



การซ่อมบำรุงเพลาหางยาวในระบบส่งกำลังของเรือประมงพื้นบ้าน “กอและท้ายตัด”  
ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมพอกผิว

Maintenance Long Tail Shaft in the Power Transmission System of  
Local Fishing Boats by Welding Resurfacing Process

ศิวะ สิทธิพงศ์

Siva Sitthipong

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญา  
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Doctor of Philosophy in Marine and Coastal Resources Management  
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การซ่อมบำรุงเพลาหางยาวในระบบส่งกำลังของเรือประมงพื้นบ้าน “กอและท้ายตัด”  
ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมพอกผิว

Maintenance Long Tail Shaft in the Power Transmission System of  
Local Fishing Boats by Welding Resurfacing Process

ศิวะ สิทธิพงศ์

Siva Sitthipong

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษิตตามหลักสูตรปริญญา  
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Doctor of Philosophy in Marine and Coastal Resources Management  
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การซ่อมบำรุงเพลาทางยาวในระบบส่งกำลังของเรือประมงพื้นบ้าน  
 “กอและท้ายตัด” ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมพอกผิว  
 ผู้เขียน นายศิวัช สิทธิพงศ์  
 สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ประวิทย์ โคววัฒน์)

.....ประธานกรรมการ  
 (ดร.เกียรติศักดิ์ พันธุ์พงศ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริพร ประดิษฐ์)

.....  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย สิทธิเจริญชัย)

.....กรรมการ  
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย สิทธิเจริญชัย)

.....กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ประวิทย์ โคววัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำหรับ  
 การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล ศรีชนะ)  
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประวิทย์ โต้วัฒนะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนวย สิทธิเจริญชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ .....

(นายศิวะ สิทธิพงศ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นายศิวะ สิทธิพงศ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การซ่อมบำรุงเพลลาหางยาวในระบบส่งกำลังของเรือประมงพื้นบ้าน “กอและท้ายตัด” ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมพอกผิว
ผู้เขียน	นายศิวัช สิทธิพงษ์
สาขาวิชา	การจัดการทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษากรรมวิธีการเชื่อมซ่อมพอกผิวที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการใช้งานเพลลาใบจักรของเรือประมง วิธีการวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์หาสาเหตุรากของการชำรุด จากนั้นเชื่อมพอกผิวและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ หาสมบัติเชิงกลประกอบด้วยความสามารถต้านทานต่อการล้า ความสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน และความสามารถต้านทานต่อการสึกหรอ ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินอายุการใช้งานของผิวเชื่อมพอกทั้ง 3 ชนิด คือ ผิวเชื่อมพอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ผิวเชื่อมพอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D และผิวเชื่อมพอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด E7016 จากนั้นเลือกกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปใช้เชื่อมซ่อมเพลลาใบจักรชิ้นงานจริง ผลที่ได้พบว่า อายุการใช้งานเพลลาใบจักรหลังผ่านการเชื่อมซ่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแบบใหม่ยาวนานกว่ากรรมวิธีการเชื่อมแบบดั้งเดิม ความต้านทานต่อการล้าหรืออายุการล้าอยู่ที่ 97,896 รอบวัฏจักร ความต้านทานต่อการกัดกร่อนหรืออัตราการกัดกร่อนอยู่ที่ 4.078 มิลลิเมตรต่อปี ความต้านทานต่อการสึกหรออยู่ที่ 29.2 กรัมต่อปี ทั้งนี้เพลลาใบจักรหลังผ่านการเชื่อมซ่อมด้วยกรรมวิธีการใหม่จะมีอายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 2 ปี ในขณะที่เพลลาใบจักรที่เชื่อมด้วยวิธีการเชื่อมแบบดั้งเดิมจะมีอายุการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.5 ปี ผลการศึกษานี้จะช่วยลดต้นทุนของประมงพื้นบ้าน และป้องกันความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมตามชายฝั่งทะเลอันเกิดจากสภาพไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์เรือประมงทะเล

<b>Thesis Title</b>	Maintenance Long Tail Shaft in the Power Transmission System of Local Fishing Boats by Welding Resurfacing Process
<b>Author</b>	Mr.Siva Sitthipong
<b>Major Program</b>	Marine and Coastal Resource Management
<b>Academic Year</b>	2016

### **ABSTRACT**

This research was aimed to study the efficiency of metal arc welding resurface processes to extend the service life of long tail propeller shafts of the local fishing boats. The study was initiated with the identification of the main cause of the deterioration of the shafts. The tested materials were conducted by different metal welding processes using Flux Cored Arc Welding Process (X111-T5-K4 and E71T-1CH8/T/9M-D core wires) and Shield Metal Arc Welding Process (E7016 core wire) and determined the mechanical properties consisting of the resistance of metal fatigue, corrosion and mass loss. Comparison among the aforementioned different welding processes were carried out to evaluate and select the best efficiency of metal arc welding resurface processes for repairing the reused shafts. The result revealed that the new process could extend the service life longer than that of the conventional one with the resistance of metal fatigue of 97,896 number of cycle, corrosion rate at 4.078 mm/year, mass loss at 29.2 grams/year and the average service life of 2 years as compared to 0.5 year of the conventional one. The result of this study will certainly reduce the fishing cost of local fishermen and prevent marine integrity of the coastal area from incomplete engine from fishing boat.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประวิทย์ โต้วัฒนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ สิทธิเจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ชี้แนะแนวทางการทำวิจัยและเสียสละเวลาในการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.เกียรติศักดิ์ พันธุ์พงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ประดิษฐ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำชี้แนะจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ พลเรือตรี ดร.ประวิทย์ พิพิธโกศลวงค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยงยุทธ ดุลยกุล รองศาสตราจารย์เดช เหมือนขาว อาจารย์ชัยยุทธ มิ่งาม และอาจารย์ศุภชัย ชัยณรงค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำงานวิจัย และช่วยเหลือภาระทั้งงานเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่สนับสนุนทุนในการเผยแพร่ผลงานวิจัย และขอขอบพระคุณชาวประมงชุมชนชายฝั่งทุกท่านที่ให้ความร่วมมืออย่างดีในการเก็บข้อมูลงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ เพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้อง ร่วมสถาบันทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน

ศิวะ สิทธิพงศ์



## สารบัญ

## หน้า

บทคัดย่อ (Thai).....	(5)
บทคัดย่อ (English).....	(6)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
รายการตาราง .....	(10)
รายการภาพประกอบ .....	(11)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	(12)
รายการผลงานที่ประชุมวิชาการและผลงานตีพิมพ์ .....	(13)
สำเนาต้นฉบับที่ได้รับการตอบรับให้นำเสนอบทความ.....	(14)
<b>1. บทนำ</b> .....	
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 ทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	3
<b>2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย</b> .....	
2.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	3
2.2 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
<b>3. ขั้นตอนการวิจัย</b> .....	
3.1 ข้อมูลเฉพาะของวัสดุชิ้นงานทดสอบ .....	4
3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ .....	8
3.3 การทดสอบชิ้นงาน .....	11
<b>4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b> .....	
4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงล้าด้วยคานหมุนดัด .....	15
4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนด้วยหมอกเกลือ .....	17
4.3 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี.....	20
4.4 ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาค.....	21
4.5 ผลการเชื่อมพอกเพลลาไปจักรชิ้นงานจริง.....	22
<b>5. สรุปผลการวิจัย</b> .....	
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	27
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	28
<b>บรรณานุกรม</b> .....	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก: บทความสำหรับเผยแพร่ 1 .....	31
ภาคผนวก ข: บทความสำหรับเผยแพร่ 2 .....	38
ภาคผนวก ค: บทความสำหรับเผยแพร่ 3 .....	48
ภาคผนวก ง: บทความสำหรับเผยแพร่ 4 .....	54
ประวัติผู้เขียน .....	63

## รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 .....	5
ตารางที่ 2	สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140.....	5
ตารางที่ 3	ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด E 7016.....	6
ตารางที่ 4	สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมเกรด E 7016.....	6
ตารางที่ 5	ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4.....	6
ตารางที่ 6	สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมเกรด x111-T5-K4.....	7
ตารางที่ 7	ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T-9M-D.....	7
ตารางที่ 8	สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมเกรด E71T-1CH8/T-9M-D.....	8
ตารางที่ 9	ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	9
ตารางที่ 10	ค่าน้ำหนัก โมเมนต์ดัด และความเค้นปกติที่ใช้ในการทดสอบ.....	11
ตารางที่ 11	ประวัติการซ่อมบำรุงเรือกอและท้ายตัด .....	23
ตารางที่ 12	ประมาณการณ์การซ่อมบำรุงเรือกอและท้ายตัด.....	24

## รายการภาพประกอบ

		หน้า
รูปที่ 1	เรือกอและท้ายตัด .....	1
รูปที่ 2	เพลลาใบจักร .....	1
รูปที่ 3	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	4
รูปที่ 4	กรรมวิธีการเชื่อมพอกผิวแบบต่างๆ .....	9
รูปที่ 5	ผิวเชื่อมพอก .....	9
รูปที่ 6	การตัดชิ้นงาน .....	10
รูปที่ 7	การกัดชิ้นงาน .....	10
รูปที่ 8	การกลึงชิ้นงาน .....	10
รูปที่ 9	ชิ้นงานสำเร็จสำหรับใช้ทดสอบ .....	11
รูปที่ 10	เครื่องทดสอบการล้าแบบคานหมุนดัด .....	12
รูปที่ 11	เครื่องทดสอบการกัดกร่อนด้วยหมอกเกลือ .....	12
รูปที่ 12	เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี .....	13
รูปที่ 13	ตำแหน่งศึกษา .....	13
รูปที่ 14	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง .....	14
รูปที่ 15	การเชื่อมพอกผิวเพลลาใบจักรชิ้นงานจริง .....	15
รูปที่ 16	ความแข็งแรงล้าของ x111-T5-K4 และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D.....	16
รูปที่ 17	ความแข็งแรงล้าของ E7016.....	16
รูปที่ 18	ร้อยละการเกิดเหล็กออกไซด์ที่เวลา 8 ชั่วโมง.....	17
รูปที่ 19	ร้อยละการเกิดเหล็กออกไซด์ที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	17
รูปที่ 20	เปรียบเทียบพื้นที่ผิวที่สูญเสียกับเวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม.....	18
รูปที่ 21	เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียกับ เวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม.....	18
รูปที่ 22	น้ำหนักที่สูญเสียกับเวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม ช่วงที่ 1 .....	19
รูปที่ 23	น้ำหนักที่สูญเสียกับเวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม ช่วงที่ 2.....	19
รูปที่ 24	เปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของผิวเชื่อมพอก 3 ชนิด .....	20
รูปที่ 25	เปรียบเทียบค่าความแข็งแต่ละบริเวณของผิวเชื่อมพอก 3 ชนิด .....	20
รูปที่ 26	โครงสร้างจุลภาคบริเวณเส้นหลอมละลายของลวดเชื่อม X111-T5-K4 .....	21
รูปที่ 27	โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของลวดเชื่อม X111-T5-K4.....	21
รูปที่ 28	โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ X111-T5-K4 .....	22
รูปที่ 29	ปริมาณชนิดโครงสร้างของ X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D .....	22
รูปที่ 30	โครงสร้างผิว X111-T5-K4 ที่เวลา a) 8 ชั่วโมง b) 24 ชั่วโมง.....	26
รูปที่ 31	โครงสร้างผิว E71T-1CH8/T/9M-D ที่เวลา a) 8 ชั่วโมง b) 24 ชั่วโมง.....	26
รูปที่ 32	ความแข็งของผิวเชื่อมพอก x111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D .....	27

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AF	:	โครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์รูปเข็ม (Acicular Ferrite)
AISI	:	มาตรฐานเหล็กระบบอเมริกัน (American Iron and Steel Institute)
ASTM	:	มาตรฐานการทดสอบวัสดุระบบอเมริกัน (American Society for Testing and Materials)
BM	:	โลหะฐาน (Base Metal)
CNC	:	เครื่องจักรกลแบบอัตโนมัติที่มีการทำงานด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control router)
FCAW	:	กรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Flux Core Arc Welding Process)
HAZ	:	บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat Affected Zone)
OM	:	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)
PF	:	โครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์แบบหกเหลี่ยม (Polygonal Ferrite)
SCM	:	เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Steel Carbon Medium)
SMAW	:	กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding Process)
WF	:	โครงสร้างจุลภาคเฟอร์ไรท์แบบแผ่นเกล็ด (Side plate Ferrite)
WM	:	เนื้อเชื่อม (Weldment)

### สัญลักษณ์คำย่อ

		หน่วย
$\sigma$	คือ ความเค้นล้า (Fatigue Stress)	เมกะปาสคาล
N	คือ อายุการล้า (Fatigue Life)	รอบวัฏจักร
T	คือ เวลา (Time)	ชั่วโมง
A	คือ พื้นที่ (Area)	ตารางเซนติเมตร
M	คือ น้ำหนักที่สูญเสียน (Mass Loss)	กรัม
D	คือ ความหนาแน่น (Density)	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
I	คือ กระแสเชื่อม (Welding Current)	แอมแปร์
V	คือ แรงดันเชื่อม (Welding Voltage)	โวลต์
S	คือ ความเร็วเดินเชื่อม (Welding Speed)	มิลลิเมตรต่อนาที
E	คือ ความร้อนป้อนเข้า (Heat Input)	กิโลจูลต่อมิลลิเมตร
Q	คือ อัตราการไหลของแก๊สผสม (Mixed Gas Flow rate)	มิลลิเมตรต่อนาที
P	คือ ความดันอากาศ (Air Pressure)	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

## รายการผลงานที่ประชุมวิชาการและผลงานตีพิมพ์

### ผลงานการประชุมวิชาการ

- (1) Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Prapas Muangjunburee. (2017). *Propeller Shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process*. 12<sup>th</sup> MAHASARAKHAM UNIVERSITY RESEARCH CONFERENCE .Towards Sustainable Community Development by Integrating Basic and Applied Researches” 8-9 September 2016. Mahasarakham: Mahasarakham University.

### บทความวิจัยและวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ

- (1) ศิวะ สิทธิพงษ์ ประวิทย์ โตวัฒน์ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงศ์. (2560). การประเมินอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกใส่ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*. 11 (1): 1-9.
- (2) Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Chaiyoot Meengam. (2016). Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding. *Materials Science Forum*. 872: 62-66.
- (3) Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Chaiyoot Meengam. (2016). Abrasive Wear behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel. *Materialstoday*. 4 (2): 1-8.

### สำเนาต้นฉบับที่ได้รับการตอบรับให้นำเสนอบทความ

Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Prapas Muangjunburee. (2017). *Propeller Shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process*. 12<sup>th</sup> MAHASARAKHAM UNIVERSITY RESEARCH CONFERENCE .Towards Sustainable Community Development by Integrating Basic and Applied Researches” 8-9 September 2016. Mahasarakham: Mahasarakham University.

26/3/2560

MRC 12 : มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัยครั้งที่ 12

MRC#XII

หน้าหลัก รายละเอียดโครงการ รายละเอียดงานเด่น ผลงานประชาสัมพันธ์ เข้าสู่ระบบ

ผู้นำเสนอผลงานทศวรรษ

ค้นหาผู้เข้าร่วมงาน:  ทั้งหมด 7 คน จำนวนหน้า 3 หน้า Go Page : 3

ลำดับ	รายละเอียดงานเด่น	สถานะ
51	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การสอนด้วยวิธีฝึกปฏิบัติตามแนวทางวิถีพุทธและการเติบโตของประชาคมอาเซียนเพื่อส่งเสริมความฉลาดทางวัฒนธรรม <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Teaching by Field Trip following Thainess and Exposure to ASEAN Community to Enhance Cultural Intelligence <b>หมวดวิชา:</b> ศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์   สาขาวิชา: ศึกษาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> พรวิภา อธิชา นนทวงกู   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
52	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> พืชเคมี, ยาต้านจุลชีพ และต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพริก <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Phytochemical, antimicrobial and antioxidant activities of crude extract from Cassia bakiensis Crab <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
53	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> ชุดทดสอบการกดจุดสัญญาณเส้นประสาทของฝ่ามือแบบพกพา <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> A Signal Acupressure Testing Set for Court-Type Thai Traditional Massage <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิศวกรรมศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
54	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> ระบบการขนถ่ายวัตถุชิ้นงานด้วยหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลายตัว <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> A Cooperative Object Transportation System Using Multiple Mobile Robots <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิศวกรรมศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> พรวิภา อธิชา นนทวงกู   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
55	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> ตัวติดตามต้นทุนต่ำสำหรับรถขนส่งสาธารณะ: กรณีศึกษา รถรางมหาวิทยาลัยมหาสารคาม <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> A Low-cost GPS-based Tracker for Public Transport: A Case Study of Mahasarakham University Tram <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิศวกรรมศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> พรวิภา อธิชา นนทวงกู   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
56	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียใต้ดินแบบสร้างพื้นที่ชุ่มน้ำ <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Municipal Wastewater Treatment by Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิศวกรรมศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
57	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การวิเคราะห์หินตะกอนยุคครีตตอนปลาย: กรณีศึกษา หินทรายมหาวิทยาลัยมหาสารคาม <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Coproite analysis from the Late Triassic Hui Hin Lat Formation of Thailand <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
58	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> ผลกระทบของการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงานโดยใช้โครงงานเชิงบูรณาการ DEEPER เรื่องระบบนิเวศอาหาร ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> THE STUDY OF ENHANCING COLLABORATIVE PROBLEM SOLVING COMPETENCY BY USING LEARNING MANAGEMENT THROUGH DEEPER: SCAFFOLDING FRAMEWORK OF GRADE 10 STUDENTS IN TOPIC "DIGESTIVE SYSTEM" <b>หมวดวิชา:</b> ศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์   สาขาวิชา: ศึกษาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
59	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การพัฒนาเครื่องจักรกลอัตโนมัติสำหรับงานเชื่อมด้วยวิธีตัด <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Propeller Shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิศวกรรมศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
60	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การประยุกต์ใช้โมเดลการเรียนรู้แบบเชิงสัญลักษณ์ในการสอนภาษาโปรแกรมมิ่ง <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Application of SoLab in Teaching of Robot Kinematics Symbolic Computations <b>หมวดวิชา:</b> ศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์   สาขาวิชา: ศึกษาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
61	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การคัดเลือกแบคทีเรียทนต่อสารอินทรีย์ที่ทนทานต่อพิษของเอมิลีเอสเฟอโรไลนที่มาจากสายพันธุ์ <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Screening of organic solvent-tolerant bacterium capable of organic solvent- tolerant protease production <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
62	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> ผลกระทบของการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงานโดยใช้โครงงานเชิงบูรณาการ DEEPER เรื่องระบบนิเวศอาหาร ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> THE EFFECT OF LEARNING MANAGEMENT FOR ENHANCING GENETICS CONCEPTION BY USING SCIENTIFIC ARGUMENTATION IN SOCIO-SCIENTIFIC ISSUES <b>หมวดวิชา:</b> ศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์   สาขาวิชา: ศึกษาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
63	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> การเปลี่ยนแปลงการบริโภคออกซิเจนในระหว่างการวิ่งด้วยรองเท้าวิ่งแบบมินิมอลและ Barefoot <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> CHANGES OF OXYGEN CONSUMPTION RESULTING FROM RUNNING WITH ATHLETIC FOOTWEAR, MINIMALIST, AND BAREFOOT <b>หมวดวิชา:</b> วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี   สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน
64	<b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อผู้ประกอบการของสวนสัตว์เชียงใหม่ <b>ชื่อผลงานวิจัย:</b> Thai Tourist Satisfaction to Marketing Mixed of Chiang Mai Night Safari <b>หมวดวิชา:</b> ศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์   สาขาวิชา: ศึกษาศาสตร์ <b>ผู้เขียน:</b> เมธาภรณ์ พิริสวัสดิ์   <b>ผู้ติดต่อ:</b> ศุภวัฒน์	ผ่าน

## สำเนาต้นฉบับที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์บทความ

ศิวะ สิทธิพงษ์ ประวิทย์ ไตว์ฉนะ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงศ์. (2560). การประเมินอัตราการกักต่อนของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 11 (1): 1-9.

ที่ ศธ ๐๕๘๑.๑๑/ 1934



สถาบันวิจัยและพัฒนา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
สี่เสาเทเวศร์ เขตดุสิต กรุงเทพฯ ๑๐๓๐๐

๓๑ ตุลาคม ๒๕๕๙

เรื่อง ตอบรับการตีพิมพ์บทความในวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร

เรียน นายศิวะ สิทธิพงษ์ และคณะ

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง การประเมินอัตราการกักต่อนของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D เพื่อตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร นั้น

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ขอแจ้งให้ทราบว่าบทความวิจัยดังกล่าวได้ผ่านการประเมินจากกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ ๑๑ ฉบับที่ ๑ เดือนมกราคม-มิถุนายน ๒๕๖๐ ซึ่งทางกองบรรณาธิการจะจัดส่งวารสารฉบับดังกล่าวไปในลำดับต่อไป อนึ่งบทความดังกล่าวถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นายสิงห์แก้ว บ็อกเท็ง)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร  
โทรศัพท์ : ๐ ๒๖๖๕ ๓๗๗๗ - ๐ ๒๖๖๕ ๓๘๘๘ ต่อ ๖๖๔๕  
โทรสาร : ๐ ๒๖๘๒ ๐๔๒๓



## สำเนาต้นฉบับที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์บทความ


Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Chaiyoot Meengam.  
(2016). Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding. *Materials Science Forum*. 872: 62-66.


**American Society for Research**

---


***Notification of Acceptance***

**2016 7th International Conference on Material and Manufacturing Technology (ICMMT 2016)**  
**May 14-16, 2016 / Chiang Mai, Thailand**  
<http://www.icmmt.org/>





**ASR**  
American Society for Research  
[www.asr.org](http://www.asr.org)



**tpp** trans tech publications inc.  
Publishers in Science and Engineering


**Dear Siva Sitthipong, Prawit Towatana, Amnuay Sitticharoenchai and Suppachai Chainarong,**

We are pleased to inform you that the review processes for 2016 7th International Conference on Material and Manufacturing Technology (ICMMT 2016) has been completed. The conference received submissions from nearly 10 different countries and regions, which were reviewed by international experts, and about 40 papers have been selected for presentation and publication. Based on the recommendations of the reviewers and the Technical Program Committees, we are pleased to inform you that your paper identified below has been accepted for publication and oral presentation. You are cordially invited to present the paper orally at ICMMT 2016 to be held during **May 14-16, 2016** in **Chiang Mai, Thailand** at **University Academic Service Center --- Green Nimman CMU Residence (Chiang Mai University (UNISERV CMU).)**(Click)

**Paper ID: MT007**

**Paper Title: Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding**

ICMMT 2016 conference proceedings will be published in a volume of **Materials Science Forum**. (ISSN: 0255-5476), Indexed by Elsevier: SCOPUS [www.scopus.com](http://www.scopus.com), Index Copernicus Journals Master List [www.indexcopernicus.com](http://www.indexcopernicus.com), Google Scholar [scholar.google.com](http://scholar.google.com), Ei Compendex (CPX) [www.ei.org/Cambridge](http://www.ei.org/Cambridge) Scientific Abstracts (CSA) [www.csa.com](http://www.csa.com), Inspec (IET, Institution of Engineering Technology) [www.theiet.org](http://www.theiet.org), SCImago Journal & Country Rank (SJR) [www.scimagojr.com](http://www.scimagojr.com), EBSCO [www.ebsco.com](http://www.ebsco.com), (quoted from <http://www.tpp.net/0255-5476.html>)



ICMMT 2016 Organizing Committees  
<http://www.icmmt.org/>  
Chiang Mai, Thailand

1 / 2

## สำเนาต้นฉบับที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์บทความ

Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Chaiyoot Meengam. (2016). Abrasive Wear behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel. *Materialstoday*. 4 (2): 1-8.

26/3/2560

Finalize Publishing your Article

## Finalize Publishing your Article

English ▾

[Help](#)

Article: Abrasive Wear Behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel  
 Corresponding author: Dr. S. Sitthipong  
 E-mail address: 5710033001@email.psu.ac.th  
 Journal: Materials Today: Proceedings  
 Our reference: MATPR1815  
 PII: S2214-7853(17)30171-2  
 DOI: 10.1016/j.matpr.2017.01.171

Welcome Dr. Sitthipong,

To help us finalize the publication of your article please complete the publishing form(s) below.

**Note:** you will receive a confirmation e-mail after completing each form.

When placing orders via these forms, you may be asked to provide the information listed below.

- **Purchase Order Number**  
If a Purchase Order Number is required for payment by your institution and you already have one, please provide it via the publishing form(s). Note that you may still complete the form(s) now, even if you do not have the Purchase Order number available yet.
- **Tax Exemption Number and Tax Exemption Certificate** if applicable to your institution.

For Bank and company address details, see the [Terms and Conditions of Sale and Purchase](#).

## RIGHTS AND ACCESS

Completed on 28 January 2017 Need to make changes in the form? [Make changes and resubmit](#). Elsevier supports responsible sharing. To find out how you can share your article, please visit our [Sharing Policy page](#).

For information on author's right visit Elsevier's [Authors' Rights](#) pages.

For information on publishing open access with Elsevier visit [elsevier.com/openaccess](#).

[Privacy Policy](#) [Terms & Conditions](#) [Help](#)

Copyright (c) 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Cookies are set by this site. To decline them or learn more, visit our [Cookies](#) page.

## 1. บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เรือกอและท้ายตัดในรูปที่ 1 เป็นเรือประมงพื้นบ้านที่ถูกใช้งานในพื้นที่ชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย น้ำหนักเรือที่เบา ลำเรือที่เล็กกะทัดรัด ท้องเรือที่ตื้น การเอียงพลิกคว่ำยาก การทรงตัวไต่คลื่นลมได้ดี ความคล่องตัวในการบังคับขับเคลื่อนมีสูง ใช้คนเพียง 2-3 คน ก็สามารถออกทะเลทำการประมงได้ อีกทั้งมีรูปทรงและลวดลายสีสันทสวยงาม ทำให้กอและท้ายตัดถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามปัญหาเรือร้างที่พบในการใช้งานเรือกอและท้ายตัดคือ ปัญหาการชำรุดของเพลลาใบจักร ในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหลัก ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังและการเคลื่อนที่จากเครื่องยนต์ดีเซลไปยังใบจักรของเรือ [1]



รูปที่ 1 เรือกอและท้ายตัด



รูปที่ 2 เพลลาใบจักร

การชำรุดของเพลลาใบจักรจำแนกได้ 2 ประเภท คือ การชำรุดประเภทไม่ร้ายแรง เช่น การสึกหรอ หรือ การสีกกร่อน เพลลาใบจักรจะยังคงใช้งานต่อไปได้แต่ประสิทธิภาพในการส่งกำลังจะต่ำลง อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยระยะทางเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางน้ำและทางอากาศ ส่วนการชำรุดประเภทร้ายแรง เช่น การฉีกขาดจากการล่า การกระแทก หรือการรับภาระเกินกำลังของเพลลาใบจักร จะทำให้เรือไม่สามารถใช้งานได้ จำเป็นต้องนำเรือขึ้นฝั่งเพื่อทำการซ่อมบำรุง ทำให้ชาวประมงสูญเสียรายได้จากการขาดโอกาสในการทำประมง เมื่อเพลลาใบจักรชำรุดจะถูกนำมาเชื่อมซ่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ พบว่าอายุการใช้งานหลังผ่านการเชื่อมซ่อมสั้น มีความเป็นไปได้ว่ากรรมวิธีการเชื่อมซ่อม ลวดเชื่อมซ่อม หรือพารามิเตอร์ในการเชื่อมซ่อมกับสาเหตุรากของการชำรุดไม่สอดคล้องกัน กรรมวิธีการซ่อมที่ทำอยู่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์สาเหตุรากของการชำรุดเพื่อหากรรมวิธีการเชื่อมซ่อมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการยืดอายุการใช้งานของเพลลาใบจักร

การลงพื้นที่สำรวจเพลลาไบจักรของเรือกอและท้ายตัดจำนวน 65 ลำ ทำให้พบการชำรุดของเพลลาไบจักร 3 ลักษณะ ลักษณะแรกเพลลาชำรุดจากการกัดกร่อนเกิดสนิมแดง ลักษณะที่สองเพลลาชำรุดแตกหักบริเวณเดิมซ้ำ ๆ กันโดยปรากฏร่องรอยการแตกล่า ลักษณะที่สามเพลลาชำรุดแบบสึกหรอมีร่องรอยการขัดสี งานวิจัยนี้จะดำเนินการทวนสอบหาสาเหตุราก ด้วยกระบวนการทดสอบการกัดกร่อนด้วยหมอกเกลือ กระบวนการทดสอบความแข็งแรงล้าด้วยเครื่องทดสอบการล้าแบบคานหมุนดัด และกระบวนการทดสอบการสึกหรอด้วยการขัดสี โดยวัสดุที่จะถูกนำมาทดสอบคือ เหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 และผิวเชื่อมพอกเพลลาด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1C/T-9M-D และ X111-T5-K4 และผิวเชื่อมพอกเพลลาด้วยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด E7016 ที่มาของการเลือกใช้ลวดเชื่อมและกรรมวิธีการเชื่อมอ้างอิงจากผลงานวิจัยของคณะวิจัย [2] เมื่อปี 2016

## 1.2 ทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิวะ สิทธิพงศ์ และคณะ [3] ได้ศึกษาอายุการล้าของผิวเชื่อมพอกเหล็กกล้าผสมต่ำทนแรงดึงสูง ผลการศึกษาพบว่าความแข็งแรงดิ่งกับความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกไม่จำเป็นต้องแปรผันตามกัน และกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ให้อายุการล้ายาวนานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีการเชื่อมอีกสองชนิดคือ กรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้า โดย Magudee Sawaran และคณะ [4] ให้เหตุผลว่าอาจเป็นเพราะโครงสร้างเฟอร์ไรท์รูปเข็มที่ถักสานไขว้กันอย่างแข็งแรง โดย ศิวะ สิทธิพงศ์และคณะ [5] ทำการศึกษายืนยันความเป็นไปได้ในการต้านทานการล้าของโครงสร้างเฟอร์ไรท์รูปเข็มนี้ และพบว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์รูปเข็มสามารถต้านทานต่อการล้าได้ดีกว่าโครงสร้างเฟอร์ไรท์แบบแผ่นเกล็ดและแบบรูปทรงหกเหลี่ยม ต่อมา ณรงค์ฤทธิ์ โทธรัตน์ [6] อธิบายพฤติกรรมการล้าและการแตกหักบริเวณผลกระทบจากความร้อนของเหล็กกล้าผสมต่ำทนแรงดึงสูงเพื่อปรับปรุงกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมขณะที่ประภาศ เมืองจันทร์บุรี [7] ใช้เทคนิคการให้ความร้อนหลังการเชื่อมซ่อมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและทางโลหะวิทยาของผิวเชื่อมพอก การศึกษาพัฒนางานเชื่อมซ่อมพอกผิวดำเนินมาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งปี 2558 Suppachai Chainarong และคณะ [8] ได้เก็บข้อมูลสถิติการชำรุดของเพลลาไบจักรเพื่อศึกษาอิทธิพลของความเค้นที่ส่งผลต่อการชำรุดของเพลลาไบจักร พบว่าความเค้นวัฏจักรที่กระทำต่อเพลลาไบจักรที่ภาระเต็มกำลังมีค่าสูงกว่าความเค้นล้าของวัสดุเพลลา ทำให้เพลลาเข้าสู่กลไกการล้าและมีอายุการใช้งานจำกัด เช่นเดียวกับกับเพลลาในเครื่องจักรกลอื่น ดังนั้นในเวลาต่อมา ศิวะ สิทธิพงศ์ และคณะ [9] จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการต้านทานต่อการล้าของเพลลาไบจักรเกรด scm 440 และผิวเชื่อมพอก อย่างไรก็ตามข้อมูลไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้เลือกกรรมวิธีการซ่อมที่เหมาะสม ขาดข้อมูลความทนทานต่อการกัดกร่อนและความต้านทานต่อการสึกหรอของผิวเชื่อมพอก ขาดข้อมูลอายุการล้าหลังผ่านการเชื่อมเพลลาชิ้นงานจริง และยังไม่มี การปรับปรุงพารามิเตอร์และชนิดลวดเชื่อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกรรมวิธีการเชื่อมซ่อม ดังนั้นงานวิจัยที่ทำนี้จะเติมเต็มองค์ความรู้ที่ขาดดั่งที่กล่าวมาให้ครบถ้วน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้กรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพลลาไบจักรได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

### 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- (1) ทำให้ได้มาซึ่งกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพลลาไบจักรที่มีประสิทธิภาพ
- (2) สามารถยืดอายุการใช้งานของเพลลาไบจักรหลังผ่านกรรมวิธีการเชื่อมซ่อม
- (3) ทำให้ลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงเรือซึ่งเป็นต้นทุนหนึ่งในการทำประมง
- (4) ทำให้ประหยัดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน
- (5) ทำให้ลดการสูญเสียโอกาสในการทำประมงของชาวประมง
- (6) เป็นการส่งเสริมและอนุรักษ์การใช้เรือประมงพื้นบ้าน ภูมิปัญญาชาวชุมชนชายฝั่ง
- (7) ทำให้ลดการก่อกมลพิษจากเครื่องยนต์เรือทั้งทางตรงและทางอ้อมเป็นผลดีกับสิ่งแวดล้อม
- (8) ได้องค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ซ่อมบำรุงเพลลาไบจักรของเรือประเภทอื่น

## 2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

### 2.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

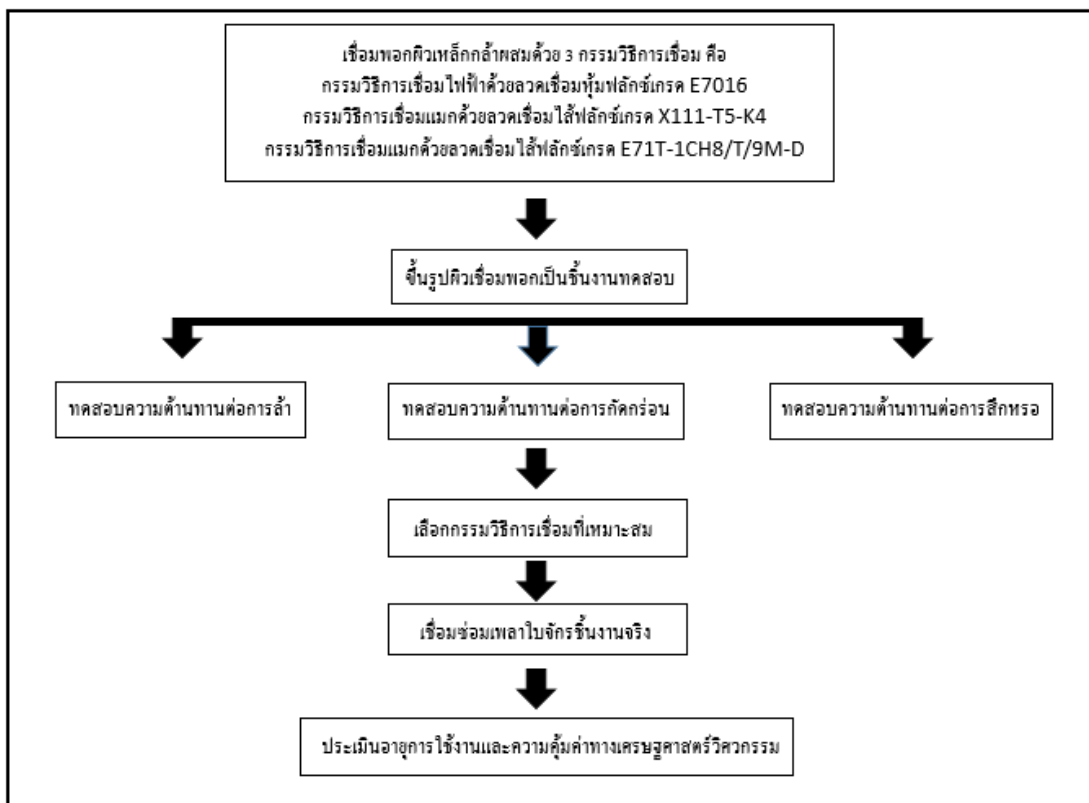
เพื่อศึกษากรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพลลาไบจักรที่มีประสิทธิภาพด้านทานการชำรุดรูปแบบต่าง ๆ เพื่อยืดอายุการใช้งานของเพลลาไบจักรเรือกอกและท้ายตัด

### 2.2 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาความต้านทานต่อการกัดกร่อน การล้า และการสึกหรอของผิวเชื่อมพอกจากกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมที่กำหนด

พื้นที่ศึกษาคือ ชุมชนประมงชายฝั่งทะเลสาบสงขลา

### 3. ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ข้อมูลเฉพาะของวัสดุชิ้นงานทดสอบ

##### 3.1.1 เหล็กกล้าผสมเกรด scm 440

เหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 หรือ AISI 4140 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 และสมบัติเชิงกลแสดงในตารางที่ 2 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีธาตุโครเมียมและโมลิบดีนัมผสม ทำให้มีความเหนียวและทนแรงดึงได้สูง ชุบแข็งได้หลายวิธี หลังการชุบแข็ง สามารถทนแรงดึงได้ถึง 1000 เมกะปาสคาล เหมาะสำหรับทำเพลาล้ออ่ก้านสูบ เพลาช้อเหวี่ยง เฟืองเพล่า บูรรับเพล่า เพล่าขับ แกนเฟืองขับ ชิ้นส่วนส่งกำลังทั่วไป รวมถึงเพล่าใบจักรเรือ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140

ธาตุผสม	ร้อยละธาตุผสม
C	0.38-0.43
Si	0.15-0.35
Mn	0.60-0.85
P	Max.0.03
S	Max.0.03
Cr	0.9-1.2
Mo	0.15-0.30
Ni	Max.0.25
Cu	Max.0.30

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140

สมบัติเชิงกล	หน่วย	ค่า
Tensile Strength	N/mm <sup>2</sup>	980
Yield Strength	N/mm <sup>2</sup>	830
Percentage of elongation	%	12
Percentage of area reduction	%	45
Impact value	J	59

### 3.1.2 ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด E 7016

ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด LB 52 หรือ E 7016 มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3 และสมบัติเชิงกลแสดงในตารางที่ 4 เป็นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ชนิดไฮโดรเจนต่ำ เชื่อมได้ดีในทุกท่าเชื่อม แนวเชื่อมมีคุณสมบัติทางกลดี สามารถผ่านการตรวจสอบด้วยการเอกซเรย์ได้ดี นอกจากนี้แนวเชื่อมที่ได้จากลวดเชื่อม LB-52 ยังต้านทานต่อการแตกร้าวได้ดีเยี่ยมอีกด้วย ลวดเชื่อม LB-52 เหมาะกับงานเชื่อมเหล็กทนแรงดึงสูง ที่ต้องการคุณภาพงานเชื่อมสูง

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด E 7016

ธาตุผสม	ร้อยละธาตุผสม
C	0.08
Si	0.6
Mn	0.94
P	0.011
S	0.006

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมเกรด E 7016

สมบัติเชิงกล	หน่วย	ค่า
Tensile Strength	N/mm <sup>2</sup>	540
Yield Strength	N/mm <sup>2</sup>	460
Percentage of elongation	%	26
Percentage of area reduction	%	75
Impact value	J	47

### 3.1.3 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 5 และสมบัติเชิงกลแสดงในตารางที่ 6 เป็นลวดเชื่อมคุณภาพสูง เหมาะสำหรับใช้เชื่อมเหล็กกล้าผสมทนแรงดึงสูง เชื่อมยาก แต่ให้คุณภาพแนวเชื่อมสูง การเดินแนวเชื่อมเรียบ แนวเชื่อมมีความแข็งแรงทนทาน

ตารางที่ 5 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4

ธาตุผสม	ร้อยละธาตุผสม
C	0.06
Mn	1.45
Si	0.45
Mo	0.45
Ni	2.20
Cr	0.50
S	0.025
P	0.025



ตารางที่ 6 สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมเกรด x111-T5-K4

สมบัติเชิงกล	หน่วย	ค่า
ความแข็ง	HV	285-352
ความแข็งแรงดึง	N/mm <sup>2</sup>	>980
ความแข็งแรงคราก	N/mm <sup>2</sup>	>830
ความแข็งแรงกระแทก	J/cm <sup>2</sup>	>59
การยืดตัว	%	12%

### 3.1.4 ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T-9M-D

ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T-9M-D มีส่วนผสมทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 7 และสมบัติเชิงกลแสดงในตารางที่ 8 เป็นลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ ที่ผ่านการทดสอบ ตามมาตรฐานสากลต่าง ๆ อย่างมากมาย เช่น ABS, Lloyd's Register, DNV, BV และ NK จึงมั่นใจ ได้ว่าลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์สำหรับงานเหล็ก รุ่นนี้ เทียบเท่ากับลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ยี่ห้ออื่น ๆ เหมาะกับ งานเชื่อมเหล็กทนแรงดึงสูงระดับ 490 N/mm<sup>2</sup> โดยเฉพาะงานที่ต้องการคุณภาพแนวเชื่อมสูง เช่นงานเชื่อมในอุณหภูมิต่ำ งานโครงสร้างขนาดใหญ่ เป็นต้น นอกจากนี้ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์นี้มีอัตราการ เติบโตเนื้อที่ค่อนข้างสูง สลัดเคาะออกง่าย สะเก็ดไฟเข้มน้อย (เมื่อเทียบกับลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ ในระดับเดียวกัน)

ตารางที่ 7 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T-9M-D

ธาตุผสม	ร้อยละธาตุผสม
C	0.03
Mn	1.60
Si	0.6
Mo	-
Ni	-
Cr	-
S	0.012
P	0.010

ตารางที่ 8 สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมเกรด E71T-1CH8/T-9M-D

สมบัติเชิงกล	หน่วย	ค่า
ความแข็ง	HV	280
ความแข็งแรงดึง	N/mm <sup>2</sup>	900
ความแข็งแรงคราก	N/mm <sup>2</sup>	750
ความแข็งแรงกระแทก	J/cm <sup>2</sup>	27
การยืดตัว	%	19%

### 3.2 การขึ้นรูปชิ้นงาน

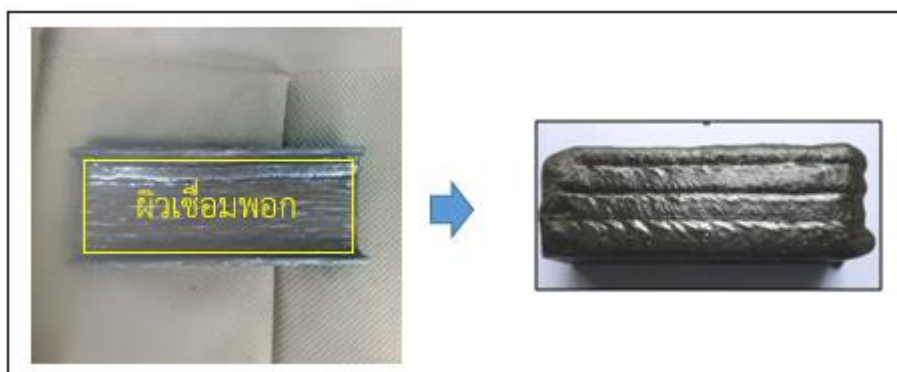
นำเหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 ขึ้นรูปตัว C ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 นิ้ว มาตัดเป็นท่อน ๆ ความยาวท่อนละ 30 เซนติเมตร จากนั้นทำการเชื่อมพอกในร่อง C ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมพอกผิวแบบต่าง ๆ ได้แก่ กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์เกรด E 7016 กรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์เกรด x111-T5-k4 และกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์เกรด E71T/1CH8/T/9M-D ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยใช้ลวดเชื่อมและพารามิเตอร์ในงานเชื่อมตามที่ระบุในตารางที่ 9 รอให้ผิวเชื่อมพอกในรูปที่ 5 เย็นตัว จากนั้นนำมาตัดและไสเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดกว้างคูณยาว 12.5 x 226 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 และนำไปเข้าเครื่องกัดเพื่อปาดผิวหน้าให้เรียบดังแสดงในรูปที่ 7 ก่อนนำไปกลึง CNC ในรูปที่ 8 ให้ได้ชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.18 มิลลิเมตร ยาว 226 มิลลิเมตร ปลายสองข้างตบ่า 45 องศา 1 มิลลิเมตร โดยที่ระยะ 65 มิลลิเมตร วัดจากปลายสองข้างทำบ่าโค้งรัศมี 30 จำนวนชิ้นงานเนื้อเชื่อมชนิดละ 48 ชิ้น รวมทั้งสิ้น 144 ชิ้น ชิ้นงานเหล่านี้จะถูกเตรียมผิวด้วยการขัดกระดาษทรายเบอร์ 80, 120, 180, 360, 600, 800 และ 1,200 ตามลำดับ สุดท้ายทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที ตามมาตรฐาน ASTM G1-03 [10] ให้เป็นชิ้นงานสำเร็จเพื่อใช้ทดสอบ โดยชิ้นงานมีรูปร่างและขนาดดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 4 กรรมวิธีการเชื่อมพอกผิวแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ตัวแปร	หน่วย	ค่าตัวแปร		
		ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	ค่าที่ 3
ลวดเชื่อมพอก	-	x111-T5-K4	E71T-1CH8/T-9M-D	E7016
แก๊สผสม	%	80%Ar 20%CO <sub>2</sub>	80%Ar 20%CO <sub>2</sub>	-
อัตราการไหลของแก๊สผสม	l/min	12	12	-
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม	mm	1.2	1.2	4
กระแสเชื่อม	A	149	140	140
แรงดันเชื่อม	V	21	24.5	24.5
ความเร็วเดินเชื่อม	mm/min	150	150	150
ความร้อนป้อนเข้า	KJ/mm	1.00128	1.0976	1.37



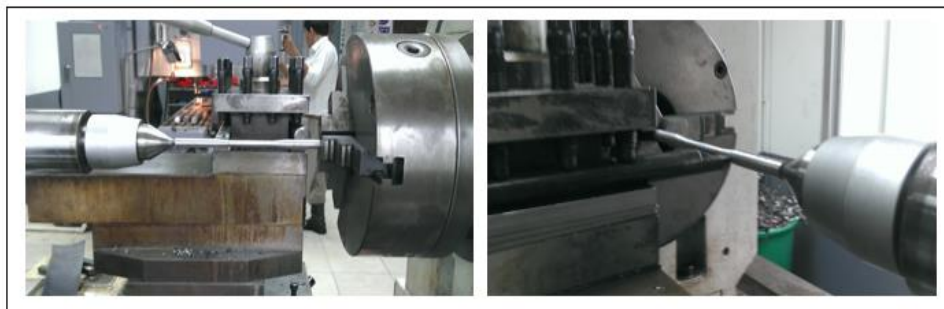
รูปที่ 5 ผิวเชื่อมพอก



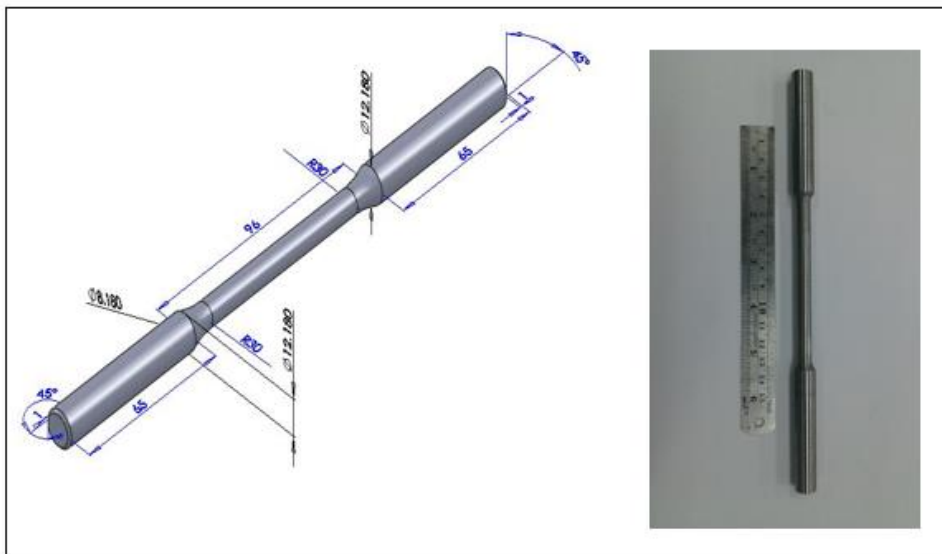
รูปที่ 6 การตัดชิ้นงาน



รูปที่ 7 การกัดชิ้นงาน



รูปที่ 8 การกลึงชิ้นงาน



รูปที่ 9 ชิ้นงานสำเร็จสำหรับใช้ทดสอบ

### 3.3 การทดสอบชิ้นงาน

#### 3.3.1 การทดสอบความแข็งแรงล้าแบบคานหมุนตัด

นำชิ้นงานทดสอบจำนวน 126 ชิ้นงานที่เตรียมผิวแล้วจาก 3 กรรมวิธีการเชื่อมพอกไปทดสอบความแข็งแรงล้าตามมาตรฐาน ASTM E739-91 [11] ซึ่งใช้ชิ้นงานทดสอบ 6 ชิ้นต่อ 1 คำน้้ำหนัก และค่าน้ำหนักทดสอบทั้งหมดมี 7 ค่า ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงล้าแบบคานหมุนของบริษัท Ratnakar enterprise ซึ่งมีความเร็วรอบในการหมุน 4200 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 10 ในการทดสอบความแข็งแรงล้าได้ให้ภาระน้ำหนักแก่คานเพื่อสร้างค่าโมเมนต์ตัดก่อนเกิดความเค้นปกติแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 10 บันทึกผลค่าความเค้นและรอบที่ชิ้นงานขาดเพื่อนำไปสร้างกราฟอายุความแข็งแรงล้า (S-N Curve) ของผิวเชื่อมพอก

ตารางที่ 10 ค่าน้ำหนัก โมเมนต์ตัด และความเค้นปกติที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำหนัก (N)	โมเมนต์ตัด (N.m)	ความเค้นปกติ (MPa)
345.116	1.759	350
413.197	2.106	400
493.051	2.513	500
509.924	2.599	517
591.739	3.016	600
690.232	3.518	700
788.920	4.021	800



รูปที่ 10 เครื่องทดสอบการล้าแบบคานหมุนดัด

### 3.3.2 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยหมอกเกลือ

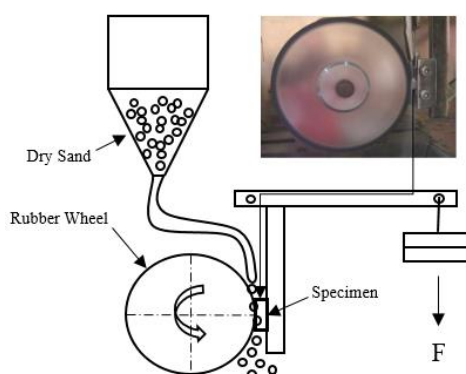
นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมจากผิวเชื่อมพอก X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D จำนวนอย่างละ 3 ชิ้นไปทดสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM B 117 [12] ด้วยเครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบหมอกเกลือ The Singleton Corporation: SCCH21 ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยใช้เงื่อนไขการทดสอบคือ ความเข้มข้นสารละลายเกลือ  $5 \pm 0.5\%$  (w/w) ความเป็นกรดต่าง 6.5-7.2 อุณหภูมิ chamber 34-36 °C อุณหภูมิ Tower 46-49 °C ความดันอากาศ 12-18 psi ปริมาณหมอกเกลือ 1.0-2.0 ml/hr./80 cm<sup>2</sup> ระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก 4 ช่วงเวลาคือ ก่อนทดสอบ ชั่วโมงที่ 4 ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ตามลำดับ จดบันทึก%การเกิดสนิมแดงจากการตรวจพินิจด้วยตาเปล่าในชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ของการทดสอบ ระบุน้ำหนักสูญเสียบนข้อมูลประกอบ จากนั้นขัดผิวสนิมล้างและชั่งน้ำหนักใหม่ ประเมินการความลึกของชั้นสนิมและหาอัตราการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [13]



รูปที่ 11 เครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบหมอกเกลือ

### 3.3.3 การทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมจากผิวเชื่อมพอก X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D จำนวนอย่างละ 3 ชิ้นมาตัดให้ได้ขนาด 25×75×40 มิลลิเมตร นำไปทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G65 – 94 [14] โดยใช้ทรายแห้งและล้อยางเป็นตัวสัมผัสกับชิ้นงานที่ทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 12 ทำการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสีบริเวณเนื้อเชื่อม เขตอิทธิพลทางความร้อน และบริเวณเนื้อโลหะงาน ตำแหน่งศึกษาแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 12 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี



รูปที่ 13 ตำแหน่งศึกษา

### 3.3.4 การตรวจโครงสร้างจุลภาค

ตัดชิ้นงานจากผิวเชื่อมพอกที่เตรียมไว้สำหรับการศึกษาโครงสร้างจุลภาคหนาประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากนั้นหล่อด้วยเรซิน โดยใช้อัตราส่วนผสมของเรซินและตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 5:1 ร่อนจนกระทั่งเรซินแห้ง ขัดชิ้นทดสอบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80, 120, 180, 360, 600, 800 และ 1200 ตามลำดับ นำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที ขัดชิ้นทดสอบด้วยผ้าสักหลาดที่มีผงอลูมินา ขนาดอนุภาค 5

และ 1 ไมครอน ตามลำดับ แล้วนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้ง นำชิ้นทดสอบมากัดผิวหน้าด้วยสารละลาย ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังนี้ กรดไนตริก 5 มิลลิลิตร และน้ำ 190 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 10 วินาที ล้างด้วยน้ำ และทำให้แห้ง ทำการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบบริเวณต่าง ๆ ที่สำคัญด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

### 3.3.5 การเชื่อมพอกเพลลาไบจักรชิ้นงานจริง

นำเพลลาไบจักรที่สึกหรอขึ้นเครื่องตัดเทียบศูนย์เพลลา ด้วยการย้ายศูนย์ปลายเพลลาทั้ง 2 ข้าง โดยใช้ ขอช่างเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบเบื้องต้น พร้อมทั้งทำการหมายตำแหน่ง (mark) โดยใช้ชอล์กหรือปากกาเมจิกกำหนดบริเวณระยะเพลลาที่ชำรุด จากนั้นนำเพลลาขึ้นแท่นกลึง ทำการยึดจับเพลลาและตั้งศูนย์ระหว่างหัวจับงาน ส่วนอีกด้านหนึ่งใช้แท่นย้ายศูนย์ท้ายเครื่องให้อยู่ในระดับเดียวกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสละบัด ในระหว่างการกลึงเตรียมผิวงานให้นำกันสะท้านนิ่งเป็นตัวประคองเพลลาด้วยการหมายตำแหน่งจุดที่ทำการเชื่อมพอกโดยการขีดเส้นให้เลยระยะที่สึกหรอ ประมาณ 5 มิลลิเมตร กลึงปอกให้เล็กกว่าเพลลาเดิมประมาณ 4 มิลลิเมตร กลึงเกลียวละเอียดบนเพลลาที่ลดขนาด เพื่อให้เนื้อโลหะที่จะนำมาพอกผิวรวมตัวได้ดี นำกระดาษหรือผ้าสะอาดมาห่อหุ้มผิวงานที่เตรียมไว้ เพื่อให้สะอาดง่ายต่อการเชื่อมพอก จากนั้นนำเพลลาไบจักรขึ้นเครื่องตัดเทียบศูนย์อีกครั้งเพื่อทำการพอกผิวดังแสดงในรูปที่ 15





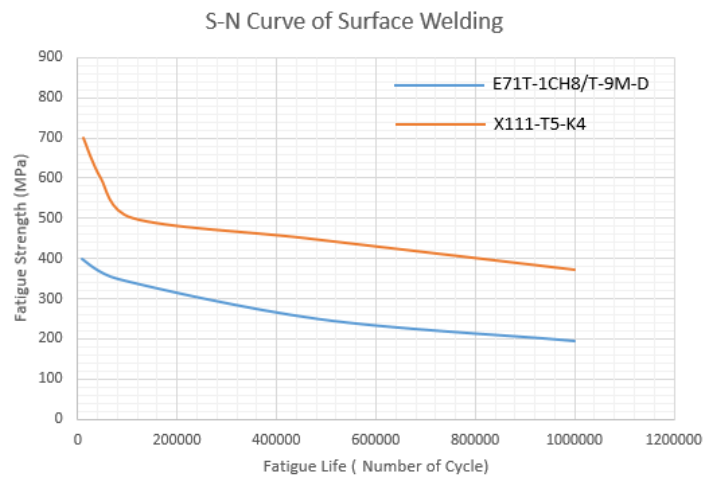
รูปที่ 15 การเชื่อมพอกผิวเพลลาใบจักรชิ้นงานจริง

เดินเครื่องเชื่อมโดยให้หัวเชื่อมอยู่ห่างผิวชิ้นงานประมาณ 1 นิ้ว เริ่มจากซ้ายหรือขวาก็ได้ตามถนัด เคลื่อนหัวเชื่อมด้วยความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อนาที ขณะเชื่อมสเปรย์ให้สังเกตความเรียบร้อย ถ้าผิวไม่เรียบอันเกิดจากการเผาไหม้ไม่หมดทำให้ผิวงานขรุขระสเปรย์แล้วไม่ติดผิวชิ้นงาน จำเป็นต้องหยุดเครื่องเชื่อม ก่อนใช้ค้อนและสกัด สกัดส่วนที่ไม่ละลายออกจากผิวงาน เสร็จแล้ว จึงเริ่มเดินเครื่องเชื่อมต่อไป ในการเชื่อมพอกเพลลานั้น หลักปฏิบัติคือต้องเชื่อมพอกผิวงานให้โตกว่า ขนาดชิ้นงาน 4 mm เมื่อพอกได้ขนาด ทำการตรวจผิวและวัดขนาดด้วยเครื่องมือวัดนอก ให้นำ แท่งฟลักซ์หรือเทียนมาทาบริเวณที่พอกผิวให้ทั่วเพื่อช่วยระบายความร้อนและทำหน้าที่ประสาน ให้ผิวเชื่อมพอกยึดติดผิวชิ้นงานมากขึ้น ไล่ความร้อน รอให้เพลลาเย็นตัวและนำมาขึ้นเครื่องกลึง และกลึงพอกผิวเชื่อมพอกให้เหลือขนาดเท่าชิ้นงานปกติ ชัดด้วยผ้าทรายชนิดละเอียดผสม น้ำมันหล่อลื่นเพื่อตกแต่งให้ผิวเพลลาเรียบและมีความมันเงาได้ขนาดสม่ำเสมอทั้งเส้น [15] จากนั้นนำไปใช้งาน ตรวจสอบติดตามผล

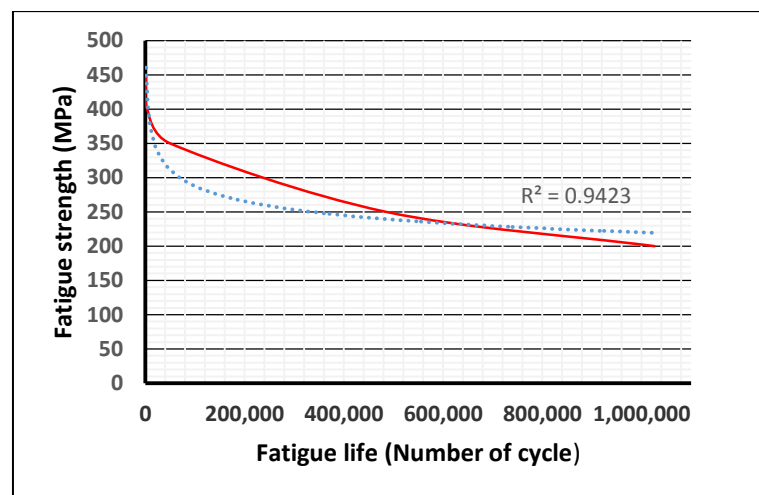
#### 4. ผลการวิจัย

##### 4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงล้าด้วยคานหมุนดัด

ผลการทดสอบความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกเพลลาใบจักรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ผิวเชื่อมพอกเพลลาใบจักรเกรด x111-T5-K4 เกรด E71T-1CH8/T/9M-D และเกรด E7016 แสดงใน กราฟรูปที่ 16 และ 17



รูปที่ 16 ความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D



รูปที่ 17 ความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกหุ้มฟลักซ์เกรด E7016

จากสมการทำนายอายุการล้า  $N_R = 10^{\frac{1}{B}(\log \sigma - \log A)}$

(1)  $\sigma_R$  คือ ค่าความเค้นวัฏจักร หน่วย เมกะปาสคาล  $N_R$  คือ อายุการล้า หน่วย รอบวัฏจักร A, B เป็นค่าที่ได้จากจุดตัดกราฟผลการทดลอง ดังนั้นจากกราฟรูปที่ 16-17 จะได้สมการทำนายอายุการล้าของผิวเชื่อมพอกแต่ละชนิดดังนี้

(2) ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4  $N_R = 10^{-\frac{1}{0.132}(\log \sigma_R - \log 2211862)}$

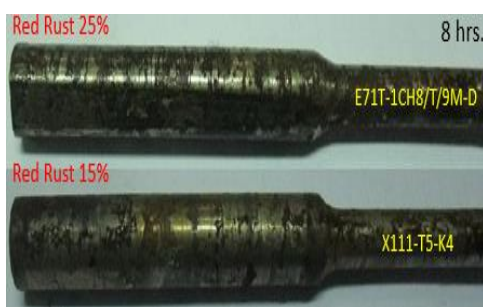
(3) ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D  $N_R = 10^{-\frac{1}{0.138}(\log \sigma_R - \log 14648)}$

(4) ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E7016  $N_R = 10^{-\frac{1}{0.125}(\log \sigma_R - \log 2174384)}$

## 4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนด้วยหมอกเกลือ

### 4.2.1 ผลการทดสอบอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ

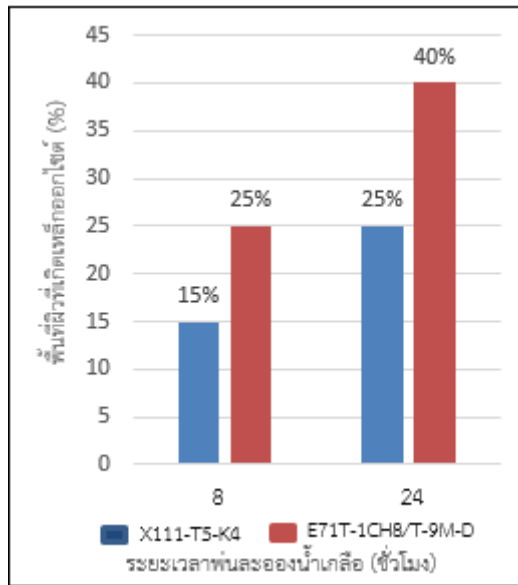
การกัดกร่อนสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า (Uniform Corrosion) ที่เวลา 8 ชั่วโมง ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D และผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 มีร้อยละค่าเฉลี่ยการเกิดสนิมแดง 25% และ 15% ตามลำดับ และที่เวลา 24 ชั่วโมง ชิ้นงานมีร้อยละค่าเฉลี่ยการเกิดสนิมแดง 40% และ 25% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 18,19 เมื่อใช้ข้อมูลกราฟแท่งในรูปที่ 20 พิจารณาประกอบสามารถหาอัตราการกัดกร่อนของพื้นที่ผิวเทียบกับเวลาได้ ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ให้อัตราการกัดกร่อน 0.21 ตารางมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ให้อัตราการกัดกร่อน 0.32 ตารางมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำหนักสูญเสียดต่อหน่วยเวลาแสดงในรูปที่ 20 ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ชั้นสนิมลึกลึกไม่เกินกว่า 4.8 มิลลิเมตร ปริมาตรสนิม 16.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประเมินจากน้ำหนักสูญเสียด 32 กรัม ผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ชั้นสนิมลึกลึกไม่เกินกว่า 5.85 มิลลิเมตร ปริมาตรสนิม 24.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประเมินจากน้ำหนักสูญเสียด 48 กรัม [16]



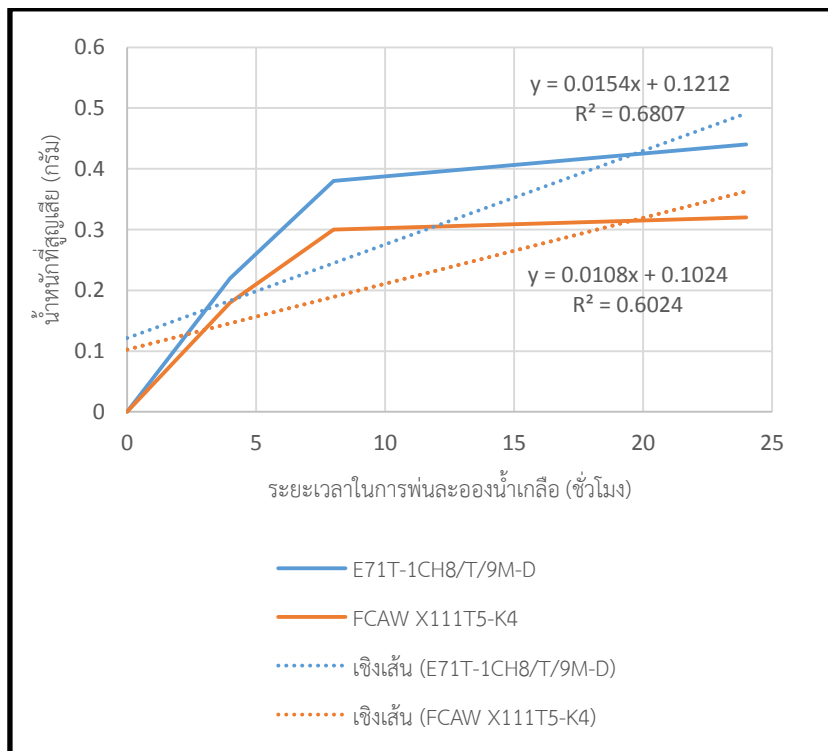
รูปที่ 18 ร้อยละการเกิดเหล็กออกไซด์ที่เวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 19 ร้อยละการเกิดเหล็กออกไซด์ที่เวลา 24 ชั่วโมง

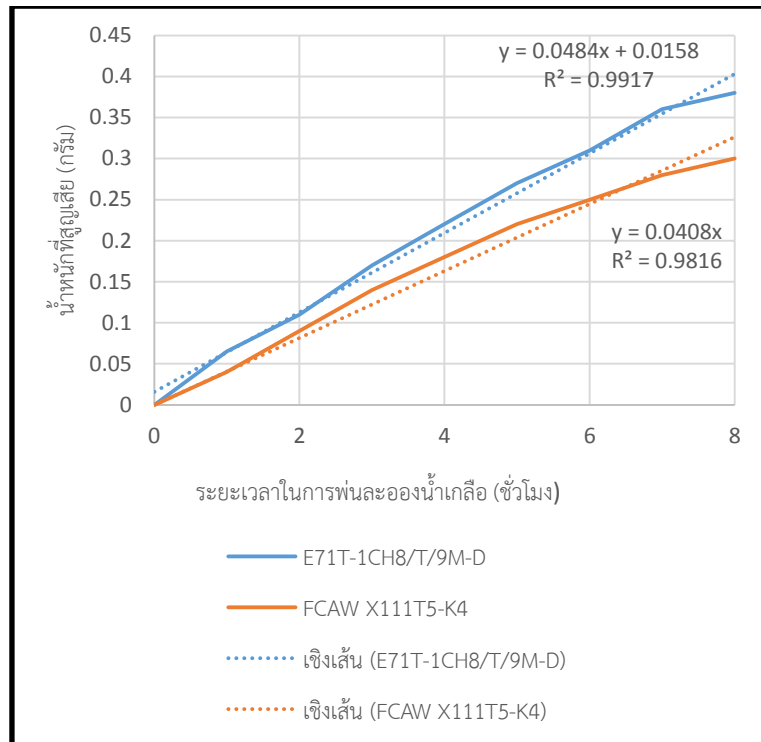


รูปที่ 20 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวที่สูญเสียกับ เวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม

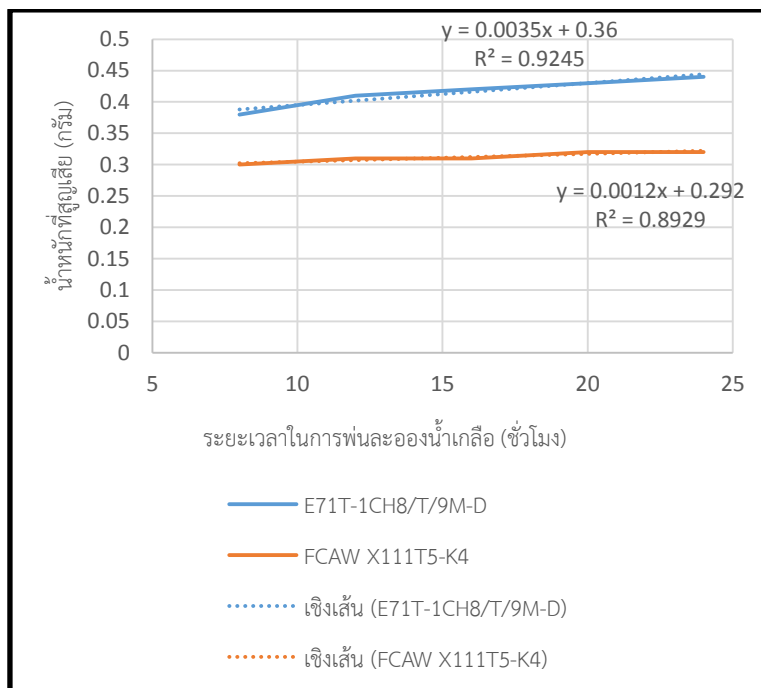


รูปที่ 21 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียกับ เวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม

กราฟรูปที่ 21 ให้ค่าความเชื่อมั่นต่ำเนื่องจากช่วงในการวิเคราะห์กว้าง ความแปรปรวนมีสูง ดังนั้นจึงแยกกราฟเป็นสองช่วงดังแสดงในรูปที่ 22 และ 23 เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์



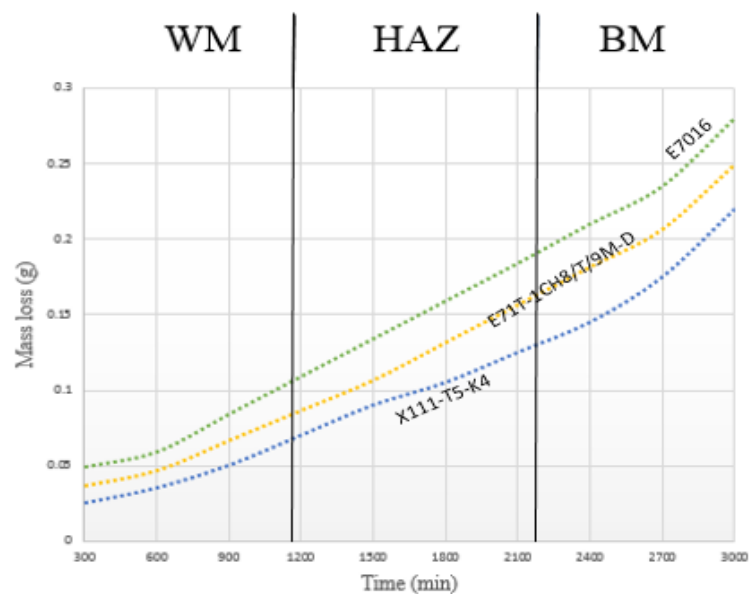
รูปที่ 22 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียกับ เวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม ช่วงที่ 1



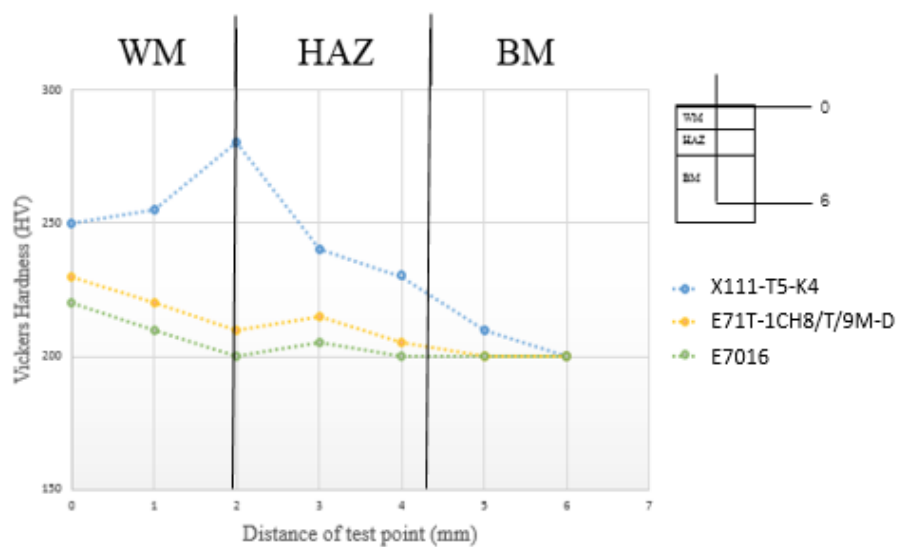
รูปที่ 23 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียกับ เวลาที่ใช้ และชนิดของลวดเชื่อม ช่วงที่ 2

### 4.3 ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี

ผลการทดสอบการสึกหรอแบบขัดสี พบว่าทั้ง 3 กรรมวิธีการเชื่อมบริเวณเนื้อเชื่อมจะสูญเสียมวลน้อยที่สุด ส่วนบริเวณที่ได้รับอิทธิพลทางความร้อนและบริเวณเนื้อโลหะงานจะมีการสูญเสียมวลที่มากกว่าในปริมาณใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบการสึกหรอของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์กับผิวเชื่อมพอกหุ้มฟลักซ์จะเห็นได้ว่า บริเวณเนื้อเชื่อมด้วยลวดเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์มีความทนทานต่อการสึกหรอแบบขัดสีดีกว่าเนื้อเชื่อมด้วยลวดเชื่อมพอกหุ้มฟลักซ์ดังแสดงในกราฟรูปที่ 24 ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดสอบความแข็งที่ให้ผลในทิศทางเดียวกันดังแสดงในกราฟรูปที่ 25



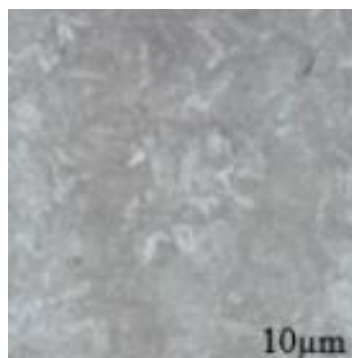
รูปที่ 24 เปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของผิวเชื่อมพอก 3 ชนิด



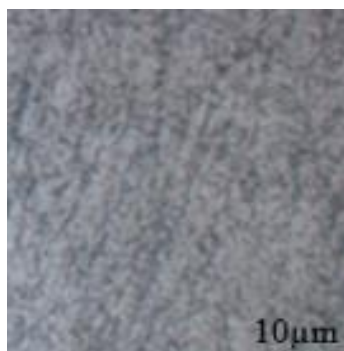
รูปที่ 25 เปรียบเทียบค่าความแข็งแต่ละบริเวณของผิวเชื่อมพอก 3 ชนิด

#### 4.4 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาค

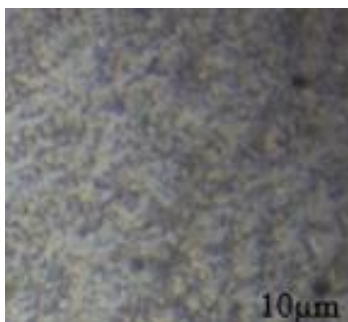
การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 บริเวณเส้นหลอมละลายของลวดเชื่อม บริเวณกระทันของลวดเชื่อม และบริเวณเนื้อเชื่อม แสดงในรูปที่ 26-28 โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมประกอบด้วยโครงสร้าง Acicular ferrite (AF) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบโครงสร้าง Polygonal ferrite (PF) และโครงสร้าง Widmanstätten (WF) ซึ่งข้อมูลนี้ Magudeeswaran ได้อธิบายไว้ว่าความร้อนในการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวจะมีผลกระทบต่อสัณฐานวิทยา (morphology) ได้แก่ ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของเฟอร์ไรต์ และเฟอร์ไรต์จะมีขนาดเกรนละเอียดเมื่อพลังงานในการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวลดลง ปริมาณของ Acicular ferrite (AF) สามารถบ่งชี้ความสามารถต้านทานต่อการล้าของผิวเชื่อมพอก เนื่องจากโครงสร้างเฟอร์ไรต์รูปเข็มจัดเรียงอัดกันทำให้มีความแข็งแรงสูง [17] รูปที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณชนิดโครงสร้างจุลภาคของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 กับ E71T-1CH8/T/9M-D



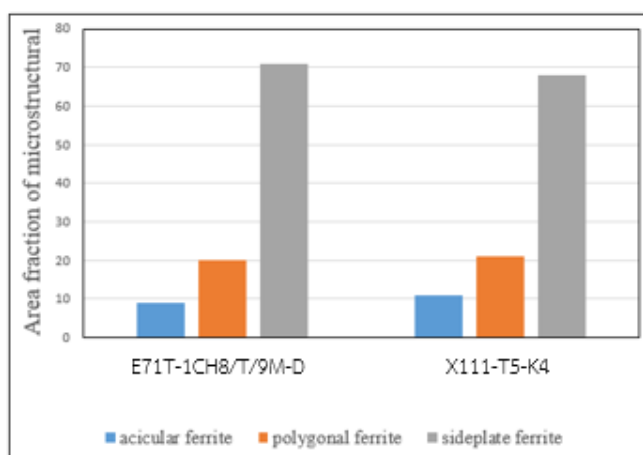
รูปที่ 26 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเส้นหลอมละลายของลวดเชื่อม X111-T5-K4



รูปที่ 27 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทันของลวดเชื่อม X111-T5-K4



รูปที่ 28 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ X111-T5-K4



รูปที่ 29 ปริมาณชนิดโครงสร้างของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D

#### 4.5 ผลการเชื่อมพอกเพลลาใบจักรชิ้นงานจริง

เพลลาใบจักรของเรือประมงทะเลพื้นบ้าน “กอและท้ายตัด” ของชาวประมงชุมชน แก้วเส้ง บริเวณริมชายฝั่งทะเลสาบสงขลาที่ชำรุดจำนวน 3 ชุด จากทั้งสิ้น 65 ชุด ถูกนำมาเชื่อมซ่อมพอกผิวด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-K4H4 แล้วคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรอบปี พบว่าต้นทุนในการซ่อมบำรุงด้วยลวดเชื่อมพอกทั้งสองชนิดแตกต่างกันถึง 68,250 บาท โดยอ้างอิงประมาณการณ์การชำรุดของเรือกอและท้ายตัดทั้ง 65 ลำ ในช่วง สิงหาคม 2557 ถึง สิงหาคม 2558 ทั้งนี้การเลือกใช้ลวดเชื่อมพอกที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาใบจักรเรือกอและท้ายตัด คณะผู้วิจัยพิจารณาจากอายุการใช้งานของเพลลาใบจักรภายหลังผ่านการเชื่อมซ่อมควบคู่กับราคาต้นทุนในการเชื่อมซ่อม ตามข้อมูลปฐมภูมิ ประวัติการซ่อมบำรุงเรือกอและท้ายตัดในตารางที่ 11



ตารางที่ 11 ประวัติการซ่อมบำรุงเรือกอล์ฟและท้ายตัด

พื้นที่เก็บข้อมูลปฐมภูมิ	หาตเก้าเส้ง สงขลา
ช่วงเวลาของข้อมูล	ปี 2557-2558
จำนวนเรือที่ใช้การในรอบปี	65 ลำ
เพลารั่วในระดับริบายแรง	มากที่สุด 2 ครั้ง/ลำ/ปี
ปริมาณเฉลี่ยของลวดเชื่อมพอกสำหรับการซ่อมบำรุงเพลารื้อ	15 กิโลกรัม/ครั้ง
ราคาลวดเชื่อม X111-T5-K4	210บาท/กิโลกรัม
ราคาลวดเชื่อม E110T5-K4H4	245บาท/กิโลกรัม
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม X111-T5-K4 /ครั้ง/ลำ	3,150 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม E110T5-K4H4 /ครั้ง/ลำ	3,675 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม X111-T5-K4 /ลำ/ปี	6,300 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม E110T5-K4H4 /ลำ/ปี	7,350 บาท
ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการซื้อลวดเชื่อมซ่อม X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4 /65ลำ/ปี	68,250 บาท
ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการซื้อลวดเชื่อมซ่อม X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4 /65ลำ/5ปี	341,250 บาท

การเชื่อมซ่อมพอกผิวเพล่าใบจักรด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 มีราคา  
ที่ 210 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนการเชื่อมซ่อมพอกผิวเพล่าใบจักรด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E110T5-  
K4H4 มีราคา 245 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนของลวดเชื่อมทั้งสองแตกต่างกันถึง 35 บาทต่อกิโลกรัม  
จากสถิติการซ่อมบำรุงเฉลี่ยปีละ 2 ครั้งต่อหนึ่งลำเรือ การเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์  
เกรด X111-T5-K4 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเพล่าใบจักรโดยรวมลดลง 68,250 บาทต่อปี  
คิดเป็น 16.67 % ของต้นทุนซ่อมบำรุงเพล่าใบจักรทั้งหมดในรอบปี ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลประกอบ  
ก่อนจะดึงข้อมูลหลักคือลวดเชื่อมเกรด E71T-1CH8/T/9M-D มาพิจารณาร่วม ซึ่งปรากฏอายุการล้า  
ของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D ดังแสดงในกราฟรูปที่ 14-15  
ค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นกับเพล่าใบจักรของเรือกอล์ฟและท้ายตัดซึ่งรับกำลังขับจากเครื่องยนต์ดีเซล  
ยี่ห้อฮันมาร์ 1สูบนอน ขนาด 11 แรงม้า ในสภาวะการทำงานที่ยังผลความเค้นแอมพลิฟิเคชันขนาด 517  
เมกะปาสคาล พบว่ากรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ให้อายุการล้าที่  
97,896 รอบวัฏจักร และกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D  
ให้อายุการล้าต่ำกว่าพันรอบวัฏจักร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ

ความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกเพล่าใบจักรเกรด X111-T5-K4 มีค่า 371  
MPa

ความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกเพล่าใบจักรเกรด E71T-1CH8/T/9M-D  
มีค่า 195 MPa

อายุการล้าของผิวเชื่อมเกรด X111-T5-K4 ที่ค่าความเค้น 517 MPa ตาม  
ทฤษฎีคือ 97,896 รอบวัฏจักร

อายุการล้าของผิวเชื่อมเกรด E71T-1CH8/T/9M-D ที่ค่าความเค้น 517  
MPa ตามทฤษฎีมีค่าต่ำกว่าพันธรอบวัฏจักร

อายุการล้าของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ที่ได้จากการตรวจ  
ติดตามผลมีค่ามากกว่า 2 ปี

อายุการล้าของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ที่ได้จาก  
ตรวจติดตามผลมีค่ามากกว่า 6 เดือน

และเมื่อเปรียบเทียบกับลวดเชื่อม E7016 ในตารางที่ 12 ซึ่งเป็นวิธีการ  
ซ่อมแบบดั้งเดิมจะทำให้สามารถวิเคราะห์ประมาณการณเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์  
วิศวกรรมได้ดียิ่งขึ้น

**ตารางที่ 12** ประมาณการณ์การซ่อมบำรุงเรือกอลและท้ายตัด

พื้นที่เก็บข้อมูลปฐมภูมิ	ชายฝั่งทะเลภาคใต้
ช่วงเวลาของข้อมูล	ปี 2558-2559
จำนวนเรือที่ใช้เก็บข้อมูลในรอบปี	6 ลำ
เพลาใบจักรชำรุดในระดับร้ายแรง	มากที่สุด 2 ครั้ง/ลำ/ปี
ปริมาณเฉลี่ยของลวดเชื่อมพอกสำหรับการซ่อมบำรุง เพลาเรือ	15 กิโลกรัม/ครั้ง
ราคาลวดเชื่อม X111-T5-K4	210บาท/กิโลกรัม
ราคาลวดเชื่อม E7016	70บาท/กิโลกรัม
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม X111-T5-K4 /ครั้ง/ลำ	3,150 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม E71016/ครั้ง/ลำ	1,050 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม X111-T5-K4 /ลำ/6ปี	75,600 บาท
ค่าใช้จ่ายในการซื้อลวดเชื่อม E7016/ลำ/6ปี	75,600 บาท
ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการซื้อลวดเชื่อมซ่อม X111-T5-K4 และ E7016/6ลำ/6ปี	ไม่แตกต่าง
ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการดำเนินการ/ลำ/6ปี	1,500 บาท
ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการดำเนินการ/6ลำ/6ปี	9,000 บาท
ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการดำเนินการ/65ลำ/6ปี (ค่าใช้จ่ายดำเนินการเพิ่มขึ้น 195เท่า ค่าบริการครั้งละ 500)	97,500 บาท

ผลการตรวจติดตามผลการเกิดสนิมบริเวณรอยเชื่อมของเพลลา ตรวจวัดและประเมินผล ใช้สมการ (5) คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกดั่งได้ผลลัพธ์แสดงในสมการ (6) และ (7)

$$(5) \text{ อัตราการกัดกร่อน (มิลลิเมตรต่อปี) } = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$K = \text{ค่าคงที่ } (8.76 \times 10^4)$$

$$T = \text{เวลา (ชั่วโมง)}$$

$$A = \text{พื้นที่ (ตารางเซนติเมตร)}$$

$$W = \text{น้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)}$$

$$D = \text{ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)}$$

$$\text{ความหนาแน่นของ X111-T5-K4 คือ } 7.83 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{ความหนาแน่นของ E71T-1CH8/T/9M-D คือ } 7.71 \text{ g/cm}^3$$

อัตราการกัดกร่อนของ X111-T5-K4

$$\frac{K \times W}{A \times T \times D} = \left[ \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.07 \text{ g}}{1.6 \text{ cm}^2 \times 120 \text{ hr} \times 7.83 \text{ g/cm}^3} \right]$$

$$= 4.078 \text{ mm / y}$$

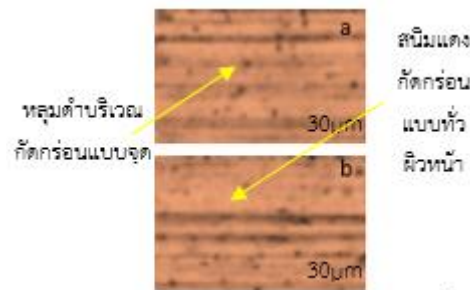
(6) อัตราการกัดกร่อนของ E71T-1CH8/T/9M-D

$$\frac{K \times W}{A \times T \times D} = \left[ \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.09 \text{ g}}{1.6 \text{ cm}^2 \times 120 \text{ hr} \times 7.71 \text{ g/cm}^3} \right]$$

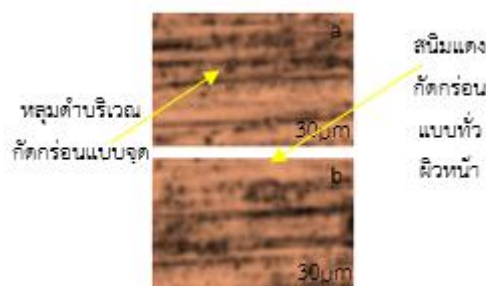
$$= 5.326 \text{ mm / y}$$

(7) ความเข้ากันได้ของผิวเชื่อมพอกเพลลาไบจักรกับวัสดุเพลลาไบจักร เหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ผู้วิจัยทำการศึกษาควบคุมมาโดยตลอด ทั้งโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างชั้นผิว X111-T5-K4 ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ที่ชั้นฟิล์มถูกขัดออกไปแสดงในรูปที่ 30 โครงสร้างชั้นผิว E71T-1CH8/T/9M-D ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ที่ชั้นฟิล์มถูกขัดออกไปแสดงในรูปที่ 31 การกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอก E71T-1CH8/T/9M-D เห็นขอบเกรนบางบริเวณ แต่บริเวณที่เห็นปรากฏเด่นชัด เป็นการกัดกร่อนสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้า เกิดเหล็กออกไซด์เห็นเป็นสนิมแดง และพบการกัดกร่อนแบบจุดปริมาณมาก แต่การกัดกร่อนของ X111-T5-K4 เห็นขอบเกรนไม่ชัดเจน เนื่องจากเกรด X111-T5-K4 มีส่วนผสมของโครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัมที่มากกว่าจึงมีผลต่อความแข็งของโครงสร้างและมีผลต่ออัตราการลดลงของการกัดกร่อนทั้งแบบสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าและแบบจุด สมบัติเชิงกลของผิวเชื่อมพอก

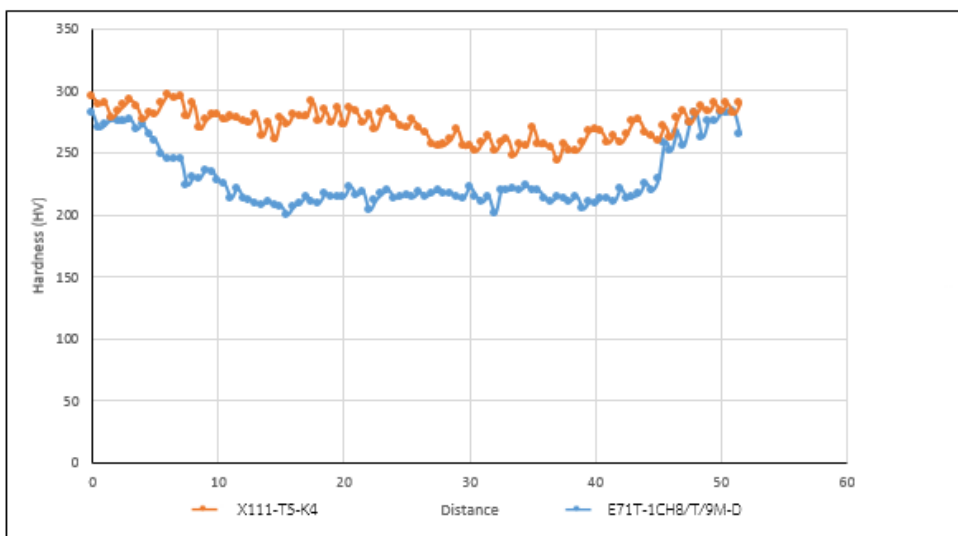
เป็นข้อมูลสนับสนุนการเลือกใช้ผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมเกรด X111-T5-K4 ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากความแข็งและความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกใกล้เคียงเนื้อโลหะเดิม ผลจากความร้อนในกระบวนการเชื่อมทำให้บริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน มีค่าความแข็งที่เปลี่ยนไปจากเนื้อโลหะเดิม การทดสอบความแข็งที่เริ่มทดสอบจากเนื้อโลหะเดิมบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อนและบริเวณเนื้อเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกโดยการถ่ายโอนน้ำโลหะแบบสเปรย์ ที่ระยะ 0-5 mm และ 50-55 mm เป็นบริเวณโลหะฐาน ไม่ได้รับผลกระทบทางความร้อนค่าความแข็งจึงเท่าเนื้อวัสดุเพลาเดิม ที่ระยะ 5-20 mm และ 35-50 mm เป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (Heat affected zone, HAZ) ส่วนบริเวณเนื้อเชื่อมที่ระยะ 20-35 เป็นบริเวณผิวสเปรย์ มีการผันแปรของค่าความแข็ง ดังแสดงในกราฟรูปที่ 32



รูปที่ 30 โครงสร้างผิว X111-T5-K4 หลังขัดชั้นฟิล์มที่เวลา a) 8 ชั่วโมง b) 24 ชั่วโมง



รูปที่ 31 โครงสร้างผิว E71T-1CH8/T/9M-D หลังขัดชั้นฟิล์มที่เวลา a) 8 ชั่วโมง b) 24 ชั่วโมง



รูปที่ 32 เปรียบเทียบค่าความแข็งของผิวเชื่อมพอก x111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D แต่ละตำแหน่ง

## 5.สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. อายุการล้าของผิวเชื่อมพอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกให้ค่าสูงกว่ากรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้า และลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ให้อายุการล้ายาวนานกว่าลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และเมื่อเปรียบเทียบผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมไส้ ฟลักซ์จากกรรมวิธีการเชื่อมแมกเช่นเดียวกัน แต่เกรดลวดส่วนผสมทางเคมีต่างกันพบว่า มีผลต่ออายุการล้า โดยผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 ให้อายุการล้ายาวนานกว่าผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D อายุการล้าจะขึ้นกับภาวะความเค้นล้าในการใช้งาน ซึ่งจากการตรวจติดตามผล เฉลี่ยอยู่ที่ 2 ปี ซึ่งให้ค่าสูงกว่าเดิมประมาณ 4 เท่า

2. อัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 มีค่าต่ำกว่าเกรด E71T-1CH8/T/9M-D ทั้งค่าทางทฤษฎีและค่าจากการตรวจวัดติดตามผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกันและเห็นแนวโน้มเด่นชัด โดยอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 อยู่ที่ 4.078 มิลลิเมตรต่อปี และ E71T-1CH8/T/9M-D อยู่ที่ 5.326 มิลลิเมตรต่อปี

3. อัตราการสึกหรอของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 มีค่าต่ำกว่าเกรด E71T-1CH8/T/9M-D ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการตรวจทดสอบค่าความแข็ง ผิวเชื่อมพอกที่มีค่าความแข็งต่ำกว่าจะมีอัตราการสึกหรอจากการขัดสีสูงกว่า

4. โครงสร้างจุลภาคของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 และ เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ประกอบด้วยชนิดโครงสร้างจุลภาคเดียวกัน คือ โครงสร้างเฟอร์ไรท์รูปเข็ม โครงสร้างเฟอร์ไรท์ผลึกหกเหลี่ยม และโครงสร้างเฟอร์ไรท์แบบเกล็ดแบบแผ่น แต่ปริมาณสัดส่วนโครงสร้างแตกต่างกัน ส่งผลให้ความแข็งแรงแตกต่างกัน โครงสร้างที่มีปริมาณเฟอร์ไรท์รูปเข็มมากกว่าจะมีความแข็งแรงสูงกว่า ดังนั้นผิวเชื่อมพอกเกรด x111-T5-K4 จึงแข็งแรงกว่า เกรด E71T-1CH8/T/9M-D

5. ความคุ้มค่ากับราคาเมื่อถูกนำมาพิจารณาที่รอบระยะเวลา 5 ปี พบว่า ผิวเชื่อมพอกเกรด x111-T5-K4 ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมดีกว่าผิวเชื่อมพอกเกรด E71T-1CH8/T/9M-D

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การเคลือบผิวเชื่อมพอกเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถยืดอายุการใช้งานของเพลลาไบจักร อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เห็นควรให้ใช้กับเรือประมงขนาดใหญ่ซึ่งเพลลาไบจักรมีราคาสูง ส่วนเรือประมงขนาดเล็กใช้การเชื่อมพอกอย่างเดียวโดยไม่เคลือบผิว อายุการใช้งานมีความเป็นไปได้เหมาะสมสอดคล้องกับราคา

## บรรณานุกรม

- [1] Sitthipong, S. Towatana, P. Sitticharoenchai, A. Bibithkosolvongse, P. and Muangjunburee, P. 2016. Fatigue Life Estimates of Surface Welding x111-T5-K4 and E71T-1CH8/T/9M-D Flux Cored Wire. *Journal of Engineering and Applied Science* 11(7):1623-1627.
- [2] Chainarong, S. Sitthipong, S. Meengam, C. Muangjunburee, P. and Tehyo, M. 2016. A Comparative study: Life Extension of Weld Surfacing of AISI 4340 High Tensile Strength Low Alloy Steel. *Journal of Engineering and Applied Science* 11(7):1644-1649.
- [3] Sitthipong, S. Meengam, C. and Muangjunburee, P. 2011. Comparison of Method for Welding Repairs to Prolong the Life Span of the Swing Shafts. *Thai Welding Journal* 54(18): 11-17.
- [4] Magudeesawaran, G. Balasubramanian, V. and Madhusudhan, Reddy G. 2008. Effect of Welding Processes and Consumables on High Cycle Fatigue Life of High Strength Quenched and Tempered Steel Joints. *Materials and Design* 29(9): 1821-1827.
- [5] Sitthipong, S. Towatana, P. and Sitticharoenchai, A. 2017. Investigation of Microstructure and Hardness Properties of Hardfacing Surface on SCM 440 Alloy Steel by Using Metal Active Gas and Flux Cored Arc Welding Processes. *Key Engineering Materials* 728:31-35.
- [6] Totarat, N. and Sujaritkul, T. 2003. Influence of Preheat and Post Heat at Heat Affected Zone to Fatigue Crack Propagation of AISI 4340 Steel. *ME-NET* 17. Prajeenburee.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [7] Muengjunburee, P. 2007. Improvement of Metallurgical and Mechanical Properties of Welding Surfacing on High Strength Steel AISI 4340 by Post-weld heat treatment. The First South-East Asia IIW Congress: 273-277.
- [8] Chainarong, S. Sitthipong, S. and Meengam, C. 2016. Influence of Stress to Mechanical Failure of Long Tail Shafts in the Power Transmission System of Local Fishing Boats. SNRU Journal of Science and Technology 8(1):127-132.
- [9] Sitthipong, S. Towatana, P. Sitticharoenchai, A. and Muangjunburee, P. 2016. A Comparative Study of Fatigue Life of Surface Welding X111-T5-K4 and E110-T5-K4H4 Flux Cored Wire. RMUTP Research Journal 10(2):11-21.
- [10] International. 2003. G1-03 Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens Conshohocken, PA. USA, ASTM International.
- [11] CRA Schneider and SJ Maddox. 2003. Best Practice Guide on Statistical Analysis of Fatigue Data. International Institute of Welding. TWI. Granta Park. Great Abington. Cambridge, UK.
- [12] ASTM International. 2009. B117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, PA. USA, ASTM International
- [13] ASTM International. 2003. G1-90 Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens Conshohocken, PA. USA, ASTM International.
- [14] Sitthipong, S. Towatana, P. Sitticharoenchai, A. and Meengam, C. 2017. Abrasive Wear Behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel. Materials Today: Proceedings 4(2), xx-xx.
- [15] Sitthipong, S. Towatana, P. and Sitticharoenchai, A. 2016. Propeller Shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process. MSU Journal of Science and Technology 12:23-28.
- [16] Sitthipong, S. Towatana, P. Sitticharoenchai, A. 2017. Corrosion Rate Assessment Between X111-T5- K4 and E71T-1CH8/T/9M-D Flux Cored Wire. RMUTP Research Journal 11(1):xx-xx.
- [17] Sitthipong, S. Towatana, P. Sitticharoenchai, A. and Meengam, C. 2016. Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding. Materials Science Forum 872:62-66.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
บทความการประชุมวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 12”

# การพอกผิวแข็งเพลลาใบจักรด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ

## Propeller Shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process

ศิวะ สิทธิพงษ์,<sup>1</sup> ประวิทย์ โทวัฒน์,<sup>2</sup> อำนวย สิทธิเจริญชัย,<sup>3</sup> ประภาศ เมืองจันทร์บุรี<sup>4</sup>

Siva Sitthipong,<sup>1</sup> Prawit Towatana,<sup>2</sup> Amnuay Sitticharoenchai,<sup>3</sup> Prapas Muangjunburee<sup>4</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการพอกผิวแข็งเพลลาใบจักรด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งเพลลาใบจักรที่ทำการศึกษานี้ผลิตจากเหล็กกล้าผสมทนแรงดึงสูงเกรด AISI 4140 ในการเชื่อมพอกเพลลาโลหะแบบ กึ่งอัตโนมัตินี้จะเชื่อมพอกในโหมดสเปรย์และทำการทดสอบเพื่อหาค่าความแข็งของผิวเชื่อมพอกตามมาตรฐาน ASTM E384-89 ผลการศึกษาพบว่าค่าความแข็งเฉลี่ยโดยรวมของผิวเชื่อมพอกอยู่ที่ 275 วิกเกอร์ โดยบริเวณที่ได้รับ ผลกระทบจากความร้อนมีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 300 วิกเกอร์ ข้อมูลเบื้องต้นนี้จะถูกนำไปใช้ปรับปรุงพัฒนาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมซ่อม

**คำสำคัญ:** การเชื่อมซ่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ, เหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140, ค่าความแข็ง

### Abstract

This research aims to study the result of propeller shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process, which was made from AISI 4140 alloy steel. Spray transfer MAG welding process is used for shaft metal spray, and then the weld surface was taken to test the hardness, corresponding to ASTM E384-89. As the result, it is found that the average value of hardness is 275 Vickers, and the heat affected zone has the average hardness value of 300 Vickers. The data will be used for investigating and improving parameters of shaft metal spray, in order to use it more effectively.

**Keywords:** Semi-Automation welding repair process, AISI 4140, hardness properties

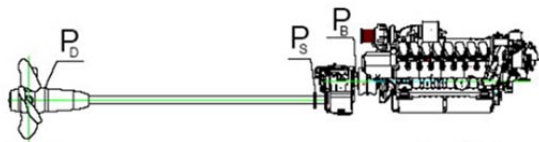
<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาเอก สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง, <sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง, <sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง, <sup>4</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110,

<sup>1</sup> Doctor Degree Student, Marine and Coastal Resource Institute, <sup>2</sup> Assoc. Prof., Marine and Coastal Resource Institute, <sup>3</sup> Asst. Prof., Marine and Coastal Resource Institute, <sup>4</sup> Asst. Prof., Minerals and Materials Engineering Department, Prince of Songkhla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand.

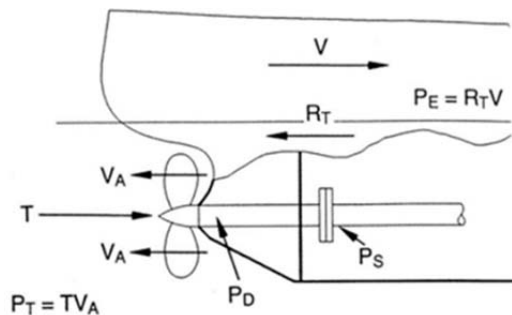
\* Corresponding author: Siva Sitthipong, Marine and Coastal Resource Institute, Prince of Songkhla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand.

## Introduction

The drive system of ship has prime mover, gear, shaft, and propeller or propulsor, as the major components [1-3]. For ships with diesel drive system, the details of components are as shown in figure 1. The calculation of a propeller shaft's drive power involves these values: Brake power,  $P_B$  is the drive power at the rear of the engine; Shaft power,  $P_S$  is the drive power from the gear to propeller shaft; and Delivery Power,  $P_D$  is the drive power that has been delivered to the propeller, which needs to be greater than the Resistance,  $R_T$  that occurred at various speed of ship. The delivery power is directly related to the Effective power,  $P_E$  as shown in figure 2, where  $\eta_G = \text{Gear Efficiency}, P_S/P_B$  and  $\eta_S = \text{Shaft Efficiency}, P_D/P_S$ .



**Figure 1** The assembly components in the drive System [3].



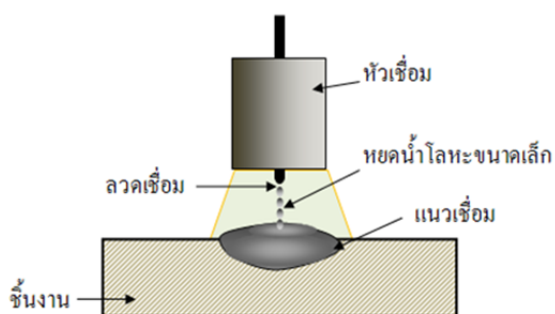
**Figure 2** The relation of drive power [3].

A propeller shaft has a very long length, which it needs bearing to support it continuously, with periodic spacing. The position that the shaft needs to touch the bearing will have the sleeve to support the propeller shaft. Mostly, the end of a shaft will have the twist to lock the propeller and shaft flanges. The shaft that juts out from the ship will always expose to the sea water, therefore, the protective covering is needed for an alloy steel shaft, in order to prevent the rust formation when sea water reacts with the shaft. Propeller shafts are classified into 2 types, sorted by its characteristics. The first type is called the fixed pitch propeller shaft, which it has the solid shaft all the way through the end. For moving forwards and backwards, the propeller shaft needs to rotate reversely. On the other hand, the controllable pitch propeller shaft has a hollow shaft all the way through the end, which the hollow part inside is the runway of hydraulics oil that controls the pitch of a propeller shaft. It uses the angle adjustment of propeller shaft pitch to move forwards and backwards. Generally, propeller shafts are made from medium carbon steel, as shown in figure 3. It is widely used because of its cheap price and its high strength; however, it is corrosive when exposed to water and air, which will eventually cause rusting. Therefore, this type of shaft needs rubber or plastic covering, to prevent rusting problem. The copper alloys sleeve is put at a position where the shaft touches the bearing, since copper alloys have a high corrosion resistance to the sea water [4, 5].



**Figure 3** Carbon steel propeller shaft [1].

Propeller shaft and Thordon, while working together, will always generate frictions against each other. Therefore, the wear damage will occur untimely. When the parts failed, it will be repaired by using the spray transfer MAG welding process, as shown in figure 4, which can occurs when the electric current is above 250A and the pressure is between 34-40 Volts. This process is suitable for a very thick shaft. The spray transfer which occurs at the end of a welding rod, which received high temperature, will melt into small particles, spray from the arc to the work piece in the direction where the end of the welding rod pointed to. The size of the alloy particle is equal to or smaller than the diameter of the welding rod slightly [6-15].



**Figure 4** The spray transfer

## Materials and Methods

### 1. Step of repair maintenance shafts

The wear propeller shaft was taken to the shaft alignment bending machine by aligning both ends,

using the surface gauge, to do the preliminary examination, as well as marking the wear position by using chalks or markers. After that, the shaft was put on a lathe machine to get fixed and aligned between the head stock and the tail stock, to prevent itself from swinging out. While lathing, prepare the surface of a workpiece to be on a steady rest, to support the shaft by marking the point, where the spraying will be applied on, with the line drawing on the wear part at more than 5mm. The turning operation was done to the shaft to reduce its size by 4 mm. Then, the reduced-size shaft got fine threaded, to improve the assembling of metals that meant to be sprayed. After that, a paper or clean cloth was used to wrap the prepared surface of the workpiece, for cleanliness, to spray on easily. The propeller shaft was put on the shaft alignment bending machine again to get sprayed, as shown in figure 5.



**Figure 5** The spray transfer MAG welding process

Before turning on the spray machine, the surface of a workpiece needs to be cleaned by using acetone, then the alignment bending machine can be started to make the surface dry. After drying, the spraying operation and smoke vacuum were started. The head of the spray machine was placed away from the surface of a workpiece by 8

inches. The operation can start either from left hand side or right hand side and the rate of the sprayer head's movement was 0.5 foot per minute. While spraying, it is essential to inspect the smoothness of the surface. If the surface is patchy, due to the incompleteness of burning, the spraying will not attach on the surface of a workpiece. The operation will have to be stopped, and hammer and chisel were used to remove the unmelted particles from the surface of a workpiece. After the unmelted particles were removed, the spraying operation was continued. It is important to spray the surface larger than the workpiece by 4 mm. After the spraying size was appropriate, the surface smoothness was checked and the outside micrometer was used to measure the surface. A flux stick or a candle was applied on the sprayed area, to cool down the heat and improve bonding between the spray particles and the surface of a workpiece. The alignment bending machine was run for 3-4 hours, to expel the heat. After that shaft has cooled down, it was put on the lathe machine and was turning the sprayed surface to have the same size as the original workpiece. Then, a fine sand cloth with lubricant was used, to smoothen and polished the surface of a workpiece evenly.

## 2. Materials

X111-T5-K4 flux cored wire; the chemical composition is as shown on table 1.

Table 1 Chemical composition of X111-T5-K4 flux cored wire

Electrode Type	C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr
X111-T5-K4 (wg. %)	0.06	1.45	0.45	0.025	0.025	0.45	2.20	0.50

AISI 4140 grade alloy steel; the chemical composition is as shown on table 2.

Table 2 Chemical composition of AISI 4140 grade

Base Metal	C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cu
AISI 4140 Alloy steel (wg. %)	0.40	0.72	0.25	0.02	0.02	0.22	0.20	0.30

## 3. Microstructure investigation

Cut out 1 cm of workpiece's welded surface, do the resin casting with 5:1 accelerator, wait until the resin dried, then polish with no. 80, 120, 180, 360, 600, 800, and 1200 sand paper, respectively. Use the ultrasonic wave to clean the workpiece for 5 minutes. Polish the workpiece again by using the woolen fabric with 5 and 1 micron alumina powder, respectively. After that, use the ultrasonic wave to clean the workpiece for 5 minutes again. Etch the surface with the solution of 5 ml Nitric acid and 190 ml water for 10 minutes. Then, rinse off with water and make it dry. The pictures of microstructure were taken by using the optical microscope.

## 4. Hardness test

Cut the workpiece that has been sprayed to test the hardness at a microscopic level, conforming to ASTM E384-89. The hardness values were taken from the base metal, heat affected zone, and weld metal, which were measured on every 0.5 mm in 3 directions, as shown in figure 6.

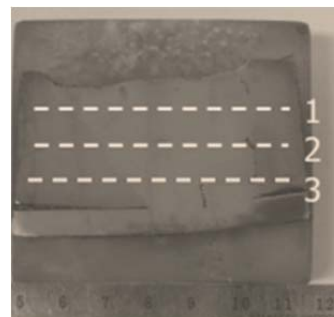


Figure 6 3 directions of hardness measurements.

## Results

## 1. Result of investigation on microstructure

The microstructure at the heat affected zone which was expanded 50 times is shown in figure 7, and the microstructure at the sprayed surface which was expanded 20 times is shown in figure 8.



**Figure 7** The microstructure at the heat affected zone which was expanded 50 times.

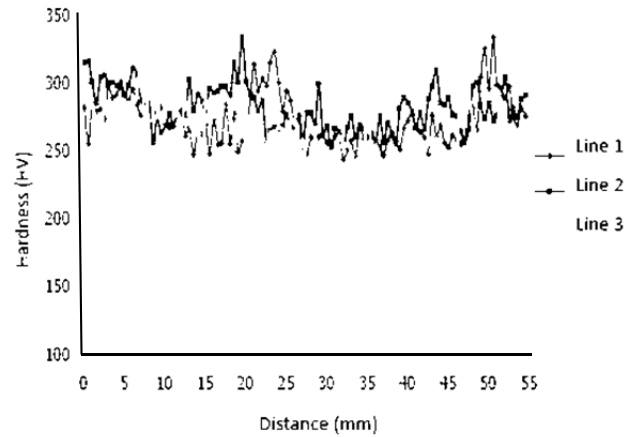


**Figure 8** The microstructure at the sprayed surface which was expanded 20 times.

## 2. Result of hardness test

As a result of welding process, the heat affected zone has a different hardness value from the base metal. The hardness test starts from the base metal, to the heat affected zone, and then to the weld metal, by using the spray transfer MAG welding process. At 0-5 mm and 50-55 mm is the base metal, where the hardness value is the

same as the original shaft because it is not affected by the heat. At 5-20 mm and 35-50 mm is the heat affected zone. On the other hand, the weld metal at 20-35 mm has the varied hardness values, as shown in figure 9.



**Figure 9** Hardness values of the shaft at the weld metal, heat affected zone, and base metal.

## Discussions

From the obtained experimental data, it can be seen that the use of x111-T5-K4 electrode is appropriate for metal spraying AISI 4140 shaft, since the sprayed surface has similar hardness value to the base metal. In addition, it is found that the microstructure at the sprayed area has the spiky weaving ferrite structure, which promotes the high strength at the welded level. From the above data, it can be concluded that the x111-T5-K4 electrode [16-17] can be used for metal spraying the propeller shaft, to prolong its service life.

## Acknowledgment

The authors would like to thank Rear Admiral Dr. Prawit Bibithkosolvongse for technical support.

## References

1. Propulsion of Thai Battleship. *Naval Science* 2014; 97(10):61–67.
2. Poemsubtawee S. Nontakaew U. Applying Boundary Element Method for Design of Marine Propeller. *Journal of KMITNB* 2005; 15(2): xx-xx.
3. Wongngernyuang S. Moolsin N. Ship Resistance and Propulsion for Coastal Patrol Vessel. *Proceeding of the 21th Mechanical Conference*; 2007 Oct 17-19; Chonburee, Thailand.
4. Poompuang N. Preventive Corrosion Planning. *Journal of Naval Dockyard Department*; 2012:99–111.
5. Tareelap N. Sriraksasin K. Srisukhumbowornchai N. Thuanboon S. and Nitipanyawong C. Prevention of Dealloying in Manganese Aluminium Bronze Propeller: Part2. *KKU Engineering Journal* 2014; 41(1):83-90.
6. Anzehaee M. and Haeri M. Estimation and Control of Droplet Size and Frequency in Projected Spray Mode of a Gas Metal Arc Welding (GMAW) Process. *ISA Transactions* 2011; 50(3):409–418.
7. Kehai L. and Chuansong W. Mechanism of Metal Transfer in DE-GMAW. *Journal of Materials Science Technology* 2009; 25(3):415–418.
8. Vernon E. Solidification and Microstructural Characterization of Iron–Chromium Based Hardfaced Coatings Deposited by SMAW and Electric Arc Spraying. *Surface & Coatings Technology* 2009; 203:3638–364.
9. Weglowski M. Huang Y. and Zhang Y. Effect of Welding Current on Metal Transfer in GMAW. *Archives of Materials Science and Engineering* 2008; 33(1):49-56.
10. Luo J. Luo Q. and Wang X. EMS-CO2 Welding: A New Approach to Improve Droplet Transfer Characteristics and Welding Formation. *Material of Manufacturing Processes* 2010; 25(11):1233-1241.
11. Luo J. Lin Y. Luo Q. and Wu Y. New Structure of Automatic Torch and New Approach for Controlling Drop Transfer in Rotating Spray Welding Arc. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2004; 9(5):465-469.
12. Suzuki R. State of the Art of Process Control of Molten Droplet and Pool in Gas Metal Arc Welding. *Welding International*. 2012; 26(3):178-186.
13. Hirota Y. New Technology of the Arc Welding. *Welding International*. 2011; 25(12):945-951.
14. Starling C. Modenesi P. and Borba T. Comparison of Operational Performance and Bead Characteristics When Welding with Different Turbular Wires. *Welding International* 2010; 24(8):579-592.
15. Lezzi F. and Costa L. The Development of Conventional Welding Processes in Naval Construction. *Welding International*. 2013; 27(10):786-797.
16. Sitthipong S. Towatana P. Sitticharoenchai A. Bibithkosolvongse P. and Muangjunburee P. Fatigue Life Estimates of Surface Welding X111-T5-K4 and E71T-1CH8/T-9M-D Flux Core Wire. *Jurnal Teknologi* 2016; xx (xx): xx-xx.
17. Sitthipong S. Towatana P. Sitticharoenchai A. and Muangjunburee P. A Comparative Study of Fatigue Life of Surface Welding X111-T5-K4 and E110T5-K4H4 Flux Cored Wire. *RMUTP Research Journal* 2016; 10 (2): xx-xx.

ภาคผนวก ข  
RMUTP Research Journal



# การประเมินอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์ เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D

## Corrosion Rate Assessment Between X111-T5-K4 and E71T-1CH8/T/9M-D Flux Cored Wire

ศิวะ สิทธิพงษ์<sup>1\*</sup> ประวิทย์ โต้วัฒน์<sup>1</sup> อำนวย สิทธิเจริญชัย<sup>1</sup> และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงค์<sup>1</sup>

Siva Sitthipong Prawit Towatana Amnuay Sitticharoenchai and Prapas Muangjunburee

สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

### บทคัดย่อ

เพลลาใบจักรเรือที่เสียหายจากการกัดกร่อนของคลอไรด์ในน้ำทะเลเมื่อถูกเชื่อมซ่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์มีอายุการใช้งานหลังผ่านการเชื่อมซ่อมขึ้นกับความสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอก งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาประเมินความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกที่แตกต่างกันสองชนิดคือผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ตามลำดับ วิธีการศึกษา เตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM G1-103 และทดสอบด้วยหมอกเกลือตามมาตรฐาน ASTM B 117 ผลการศึกษาวินิจฉัยพบว่าอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ต่ำกว่าเกรด E71T-1CH8/T/9M-D คือ 0.21 และ 0.32 ตารางมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ มวลสูญเสียที่เวลา 48 ชั่วโมงของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D คือ 0.32 และ 0.48 กรัม ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานจากการกัดกร่อนของโซเดียมคลอไรด์ต่อเพลลาใบจักรแนะนำให้ใช้ลวดเชื่อมพอกผิวเกรด X111-T5-K4

**คำสำคัญ :** เพลลาใบจักรเรือ อัตราการกัดกร่อน ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์

### Abstract

After a propeller shaft was damaged from chloride in sea water, it has been fixed by MAG welding process with flux cored wire. Its service life after welded depends on the corrosion resistance of the weld metal. This research aimed to compare the corrosion resistance of two different weld metals between X111-T5-K4 and E71T-1CH8/T/9M-D flux core wire. The test specimens were prepared according to the ASTM G1-103 standard and tested by salt spray test, conforming to the ASTM B 117 standard. The result of the test showed that the corrosion rate of the weld metal using X111-T5-K4 flux cored wire is lower than the weld metal of E71T-1CH8/T/9M-D flux cored wire, which was 0.21 and 0.32 mm<sup>2</sup>/hr., respectively. The mass loss at 24 hours of E71T-1CH8/T/9M-D, X111-T5-K4 flux core wire were 0.32 and 0.48 grams, respectively. Therefore, enhancing the service life of propeller shaft from chloride corrosion should use X111-T5-K4 flux core as weld metal.

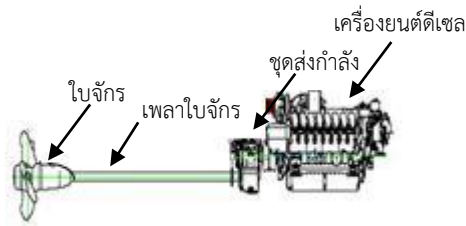
**Keywords:** Propeller Shaft; Corrosion Rate; Flux Core Wire

*\*Corresponding author, E-mail: [mechmat.s@gmail.com](mailto:mechmat.s@gmail.com) โทร. 08 3195 1382*

## 1. บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เพลลาใบจักรเป็นชิ้นส่วนสำคัญในระบบส่งกำลังทางกลของเรือ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนเรือในทิศทางตามการบังคับควบคุมของผู้ขับ เพลลาใบจักรทำงานสัมผัสกับน้ำทะเลทั้งทางตรงและทางอ้อมจึงถูกกัดกร่อนอยู่เสมอ การสึกหรอของเพลลาเนื่องจากการกัดกร่อนของน้ำทะเลมีผลต่อการทำงานของระบบส่งกำลังของเรือในรูปที่ 1 ระบบส่งกำลังที่ขาดประสิทธิภาพทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยระยะทางเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการทำประมงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 1 ระบบส่งกำลังของเรือ

การกัดกร่อนของเพลลาใบจักรคือการสูญเสียเนื้อโลหะเพลลาจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและไฟฟ้าเคมีกับน้ำทะเล ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน อาทิเช่น ปริมาณคลอไรด์ ปริมาณออกซิเจน ปริมาณและชนิดของไอออนลบ อุณหภูมิ อัตราไหล ความเป็นกรดต่างของน้ำทะเล เป็นต้น [1] คลอไรด์ทำให้การนำไฟฟ้าของน้ำสูงขึ้นและทำลายฟิล์มออกไซด์ที่ปกป้องผิวเหล็ก เหล็กกล้าคาร์บอนเมื่อสัมผัสกับน้ำทะเลในช่วงแรกอัตราการกัดกร่อนจะสูงแต่เมื่อมีสนิมเข้ามาหุ้มอัตราการกัดกร่อนจะลดลง และน้ำทะเลที่นิ่งจะมีอัตราการกัดกร่อนสูงกว่าน้ำทะเลที่ไหล ด้วยเหตุผลข้างต้นดังที่กล่าวมานี้การปรับปรุงประสิทธิภาพของเพลลาใบจักรเรือจึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง [2] – [6] การเชื่อมซ่อมพอกผิวเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสำหรับซ่อมแซมเพลลาใบจักรที่สึกหรอ การเชื่อมซ่อมพอกผิวสามารถยืดอายุการใช้งานของเพลลาใบจักรเรือได้ยาวนานเท่าใดขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีการเชื่อม ทักษะของช่างเชื่อม อุปกรณ์ในการเชื่อม การเลือกใช้ลวดเชื่อมและ พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อม บางครั้งมีความจำเป็นต้องนำ FMEA มาใช้ในการ

วิเคราะห์การชำรุดเบื้องต้น [7] ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ ซึ่งจะศึกษาประเมินอัตราการกัดกร่อนของผิวพอกแข็งที่ได้จากกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ที่แตกต่างกันสองชนิดระหว่างลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 กับลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ผลของการศึกษาวิจัยจะทำให้สามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาใบจักรได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ สามารถยืดอายุการใช้งาน

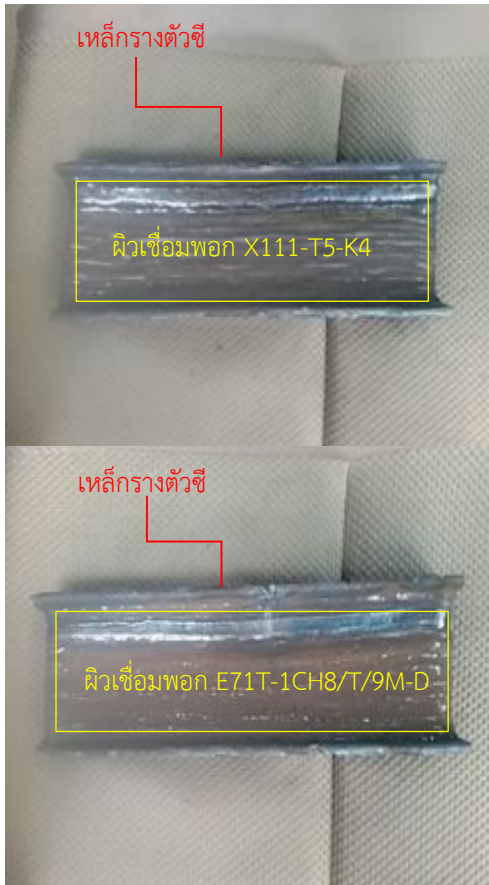
## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การสร้างผิวเชื่อมพอก

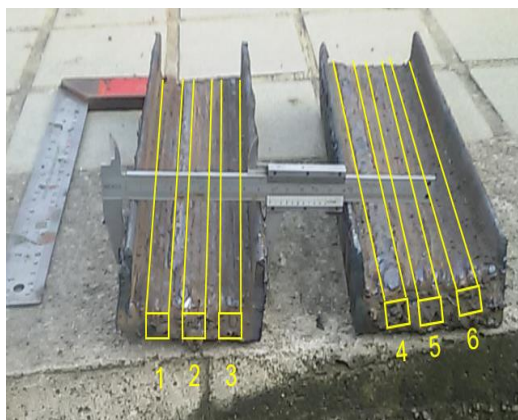
ขั้นตอนแรกทำการกัดขึ้นรูปเหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 เป็นรูปตัว C ขนาดหน้าตัด 76.2 มิลลิเมตรหนา 6 มิลลิเมตร ขั้นตอนที่สองใช้ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D เชื่อมพอกในร่องเหล็ก C จนเนื้อเชื่อมสูง 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้พารามิเตอร์ควบคุมที่แสดงในตารางที่ 2 แต่ละชั้นของแนวเชื่อมจะเชื่อมสลับฟันปลาให้เวลาเย็นตัวที่สม่ำเสมอและมีการเคาะสแลกที่ปกคลุมแนวเชื่อมทุกครั้งก่อนเชื่อมแนวถัดไป จากนั้นระบุบริเวณผิวเชื่อมพอกที่จะตัดไปทำการศึกษา ดังแสดงในภาคตัดขวางรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440

ชนิดของธาตุผสม	ชนิดเหล็กฐาน
	SCM 440 ร้อยละของธาตุผสม (Weight %)
C	0.35-0.43
Mn	0.75-1.00
Cr	0.75-0.80
Mo	0.15-0.25
Si	0.23-0.26
V	0.0025-0.0027
Fe	Balanced



รูปที่ 2 ผิวเชื่อมพอกจากกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D



รูปที่ 3 ผิวเชื่อมพอกจากกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D

ตารางที่ 2 ตัวแปรสำหรับกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 (A<sub>1</sub>) และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D (A<sub>2</sub>)

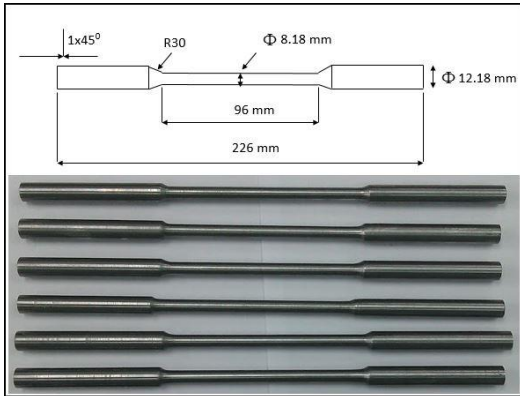
ตัวแปร	หน่วย	ค่าตัวแปร	
ชนิดลวดเชื่อมพอก	-	A1	A2
แก๊สผสม	%	80%Ar 20%CO <sub>2</sub>	80%Ar 20%CO <sub>2</sub>
อัตราการไหลของแก๊สผสม	l/min	12	12
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม	mm	1.2	1.2
กระแสเชื่อม	A	149	140
แรงดันเชื่อม	V	21	24.5
ความเร็วเดินเชื่อม	mm/min	150	150
ความร้อนป้อนเข้า	kJ/mm	1.00128	1.0976

การใช้ค่าตัวแปรไม่เท่ากันเนื่องจากการพิจารณาใช้ค่าตัวแปรต้องการให้มีความสอดคล้องเป็นไปตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตลวดเชื่อม

## 2.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

นำผิวเชื่อมพอกที่ได้จากกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D มาตัดและไสเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดกว้างคูณยาว 12.5 x 226 มิลลิเมตร ชั้นตอนที่ 2 กัดปาดหน้าชิ้นงานให้เรียบ ชั้นตอนที่สามนำไปกลึง CNC ให้ได้ชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.18 มิลลิเมตร ยาว 226 มิลลิเมตร ปลายสองข้างตกว่า 45 องศา 1 มิลลิเมตร โดยที่ระยะ 65 มิลลิเมตร วัดจากปลายสองข้างทำป้าโค้งรัศมี 30 ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยจะได้จำนวนชิ้นงานเนื้อเชื่อมชนิดละ 3 ชิ้น รวมทั้งหมด 6 ชิ้น ชิ้นงานเหล่านี้จะถูกเตรียมผิวด้วยการขัดกระดาษทรายเบอร์ 80, 120, 180, 360, 600,

800 และ 1,200 ตามลำดับ ขั้นตอนสุดท้าย ทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที ตามมาตรฐาน ASTM G1-103 [8]



รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบการกัดกร่อน

### 2.3 การทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ

นำชิ้นงานทดสอบที่เตรียมผิวแล้วทั้ง 6 ชิ้นไปทดสอบความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM B 117 [9] ด้วยเครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบหมอกเกลือ The Singleton Corporation: SCCH21 ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยใช้เงื่อนไขการทดสอบคือ ความเข้มข้นสารละลายเกลือ  $5 \pm 0.5\%$  (w/w) ความเป็นกรดต่าง 6.5-7.2 อุณหภูมิ chamber 34-36 °C อุณหภูมิ Tower 46-49 °C ความดันอากาศ 12-18 psi ปริมาณหมอกเกลือ 1.0-2.0 ml/hr./80 cm<sup>2</sup> ระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนัก 4 ช่วงเวลาคือ ก่อนทดสอบ ชั่วโมงที่ 4 ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ตามลำดับ ข้อมูลน้ำหนักสูญเสียสามารถนำมาหาค่าอัตราการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [10] และจัดบันทึก% การเกิดสนิมแดงจากการตรวจพินิจด้วยตาเปล่า ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ของการทดสอบ เป็นข้อมูลประกอบ จากนั้นขีดผิวสนิมล่างและชั่งน้ำหนักใหม่ ประเมินการความลึกของชั้นสนิมและหาพื้นที่ที่กัดกร่อนต่อหน่วยเวลาจากสมการหาพื้นที่ผิวทรงกระบอก



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบการกัดกร่อนแบบหมอกเกลือ

### 2.4 การเชื่อมซ่อมเพลลาใบจักรชิ้นงานจริง

นำเพลลาเหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 มาเชื่อมพอกผิวแข็งด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 กับเกรด E71T-1CH8/T/9M-D ดังแสดงในรูปที่ 6 [11] กลึงแต่งผิว จากนั้นนำไปใช้งานจริง ตรวจสอบติดตามผลการเกิดสนิมบริเวณรอยเชื่อมของเพลลาดังแสดงในรูปที่ 7 ตรวจสอบวัดและประเมินผล ใช้สมการ (1) คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกได้ผลลัพธ์แสดงในสมการ (2) และ (3)

$$\text{อัตราการกัดกร่อน (มิลลิเมตรต่อปี)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

K = ค่าคงที่ ( $8.76 \times 10^4$ )

T = เวลา (ชั่วโมง)

A = พื้นที่ (ตารางเซนติเมตร)

W = น้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)

D = ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ความหนาแน่นของ X111-T5-K4 คือ  $7.83 \text{ g/cm}^3$

ความหนาแน่นของ E71T-1CH8/T/9M-D คือ

$7.71 \text{ g/cm}^3$

อัตราการกัดกร่อนของ X111-T5-K4

$$\frac{K \times W}{A \times T \times D} = \left[ \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.07 \text{ g}}{1.6 \text{ cm}^2 \times 120 \text{ hr} \times 7.83 \text{ g/cm}^3} \right]$$

$$= 4.078 \text{ mm / y} \quad (2)$$

อัตราการกัดกร่อนของ E71T-1CH8/T/9M-D

$$\frac{K \times W}{A \times T \times D} = \left[ \frac{(8.76 \times 10^4) \times 0.09 \text{ g}}{1.6 \text{ cm}^2 \times 120 \text{ hr} \times 7.71 \text{ g/cm}^3} \right]$$

$$= 5.326 \text{ mm/y} \quad (3)$$



รูปที่ 6 การเชื่อมพอกผิวแข็งเพลลาเหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 [11]

การกัดกร่อนของเพลลาบริเวณรอยเชื่อมแสดงให้เห็นในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การกัดกร่อนของเพลลาบริเวณรอยเชื่อม

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

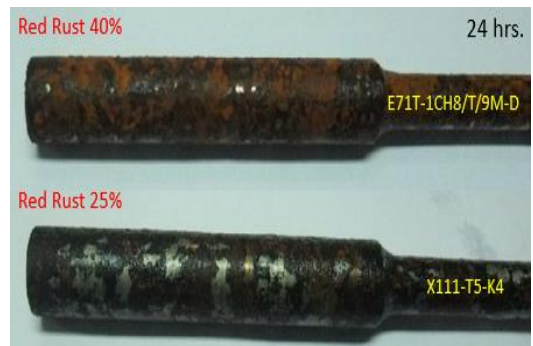
#### 3.1 ผลการทดสอบอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ

การตรวจพินิจพื้นที่ผิวที่เกิดสนิมแดงด้วยตาเปล่าเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนเป็นกลไกการกัดกร่อนสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า (Uniform Corrosion) ดังแสดงในรูปที่ 8 ที่เวลา 8 ชั่วโมง ผิวเชื่อมพอกใส่ ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D และผิวเชื่อม

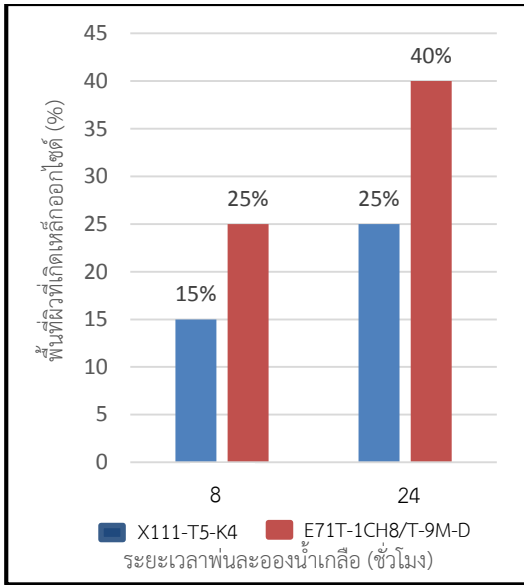
พอกใส่ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 มีร้อยละค่าเฉลี่ยการเกิดสนิมแดง 25% และ 15% ตามลำดับ และที่เวลา 24 ชั่วโมง ชิ้นงานมีร้อยละค่าเฉลี่ยการเกิดสนิมแดง 40% และ 25% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อใช้ข้อมูลกราฟแท่งในรูปที่ 10 พิจารณาประกอบสามารถหาอัตราการกัดกร่อนของพื้นที่ผิวเทียบกับเวลาได้ ผิวเชื่อมพอกใส่ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ให้อัตราการกัดกร่อน 0.21 ตารางมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ผิวเชื่อมพอกใส่ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ให้อัตราการกัดกร่อน 0.32 ตารางมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณน้ำหนักสูญเสียต่อหน่วยเวลาแสดงในรูปที่ 11 ผิวเชื่อมพอกใส่ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ชั้นสนิมลึกไม่เกินกว่า 4.8 มิลลิเมตร ปริมาตรสนิม 16.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประเมินจากน้ำหนักสูญเสีย 32 กรัม ผิวเชื่อมพอกใส่ ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D ชั้นสนิมลึกไม่เกินกว่า 5.85 มิลลิเมตร ปริมาตรสนิม 24.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประเมินจากน้ำหนักสูญเสีย 48 กรัม



รูปที่ 8 ร้อยละการเกิดเหล็กออกไซด์ที่เวลา 8 ชั่วโมง

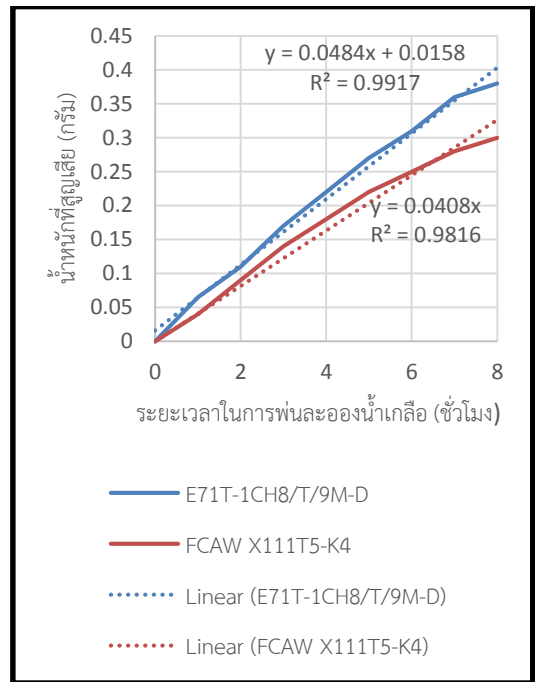


รูปที่ 9 ร้อยละการเกิดเหล็กออกไซด์ที่เวลา 24 ชั่วโมง

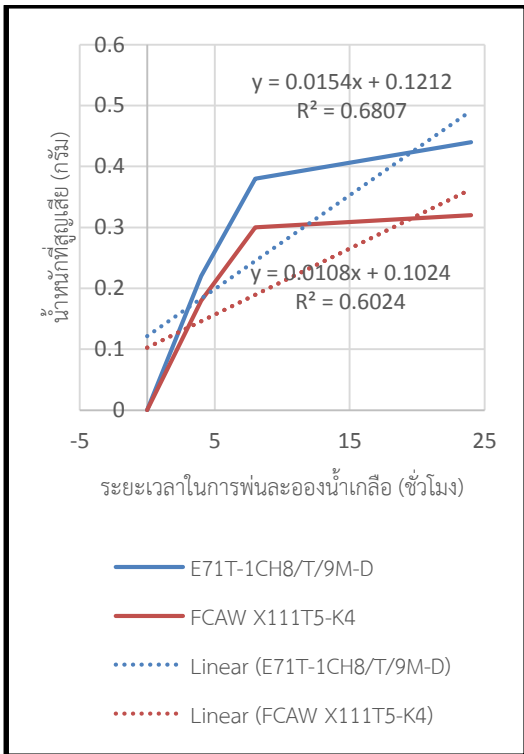


รูปที่ 10 เปรียบเทียบพื้นที่ผิวที่สูญเสียบนระยะเวลาที่ใช้และชนิดของลวดเชื่อม

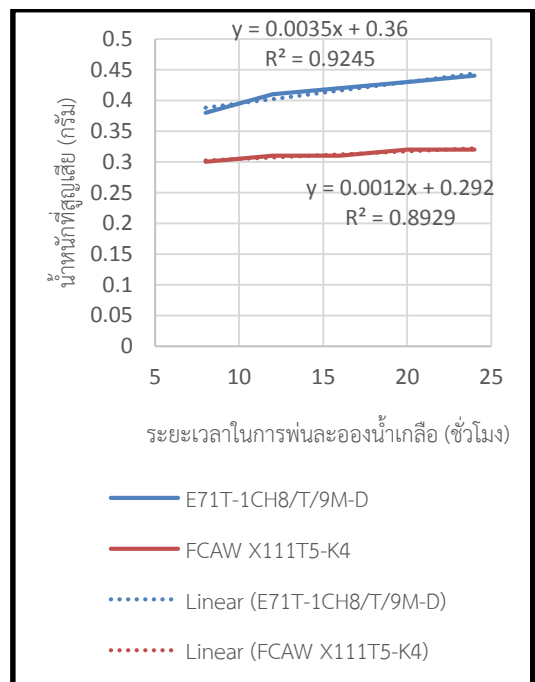
กราฟเป็นสองช่วงดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13 เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์



รูปที่ 12 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียบนระยะเวลาที่ใช้และ ชนิดของลวดเชื่อม ช่วงที่ 1



รูปที่ 11 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียบนระยะเวลาที่ใช้และชนิดของลวดเชื่อม



รูปที่ 13 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียบนระยะเวลาที่ใช้และชนิดของลวดเชื่อม ช่วงที่ 2

กราฟรูปที่ 11 ให้ค่าความเชื่อมั่นต่ำเนื่องจากช่วงในการวิเคราะห์กว้าง ความแปรปรวนมีสูง ดังนั้นจึงแยก

### 3.2 ผลการประเมินอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานจริงเพลลาไบจักร

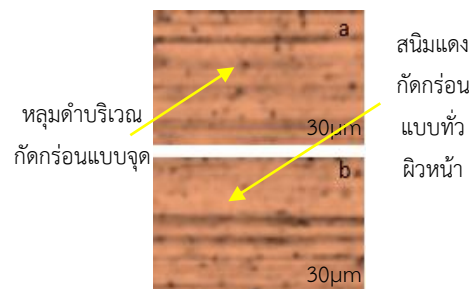
เพลลาไบจักรของเรือประมงทะเลพื้นบ้านจำนวนทั้งสิ้น 3 ชุด เมื่อทำการเชื่อมซ่อมพอกผิวด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ซึ่งมีราคา 210 บาทต่อกิโลกรัม และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D ซึ่งมีราคา 140 บาทต่อกิโลกรัม คำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรอบปีพบว่าต้นทุนในการซ่อมบำรุงด้วยลวดเชื่อมพอกทั้งสองชนิดแตกต่างกัน 2,100 บาทต่อลำเรือ ค่าใช้จ่ายส่วนต่างที่เกิดขึ้นเป็นเพราะราคาชนิดลวดเชื่อมที่แตกต่างกันเท่านั้น ไม่ขึ้นกับทักษะของผู้เชื่อม เนื่องจากเชื่อมด้วยกรรมวิธีการเดียวกันและในการศึกษาวิจัยใช้ผู้เชื่อมคนเดียวกัน การอ้างอิงข้อมูลประมาณการณ์การชำรุดของเพลลาเรืออกและท้ายตัดของ [5], [6] - [7] ถูกลำมาวิเคราะห์ คณะผู้วิจัยพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมประกอบทั้งนี้เพื่อเลือกใช้ลวดเชื่อมซ่อมที่เหมาะสม ผลการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนและค่าใช้จ่ายในการเชื่อมซ่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E71T-1CH8/T/9M-D ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกสามารถช่วยในการประเมินเลือกใช้ลวดเชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาไบจักรได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

ความเข้ากันได้ของผิวเชื่อมพอกเพลลาไบจักรกับวัสดุเพลลาไบจักรเหล็กกล้าผสมเกรด SCM 440 เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้าโดยตลอด ทั้งโครงสร้างมหภาคและโครงสร้างจุลภาค [12] โครงสร้างชั้นผิว X111-T5-K4 ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ที่ชั้นฟิล์มถูกขัดออกไปแสดงในรูปที่ 14 โครงสร้างชั้นผิว E71T-1CH8/T/9M-D ชั่วโมงที่ 8 และชั่วโมงที่ 24 ที่ชั้นฟิล์มถูกขัดออกไปแสดงในรูปที่ 15 การกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอก E71T-1CH8/T/9M-D เห็นขอบเกรนบางบริเวณ แต่บริเวณที่เห็นปรากฏเด่นชัด เป็นการกัดกร่อนสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้า เกิดเหล็กออกไซด์เห็นเป็นสนิมแดง และพบการกัดกร่อนแบบจุดปริมาณมาก แต่การกัดกร่อนของ X111-T5-K4 เห็นขอบเกรนไม่ชัดเจน เนื่องจากเกรด X111-T5-K4 มีส่วนผสมของโครเมียม นิกเกิล และโมลิบดีนัมที่มากกว่าจึงมีผลต่อความแข็งแรงของ

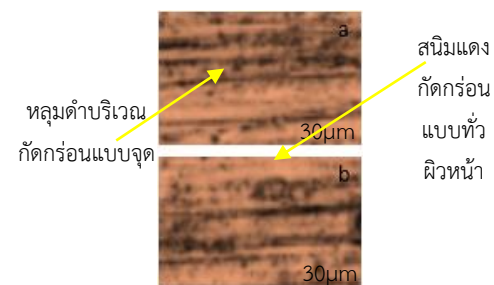
โครงสร้างและมีผลต่ออัตราการลดลงของการกัดกร่อน [13] ทั้งแบบสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าและแบบจุด สมบัติเชิงกลของผิวเชื่อมพอกเป็นข้อมูลสนับสนุนการเลือกใช้ผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมเกรด X111-T5-K4 ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากความแข็งและความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกใกล้เคียงเนื้อโลหะเดิมดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์

ชนิดของธาตุผสม	% ของธาตุผสมในลวดเชื่อม	
	X111-T5-K4 (Weight %)	E71T-1CH8/T/9M-D (Weight %)
C	0.06	0.02
Mn	1.45	1.30
Si	0.45	0.5
Mo	0.45	-
Ni	2.20	-
Cr	0.50	-
S	0.025	0.013
P	0.025	0.010



รูปที่ 14 โครงสร้างผิว X111-T5-K4 หลังขัดชั้นฟิล์มที่เวลา a) 8 ชั่วโมง b) 24 ชั่วโมง



รูปที่ 15 โครงสร้างผิว E71T-1CH8/T/9M-D หลังขัดชั้นฟิล์มที่เวลา a) 8 ชั่วโมง b) 24 ชั่วโมง

**ตารางที่ 4** สมบัติเชิงกลของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด เกรด X111-T5-K4 (A2) เปรียบเทียบกับ สมบัติเชิงกลของเนื้อโลหะเพลลา (A1) เหล็กเกรด SCM 440

สมบัติเชิงกล	หน่วย	A1	A2
ความแข็งวิกเกอร์	Hv	207	280
ความแข็งแรงดึง	N/mm <sup>2</sup>	650-880	900
ความแข็งแรงคราก	N/mm <sup>2</sup>	350-550	750
ความแข็งแรงกระแทก	J/cm <sup>2</sup>	22	27
การยึดตัว	%	8-25%	19%

องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยสู่ผลการทดลองใช้งานจริงเป็นที่น่าพอใจ เพลลาใบจักรหลังผ่านการเชื่อมเชื่อมด้วยกระบวนการที่ถูกต้อง และลวดเชื่อมที่เหมาะสม ทำให้เพลลาใบจักรยังใช้งานได้แม้เวลาผ่านไป 1 ปี ซึ่งเป็นขั้นต้น 2 เท่าของอายุการใช้งานเดิมของเพลลาใบจักรหลังผ่านการเชื่อมเชื่อม ทั้งนี้สามารถศึกษาแนวทางป้องกันการกัดกร่อนวิธีการอื่นได้จากงานวิจัยของกรมอุทการเรือ [14] ซึ่งเน้นวิธีการป้องกันการกัดกร่อนด้วยการเคลือบผิวเป็นแนวทางหลัก

#### 4. สรุป

4.1 กรรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ควรถูกพิจารณานำมาใช้แทนกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D เพราะจากผลประเมินอัตราการกัดกร่อนชี้ชัดว่าผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ให้สมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าผิวเชื่อมพอกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D อย่างไรก็ตามลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E71T-1CH8/T/9M-D มีต้นทุนในการเชื่อมเชื่อมสูงกว่าถึง 70 บาทต่อกิโลกรัม

4.2 การวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกด้วยการทดสอบหมอกเกลือขึ้นเพียงเพื่อให้เห็นแนวโน้ม และประเมินเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกเท่านั้น อัตราการกัดกร่อนที่คำนวณจากผิวเชื่อมพอกเพลลาใบจักรจริงเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่าโดยอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอก X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D ที่คำนวณได้คือ 4.078 มิลลิเมตรต่อปี และ 5.326 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากกลุ่มชาวประมงชุมชนเก้าเส้ง ทะเลสาบสงขลา ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือเชื่อมและบุคลากรเชี่ยวชาญงานเชื่อมจาก ผศ.ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และได้รับการอนุเคราะห์ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบจากทาง ผศ.ยงยุทธ ดุลยกุลและ รศ.เดช เหมือนขาว ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และได้รับการรองผลการทดสอบการกัดกร่อนจากบริษัทโบรเมเคมิคัล ทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Jankhow, "Corrosion rate comparison of aluminum and steel lab joint in Thai marine environment," M.S. thesis, Dept, Industrials. Eng., Rajamangala Technology Thanyaburee Univ., Pathum Thani, Thailand, 2010.
- [2] S. Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai, P. Bibithkosolvongse P. and P. Muangjunburee, "Fatigue life estimates of surface hardfacing X111-T5-K4 and E1T-1CH8/T/9M-D," Journal of Engineering and Applied Science, vol. 11, no. 7, pp. 1623-1627, Nov. 2016.



- [3] S. Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai and C. Meengam, "Life extension of propeller shaft by hardfacing welding," *Materials Science Forum*, vol. 872, pp. 62-66, Sep. 2016.
- [4] S. Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai and C. Meengam, "Abrasive wear behavior of surface hardfacing on propeller shafts AISI 4140 alloy steel," *Materials today: proceedings*, vol. x, pp. xx-xx. 2017.
- [5] S. Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai and P. Muangjunburee, "A Comparative Study of Fatigue Life of Surface Welding X111- T5- K4 and E110T5-K4H4 Flux Cored Wire," *RMUTP Research Journal*, vol. 10, no.2, pp. 11-21, Sep. 2016.
- [6] S. Chainarong, S. Sitthipong and C. Meengam, "Influence of stress to mechanical failure of long tail shaft in the power transmission system on local fishing boat," *SNRU Journal of Science and Technology*, vol 8, no.1, pp. 127-132. 2016.
- [7] S. Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai and C. Meengam, "Failure Analysis of Metal Alloy Propeller Shafts," *Materials today: proceedings*, vol. x, pp. xx-xx. 2017.
- [8] Practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens Conshohocken, G1-03 Standard, 2003
- [9] Practice for operating salt spray (fog) apparatus, B117 Standard, 2009.
- [10] Practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens Conshohocken, G1-90 Standard, 2003.
- [11] S. Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai and P. Muangjunburee, "Propeller Shafts Hardfacing by Semi-Automation Welding Repair Process," *MSU Journal of Science and Technology*, vol. 12, Special Issue, pp. 23-28. 2016.
- [12] S. Sitthipong, P. Towatana and A. Sitticharoenchai, "Investigation of Microstructure and Hardness Properties of Hardfacing Surface on SCM 440 Alloy Steel by Using Metal active Gas and Flux Cored Arc Welding." *Key Engineering Materials*, vol. 728, pp. 31-35. 2017.
- [13] W. Walke and J. Przondziono, "Physicochemical properties of Cr-Ni-Mo steel and Co-Cr-W-Ni alloy applied in urology," *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*, vol. 39 no.1, pp. 27-34. 2010.
- [14] N. Poompuang, "Guidelines for the prevention of corrosion inside the hull," *Department of Navy Journal* vol. 90, pp. 99-111. 2012.

ภาคผนวก ค  
Materials Science Forum

## Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding

Siva Sitthipong<sup>1,a</sup> Prawit Towatana<sup>2,b</sup> Amnuay Sitticharoenchai<sup>3,c</sup>  
Chaiyoot Meengam<sup>4,d</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Marine and Coastal Resource Institute, Prince of Songkla University, Songkhla,  
Thailand 90000.

<sup>4</sup> Program of Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University,  
Songkhla, Thailand 90000.

<sup>a</sup>mechmat.s@gmail.com, <sup>b</sup>prawit.t@psu.ac.th, <sup>c</sup>sittiben@psu.ac.th <sup>d</sup>chaiyoot.me@skru.ac.th

**Keywords:** Propeller shafts; Hardfacing; Life extension; Welding repair process.

**Abstract.** At present the Cut-stern Kolek Boats of local fishermen at Kaoseng Community on the Coast of Songkhla Lake have a high rate of shaft failure. Consequently, the fishermen have spent lots of money on maintenance program of repairing shafts for a few years. Besides, the repairing cost, each time of the failure also causes water pollution from the leakage of grease. The incomplete transmission of power leads to engine overloading and fuel wasting. The investigation of the high failure rate of propeller shafts which were major machine component in power transmission illustrated the failure in normal fracture caused by the mechanisms of metal fatigue. Using the welding repair by shield metal arc welding process did not give the satisfied outcome because it created the short service life of reused propeller shafts after repairing. This research was aimed to study the metal fatigue behavior of long tail shafts in the Cut-stern Kolek boats and introduce the new method of welding repair process to prolong their service life. The experiment revealed that specimens resulted from the new welding repair process and the conventional one possessed different service life. The new process used the flux core which arc welding can prolong the service life of the shafts of boats more than 1.6 times of using the conventional method which is the electric welding by flux core arc welding. The research result will be extended to fishermen, in order to encourage them to become a part of sustainable inshore fisheries.

### Introduction

Most fishermen of artisanal fisheries at Kaoseng Community use the Cut-stern Kolek Boat due to its low cost, excellent stability, shallow feature which prevented overturn, high mobility, small size hull and light in weight which requires lesser driving force and fuel. Moreover, it requires only 2-3 people to conduct marine fisheries. However, the failure of the shafts has become the persistent problem of using the Cut-stern Kolek Boats, which has affected lives and earnings of fishermen due to the unusable boats. In addition, the failure also causes an inefficient power transmission of the boat's mobility which in turn causes fuel wasting and grease leaking. These issues lead to wasteful expenses and water pollution. According to the data from the site survey, all Cut-stern Kolek Boats have been encountered with the aforementioned problems. The failure of the shafts has been categorized into 2 types. The first type that often occurs is in the slight failure category which a shaft can still be used for a period of time and it will periodically illustrate a warning signal indicating the deterioration. The second one that produces the severe and immediate failure which averagely happens twice a year for each boat is the fracture or break off of shafts. When a shaft failed, fishermen will repair it by a resurfacing or build-up welding, using the Shielded Metal Arc Welding Process (SMAW). The result on a service life of repaired shafts was dissatisfied. An inappropriate welding repair shortens shafts' service life, requiring more frequent maintenance which increases the cost of fisheries. This research was aimed to analyze the root cause of a propeller shafts' failure, in order to assign an appropriate and effective welding repair process [1-10].

Visual inspection of the Propeller Shaft's cracking surface, the point of crack initiation was found at the inclined shaft shoulder. The propagation of cracks in the shaft started from the outer

surface toward the inside, which the circumference of beach marks could be clearly seen. Each beach mark was somewhat evenly spaced. The cracks propagated to the inside around shaft shoulders reduced the load bearing area of shaft shoulders, while they were receiving the same load, resulting in a localized increase in stress. Up to the time that the shaft shoulders are overloaded, the shaft suddenly failed which led to the immediate shaft fractures during operations. The fracture surface of shafts are quite rough and rugged. The fracture plane is normal to the axis. According to the information above, it revealed that the failure of shafts was occurred due to the fatigue mechanism from cyclic torsional loads and flexural loads. The crack initiated due to the high concentration of stress in that area which normally has a low fatigue strength lifespan. Eventually, the localized plastic deformation that was influenced by the slip mechanism occurred. The interesting point is that when cracks started to form, the fatigue mechanism of the crack propagation had lower fatigue stress which increased the fatigue life after the crack initiation. Furthermore, by inspecting on the plane of crack, it is possible that flexural loads had more influence on fractures than torsional loads. However, it is necessary to establish further investigations by using the stress analysis at the fracture point of shaft shoulders. The maximum stress was occurred at the shaft shoulder which was the crack start point. By analyzing the crack, it revealed that the cause was from the boats which was outboard engine with a set of transmission. The flat four stroke diesel engine that produces 11.5 horsepower continuously at 2400 rounds per minute. The crankshaft, transmitting power by using double strand roller chain to the propeller shaft, causes the shaft to bear high torsional loads. Due to the shaft's inconsistent shape and the change in the shaft shoulders cross sectional area, it accumulated a high concentration of stress at the shaft shoulder which made it a weak point and initiated cracks [11-14]. The stress amplitude of 517 MPa that occurs on the shaft shoulder immediately triggers the mechanism of fatigue in the shaft. According to Fig.1 which illustrates the diagram explaining the failure's range of Alloy Steels AISI 4140 used for making shafts, it can be found that their fatigue strengths are 360 MPa. When the stress intensity exceeds the fatigue strength, the fatigue mechanism will take place and shafts will have limited service lives. The shafts' service lives will depend on the intensity of cyclic stress applied on them.

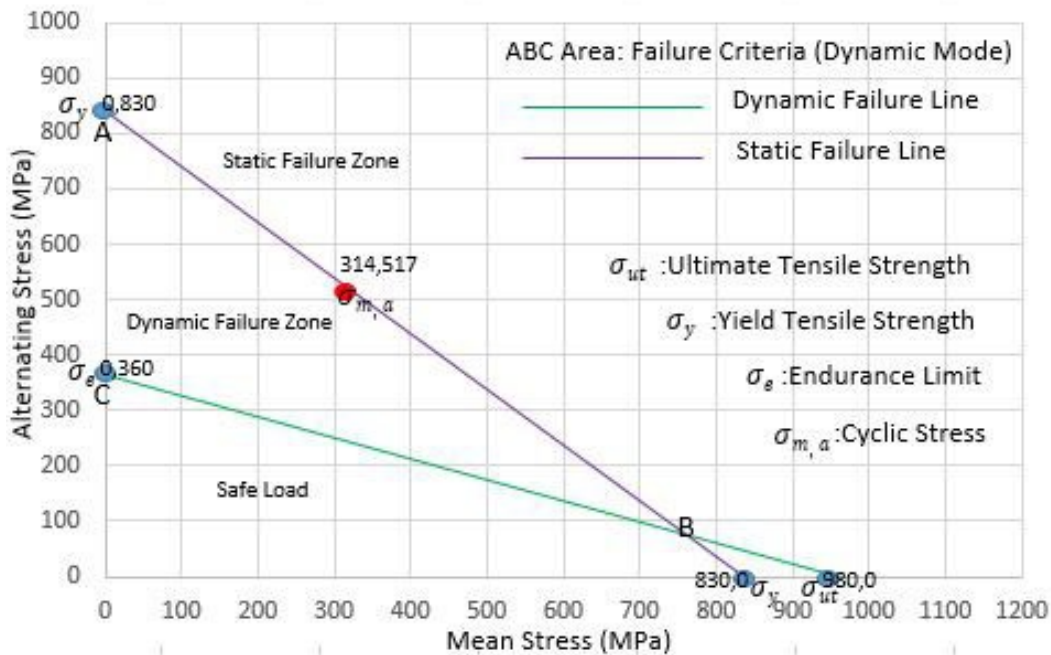


Figure 1. The diagram explaining the failure's range of AISI 4140.

## Experimental procedures

The method of this investigation shown in Fig. 2 prepare specimens by using the C-Channel alloy steels, weld the specimens in the flat position, form the specimens into shapes by surface welding, and find the fatigue strength of each specimen by using the rotating beam fatigue testing machine which complies with ASTM E739-91 standard. In addition. Tested specimens by using X-ray. Since the number of used fatigue test specimens is only two pieces per one value of stress, but according to ASTM E 739-91 [15] which uses six test specimens per one value of stress, so it is essential to check by using Gamma x-ray to get the perfect fatigue test before testing.

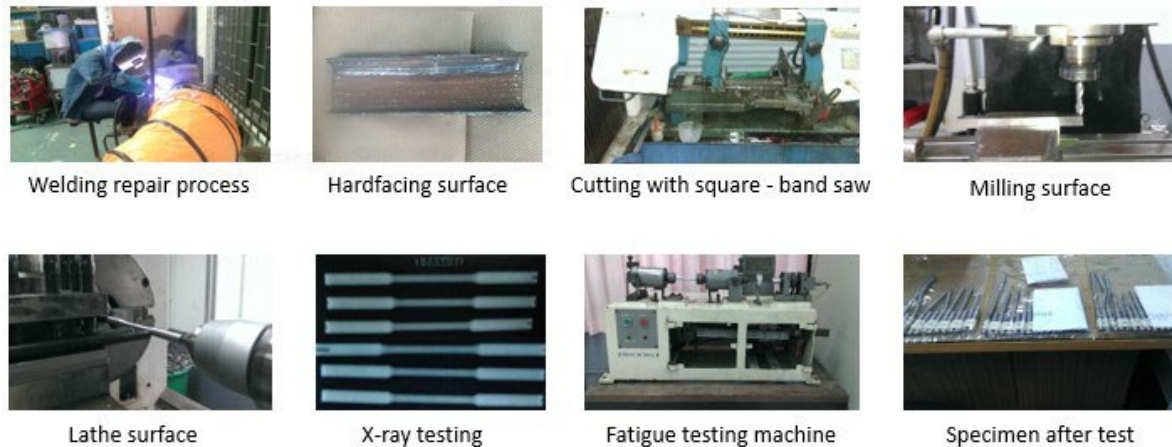


Figure 2. The method of investigation.

In addition, fatigue testing is a test of fatigue strength with no incision. Since the machine for fatigue testing has a limitation on weight, which can be test between 5-40 kilograms, the reduction of specimens' diameter is needed in order to increase the weight of testing. There are six values of weight and two test specimens per one weight value. The parameters that required controlling for using metal active gas welding with the Flux Cored Wire (FCAW) are shown in Table 1. The controlling parameters were produced in accordance to the life prediction equation of the welded shaft.

Table 1. The parameters that required controlling for using the MAG Welding with the Flux Cored Wire, the SMAW Welding with Solid Wire.

Electrode Type	C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr
Flux Core Wire (wg. %)	0.06	1.45	0.45	0.025	0.025	0.45	2.20	0.50
Solid Wire (wg. %)	0.05	1.50	0.40	-	-	0.50	2.00	0.40

Welding process	Electrode type	Wire diameter	Welding current	Welding Voltage	Welding speed	Heat input
FCAW	Flux Core	1.2 mm	149 A	21V	150 mm/s	1.00
SMAW	Solid Wire	4 mm	145 A	26V	160 mm/s	1.13

## Results and Discussion

The result of fatigue testing of specimens from the preparation of weld metal by using Shield Metal Arc welding process (SMAW), Flux Cored Arc welding process (FCAW), and Alloy Steels are shown in Table 2.

Table 2. Values of stress and life cycle that cause damage.

Stress (MPa)	Life Cycle (N)		
	Base Metal	SMAW	FCAW
300	not fracture	not fracture	not fracture
350	2,218,940	1,166,063	2,103,993
400	933,429	203,481	800,972
450	587,560	52,474	455,839
500	200,546	86,168	108,765
600	97,632	4,270	44,832
700	13,534	fractured at low-cycle	9,860
800	fractured at low-cycle	fractured at low-cycle	fractured at low-cycle

**Remarks:** Stop the testing at 1,000,000 cycles for each specimen; the specimen that can receive loadings more than 1,000,000 cycles will be reported as not fracture. In addition, the specimen that fracture before 1,000 cycles will be reported as fractured at low-cycle.

The analyzed cyclic stress ( $\sigma_R$ ) were applied in Eq. 1 to predict the lifetime ( $N_R$ ) of fatigue by using Basquin's power law [16-17]. The constants A and B are related to the experiment. By plotting the service lives against the applied cyclic stresses on shafts. The new method of welding repair process, the Shield Metal Arc Welding Process was replaced by the MAG welding with the Flux Cored Wire. This method was selected by the consideration of better mechanical properties and higher fatigue strength [8]. By using the stress from real loading  $\sigma_R = 517$  MPa to analyze with the life prediction equation of each type of weld metals from the data in Eq. 2, it was found that the Shield Metal Arc Welding Process gave the working cycle of 60,580. Eq. 3 was used for the MIG/MAG Welding with Flux Cored Wire, which it gave as much as 97,896 working cycles.

$$\sigma_R = AN_R^B \quad (1)$$

$$N_R = 10^{\frac{1}{-0.132}(\log \sigma_R - \log 2211862)} \quad (2)$$

$$N_R = 10^{\frac{1}{-0.125}(\log \sigma_R - \log 2174384)} \quad (3)$$

## Summary

1. By analyzing the cracks appearance on the shafts, it appeared that the failures of the Cut-stern Kolek Boats were caused by fatigue, which cracks initiated at the shaft shoulder. Moreover, by applying the mechanical analysis, it confirmed that the shaft shoulder really initiated cracks since it contained high concentrations of stress. With as much as 517 MPa stress on the shaft shoulder, the shaft was subjected to the fatigue mechanism. By means of combining the data of material properties with mechanical properties, a diagram demonstrating the range of failure could be observed. From the diagram, it could be predicted that the fatigue failure was at high numbers of cycles and it had the limit service life at full load condition, which has the working cycle of 97,896.

2. By comparing the fatigue life of the welding surface between the two welding processes, it indicated that the MAG Welding with Flux Cored Wire contributes 37,316 working cycles or 1.6 times higher fatigue life than using the Shield Metal Arc Welding Process.

**References**

- [1] S . Sitthipong, C. Meengam and P. Muangjunburee: TWJ Vol. 54 (2011), p. 11-18
- [2] G. Magudeesawaran, V. Balasubramanian, R. Madhusudhan and V. Balasubramanian, J. Iron Steel Res Int Vol. 15(6) (2008), p. 87-94
- [3] G. Magudeesawaran, V. Balasubramanian and R. Madhusudhan: J. Mater. Process. Technol Vol. 29 (2008), p. 1821-1827
- [4] S. Liu, in: Weldability of Steel Characteristic Feature of Welds in Properties and Selection Irons Steel and High Performance Alloys, ASM Publishers. Vol. 1 (1993).
- [5] P. Muangjunburee, in: The First South-East Asia IIW Congress. (2007).
- [6] Howard Kuhn. Mechanical Testing. 10<sup>th</sup> Edition ASM Publishers. (1995).
- [7] P. Sonalsale: Int. j. adv. mater. manuf. charact Vol. 5(1) (2015), p. 24-34
- [8] G.E. Linnert: Welding Metallurgy, AWS Publishers. Vol. 2 (1966).
- [9] Bruce P. Bardes. Metal. 10<sup>th</sup> Edition ASM Publishers. Vol. 1. (1990).
- [10] D.L. Olson, T.A. Siewert, S. Liu, G.R. Edwards. Metal. ASM Publishers. Vol. 6. (1990).
- [11] S . Sitthipong, P. Towatana, A. Sitticharoenchai and P. Bibithkosolvongse, in: The 3<sup>rd</sup> National and International Conference. (2015).
- [12] S. Sitthipong, P. Muangjunburee, C. Dechwayukul and N. Totarat, in : The 2<sup>nd</sup> South-East Asia International Welding Congress. (2010).
- [13] S. Bagherifard, R. Fernandez-Pariente and M. Ghelich, Int. J. Fatigue Vol. 65 (2014) p. 64-70
- [14] F. George Vander Voort, in: Fatigue Fractures, ASM Publishers. Vol. 12 (1993).
- [15] C . Schneider and S. Maddox, TWI. Granta Park. Great Abington Publishers. (2003).
- [16] C. Yuan Lin, J. Pinhung and T. Chi Hsu, J. Fail Anal Prev Vol. 8 (2008), p. 75-80
- [17] O.H Basquin, The Exponential Law of Endurance Tests, ASTM (1910), p. 625–630

ภาคผนวก ง  
Materialstoday: Proceedings





5th International Conference on Materials Processing and Characterization

## Abrasive Wear Behavior of Surface Hardfacing on Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel

S. Sitthipong <sup>a\*</sup>, P. Towatana <sup>b</sup>, A. Sitticharoenchai <sup>c</sup> C. Meengam <sup>d</sup>

<sup>a, b, c</sup> Marine and Coastal Resource Institute, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

<sup>d</sup> Department of Engineering, Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla, Thailand

---

### Abstract

This research aimed to investigate the wear behaviors of weld surfacing of propeller shaft, by using AISI 4140 alloy steel, and compared the results obtained by different welding processes: shield metal arc welding process, metal active gas welding process, and flux core arc welding process. The methods of testing consisted of creating the weld surfacing and take it to the abrasive wear testing, which the weldings are done normally. From the result, it is found that the weld metals from those three welding processes have significant differences of abrasive wear resistance values. The flux core arc welding process produced the highest value of abrasive wear resistance, especially at the weld metal zone where the highest abrasive wear resistance was attained dominantly. It generated the highest hardness value of 275 HV. On the other hand, the metal active gas welding process produced the lowest value of abrasive wear resistance, which it gave the hardness value of 200 HV. At last, it can be concluded that resurfacing by using flux core arc welding process generates the most applicable result of welding for AISI 4140 alloy steel; as a result, it will be the guideline of choosing the welding process for resurfacing, in order to use it to prolong the service life of propeller shaft effectively.

Click here and insert your abstract text.

© 2014 The Authors. Elsevier Ltd. All rights reserved.

Selection and peer-review under responsibility of the conference committee members of the 4th International conference on Materials Processing and Characterization.

*Keywords:* Abrasive Wear Testing; Weld Surfacing; Welding Repair Process

---

---

\* Siva sitthipong. Tel.: +66-83-195-1382; fax: +66-74-324-221.

*E-mail address:* [5710033001@email.psu.ac.th](mailto:5710033001@email.psu.ac.th)

## 1. Introduction

Nowadays the repair of the cut-stern Kolek boat's propeller shaft uses welding repair technique of resurfacing to build up the surface of worn out parts, by using shield metal arc welding process (SMAW) only. The result of welding is applicable at some level; however, it cannot be concluded that the welding process is appropriate for service life extension or new parts substitution. Therefore, the investigation of the suitability of welding repair process, particularly the selection of resurfacing welding, could result in materials' service life extension. Under normal loading condition, resurfacing with the shield metal arc welding process was used. As a result, it is found that the service life of welded specimens was satisfactory. However, in abnormal loading conditions, such as overcapacity, misoperation, and accident, it is found that the welded specimens had shorter service life when compared to the parts that have not been repaired. In addition, the shorter service life of welded specimens was due to the welding repairs, which the service life is limited by weld metal strength and welding processes [1-8]. From the data above, it caused researchers to become interested in the investigation on different welding processes, which in turn will produce different results on specimens' mechanical properties and metallurgical structures [9-16]. The wear behaviors from using shield metal arc welding process (SMAW), metal active gas welding process (MAG), and flux core arc welding process (FCAW) will be investigated. The material that will be used as the test specimens is AISI 4140 alloy steel. The results of welding experiment will be compared by examining metallurgical structures, testing the hardness, and investigating the mechanical properties of abrasive wear behaviors at weld metal zone (WM), heat affected zone (HAZ), and base metal zone (BM). So, the suitable selection of weld surfacing for material's welding repairs can be achieved.

## 2. Experimental procedures

### 2.1 Welding electrode

The use of hard facing electrode for each welding process was considered from the suitability of their chemical composition and mechanical properties to the material being welded, as shown in Table 1, 2.

Table 1. Chemical composition of welding Electrode.

Electrode Type	C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr
X111-T5-K4 (wg. %)	0.06	1.45	0.45	0.025	0.025	0.45	2.20	0.50
ER110S-G (wg. %)	0.05	1.41	0.40	0.005	0.015	0.50	2.40	0.50
E11018-GH4R (wg. %)	0.05	1.50	0.40	-	-	0.5	2.0	0.40

Table 2. Welding electrodes and parameters

Welding process	Electrode type	Wire diameter	Welding current	Welding Voltage	Welding speed	Heat input
FCAW	X111T5-K4	1.2 mm	140-160 A	21V	150 mm/s	0.94-1.08
MAG	ER110S-G	1.2 mm	205-220 A	25V	300 mm/s	0.82-0.88
SMAW	E11018-GH4R	4.0 mm	140-145 A	26V	160 mm/s	1.09-1.13

## 2.2 Base metal

The weld-test specimens are made from 25x75x40 mm AISI 4140 alloy steel, which is the same material as the propeller shafts that are used generally. For each welding process, the methods for testing were resurfacing each specimen by four beads and retained three specimens for each welding process, as shown in Figure 1. After welding, the specimens were cooled down normally. Then, the test specimens from each welding process were cut transversely, as shown in Figure 2, for examining their metallurgical structures and testing their mechanical properties.

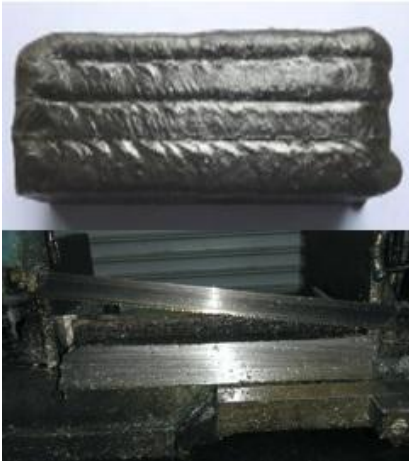


Fig. 1. Resurfacing specimen

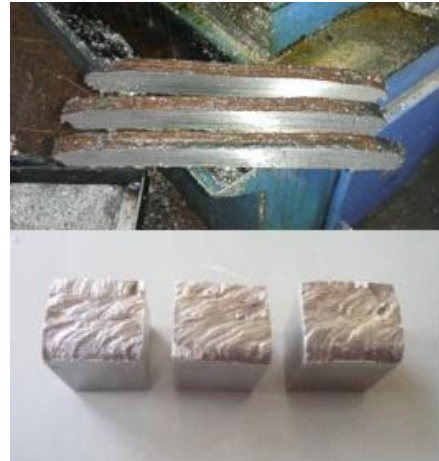


Fig. 2. Cutting of specimen transversely

## 2.3 Examining metallurgical structure

The analysis of examination results consisted of two parts. The macro structure examination was performed to inspect the physical characteristics of welding beads. After that, the specimens were taken for examining their micro structures to compare the characteristics of grain on weld metal zone, heat affected zone, and base metal zone of each welding process.

## 2.4 Testing mechanical properties

The analysis of testing results was divided into two parts. Firstly, the Vickers Hardness (HV) test was carried out to compare the hardness values of each welding process, which test was done on weld metal zone, heat affected zone, and base metal zone. The test was performed on seven points, as shown in Figure 3.

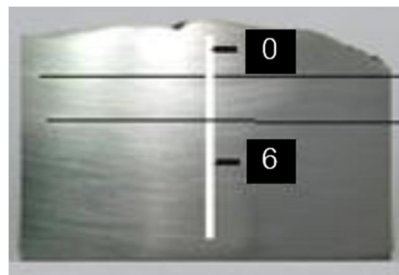


Fig. 3. Points of hardness test on each specimen

The second part of the test was the abrasive wear test, which dry sand and rubber wheel were used to create abrasions on the test specimens, as shown in Figure 4, which conforms to the ASTM G65 standards [17-24]. For each specimen, the abrasive wear test was performed on weld metal zone, heat affected zone, and base metal zone for 50 hours per specimen, as shown in Figure 5.

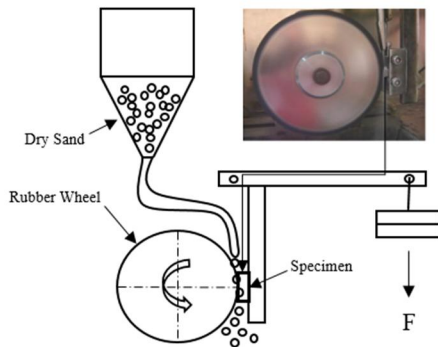


Fig. 4. Dry sand/rubber wheel abrasion test

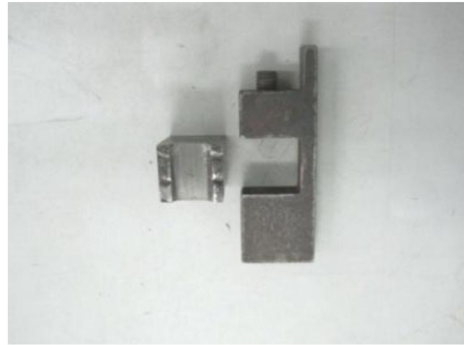


Fig. 5. Specimen after abrasive wear test

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 Results of examining macrostructure

By comparing the physical properties of beads, the formation of welding spatter on specimens, the characteristics of welding beads, the penetration, the melting between weld metal layer and base metal layer, the width of heat affected zone, and the imperfection of beads, it is found that the welding scales of SMAW are rough and knobby. The convexity and excessive weld reinforcement can be seen. Excessive amount of welding spatters also appears on welding beads. Also, the penetration and melting between weld metal layer and base metal layer are inconsistency; however, there is completeness between the two layers, as shown in Figure 6 (a).

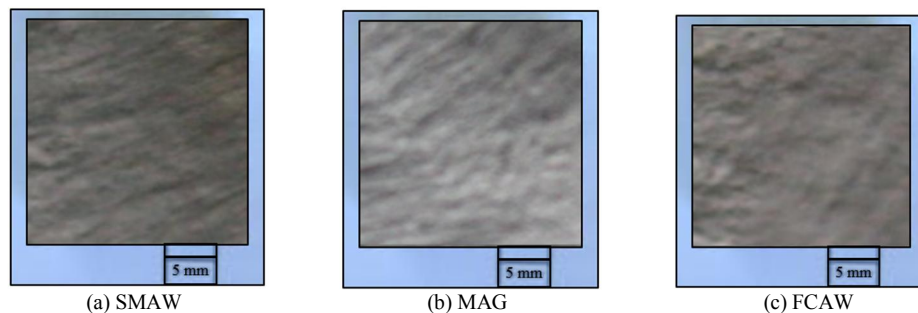


Fig. 6. Appearance of macro structure

By using MAG, it is found that the welding scales are uniformly smooth. Slight amount of spatters are noticed. The penetration and melting between weld metal layer and base metal layer are consistency and complete, as shown in Figure 6 (b). On the other hand, FCAW produced the smoothest welding scales of all. The formation of spatters at welding beads is greater than that of MAG, but lower than the SMAW. Also, the penetration and melting between weld metal layer and base metal layer are consistency and complete, as shown in Figure 6 (c). Moreover, the widths of the heat affected zone of all three welding processes were about the same, and there was not any imperfection of bead.

### 3.2 Results of examining microstructure

From the micro structure examination of weld metal, it is found that the structures resulted from each welding process are different. By comparing the characteristics and size of grains at weld metal zone and heat affected zone, it shows that grains of FCAW have finer structures than that of SMAW and MAG, as shown in Figure 7. So, it can be concluded that weld metal zone and heat affected zone of FCAW have hard structures, which can yield greater wear resistance than that of SMAW and MAG. These results are consistent with hardness test results, as shown in Figure 8, and abrasive wear test results, as shown in Figure 9. From the results, it reveals that weld metal zone and heat affected zone of FCAW produce better hardness values and require greater time of abrasive than that of SMAW and MAG. Moreover, these two zones have higher hardness values than the base metal zone.

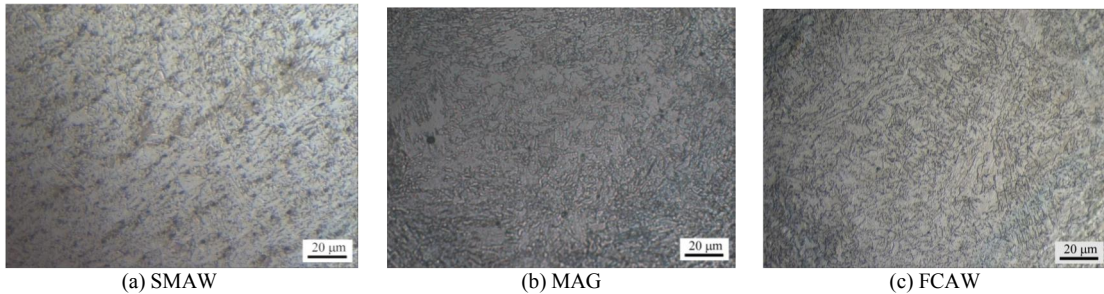


Fig. 7. Appearance of microstructure of weld metals

On the other hand, MAG and SMAW produce similar results to the FCAW, but they can attain lower hardness values. Also, it can be concluded that MAG achieves the lowest value of hardness at weld metal zone, which cause it to have the lowest wear resistance.

### 3.3 Results of hardness test

The results of hardness test from using the three welding methods gave the trend of hardness values at each of the seven points, starting from weld metal zone at points 0 to 2, where the hardness value is higher than at heat affected zone and base metal zone. Furthermore, FCAW produces as much as 213.4 HV, while MAG gave the lowest value of 174.8 HV. At heat affected zone, from point 3 to 4, all welding processes produce higher hardness than at base metal zone, but lower than at weld metal zone. Points 5 and 6 are in base metal zone, which all welding processes produce the lowest hardness values when compared to the other two zones, as shown in Figure 8.

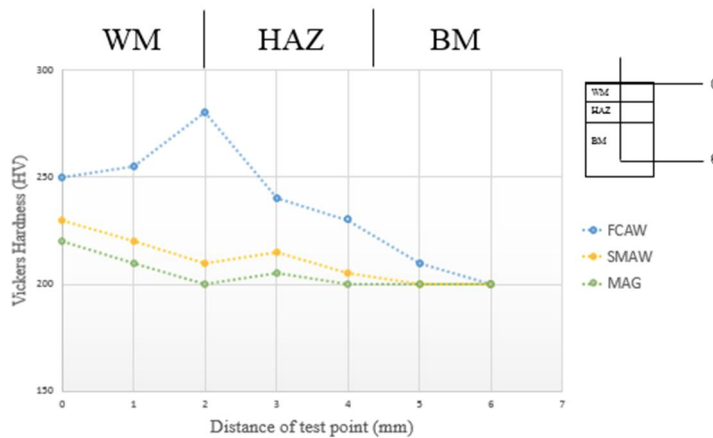


Fig. 8. Result of Vickers Hardness test

From the examination, it can be seen that after weld metal zone received heat from welding, the structure becomes harder and the hardness value increases [25-27]. As well, the heat affected zone, which located near base metal zone, has lower hardness value than weld metal zone; however, the value is greater than at the base metal zone. All welding processes have the same result.

### 3.4 Results of abrasive wear test

The comparison of all welding processes revealed that FCAW produces the least mass loss of weld metal zone. In addition, its' mass loss of heat affected zone and base metal zone is similar to that of SMAW and MAG, as shown in Figure 9. So, it can be concluded that FCAW can resist more abrasive wear than SMAW and MAG, since it loses lesser mass. These results conform to results of metallurgical structure examination and results of hardness test, which they resulted in the direction.

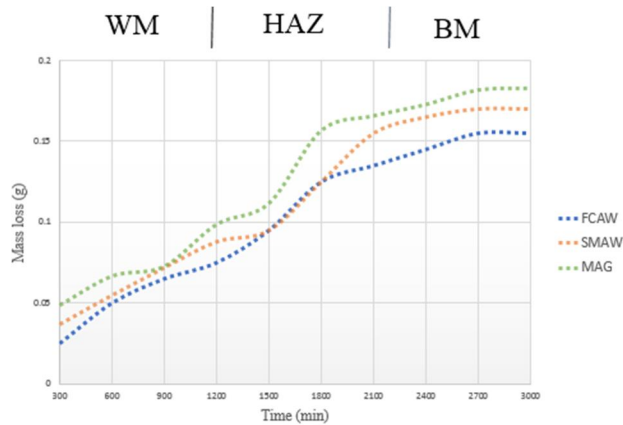


Fig. 9. Result of abrasive wear test.

Moreover, the results of cumulative wear test of all welding processes show that at weld metal zone, the mass loss is the smallest when compared with time. At heat affected zone and base metal zone, more mass loss is detected, respectively. When compare the cumulative mass loss with time, weld metal of FCAW has the least mass loss and smallest line of slope on the graph, as shown in Figure 10. From the obtained results, it shows that weld metal zone has better resistance of abrasive wear than heat affected zone and base metal zone; therefore, the time required for testing is greater than the other zones.

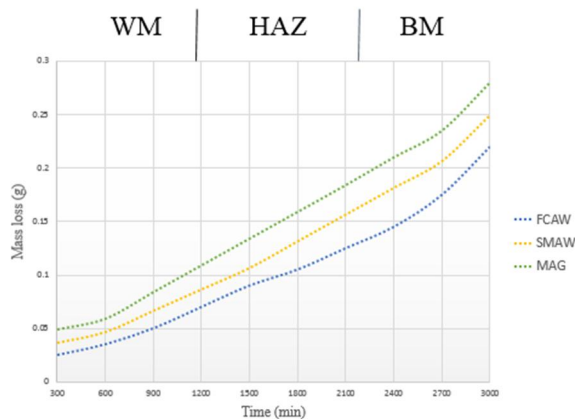


Fig. 10. Result of cumulative wear test

#### 4. Conclusion

By Investigating of wear behaviors of weld surfacing on AISI 4140 Alloy Steel obtained by different welding processes: shield metal arc welding process, metal inert gas and metal active gas welding process, and flux core arc welding process; and discussing on results by comparing metallurgical structures, the hardness, and the abrasive wear behaviors of all welding processes, the results from this experiment will be beneficial for choosing the suitable welding process for resurfacing AISI 4140 Alloy Steel. Also, the research is appropriate for general people who chose resurfacing as their welding repair technique or considered by current state of work. The results can be concluded as follows.

4.1 The results of examining macro structure show that the appearance of beads, the penetration, the melting of weld metal and base metal of all three welding processes are complete. For micro structure, the grains of weld metal obtained by FCAW have harder and finer structures than that of SMAW and MAG. Moreover, weld metal zones of all welding processes has finer structures than heat affected zones and base metal zones.

4.2 For Vickers Hardness test, the FCAW produces greater hardness value of weld metal zone than that of SMAW and MAG. The hardness of heat affected zones of all three welding processes has lesser values than weld metal zones, but greater than base metal zones.

4.3 When comparing all welding processes on their results of abrasive wear test, weld metal zone of FCAW can resist more wearing than that of SMAW and MAG. Also, heat affected zones of all three welding processes got lower wear resistance than weld metal zones, but greater than base metal zones.

#### Acknowledgements

This work was financially supported by Marine and Coastal Resource Institute from Prince of Songkla University. The authors thank Asst. Prof. Yongyuth Donyakul for technical assistance.

#### References

- [1] Sonalsale P. An Approach to optimize Mig Welding Parameters by Using Desing of Experiments. *International journal of Advanced Materials Manufacturing & Characterization* 2015; 5(1): 24-34
- [2] Singla S. Amardeep S. Jasmaninder S. Germeet S. Wear behavior of weld Overlays on excavator bucket teeth. *Procedia Materials Science* 2014; 5: 256-266
- [3] John J. Coronado, Holman F. Caicedo and Adolfo L. Go´mez. The effects of Welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits. *Tribology International* 2009; 42: 745–749.
- [4] V.E. Buchanan, P.H. Shipway, D.G. McCartney. Microstructure and abrasive wear Behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry 2007; 263: 99–110.
- [5] G. Magudeeswaran, V. Balasubramaniarr, G. Madhusudhan ReddyZ and T. S. Balasubramaniarr. Effect of welding processes and consumables on tensile and impact properties of high strength quenched and tempered steel joints. *Journal of iron and steel research, international* 2008; 15(6): 87-94.
- [6] Amado Cruz Crespo, Am´erico Scotti, Manuel Rodriguez P´erez. Operational behavior assessment of coated tubular electrodes for SMAW hardfacing. *Journal of materials processing technology* 2008; 199: 265–273.
- [7] S. Selvi, S.P. Sankaran, R. Srivatsavan. Comparative study of hardfacing of valve seat Ring using MMAW process. *Journal of materials processing technology* 2008; 207: 356–362.
- [8] Vernon E. Buchanan. Solidification and microstructural characterisation of iron–chromium based hardfaced coatings deposited by SMAW and electric arc spraying. *Surface & Coatings Technology* 2009; 203: 3638–364.
- [9] G.E.Linnert, *Welding Metallurgy* vol.2 American welding Society, New York: 1966.
- [10] *Metal Handbook*, Vol. 1, 10th edition, ASM; 1990, p. 1407-1410.
- [11] *Metal Handbook*, Vol. 6, 10th edition, ASM; 1990, p. 191-204.
- [12] Magudeeswaran, G. & Balasubramanian, V. and Madhusudhan R. Effect of welding processes and consumables on high cycle fatigue life of high strength, quenched and tempered steel joints. *Journal of Materials Processing Technology* 2008; 29: 1821-1827.
- [13] *Annual Book of ASTM Standards. General Products; Specialties; and End Use Products* Photocopy Rights; U.S.A. Printed in Easton; 1995.
- [14] X.H. Wang, F.Han b, X.M. Liu, S.Y. Qu, Z.D. Zou. Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings. *Materials Science and Engineering* 2008; 489: 193–200.
- [15] Milo Dumovic. *Repair and Maintenance Procedures for Heavy Machinery Components*. Welding Technology Centre the Lincoln Electric Company. Australia: 2002
- [16] ASM Handbook. *Mechanical Testing*. United States of America. ASM International1995; 8: 90-103,604-607.

- [17] Avery, H. S., The Nature of Abrasive Wear, *SAE Preprint 750822*, Society of Automotive Engineers, Warren dale; PA: 1975.
- [18] Tucker, R. C., and Miller, A. E., *Low Stress Abrasive and Adhesive Wear Testing*, *ASTM STP 615*, Philadelphia. PA; 1975, p. 68–90.
- [19] Avery, H. S., The Measurement of Wear Resistance, *Wear* 1961; 4(6): 427–449.
- [20] “Report of Iron and Steel Technical Committee,” *Abrasive Wear*, 1965, Society of Automotive Engineers: 1966.
- [21] Borik, F., “Rubber Wheel Abrasion Test,” *SAE Preprint 700687*, Society of Automotive Engineers: 1970.
- [22] Avery, H. S., Classification and Precision of Abrasion Tests, *Source Book on Wear Control Technology*, American Society for Metals, Metals Park: OH; 1978.
- [23] Haworth, R. D., Jr., The Abrasion Resistance of Metals, *Transactions American Society for Metals* 1949; 41: 819–854.
- [24] G.E.Linnert, *Welding Metallurgy vol.2* American welding Society, New York: 1966.
- [25] D. Radaj, *Heat Effect of Welding*, Springer-Verlag, New York: 1992.
- [26] N. Bailey, *Weldability of Ferritic Steel*, Abington, Cambridge, Abington Publishing: 1994.
- [27] H. Okada, F. Matsuda, K Ikeuchi and Z. Li, Improving the Toughness OF Welded Joints by Post-Weld Heat Treatment, *Journal of The Japan Welding Society* 1994; 12(4): 521-527.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายศิวัช สิริพิงศ์  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5710033001  
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมวัสดุ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552

## ทุนการศึกษา

### ปริญญาโท

- ทุนเรียนดีทุนค่าเล่าเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์/
- ทุนวิจัยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์
- ทุนเผยแพร่ผลงานวิจัย

### ปริญญาเอก

- ทุนเผยแพร่ผลงานวิจัย

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

- นักวิชาการมาตรฐานวิชาชีพชำนาญการ ระดับ Project Manager สำนักบริหาร  
 คุณวุฒิวิชาชีพ สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน)หน่วยงานรัฐภายใต้การ  
 กำกับดูแลของนายกรัฐมนตรื
- ที่ปรึกษาโครงการออกแบบรายละเอียดก่อสร้างศูนย์กระจายสินค้าภาคใต้-  
 หุ่่งสง ตามแผนพัฒนาโครงสร้างเศรษฐกิจขั้นพื้นฐาน ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย  
 IMT-GT บริษัท แพลนนิงแอนด์แมปปิง คอนซัลแตนท์ จำกัด
- วิทยากรฝึกอบรมภายนอก สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ
- ที่ปรึกษา ISO งานวิศวกรรม บริษัท คิวเอ็มแอล คอร์ปอเรชั่น จำกัด
- กรรมการผู้จัดการ บริษัท เมคแมท เอ็นจิเนียริง จำกัด
- หัวหน้าวิศวกร บริษัท เอเอสจี เอ็กซ์พีเรียนซ์ จำกัด

## คุณวุฒิในวิชาชีพ

- วิศวกรวิชาชีพผู้ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขา วิศวกรรมเครื่องกล ระดับสามัญวิศวกร (Professional Engineering License) ใบอนุญาตจากสภาวิศวกร ตามพระราชบัญญัติวิศวกร พ.บ. ๒๕๔๒ .ศ. เลขที่ สก. ๓๘๕๒ ครอบคลุมงานวิศวกรรมควบคุมสาขาเครื่องกลตามระดับสามัญวิศวกร
- ผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานในโรงงานและอาคารควบคุม ระดับ ผู้ชำนาญการ ใบอนุญาตจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ใบอนุญาตเลขที่ บ.๐๐๑๓/๕๘
- วิศวกรผู้ทดสอบและตรวจสอบระบบน้ำมัน ระดับ หัวหน้าวิศวกร ใบอนุญาตจาก กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ใบอนุญาตเลขที่ ป.นม.ก.๑-๐๔๘/๒๕๕๙
- วิศวกรตรวจสอบทดสอบหม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อน ใบอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ใบอนุญาตเลขที่ ๖-๕๙-๑๒๓๒
- นักวิชาการมาตรฐานวิชาชีพชำนาญการ สำนักบริหารคุณวุฒิวิชาชีพ สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ หน่วยงานรัฐภายใต้การกำกับดูแลของนายกรัฐมนตรี รับผิดชอบในฐานะ Project Manager ของมาตรฐานอาชีพ เครื่องกลเรือ เดินเรือ และเครื่องมือประมง รหัสเจ้าหน้าที่ ๖๐๐๑๗๖
- นักวิจัยเครือข่ายองค์กรบริหารงานวิจัยแห่งชาติ (คอบช.)

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

### (1) ผลงานการประชุมวิชาการ

#### (1.1) ระดับชาติ

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประวิทย์ ไตวัฒน์ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงศ์ 2558 การปรับปรุงกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพลลาใบจักรเรือหางยาว การประชุมวิชาการระดับชาติ “พัทลุงศึกษา ภูมิปัญญาชุมชน ลุ่มน้ำทะเลสาบ” ครั้งที่ 1 27 สิงหาคม 2558 วิทยาลัยภูมิปัญญาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง ประเทศไทย  
(รางวัลนำเสนอผลงานภาคบรรยาย ระดับดีเด่น ด้านลุ่มน้ำทะเลสาบ)

### (1.2) ระดับนานาชาติ

Siva Sitthipong, Prawit Towatana, Amnuay Sitticharoenchai and Prawit Bibithkosolvongse. 2015. Metal Fatigue Behavior of Long Tail Shafts of Cut-Stern Kolek Boats and a New Welding Method for Repairing. International Conference of Sakon Nakhon Rajabhat University. 24 July 2015. Sakon Nakhon, Thailand.

(รางวัลนำเสนอผลงานภาคบรรยาย ระดับดีเด่น ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

## (2) บทความวิจัย/วิชาการ ที่ผ่านมา

### (2.1) ระดับชาติ

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประวิทย์ ไตว์ฒนะ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงศ์ 2560 การประเมินอัตราการกัดกร่อนของผิวเชื่อมพอกไส้ ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ E71T-1CH8/T/9M-D วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 11 (1): xx-xx.

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประวิทย์ ไตว์ฒนะ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี 2559 การเปรียบเทียบอายุการล้าของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์เกรด x111-T5-K4 และ E110T5-K4H4 วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 10 (2): 11-21.

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประวิทย์ ไตว์ฒนะ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี 2559 การวิจัยดำเนินงานของนักวิเคราะห์การชำรุดของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล กรณีศึกษา: เพลาใบจักรเรือ วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน 4 (x): xx-xx.

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประวิทย์ ไตว์ฒนะ อำนวย สิทธิเจริญชัย และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี 2559 การพอกผิวแข็งเพลาใบจักรด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับพิเศษ 12 (0): 23-28.

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประวิทย์ ไตว์ฒนะ อำนวย สิทธิเจริญชัย ชัยยุทธ มิ่งามและ ศุภชัย ชัยณรงค์ 2560 การวิเคราะห์ออกแบบปั้นจั่นเหนือศีรษะของโรงซ่อมบำรุงเรือประมงขนาดเล็ก วิศวกรรมลาดกระบัง x (x): xx-xx

Chainarong, S., Sitthipong, S., Meengam, C. 2015. Influence of Stress to Mechanical Failure of Long Tail Shaft in the Power Transmission System on Local Fishing Boat. Sakon Nakhon Rajabhat University Journal of Science and Technology 8(1): 127-132.

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี เจริญยุทธ เดชวายุกุล และ  
ณรงค์ฤทธิ์ โทธรัตน์ 2560 การวิเคราะห์ค่าความเค้นของเพลากีเยอร์ขับเคลื่อน  
ของรถชุดไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วารสารมหาวิทยาลัย  
ทักษิณ 20 (1): xx-xx

ศิวะ สิทธิพงศ์ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี เจริญยุทธ เดชวายุกุล และ  
ณรงค์ฤทธิ์ โทธรัตน์ 2559 การวิเคราะห์ค่าความเค้นของเพลามุนเหวี่ยง  
ในระบบส่งกำลังของรถชุดไฟฟ้า วารสารนเรศวรพะเยา 9 (2): 21-24

ศิวะ สิทธิพงศ์ ชัยยุทธ มิ่งาม และ ณรงค์ฤทธิ์ โทธรัตน์ 2560  
การเปรียบเทียบกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพื่อยืดอายุการใช้งานของเพลาสวิง  
วารสารการเชื่อมไทย 54: 11-18

## (2.2) ระดับนานาชาติ

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A., Meengam, C.  
2016. Evaluation of the Fatigue Strength of Weld Hardfacing.  
Key Engineering Materials xx: xx-xx.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A. 2016.  
Investigation of Microstructure and Hardness Properties of  
Hardfacing Surface on SCM 440 Alloy Steel by Using Metal  
Active Gas and Flux Cored Arc Welding Processes. Key  
Engineering Materials 728: 31-35.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A., Meengam C.  
2016. Life Extension of Propeller Shafts by Hardfacing Welding.  
Materials Science Forum 872: 62-66.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A.,  
Bibithkosolvongse, P., Muangjunburee P. 2016. Fatigue Life  
Estimates of Surface Welding x111-T5-K4 and E71T-1CH8/T/9M-  
D Flux Core Wire. Journal of Engineering and Applied Science  
11 (7): 1623-1627.

Meengam, C., Chainarong, S., Sitthipong, S., Tehyor M.,  
Muangjunburee, P., 2016. A Comparative Study: Life Extension  
of Weld Surfacing of AISI 4340 High Tensile Strength Low Alloy  
Steel. Journal of Engineering and Applied Science 11 (7): 1644-  
1649.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A., Meengam C.  
2017. Abrasive Wear Behavior of Surface Hardfacing on  
Propeller Shafts AISI 4140 Alloy Steel. Mater today xx (xx): xx-  
xx.

Sitthipong, S., Towatana, P., Sitticharoenchai, A., Meengam C.  
2016. Failure Analysis of Metal Alloy Propeller Shafts. Mater  
today xx (xx): xx-xx.

### (3) การเผยแพร่ด้วยวิธีการอื่น

โครงการบริการวิชาการปี 2560 ชื่อโครงการ การจัดการทรัพยากรทะเล  
และชายฝั่ง : การอบรมเชิงปฏิบัติการในการบำรุงรักษาและซ่อมบำรุง  
เครื่องยนต์ติดท้ายเรือประมงพื้นบ้าน หมู่บ้านประมง ชุมชนเก้าเส้ง อำเภอ  
เมือง จังหวัดสงขลา

ร่างมาตรฐานอาชีพ เครื่องกลเรือ งานตรวจรับงวด 3 และบางส่วนของ  
เนื้อหาอาชีพในการจัดทำประชาพิเคราะห์

ฐานข้อมูลสำหรับสืบค้นงานวิจัย นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัย  
<http://stdb.most.go.th> และ <http://expertfinder.nrms.go.th>