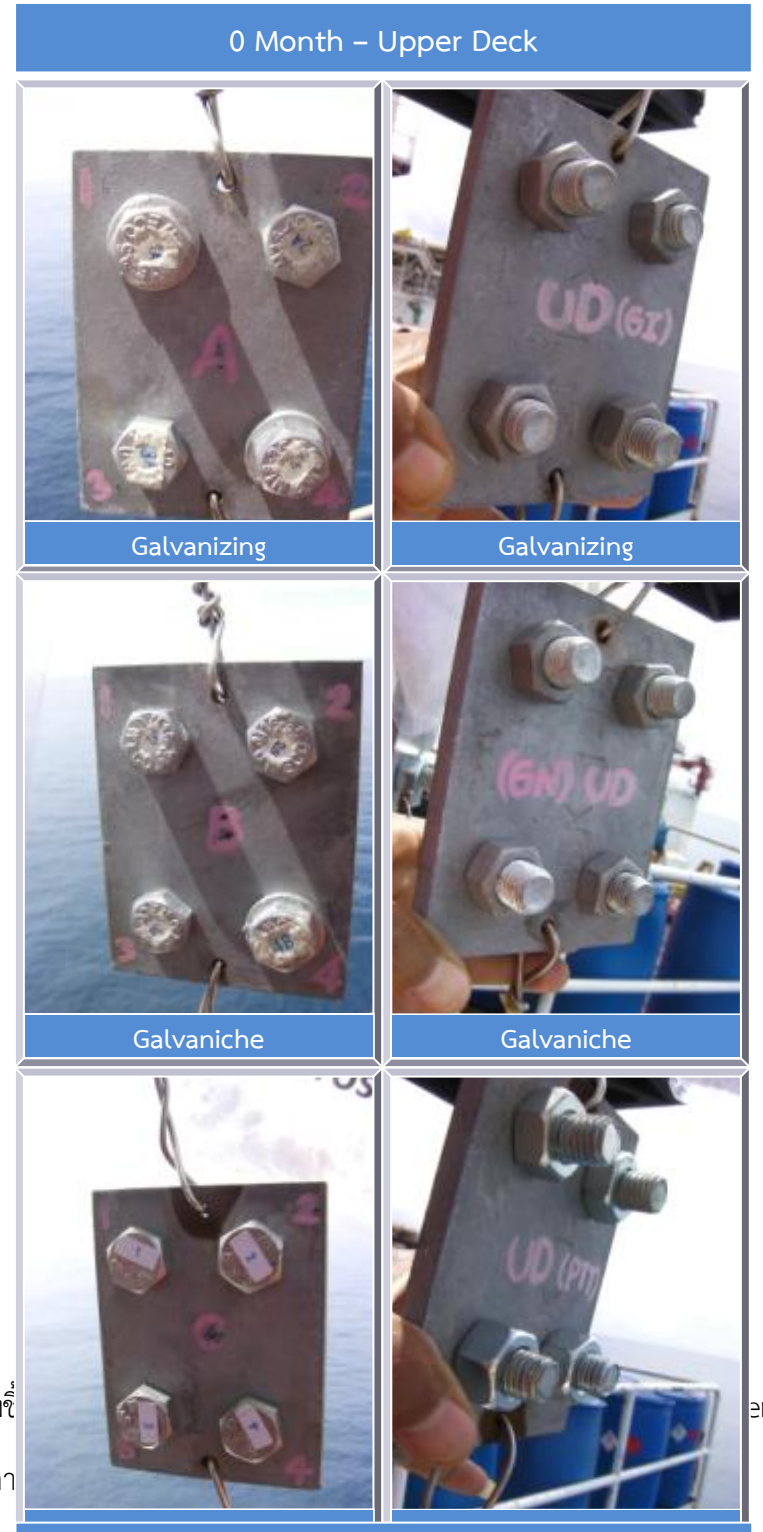
6) ในส่วนของชิ้นงาน Galvaniche ที่ทดสอบในบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการ พบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดสอบที่ 432 ชั่วโมง ไม่สามารถตรวจพบคราบสนิมแดงที่ผิวได้เด่นชัด ผลที่ได้นั้นคล้ายคลึงกับที่พบในชิ้นงาน Stainless steel 304 ที่นำมาเปรียบเทียบ จากผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าความต้านทานการกัดกร่อนของ Galvaniche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

7) เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการกัดกร่อนที่บรรยากาศน้ำทะเลที่อ่าวไทยและบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการแล้ว พบว่า บรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการมีความ

รุนแรงในการกัดกร่อนที่สูงกว่ามาก 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

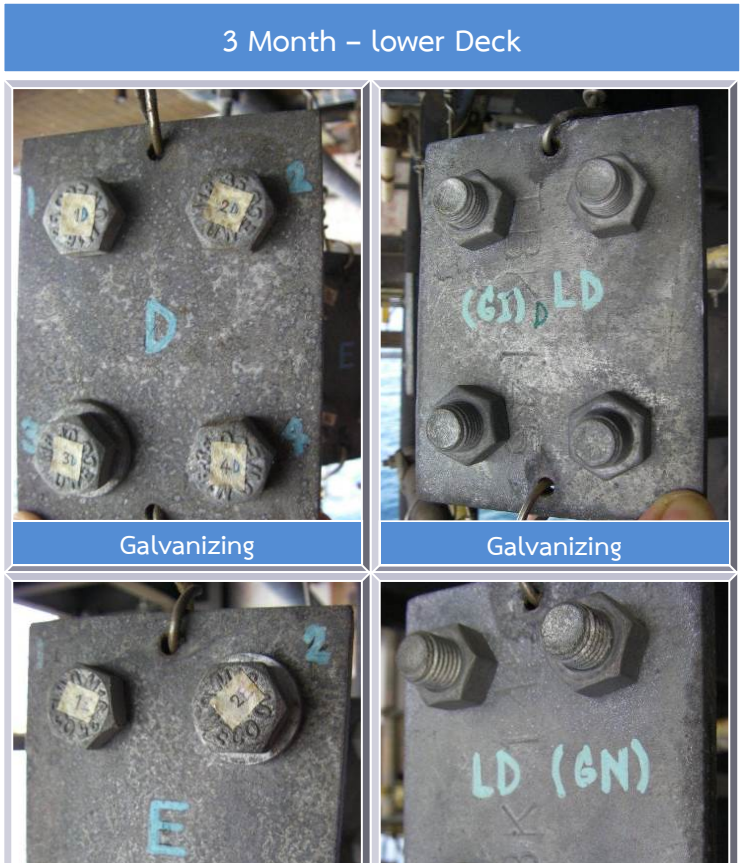
9) หากใช้ค่าความแตกต่างของความรุนแรงในการกัดกร่อนของ 2 บรรยากาศนี้ผนวกกับผลการทดลองในบรรยากาศจริงในการคำนวณความต้านทานการกัดกร่อนของ Galvaniche ในบรรยากาศละอองเกลือจะได้ว่า Galvaniche ที่ทดสอบในบรรยากาศละอองเกลือในห้องปฏิบัติการจะมีคราบสนิมแดงเกิดขึ้นในปริมาณ 5 % เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3,000 ชั่วโมง หรือประมาณ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



รูปที่ 5 การติดตั้งชิ้น er Deck ของแท่นขุด เจาะเพื่อทดสอบกา

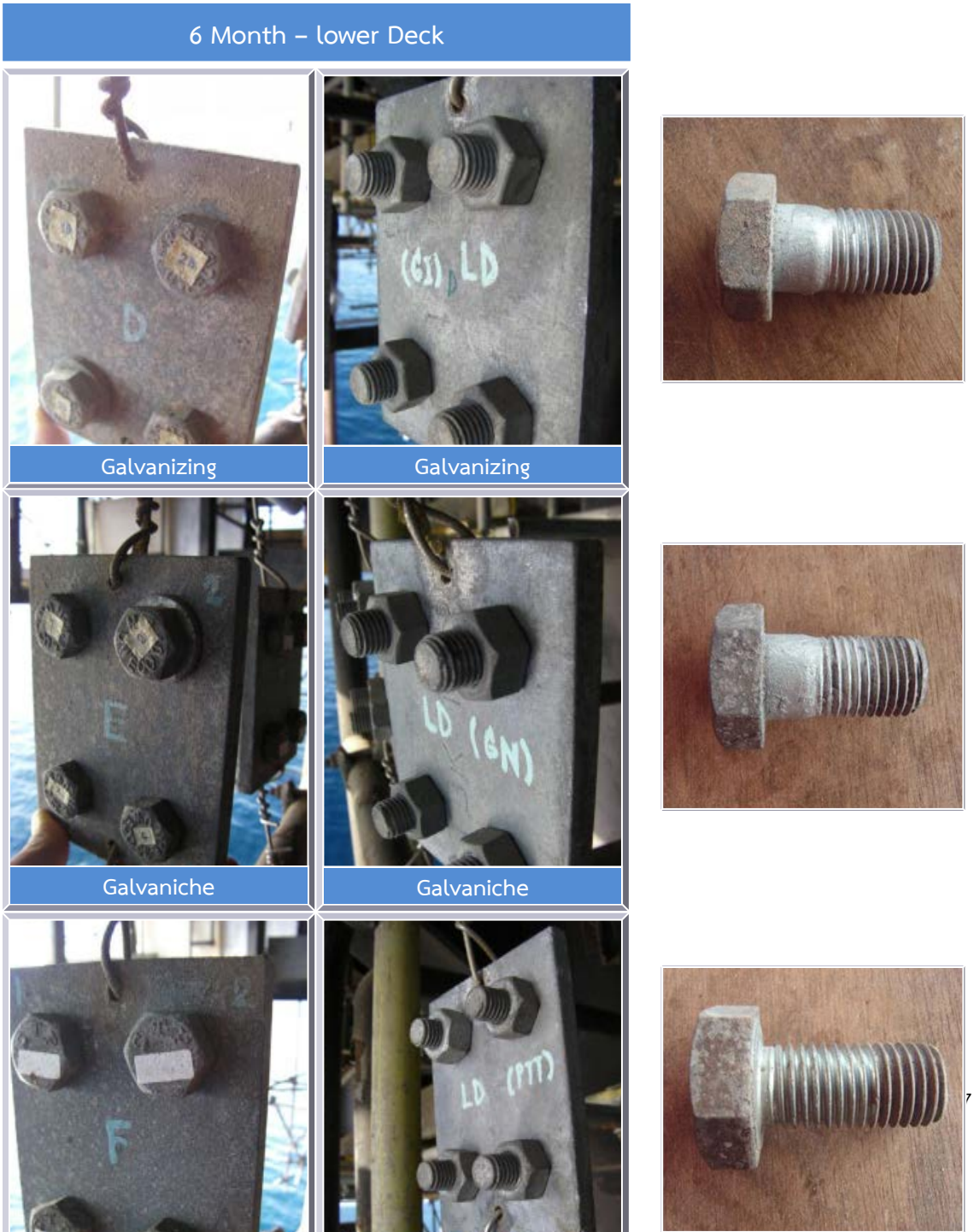
รูปที่ 6 การติดตั้งชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะเพื่อทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเล

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

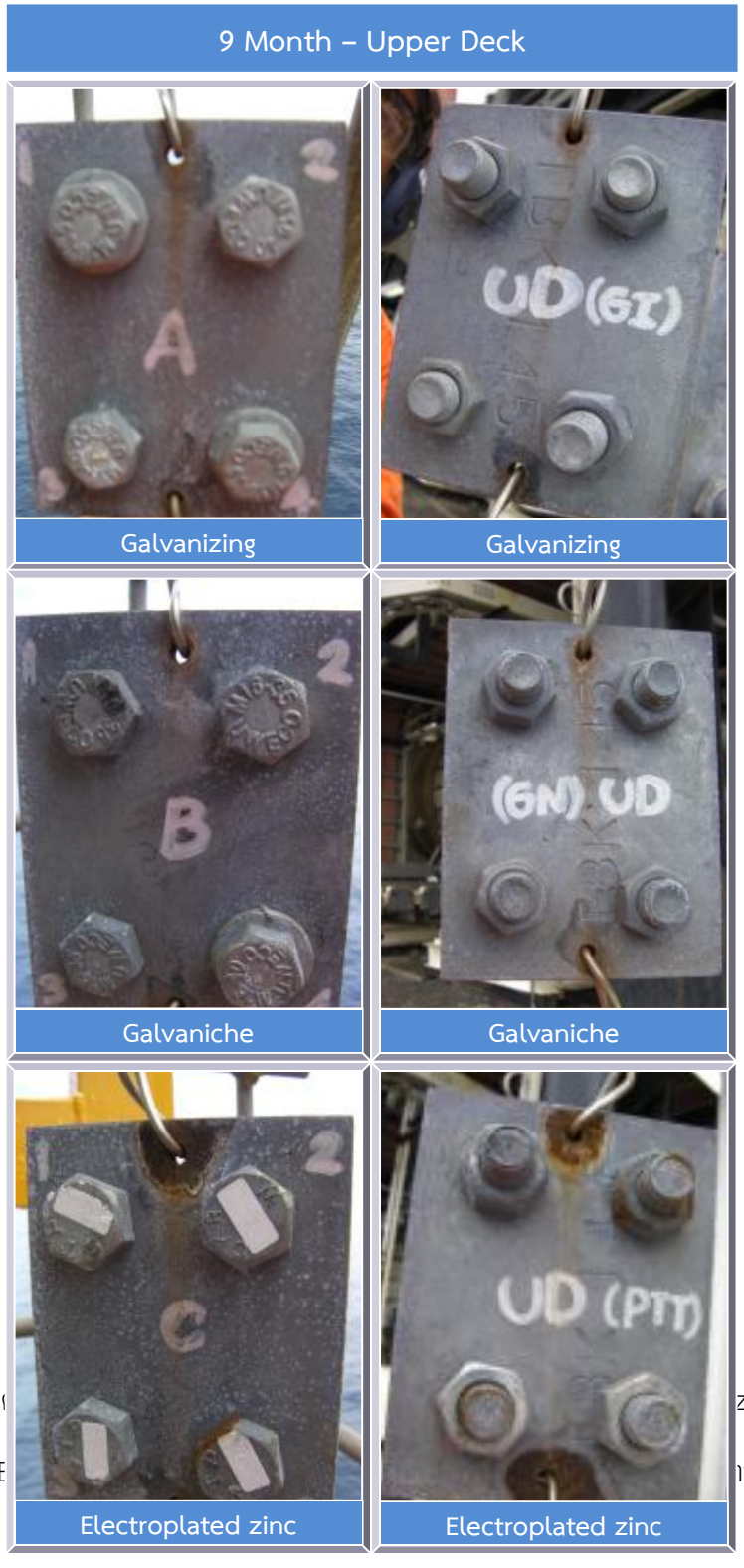


รูปที่ 8 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน

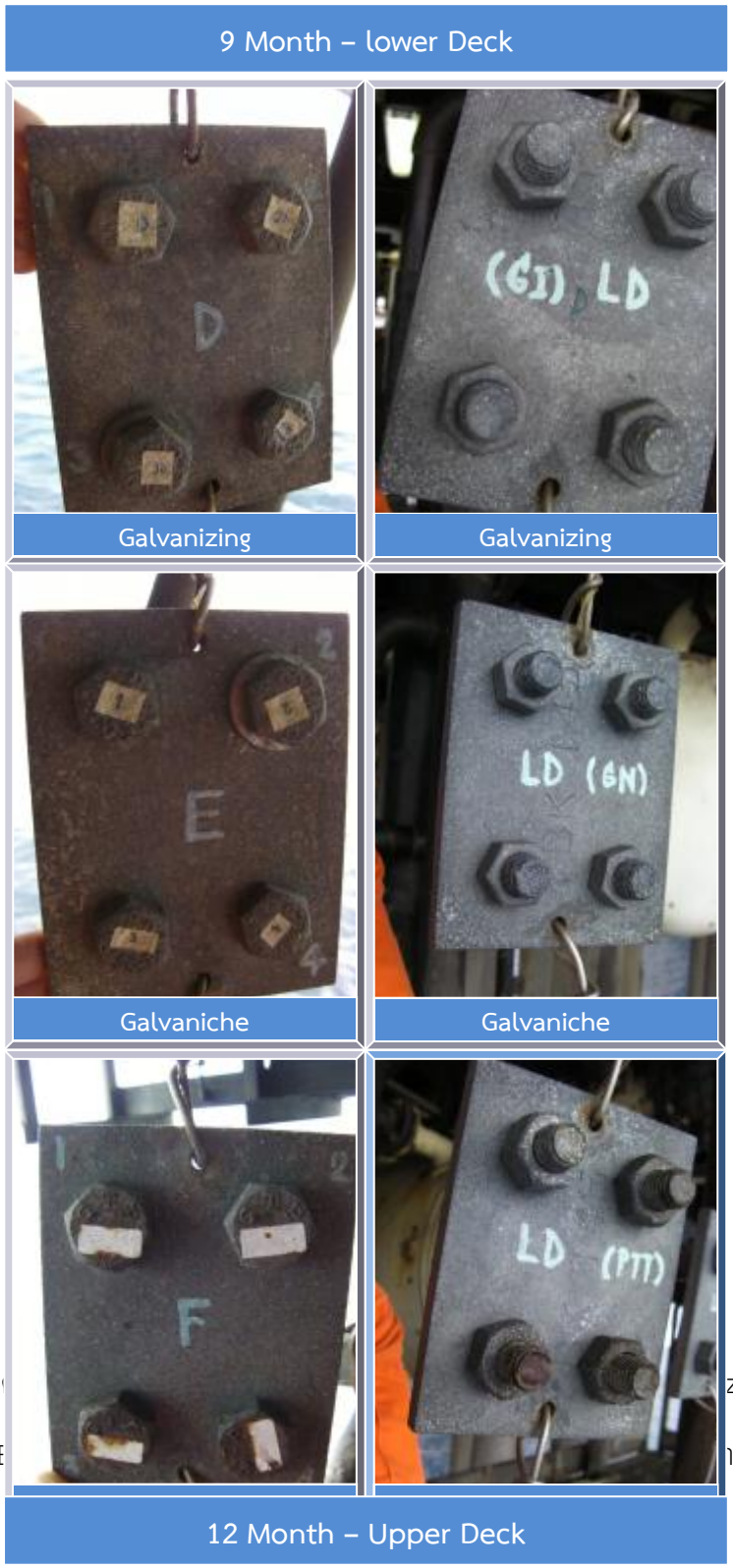
รูปที่ 9 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Upper Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน



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



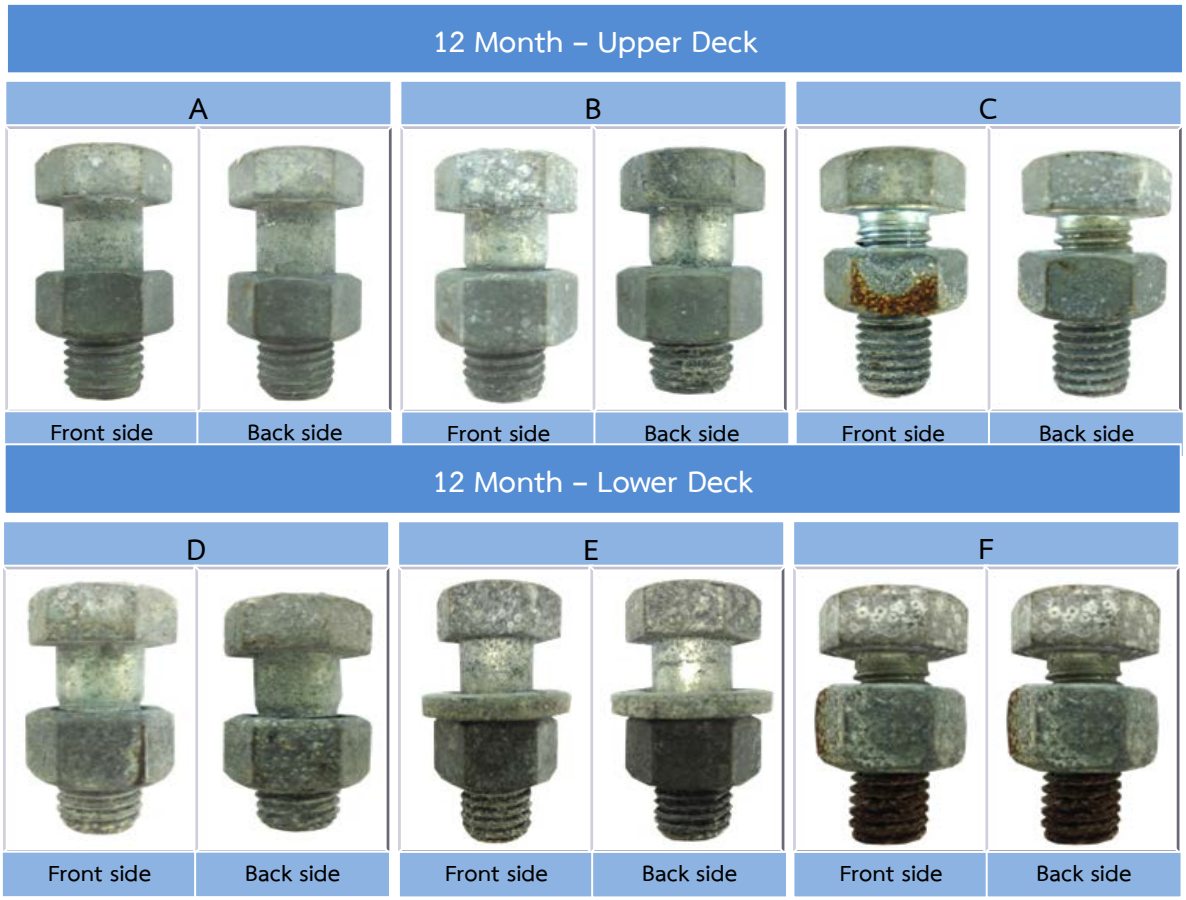
รูปที่ 11 การท zing, Galvaniche และ E นไป 9 เดือน



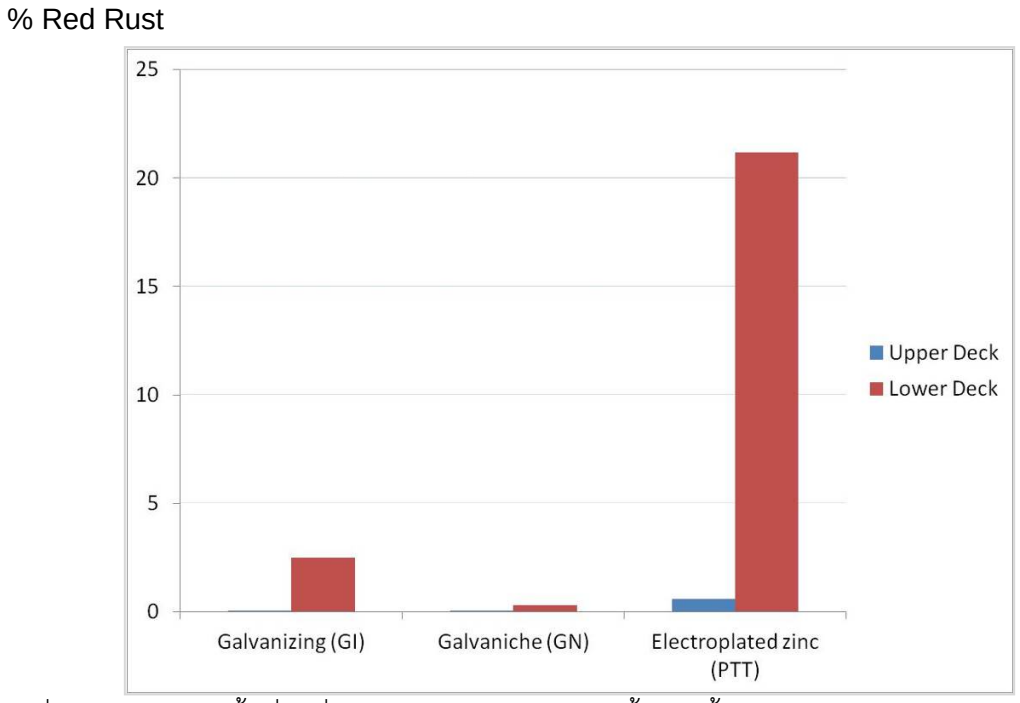
รูปที่ 12 การท zing, Galvaniche และ E านไป 9 เดือน

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

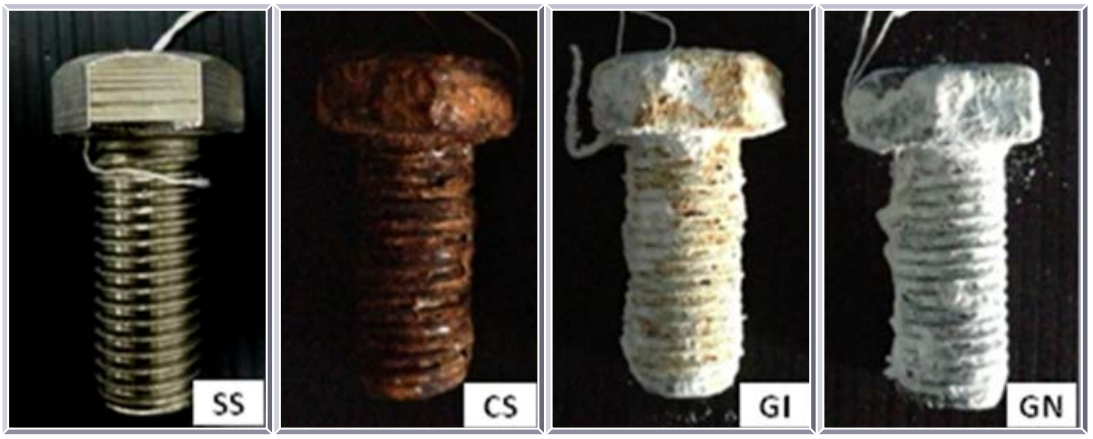
รูปที่ 14 การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลของชิ้นงาน Galvanizing, Galvaniche และ Electroplated Zinc ที่ Lower Deck ของแท่นขุดเจาะ เมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือน



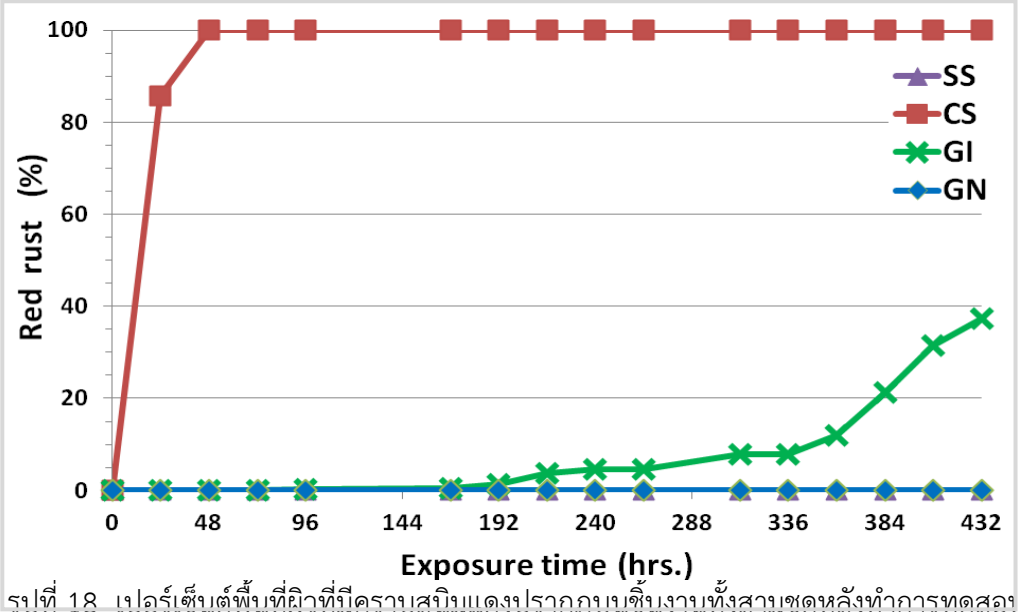
รูปที่ 15 ลักษณะชิ้นงาน Galvanizing (A; D), Galvaniche (B; E) และ Electroplated Zinc (C; F) หลังการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศเหนือน้ำทะเลเป็นระยะเวลา 12 เดือน



รูปที่ 16 เปอร์เซ็นต์พื้นที่ผิวที่มีคราบสนิมแดงปรากฏบนชิ้นงานทั้งสามชุดหลังทำการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศใกล้น้ำทะเลเป็นระยะเวลา 12 เดือน



รูปที่ 17 ชิ้นงานสกรูแสตนเลส (SS), สกรูเหล็กมิลดำ (CS), สกรูเหล็กเคลือบ Galvanizing (GI) และสกรูเหล็กเคลือบ Galvaniche (GN) หลังการทดสอบการกัดกร่อนด้วยละอองเกลือในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 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 ประสบการณ์และการพัฒนาศักยภาพของกลุ่มวิจัยที่ได้จากโครงการนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาเป็นศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบผิวโลหะและวัสดุต่อไป

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.