



การตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยการตรวจสอบ
แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง
Monitoring of Above Ground Oil Storage Tanks
with Nondestructive Testing Using Acoustic Emission Technique

นางสาวศุภฤตา ราชวงศ์

นายณัฐวุฒิ เชื้อปรางค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2561



การตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยการตรวจสอบ
แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง
Monitoring of Above Ground Oil Storage Tanks
with Nondestructive Testing Using Acoustic Emission Technique

นางสาวศุภฤตา ราชวงศ์

นายณัฐวุฒิ เชื้อปรารงค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาโท การตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยการตรวจสอบ
แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง

ชื่อ นามสกุล นางสาวศุภฤตา ราชวงศ์
นายณัฐวุฒิ เชื้อปรารงค์

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญาโทฉบับนี้แล้ว

..... พลกฤษณ์ ประธานกรรมการ

(นาย พลกฤษณ์ คุ่มกล้า)

..... กรรมการ

(ดร.ธนพงศ์ สารอินทร์)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพัยคัม)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
วันที่ 26 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ชื่อปริญญาบัตร	การตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง
ชื่อ สกุล	นางสาวศุภฤตา ราชวงศ์ นายณัฐวุฒิ เชื้อปรานค์
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียงถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบหาตำแหน่งที่เกิดการกัดกร่อนในถังเก็บน้ำมัน โดยใช้หลักการวิเคราะห์ลักษณะของคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมา อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบนอกจากต้องการทราบตำแหน่งการเกิดแล้ว ความรุนแรงของการกัดกร่อนยังเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจสอบความเสียหาย ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับพลังงานคลื่นเสียง โดยการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวภายในถังเก็บน้ำมันจะถูกตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง โดยนำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 ทั้งหมด 9 ชิ้น แฉ่งลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในถังจำลองที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 3.5 และ 5.5 โดยน้ำหนัก เพื่อเป็นจุดจำลองการเกิดการกัดกร่อนภายในถังเก็บน้ำมัน แล้วทำการตรวจสอบการกัดกร่อนด้วยเครื่องตรวจสอบรับสัญญาณคลื่นเสียง (Acoustic Emission Tester) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ จากการทดลอง พบว่าอัตราการกัดกร่อนส่งผลต่อพลังงานของคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการเกิดการกัดกร่อน โดยพลังงานคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการตรวจสอบหาอัตราการกัดกร่อนและตำแหน่งของจุดบกพร่องบนพื้นผิวภายในถัง จึงสามารถตรวจสอบได้จากการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการตรวจสอบการปลดปล่อยคลื่นเสียง

คำสำคัญ : พลังงานการปลดปล่อยคลื่นเสียง, ถังเก็บเหนือพื้นดิน, การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย, การทดสอบการปลดปล่อยคลื่นเสียง, อัตราการกัดกร่อน

Project title	Monitoring of Above Ground Oil Storage Tanks with Nondestructive Testing Using Acoustic Emission Technique
Author	Miss Sukritta Rachawong Mr. Nattavut Chuaprang
Degree	Bachelor of Science
Major program	Industrial Materials Science
Faculty	Science and Technology
Academic Year	2561

ABSTRACT

Non-destructive test with Acoustic Emission technique was used for monitoring of the corrosion in the above ground oil storage tank. In the analytical characteristics of acoustic emission wave, however, Acoustic Emission test has to be prior used for the location detection of corrosion especially indication of the severity of corrosion. In this research, the relationship between the corrosion rate and the sound wave energy was studied. The corrosion and damage detected on the surface of the aboveground storage tank was determined by the Acoustic Emission Test. Nine pieces of low carbon steel grade SS400 was soaked in sodium chloride solution in simulated tanks at concentrations of 1.5, 3.5 and 5.5 wt%. Next, the corrosion activity was checked by performing with the Acoustic Emission Testing for 1 hour and thus calculating the corrosion rate of the test specimens. From the experiment, it was found that the rate of corrosion affects the Acoustic Emission Energy. The corrosion rate was increased with the concentrations of the solution increasing from the corrosion process. The corrosion rate was also increased with the sound wave power increases. Therefore, in order to achieve the corrosion rate and the position of the defects on the inner surface of the tank, non-destructive testing with acoustic emission technique can be factually chosen for this specific application.

Keyword : Acoustic emission energy, Aboveground storage tank, Corrosion rates,
Non-destructive testing, Acoustic emission testing

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอนุเคราะห์ และการเอื้อเฟื้อจากคณาจารย์ บุคลากรหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือทั้งคำเสนอแนะแนวทาง ตลอดจนข้อบกพร่องต่าง ๆ จนทำให้โครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในโครงการนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคุณวรา สุวรรณสินธุ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำแก่ผู้ทำโครงการนี้ อีกทั้ง ความช่วยเหลือและความรู้ในเชิงปฏิบัติการในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนเอื้อเฟื้อสอนเทคนิค วิธีการต่าง ๆ เป็นอย่างดีจนกระทั่งโครงการเสร็จสิ้นด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อ.พลกฤษณ์ คุ่มกล้า ซึ่งเป็นประธานกรรมการ ดร.ธนพงศ์ สารอินทร์ ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพัยค์ ซึ่งเป็นกรรมการ และ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ ซึ่งเป็นกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี รวมทั้งแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในโครงการนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่านในคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวัสดุศาสตร์ อุตสาหกรรม ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้ สอนวิธีการใช้ เครื่องอย่างเชี่ยวชาญและสามารถนำไปใช้งานได้จริง ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนครที่มอบทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒

ผู้วิจัยหวังว่าโครงการเล่มนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ได้ส่งเสริมสนับสนุนทุกอย่างมาโดยตลอดและคอยเป็นกำลังใจที่ดี เสมอมา

ศุภฤตา ราชวงศ์
ณัฐวุฒิ เชื้อปรางค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน	4
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีถึงกักเก็บน้ำมัน	5
2.2 การกักต่อน	7
2.3 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย	18
2.4 การทดสอบโดยการรับคลื่นเสียง	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
3. วิธีดำเนินการ	
3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	31
3.2 ชุดเครื่องมือการทดสอบโดยการรับคลื่นเสียง	34
3.3 วิธีการทำงาน	38
3.4 การตรวจสอบการกักต่อน	39
4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล	
4.1 การกักต่อนของชิ้นงานทดสอบ	42
4.2 การตรวจสอบหาตำแหน่งของการกักต่อนจากสัญญาณคลื่นเสียง	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	58
ประวัติการศึกษา	67



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างอัตราการเกิด Pitting Corrosion	6
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบเหล็ก เกรด SS400	32
ตารางที่ 3.2 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	33
ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นของสารละลายและจำนวนสารเคมีที่ใช้ในการกัดกร่อน	33
ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของสารละลาย NaCl ที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน	43
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นที่ส่งผลต่อลักษณะของสัญญาณ Acoustic Emission	49
ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบหาตำแหน่งการกัดกร่อนด้วยเทคนิคการวัดสัญญาณคลื่นเสียง	51



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า DGP ของประเทศไทย	1
รูปที่ 1.2 ร้อยละของค่าใช้จ่ายในการควบคุมการกัดกร่อนของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี	2
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างองค์ประกอบที่สามารถทำให้เกิด corrosion ภายในตัวถังได้	6
รูปที่ 2.2 Galvanic Cell	8
รูปที่ 2.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์	8
รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบ Uniform Corrosion	10
รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนแบบ Galvanic Corrosion	10
รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนแบบ Pitting Corrosion	11
รูปที่ 2.7 การกัดกร่อนแบบ Inter-granular	11
รูปที่ 2.8 การกัดกร่อนแบบ Crevice Corrosion	12
รูปที่ 2.9 การกัดกร่อนแบบ Erosion Corrosion	12
รูปที่ 2.10 การเกิดการกัดกร่อนแบบ Stress Corrosion	13
รูปที่ 2.11 การกัดกร่อนแบบ Fretting Corrosion	14
รูปที่ 2.12 ภาพจำลองแสดงการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า	14
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบย่อยทั้ง 2 ของการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก	16
รูปที่ 2.14 ทางการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก	17
รูปที่ 2.15 การตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย	18
รูปที่ 2.16 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้วิธี Acoustic Emission Test	19
รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ชุดทดสอบอะคูสติกอิมิชัน	21
รูปที่ 2.18 คลื่นเสียงที่มีลักษณะแบบต่อเนื่อง	22
รูปที่ 2.19 คลื่นเสียงที่มีลักษณะแบบเป็นช่วง	22
รูปที่ 2.20 อะคูสติกพารามิเตอร์	23
รูปที่ 2.21 รูปแบบการคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเสียง	26
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างระบบการทดสอบด้วยอะคูสติกอิมิชัน	27

สารบัญรูป (ต่อ)

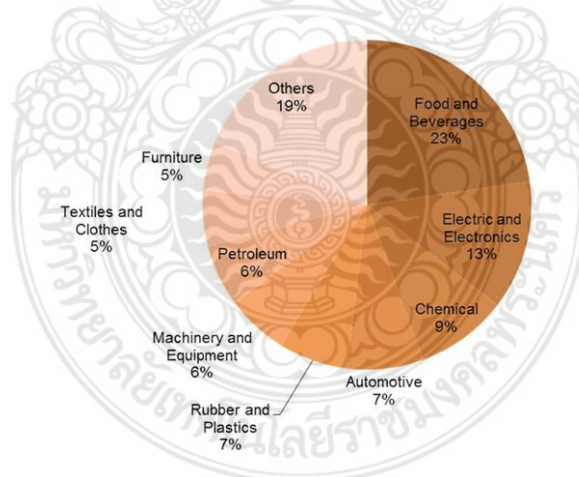
รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Vallen Systeme GmbH	34
รูปที่ 3.2 แบบจำลองการติดตั้งสัญญาณ	35
รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผล Acoustic Emission Test	36
รูปที่ 3.4 แสดงภาพขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการกัดกร่อน	38
รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงรุ่น Axio Scope.A1 ของบริษัท Carl Zeiss	39
รูปที่ 3.6 การ cross section โดยเครื่องตัดชิ้นงาน รุ่น Isomet 5000 ของบริษัท BUEHLER	40
รูปที่ 3.7 เครื่องอัดชิ้นงาน	40
รูปที่ 3.8 เครื่องขัดชิ้นงานละเอียดรุ่น	41
รูปที่ 4.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของ NaCl ที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน	43
รูปที่ 4.2 พื้นผิวของชิ้นงานทดสอบที่ถูกกัดกร่อนในสารละลาย NaCl	45
รูปที่ 4.3 ภาพตัดขวางของชิ้นงานทดสอบที่ถูกกัดกร่อนภายใต้สารละลาย NaCl	46
รูปที่ 4.4 แบบจำลองกลไกการเกิดสัญญาณคลื่นเสียงจากการกัดกร่อน	47
รูปที่ 4.5 พลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน	49
รูปที่ 4.6 ลักษณะของความยาวของช่วงคลื่น	50
รูปที่ 4.7 ภาพระยะเวลาของความยาวช่วงคลื่นกับแอมพลิจูดที่ปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ	50

บทที่ 1

บทนำ

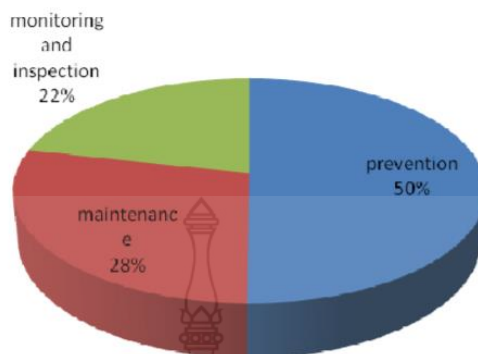
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าอย่างมากให้กับประเทศไทย และเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่ส่งผลโดยตรงกับรายได้ประชากรมวลรวมของประเทศไทย ดังรูปที่ 1.1 โดยในการดำเนินงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียม นั้นประกอบด้วยหลายส่วน ทั้งด้านการสำรวจ ขุดเจาะ การผลิตและการแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างไรก็ตามในกระบวนการดำเนินงานของอุตสาหกรรมดังกล่าวส่วนหนึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากในกระบวนการป้องกันและซ่อมบำรุงทางด้านการกัดกร่อน ในปีหนึ่ง ๆ อุตสาหกรรมต้องเสียงบประมาณมากกว่าร้อยละ 20 ไปกับค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ซึ่งในกระบวนการป้องกันและซ่อมบำรุงด้านการกัดกร่อน จะมีค่าใช้จ่ายหลัก ๆ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการป้องกัน ร้อยละ 50 การซ่อมบำรุงร้อยละ 28 การตรวจสอบร้อยละ 22 ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีค่าสูงส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการลดต้นทุน ซึ่งอาจทำในส่วนตัวส่วนหนึ่งหรือทั้ง 3 ส่วนพร้อมกันได้



Source: National Economic and Social Development Board, Thailand

รูปที่ 1.1 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า DGP ของประเทศไทย [1]



รูปที่ 1.2 ร้อยละของค่าใช้จ่ายในการควบคุมการกักก่อนของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี [2]

ในกระบวนการตรวจสอบและเฝ้าติดตามความเสียหายจากการกักก่อน ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญเพราะนอกจากการลดต้นทุนการซ่อมบำรุง ยืดอายุการใช้งานแล้ว ยังช่วยป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของการดำเนินงานได้ การทดสอบโดยไม่ทำลาย จึงถูกเลือกเพื่อนำมาใช้ในงานดังกล่าว การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เป็นการทดสอบหาความบกพร่องหรือความผิดปกติของชิ้นงาน รอยเชื่อมของชิ้นงานโดยที่ไม่ต้องทำลายชิ้นงานระหว่างการทดสอบ ไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขนาด หรือสมรรถนะ โดยเป็นการตรวจสอบสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น แสง ความร้อน รั้งสี คลื่นเสียง ไฟฟ้า หรือแม่เหล็กของวัสดุ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความผิดปกติของโครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ การวัดสมบัติเหล่านี้ สามารถประเมินความผิดปกติของโครงสร้างภายในหรือรอยบกพร่องที่มีอยู่ได้ โดยไม่ทำให้วัสดุเกิดความเสียหาย การทดสอบโดยไม่ทำลายมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีต้นทุนการผลิตสูง นอกจากนี้ยังใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องของอุปกรณ์และโครงสร้างทั่วไป ทั้งก่อนการใช้งาน (Pre-Service) ระหว่างการใช้งาน (On service) และตรวจสอบระหว่างหยุดใช้งาน (Plant shutdown) เพื่อประเมินอายุการใช้งาน

ถังเก็บน้ำมันในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นส่วนที่เกิดการกักก่อนสูง เนื่องจากทำด้วยเหล็กมีขนาดใหญ่ และบรรจุน้ำมันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในการตรวจสอบการกักก่อนจึงทำได้ยากและลำบาก ถ้าต้องหยุดการทำงานและถ่ายน้ำมันออกจึงเป็นเรื่องที่ยาก ซึ่งต้องใช้งบประมาณที่สูงและเวลานาน ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิต การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย จึงถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการกักก่อนภายในถังเก็บน้ำมันได้โดยไม่ต้องหยุดการทำงาน และไม่ต้องถ่ายน้ำมันออกจากถังน้ำมัน

โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและตรวจสอบจุดบกพร่องบนพื้นผิวภายในถังเก็บน้ำมันโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายโดยใช้การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียงเพื่อตรวจสอบการกัดกร่อนและความเสียหายที่เกิดขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของ การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคลื่นเสียงกับลักษณะการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นของถังเก็บน้ำมันโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการตรวจสอบการกัดกร่อน	เหล็ก
แบบจำลองการกัดกร่อน	กัลวานิกเซลล์
กระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบการกัดกร่อน	การปลดปล่อยคลื่นเสียง (AE)
รูปแบบการกัดกร่อนที่ศึกษา	การกัดกร่อนแบบ Uniform Corrosion
การตรวจสอบ	ลักษณะของสัญญาณที่สัมพันธ์กับลักษณะการกัดกร่อนของ Uniform Corrosion
การวิเคราะห์	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้และทักษะการปฏิบัติเกี่ยวกับการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง

1.4.2 สามารถลดกระบวนการตรวจสอบและเฝ้าติดตามการกัดกร่อนของถังน้ำมัน ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง เพื่อยืดอายุการใช้งานของถังเก็บน้ำมัน

1.4.3 เป็นการนำความรู้ทางด้านวัสดุศาสตร์มาประยุกต์ใช้งานจริง

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน			
	พ.ย. 61	ธ.ค. 61	ม.ค. 62	ก.พ. 62
ศึกษาและทบทวนวรรณกรรม				
วางแผนการทำโครงการ				
จัดซื้อวัสดุ จัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์ เพื่อใช้ในการทำโครงการ				
ทดสอบการใช้งานตามเงื่อนไขและตัวแปรที่ได้กำหนดไว้				
รวบรวมข้อมูลการทำโครงการ การดำเนินการ ผลการทดสอบ และสรุปผลการดำเนินการทดลองศึกษา				

บทที่ 2

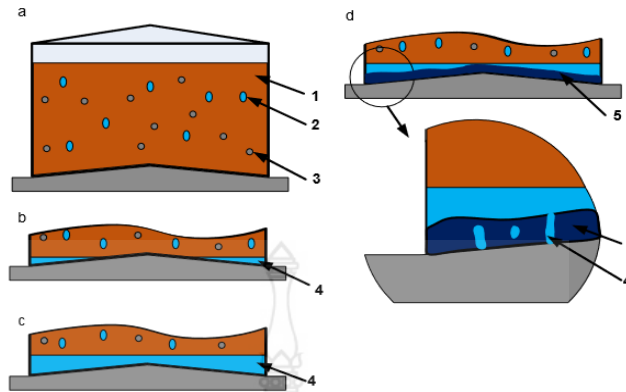
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง ผู้วิจัยได้มีการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการตรวจสอบ ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ โดยสามารถจำแนกเป็นหัวข้อหลัก ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีถังกักเก็บน้ำมัน [12]

ถังเก็บน้ำมัน (Above ground storage tank) ใช้เก็บน้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมีฯ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกระบอก ตั้งอยู่เหนือพื้นดิน พื้นถังอาจตั้งบนพื้นดินโดยตรง หรืออาจตั้งบนฐานคอนกรีต หรือตั้งบนโครงสร้างอื่น ถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงเหนือดินสามารถออกแบบให้มีขนาดความจุได้หลากหลาย ไม่ค่อยมีข้อจำกัดในการสร้างถึงขนาดใหญ่มาก ก่อสร้างง่าย และราคาต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงใต้ดินอื่น ๆ โดยภาชนะบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงได้ไม่เกิน 90% ของปริมาตรภาชนะบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงดังรูปที่ 2.1

ถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ทำด้วยเหล็ก ความจุมากกว่า 227 ลิตรขึ้นไป [18] เมื่อถึงมีขนาดใหญ่ส่งผลให้มีการตรวจสอบที่ยากลำบากเพื่อหาการกัดกร่อน ต้องหยุดการทำงานและถ่ายน้ำมันออก ซึ่งต้องใช้งบประมาณที่สูงและเวลานาน ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิต จึงจะพบความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในตัวถัง จึงเป็นที่มาของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยกระบวนการปลดปล่อยคลื่นอะคูสติกอิมพัลส์ ที่สามารถตรวจสอบได้โดยไม่ต้องหยุดการทำงานของเครื่องและไม่ต้องถ่ายน้ำมันออกจากถังน้ำมัน



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างองค์ประกอบที่สามารถทำให้เกิด Corrosion ภายในตัวถังได้ [20]

ภายในถังน้ำมันจะประกอบด้วย น้ำมันดิบ น้ำ เกลือ ตะกอนในสารละลาย และองค์ประกอบธาตุเคมีต่าง ๆ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถัน โลหะ เป็นต้น ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเคมีให้เกิดความเสียหายกับตัวถังน้ำมันจากภายในตัวถังน้ำมันได้ ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้เลย โดยความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเกิดในรูปแบบของการกัดกร่อนแบบ Pitting corrosion ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างอัตราการเกิด Pitting corrosion [20]

Type of Oil	Corrosion Rate (mm/year)	
	Average	Pitting
Crude	0.1-0.5	1.0-3.0
Light	0.05-0.3	0.4-0.8

2.2 การกัดกร่อน

การกัดกร่อน (Corrosion) หมายถึง ภาวะที่วัตถุทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อมทำให้วัสดุนั้นเกิดการเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานหรือวัตถุประสงค์การใช้งานลดลง ในสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปการกัดกร่อนเกิดได้หลายสาเหตุ และส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แต่ทั้งนี้สามารถเป็นปฏิกิริยาเคมี หรือปฏิกิริยาทางกายภาพของโลหะได้เช่นกัน การกัดกร่อนของเหล็ก เรียกว่าการเกิดสนิมหรือ เหล็กออกไซด์ ซึ่งเกิดจากเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจากอากาศหรือน้ำ [3] โดยทั่วไปการป้องกันการกัดกร่อนจะมีอยู่หลายแบบ

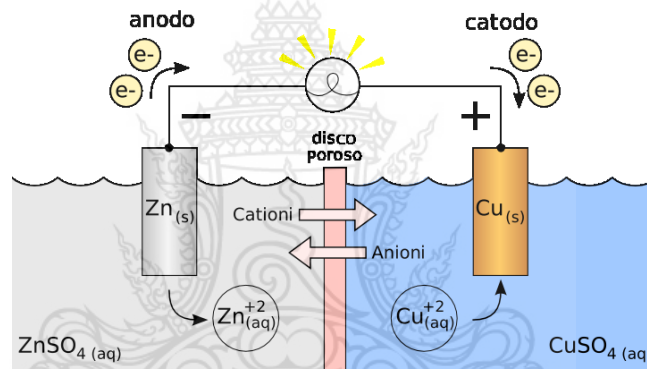
1.การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection) เป็นการทำให้โครงสร้างที่ต้องการป้องกันเป็นแคโทด ซึ่งอาจทำได้โดยการให้กระแสไฟฟ้า (Impressed current) หรือการใช้แอโนดสลับเปลี่ยน (Sacrificial anode) โดยใช้วัสดุตัวอื่นซึ่งทำหน้าที่เป็นแอโนดเข้ากับโลหะที่ต้องการป้องกัน เพื่อให้ผู้กร่อนแทนการกัดกร่อนแผ่นโลหะการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี โดยโลหะจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับแอโนดในเซลล์กัลวานิกหรือเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นถ้าไม่ต้องการให้เกิดการกัดกร่อนจึงต้องให้โลหะนั้นมีสถานะเป็นแคโทดหรือคล้ายกับแคโทด โดยใช้โลหะที่เสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าเหล็ก (มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์รีดักชันน้อยกว่าเหล็ก) ไปติดกับเหล็ก เช่น การเชื่อมต่อแมกนีเซียมตามท่อ หรือตามโครงเรือ จะทำให้เหล็กกัดกร่อนช้าลง เนื่องจากแมกนีเซียมเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าเหล็ก เปรียบเสมือนกับให้แมกนีเซียมเป็นแอโนด และให้เหล็กเป็นแคโทด

2.การป้องกันแบบแอโนดิก (Anodic protection) เป็นการใช้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกทำให้โลหะที่ต้องการปกป้องสร้างชั้นฟิล์มที่เสถียร (protective film) ที่ผิวซึ่งจะใช้ได้กับโลหะเพียงบางชนิด เช่น อะลูมิเนียม ($E_0 = -1.66 \text{ V}$) และสังกะสี ($E_0 = -0.76 \text{ V}$) มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เนื่องจากรีดักชันน้อยกว่าเหล็ก ($E_0 = -0.44 \text{ V}$) ซึ่งโดยปกติจะมีแนวโน้มที่เกิดออกซิเดชันได้ง่ายกว่าเหล็กมาก และมีโอกาสที่จะเกิดสนิมหรือเกิดออกไซด์ได้ง่าย แต่ปรากฏว่าไม่เกิดการผุกร่อนในลักษณะที่เหมือนกับเหล็ก ทั้งนี้เพราะชั้นของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่เกิดขึ้นจะเคลือบเป็นผิวบาง ๆ คลุมอยู่บนผิวของโลหะนั้นเอาไว้ ทำให้เนื้ออะลูมิเนียมหรือสังกะสีที่อยู่ข้างใต้ไม่กัดกร่อน ส่วนออกไซด์ของเหล็กที่เกิดขึ้นที่ผิวของเหล็กมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงป้องกันเนื้อเหล็กไม่ได้ และนอกจากอะลูมิเนียมและสังกะสีแล้ว ยังมีดีบุกที่ถึงแม้จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์รีดักชัน ($E_0 = -0.14$) ซึ่งมีค่ามากกว่าเหล็ก เมื่อนำมาอยู่ใกล้เหล็กจะสามารถทำให้เหล็กกัดกร่อนได้เร็วขึ้น แต่สามารถนำมาป้องกันการผุกร่อนได้ เนื่องจากออกไซด์ของดีบุกจะเคลือบผิวของโลหะ

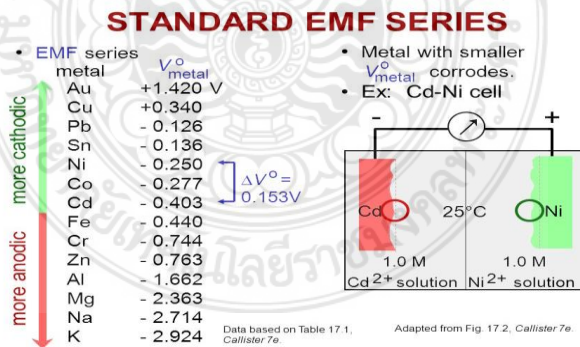
แล้วจะทำให้โลหะไม่เกิดการผุกร่อนอีกต่อไป แต่การเคลือบด้วยดีบุกต้องเคลือบให้มิดชิด เพราะเมื่อใดก็ตามที่เหล็กสามารถสัมผัสกับแก๊สออกซิเจนและน้ำได้ เหล็กก็จะถูกเร่งให้กัดกร่อนเร็วขึ้นกว่าเดิม [4]

2.2.1 ประเภทของการกัดกร่อนด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี [8]

2.2.1.1 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Two – metal cell; Galvanic cell) ขั้ว Anode และขั้ว Cathode จะเป็นโลหะต่างชนิดกัน โดยโลหะที่มีค่า Electrode Potential (E.P.) ต่ำกว่าจะประพฤติตัวเป็นขั้ว Anode ส่วนโลหะที่มีค่า E.P. สูงกว่าก็จะประพฤติตัวเป็นขั้ว Cathode ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขั้ว Anode ก็จะมีการกัดกร่อนไปโดยที่ปริมาณการกัดกร่อนจะเป็นอัตราส่วนกับปริมาณของกระแสไฟฟ้า และน้ำหนักอะตอมของโลหะนั้น (กฎของ FARADAY) ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 Galvanic Cell [19]



รูปที่ 2.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ [30]

2.2.1.2 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ในระบบมีโลหะเพียงชนิดเดียวเท่านั้น (Single – metal cell) ถึงแม้ว่าในระบบจะมีโลหะเพียงชนิดเดียวก็สามารถเกิดสภาวะของขั้ว Anode และขั้ว Cathode ขึ้นได้ เพราะโลหะที่เราใช้กันทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมมักไม่ใช่โลหะบริสุทธิ์ เช่น เหล็ก จะมีส่วนผสมของ Iron Carbide (Fe_3C) หรือส่วนผสมอื่น ๆ จะพบว่าบริเวณขอบเกรนมีการเรียงตัวของอะตอมที่ไม่สมบูรณ์ หรือเรียกว่า Dislocation หรือโลหะไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งชิ้นงาน (Heterogeneous) ทำให้เกิดขั้วของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้นได้ โดยบริเวณขอบเกรนจะมีพฤติกรรมเป็นขั้ว Anode ส่วนภายในเนื้อเกรนจะมีพฤติกรรมเป็นขั้ว Cathode

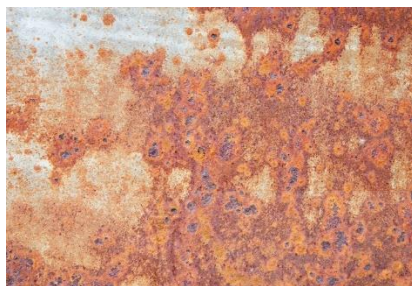
2.2.1.3 การกัดกร่อนของโลหะจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ในสารละลาย Electrolyte ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Concentration cell) ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่มีความเข้มข้นของสารละลาย Electrolyte ที่แตกต่างกันนี้ เราสามารถจำลองขึ้นมาได้โดยการนำเอาเหล็กบริสุทธิ์ ชนิดเดียวกัน 2 แห่ง โดยแห่งแรกจุ่มลงในสารละลายของ Fe^{2+} ที่เจือจาง (0.001 M) และอีกแห่งจะจุ่มลงในสารละลายของ Fe^{2+} ที่เข้มข้น (0.01 M) โดยใช้เยื่อ Porous Membrane กั้นไว้ ตรงกลางเพื่อไม่ให้ไอออน Fe^{2+} แพร่เข้ามาปะปนกัน โดยที่โลหะที่แช่อยู่ในสารละลายเจือจางจะเป็นขั้ว Anode และจะเกิดการกัดกร่อน

2.2.1.4 การกัดกร่อนเมื่อเกิดความแตกต่างของ Oxygen เข้มข้นบนผิวของโลหะที่ขึ้นจนกระทั่งเกิดการ Oxidize ขึ้น (Oxygen - Concentration cell) การกัดกร่อนประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นกับโลหะที่เกิดการ Oxidized ได้ง่าย เช่น เหล็ก (Fe) ที่ไม่ได้มีการเคลือบสารป้องกันไว้

2.2.2 ประเภทของการกัดกร่อนด้วยปฏิกิริยาทางกายภาพ

2.2.2.1 Uniform corrosion (General attack corrosion) เป็นรูปแบบธรรมดาที่สุด การกัดกร่อนเกิดขึ้นทั่ว ๆ ไปตลอดผิวโลหะที่สัมผัสกับสารละลาย เนื้อโลหะจะบางลงทุกขณะ จนกระทั่งไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป การกัดกร่อนรูปแบบนี้ถึงแม้จะทำความเสียหายมาก แต่ในแง่วิศวกรรมแล้วถือว่าไม่เป็นปัญหา เพราะการกัดกร่อน มีอัตราการที่สามารถประมาณอายุการใช้งานของโลหะได้จากการตรวจสอบด้วยสายตาดังรูปที่ 2.4

- การป้องกันและแก้ไข
- ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor)
 - ชุบเคลือบผิวโลหะด้วยสารอื่น (Coating)



รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบ Uniform Corrosion [29]

2.2.2.2 Galvanic corrosion (Two – metal corrosion) การกัดกร่อนรูปแบบนี้ต้องมีโลหะ 2 ชนิดมาประกบกันเป็นเซลล์ไฟฟ้า โดยโลหะที่แสดงพฤติกรรมเป็นขั้ว Anode จะเกิดการกัดกร่อน ซึ่งอาจเกิดขึ้นเฉพาะจุด หรืออาจเกิดเป็นพื้นที่บริเวณกว้างได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการประกบกับโลหะดัง

รูปที่ 2.5

การป้องกันและแก้ไข - ใช้ฉนวนกันระหว่างโลหะทั้งสอง

- โลหะที่เป็น Anode (E.P ต่ำ) ควรมีพื้นที่มากเมื่อเทียบกับพื้นที่ของขั้ว Cathode



รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนแบบ Galvanic Corrosion [23]

2.2.2.3 Pitting Corrosion สาเหตุเกิดจากการกัดกร่อนในที่อับ ตามบริเวณใต้ปะเก็น หัวหมุด ตะปู หรือตามมุมอับต่าง ๆ หรือเกิดในสถานะน้ำนิ่งที่มีคลอไรด์ผสมอยู่ เช่น น้ำทะเล มักจะเกิดกับโลหะ ประเภท Aluminum หรือ Stainless steel ดังรูปที่ 2.6

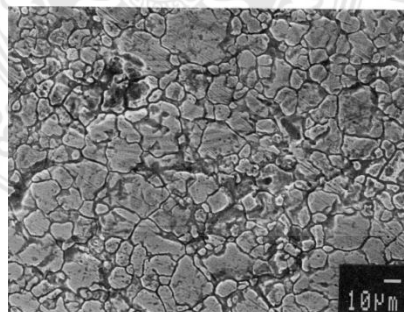
การป้องกันและแก้ไข - เลือกใช้โลหะชนิดที่มีความสามารถในการต้านทานการผุกร่อนแบบ Pitting มาใช้



รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนแบบ Pitting Corrosion [22]

2.2.2.4 Inter-granular and Knife line attack มักเกิดกับโลหะ Stainless steel ชนิด 18-8 ที่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาไม่ถูกต้อง (510 – 780°C) ดังรูปที่ 2.7

การป้องกันและแก้ไข - ต้องให้ความร้อนจนถึง 1010-1120 °C และชุบให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว หรือผสมกับโลหะอื่นที่รวมตัวกับ C ได้ง่ายกว่า Cr เช่น Nb Ta และ Ti



รูปที่ 2.7 การกัดกร่อนแบบ Inter-granular [24]

2.2.2.5 Crevice corrosion เป็นรูปแบบหนึ่งของ Electrochemical corrosion ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในรอยแยก รอยร้าว และภายใต้เกราะป้องกันผิวที่อยู่ในสารละลายหนึ่ง การกัดกร่อนแบบ crevice นี้มักเกิดขึ้นกับโลหะผสมเช่น Stainless steel titanium aluminum และ Copper alloy ดังรูปที่ 2.8

การป้องกันและแก้ไข - ใช้การเชื่อมแทนการใช้ตัว Riveted ในโครงสร้าง

- ออกแบบภาชนะที่มีรูระบายเพื่อป้องกันการสะสมตัวของสารละลาย

- ใช้ปะเก็นที่ไม่ดูดซับสารละลาย เช่น Teflon



รูปที่ 2.8 การกัดกร่อนแบบ Crevice Corrosion [25]

2.2.2.6 Erosion corrosion การผุกร่อนรูปแบบนี้พบได้มากในเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำ หรือของเหลวใด ๆ ที่มีความเร็วในการไหลสูงๆ เช่น ใบพัดเรือ ใบพัดของเครื่องสูบน้ำ ข้อเสี้ยวของท่อ ฯลฯ การกัดกร่อนรูปแบบนี้เกิดจากสาเหตุ 2 ประการคือ 1. Electrochemical Corrosion 2. แรงกระแทกของของไหลหรือจากเศษผงอื่น ๆ ในของไหล ซึ่งโลหะบางชนิดสามารถสร้าง Oxide film เพื่อปกป้องได้ แต่เมื่ออยู่ในสภาพน้ำไหลแรง หรือมีแรงกระแทกต่าง ๆ ก็ทำให้ Oxide film นั้นถูกทำลายโลหะจะเกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้นดังรูปที่ 2.9

การป้องกันและแก้ไข - ต้องเลือกโลหะที่ผ่านการตรวจสอบว่ามีความทนทานต่อการใช้งาน



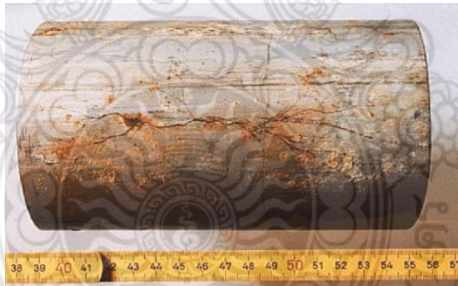
รูปที่ 2.9 การกัดกร่อนแบบ Erosion Corrosion [28]

2.2.2.7 Dezincification การกัดกร่อนรูปแบบนี้เกิดขึ้นกับโลหะจำพวกทองเหลือง โดยเฉพาะทองเหลืองที่นำไปใช้งานในน้ำเค็ม สังกะสีในทองเหลืองจะถูกละลายไปเหลือแต่ทองแดงทำให้ทองเหลืองมีลักษณะพรุน ชิ้นงานจึงมีความแข็งแรงลดลง สังเกตได้ง่ายเพราะชิ้นงานที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้จะมีสีคล้ายทองแดง

การป้องกันและแก้ไข - ต้องใช้ทองเหลืองซึ่งมีดีบุก, Antimony, Arsenic, และ Phosphorus ผสมอยู่

2.2.2.8 Stress corrosion การกัดกร่อนรูปแบบนี้เป็นผลของการกัดกร่อนทั่ว ๆ ไปพร้อมกับ Stress ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของโลหะ ซึ่งมี 2 แบบคือ Stress ภายนอกที่กระทำกับโลหะเนื่องจากการใช้งาน และ Stress ภายในที่เกิดจากการขึ้นรูปหรือการเชื่อม การเกิด Stress corrosion มักจะเริ่มจากการกัดกร่อนที่อาจจะเกิดขึ้นได้ทั่ว ๆ ไปที่จุดใดจุดหนึ่งก่อน ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้น แต่เมื่อมี Stress เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น จนทำให้โลหะนั้นแยกออกจากกันได้อย่างเร็วขึ้น เป็นผลทำให้อัตราการกัดกร่อนเร็วขึ้น ดังรูปที่ 2.10

การป้องกันและแก้ไข - ใช้อโลหะที่อุณหภูมิสูง เพื่อคลายความเครียดที่สะสมอยู่
- ลดความรุนแรงจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ, ความเข้มข้น ฯลฯ



รูปที่ 2.10 การเกิดการกัดกร่อนแบบ Stress Corrosion [26]

2.2.2.9 Fretting corrosion การกัดกร่อนรูปแบบนี้เป็นกรกัดกร่อนที่เกิดจากการขัดสี ซึ่งไม่เกี่ยวกับปฏิกิริยา Electrochemical cell เช่น เพลาล้อรถที่จอดทิ้งไว้นาน ๆ ซึ่งบริเวณที่เพลากับแบร็งมีการขยับและเคลื่อนไหวเล็กน้อยอยู่เสมอ การขัดสีระหว่างผิวทั้งสองทำให้อนุภาคของเหล็กหลุดออก และถูก Oxidized โดยอากาศเกิดเป็นเหล็กออกไซด์ ยิ่งถ้ามีน้ำหนักรวมการกัดกร่อนยิ่งมีมากขึ้น ถึงแม้การหล่อลื่นด้วยน้ำมันสามารถช่วยได้แต่ไม่สามารถป้องกันได้ 100% ดังรูปที่ 2.11

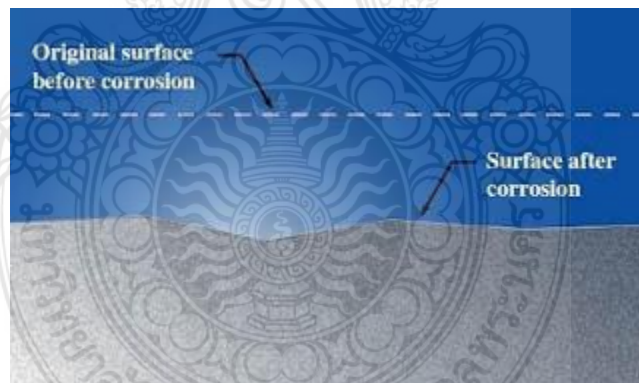
การป้องกันและแก้ไข - ต้องไม่ให้เกิดการเคลื่อนไหว หรือการขัดสีระหว่างผิวทั้งสอง หรือให้มีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา



รูปที่ 2.11 การกัดกร่อนแบบ Fretting Corrosion [27]

2.2.3 อัตราการกัดกร่อน [9]

การกัดกร่อนของโลหะมักจะถูกกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าของโลหะ ดังแสดงภาพจำลองในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาพจำลองแสดงการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า [9]

อัตราการกัดกร่อน (Corrosion rates) เป็นการหาค่าการกัดกร่อนเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า และเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนผิวหน้าและเป็นบริเวณกว้าง มีผลให้ความหนาของโลหะลดลง หรือมีน้ำหนักหายไป การกัดกร่อนลักษณะเช่นนี้จะไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงเท่าใดนัก เนื่องจากสามารถคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนและออกแบบเพื่อได้พร้อมทั้งทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ได้ ซึ่งอัตราการกัดกร่อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{Corrosion Rates} = \frac{3,445w}{\text{DAT}} \quad (2.1)$$

โดยที่ Corrosion Rates = อัตราการกัดกร่อน (mm/year)

W = น้ำหนักที่สูญเสียไป (mg)

D = ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm³)

A = พื้นที่หน้าตัด (cm²)

T = ระยะเวลาที่ทำการทดสอบ (hr)

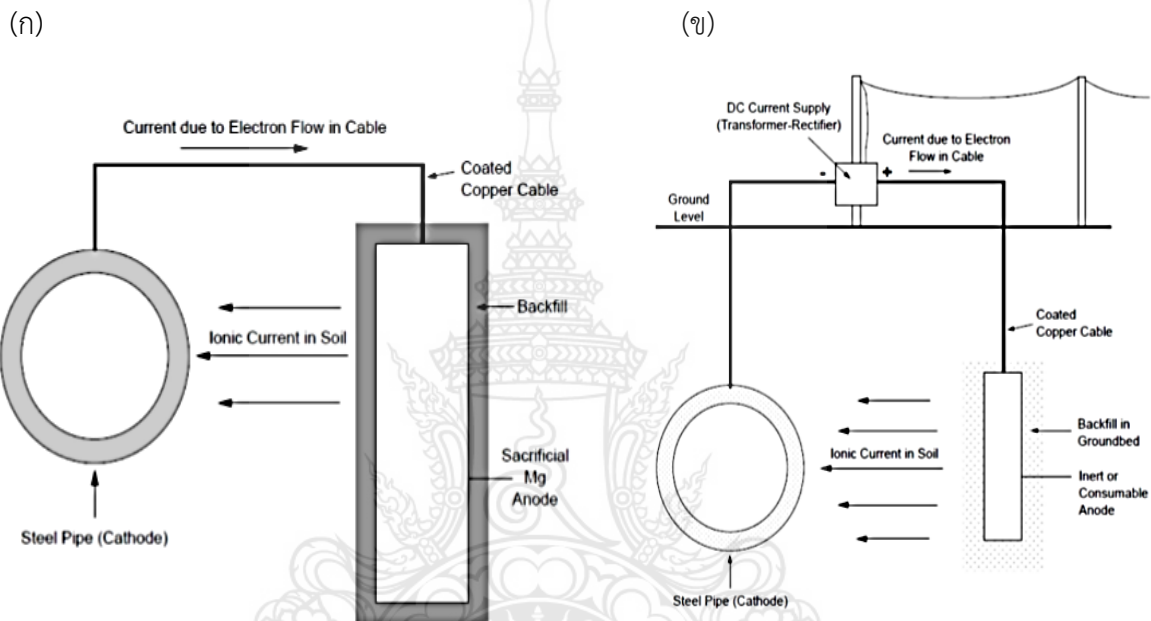
2.2.4 ทฤษฎีการป้องกันการเกิดสนิมด้วยระบบแคโทดิก [7]

2.2.4.1 ประวัติการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก

ประวัติการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก สนิมหรือการกัดกร่อนของโลหะเป็นสิ่งที่อยู่คู่กับมนุษย์มาตั้งแต่อดีตกาล มนุษย์รู้จักการป้องกันสนิมมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ แต่การป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิกเพิ่งจะเริ่มมีการนำมาใช้งานในยุค Modern Age เมื่อปี ค.ศ.1824 โดย Sir Humphrey Davy นำแท่งเหล็กมาติดตั้งเข้ากับแผ่นทองแดงที่ติดอยู่บนตัวเรือไม้ได้แนวน้ำของกองทัพเรืออังกฤษ เมื่อการสร้างเรือมีการเปลี่ยนวัสดุจากไม้มาเป็นเหล็ก จึงได้มีการเปลี่ยนแปลงวัสดุสำหรับการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิกจากการใช้แท่งเหล็กมาเป็นแท่งสังกะสีแทน นับแต่นั้นเป็นต้นมาการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิกก็ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงแรกระบบแคโทดิกมีการใช้งานเพื่อป้องกันสนิมอย่างแพร่หลายกับอุปกรณ์ในทะเล และพัฒนาต่อมาสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้งานใต้ดิน ปัจจุบันระบบแคโทดิกเริ่มเข้ามามีบทบาทอย่างกว้างขวางสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.2.4.2 หลักการทำงานของระบบแคโทดิก

การป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิกใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งกำเนิดภายนอกเพื่อยับยั้งการเกิดสนิมของโลหะ โดยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่ด้วยกัน 2 แหล่งคือ จากโลหะกัตกרון (Sacrificial anodes) และตู้จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับหลักการทำงานพื้นฐานของทั้ง 2 ระบบย่อย ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบย่อยทั้ง 2 ของการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก [7]

(ก) หลักการทำงานของโลหะกัตกרון

(ข) หลักการทำงานของ Impressed Current Cathodic Protection

สำหรับระบบโลหะกัตกרוןจะใช้โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าตามธรรมชาติต่ำกว่า (Anode) มาติดกับโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าตามธรรมชาติสูงกว่า (Cathode) โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าจะเป็นสนิม ส่วนโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจะได้รับการป้องกันและไม่เป็นสนิม โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งจาก Anode ไปสู่ Cathode ด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง Anode และ Cathode ดังนั้นเมื่อติดตั้ง Anode แล้วต้องมั่นใจว่า Anode และ Cathode มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า หรือครบวงจรไฟฟ้านั่นเอง โลหะกัตกרוןที่นิยมใช้งานในปัจจุบันได้แก่ สังกะสี อลูมิเนียม แมกนีเซียม และเหล็ก

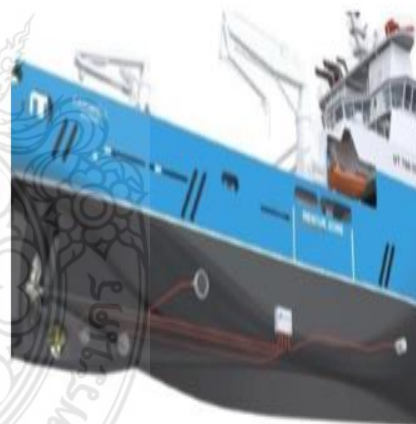
ในส่วนของระบบ ICCP นั้น กระแสไฟฟ้าที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดสนิมไม่ได้มาจาก Anode แต่มาจากตู้จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถมีแหล่งกำเนิดได้จากหลายแหล่ง คือ ไฟฟ้ากระแสสลับจากการไฟฟ้าผ่านเครื่องแปลงไฟฟ้า แบตเตอรี่ โซลาร์เซลล์ หรือ กังหันลม เป็นต้น ระบบ ICCP จะมีความเหมาะสมในการป้องกันสนิมให้กับโครงสร้างโลหะที่ต้องการกระแสไฟฟ้าปริมาณมาก สภาพแวดล้อมที่มีความต้านทานทางไฟฟ้าสูง โครงสร้างโลหะที่ต้องการระยะเวลาในการป้องกันสนิมยาวนาน

ข้อควรระวังในการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก คือ ระบบแคโทดิกต้องการตัวกลาง หรือ Electrolyte ที่จะนำกระแสไฟฟ้าจาก Anode ไปยัง Cathode เช่น น้ำ ดิน หรือปูน จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่ายังมีวิศวกร หลายคนที่ยังจะนำ Anode ไปติดกับ Cathode โดยไม่มี Electrolyte เช่น ตัวถังรถยนต์ เสาคู่ไฟบนบก ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ผิดเพราะอากาศไม่สามารถนับเป็น Electrolyte ได้ ดังรูปที่ 2.14

(ก)



(ข)



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก [7]

(ก) ไม่มีระบบแคโทดิก (ข) มีระบบแคโทดิก

2.3 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย [5]

เป็นการใช้หลักการทางฟิสิกส์ เช่น รังสีแกมมาเอกซเรย์ แม่เหล็ก คลื่นเสียง เป็นต้น ทำการตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุ ชิ้นส่วน ส่วนประกอบต่าง ๆ ตั้งแต่วัตถุดิบ ขนาด วัสดุในระหว่างการผลิต และวัสดุหรือสินค้าระหว่างการใช้งาน เพื่อหารอยตำหนิหรือจุดบกพร่องภายในโครงสร้างของวัสดุที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหาย ความไม่ปลอดภัย ซึ่งเป็นอันตรายต่อบุคคลและทรัพย์สินสิ่งแวดล้อม โดยงาน NDT จะทำการตรวจสอบโดยที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทั้งก่อนและหลังการทดสอบ ประโยชน์ของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ เทคนิค NDT ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานของชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบ เป็นเครื่องมือสำคัญในการซ่อมบำรุงรักษา เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์และยังช่วยเพิ่มผลผลิต เนื่องจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลายทำให้พบความเสียหายที่เกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการผลิต หรือเป็นเครื่องมือที่คอยช่วยตรวจวัดคุณภาพของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นยังใช้ทดสอบหรือหาคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพและทางโลหะวิทยาของวัสดุได้ วัสดุที่ถูกตรวจสอบจะไม่ถูกทำลายขณะทำการทดสอบ และยังสามารถนำกลับไปใช้งานต่อได้ โดยเครื่องมือส่วนใหญ่สามารถพกพาไปใช้งานภาคสนามได้สะดวก ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing) [17]

2.4 การทดสอบโดยการรับคลื่นเสียง [6]

ใช้หลักการตรวจจับพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วคราว (Transient elastic wave) ที่ปลดปล่อยจากรอยความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ การตรวจจับคลื่นยืดหยุ่นสามารถทำได้โดยใช้หัวตรวจสอบ (Sensor) ยึดติดที่ผิวหน้าของวัสดุ หัวตรวจสอบจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปของคลื่นเสียงให้เป็นรูปของคลื่นไฟฟ้าและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจะถูกขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (Pre - amplifier) และส่งสัญญาณไปยังตัวกรองความถี่ (Filter) เพื่อกรองความถี่บางช่วงความถี่ออก และส่งผ่านสัญญาณนั้นไปวิเคราะห์เทียบกับขนาดหรือความรุนแรงของรอยความไม่ต่อเนื่อง การวิเคราะห์สัญญาณทำได้ทั้งโดเมนเวลา (Time domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือใช้รวมกันทั้งสองโดเมน โดยความถี่ทั่วไปที่นำไปวิเคราะห์มักอยู่ในช่วงตั้งแต่ 25 kHz ถึง 3 MHz แต่ความถี่ที่นิยมใช้ในงานต่าง ๆ มักอยู่ในช่วง 100 kHz ถึง 1 MHz อะคูสติกอิมิชชันมีความไวในการทดสอบสูงมาก คลื่นผิว (Surface wave) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของวัสดุที่ทำให้เกิดระยสะขจัดที่มีขนาดเล็กเพียง 10^{-14} นิ้ว ก็สามารถทดสอบได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้วิธี Acoustic Emission Test [10]

2.4.1 อุปกรณ์การทดสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน

2.4.1.1 หัวตรวจสอบ

ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลของคลื่นเสียงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบสัมผัส (Contact) และแบบไม่สัมผัส (Non contact)

2.4.1.1.1 หัวตรวจสอบแบบสัมผัส หัวตรวจสอบชนิดนี้จะติดตั้งโดยการสัมผัสกับวัตถุที่จะทดสอบโดยตรง โดยใช้สารช่วยสัมผัส (Couplant) ในการช่วยให้การส่งผ่านคลื่นเสียงได้ดียิ่งขึ้น ชนิดของสารช่วยสัมผัสจะเป็นชนิดเดียวกันกับการทดสอบด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง การยึดติดกับวัตถุที่จะทดสอบอาจทำได้โดยใช้แม่เหล็ก เทปกาว หรือการใช้ฮีพอกซี ส่วนประกอบภายในหัวตรวจสอบชนิดนี้จะมีลักษณะเหมือนกับหัวตรวจสอบคลื่นเสียงความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วยวัสดุรองหลังและฮีพอกซีที่ทำหน้าที่ให้หัวตรวจสอบรักษารูปร่างและตำแหน่งอยู่ได้ ภายในหัวตรวจสอบจะมีผลึก ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ผลึกชนิดเพียโซอิเล็กทริก (Lead Zirconatetitanate : PZT) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลของคลื่นเสียงเป็นพลังงานทางไฟฟ้าและส่งต่อสัญญาณผ่านสายเคเบิลไปยังอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นที่ติดตั้งอุปกรณ์กรองสัญญาณอยู่ภายใน

2.4.1.1.2 หัวตรวจสอบแบบไม่สัมผัส ใช้หลักการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระยะขจัดที่เกิดขึ้นที่ผิวของวัตถุที่ทดสอบ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ในหัวตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electromagnetic transducer) หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้าในหัวตรวจสอบแบบคาปาซิแตนซ์ (Capacitance transducer)

2.4.1.2 อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าให้มีขนาดใหญ่ขึ้นปกติแล้วอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นควรอยู่ใกล้กับหัวตรวจสอบมากที่สุด (ประมาณ 1 เมตร) เพื่อทำการขยายสัญญาณก่อนที่สัญญาณจะถูกลดทอนลง เมื่อถูกส่งผ่านสายเคเบิลหรืออุปกรณ์อื่น อุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นบางครั้งจะถูกออกแบบให้บรรจุอยู่ในหัวตรวจสอบ

2.4.1.2.1 อุปกรณ์กรองสัญญาณ มักจะติดตั้งอยู่ภายในอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้นเพื่อทำหน้าที่กรองสัญญาณเสียงในย่านความถี่ที่ไม่เกี่ยวข้อง หรือสัญญาณรบกวน (Noise) ออกไป อุปกรณ์กรองสัญญาณมี 3 ชนิด

2.4.1.2.1.1 แบบไฮพาส (High - pass) จะยอมให้เฉพาะสัญญาณที่มีความถี่สูงที่กำหนดผ่าน เช่น กำหนดให้สัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 100 kHz ผ่าน

2.4.1.2.1.2 แบบแบนด์พาส (Band - pass) จะยอมให้เฉพาะสัญญาณที่มีความถี่ที่อยู่ในช่วงที่กำหนดผ่าน เช่น 100 - 300 kHz แบบแบนด์พาส จะยอมให้สัญญาณที่อยู่ในช่วง 100 - 300 kHz ผ่าน

2.4.1.2.1.3 แบบโลพาส (Low - pass) จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำที่กำหนดผ่าน เช่น 100 kHz แบบโลพาส จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 100 kHz ผ่าน

แบบแบนด์พาส จะเป็นแบบที่ใช้กันมากกว่าชนิดอื่น เนื่องจากโดยปกติในการทดสอบด้วย อะคูสติกอิมิตชัน มักต้องการตัดเสียงรบกวนทั้งความถี่สูงและต่ำออก เช่น ตัดความถี่ต่ำจากการ สั่นสะเทือนออก และตัดเสียงรบกวน เช่น จากสัญญาณทางไฟฟ้า หรือจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ความถี่สูงออก

2.4.1.3 อุปกรณ์รับและประมวลสัญญาณ (Discriminator) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณจาก อนุาลอก เป็นดิจิทัล และประมวลสัญญาณนั้นให้อยู่ในรูปของอะคูสติกพารามิเตอร์ อุปกรณ์รับ และประมวลสัญญาณดังแสดงดังรูปที่ 2.17



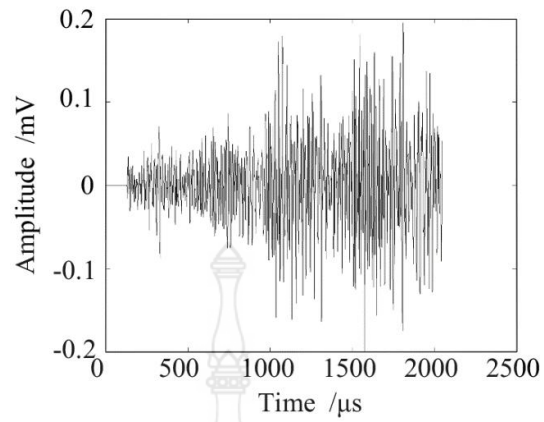
รูปที่ 2.17 อุปกรณ์ชุดทดสอบอะคูสติกอิมิตชัน

2.4.2 ชนิดของคลื่น

คลื่นเสียงทางกลที่ปลดปล่อยออกจากวัสดุและตรวจจับด้วยหัวตรวจสอบนั้น คลื่นเสียงชนิดคลื่น ที่ผิว (Surface wave) มักส่งผลมากกว่าคลื่นเสียงชนิดตามยาว และคลื่นเสียงตามขวาง ทั้งนี้เนื่องจาก มีแอมพลิจูดของระยะขจัดที่สูงกว่า และการลดทอนของพลังงานน้อยกว่าคลื่นชนิดอื่นเนื่องจากการ เคลื่อนที่ไปบนผิวของวัสดุ เมื่อหัวตรวจสอบเปลี่ยนคลื่นเสียงทางกลเป็นคลื่นเสียงทางไฟฟ้าแล้ว สามารถ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด

2.4.2.1 แบบต่อเนื่อง (Continuous)

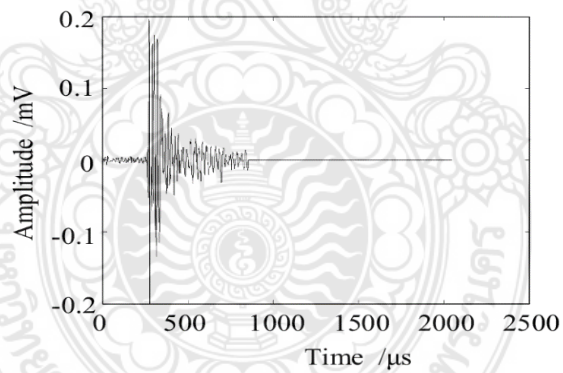
เป็นคลื่นที่เกิดต่อเนื่องกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.18 เช่น สัญญาณเสียงจากการรั่ว ของวาล์ว เป็นต้น พารามิเตอร์ที่มักใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลกับสัญญาณแบบต่อเนื่องคือค่าระดับสัญญาณ เฉลี่ย (ASL) หรือ AE-RMS เป็นต้น



รูปที่ 2.18 คลื่นเสียงที่มีลักษณะแบบต่อเนื่อง [6]

2.4.2.2 แบบเป็นช่วง (Burst)

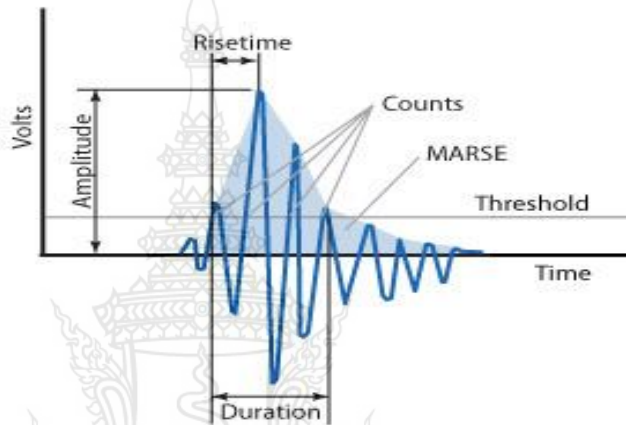
เป็นคลื่นที่มีลักษณะเกิดขึ้นเป็นช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.19 พารามิเตอร์ที่นิยมใช้วิเคราะห์ข้อมูลกับงานที่มีสัญญาณแบบเป็นช่วง ได้แก่ เคานท์ (Count) หรือ ฮิต (Hit) เป็นต้น



รูปที่ 2.19 คลื่นเสียงที่มีลักษณะแบบเป็นช่วง (Burst) [6]

2.4.3 อะคูสติคพารามิเตอร์

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น จะถูกนำไปวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของอะคูสติคพารามิเตอร์ โดยอุปกรณ์รับและประมวลสัญญาณอะคูสติคพารามิเตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่ในงานสนามโดยทั่วไปคือพารามิเตอร์ที่ประมวลผลมาจากทางโดเมนเวลาและที่นิยมใช้กันมากที่สุดและยังใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันได้แก่ “เคาท์” (Count) อะคูสติคพารามิเตอร์ที่สำคัญในทางโดเมนเวลาดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 อะคูสติคพารามิเตอร์ [6]

2.4.3.1 ความหมายของพารามิเตอร์

2.4.3.1.1 Count จำนวนของลูกคลื่นสัญญาณอะคูสติคที่ตรวจจับ

2.4.3.1.2 แอมพลิจูด (Amplitude) เป็นค่าสูงสุด หรือต่ำสุดของระดับสัญญาณอะคูสติคแต่ละสัญญาณที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2

$$\text{dB} = 20 \log \left(\frac{V_{\max}}{1\mu\text{Volt}} \right) - \text{Preamplifier gain (dB)} \quad (2.2)$$

2.4.3.1.3 ช่วงเวลาของสัญญาณ (Duration time) ระยะเวลาตั้งแต่คลื่นสัญญาณมีพีคสูงกว่าเส้น Threshold จนถึงสิ้นสุดสัญญาณที่มีค่าพีคของสัญญาณต่ำกว่าระดับเส้น Threshold มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

2.3.3.1.4 เส้น Threshold เส้นแบ่งระหว่างสัญญาณรบกวนและสัญญาณที่นำมาวิเคราะห์ โดยสัญญาณที่เกิดขึ้นที่ต่ำกว่าเส้น Threshold นั้นเป็นสัญญาณรบกวน

2.4.3.1.5 ช่วงเวลาขาขึ้นของสัญญาณ (Rise time) ระยะเวลาที่พีกของสัญญาณเลยผ่านเส้น Threshold จนถึงจุดที่สัญญาณมีพีกสูงสุด มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

2.4.3.1.6 พลังงาน (Energy) พื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณที่เกิดขึ้นที่ผ่านเส้น Threshold ได้จากค่าอินทิกรัล (Integral) ของค่าสมบูรณ์สัญญาณอะคูสติกเทียบกับช่วงเวลา มีหน่วยเป็นจูล (Joule) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3.1 และ 2.3.2

$$U = \frac{1}{R} \int_0^T A^2(t) dt \quad (2.3.1)$$

โดยที่ R = ความต้านทานไฟฟ้าในเครื่องวัด

A = แอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก ณ เวลาใด ๆ

T = ช่วงเวลาของสัญญาณ

ค่าเฉลี่ยทางแรงดันไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่น มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} A^2(t) dt} \quad (2.3.2)$$

โดยที่ T = ช่วงเวลาของสัญญาณ

A = แอมพลิจูดของสัญญาณอะคูสติก ณ เวลาใด ๆ

2.4.4 สัญญาณรบกวนและการกำจัดสัญญาณรบกวน

2.4.4.1 สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนในที่นี้ หมายถึง สัญญาณที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงอะคูสติกอิมิสซันที่กำลังต้องการตรวจจับอยู่ เช่น การทดสอบรอยร้าวของสะพานอาจมีสัญญาณเสียงของรถที่วิ่งอยู่บนสะพาน เป็นต้น สัญญาณรบกวนแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

2.4.4.1.1 สัญญาณรบกวนทางกล อาจเกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน หรือการเสียดสี เป็นต้น มักมีความถี่ที่ต่ำ และมีแอมพลิจูดขนาดใหญ่

2.4.4.1.2 สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า อาจมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือจากไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องมือ มักมีความถี่ที่สูงหรืออาจมีความถี่ที่เป็นช่วงกว้างครอบคลุมความถี่ต่ำจนถึงความถี่สูง

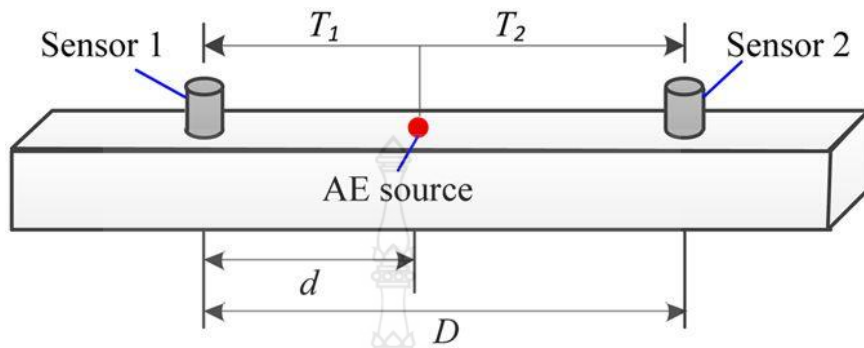
2.3.4.2 การกำจัดสัญญาณรบกวน

2.4.4.2.1 กำจัดสัญญาณรบกวนให้หมดไปก่อนการทดสอบ หรือก่อนที่สัญญาณจะมีค่ามากกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน เป็นวิธีการที่ดีที่สุด แต่บางครั้งไม่สามารถกำจัดได้หมดสิ้น

2.4.4.2.2 กำจัดสัญญาณหลังสัญญาณผ่านขีดเริ่มเปลี่ยนแล้วแต่ไม่ทำการบันทึกผล มีวิธีต่าง ๆ เช่น การใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ไรส์ไทม์ ยกตัวอย่าง เช่น จะกรองสัญญาณที่มีไรส์ไทม์ที่ต่ำกว่า 20 ไมโครวินาทีออก หรือทำการบันทึกสัญญาณที่มีไรส์ไทม์ต่ำกว่านั้น เป็นต้น หรืออาจทำได้โดยการไม่บันทึกสัญญาณรบกวน โดยการใช้การ์ดเซนเซอร์ ซึ่งหมายถึงการใช้หัวตรวจสอบอื่นล้อมรอบหัวตรวจสอบที่กำลังบันทึกสัญญาณ ถ้าหัวตรวจสอบที่เป็นการ์ดเซนเซอร์ได้รับสัญญาณนั้นก่อนสัญญาณนั้นจะไม่ถูกบันทึก

2.4.4.2.3 การกำจัดสัญญาณขณะทำการแปรผล เป็นการกรองสัญญาณที่เกิดขึ้นโดยไม่สมเหตุสมผล อาจโดยใช้ประสบการณ์และการสังเกตคุณลักษณะต่าง ๆ ของสัญญาณหรือจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

2.4.5 การคำนวณหาค่าความเร็วของคลื่นเสียงและการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดอะคูสติกอิมพัลส์



รูปที่ 2.21 รูปแบบการคำนวณหาค่าความเร็วคลื่นเสียง [21]

จากรูปที่ 2.21 กำหนดให้แหล่งกำเนิดเสียงอยู่ที่ตำแหน่ง AE source ห่างจากหัวตรวจสอบที่ 1 เป็นระยะ d ระยะระหว่างหัวตรวจสอบที่ 1 และ 2 มีขนาด D และเมื่อกำหนดให้ V คือความเร็วของคลื่น

เสียงดังนั้น ระยะเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางจากจุด AE source ไปยังหัวตรวจสอบที่ 1 = $\frac{d}{V}$ (2.4)

ระยะเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางจากจุด AE source ไปยังหัวตรวจสอบที่ 2 = $\frac{[D-d]}{V}$ (2.5)

ดังนั้น ระยะเวลาที่หัวตรวจสอบรับสัญญาณเป็นเวลาที่แตกต่างกัน (ΔT) = $\frac{[D-d]}{V} - \frac{d}{V}$ (2.6)

$$= \frac{[D-2d]}{V} \quad (2.7)$$

$$\therefore d = \frac{1}{2} [D - V\Delta T] \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 ถ้าป้อนค่าความเร็วของวัสดุที่ถูกต้องให้กับเครื่องมือ (หน่วยประมวลผลอะคูสติกอิมิชัน) เครื่องมือจะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงได้ การหาความเร็วของคลื่นเสียงที่ถูกต้องในทางปฏิบัติทำได้โดยเริ่มต้นด้วยการป้อนค่าความเร็วที่ใกล้เคียงกับชนิดของวัสดุในทางทฤษฎีให้กับเครื่องมือก่อน เมื่อเครื่องมือคำนวณตำแหน่ง หรือ ระยะ d ให้เปรียบเทียบระยะ d จากที่เครื่องมือคำนวณได้กับระยะจริง จากนั้นทำการปรับค่าความเร็วจนกระทั่งระยะ d ที่คำนวณได้จากเครื่องมือมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด (การปรับค่าความเร็วของคลื่นเสียงอาจคำนวณค่าความเร็วใหม่ได้ด้วยการแทนค่า d และ D ที่ได้จากการวัดจริงและค่า ΔT ที่อ่านได้จากเครื่องมือ)

ในงานหรือวัสดุที่มีขนาดเล็ก หัวตรวจสอบเพียงหัวเดียวอาจสามารถทดสอบครอบคลุมทั่วบริเวณที่ทดสอบได้ (แต่ไม่สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอน) สำหรับงานที่มีขนาดใหญ่การเลือกตำแหน่งติดตั้งและหัวตรวจสอบเป็นสิ่งจำเป็น การพิจารณาจำนวนหัวตรวจสอบขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของวัสดุ ตัวอย่างเช่น ในการทดสอบภาชนะรับแรงดันมักใช้หัวตรวจสอบจำนวน 8-40 หัว โดยมีระยะห่างระหว่างหัวตรวจสอบประมาณ 4-20 ฟุต

2.4.6 ระบบการทดสอบด้วยอะคูสติกอิมิชัน

อะคูสติกอิมิชันใช้หลักการตรวจจับพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วคราว (Transient elastic wave) ที่ปลดปล่อยจากรอยความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ การตรวจจับคลื่นยืดหยุ่นสามารถทำได้ โดยใช้หัวตรวจสอบ (Sensor) ยึดติดที่ผิวหน้าของวัสดุ หัวตรวจสอบจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปของคลื่นเสียงให้เป็นคลื่นไฟฟ้า และสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจะถูกขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (Pre-amplifier) และส่งผ่านไปยังตัวกรองความถี่ (Filter) เพื่อกรองความถี่บางช่วงความถี่ออก และส่งผ่านสัญญาณนั้นไปวิเคราะห์เทียบกับขนาดหรือความรุนแรงของรอยความไม่ต่อเนื่อง การวิเคราะห์สัญญาณอาจทำได้ทั้งในโดเมนเวลา (Time domain) และโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือใช้ร่วมกันทั้งสองโดเมน



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างระบบการทดสอบด้วยอะคูสติกอิมิชัน [6]

ความถี่ที่นำไปวิเคราะห์โดยทั่วไปมักอยู่ในช่วงตั้งแต่ 25 kHz จนถึง 3 MHz แต่ความถี่ที่นิยมในงานต่าง ๆ มักอยู่ในช่วง 100 kHz ถึง 1 MHz อะคูสติกอิมิตชันมีความไวในการทดสอบสูงมาก โดยคลื่นผิว (Surface wave) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของวัสดุทำให้เกิดระยะขจัดที่มีขนาดเล็กเพียง 10-14 นิ้ว สามารถทดสอบพบได้โดยเมื่อวัสดุชนิดหนึ่งถูกแรงดึงกระทำที่ปลายทั้งสองจนกระทั่งเกิดการเสียรูปแบบพลาสติกหรือเกิดการแตกในเนื้อวัสดุ รอยแตกนั้นจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงทั้งแบบคลื่นเสียงตามยาว และคลื่นเสียงตามขวาง คลื่นเสียงทั้งสองชนิดจะเคลื่อนที่ไปทุกทิศทางจนถึงที่ผิวของวัสดุ และทำให้เกิดคลื่นเสียงที่ผิวขึ้น หัวตรวจสอบที่ติดตั้งไว้ที่ผิวของวัสดุก็จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลของคลื่นเสียงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และสัญญาณทางไฟฟ้านั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

แหล่งกำเนิดคลื่นอะคูสติก

จะอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ของการเกิดการเสียรูป (Deformation) หรือการเกิดรอยร้าว ตัวอย่างของต้นกำเนิดคลื่นอะคูสติก ที่ทำให้เกิดสัญญาณขนาดใหญ่มากได้แก่ การเกิดแผ่นดินไหว หรือการเกิดสัญญาณขนาดเล็ก เช่น การบิดตัวที่ไม่เท่ากันของอะตอม หรือ การไหลเสียรูประหว่างขอบเกรน เป็นต้น การเสียรูปของวัสดุซึ่งจะเกิดขึ้นก่อนถึงจุดล้าตัว (Yield point) หรือก่อนที่จะแตกหักนั้นไม่สามารถตรวจจับด้วยการทดสอบโดยไม่ทำลายวิธีอื่น แต่สามารถตรวจจับด้วยวิธีอะคูสติกอิมิตชัน ต้นกำเนิดเสียงอะคูสติกอีกแบบหนึ่งคือ ต้นกำเนิดเสียงที่มีได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในเนื้อของวัสดุโดยตรง เช่น เสียงที่เกิดจากการรั่ว (Leak) ของก๊าซหรือของเหลว เสียงที่เกิดจากควิเตชัน (Cavitations) หรือเสียงที่เกิดจากการเสียดสี (Friction) เป็นต้น แหล่งกำเนิดเสียงประเภทนี้จัดว่าเป็นแหล่งกำเนิดเสมือน (Pseudo sources)

2.4.7 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของการทดสอบ

2.4.7.1 ข้อได้เปรียบของการทดสอบ

1. ทดสอบได้ในขณะที่รอยความไม่ต่อเนื่องกำลังเกิด หรือ กำลังขยายตัวสามารถใช้เป็นวิธีเฝ้าระวังได้
2. ครอบคลุมพื้นที่ในการทดสอบเป็นบริเวณกว้างในการทดสอบเพียงคราวเดียว
3. มีความต้องการ การเข้าถึงชิ้นงานเพื่อการทดสอบน้อยกว่าการทดสอบวิธีอื่น
4. ทดสอบได้โดยไม่ต้องหยุดกระบวนการผลิต หรือการทำงานของอุปกรณ์

2.4.7.2. ข้อเสียเปรียบของการทดสอบ

1. สัญญาณรบกวนของสภาวะแวดล้อม และอุปกรณ์การทำงาน ถ้ามีความถี่ของคลื่นเสียงอยู่ในย่านเดียวกันกับคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยจากรอยความไม่ต่อเนื่อง อาจทำให้การทดสอบทำได้ยากหรือทำไม่ได้ ถ้าไม่สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกได้
2. เมื่อความเสียหายนั้นเกิดขึ้นและผ่านไปแล้ว ไม่สามารถทำการทดสอบซ้ำได้อีก ข้อมูลที่ตรวจจับได้ใหม่จะเป็นข้อมูลของรอยความไม่ต่อเนื่องครั้งใหม่ หรือของความเสียหายเก่าที่กำลังขยายตัว

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gary Martin (2556), ได้ศึกษาตรวจสอบถึงกักเก็บแบบติดตั้งบนพื้นดินด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีการอะคูสติกอิมิชชัน จากผลการทดลองสามารถระบุระยะที่วัสดุมีพฤติกรรมเสียงต่อการร้าวหรือชำรุด และสามารถแยกปริมาณระดับความเสียหายได้ว่าเท่าใดจึงจะต้องทำการบำรุงรักษา ซึ่งได้จากการประเมินอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) จากผลลัพธ์ที่ได้ทำให้สามารถขยายระยะเวลาการตรวจสอบถึงที่ไม่มีการร้าวไหลหรือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นได้ [11]

Sepehr Nesaei (2557), ได้ทำการศึกษาความล้าของวัสดุและกลไกการแตกหัก ซึ่งมีความสำคัญต่อการตรวจสอบอายุการใช้งานและความปลอดภัยโดยรวมของโครงสร้างอากาศยานและพลเรือน โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการที่ใช้การตรวจวัดปริมาณอะคูสติกสำหรับการทำนายอายุความล้าของวัสดุโดยใช้พลังงานจากความเครียด การทดลองได้ดำเนินการเพื่อกำหนดพารามิเตอร์และรูปแบบของพลังงาน อะคูสติกที่ระดับความเครียดต่าง ๆ ในระหว่างการทดสอบความล้าของวัสดุด้วยความเครียดคงที่ จากการประเมินเชิงสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพลังงานฮิสเทอรีซิสและพลังงานเสียง ทำให้มั่นใจได้ว่าทั้งสองวิธีมีการประเมินอายุการใช้งานของความล้าของวัสดุได้อย่างดี อย่างไรก็ตามวิธีการใช้พลังงานเสียงแสดงผลลัพธ์ที่ดีขึ้น 15% ถึง 23% ขึ้นอยู่กับการออกแบบชิ้นงานและวัสดุ [14]

Krzysztof Emilianowicz (2557), ทำการตรวจสอบการสึกกร่อนของท่อใต้น้ำบนเรือขนส่งสินค้า โดยใช้วิธีการปล่อยคลื่นเสียงด้วยโปรแกรม Vallen Systeme GmbH ในการหาการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นเพื่อจำแนกสัญญาณ Acoustic Emission ที่เกิดการกัดกร่อนในขณะที่ใช้งานอยู่ โดยประเภทการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นคือ การกัดกร่อนแบบรูพรุน การกัดกร่อนร่วมกับความล้า

การกัดกร่อนของออกซิเจน การกัดกร่อนทางจุลชีววิทยาและจำแนกสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจาก เครื่องยนต์ เครื่องกำเนิด ไฟฟ้า และการเชื่อมงานในขณะทดสอบ โดยการแยกประเภทสัญญาณต่าง ๆ เพื่อหาสัญญาณการกัดกร่อน [16]

Haisheng Bi and et al. (2558), ได้ศึกษาการกัดกร่อนแบบ Pitting corrosion ของพื้นถังกักเก็บ น้ำมันที่ความดันบรรยากาศ (AST) ด้วยการตรวจสอบแบบอะคูสติกอิมิชชัน (AE) และการทำปฏิกิริยา โพลาริเซชันทางไฟฟ้าเคมีในสารละลายกรด NaCl โดยพารามิเตอร์ของลักษณะสัญญาณจากการปลดปล่อย คลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลง คือ แอมพลิจูด พลังงาน ช่วงเวลาของสัญญาณ ช่วงเวลาที่กราฟมีแอมพลิจูด สูงขึ้น ความสัมพันธ์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการกัดกร่อนแบบ Pitting corrosion เทียบกับเวลา จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นจากการใช้การตรวจสอบด้วยอะคูสติกอิมิชชัน สอดคล้องกับโพลาริเซชันของการกัดกร่อนแบบ Pitting corrosion จากการวิเคราะห์สัญญาณของ AE ทำให้สามารถช่วยวิเคราะห์ความรุนแรงและระบุชนิดของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในพื้นถังได้ และสามารถประเมินความรุนแรงที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุได้ [13]

Mohamad Ghazi Droubi, and Nadimul Haque Faisal (2560), ได้ทำการศึกษาการตรวจสอบ แบบไม่ทำลาย (NDT) ที่ใช้ในการตรวจสอบท่อส่งปิโตรเลียมและกังหันลมนอกชายฝั่งสามารถตรวจจับ การกัดกร่อนได้หลังจากเกิดขึ้นแล้วเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอซึ่งอาจ ส่งผลให้การดำเนินงานหรือการผลิตหยุดชะงัก Acoustic Emission (AE) สามารถใช้ในการตรวจจับและ แปลงในช่วงคลื่นความถี่สูงระหว่าง 100 kHz ถึง 1 MHz โดยการรับสัญญาณความถี่เสียงแปลง เป็นสัญญาณไฟฟ้า คลื่นความถี่เสียงจะถูกปล่อยออกมาเมื่อรอยร้าวแพร่กระจายในตัวอย่างระหว่าง การกัดกร่อน งานนำเสนอนี้จะสรุปเทคนิคพื้นฐานของการตรวจสอบด้วยเทคนิค AE สำหรับตรวจสอบ การกัดกร่อนและเสนอตัวอย่างการใช้งานจริง ตัวอย่างที่ทดสอบประกอบด้วยอลูมิเนียมและเหล็กแผ่น บาง ๆ (รูปทรงสี่เหลี่ยม) ในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน สัญญาณจากการกัดกร่อนมัก ปล่อยพลังงานน้อยกว่าการปล่อยคลื่นสัญญาณจากการแตกหักหรือการเติบโตของรอยร้าวและยากต่อ การตรวจจับในสภาพแวดล้อมภาคสนาม อย่างไรก็ตามผลลัพธ์แสดงเส้นโค้งแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลที่แสดง แนวโน้มระหว่างความเข้มข้นของสภาพแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและพลังงานของสัญญาณการปล่อย คลื่นเสียง [15]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาการทำงานของ การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง และหาความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะของคลื่นเสียงกับลักษณะการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นของถังเก็บน้ำมันโดยใช้การปลดปล่อยคลื่นเสียง มีวิธีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400

3.1.2 ทองแดง (Cu)

3.1.3 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

3.1.4 ถังจำลอง

3.1.5 เครื่องชั่งระบบดิจิทัล (ความละเอียด 0.0001 กรัม) รุ่น Precisa XB220A

3.1.6 เครื่องให้ความร้อน Hot plate

3.1.7 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) รุ่น Axio Scope.A1

3.1.8 เครื่องตัดชิ้นงาน (Linear Precision Saw) รุ่น Isomet 5000

3.1.9 เครื่องอัดชิ้นงาน (Mounting) รุ่น Simplimet™

3.1.10 เครื่องขัดชิ้นงานละเอียด (Grinder-Polishers) รุ่น Metaserv™ 250 Twin

3.1.1 เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างถังเก็บน้ำมันชนิดบนพื้นดิน เนื่องจากมีความเหนียวและความแข็งแรง อย่างไรก็ตามเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจะถูกกัดกร่อนจากสภาวะแวดล้อมได้ง่าย เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบเหล็ก เกรด SS400

มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1479-2541 และ มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น JIS G3101-2004

คุณสมบัติทางกล (Mechanical Property)							ส่วนประกอบทางเคมี Chemical Composition (%)				
Grade	Y.S.(Mpa)			T.S. (Mpa)	EL%		C	Mn	Si	P	S
	THK ≤ 16m m.	16mm < THK ≤ 40mm	THK > 40mm.		THK (mm)	EL% (min)				Max	max
SS400	245 min.	235 min.	215 min.	400 - 510	≤ 5 5 <THK ≤ 16 16 <THK ≤ 50 > 50	21 17 21 23	0.1 3 - 0.1 8	0.5 - 0.7	0.1 5 - 0.3 5	0.05 0	0.050

3.1.2 การเตรียมสารละลาย NaCl

รายละเอียดสารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งประกอบด้วยชื่อสารเคมี สูตรเคมี มวลโมเลกุล

ตารางที่ 3.2 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	โซเดียมคลอไรด์
สูตรทางเคมี	NaCl
มวลโมเลกุล (g/mol)	58.44 g/mol

การเตรียมชิ้นงานเหล็กเพื่อทำการกัดกร่อนดังตารางที่ 3.3 ในปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย 3 ความเข้มข้น

ตารางที่ 3.3 แสดงปริมาณความเข้มข้นของสารละลายและจำนวนสารเคมีที่ใช้ในการกัดกร่อน

ชิ้นงานทดสอบ	ปริมาณความเข้มข้น (%)	ปริมาตรน้ำ (cm ³)	น้ำหนัก NaCl (kg)
1	1.5	405,789	6.0868
2			
3			
4	3.5		14.2026
5			
6			
7	5.5		22.3184
8			
9			

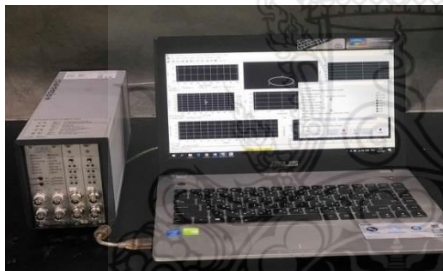
3.2 ชุดเครื่องมือการทดสอบโดยการรับคลื่นเสียง

ใช้หลักการตรวจจับพลังงานซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นยืดหยุ่นแบบชั่วคราว (Transient elastic wave) ที่ปลดปล่อยจากรอยความไม่ต่อเนื่องของวัสดุ การตรวจจับคลื่นยืดหยุ่นสามารถทำได้โดยใช้หัวตรวจสอบ (Sensor) ยึดติดที่ผิวหน้าของวัสดุ หัวตรวจสอบจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานในรูปของคลื่นเสียงให้เป็นรูปของคลื่นไฟฟ้าและสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจะถูกขยายสัญญาณด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณเบื้องต้น (Pre-amplifier) และส่งสัญญาณไปยังตัวกรองความถี่ (Filter) เพื่อกรองความถี่บางช่วงความถี่ออก และส่งผ่านสัญญาณนั้นไปวิเคราะห์เทียบกับขนาดหรือความรุนแรงของรอยความไม่ต่อเนื่อง

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการรับคลื่นเสียงความถี่ในช่วง 30 kHz ซึ่งเป็นความถี่ของการเกิด Corrosion ดังรูปที่ 3.1

(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

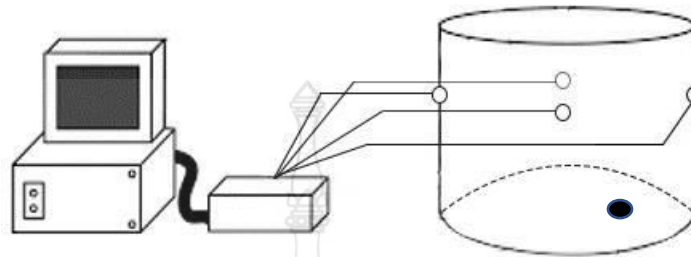


รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ก) อุปกรณ์รับส่งสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Vallen Systeme GmbH

ข) สายเคเบิล ค) หัวเซ็นเซอร์ ง) หัวจับชิ้นงานแบบแม่เหล็ก

3.2.2 การติดตั้งชุดเครื่องมือการทดสอบโดยการรับคลื่นเสียง

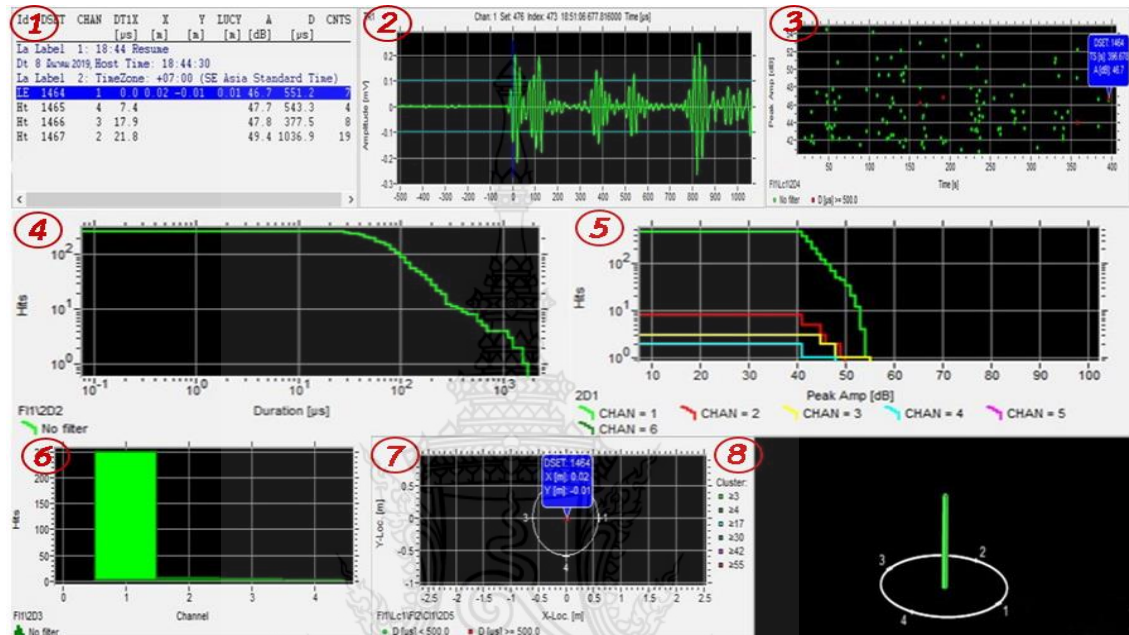


รูปที่ 3.2 แบบจำลองการติดตั้งสัญญาณ

1. คอมพิวเตอร์ : แสดงผล
2. Preamplifier : ตัวแปลงสัญญาณ AE
3. เซนเซอร์ : รับสัญญาณคลื่นเสียง
4. Storage tank : ถังจำลองเพื่อทำการกักก้อง
ถังจำลองมีความสูง 49.5 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 118 ซม. และปริมาตร 541,051 ลบ.ซม.
5. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 : ชิ้นงานทดสอบเพื่อทำการกักก้อง
ชิ้นงานทดสอบมีความหนา 50 มม. และเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มม.

3.2.3 การเก็บข้อมูล

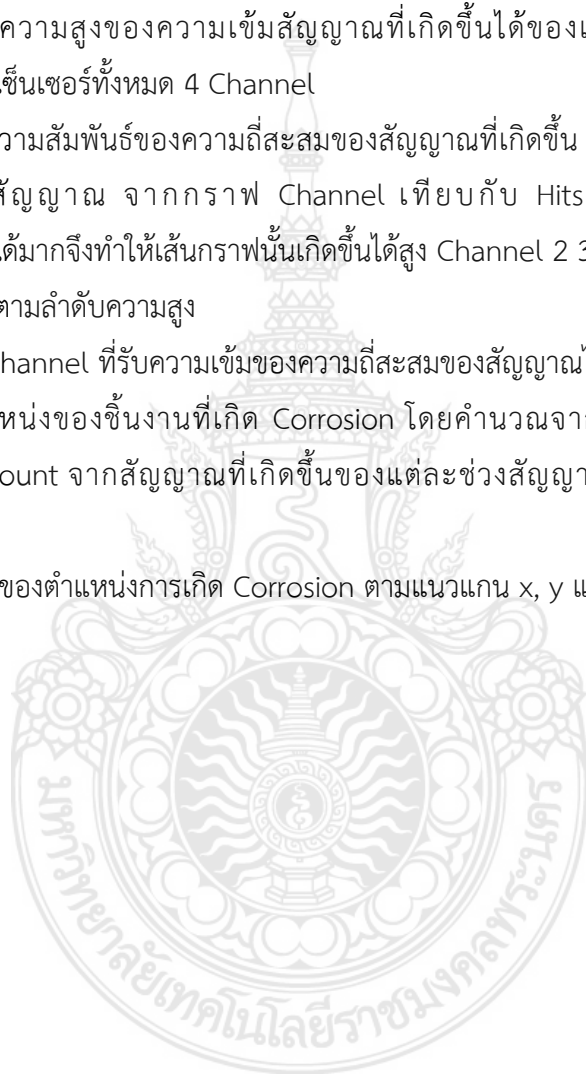
ในการทดลองใช้โปรแกรม Vallen Systeme GmbH ซึ่งใช้เวลาในทดลองแต่ละชิ้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงผล Acoustic Emission Test

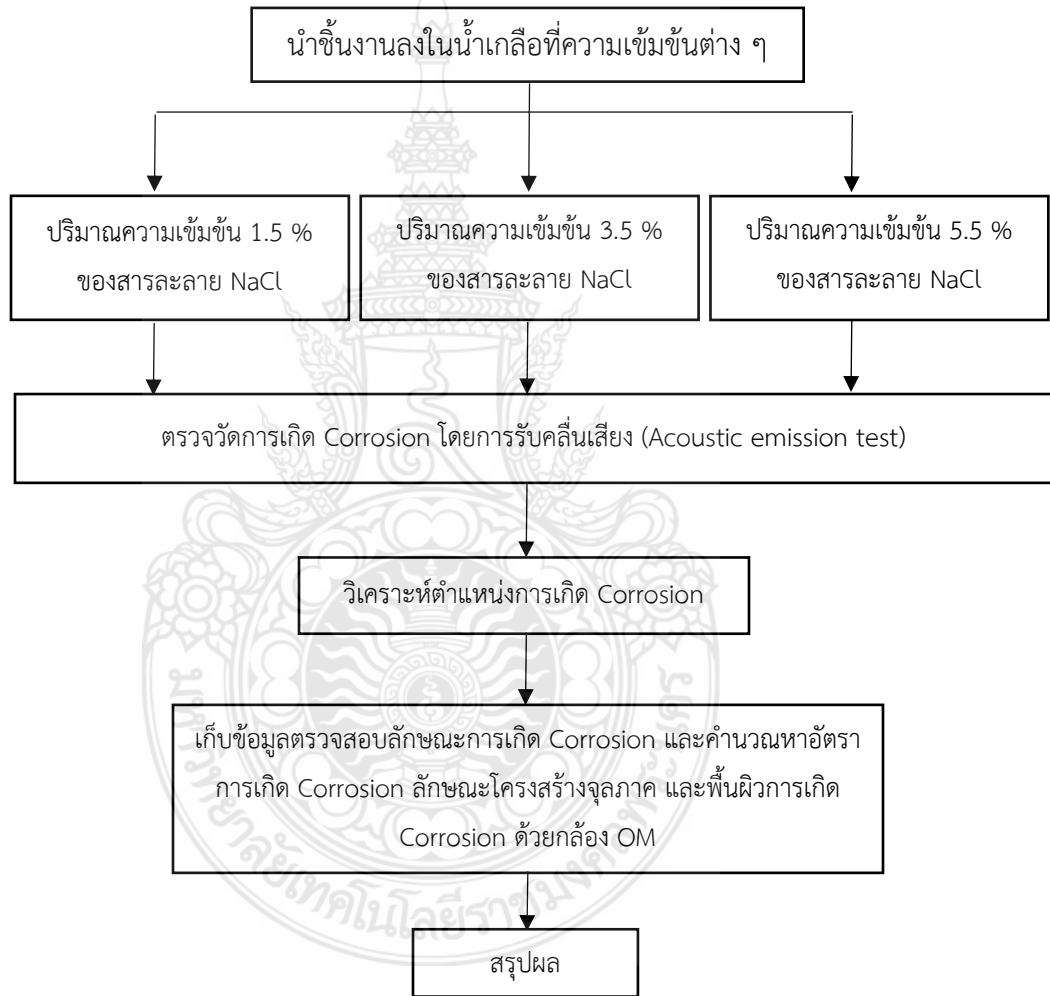
1. การแสดงผลของค่าสัญญาณที่ได้รับในแต่ละช่วงรับสัญญาณ (Channel) มีทั้งหมด 4 ช่วงสัญญาณ โดยแสดงเฉพาะค่า Amplitude ที่สูงกว่าเส้นมาตรฐาน (Threshold) ที่กำหนดไว้ โดยแสดงค่าของ Amplitude, Duration time, จำนวน Count และระบุตำแหน่ง ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบข้อมูลเชิงตัวเลขของสัญญาณที่เกิดขึ้นแต่ละช่วงรับสัญญาณ
2. เป็นกราฟแสดง ค่า Amplitude ช่วงสัญญาณที่รับได้ที่เวลาต่าง ๆ ของแต่ละช่วงสัญญาณ โดย Amplitude ที่เกิดขึ้นแสดงผลการเกิด Corrosion ที่ชิ้นงาน เมื่อรับสัญญาณมาได้แต่ละครั้ง สัญญาณที่มีค่า Amplitude เกินเส้น Threshold จะถูกเก็บบันทึกไว้แสดงเป็นกราฟ

3. หน้าจอแสดงค่าความเข้มเสียงของสัญญาณภายในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงหรือ 3,600 วินาที (Peak amplitude) ทั้งหมดที่มีค่าสูงกว่า 40 dB สัญญาณที่รับมาจะแสดงเป็นจุด ณ เวลานั้น ๆ โดยสัญญาณที่มีค่า Duration time ต่ำกว่า 500 μ s และสัญญาณที่มีค่า Duration time สูงกว่า หรือเท่ากับ 500 μ s
4. จากกราฟแสดงความสูงของความเข้มสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ของแต่ละ channel ในช่วงเวลาทำการทดสอบโดยมีเซ็นเซอร์ทั้งหมด 4 Channel
5. เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่สะสมของสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยแสดงในรูปของเส้นกราฟในแต่ละช่วงรับสัญญาณ จากกราฟ Channel เทียบกับ Hits โดย Channel ที่ 1 สีเขียวสามารถรับสัญญาณได้มากจึงทำให้เส้นกราฟนั้นเกิดขึ้นได้สูง Channel 2 3 4 สามารถรับสัญญาณได้น้อยกราฟที่แสดงจึงเรียงตามลำดับความสูง
6. จากกราฟแสดง Channel ที่รับความเข้มของความถี่สะสมของสัญญาณได้มากที่สุด
7. จอแสดงผลตำแหน่งของชิ้นงานที่เกิด Corrosion โดยคำนวณจากค่าความถี่, Duration time, Amplitude และ Count จากสัญญาณที่เกิดขึ้นของแต่ละช่วงสัญญาณ จึงสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้
8. แบบจำลอง 3 มิติของตำแหน่งการเกิด Corrosion ตามแนวแกน x, y และ z



3.3 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการเตรียมชิ้นงานที่มีขนาดความกว้าง 50 mm หนา 10 mm และนำมาแช่ลงในน้ำเกลือความเข้มข้นของ NaCl ที่ 1.5 ,3.5 ,5.5 ความเข้มข้น โดยน้ำหนัก เพื่อทำการกัดกร่อน จากนั้นติดตั้งชุดเครื่องมือการทดสอบการรับคลื่นเสียง (Acoustic emission test) เพื่อทำการวิเคราะห์พื้นผิวชิ้นงานที่ถูกกัดกร่อนดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงภาพขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการกัดกร่อน

3.4 การตรวจสอบการกัดกร่อน

การตรวจสอบลักษณะของการกัดกร่อนในงานวิจัยนี้จะศึกษาลักษณะพื้นผิวที่เกิดการกัดกร่อนและลักษณะภาพตัดขวางของชิ้นงาน

3.4.1 การวิเคราะห์พื้นผิวชิ้นงานที่ถูกกัดกร่อน

การศึกษาลักษณะของการกัดกร่อนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope, OM) รุ่น Axio Scope.A1 ของบริษัท Carl Zeiss ประเทศเยอรมัน ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง รูปแบบหนึ่งที่ใช้แสงเป็นตัวช่วยในการทำให้มองเห็นภาพ โดยแสงเดินทางผ่านระบบเลนส์ต่าง ๆ ตกกระทบกับวัตถุและสะท้อนเข้าสู่สายตาค่อนที่แสงจะส่องผ่านเข้าสู่สายตา ซึ่งแสงที่อยู่ภายในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาเราจะทำให้มองเห็นภาพได้โดยการมองผ่านเลนส์ (Eyepiece) เพื่อดูพื้นผิวของชิ้นงานที่ถูกกัดกร่อน ในการวิจัยนี้ใช้กำลังขยายที่ 20



รูปที่ 3.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงรุ่น Axio Scope.A1 ของบริษัท Carl Zeiss

นำชิ้นงานไป Cross section โดยเครื่องตัดชิ้นงาน (Linear precision saw) รุ่น Isomet 5000 ของบริษัท BUEHLER ประเทศจีน แสดงดังรูปที่ 3.6 ทำการตัดชิ้นงานแนวขวางเพื่อดูความลึกของระยะการกัดกร่อน



รูปที่ 3.6 การ Cross section โดยเครื่องตัดชิ้นงานรุ่น Isomet 5000 ของบริษัท BUEHLER

จากนั้นทำการขึ้นรูป (Mounting) โดยเครื่องอัดชิ้นงาน Automatic Compression Mounting System รุ่น Simplimet™ ของบริษัท BUEHLER ประเทศจีน ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นการทำเรือนหุ้มชิ้นงานด้วยเรซิน เพื่อความสะดวกในการจับถือและขัดชิ้นงาน



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดชิ้นงาน

เตรียมผิวชิ้นงานด้วยการขัดหยาบด้วยเครื่องขัดชิ้นงานละเอียด Grinder-Polishers รุ่น Metaserv™ 250 Twin ของบริษัท BUEHLER ประเทศจีน ดังรูปที่ 3.8 โดยใช้กระดาษทรายความละเอียด P120, P240, P480, P600, P800, P1000, P1200, P4000 และนำชิ้นงานไปขัดผิวมันด้วยผ้าสักหลาด ขัดจนผิวชิ้นงานได้ระนาบ มันวาว ไม่มีรอยขูดขีด



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดขนาดอนุภาคเลเซอร์

จากนั้นนำชิ้นงานมาวิเคราะห์การกัดกร่อนที่เกิดขึ้น โดยดูความลึกของชิ้นงานตามแนวตัดขวางที่ถูกกัดกร่อน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope, OM) เพื่อวิเคราะห์ภาพตัดขวางของชิ้นงานที่ถูกกัดกร่อน โดยใช้กำลังขยายที่ 20 เท่า



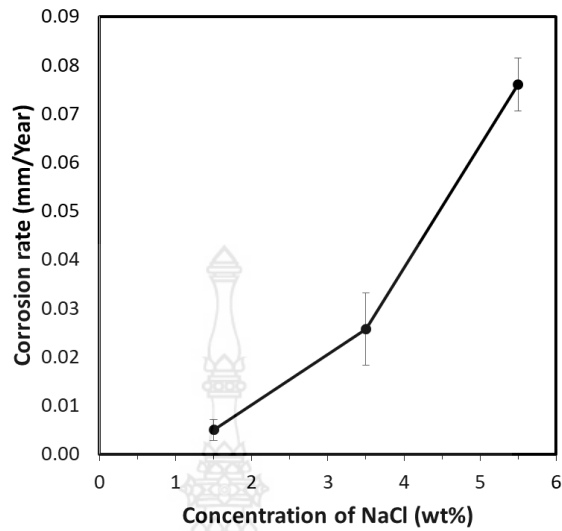
บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจสอบความเสียหายของถังเก็บน้ำมันด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง จากการสร้างแบบจำลองระบบถังเก็บน้ำมันที่มีการกัดกร่อน และทำการศึกษาและตรวจสอบจุดบกพร่องที่เกิดจากการกัดกร่อนบนพื้นผิวภายในถังเก็บน้ำมัน มีรายละเอียดของผลการทดสอบดังนี้

4.1 การกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ

การกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 1.5 , 3.5 , 5.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก (wt%) แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเกิดการกัดกร่อน (Corrosion) เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น โดยสามารถแสดงผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้นดังรูปที่ 4.1 เนื่องจาก NaCl เป็นสารละลายที่ทำปฏิกิริยารีดักชันกับเหล็ก จึงเกิดการแลกเปลี่ยนออกไซด์กับเหล็ก ยิ่งความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกไซด์ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของฤทธิรงค์ นิยมโชค (2552) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินสภาพการกัดกร่อนของพื้นถังบรรจุโดยการทดสอบการปล่อยเสียงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) ซึ่งมีความเข้มข้น 0.05, 0.10 และ 0.20 โมลาร์ (M) ซึ่งจะทำให้มีอัตราการกัดกร่อน อยู่ที่ 0.002, 0.006 และ 0.057 มิลลิเมตรต่อปี



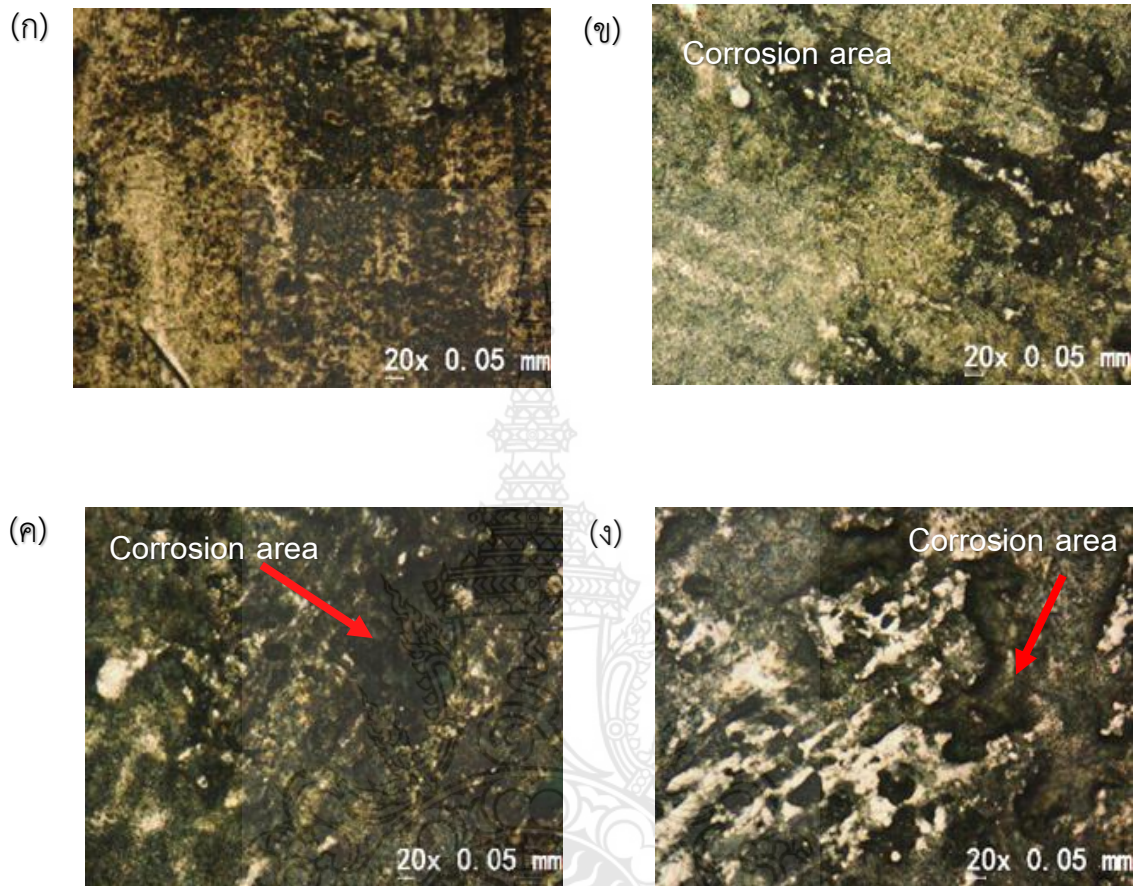
รูปที่ 4.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของ NaCl ที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของสารละลาย NaCl ที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน

ชิ้นงานทดสอบ ที่	ปริมาณความเข้มข้น (wt%)	น้ำหนักชิ้นงาน		น้ำหนักที่สูญเสีย $\times 10^{-3}$ (kg)	อัตราการกัดกร่อน (mm/y)	อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ย (mm/y)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
		ก่อนทดสอบ $\times 10^{-3}$ (kg)	หลังทดสอบ $\times 10^{-3}$ (kg)				
1	1.5	19.0381	19.0380	0.0001	0.0037	0.0049	0.0021
2		18.9752	18.9751	0.0001	0.0037		
3		19.0031	19.0029	0.0002	0.0074		
4	3.5	19.0000	18.9991	0.0009	0.0331	0.0257	0.0074
5		19.0447	19.0442	0.0005	0.0183		
6		18.9681	18.9674	0.0007	0.0258		
7	5.5	19.0945	19.0923	0.0022	0.0807	0.0760	0.0055
8		19.0051	19.0032	0.0019	0.0700		
9		19.0126	19.0126	0.0021	0.0773		

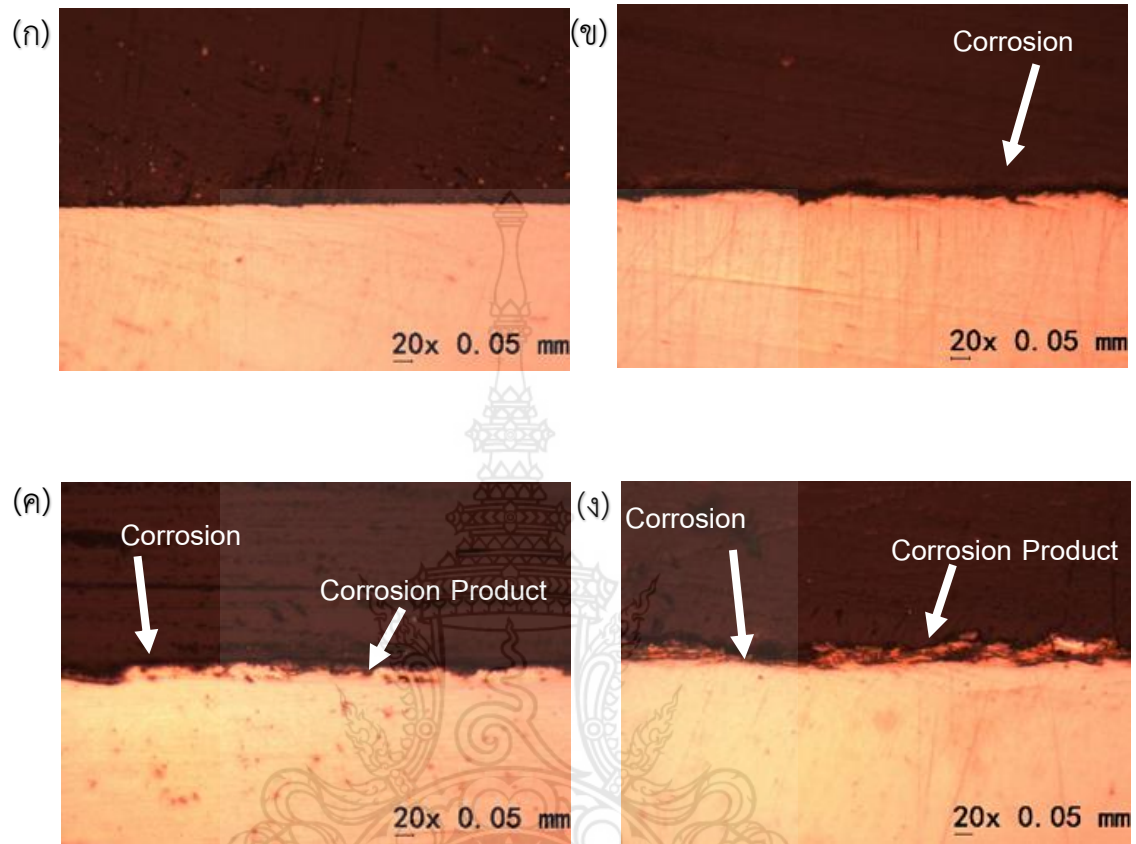
เมื่อพิจารณาลักษณะการเกิดการกัดกร่อนของผิวชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ดังรูปที่ 4.2 พบว่า ลักษณะการกัดกร่อนเป็นแบบ Uniform corrosion และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับอัตราการกัดกร่อนดังผลที่กล่าวข้างต้น โดยที่รูปที่ 4.2 ก เป็นพื้นผิวชิ้นงานที่ไม่อยู่ในสารละลาย NaCl ไม่พบการกัดกร่อนที่ชัดเจน ในรูปที่ 4.2 ข ค และ ง เป็นชิ้นงานที่อยู่ภายใต้สารละลาย NaCl ที่ปริมาณความเข้มข้น 1.5 3.5 และ 5.5 wt% พบบริเวณพื้นผิวที่ถูกกัดกร่อนอย่างชัดเจน โดยชิ้นงานที่อยู่ในการละลาย ความเข้มข้น 5.5 wt% มีบริเวณที่ถูกกัดกร่อนเป็นบริเวณกว้าง รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของภาพตัดขวางของชิ้นงานทดสอบการกัดกร่อนภายใต้สภาวะสารละลายความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นบริเวณเกิดการกัดกร่อนจะเกิดเป็นบริเวณกว้าง และลึกครอบคลุมพื้นผิวมากขึ้น และพบชั้นฟิล์มของสนิมมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นซึ่งแสดงถึงการกัดกร่อนที่สูง





รูปที่ 4.2 พื้นผิวของชิ้นงานทดสอบที่ถูกกัดกร่อนในสารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

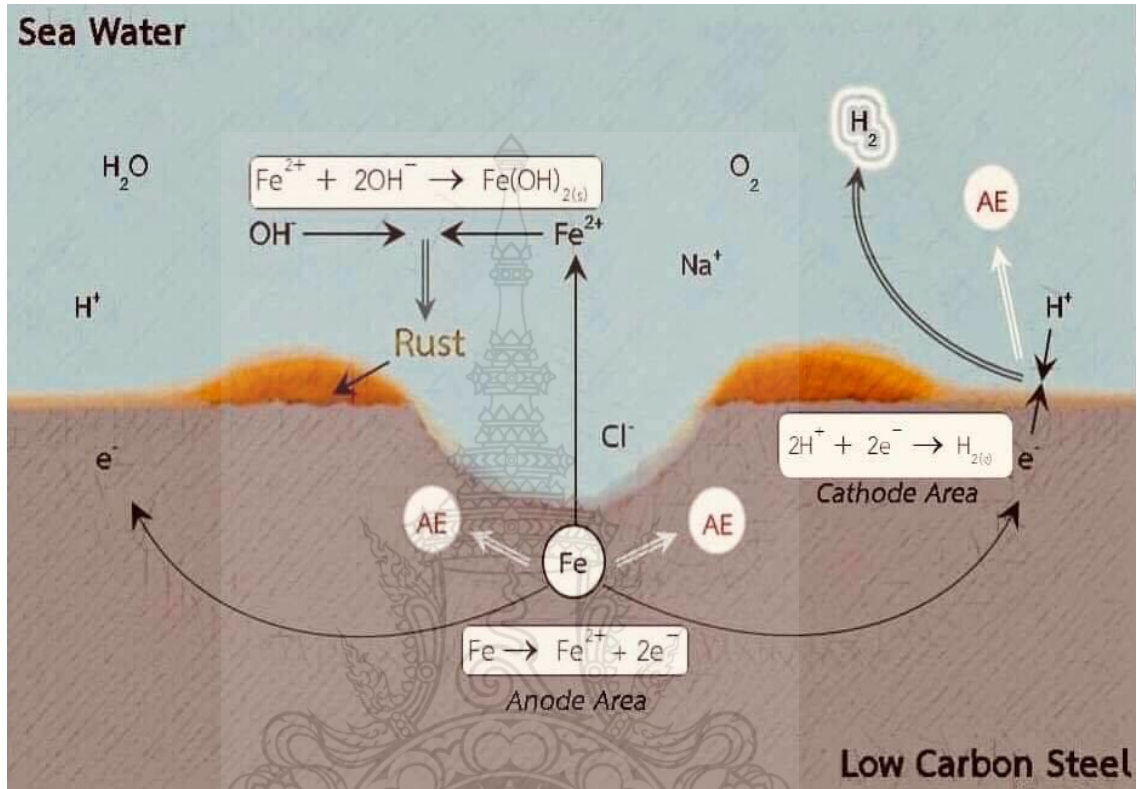
- ก) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 0 wt%
- ข) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 1.5 wt%
- ค) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 3.5 wt%
- ง) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 5.5 wt%



รูปที่ 4.3 ภาพตัดขวางของชิ้นงานทดสอบที่ถูกกัดกร่อนภายใต้สารละลาย NaCl ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

- ก) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 0 wt%
- ข) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 1.5 wt%
- ค) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 3.5 wt%
- ง) ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของ NaCl 5.5 wt%

ภาพจำลองกลไกการเกิดการกัดกร่อนและการปลดปล่อยคลื่นเสียง



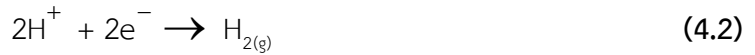
รูปที่ 4.4 แบบจำลองกลไกการเกิดสัญญาณคลื่นเสียงจากการกัดกร่อน

จากการจำลองสภาวะการเกิดการกัดกร่อนภายในถังเก็บน้ำมัน สามารถแสดงแบบจำลองกลไกการเกิดสภาวะการกัดกร่อนได้เมื่อน้ำขี้นงานเหล็กจุ่มลงในสารละลาย NaCl จะเกิดปฏิกิริยากัดกร่อนบนขี้นงาน และมีการปลดปล่อยสัญญาณ AE ออกมา ซึ่งสามารถแสดงกลไกการเกิดการกัดกร่อนได้ดังรูปที่ 4.4

NaCl ในน้ำแตกตัวเป็น Na^+ , Cl^- ส่งผลให้เหล็กถูกดึงดูดด้วย Cl^- ทำให้เหล็กทำปฏิกิริยา Oxidation ทำให้เหล็กสูญเสีย e^- กลายเป็น Fe^{2+} และทำปฏิกิริยากับ OH^- เกิดเป็นสนิมบริเวณรอบ ๆ anode ดังสมการ 4.1



จากปฏิกิริยา Oxidation ของเหล็กทำให้ e^- หลุดออก e^- ของเหล็กที่หลุดออกทำปฏิกิริยา Redaction กับออกซิเจนในน้ำเกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่บริเวณรอบ ๆ Cathode ดังสมการ 4.2



จากการเกิดปฏิกิริยา Oxidation-Redaction จะมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบของคลื่นเสียง ซึ่งเป็นที่มาของแหล่งกำเนิดสัญญาณ Acoustic emission

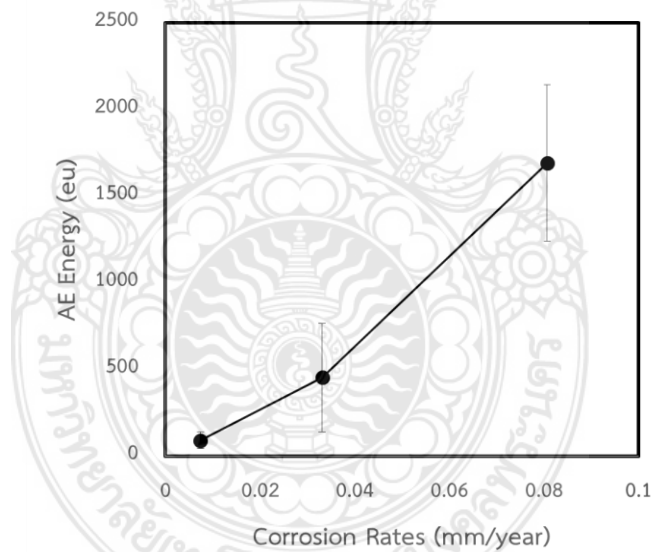
4.2 การตรวจสอบหาตำแหน่งของการกัดกร่อนจากสัญญาณคลื่นเสียง

จากการตรวจสอบการกัดกร่อนของแบบจำลองถังเก็บน้ำมันด้วยเทคนิคการตรวจวัดคลื่นเสียง เพื่อหาตำแหน่งการเกิดการกัดกร่อนภายในถังเก็บน้ำมันบริเวณก้นถัง พบว่าเมื่อขึ้นงานทดสอบ เกิดการกัดกร่อนจะปลดปล่อยคลื่นเสียงออกมา สัญญาณคลื่นเสียงนี้จะถูกตรวจจับและแสดงผลออกมา ในรูปของสัญญาณคลื่น ซึ่งอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานที่เกิดขึ้นส่งผลต่อสัญญาณคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมา โดยพบว่า เมื่อสารละลาย NaCl มีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูด (Amplitude) ช่วงเวลาของสัญญาณ (Duration time) จำนวนลูกคลื่น (Count) และพลังงาน (Energy) ที่เกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.2 อย่างไรก็ตามผลของสัญญาณคลื่นที่เกิดขึ้นกลับไม่พบว่าส่งผลต่อการคำนวณหาตำแหน่งการเกิดการกัดกร่อน โดยฤทธิ์รงค์ นิยมโชค (2552) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาระบบประเมินสภาพการกัดกร่อนของพื้นถังบรรจุโดยการทดสอบการปล่อยคลื่นอะคูสติก พบว่าตัวแปรที่สัมพันธ์ที่มีแนวโน้มสัมพันธ์กับการกัดกร่อน คือ ช่วงเวลาของสัญญาณขาขึ้น (Rise time), จำนวนลูกคลื่น (Count), พลังงาน (Energy) และช่วงเวลาของสัญญาณ (Duration time) และ ทรงพล กลิ่นชะเอม (2557) ได้ทำการวิเคราะห์หาตำแหน่งสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมลึก (Pitting corrosion) ของถังกักเก็บน้ำมันจำลอง โดยทำการจำลองการเกิดการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นโลหะที่มีองค์ประกอบของธาตุเหล็ก (Fe) 99.9 % วางบนพื้นถังกักเก็บน้ำมันจำลองที่บรรจุน้ำไว้ 80% ของถัง แข่ทิ้งไว้นาน 8 สัปดาห์ จึงทดสอบวัดสัญญาณการกัดกร่อนและตำแหน่งของชิ้นงานที่ถูกการกัดกร่อนโดยผลการทดสอบ พบว่าการตรวจสอบตำแหน่งการเกิดการกัดกร่อนด้วยเทคนิคการตรวจสอบด้วยการวัดคลื่นเสียงมีความถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปใช้งานได้

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นที่ส่งผลต่อลักษณะของสัญญาณ Acoustic Emission

NaCl Concentration (wt%)	Corrosion Rates (mm/years)	Amplitude (dB)	Duration time (μ s)	AE Count (Unit)	AE Energy (eu)
1.5	0.0074	45.90	41.40	2.50	90.05
3.5	0.0331	49.50	540.50	8.25	453.25
5.5	0.0807	54.70	978.00	15.75	1690.00

จากตารางแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ลักษณะเฉพาะของสัญญาณ Acoustic emission มีค่าเพิ่มขึ้น ได้แก่ Amplitude, Duration time, AE Count, AE Energy และ Corrosion rates



รูปที่ 4.5 พลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับ AE Energy ของแต่ละความเข้มข้น แสดงให้เห็นว่าค่า Energy ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนมีค่าสูงขึ้น

จากสัญญาณคลื่นเสียงที่เกิดขึ้นในรูปที่ 4.5 แสดงถึงภาพระยะเวลาของความยาวช่วงคลื่นกับแอมพลิจูดที่ปริมาณความเข้มข้น 1.5 3.5 และ 5.5 wt% ในแต่ละช่วงสัญญาณที่หัววัดสามารถรับและแสดงผลได้ โดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย NaCl เพิ่มสูงขึ้น อัตราการกักกร่อนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อสัญญาณคลื่นเสียงที่ปลดปล่อยออกมา มีลักษณะของความยาวของช่วงคลื่นที่เพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ลักษณะของความยาวของช่วงคลื่น

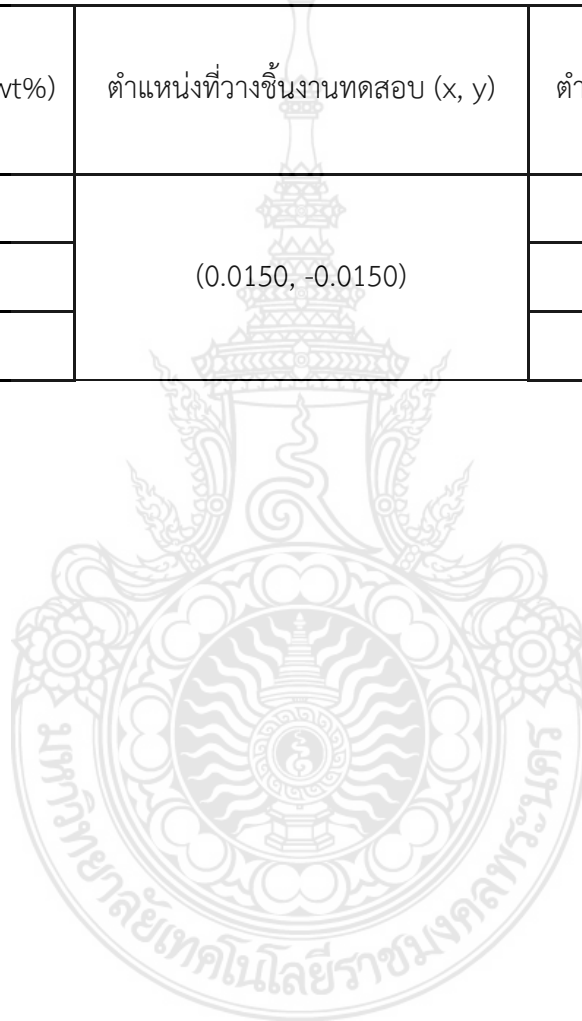
Channel	ความเข้มข้นของสารละลาย NaCl (wt%)		
	1.5	3.5	5.5
1			
2			
3			
4			

รูปที่ 4.7 ภาพระยะเวลาของความยาวช่วงคลื่นกับแอมพลิจูดที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ

จากค่าลักษณะเฉพาะของสัญญาณคลื่นเสียงทั้ง 4 Channel พบว่าค่าสัญญาณใกล้เคียงกัน และสามารถนำมาคำนวณหาระยะห่างของสัญญาณที่รับได้แต่ละ Channel ซึ่งส่งผลต่อการระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นเสียงจากการกักร้อนได้

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบหาตำแหน่งการกักร้อนด้วยเทคนิคการวัดสัญญาณคลื่นเสียง

Concentration (wt%)	ตำแหน่งที่วางชิ้นงานทดสอบ (x, y)	ตำแหน่งที่สัญญาณตรวจจับได้ (x, y)
1.5	(0.0150, -0.0150)	(0.0155, -0.0155)
3.5		(-0.0135, -0.0363)
5.5		(0.0265, -0.0078)



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและตรวจสอบจุดบกพร่องบนพื้นผิวภายในถังเก็บน้ำมัน โดยใช้การตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีการปลดปล่อยคลื่นเสียง โดยใช้ชิ้นงานเหล็กทั้งหมด 9 ชิ้น แขนงในสารละลายปริมาณความเข้มข้น 1.5 3.5 และ 5.5 ร้อยละโดยน้ำหนัก ตรวจสอบการเกิดการกัดกร่อนโดยใช้ชุดเครื่องมือการทดสอบการรับคลื่นเสียง (Acoustic emission test) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในถังจำลอง จากนั้นคำนวณหาอัตราการกัดกร่อน และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อน และลักษณะสัญญาณการปลดปล่อยคลื่นเสียง

5.1 สรุปผลการทดลอง

สำหรับการศึกษาการทำงานของการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียง นั้นพบว่าเทคนิคการปลดปล่อยคลื่นเสียงสามารถนำมาใช้งานในการตรวจหาหรือเฝ้าระวังการเกิดการกัดกร่อนภายในพื้นผิวของถังเก็บน้ำมันที่ยากต่อการตรวจสอบด้วยตาเปล่า โดยการตรวจสอบด้วยเทคนิคนี้สามารถบ่งชี้ถึงบริเวณตำแหน่งที่เกิดการกัดกร่อนได้ จากการทดสอบภายในพื้นถังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 1.18 เมตร ด้วยเซ็นเซอร์รับสัญญาณ 4 ตัว โดยวางชิ้นงานทดสอบไว้ที่ตำแหน่ง (0.015,-0.015) พบว่าตำแหน่งของสัญญาณที่ถูกกัดกร่อนมีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่วางชิ้นงานทดสอบ 1 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

นอกจากนี้การศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของสัญญาณของคลื่นเสียงกับลักษณะของการกัดกร่อนโดยเทคนิคปลดปล่อยคลื่นเสียง โดยการจำลองการกัดกร่อนแบบทั่วพื้นผิว (Uniform corrosion) ของพื้นถังเก็บน้ำมันปริมาตร 541,052 ลบ.ซม. ด้วยโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 ในสารละลาย NaCl (โซเดียมคลอไรด์) ปริมาตร 405,789 ลบ.ซม. ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 3.5 และ 5.5 พบว่ามีอัตราการกัดกร่อนอยู่ที่ 0.0050, 0.0257 และ 0.0760 มิลลิเมตรต่อปี และผลการทดสอบพบว่าอัตราการกัดกร่อนส่งผลต่อลักษณะสัญญาณและพลังงานการปลดปล่อยคลื่นเสียง โดยเมื่ออัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นส่งผลให้ ค่าพลังงาน และลักษณะของสัญญาณคลื่นเสียง คือ Duration time, Amplitude และ Count

จากผลการทดสอบเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าพลังงานและลักษณะของสัญญาณของคลื่นเสียงที่สูงขึ้นบ่งบอกถึง การกัดกร่อนที่รุนแรงเพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบถึงจำลองควรเป็นวัสดุประเภทเดียวกับถังเก็บน้ำมัน
2. การกัดกร่อนในถังเก็บน้ำมันมักเกิดการกัดกร่อนในรูปแบบของ Pitting มากกว่า Uniform ดังนั้นในการทดสอบครั้งต่อไปควรทำการกัดกร่อนในรูปแบบของ Pitting (โดยการกัดกร่อนในรูปแบบของ Pitting ยากต่อการจำลองสถานการณ์และใช้เวลาทดสอบระยะยาว)
3. ชิ้นงานทดสอบที่ทำการทดสอบนั้นยังมีจำนวนที่ไม่มากพอ ดังนั้นการทดสอบนี้จึงเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อการพัฒนาต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] Wenda Ma. (2559). ASEAN in Focus: Prospects for Production Bases in Thailand [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <https://hkmb.hktdc.com/en/1X0A9CR9/hktdc-research/ASEAN-in-Focus-Prospects-for-Production-Bases-in-Thailand> 2. [30 พฤศจิกายน 2561]
- [2] Akinyemi O.O. (2555). Evaluation of Corrosion Cost of Crude Oil Processing Industry [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://jestec.taylors.edu.my/Vol%207%20Issue%204%20August%2012/Vol_7_4_517-528_AKINYEMI%20O.O.pdf. [30 พฤศจิกายน 2561]
- [3] C.M., Hansson. An introduction to corrosion of engineering materials. Corrosion of Steel in Concrete Structures 2016 (February 2016) : 3-18.
- [4] Peter Maaß. Corrosion and Corrosion Protection. Handbook of Hot-Dip Galvanization 2011 (April 2011) : 1-19.
- [5] อัครพงศ์ พันธุ์พฤกษ์. บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.academia.edu/11372797/บทที่1ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย>. [3 ธันวาคม 2561]
- [6] อัครพงศ์ พันธุ์พฤกษ์. บทที่ 8 การทดสอบโดยวิธีอะคูสติกอิมิสซัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.academia.edu/12009636/บทที่8การทดสอบโดยวิธีอะคูสติกอิมิสซัน>. [4 ธันวาคม 2561]
- [7] พินัย มุ่งสันติสุข. การป้องกันสนิมด้วยระบบแคโทดิก [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.tcma.or.th/files/cathodic_protection_system.pdf. [10 ธันวาคม 2561]
- [8] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2557). Corrosion [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://ie.eng.cmu.ac.th/IE2014/elearnings/2014_08/Corrosion.pdf. [16 ธันวาคม 2561]
- [9] สยาม แก้วคำไสย์. (2553). การกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2010/05/general-or-uniform-corrosion.html>. [17 ธันวาคม 2561]

- [10] Acoustic Emission. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Applications.htm. [18 ธันวาคม 2561]
- [11] Gary Martin. Key Engineering Materials. Structural Health Monitoring: Research and Applications 558 (June 2013) : 445-455.
- [12] การตรวจสอบถึงเก็บน้ำมันหรือถังเก็บสารเคมี. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://www.siwateresting.net/?portfolio_page=mother-volcano-artwork. [20 ธันวาคม 2561]
- [13] Haisheng Bi, Zili Li, Jianguo Liu, Yuanpeng Cheng and Isaac Toku-Gyamerah. Study on Pitting Corrosion of Storage Tank Bottom Steel in Acidic Condition Using Acoustic Emission. International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE 10 (March 2015) : 4416-4427.
- [14] Sepehr Nesaei. Using Acoustic Emission Monitoring for Energy-Based Fatigue Life Prediction. Master's Thesis. South Dakota: South Dakota State University, 2014.
- [15] Mohamad Ghazi Droubi, Nadimul Haque Faisal. (2017). Application of Acoustic Emission to Predict Corrosion The 14th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing -application of contemporary non-destructive testing in engineering, September 4-6, Bernardin, Slovenia, pp 271-278
- [16] Krzysztof Emilianowicz. 2014. Monitoring of underdeck corrosion by using acoustic emission method. In Polish maritime research, Gdansk University of Technology, Poland, pp. 54-61
- [17] Non-destructive Testing. [ออนไลน์]. (2559). สืบค้นจาก : https://www.slideshare.net/e_gulfam/nondestructive-testing-57425394 [22 ธันวาคม 2561]
- [18] หลักเกณฑ์การประกอบกิจการน้ำมันเชื้อเพลิงตามกฎหมายใหม่ [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://www.doeb.go.th/knowledge/new_oil_law.htm [22 ธันวาคม 2561]
- [19] เซลล์กัลวานี [ออนไลน์]. (2562). สืบค้นจาก : <https://th.wikipedia.org/wiki/เซลล์กัลวานิก> [23 ธันวาคม 2561]

- [20] E. Ya. Lyublinski. et al. (2556). Corrosion protection of tank product side bottoms. Scale Inhibitor, no. 2, pp. 150–161
- [21] Zi-long Zhou. et al. (2560). Experimental study on the location of an acoustic emission source considering refraction in different media. SCIENTIFIC REPORTS, 7:7472 pp. 1-13
- [22] Pitting Corrosion & How To Treat It. [ออนไลน์]. (2560). สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Pitting-Corrosion.jpg> [3 มกราคม 2562]
- [23] Galvanic Corrosion. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Galvanic-Corrosion.jpg> [3 มกราคม 2562]
- [24] CORROSION: Intergranular Corrosion. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Intergranular-Corrosion.jpg> [3 มกราคม 2562]
- [25] Crevice Corrosion. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Crevice-Corrosion.jpg> [3 มกราคม 2562]
- [26] Corrosion Prevention Talk. [ออนไลน์]. (2561). สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Stress-Corrosion-Cracking-e1542016210408.png> [3 มกราคม 2562]
- [27] Fretting Corrosion. [ออนไลน์]. (2557). สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Fretting-Corrosion.jpg> [3 มกราคม 2562]
- [28] Erosion Corrosion – What You Need to Know About It. [ออนไลน์]. (2560). สืบค้นจาก : <https://greenvci.co.th/blog/wp-content/uploads/2018/11/Erosion-Corrosion.jpg> [3 มกราคม 2562]
- [29] Uniform Attack Corrosion: Watch Rust Forming on a Piece of Steel. [ออนไลน์]. (2560). สืบค้นจาก : <https://steelabservices.com.au/uniform-attack-corrosion-watch-rust-forming-on-a-piece-of-steel/> [5 มกราคม 2562]

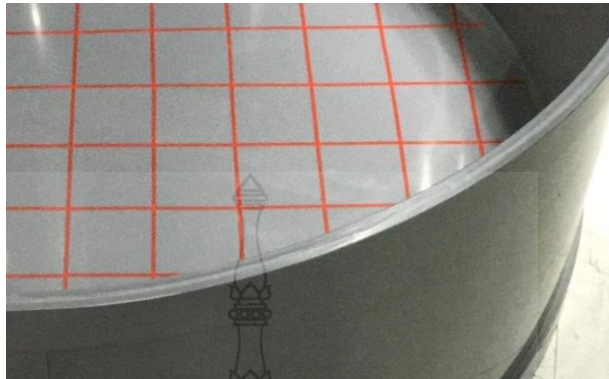
[30] Brianna Day. (2559). Corrosion and Degradation [ออนไลน์]. สืบค้นจาก :
<https://slideplayer.com/slide/6863821/> [5 มกราคม 2562]



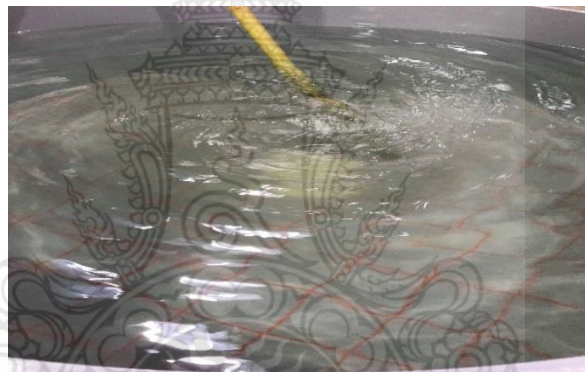


ภาคผนวก

ขั้นตอนการทดลอง



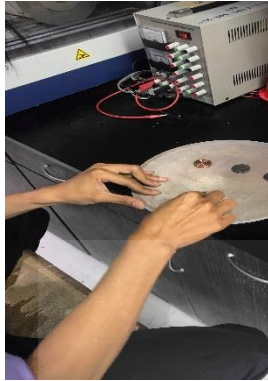
รูปที่ 1 ตีตารางในถังจำลอง 10x10 ซม.



รูปที่ 2 ผสมน้ำกับเกลือเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3 ติดตั้งชุดเครื่องมือการทดสอบ (Acoustic Emission Test)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 วัดขนาดชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานไปขัดเปิดผิวชิ้นงาน แล้วชั่งน้ำหนัก



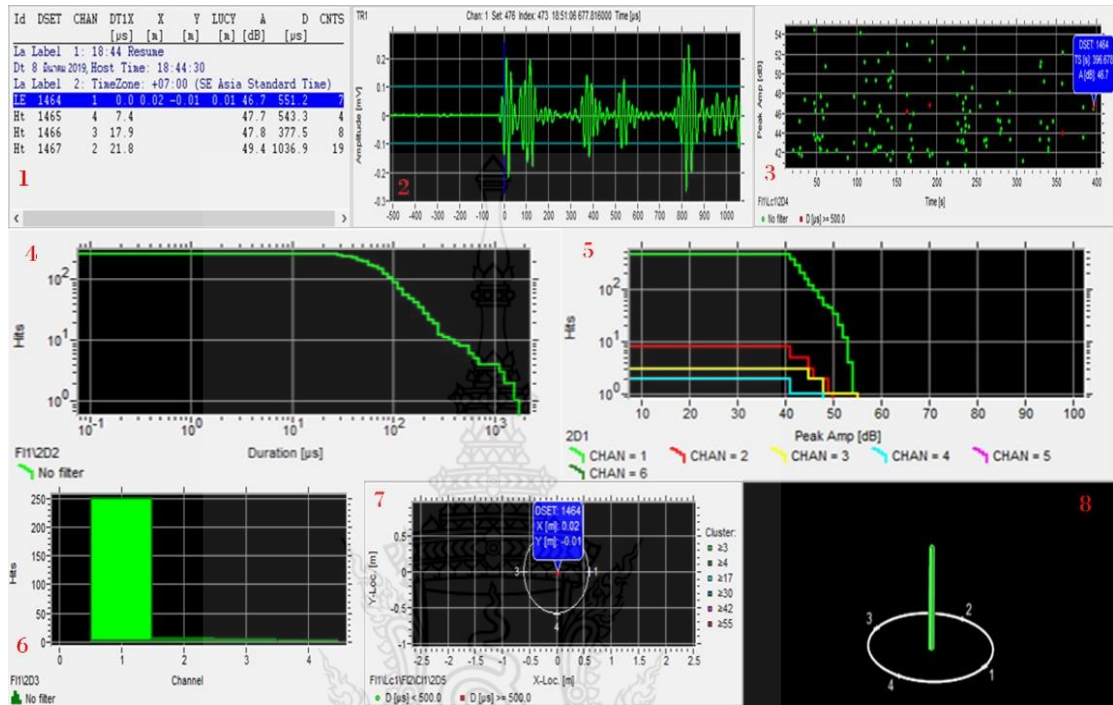
รูปที่ 5 นำชิ้นงานไปทดสอบโดยวางตำแหน่งตรงกลางของถังจำลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง



(ง)

รูปที่ 6 เก็บข้อมูลโดยการชั่งน้ำหนักของชิ้นงานหลังจากถูกกัดกร่อน

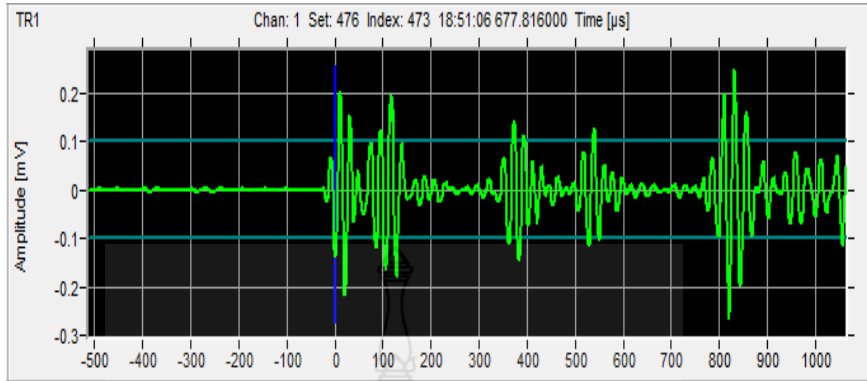
โปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (Vallen Visual AE)



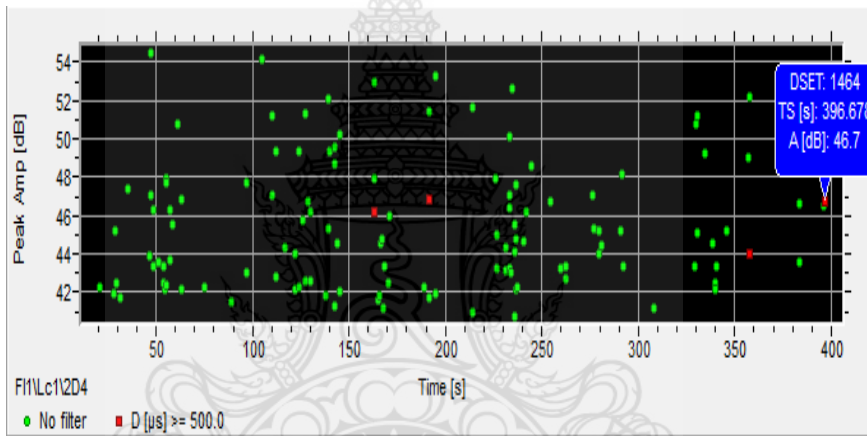
รูปที่ 7 กราฟแสดงผล Acoustic Emission Test

Id	DSET	CHAN	DT1X	X	Y	LUCY	A	D	CNTS
			[µs]	[m]	[m]	[m]	[dB]	[µs]	
La Label 1: 18:44 Resume									
Dt 8 ธันวาคม 2019, Host Time: 18:44:30									
La Label 2: TimeZone: +07:00 (SE Asia Standard Time)									
LE	1464	1	0.0	0.02	-0.01	0.01	46.7	551.2	7
Ht	1465	4	7.4				47.7	543.3	4
Ht	1466	3	17.9				47.8	377.5	8
Ht	1467	2	21.8				49.4	1036.9	19

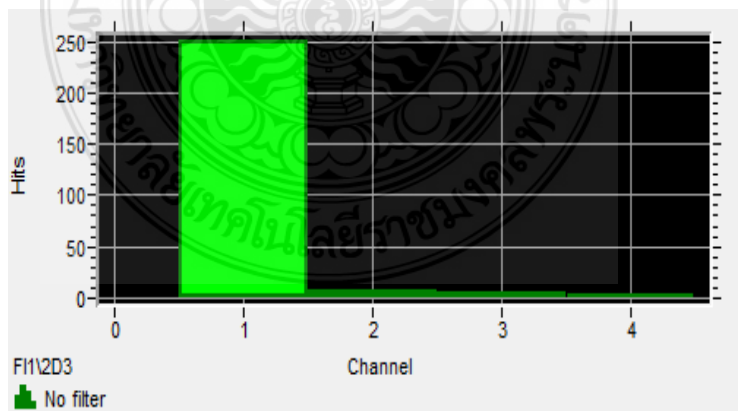
รูปที่ 8 Detail ข้อมูลทั้งหมด



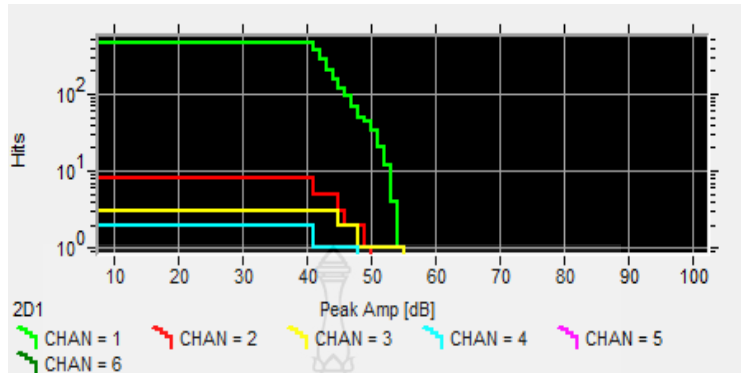
รูปที่ 9 ค่าของความถี่โดยเป็นกราฟแสดง Amplitude ที่เกิดขึ้น



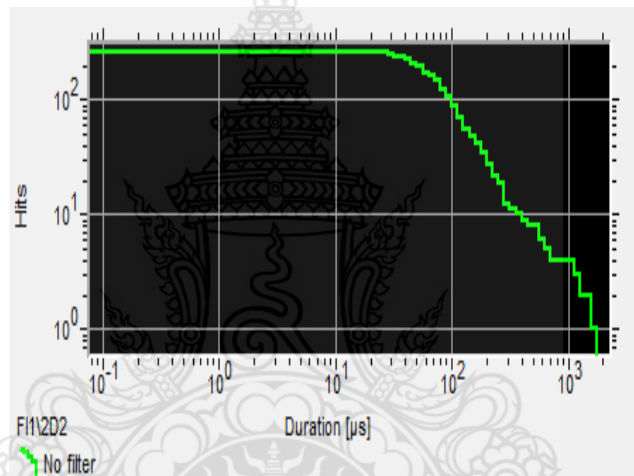
รูปที่ 10 ค่าของสัญญาณระหว่างเวลาทั้งหมดเทียบกับ Amplitude ที่มีความถี่สูงกว่า Threshold



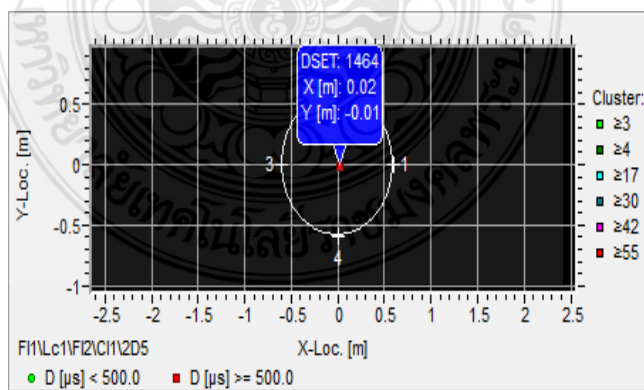
รูปที่ 11 กราฟ Channel เทียบกับ Hits



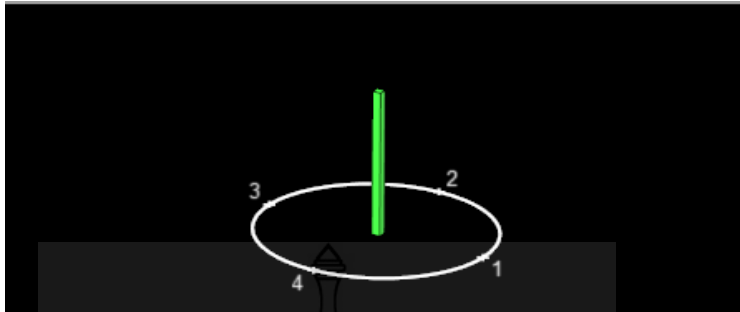
รูปที่ 12 กราฟ Peak Amplitude เทียบกับจำนวนครั้งที่ได้รับสัญญาณ



รูปที่ 13 กราฟ Duration time เทียบกับ Hits



รูปที่ 14 กราฟระบุตำแหน่งแนวแกน x แกน Y (แนวระนาบ)



รูปที่ 15 กราฟสามมิติระบุดำแหน่ง





MONITORING OF ABOVE GROUND OIL STORAGE TANKS WITH NONDESTRUCTIVE TESTING USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE

Nattavut Chuaprang, Sukritta Rachawong, Jirasak Tharajak*

Division of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800, Thailand

* Corresponding author: jirasak.t@rmutp.ac.th

Abstract

Non-destructive test with acoustic emission technique was used for monitoring of the corrosion in the above ground oil storage tank. This technique has to be prior used for the location detection of corrosion especially indication of the severity of corrosion. In this research, the relationship between the corrosion rate and the sound wave energy was studied. It was found that the corrosion rate was increased with enhancing the acoustic emission energy. Therefore, in order to achieve the corrosion rate and the position of the defects on the inner surface of the tank, non-destructive testing with acoustic emission technique can be factually chosen for this specific application.

Keywords: Acoustic emission energy, above ground storage tank, NDT, Acoustic emission testing, Corrosion rates.



Times New Roman 10 pt,
must be limited about 200 words



MONITORING OF ABOVE GROUND OIL STORAGE TANKS WITH NONDESTRUCTIVE TESTING USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUE

Nattavut Chuaprang, Sukritta Rachawong, Jirasak Tharajak*

Division of Industrial Materials Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800, Thailand

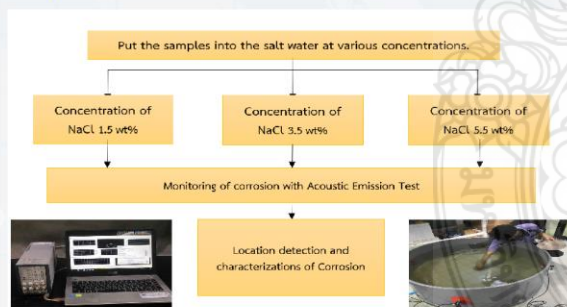
* Corresponding author : jirasak.t@rmutp.ac.th

Abstract

Non-destructive test with acoustic emission technique was used for monitoring of the corrosion in the above ground oil storage tank. This technique has to be prior used for the location detection of corrosion especially indication of the severity of corrosion. In this research, the relationship between the corrosion rate and the sound wave energy was studied. It was found that the corrosion rate was increased with enhancing the acoustic emission energy. Therefore, in order to achieve the corrosion rate and the position of the defects on the inner surface of the tank, non-destructive testing with acoustic emission technique can be factually chosen for this specific application.

Keywords: Acoustic emission energy, Aboveground storage tank, NDT, Acoustic emission testing, Corrosion rates.

Experiments



Result and discussion

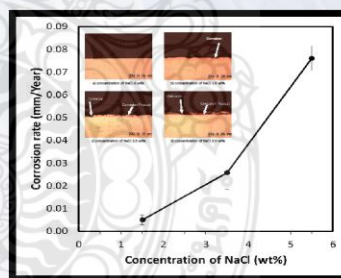


Figure1 effect of concentration of NaCl on corrosion rate

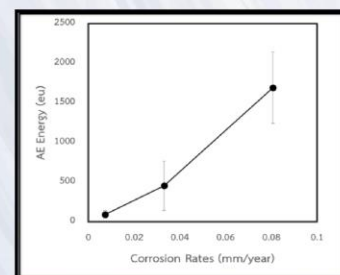


Figure2 effect of corrosion rate on acoustic emission energy

Conclusion

- Corrosion rate was increased with concentration of NaCl increasing.
- The corrosion rate was also increased with the acoustic emission energy increases

Acknowledgment

Authors wish to thank Rajamangala University of Technology Phra Nakhon (RMUTP), Bangkok, Thailand for research funding

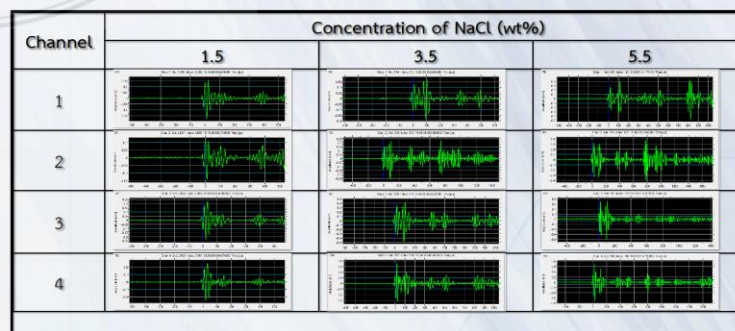


Figure3 Acoustic emission signal of corrosion at various concentration

ประวัตินักศึกษา



ชื่อ-สกุล	นายณัฐวุฒิ เชื้อปรารงค์	
วัน เดือน ปีเกิด	30 ตุลาคม 2539	
ภูมิลำเนา	นนทบุรี	
ประวัติการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วุฒิมัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนมัธยมวิมุตยารามพิทยากร	2557
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนมัธยมวิมุตยารามพิทยากร	2554
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้		
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/19 หมู่ 6 ซ.13 ถนนบางกรวย-ไทรน้อย ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130	
เบอร์โทรศัพท์	095-950-2834	
E-mail	nattavut_ch@hotmail.com	
ทุน/รางวัลที่ได้รับ (ถ้ามี)		
-	รางวัลชนะเลิศการประกวดสิ่งประดิษฐ์ด้านวิทยาศาสตร์ประจำปีการศึกษา 2560	
-	รางวัลชนะเลิศโครงการสหกิจศึกษาด้านนวัตกรรมประจำปี 2561	
-	รางวัลรองชนะเลิศการประกวดโครงการสหกิจศึกษาเครือข่ายสหกิจศึกษาตอนล่างประจำปี 2562	

ประวัตินักศึกษา



ชื่อ-สกุล	นางสาวศุภฤตา ราชวงศ์	
วัน เดือน ปีเกิด	7 กุมภาพันธ์ 2540	
ภูมิลำเนา	กรุงเทพมหานคร	
ประวัติการศึกษา		
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนวัดอินทาราม	2557
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนวัดอินทาราม	2554
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้		
ที่อยู่ปัจจุบัน	158 ซ.เพชรเกษม 1 ถนนเพชรเกษม แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร 10600	
เบอร์โทรศัพท์	095-237-7159	
E-mail	sukritta@hotmail.com	

ทุน/รางวัลที่ได้รับ (ถ้ามี)

- รางวัลรองชนะเลิศการประกวดสิ่งประดิษฐ์ด้านวิทยาศาสตร์ประจำปีการศึกษา 2560
- รางวัลชนะเลิศโครงการสหกิจศึกษาด้านนวัตกรรมประจำปี 2561
- รางวัลรองชนะเลิศการประกวดโครงงานสหกิจศึกษาเครือข่ายสหกิจศึกษาตอนล่างประจำปี 2562