

การเปรียบเทียบอายุการล้าของผิวเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์  
Inert X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4  
A Comparative Study of Fatigue Life of Surface Welding  
X111-T5-K4 and E110T5-K4H4 Flux Cored Wire

ศิวะ ลิทธิพงษ์<sup>1\*</sup> ประวิทย์ ไตว์ฒนะ<sup>1</sup> อำนวย ลิทธิเจริญชัย<sup>1</sup> และ ประกาศ เมืองจันทร์บุรี<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90110

บทคัดย่อ

เพลายาจักรที่ชำรุดจากการล้าจะถูกซ่อมแซมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ อายุการใช้งานหลังผ่านการเชื่อมซ่อมขึ้นกับขีดจำกัดความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอก งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานต่อการล้าของลวดเชื่อมพอกผิวสองชนิดที่ต่างกันด้วยกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมแบบเดียวกัน จากการศึกษาวิจัยที่ความเค้นล้า 517 MPa ซึ่งอยู่ในช่วงขอบเขตการวิบัติพบว่า การเชื่อมซ่อมเพลายาจักรด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ให้อายุการใช้งานใกล้เคียงกับเกรด E110T5-K4H4 แต่มีต้นทุนในการเชื่อมซ่อมต่ำกว่าถึง 35 บาทต่อกิโลกรัมลวดเชื่อม ทำให้ต้นทุนการซ่อมบำรุงรวมลดลง 68,250 บาทต่อปี

**คำสำคัญ:** เรือกอลและท้ายตัด กรรมวิธีการเชื่อมซ่อม ผิวเชื่อมพอก อายุความล้า

Abstract

The damaged propeller shafts caused by the fatigue failure will be repaired by shield metal arc welding process. The service life depends on fatigue endurance limit of welding surface. This study was aimed to compare the fatigue resistance of two types of hard facing electrodes using the same arc welding repair process. The investigation of fatigue stress at 517 MPa in failure criteria showed that the propeller shafts repair by Flux core arc welding Process using electrode grade E110T5-K4H4 provided the approximate same service life as that using electrode grade X111-T5-K4 but lowered the repair costs up to thirty-five bath per kilogram electrode. As a result, the total maintenance cost decrease 68,250 baht per year.

**Keywords:** The Cut-Stem Kolek Boats; Welding Repair Process; Weld Surfacing; Fatigue Life

## 1. บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำประมงทะเลของชาวประมงชุมชน แก้วเลี้ยงชายฝั่งทะเลสาบสงขลา ส่วนใหญ่นิยมใช้เรือกอและท้ายตัดดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เรือกอและท้ายตัด

ด้วยเหตุผลอันเนื่องมาจาก ราคาเรือที่ ย่อมเยา การทรงตัวได้คล่องของเรือที่ทำได้ดี ลักษณะตัวเรือตันจึงทำให้พลิกคว่ำยาก ความคล่องตัวในการบังคับขับเคลื่อนมีสูง ลำเรือมีขนาดเล็ก ล้น น้ำหนักเบา และใช้คนเพียง 2-3 คนก็สามารถ ออกทะเลทำการประมงได้ ปัญหาเรือร้างที่อยู่คู่กับการใช้งานเรือกอและท้ายตัดมาโดยตลอดคือ ปัญหาการชำรุดของเพลลาใบจักรเรือ (ศิวะ สิทธิพงศ์ และคณะ, 2558) กรณีที่ชำรุดร้ายแรงชาวประมง จะไม่สามารถนำเรือออกทะเลได้ ส่งผลกระทบต่อ รายได้ความเป็นอยู่ของชาวประมง ส่วนการชำรุดของเพลลาใบจักรเรือในกรณีที่ไม่ร้ายแรง อาทิ การสึกหรอหรือการสึกกร่อน จะทำให้การส่งถ่ายกำลัง การเคลื่อนที่ของเรือเป็นไปอย่างขาดประสิทธิภาพ เครื่องยนต์มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ต่อหนึ่งหน่วยระยะทางเพิ่มขึ้นและเครื่องยนต์ ก่อปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล (เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์ และคณะ, 2557) การลงพื้นที่

สำรวจเพื่อเก็บข้อมูลการชำรุดเชิงสถิติของเพลลา ใบจักรเรือซึ่งทำจากเหล็กกล้าผสมต่ำเกรด SCM 440 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีแสดงในตารางที่ 1 (Thamizhmanii & Hasan, 2011) คณะวิจัย สามารถจำแนกประเภทของการชำรุดได้เป็นสอง ประเภท ประเภทแรกพบมาก คือการชำรุดเล็กน้อย เพลลาใบจักรจะยังสามารถใช้การต่อไปได้อีกสัก ระยะเวลาหนึ่ง และเพลลามีสัญญาณเตือนบ่งบอก ถึงความเสื่อมสภาพเป็นระยะ ๆ ส่วนประเภทที่สอง เป็นการชำรุดแบบร้ายแรงและฉับพลัน ได้แก่ การ หักหรือขาดของเพลลาอย่างทันทีทันใด เกิดขึ้นเฉลี่ย ปีละ 2 ครั้งต่อหนึ่งลำเรือ ซึ่งเป็นไปตามกลไกของ การล้า (George, 1993) เมื่อเพลลาชำรุดชาวประมง จะซ่อมโดยใช้กรรมวิธีการเชื่อมพอกผิวด้วยการ เชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมชนิดหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding Process) อายุของเพลลาใบ จักรที่ผ่านการเชื่อมซ่อมที่ผ่านมานั้นไม่น่าพอใจ ความเป็นไปได้ว่าการเชื่อมซ่อมที่ใช้อยู่ไม่ถูกวิธีนี้ ทำให้เพลลาใบจักรหลังผ่านการเชื่อมซ่อมมีอายุ การใช้งานสั้น (ศิวะ สิทธิพงศ์ และคณะ, 2558) ชาวประมงต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง อยู่บ่อยครั้ง ทำให้ต้นทุนในการทำประมงสูง ซึ่ง ทางคณะวิจัยเล็งเห็นความสำคัญจึงได้ศึกษาวิจัย ปรับปรุงกรรมวิธีการเชื่อมซ่อม พบว่ากรรมวิธี การเชื่อมมิกแมกเดมด้วยลวดเชื่อมไร้ฟลักซ์เกรด E110T5-K4H4 สามารถยืดอายุการใช้งานเพลลา ใบจักรได้ยาวนานกว่ากรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วย ลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ เกรด E11018-GH4R ถึง 2.5 เท่า จากการทบทวนผลงานวิจัยที่ผ่านมา (ศิวะ สิทธิพงศ์และคณะ, 2554) ผลการทดลองชี้ชัดว่า อายุการใช้งานของเพลลาใบจักรนอกจากจะขึ้นกับ กรรมวิธีการเชื่อมซ่อมแล้วยังถูกจำกัดด้วยความ แข็งแรงของเนื้อเชื่อม ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบอายุการล้าของผิวเชื่อมพอกที่ได้จากกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ที่แตกต่างกันสองชนิดระหว่างลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 กับเกรด E110T5-K4H4

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมทางเคมีของเหล็ก SCM 440 (Thamizhmanii & Hasan, 2011)

| Element | C    | Mn   | Cr   | Mo   |
|---------|------|------|------|------|
| Content | 0.35 | 0.75 | 0.75 | 0.15 |
| % wt    | to   | to   | to   | to   |
|         | 0.43 | 1.00 | 0.80 | 0.25 |

งานวิจัยนี้มีความต่างจากงานวิจัยก่อนหน้า โดยงานวิจัยก่อนหน้าเป็นการเปรียบเทียบความแข็งแรงล้าของผิวเชื่อมพอกที่ได้จากกรรมวิธีการเชื่อมที่แตกต่างกัน 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ กรรมวิธีการเชื่อมมิกแมก และกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ ซึ่งให้ผลสรุปว่าผิวเชื่อมพอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ให้สมบัติต้านทานการล้าที่ดีที่สุด (ศิวะ สิทธิพงศ์ และคณะ, 2554) แต่งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อยอดที่ศึกษาถึงประสิทธิภาพและราคาต้นทุนการเชื่อมซ่อมด้วยกรรมวิธีการเชื่อมที่เหมือนกันคือกรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ โดยใช้ลวดเชื่อมต่างเกรดกัน ทำให้ได้ผิวเชื่อมพอกที่มีส่วนผสมทางเคมีแตกต่างกันด้วย ทั้งนี้ทำไปเพื่อสามารถประเมินความคุ้มค่าในการพิจารณาเลือกใช้ลวดเชื่อมซ่อมให้ได้อายุการใช้งานของผิวเชื่อมพอกคุ้มค้ำกับราคาที่ลุด และสาเหตุเลือกที่ใช้ลวดเชื่อม X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4 ในการศึกษาวิจัย เนื่องจากลวดเชื่อมทั้งสองเกรดนี้

มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับวัสดุเนื้อเดิมของเพลลา ซึ่งดีโนแงโลหะวิทยาการเชื่อม เนื้อเชื่อมพอกหลอมละลายกับเนื้อเพลลาเดิมค่อนข้างเป็นเนื้อเดียวกัน และส่วนผสมของโครเมียมและโมลิบดีนัมยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการสึกหรอและการคืบที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย นอกจากนี้ลวดเชื่อมเหล่านี้หาซื้อไม่ยากเกินไป และราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับลวดเชื่อมประเภทเดียวกัน

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การสร้างผิวเชื่อมพอก

สร้างผิวเชื่อมพอกจากกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-K4H4 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 ด้วยการตัดเหล็กกล้าผสมวัสดุทำเพลลา ขนาดหน้าตัด 3 นิ้วหนา 6 มิลลิเมตร เป็นรูปตัว C ขนาดเท่า ๆ กัน ทั้งหมด 26 ท่อน ความยาวท่อนละ 26 เซนติเมตร ทำการเชื่อมพอกในร่องเหล็กซึ่งเนื้อเชื่อมสูง 20 เซนติเมตร ด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-K4H4 ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2 ตามพารามิเตอร์ควบคุมที่แสดงในตารางที่ 3 โดยแต่ละชั้นของแนวเชื่อมจะเชื่อมสลับฟันปลา มีการให้เวลาเย็นตัวที่สม่ำเสมอและมีการเคาะสแลกที่ปกคลุมแนวเชื่อมทุกครั้งก่อนเชื่อมแนวถัดไป โดยก่อนและหลังการเชื่อมต้องอุ่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และ 550 องศาเซลเซียส (ณรงค์ฤทธิ์ โทธรัตน์, 2546) ตามลำดับเพื่อไล่ไฮโดรเจนและคลายความเค้นตกค้างให้กับชิ้นงานเชื่อม (Liu, 1993) โดยผิวเชื่อมพอกที่เตรียมจากกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-

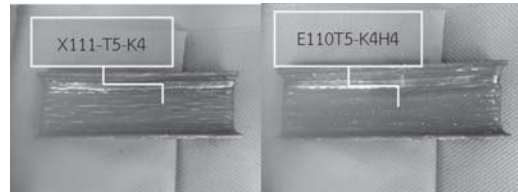
K4H4 มีจำนวนอย่างละ 13 ท่อน ท่อนแรกถูกนำไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค และ 12 ท่อนที่เหลือถูกนำไปทำชิ้นงานทดสอบความแข็งแรง ล้ำ ตัวอย่างผิวเชื่อมพอกที่เตรียมจากลวดเชื่อมพอกไส้ฟลักซ์ ทั้งสองชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ (Kobelco Welding Handbook, 2010)

| ชนิดของธาตุผสม | % ของธาตุผสมในลวดเชื่อม |             |
|----------------|-------------------------|-------------|
|                | X111-T5-K4              | E110T5-K4H4 |
|                | (Weight %)              | (Weight %)  |
| C              | 0.06                    | 0.05        |
| Mn             | 1.45                    | 1.40        |
| Si             | 0.45                    | 0.60        |
| Mo             | 0.45                    | 0.50        |
| Ni             | 2.20                    | 2.40        |
| Cr             | 0.50                    | 0.50        |
| S              | 0.025                   | 0.015       |
| P              | 0.025                   | 0.005       |



รูปที่ 2 การสร้างผิวเชื่อมพอกด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์



รูปที่ 3 ตัวอย่างผิวเชื่อมพอกจากกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-K4H4

ตารางที่ 3 ตัวแปรสำหรับกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์

| ตัวแปร             | หน่วย | กรรมวิธีการเชื่อมมิกแมก |      |
|--------------------|-------|-------------------------|------|
|                    |       | A1                      | A2   |
| ชนิดของลวดเชื่อม   |       | A1                      | A2   |
| ขนาดลวดเชื่อม      | mm    | 1.2                     | 1.2  |
| กระแสที่ใช้เชื่อม  | A     | 140                     | 220  |
| แรงดันที่ใช้เชื่อม | V     | 24.5                    | 25   |
| ความเร็วเดินเชื่อม | m/min | 0.15                    | 0.3  |
| ความร้อนป้อนเข้า   | kJ/mm | 1.37                    | 0.92 |

หมายเหตุ: A1: ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4  
A2: ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E110T5-K4H4

## 2.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

นำผิวเชื่อมพอกที่ได้จากกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-K4H4 ในรูปที่ 3

ตัดและไสเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดกว้างคูณยาว 12.5 x 226 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปกลึง CNC ให้ได้ชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.18 มิลลิเมตร ยาว 226 มิลลิเมตร ปลายสองข้างตักปาด 45 องศา 1 มิลลิเมตร โดยที่ระยะ 65 มิลลิเมตร วัดจากปลายสองข้างทำปาดโค้งรัศมี 30 ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยจะได้จำนวนชิ้นงานทั้งหมด 72 ชิ้น



รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงล้า

### 2.3 การทดสอบความแข็งแรงล้า

นำชิ้นงานทดสอบทั้ง 72 ชิ้นที่ได้จากกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ทั้งสองชนิดที่แตกต่างกันไปทดสอบความต้านทานต่อการล้าตามมาตรฐาน ASTM E739-91 ซึ่งใช้ชิ้นงานทดสอบ 6 ชิ้นงานทดสอบต่อ 1 ค่าน้ำหนัก ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงล้าแบบคานหมุนของบริษัท Ratnakar Enterprise ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีความเร็วรอบในการหมุน 4,200 รอบต่อนาที



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงล้าแบบคานหมุน

ในการทดสอบความแข็งแรงล้าได้ให้ภาชนะน้ำหนักแก่คานเพื่อสร้างค่าโมเมนต์ดัดก่อเกิดความเค้นปกติแก่ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 4 ในการทดสอบได้ทดสอบชิ้นงานจากทั้ง 2 กรรมวิธีการเชื่อม โดยชิ้นงานจากแต่ละกระบวนการเชื่อม

จะเปลี่ยนน้ำหนักทดสอบ 6 ค่า แต่ละค่าทดสอบ 6 ตัวอย่าง กระทั่งขาด หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลการทดลองได้ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนัก โมเมนต์ดัด และความเค้นปกติที่ใช้ในการทดสอบ

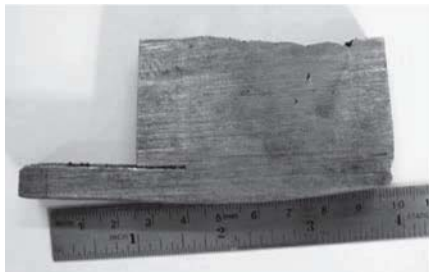
| น้ำหนัก (N) | โมเมนต์ดัด (N.m) | ความเค้นปกติ (MPa) |
|-------------|------------------|--------------------|
| 345.116     | 1.759            | 350                |
| 413.197     | 2.106            | 400                |
| 493.051     | 2.513            | 500                |
| 509.924     | 2.599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

ตารางที่ 5 ค่าความเค้นที่ใช้ในการทดสอบและจำนวนรอบที่ชิ้นงานทดสอบขาด

| ค่าความเค้นที่ใช้ในการทดสอบ (MPa) | จำนวนรอบที่ขาดของลวดเชื่อมเกรด X111-T5-K4 (Cycle) | จำนวนรอบที่ขาดของลวดเชื่อมเกรด E110T5-K4H4 (Cycle) |
|-----------------------------------|---|--|
| 350                               | 1,465,168   | 1,467,630  |
| 400                               | 802,983   | 804,931  |
| 500                               | 104,765   | 105,401  |
| 517                               | 94,509  | 96,724   |
| 600                               | 46,832  | 49,008   |
| 700                               | 11,860  | 15,763   |
| 800                               | 1,045   | 1,710  |

## 2.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ตัดชิ้นงานจากผิวเชื่อมพอกที่เตรียมไว้สำหรับการศึกษาโครงสร้างจุลภาคหนาประมาณ 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 6 หลังจากนั้นหล่อด้วยเรซินโดยใช้อัตราส่วนผสมของเรซินและตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วน 5:1 รอจนกระทั่งเรซินแห้ง



รูปที่ 6 ชิ้นงานเชื่อมที่ตัดมาดูโครงสร้างจุลภาค

ขัดชิ้นทดสอบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80 120, 180, 360, 600, 800 และ 1,200 ตามลำดับ นำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที ขัดชิ้นทดสอบด้วยผ้าสักหลาดที่มีผงอลูมินาขนาดอนุภาค 5 และ 1 ไมครอน ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 แล้วนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้ง นำชิ้นทดสอบมากัดผิวหน้าด้วยสารละลาย ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังนี้ กรดไนตริก 5 มิลลิลิตร และน้ำ 190 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 10 วินาที ล้างด้วยน้ำ และทำให้แห้ง ทำการถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบบริเวณต่างๆ ที่สำคัญด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) และเก็บผลเพื่อวิเคราะห์

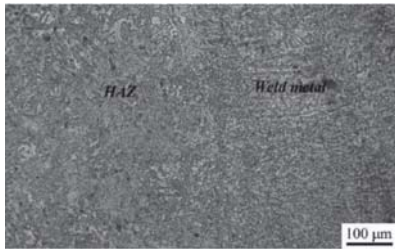


รูปที่ 7 การขัดชิ้นงานด้วยผงอลูมินา

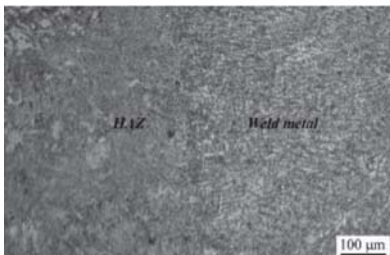
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

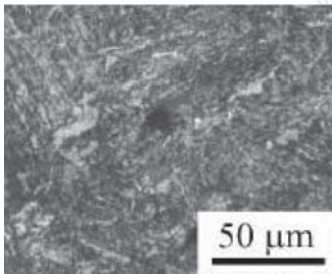
โครงสร้างทางจุลภาคของผิวเชื่อมพอกลดเชื่อมใส่ปลั๊กทั้งสองชนิด บริเวณกระทบร้อนให้ขนาดเกรนใกล้เคียงกันและขนาดเกรนไม่แตกต่างกันจากบริเวณเนื้อโลหะเดิมมาก (Kou, 2003) ดังแสดงในรูปที่ 8 ถึง 11 โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมประกอบด้วยโครงสร้าง Acicular Ferrite (AF) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังพบโครงสร้างประเภท Polygonal Ferrite (PF) และโครงสร้างประเภท Widmanstätten Ferrite (WF) ดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลนี้ Magudeeswaran ได้อธิบายไว้ใน (Magudeeswaran et al, 2008) ว่าความร้อนในการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวจะมีผลกระทบต่อลักษณะรูปร่าง (Morphology) ได้แก่ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของเฟอไรต์ และเฟอไรต์จะมีขนาดเกรนละเอียดเมื่อพลังงานในการเชื่อมและอัตราการเย็นตัวลดลง ปริมาณของ Acicular Ferrite (AF) สามารถต้านทานต่อการล้าของผิวเชื่อมพอกเนื่องจากโครงสร้างเฟอไรต์รูปเข็มจัดเรียงสลับกันทำให้มีความแข็งแรงสูง (Muengjumburee, 2007)



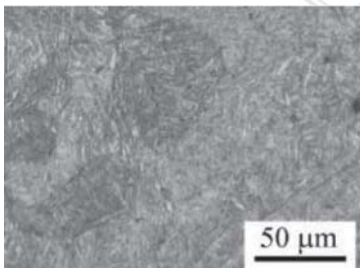
รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเส้นหลอมละลายของ  
ลวดเชื่อม X111-T5-K4



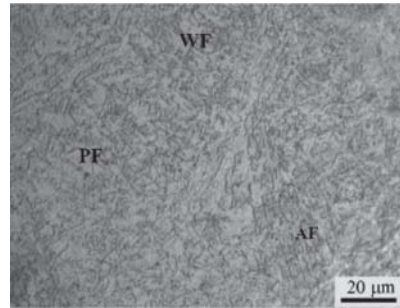
รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเส้นหลอมละลายของ  
ลวดเชื่อม E110T5-K4H4



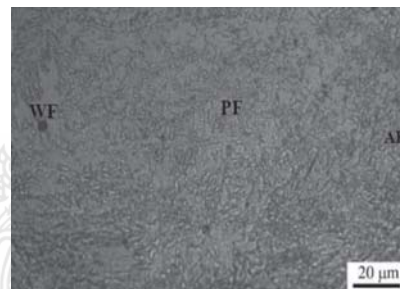
รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อนของ  
ลวดเชื่อม X111-T5-K4



รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณกระทบร้อนของ  
ลวดเชื่อม E110T5-K4H4



รูปที่ 12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของลวด  
เชื่อมไส้ฟลักซ์ X111-T5-K4



รูปที่ 13 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมของลวด  
เชื่อมไส้ฟลักซ์ E110T5-K4H4

### 3.2 ผลการทดสอบอายุการล้า

อายุการล้าในตารางที่ 5 เมื่อนำมาวิเคราะห์ ประกอบกับค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นกับเพลลาไบ จักรของเรือกอและท้ายตัดซึ่งรับกำลังขับจาก เครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อฮันมาร์ 1 สูบนอน ขนาด 11 แรงม้า ในสภาวะการทำงานที่ยังผลความเค้น แอมพลิจูดขนาด 517 เมกะปาสคาล (Chainarong et al, 2015) พบว่ากรรมวิธีการเชื่อมมิกแมกด้วย ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ให้อายุการ ล้าที่ 94,509 รอบวัฏจักร กรรมวิธีการเชื่อมมิก แมกด้วยลวดเชื่อม ไส้ฟลักซ์เกรด E110T5-K4H4 ให้อายุการล้าที่ 96,724 รอบวัฏจักร ซึ่งใกล้เคียง กันมาก แต่ต้นทุนในการเชื่อมซ่อมแตกต่างกันถึง 35 บาทต่อกิโลกรัม

เพลลาใบจักรยาวของเรือประมงทะเลพื้นบ้าน “กอและท้ายตัด” ชุมชนเก่าแก่วัด บริเวณริมชายฝั่ง ทะเลสาบสงขลา มีจำนวนทั้งสิ้น 65 ชุด เมื่อทำการ เชื่อมซ่อมพอกผิวด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิกแมก ด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และ เกรด E110T5-K4H4 และคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่าย ในการซ่อมบำรุงรอบปี พบว่าต้นทุนในการซ่อม บำรุงด้วยลวดเชื่อมพอกทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ถึง 68,250 บาท โดยอ้างอิงข้อมูลสถิติการชำรุด ของเรือกอและท้ายตัดทั้ง 65 ลำ ในช่วง สิงหาคม 2557 ถึง สิงหาคม 2558 โดยในการประเมินเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้ลวดเชื่อมพอกที่เหมาะสมสำหรับ เชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาใบจักรเรือกอและท้ายตัด คณะผู้วิจัยพิจารณาจากอายุการใช้งานของเพลลา ภายหลังผ่านการเชื่อมซ่อม ควบคู่กับราคาต้นทุนใน การเชื่อมซ่อม ตามข้อมูลปฐมภูมิ ประวัติการซ่อม บำรุงเรือกอและท้ายตัดในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประวัติการซ่อมบำรุงเรือกอและท้ายตัด

| พื้นที่เก็บข้อมูลปฐมภูมิ  | หาดเก่าแก่วัดสงขลา |
|---|--------------------|
| ช่วงเวลาของข้อมูล   | ปี 2557-2558       |
| จำนวนเรือที่ใช้การในรอบปี   | 65 ลำ              |
| เพลลาชำรุดในระดับร้ายแรง  | 2 ครั้ง/ลำ/ปี      |
| ปริมาณเฉลี่ยของลวดเชื่อมพอก สำหรับการซ่อมบำรุงเพลลาเรือ                       | 15 กิโลกรัม/ ครั้ง |
| ราคาลวดเชื่อม X111-T5-K4  | 210 บาท/ กิโลกรัม  |
| ราคาลวดเชื่อม E110T5-K4H4   | 245 บาท/ 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          |
| ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการซื้อลวด เชื่อมซ่อม X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4 /65ลำ/ปี  | 68,250 บาท         |
| ค่าใช้จ่ายแตกต่างในการซื้อลวด เชื่อมซ่อม X111-T5-K4 และ E110T5-K4H4 /65ลำ/5ปี | 341,250 บาท        |



ทั้งนี้การเชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาใบจักรด้วย ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 มีราคาต่อ 210 บาทต่อกิโลกรัม ส่วนการเชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาใบจักรด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E110T5-K4H4 มีราคาต่อ 245 บาทต่อกิโลกรัม จากสถิติการซ่อมบำรุงเฉลี่ยปีละ 2 ครั้งต่อหนึ่งลำเรือ การเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อม ไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเพลลาใบจักรโดยรวมลดลง 68,250 บาทต่อปี คิดเป็น 16.67 % ของต้นทุนซ่อมบำรุงเพลลาใบจักรทั้งหมดในรอบปี

ผลการศึกษาเปรียบเทียบอายุการล้าและค่าใช้จ่ายในการเชื่อมซ่อมด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 และเกรด E110T5-K4H4 ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมแมก สามารถช่วยในการประเมินเลือกใช้ลวดเชื่อมซ่อมพอกผิวเพลลาใบจักรได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสูงเพราะใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวนมากพอตามมาตรฐานการทดสอบเชิงสถิติ (Schneider and Maddox, 2003) โดยอายุความล้าของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E110T5-K4H4 ที่ได้จากการทดลอง สอดคล้องกับงานวิจัยของคณะผู้วิจัยที่ทำมาก่อนหน้านี้ (Sitthipong, 2010)

#### 4. สรุป

กรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 เป็นกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพลลาแบบใหม่ที่ควรถูกพิจารณานำมาใช้แทน

กรรมวิธีการเชื่อมแมกแบบเดิมซึ่งใช้ลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด E110T5-K4H4 เพราะผลการทดลองชี้ชัดว่าผิวเชื่อมพอกจากลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ทั้งสองเกรดให้โครงสร้างจุลภาคและสมบัติการต้านทานต่อการล้าดีใกล้เคียงกันแต่กรรมวิธีการเชื่อมแมกด้วยลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์เกรด X111-T5-K4 สามารถลดต้นทุนในการเชื่อมซ่อมได้ถึง 35 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งคุ้มค่ากว่าเมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมควบคู่กับประสิทธิภาพในการยืดอายุการใช้งานหลังผ่านการเชื่อมซ่อม โดยข้อมูลนี้จะถูกถ่ายทอดไปยังชุมชนประมงต้นแบบเพื่อเริ่มปรับปรุงกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมยืดอายุของเพลลาใบจักรให้ใช้งานได้อย่างคุ้มค่า

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการทดลองวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโปรแกรมวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และได้รับการสนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบอายุการล้าจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ซึ่งทางคณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

## 6. เอกสารอ้างอิง

เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์, เนรมิต กระแสร์ลม, ปิติฉัตร ตริวงศ์, วิโรจน์ พุทธวิถิ และ ประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ. (2557). การทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เรือประมงขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลปี 5 และปี 20. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 หน้า 18-28.

ณรงค์ฤทธิ์ โทธรัตน์ และ ตะวัน สุจริตกุล. (2546). อิทธิพลของการให้ความร้อนก่อนและหลังการเชื่อมบริเวณผลกระทบจากความร้อนต่ออัตราการขยายตัวของรอยแตกจากความล้าของเหล็กเกรด AISI 4340. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17. ปราจีนบุรี.

ศิวะ สิทธิพงศ์, ชัยยุทธ มิงงาม และ ประภาศ เมืองจันทร์บุรี. (2554). การเปรียบเทียบกรรมวิธีการเชื่อมซ่อมเพื่อยืดอายุการใช้งานของเพลาสวิง. วารสารการเชื่อมไทย ฉบับที่ 54 หน้า 11-18.

ศิวะ สิทธิพงศ์, ประวิทย์ ไตว์ฉนะ, อำนาจ สิทธิเจริญชัย และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงค์. (2558). ขอบเขตการวิบัติและความแข็งแรงล้าของเพลาทายยาวเรือกอกและท้ายตัด. การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 3, มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น. หน้า 916-926.

ศิวะ สิทธิพงศ์, ประวิทย์ ไตว์ฉนะ, อำนาจ สิทธิเจริญชัย และ ประวิทย์ พิพิธโกศลวงค์. (2558). การปรับปรุงกระบวนการเชื่อมซ่อมเพลาล้อจักรเรือทายยาว. งานประชุม

วิชาการระดับชาติ “พัทลุงศึกษา ภูมิปัญญาชุมชน ลุ่มน้ำทะเลสาบ” ครั้งที่ 1 วิทยาลัยภูมิปัญญาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง.

Chainarong S. Sitthipong S. & Meengam C. (2015). Failure analysis of long tail shaft in the power transmission system of fishing boat. International Conference. Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand. Paper no. SO-024.

George F. Vander Voort. (1993). Fatigue Fractures: Visual Examination and Light Microscopy, in Fractography, ASM Handbook, vol. 12 pp. 215-236.

Kou S. (2003). Austenite to ferrite transformation in low-carbon, low-alloy steel welds in Welding Metallurgy, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York pp. 232-239.

Liu S. (1993). Weldability of Steel: Characteristic Feature of Welds in Properties and Selection: Irons Steel and High Performance Alloys, ASM Handbook, vol. 1, pp. 1408-1410.

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.

Magudeesawaran, G. & Balasubramanian, V. and Madhusudhan R. (2008). Effect of welding processes and consumables on high cycle fatigue life of high

- strength, quenched and tempered steel joints. *Journal of Materials Processing Technology* 29: 1821-1827.
- Schneider C., & Maddox S. (2003). *Best Practice guide on statistical analysis of fatigue data*. International institute of welding. TWI. Granta Park. Great Abington. Cambridge, UK.
- Sitthipong S, Muangjunburee P, Dechwayukul C., & Totarat, N. (2010). Fatigue life assessment of weld surfacing of AISI 4340. *International Welding Congress*. Welding Institute, Bangkok, Thailand Vol. 52, pp. 467-471.
- Thamizhmanii S. and Hasan S. (2011). *Machinability of Hard Martensitic Stainless Steel and Hard Alloy Steel by CBN and PCBN Tools by Turning Process*. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. London, U.K.
- Welding Handbook. (2010). Kobelco welding division. Kobe Steel, LTD.

