



การศึกษาการซ่อมแซมลำเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116
The Study of 5083-H116 Aluminum Hull Repairing

พงศ์ศักดิ์ ลิ้มโอฬารสุขสกุล
Pongsak Limolansuksakul

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial Management
Prince of Songkla University

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการซ่อมแซมลำเรืออูมูนิเยมเกรด 5083-H116
ผู้เขียน นายพงศ์ศักดิ์ ลิ้มโอฬารสุขสกุล
สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.องุ่น สังขพงศ์)

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชเนศ รัตนวิไล)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.องุ่น สังขพงศ์)

.....กรรมการ
(ดร.กนิษฐ์ ตะปะสา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
อุตสาหกรรม

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการซ่อมแซมลําเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116
ผู้เขียน	นายพงศ์ศักดิ์ ลิ้มโอฬารสุขสกุล
สาขาวิชา	การจัดการอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมในการซ่อมแซมลําเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116 โดยศึกษา 3 ปัจจัยคือ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม (มี 4 ระดับคือ น้อยกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปีและ ระหว่าง 49-50 ปี) เกรดของอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซม (มี 3 เกรดคือ 5083-H116 5083-H112 และ 5086-H112) และกระแสเชื่อม (มี 2 ชนิดคือ กระแสพัลส์และกระแสมาตรฐาน) วิธีการทดลองทำการสุ่มแบบสมบูรณ์ที่สภาวะการเชื่อม 24 สภาวะ การทดลองแต่ละสภาวะกระทำซ้ำ 3 ครั้ง และทำการบันทึกค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมสำหรับการวิเคราะห์ผล ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยเทคนิค ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ปัจจัยหลักคือ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม และเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซมจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซมยิ่งมาก ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมยิ่งลดลง และการใช้อลูมิเนียมเกรดที่ต่างกันมาซ่อมแซมจะได้ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่ต่างกัน การใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 5083-H112 และ 5086-H112 มาซ่อมแซมจะได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดลงตามลำดับ การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซมและเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมอย่างชัดเจนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 งานวิจัยพบว่า การซ่อมแซมเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ที่มีอายุต่ำกว่า 10 ปี ควรใช้อลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ซ่อมแซม สำหรับเรือที่มีอายุระหว่าง 10-30 ปี ควรใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ซ่อมแซม และเรือที่มีอายุมากกว่า 30 ปี ควรใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซม ทั้งนี้เกณฑ์ที่นำมาใช้พิจารณา คือ ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม มีค่าผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำสุดของมาตรฐานการตรวจสอบการเชื่อมเรืออลูมิเนียมของสถาบันการตรวจสอบแห่งอเมริกา (ABS) และมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ ในงานวิจัยนี้

Thesis Title The Study of 5083-H116 Aluminum Hull Repairing
Author Mr. Pongsak Limolansuksakul
Major Program Industrial Management
Academic Year 2010

Abstract

The objective of this research was to investigate the affect of three effects (boat age, aluminum grade, and welding current) on tensile strength of welding canal when the 5083-H116 aluminum hull was repaired. Four levels of boat age (less than 1 year, between 9-10 years, between 29-30 years, and between 49-50 years), three levels of aluminum grade (5083-H116, 5083-H112, and 5086-H112), and 2 levels of welding current (pulse, and standard) were specified as the independent variables. The completely randomized experiment was carried out on twenty four experimental conditions. The tensile strength of 3 welding canals from each experimental condition were tested and recorded as the output data. The ANOVA statistics was applied to analyse the data. It was found that two main effects were (boat age, and aluminum grade) significant at 0.05 level. It revealed that the tensile strength was decreasing as boat-age increased. In addition, different aluminum grade using resulted in different tensile strength. However, interaction effect (boat age and aluminum grade) was also significant at 0.05 level on received tensile strength. The research revealed that, the 5083-H116 aluminum hull with less than 10 years old could be repaired by 5086-H112 aluminum. On the other hand, 5083-H116 aluminum was suggested for 5083-H116 aluminum hull with greater than 30 years old. The criteria of the recommendation were based on required minimum tensile strength of America Bureau of Shipping (ABS) standard and optimized repairing cost.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลาย ๆ ท่าน ซึ่งขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์ ประธานที่ปรึกษา ที่คอยให้กำลังใจให้คำแนะนำ และการปรึกษาที่ดีมาตลอด ผศ.ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุรี อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำให้กำลังใจ ไม่ว่าจะในเรื่องการศึกษา เรื่องการทำวิทยานิพนธ์และสิ่งต่าง ๆ รวมทั้ง ผศ.ดร.ชเนศ รัตนวิไล ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคลและ ดร.กนิษฐ์ ตะปะสา กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาและคำแนะนำจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจน คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท Des Kearns Marine Surveyor, DKMS Australia ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย และโอกาสในการศึกษางาน

ขอขอบคุณ คุณอมร พงศรานันท์กุล หน่วยงาน American Bureau of Shipping (Thailand), ABS ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือการตรวจสอบ

ขอขอบคุณ ผู้ต่อเรือลักษณะการช่าง และผู้ต่อเรือพิทักษ์สินชัย ที่อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนพนักงานของบริษัท ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลอง และ การปฏิบัติการตามที่ต้องการทุกประการ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความรู้และโอกาสทำวิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงได้

และที่สำคัญมาก ต้องขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณยาย ที่เป็นพลังเพื่อให้ผ่านพ้นในทุกช่วงเวลาที่ยากลำบาก ตลอดมาและตลอดไป

ขอบคุณ พี่ น้อง และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้ด้วยดี และประโยชน์ใด ๆ ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแก่ผู้ที่ยกย่องให้ความช่วยเหลือและ คอยให้กำลังใจ ทุก ๆ ท่าน รวมทั้ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

พงศ์ศักดิ์ ลิ้มโอฟารสุขสกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการภาพประกอบ	(8)
รายการตาราง	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านวัสดุ	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางการตรวจสอบ	8
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางการวิเคราะห์ต้นทุน	14
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางการวิเคราะห์ทางสถิติ	16
3. วิธีการวิจัย	20
3.1 วัสดุสำหรับการวิจัย	20
3.2 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง	22
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	27
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล	39
4. ผลการทดลอง	41
4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	41
4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม	42
	(6)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. 3 ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง	47
4. 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	56
4. 5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุน	62
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	70
5.1 บทสรุป	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	76
ก ใบรับรองการสอบผ่านงานเชื่อม	77
ข เอกสารรายละเอียดการเชื่อม	80
ค ลำดับการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ	85
ง ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง	98
ประวัติผู้เขียน	171

รายการภาพประกอบ

	หน้า
1.1 สถิติจำนวนต้นกรอสของเรือที่ซ่อมแซมในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 -2548	2
2.1 มาตรฐานการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง	11
2.2 มาตรฐานการปรับแต่งชิ้นงานทดสอบค่าความต้านทานค่าแรงดึง	12
2.3 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก	13
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2 เครื่องเชื่อมมีกกระแสนมาตรฐานและรายละเอียด (ก) เครื่องเชื่อมมีก แบบกระแสนมาตรฐานและ (ข) รายละเอียดเครื่องเชื่อม	22
3.3 เครื่องเชื่อมมีกกระแสพัลส์และรายละเอียด (ก) เครื่องเชื่อมมีกแบบกระแสพัลส์และ (ข) รายละเอียดเครื่องเชื่อม	23
3.4 อุปกรณ์สำหรับเชื่อม (ก) ท่อนำลวดเชื่อมแบบพลาสติก และ (ข) Welding Torch แบบคอยาว	24
3.5 อุปกรณ์สำหรับเจียรไน (ก) เครื่องเจียรและ (ข) ใบเจียร	24
3.6 ลวดเชื่อม ER5356	25
3.7 เครื่องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Universal Testing Machine)	25
3.8 เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer, OES) (ก) เครื่องตรวจสอบ OES และ (ข) จอแสดงผลของเครื่อง OES	26
3.9 แสดงชุดอุปกรณ์ของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) (ก) เครื่อง Optical Microscope และ (ข) จอแสดงผลของ Optical Microscope	26
3.10 ขนาดการเตรียมชิ้นงานสำหรับเชื่อมทดสอบ	27
3.11 แสดงตำแหน่งการตัดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง	28
3.12 ชิ้นงานทดสอบก่อนการเชื่อม	29
3.13 ชิ้นงานทดสอบภายหลังการเชื่อม	29
3.14 ขนาดของชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (OES) (ก) ขนาดการตัดชิ้นงานทดสอบและ (ข) ภาพชิ้นงานก่อนการทดสอบ	32
3.15 ชิ้นงานภายหลังการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี (Spectrometer)	33

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
3.16	ชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) 34
	(ก) ตำแหน่งการตัดชิ้นงานทดสอบ (ข) ขนาดการตัดชิ้นงานทดสอบ
	(ค) ภาพชิ้นงานก่อนหล่อเรซินและ (ง) ภาพชิ้นงานภายหลังการหล่อเรซิน
3.17	ภาพการขัดชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค 35
	(ก) การขัดผิวหยาบและ (ข) การขัดผิวละเอียด
3.18	แสดงการถ่ายภาพชิ้นงานบนกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) 36
	(ก) เครื่อง Optical Microscope และ (ข) จอแสดงผลของ Optical Microscope
3.19	แสดงการทดสอบการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่โดยโปรแกรม อิมเมจทูล (image tool) 37
	(ก) พื้นที่สีดำ 100% (ข) พื้นที่สีดำ 25% (ค) พื้นที่สีดำ 50% และ (ง) พื้นที่สีดำ 75%
3.20	ชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Test) 38
	(ก) ตำแหน่งการตัดชิ้นงานทดสอบ (ข) ขนาดการตัดชิ้นงานทดสอบ
	(ค) ภาพชิ้นงานก่อนการตกแต่งและ (ง) ภาพชิ้นงานสำหรับทดสอบ
	ค่าความต้านทานแรงดึง
4.1	การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 44
	5083-H116 ด้วยกระแสพัลส์ (ก) ภาพการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ
	(ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม
4.2	การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 44
	5083-H116 ด้วยกระแสมาตรฐาน (ก) ภาพการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ
	(ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม
4.3	การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 45
	5083-H112 ด้วยกระแสพัลส์ (ก) ภาพการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ
	(ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ด้วยกระแสนิวตรอน (ก) ภาพการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม	45
4.5 การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ด้วยกระแสนิวตรอน (ก) ภาพการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม	46
4.6 การตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ด้วยกระแสนิวตรอน (ก) ภาพการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม	46
4.7 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ช่วงอายุต่างๆ โดยแบ่งตามวิธีการซ่อมแซม	49
4.8 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของเรือ (เนื้อ โลหะ) ที่ช่วงอายุต่างๆ	51
4.9 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม แบ่งตามอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม	52
4.10 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม แบ่งตามเกรดอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม	53
4.11 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม แบ่งตามกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม	54
4.12 ตำแหน่งขาดของชิ้นงานทดสอบแสดงรูปด้านบน	55
4.13 ตำแหน่งขาดของชิ้นงานทดสอบแสดงรูปด้านข้าง	55
4.14 การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างเกรดของอลูมิเนียมซ่อมแซมและอายุเรือ ที่นำมาซ่อมแซม	59

รายการตาราง

	หน้า	
2-1	แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม เกรด 5083 และ 5086	8
2-2	ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA Table)	18
3-1	ตารางแสดงสมบัติทางกลของอลูมิเนียม	21
3-2	แสดงค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของแนวเชื่อมอลูมิเนียม	22
3-3	สภาวะการทดลอง	30
4-1	ผลการวิเคราะห์ห้อยประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมที่ถูกกัดกร่อนในน้ำทะเล	42
4-2	การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค	47
4-3	อัตราส่วนที่ลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานแรงดึงของเนื้ออลูมิเนียม	48
4-4	ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	59
4-5	ต้นทุนของอลูมิเนียมเกรดต่างๆ	62
4-6	ต้นทุนที่แปรผันตามรูปแบบการซ่อมแซมแบ่งตามรูปแบบกระแสเชื่อม	63
4-7	ต้นทุนค่าเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับซ่อมแซม	63
4-8	ค่าเฉลี่ยต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าของการเชื่อมแบบกระแสพัลส์และกระแสมาตรฐาน	64
4-9	ต้นทุนที่ไม่แปรผันตามวิธีการซ่อมแซม	65
4-10	ต้นทุนของเงินเดือน ของฝ่ายที่เกี่ยวข้อง	66
4-11	ต้นทุนอุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน	67
4-12	ค่าเฉลี่ยต้นทุนค่าสาธารณูปโภค	68
4-13	ต้นทุนรวมแบ่งตามการวิธีการซ่อมแซมรูปแบบต่างๆ	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

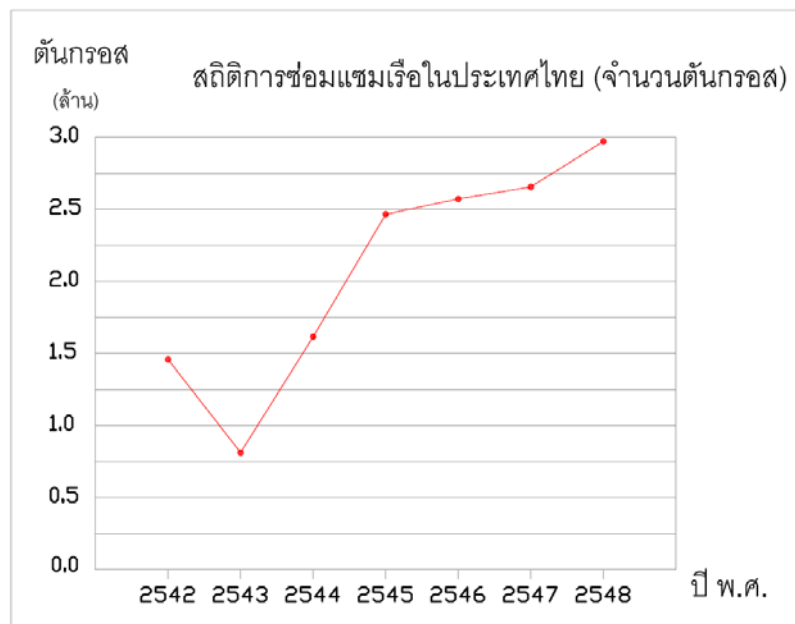
อลูมิเนียมได้เข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมยานยนต์เพิ่มมากขึ้น ดังจะสังเกตได้จาก ยานพาหนะส่วนใหญ่ล้วนใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุหลักในการผลิต เนื่องจากข้อดีของอลูมิเนียมที่มีน้ำหนักเบา สามารถเชื่อมได้ดีและบำรุงรักษาง่าย ทำให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งเรืออลูมิเนียมเองก็เช่นเดียวกันที่ในปัจจุบันมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามแหล่งท่องเที่ยวทางทะเลของประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งท่องเที่ยวทางทะเลที่มีชื่อเสียง ทำให้มีเรือเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากการเกิดโครงการการก่อสร้างท่าเรือใหม่ และการขยายท่าจอดเรือของเอกชนที่มีอย่างต่อเนื่องตามแหล่งท่องเที่ยวในประเทศไทย

การเพิ่มขึ้นของปริมาณเรือที่เข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทย ส่งผลให้ปริมาณเรือที่เข้ามาซ่อมแซมในประเทศไทยเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังจะสังเกตได้จากกราฟที่แสดงในภาพที่ 1.1 แสดงถึงปริมาณเรือที่เข้ามาซ่อมแซมในประเทศไทยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุหลักที่เรือเข้ามารับการซ่อมแซมในประเทศไทย คือการเสียหายจากอุบัติเหตุ และการเข้ารับการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดเนื่องจากการกักร่อน สำหรับเรือที่เข้ารับการซ่อมแซมเนื่องจากอุบัติเหตุจะเป็นเรือที่มีช่วงอายุหลากหลาย มีทุกช่วงอายุตั้งแต่ต่ำกว่า 1 ปี จนกระทั่ง มากกว่า 50 ปี แต่สำหรับเรืออลูมิเนียมที่เข้ารับการซ่อมแซม เนื่องจากการกักร่อนจะเป็นเรือที่มีอายุมากกว่า 10 ปี

อุตสาหกรรมการต่อเรืออลูมิเนียมในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ดังนั้นอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับการต่อเรือหรือ ซ่อมแซมเรือจึงมีอยู่อย่างจำกัด ในขณะที่เรือที่เข้ารับการซ่อมแซม นั้นเป็นเรือท่องเที่ยว ซึ่งล้วนผลิตจากอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 (Rules for Materials and Welding, 2006) ซึ่งไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย จึงก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนวัสดุ แต่ทั้งนี้ประเทศไทยยังมีอุตสาหกรรมการผลิตถึงความดัน ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตนั้นคืออลูมิเนียมเกรด 5083-H112 และ 5086-H112 ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ อลูมิเนียมเกรดที่ใช้ผลิตเรือ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษา การนำเอาอลูมิเนียมที่มีจำหน่ายในประเทศไทย มาทดแทน เกรดที่ไม่สามารถหาได้ในประเทศไทย



ภาพที่ 1.1 สถิติจำนวนตันกรอสของเรือที่ซ่อมแซมในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 -2548 ที่มา: <http://md.go.th/mpb/dataompc.html>, สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2553 (กรมเจ้าท่า, 2553)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการซ่อมแซมลำเรืออลูมิเนียม
2. เพื่อลดต้นทุนการซ่อมแซมเรืออลูมิเนียม

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการซ่อมแซมลำเรืออลูมิเนียม
2. ลดต้นทุนทางด้านค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม
3. เกิดการพัฒนาเชิงวิชาการทางด้านวัสดุและวิธีการซ่อมแซมลำเรืออลูมิเนียม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการซ่อมแซมเรืออลูมิเนียมที่ต่อด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 โดยเรืออลูมิเนียมที่นำมาทดสอบจะมีอายุต่ำกว่า 1 ปี อายุระหว่าง 9-10 ปี อายุระหว่าง 29-30 ปี

และ อายุระหว่าง 49-50 ปี ซึ่งการทดสอบจะกระทำโดยผู้เชื่อมคนเดียวที่ผ่านการทดสอบการเชื่อม อลูมิเนียมเกรด 5083 สำหรับอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมจะใช้เกรด 5083-H116 เกรด 5083-H112 และ เกรด 5086-H112 วิธีการเชื่อมจะเป็นการเชื่อมมิก (MIG) แบบกระแสพัลส์ และกระแส มาตรฐาน วิธีการทดสอบคือ การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer, OES มาเป็นเครื่องมือตรวจสอบ การตรวจโครงสร้างมหภาค (Macrostructure test) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของ Olympus รุ่น GX 51 ในการตรวจสอบ และทดสอบค่า ความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม (Tensile test) มาตรฐานการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง ของแนวเชื่อมของเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ต้องมีค่าแรงดึงสูงกว่า 276 N/mm^2 สำหรับการ วิเคราะห์เชิงสถิติให้นำค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ค่า ความแปรปรวน โดยแบ่งวิธีการวิเคราะห์ตามปัจจัย โดยแบ่งเป็นปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย และ ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย โดยใช้ ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการคิดค่าเฉลี่ย โดยมีตัวแปรอิสระ คือ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซมและ กระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม ส่วนตัวแปรตามคือ ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ซึ่งนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า ความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมในสภาวะการซ่อมแซมต่างๆ การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์จะ นำการวิเคราะห์ต้นทุนมาคำนวณต้นทุนการซ่อมแซมในแต่ละสภาวะการซ่อมแซม โดยจำแนก ต้นทุนออกเป็นวัตถุดิบทางตรง และทางอ้อม ค่าแรงทางตรงและทางอ้อมและ ค่าใช้จ่ายการผลิต โดยคิดเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการซ่อมแซมในวิธีต่างๆ วิธีการซ่อมแซมคือ การเชื่อมแบบมิก โดยใช้กระแสเชื่อม คือ กระแสพัลส์และกระแสมาตรฐาน เชื่อมท่าราบ (1G) ที่กระแสไฟ 150 ถึง 180 แอมแปร์ ค่าความต่างศักย์ 20 ถึง 25 โวลต์ เชื่อมโดยใช้อัตราเร็ว 30 ถึง 40 เซนติเมตรต่อนาที แก๊สปกคลุม (Shield Gas) คือ แก๊สอาร์กอน ร้อยละ 99.99 โดยมีอัตราการไหล 15-20 ลิตรต่อนาที ลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมได้แก่เกรด ER5356 (AWS.No A5.10 ER5356) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่นิยมใช้กันมากในโครงสร้างทั่วไปและในอุตสาหกรรมที่ เกี่ยวข้องกับการขนส่ง ด้วยข้อดีของอลูมิเนียมที่มีน้ำหนักเบา ส่งผลให้ประหยัดเชื้อเพลิง และมีค่า บำรุงรักษาที่ต่ำ ทำให้อลูมิเนียมได้รับความนิยม นอกจากนี้อลูมิเนียมเองยังมีความสามารถป้องกัน ตัวเองจากการกัดกร่อน โดยการสร้างชั้นฟิล์มออกไซด์ขึ้นมาป้องกันตัวมันเองจากการถูกกัดกร่อน ได้ หากอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ก็อยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเช่นใน

อากาศ หรือในน้ำทะเล ถึงแม้ชั้นฟิล์มจะถูกทำลายจากการขูดขีด แต่ชั้นฟิล์มใหม่ก็จะถูกสร้างขึ้นมาแทนที่อย่างรวดเร็ว (Davis *et al.*, 1987) ความหนาของฟิล์มที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ สิ่งแวดล้อมและองค์ประกอบทางเคมี ฟิล์มของออกไซด์ที่เกิดขึ้นในอากาศที่อุณหภูมิห้องมีความหนาประมาณ 2-3 นาโนเมตรบนผิวอลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Shimizu *et al.*, 1991, 427-439) แต่ทั้งนี้ความเสถียรของฟิล์มออกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่อลูมิเนียมนั้นอยู่ สำหรับกลไกการกัดกร่อนของอลูมิเนียมสืบเนื่องมาจากความไม่เสถียรของออกไซด์ โดยปกติฟิล์มของออกไซด์จะไม่เสถียรเมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรด PH 4 หรือ อัลคาไลน์ PH 9 และไอออนที่มีฤทธิ์กัดเซาะทำลาย (คลอไรด์ ฟลูออไรด์) จะกัดเซาะทำลายฟิล์มเป็นจุดๆ นอกจากนี้ธาตุบางชนิด (Ga, Ti, In, Sn, Pb) ที่เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในฟิล์มของออกไซด์จะทำหน้าที่ให้ความเสถียรของฟิล์มของออกไซด์อีกด้วย (สยาม แก้วคำไสย์, 2553)

อลูมิเนียมที่ใช้เป็นวัสดุสำหรับการต่อเรือ คืออลูมิเนียมกลุ่ม 5XXX ซึ่งอลูมิเนียมกลุ่มนี้มีคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเลได้ดี สามารถเชื่อมได้ดี โดยอลูมิเนียมกลุ่มดังกล่าวจะมีส่วนผสมของแมกนีเซียม (Magnesium) เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งธาตุแมกนีเซียมที่ผสมในอลูมิเนียม จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและ รักษาความสามารถในการดัดของอลูมิเนียมไว้ โดยค่าความแข็งแรงนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุแมกนีเซียมที่ผสมในอลูมิเนียม นอกจากนี้ปริมาณของแมกนีเซียมที่เพิ่มมากขึ้นยังส่งผลให้รูพรุน (Porosity) ภายหลังการเชื่อมลดลงด้วย (Liu and Chao, 1993) แต่ทั้งนี้ปริมาณของแมกนีเซียมที่ผสมอยู่ในอลูมิเนียมควรจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมโดยปริมาณส่วนผสมของแมกนีเซียมไม่ควรน้อยกว่า 3% มิฉะนั้นความสามารถของการทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลจะลดลงจนไม่สามารถใช้ในการต่อเรือได้ และเช่นเดียวกันปริมาณของแมกนีเซียมที่ผสมอยู่ในอลูมิเนียมไม่ควรมากเกินไปกว่า 6.8% เพราะจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเชื่อมของอลูมิเนียมกลุ่ม 5XXX (Mondolfo, 1976) นอกจากนี้แมกนีเซียมแล้วยังมีโลหะอื่นๆ อีกหลายชนิดที่จะส่งผลกระทบต่ออลูมิเนียม หากองค์ประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมเปลี่ยนแปลงไป เช่น สังกะสี (Zinc) เป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งแรง แก้อลูมิเนียมหากแต่ไม่เหมาะกับการเชื่อม ซิลิกอน (Silicon) ช่วยให้อุณหภูมิหลอมเหลวของอลูมิเนียมมีค่าลดลง ซึ่งจะส่งผลให้สะดวกแก่การทำงานมากขึ้น แมงกานีส (Manganese) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงและ ลดการเป็นด่างไฟฟ้าทองแดง (Copper) ช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียม แต่จะลดค่าความต้านทานการกัดกร่อนในน้ำทะเล (Aksu *et al.*, 2002)

การเชื่อมอลูมิเนียมแบบมิกเป็นการเชื่อมโลหะในสถานะของเหลว ซึ่งอลูมิเนียมในบ่อหลอมเหลวขณะที่อยู่ในสถานะของเหลวจนกระทั่งกลายเป็นของแข็งในช่วงเวลาดังกล่าว

อลูมิเนียมสามารถดูดซับไฮโดรเจนเข้าไปในแนวเชื่อมได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกล โดยพบว่าอลูมิเนียมที่ดูดซับไฮโดรเจนในปริมาณที่มากกว่าจะเกิดรูพรุนภายในแนวเชื่อม และเกิดการแตกร้าวในแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่มากกว่าแนวเชื่อมที่ดูดซับน้อยกว่า (Panagopoulos and Georgiou, 2007) โดยรูพรุนที่เกิดขึ้นนี้เป็นความบกพร่องในแนวเชื่อมและจากการศึกษาพบว่ารูปแบบการเรียงตัวของรูพรุนจะส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมมากกว่าขนาดของรูพรุน (Mugica *et al.*, 2004) ซึ่งปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของแนวเชื่อมอลูมิเนียมคือ ความร้อนที่สะสมในแนวเชื่อม ดังจะเห็นจากการเชื่อมอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 เปรียบเทียบการเชื่อมแบบด้านเดียวและสองด้านพบว่า การเชื่อมสองด้าน พบว่าการเชื่อมสองด้านจะมีแนวแตกร้าวที่มากกว่า ซึ่งความร้อนที่สะสมอยู่ภายในแนวเชื่อมเป็นสาเหตุของการแตกร้าว (Shankar and Wu, 2001) แต่ความร้อนนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทนทานต่อการกัดกร่อนในน้ำทะเลซึ่งทดสอบโดยการนำอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 หนา 12 มิลลิเมตรมาทำการเชื่อมซ่อมแซมตั้งแต่ 1 ครั้งจนถึง 4 ครั้งแล้วนำไปแช่ในกรดไนตริก (HNO₃) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วทำการวัดค่าการสูญหายของมวล พบว่าไม่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพการทนทานต่อการกัดกร่อนในน้ำทะเล (Katsas *et al.*, 2007) เกรดของอลูมิเนียมที่นำมาเชื่อมนั้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อซ่อมแซมดังจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ทำการทดลองเชื่อมอลูมิเนียมต่างเกรด โดยการทดลองได้นำอลูมิเนียมเกรด 5083-H321 กับอลูมิเนียมเกรด 6061-T6 มาเชื่อมเข้าด้วยกัน จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคพบว่าการแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีทำให้เกิดรอยร้าวบริเวณขาแนวเชื่อมมีความยาว 50 ไมโครเมตร (Menzemer *et al.*, 2000) และกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซมก็ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล โดยงานวิจัยฉบับหนึ่งได้ทดลองเชื่อมอลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้กระแสพัลส์ และกระแสมาตรฐานพบว่า การเชื่อมด้วยกระแสพัลส์มีโครงสร้างของแนวเชื่อมอลูมิเนียมที่ดีกว่า (Balasubramanian *et al.*, 2006) และสำหรับการเชื่อมอลูมิเนียมต่างเกรด โดยการศึกษาการเชื่อมอลูมิเนียมระหว่างเกรด 5083-O กับ 6061-T4 โดยการเชื่อมแบบมิก พบว่าค่าความแข็งแรงลดลง โดยเฉพาะส่วนบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (Heat affected zone, HAZ) จะมีค่าความแข็งแรงลดลงอย่างมาก นอกจากนี้การเชื่อมอลูมิเนียมต่างกลุ่มยังพบรอยแตกร้าวที่มากกว่าการเชื่อมอลูมิเนียมในกลุ่มเดียวกัน โดยเปรียบเทียบจากการเชื่อมอลูมิเนียมระหว่างเกรด 5083-O กับ 5754-H321 ก็พบการเชื่อมระหว่างเกรด 5083-O กับ 6061-T4 พบว่าการเชื่อมระหว่างกลุ่ม 5XXX กับ 6XXX นั้นพบรอยแตกร้าวในแนวเชื่อมที่มากกว่า (Luijendijk, 2000)

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการซ่อมแซมลำเรืออลูมิเนียม มีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจทฤษฎีเกี่ยวกับ วัสดุสำหรับการต่อเรืออลูมิเนียม หลักการการตรวจสอบแนวเชื่อมของเรืออลูมิเนียม สถิติสำหรับงานวิจัย และทฤษฎีการคำนวณต้นทุนการซ่อมแซม ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านวัสดุ

หัวข้อทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกจะกล่าวถึงอลูมิเนียมทั่วไป ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับต่อลำเรือ

1. อลูมิเนียม

อลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อนและเบาที่มีลักษณะไม่เป็นเงา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันชั้น บาง ๆ ที่เกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็ก และไม่เกิดประกายไฟ อลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงประมาณ 49 ล้านปาสกาล (MPa) และ 400 MPa ถ้าทำเป็นโลหะผสม อลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้าและทองแดง อ่อน สามารถตัดได้ง่าย สามารถดึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อนและ ความทนเนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกัน อลูมิเนียมเป็นโลหะที่ตัดได้ง่ายเป็นอันดับ 2 (รองจากทองคำ) และอ่อนเป็นอันดับที่ 6 อลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี ด้วยความที่อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา และสามารถนำไปผสมกับธาตุต่างๆ ได้ดี ง่ายต่อการขึ้นรูปทั้งร้อนและเย็น ผิวหน้าสามารถย้อมสีได้หรือขัดให้เงาหรือปรับแต่งโดยการอะโนไดซิง (Anodizing) เป็นการทำให้ผิวหน้าของอลูมิเนียมเกิดออกไซด์ ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงและจุดหลอมเหลว ซึ่งมีผลให้มีความคงทนต่อความสึกหรอที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อลูมิเนียมเป็นโลหะที่นิยมใช้งานมากกว่าโลหะอื่น ยกเว้นเหล็ก แต่ทั้งนี้อลูมิเนียมมีข้อเสียคือ มีความแข็งที่ต่ำ และเมื่อได้รับความร้อน อลูมิเนียมจะมีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่การขึ้นรูปเย็นจะสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียมได้

2. อลูมิเนียมเกรดที่ใช้สำหรับต่อเรือและอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 5083-H116 และ 5086-H112

โดยทั่วไปอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับต่อเรือจะต้องมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนจากน้ำทะเล ซึ่งได้แก่อลูมิเนียมกลุ่ม 5XXX และ 6XXX โดยทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันคือ อลูมิเนียมเกรด 5XXX มีแมกนีเซียมเป็นส่วนผสมหลัก มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดี ในขณะที่อลูมิเนียมกลุ่ม 6XXX มีแมกนีเซียมและซิลิกอนเป็นส่วนผสมหลัก และมีคุณสมบัติการขึ้นรูปที่ดี แต่เชื่อมได้ไม่ดี ดังนั้น อลูมิเนียมกลุ่ม 6XXX จึงนิยมถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเรือที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเชื่อม แต่สำหรับอลูมิเนียมกลุ่ม 5XXX นั้นจะนำมาต่อลำเรือ โดยเกรดที่นิยมใช้ได้แก่ 5454 5456 5083 และ 5086 โดยกลุ่ม 5454 และ 5456 นิยมใช้สำหรับทางทหารเนื่องจากมีคุณสมบัติที่มีความทนทานที่สูงมาก มีส่วนผสมของแมกนีเซียมในปริมาณที่มากกว่า เกรด 5083 และ 5086 ซึ่งนิยมใช้ต่อเรือ ท่อเกี่ยวและขนส่ง

อลูมิเนียมเกรด 5083-H112 5083-H116 และ 5086-H112 เป็นอลูมิเนียมที่มีแมกนีเซียมเป็นส่วนผสมหลัก และผ่านการแปรรูปเย็นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยมีส่วนผสมทางเคมี (Chemical Composition) ดังตารางที่ 2-1 อลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม (Wrought aluminium alloy) สามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มย่อยตามมาตรฐานของ ASM (America Society of Metals) โดยพิจารณาจากเลขสัญลักษณ์ 4 หลัก 5083 เลข 5 แสดงถึงมีแมกนีเซียม (Magnesium, Mg) เป็นส่วนผสมหลัก ตัวเลขหลักที่สอง เป็นสัญลักษณ์ใช้สำหรับกำกับ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของโลหะ ให้แตกต่างไปจากโลหะผสมเดิม ตัวเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม ตัวเลขหลักที่สาม และสี่ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงชนิดย่อยๆ ของโลหะที่ผสมในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน ดังนั้น 5083 และ 5086 จึงมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน สัญลักษณ์ที่ต่อท้ายเลขสี่หลักของอลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสมเป็นสัญลักษณ์ที่กำหนดการเพิ่มความแข็งแรงของอลูมิเนียม โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น สองรูปแบบใหญ่ ได้แก่ การทำกรรมวิธีการให้ความร้อน (Heat Treatment) และ การทำแปรรูปเย็น โดยอลูมิเนียมกลุ่ม 5XXX จัดอยู่ในกลุ่มที่เพิ่มคุณสมบัติทางกลได้โดยการแปรรูปเย็น โดยมีสัญลักษณ์ดังนี้ H เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้กับงานที่ต้องการเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้สูงขึ้น โดยการแปรรูปเย็น อาจจะมี กรรมวิธีทางความร้อนควบคู่ และ H ต้องตามด้วยตัวเลขตัวเดียวหรือหลายตัว ซึ่งตัวเลขแสดงถึง การกำหนด ในการผลิต (Strain hardened) ตัวเลขที่ตามหลัง H ตัวแรกมี 3 แบบ ได้แก่ H1 H2 และ H3 ซึ่ง H1 แทน การผ่านการทำให้แข็งโดยการขึ้นรูปเย็นอย่างเดียว หมายถึง เป็นการผ่านการแปรรูปเย็นอย่างเดียว ตัวเลขตัวที่สอง จะแสดง ความรุนแรงของการแปรรูป ในบางครั้งอาจมีตัวเลข ตัวที่สามบอกลถึง การควบคุมการอบคลาย หรือ

ระบุถึง คุณสมบัติทางกลพิเศษ ตัวเลขตัวที่ตามหลัง H ในหลักที่สาม HXXX หมายถึง ตัวเลขแสดงค่าความแข็ง จะมีตั้งแต่ 1 คืออ่อนที่สุด ถึง 8 คือแข็งที่สุด (Full hardness: เป็นการอบชุบที่ให้ค่า Ultimate Tensile Strength เท่ากับ 75% ของค่าที่ได้จากการขึ้นรูปเย็นภายหลังจากการทำ (Full annealing) (สุขอังคณา ติ, 2553)

ตารางที่ 2-1 แสดงปริมาณส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม เกรด 5083 และ 5086

Chemical Composition Limits of Wrought Aluminum Alloys							
Element	Silicon	Iron	Manganese	Magnesium	Chromium	Zinc	Titanium
Alloy	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
5083 - H112	0.40	0.40	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15
5083 - H116	0.40	0.40	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25	0.25	0.15
5086 - H112	0.40	0.50	0.20-0.70	3.5-4.5	0.05-0.25	0.25	0.15

ที่มา: ABS Rules for Materials and Welding (2006)

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางการตรวจสอบ

งานวิจัยนี้มีการตรวจสอบ 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ การตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง

2.2.1 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

การตรวจสอบหาความเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของเรืออลูมิเนียมที่ช่วงอายุแตกต่างกันนั้นสามารถนำเอาหลักการวิเคราะห์หาส่วนผสมทางเคมีโดยใช้เครื่อง Optical Emission Spectrometer, OES ซึ่งหลักการทำงานของเครื่อง OES คือการทำการกระตุ้นธาตุต่างๆ ที่เป็นส่วนผสมของโลหะโดยการให้พลังงานเข้าไปเพื่อกระตุ้นให้ธาตุปล่อยพลังงานคลื่นแสงออกมาเข้าเครื่องผ่านเลนส์รวมแสง ผ่าน Primary Slit เพื่อให้เกิดความคมของแสงบน Grating เพื่อทำการแยกคลื่นแสง คลื่นแสงของธาตุต่างๆ จะเรียงกันตามคุณลักษณะเฉพาะของธาตุนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า Wavelength หรือ ความยาวคลื่นแสง หลังจากนั้นคลื่นแสงจะผ่าน Secondary Slit ที่ถูกจัดวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องเพื่อให้ธาตุที่ต้องการผ่านเท่านั้น เมื่อแสงผ่าน Secondary Slit แล้วจะเข้าสู่ Photomultiplier Tube (PMT) หลอด (PMT) มีหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของคลื่นแสงเป็น

กระแสไฟฟ้า ดังนั้นหลอดPMT จะปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมาเล็กน้อยตามความเข้มของแสง เพื่อระบุชนิดของธาตุต่างๆ เนื่องจาก สสารทุกชนิดจะมีค่าความยาวคลื่น และค่าความเข้มแสงเฉพาะตัว ซึ่งการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีจะช่วยสำหรับการวิเคราะห์ถึงความเปลี่ยนแปลงที่น้ำทะเลกระทำต่อเรืออูมิเนียมที่ช่วงเวลาต่างๆ

2.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Metallographic) คือ การศึกษาโครงสร้างของโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์ และงานวิจัยนี้ได้กระทำการตรวจสอบสัดส่วนพื้นที่ความบกพร่องของแนวเชื่อมเพื่อประกอบการอภิปรายผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยหลักการตรวจสอบมีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) คือ การตรวจสอบโครงสร้างของโลหะ (แนวเชื่อม) ที่ผ่านการเตรียมชิ้นงานด้วยการขัดกระดาษทราย ผ่านการกัดกรด และถ่ายภาพที่ กำลังขยายต่ำ (< 25 เท่า) ทำให้เห็น โครงสร้างของชิ้นงาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมคุณภาพ (Quality control) และใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนวิศวกรรมต่างๆ ลักษณะงานวิเคราะห์และทดสอบโครงสร้างมหภาคที่ห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุในบริการแก่ภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อม อาทิเช่น T-Joint , Butt- Joint, Plate และ Pipe การวัดขนาดเกรนและ วิเคราะห์รูปร่างของเกรน

ข้อมูลที่ได้การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค บ่งบอกลักษณะของความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม ลักษณะรอยบกพร่อง อาทิเช่น ช่องว่าง (Voids) รูพรุน (Porosity) โดยรูพรุนที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยรูพรุนที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมมีค่าต่ำ

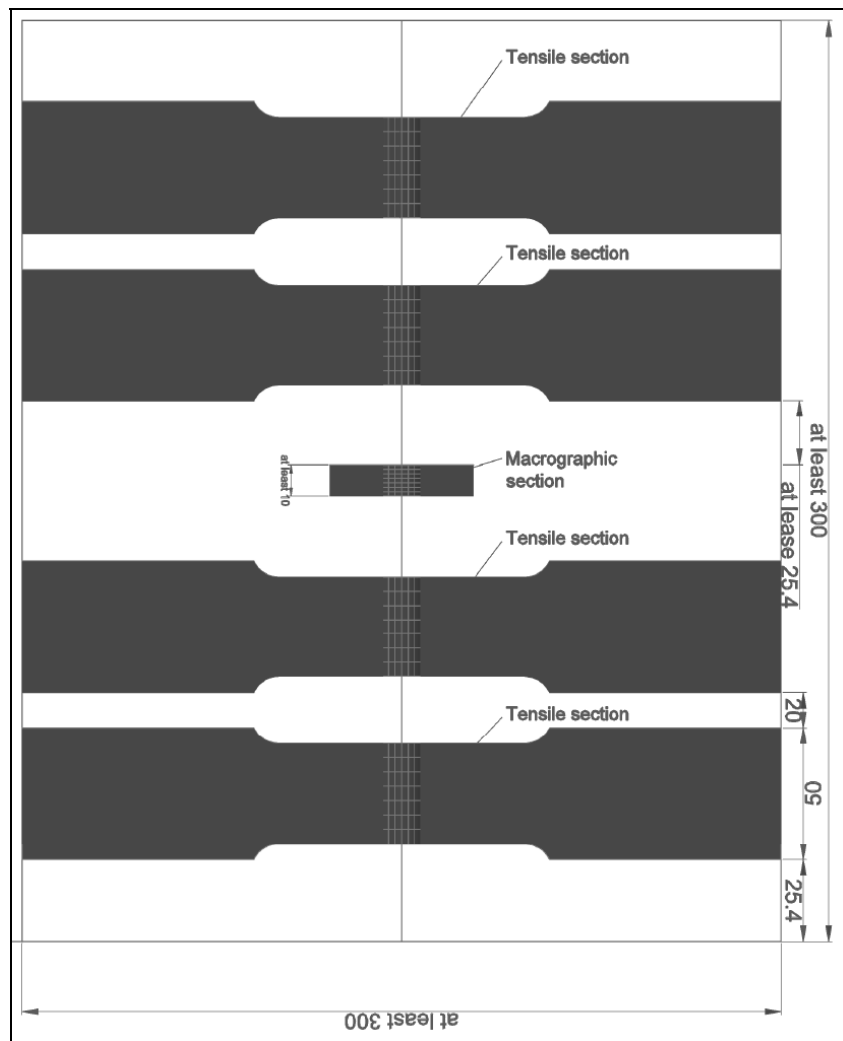
สัดส่วนพื้นที่ความบกพร่องของแนวเชื่อม บ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม โดยสัดส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยค่าสัดส่วนพื้นที่ ที่มีค่ามาก จะบ่งบอกถึงค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่ต่ำ สำหรับค่าสัดส่วนพื้นที่ความบกพร่อง สามารถหาได้จาก การใช้โปรแกรมอิมเมจทูล (image tool) โดยหาค่าพื้นที่ของรูพรุนหารด้วยพื้นที่ของแนวเชื่อมทั้งหมด โดยใช้หลักการการคำนวณพื้นที่ของสีที่แตกต่างกัน โดยสีของรูพรุนจะแสดงเป็นสีขาว และสีของเนื้อเชื่อมที่ไม่มีความบกพร่องจะแสดงเป็นสีดำ

2.2.3 การตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง

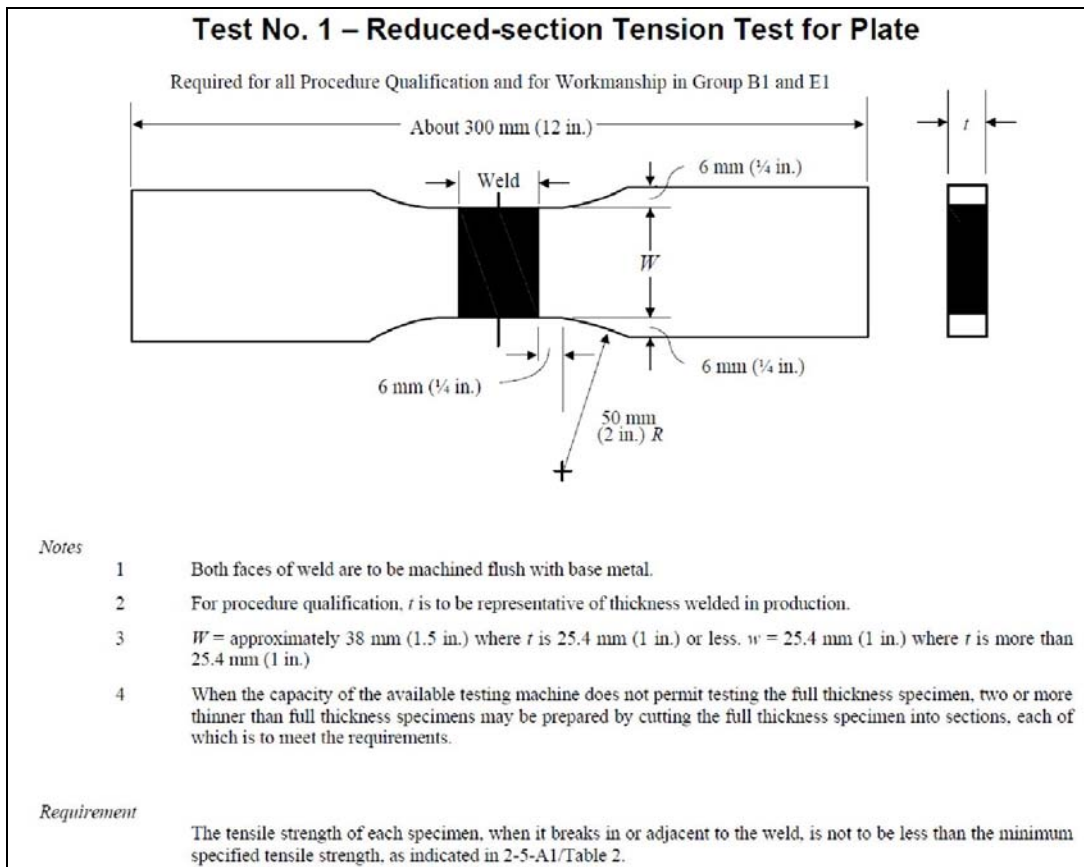
หลักการการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของมาตรฐานการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของเรืออลูมิเนียมและ ส่วนของคุณสมบัติเชิงกลของอลูมิเนียม

1. งานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้มาตรฐานการตรวจสอบขององค์การตรวจสอบมาตรฐานของอเมริกา (America Bureau of Shipping, ABS) เป็นหลัก ซึ่งมาตรฐานการตรวจสอบระบุถึงหลักการ การตรวจสอบเรืออลูมิเนียม ตามเอกสารชื่อ Rules for Materials and Welding หัวข้อ Aluminum Welding in Hull Construction และ Requirements for Approval of Aluminum welding จากมาตรฐานของ ABS กำหนดว่า เรือที่ต่อจากอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 จะต้องมีความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมไม่น้อยกว่า 276 N/mm^2 สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบนั้นจะกระทำโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (universal testing machine) เครื่องมือดังกล่าวนี้ จะมีปากสำหรับจับชิ้นตัวอย่างอยู่ 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ยึดติดกับแท่นเครื่อง ส่วนที่ 2 ยึดติดกับตัววัดแรง (load cell) และสามารถเคลื่อนที่ได้ ในการทดสอบนั้นจะต้องนำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ระหว่างปากจับทั้งสองข้าง โดยจับที่ส่วนปลายของชิ้นตัวอย่าง แล้วล็อกให้แน่น หลังจากนั้นจึงดึงให้ปากจับส่วนที่ 2 เคลื่อนที่ห่างออกไป โดยปลายอีกข้างหนึ่งของชิ้นตัวอย่าง ยังอยู่กับที่ ชิ้นตัวอย่างที่กำลังยึดออกจะมีแรงต้าน ซึ่งแรงต้านของชิ้นตัวอย่างนี้ มีผลทำให้ตัววัดแรงสามารถวัดแรงออกมา ได้แรงที่วัดออกมา มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) การทดสอบจะต้องดึงชิ้นตัวอย่าง จนขาดออกจากกัน แรงต้านสูงสุดของชิ้นตัวอย่างได้วัดค่าได้จะเท่ากับ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของชิ้นตัวอย่างที่ทนได้ก่อนขาดจากกัน

มาตรฐานการเตรียมงานได้ระบุถึงตำแหน่งการตัดชิ้นงาน และขนาดการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบ โดยมาตรฐานกำหนดว่า การตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม นั้นจะต้องตัดชิ้นงานตามที่ระบุไว้ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยภาพแสดงถึงขนาดความยาวของแนวเชื่อมที่ต้องเตรียมสำหรับการทดสอบ และตำแหน่งสำหรับการตัดชิ้นงานทดสอบ สำหรับภาพที่ 2.2 แสดงรายละเอียดการปรับแต่งชิ้นงาน



ภาพที่ 2.1 มาตรฐานการตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง
ที่มา: ABS Rules for Materials and Welding (2006)

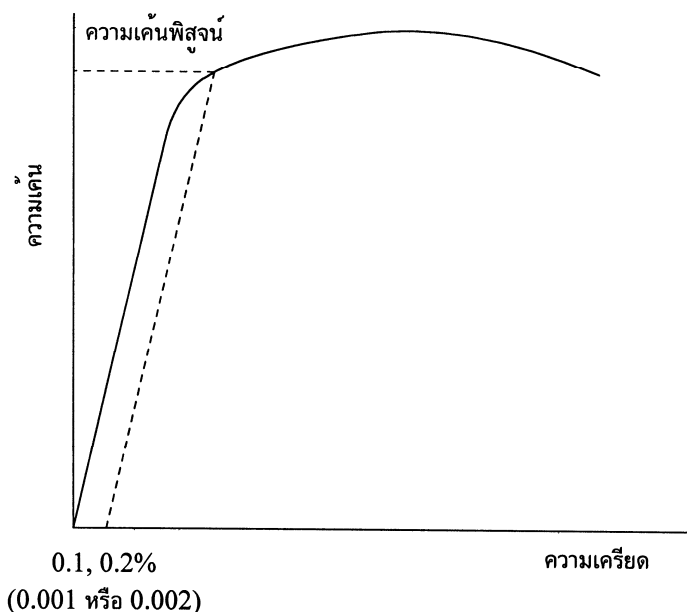


ภาพที่ 2.2 มาตรฐานการปรับแต่งชิ้นงานทดสอบค่าความต้านทานค่าแรงดึง
ที่มา: ABS Rules for Materials and Welding (2006)

2. คุณสมบัติเชิงกลของอลูมิเนียมจากการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 2.3 จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด พบว่า เมื่อเริ่มดึงขึ้นทดสอบอย่างช้า ๆ ชิ้นทดสอบจะค่อย ๆ ยืดออกจนถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้ได้กราฟที่เป็นเส้นตรง ตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุดนี้เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิมเมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อย ๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด ๆ หนึ่งเรียกว่า พิกัดยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation)

ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวกลเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะลดลงก็มี) ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุดนี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราจะใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

วัสดุหลายชนิดเช่น อลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่ก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.10 - 0.20% ของความยาวกำหนดเดิม (Original Gage Length) แล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ดังภาพที่ 2.3 ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof Stress) หรือความเค้น 0.1 หรือ 0.2% offset ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เส้น โค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก

ที่มา: David Roylance (2001)

หลังจากจุดครากแล้ววัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆหรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า Ultimate Strength หรือความ

เค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกได้มาก ๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่า ค่าว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือ กำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไป จะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้

ที่จุดสุดท้ายของกราฟ เป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน (Fracture) สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้จะต่ำกว่าความเค้นสูงสุด เพราะเมื่อเลยจุดนี้ไป พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบลดลง ทำให้พื้นที่ที่จะต้านทานแรงดึงลดลงด้วย ในขณะที่การคำนวณยังคงคำนวณค่าของความเค้นจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าของความเค้นจึงลดลง (แม้นอมรสิทธิ์, 1997)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านการวิเคราะห์ต้นทุน

การบำรุงรักษาเป็นวิธีการยืดอายุการใช้งานของเรืออลูมิเนียม แต่ในขณะเดียวกันการบำรุงรักษาหรือการซ่อมแซมนั้นก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนการซ่อมแซม สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเอาหลักการวิเคราะห์ต้นทุนมาเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่าง การซ่อมแซมแบบเก่าและ การซ่อมแซมแบบใหม่ โดยใช้หลักการการจำแนกต้นทุนออกเป็น วัสดุดิบทางตรง วัสดุดิบทางอ้อม ค่าแรงทางตรง ค่าแรงทางอ้อมและ ค่าใช้จ่ายการผลิต

การคำนวณต้นทุนที่เกิดจากการซ่อมแซมนั้น จะมีต้นทุนที่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซม คือถ้าเปลี่ยนวิธีการซ่อมแซมต้นทุนส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงและ ต้นทุนที่ไม่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซมคือ ถึงแม้จะเปลี่ยนวิธีการซ่อมแซมต้นทุนส่วนดังกล่าวก็จะยังคงเท่าเดิม สำหรับการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาที่ ต้นทุนที่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซม เพื่อนำส่วนต่างของต้นทุนที่เกิดขึ้นมาเปรียบเทียบกัน โดยหลักการแบ่งต้นทุนจะแสดงดังนี้

2.3.1 วัสดุดิบ

ต้นทุนของวัสดุดิบนับว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญของการซ่อมแซม โดยทั่วไป ต้นทุนที่เกี่ยวกับการใช้วัสดุดิบในการซ่อมแซมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ต้นทุนของวัตถุดิบทางตรง (Direct materials) หมายถึง วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการซ่อมแซมลำเรือ ได้แก่ อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 เกรด 5083-H112 และเกรด 5086-H112
2. ต้นทุนของวัตถุดิบทางอ้อม (Indirect materials) หมายถึง ต้นทุนของวัตถุดิบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยทางอ้อมกับการซ่อมแซม แต่ไม่ใช่วัตถุดิบหลักหรือวัตถุดิบส่วนใหญ่ เช่น ลวดเชื่อม แก๊สปกคลุม ไบเจียร์ ไขปิดทำความสะอาดแนวเชื่อม เป็นต้น

2.3.2 ค่าแรงงาน

ค่าแรงงาน (Labor Cost) หมายถึง ค่าจ้างหรือผลตอบแทนที่จ่ายให้แก่ลูกจ้างหรือคนงานที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซม โดยปกติแล้วค่าแรงงานจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ค่าแรงงานทางตรง (Direct labor) และค่าแรงงานทางอ้อม (Indirect labor)

1. ค่าแรงงานทางตรง (Direct labor) หมายถึง ค่าแรงงานต่าง ๆ ที่จ่ายให้แก่คนงานหรือลูกจ้างที่ทำหน้าที่ซ่อมแซมโดยตรง ซึ่งเป็นค่าแรงงานที่มีจำนวนมากเมื่อเทียบกับค่าแรงงานทางอ้อมในการซ่อมแซมหน่วยหนึ่ง ๆ และจัดเป็นค่าแรงงานส่วนสำคัญในการซ่อมแซมเรือให้สมบูรณ์ โดยต้นทุนค่าแรงทางตรงได้แก่ ค่าแรงงานของช่างเชื่อม ช่างประกอบ
2. ค่าแรงงานทางอ้อม (Indirect labor) หมายถึง ค่าแรงงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าแรงงานทางตรงที่ใช้ในการซ่อมแซม โดยต้นทุนของค่าแรงทางอ้อมคือ เงินเดือนของวิศวกร เงินเดือนของพนักงานบัญชีและการเงิน

2.3.3 ค่าใช้จ่ายในการผลิต

ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Manufacturing cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่ถูกใช้ไปในการผลิตหรือซ่อมแซม ที่นอกเหนือจากวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง วัตถุดิบทางอ้อม ค่าแรงงานทางอ้อม ซึ่งค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมอื่นๆ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคา ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าเช่า ค่าเครื่องใช้สำนักงาน เป็นต้น

สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการซ่อมแซมลำเรืออลูมิเนียมโดยการเชื่อม จะทำการแบ่งการวิเคราะห์ห้ออกโดยใช้รูปแบบกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม และเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซมในการแบ่งการคำนวณต้นทุน ซึ่งรูปแบบกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซมมี 2 รูปแบบคือ กระแสพัลส์ และกระแสมาตรฐาน สำหรับเกรดของอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมมี 3 เกรดที่แตกต่างกันคือ เกรด 5083-H116 เกรด 5083-H112 และเกรด 5086-H112 ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุนการซ่อมแซมจะสามารถแบ่งรูปแบบของต้นทุนการซ่อมแซมได้ 6 รูปแบบ โดยแบ่งตามเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ในการซ่อมแซมและ กระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องทางด้านการวิเคราะห์ทางสถิติ

ทฤษฎีด้านสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ปัจจัยและ การสุ่มงาน

2.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ปัจจัย (Three-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3 ปัจจัย เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัย ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรคือ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับซ่อมแซม และกระแสเชื่อมที่ใช้ในการซ่อมแซมและมีตัวแปรตามคือค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม สำหรับระดับนัยสำคัญที่เลือกใช้คือ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สำหรับรายละเอียดของการวิเคราะห์สถิติมาดังนี้

หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนการหาค่าแรงดึงของกลุ่มตัวอย่าง ว่าค่าเฉลี่ยประชากรของแต่ละกลุ่มมีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยหลักการมีดังนี้ การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นวิธีที่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหลาย ๆ ค่าพร้อมกันได้และสามารถแยกความแปรปรวนออกเป็นส่วน ๆ ได้ หลักการที่ใช้คือต้องแยกความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดออกเป็น ความผันแปรระหว่างประชากร ความผันแปรภายในประชากรเดียวกัน โดยที่ความผันแปรที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเท่ากับความผันแปรระหว่างประชากรรวมกับความผันแปรภายในประชากรเดียวกัน ถ้าความผันแปรระหว่างประชากรมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรภายในประชากรเดียวกันแสดงว่าความแตกต่างระหว่างประชากรมากกว่าความแตกต่างภายในประชากรเดียวกัน แสดงว่าประชากรที่เรากำลังสนใจอยู่ซึ่งมีอยู่หลายกลุ่มมีอย่างน้อย 1 กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างไปจากกลุ่มอื่น (กัลยา วาณิชบัญชา, 2540)

การตั้งสมมติฐานการวิจัย ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน นั้น สมมติฐานไร้นัยสำคัญ (Null hypothesis) จะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของประชากรแต่ละกลุ่ม มีค่าเท่ากัน สอบสมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis) กำหนดให้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกัน เขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

H_0 : ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมทุกกลุ่มไม่แตกต่างกัน

H_1 : มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกัน

1. Total sum of squares (SS_T)หาได้จาก

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad \text{----- (1)}$$

2. Between – groups sum of squares (SS_B)

$$\sum_{j=1}^K \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad \sum_{j=1}^K n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad \text{----- (2)}$$

3. Within – group sum of squares (SS_W)

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^K \left(\frac{T_j^2}{n_j} \right) \quad \text{หรือ} \quad \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad \text{----- (3)}$$

ค่า SS_T หรือ SS_B และ SS_W เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึงความแปรปรวน (Mean of square : MS) โดยมี $df_T = N - 1$, $df_B = K - 1$ และ $df_W = N - K$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดและ K คือจำนวนกลุ่ม

การคำนวณค่าสถิติ F – test

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 ค่าขึ้นไปนั้นจะใช้ F – test สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวนี้ ค่า F หาได้จากอัตราส่วนความแปรปรวนโดยหาจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (SS_B) หารด้วยความแปรปรวนภายในกลุ่ม (SS_W) ซึ่งมีค่า $df = K - 1$ (degree of freedom for the numerator) และ $df_L = N - K$ (degree of freedom for the denominator) การหาค่า F – test สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 2-2 ตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA Table)

Source of variation	SS	df	MS	F
Between groups	SS_B	$K - 1$	$SS_B / K - 1$	MS_B / MS_W
Within groups	SS_W	$N - K$	$SS_W / N - K$	
Total	$SS_B + SS_W$	$N - 1$		

ที่มา: กัลยา วาณิชบัญชา (2540)

ความหมายของสัญลักษณ์

T_i = ผลรวมของค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม n ค่าในแต่ละกลุ่ม

T = ผลรวมของค่าความต้านทานแรงดึงทั้งหมด

n_j = จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

K = จำนวนกลุ่ม

X_{ij} = ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

\bar{X}_j = ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม j

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยรวม

j = กลุ่มที่กำลังพิจารณา

$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$ = ผลรวมของค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆ ค่าในทุกกลุ่ม

2.4.2 การสุ่มงาน (Work sampling)

งานวิจัยนี้ได้นำเอาหลักการการสุ่มงาน มาใช้เพื่อหาจำนวนครั้งของการทดลอง โดยการทดลองที่ไม่ทราบจำนวนประชากร สามารถนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ได้ โดยหลักการของการสุ่มงานคือ วิเคราะห์การทำงานที่อาศัย การสังเกตจำนวนมากๆ โดยการสุ่มการเก็บข้อมูล แล้วนำข้อมูลมาทำการหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยการหาจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลของการทดลองที่มีค่าความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถหาได้จากสูตร ดังต่อไปนี้

$$n = \left[\frac{k \sqrt{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left[\sum_{i=1}^N X_i \right]^2}}{\sum_{i=1}^N X_i} \right]^2 \text{----- (4)}$$

n = จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลที่เหมาะสม

N = จำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลในขั้นต้น

X = ค่าที่ทำการตรวจวัดในแต่ละครั้ง

k = ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งมีค่า 40 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ เท่ากับ 20 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

ที่มา : Business Statistics for Contemporary Decision Making (2004)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนคือ วัสดุที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ขั้นตอนการทดลอง และขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง แผนการทดลอง ขั้นตอนการทดลองและขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

3.1 วัสดุสำหรับการวิจัย

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุที่เตรียมมาจากเรือที่ช่วงอายุต่างๆ 4 ช่วงอายุ และวัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซมเรือ 3 เกรดที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

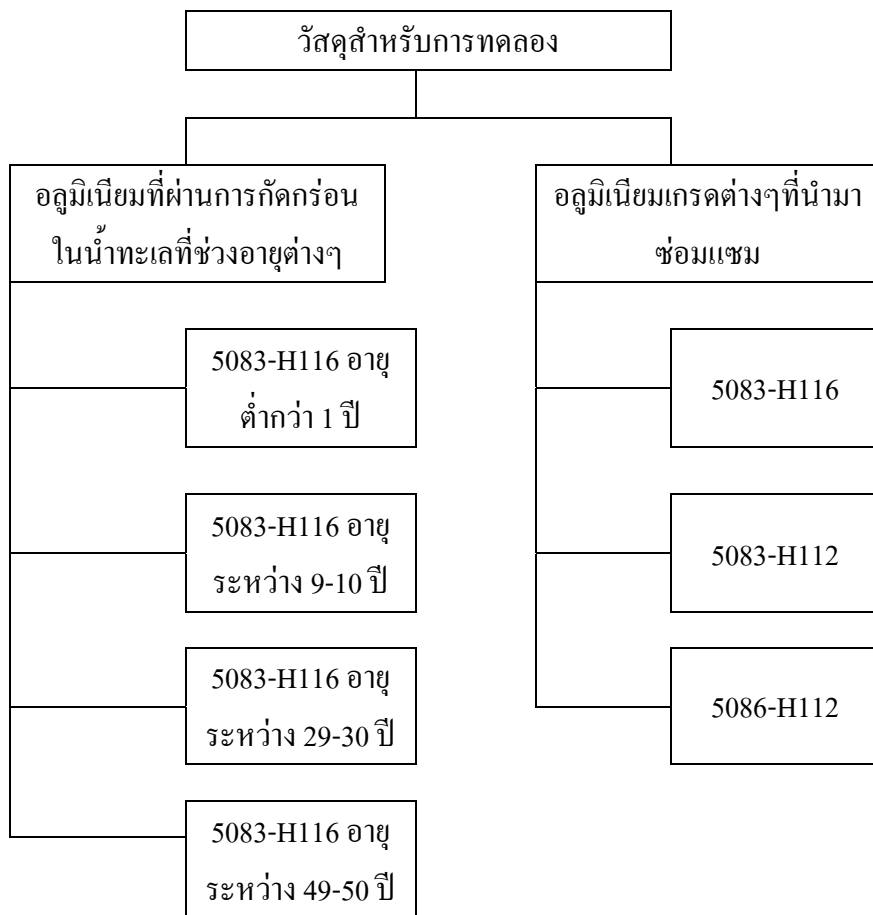
อลูมิเนียมที่เตรียมมาจากเรือคือ อลูมิเนียมที่ผ่านการกัดกร่อนในน้ำทะเล ได้แก่ อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ที่ตัดจากลำเรือ ซึ่งผ่านการกัดกร่อนน้ำทะเลเป็นเวลาต่ำกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปีและ ระหว่าง 49-50 ปี ที่มีความหนา 8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่มีการซ่อมแซมในปริมาณมาก

การเลือกอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเลือกอลูมิเนียมเกรดที่ใช้ซ่อมแซมตามปกติมาเปรียบเทียบกับเกรดที่จะนำมาทดแทน ซึ่งวิธีการซ่อมแซมตามปกติ จะใช้อลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ ดังนั้นอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมได้แก่ อลูมิเนียมใหม่ 3 เกรด คือ เกรด 5083-H116 เกรด 5083-H112 และ เกรด 5086-H112 มีความหนา 8 มิลลิเมตร ซึ่ง อลูมิเนียมแต่ละเกรดมีรายละเอียดคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกล และ ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 2-1 ตารางที่ 3-1 และ ตารางที่ 3-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงสมบัติทางกลของอลูมิเนียม

Mechanical Property Limits of Non-Heat Treatable Sheet and Plate Aluminium Alloy						
Alloy and Temper	Thickness		Ultimate Tensile Strength		Yield Strength 0.2% Offset	
	(mm)	(inches)	Minimum		Minimum	
			N/mm ²	kgf/mm ² ,ksi	N/mm ²	kgf/mm ² ,ksi
5083-H112	6.5-38.0	0.25-1.5	276	28.1, 40.0	124	12.7, 18.0
5083-H116	1.6-38.0	0.06-1.5	303	30.9, 44.0	214	21.8, 31.0
5086-H112	4.5-12.5	0.18-0.5	248	25.3, 36.0	124	12.7, 18.0

ที่มา: ABS Rules for Materials and Welding (2006)



ภาพที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3-2 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดของแนวเชื่อมอลูมิเนียม

Minimum Mechanical Property for Butt-Welded Aluminium Alloys				
Alloy and Temper	Ultimate Tensile Strength		Yield Strength	
	kgf/mm ² , N/mm ²	psi	kgf/mm ² , N/mm ²	psi
5083-H112	28.1, 276	40000	12.7	18000
5083-H116	28.1, 276	40000	12.7	18000
5086-H112	24.6, 241	35000	9.85	14000

ที่มา: ABS Rules for Materials and Welding (2006)

3.2 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

อุปกรณ์สำหรับการวิจัยนี้แบ่งออกเป็นเครื่องมือสำหรับการเตรียมชิ้นงาน และเครื่องมือสำหรับการทดสอบชิ้นงานซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

1. เครื่องเชื่อมมิกแบบกระแสมาตรฐานรุ่น Welpro welmig 350F (ดังแสดงในภาพ 3.2) มีแรงดันไฟฟ้า 380 โวลท์ ที่ความถี่ 50/60 เฮิร์ตซ์ โดยมีกำลังไฟ 14.4 กิโลวัตต์ กระแสไฟเชื่อม 60-350 แอมป์ และแรงดันไฟในการเชื่อม 17-31 โวลท์ สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9-1.6 มิลลิเมตร สามารถติดตั้งกับหัวเชื่อม แบบคอสันและคอยาวมีระยะ contact tip ขนาด 1.2/1.4 มิลลิเมตร กระบวนการขับลวดแบบดัน โดยล้อขับลวดเชื่อมเป็นแบบ บากร่องตัวยู และท่อนำลวดเชื่อม (Liner) สามารถใช้ได้ทั้งเป็นแบบพลาสติกและแบบโลหะดังแสดงในภาพที่ 3.4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.2 เครื่องเชื่อมมิกกระแสมาตรฐานและรายละเอียด (ก) เครื่องเชื่อมมิกแบบกระแสมาตรฐานและ (ข) รายละเอียดเครื่องเชื่อม

2. เครื่องเชื่อมมิกแบบกระแสพัลส์ Fronius Transplus Synergic 4000 (ดังแสดงในภาพ 3.3) มีแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ที่ความถี่ 50/60 เฮิร์ตซ์ โดยมีกระแสไฟเชื่อม 3-400 แอมป์ และแรงดันไฟในการเชื่อม 14.2-34 โวลต์ สามารถใช้ลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9-1.6 มิลลิเมตร สามารถติดตั้งกับหัวเชื่อม แบบคอสันและคอยาว มีระยะ contact tip ขนาด 1.2/1.4 มิลลิเมตร กระบวนการขับลวดแบบดันโดยล้อขับลวดเชื่อมเป็นแบบ บากร่องตัวยู และท่อนำลวดเชื่อม (Liner) สามารถใช้ได้ทั้งเป็นแบบพลาสติกและแบบโลหะ



Fronius A-1800 Wels www.fronius.com		Type TransPuls Synergic 4000			
		Art. No. 4,075,100,638			
		Ser. No. 18142852			
		IEC 60974-1/-10 Cl.A			
		3 A / 14.2 V - 400 A / 34 V			
S	U _s 70 V	I _s	50%	60%	100%
			400 A	365 A	320 A
		U ₂	34 V	32.3 V	30 V
3~ 50-60Hz	U _i	I _{i max}	I _{i set}		
	400 V	35 A	35 A	26 A	
IP 23			N2348	CE	

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.3 เครื่องเชื่อมมิกกระแสพัลส์และรายละเอียด

(ก) เครื่องเชื่อมมิกแบบกระแสพัลส์และ (ข) รายละเอียดเครื่องเชื่อม

3. หัวเชื่อม (Welding Torch) แบบคอยาวดังแสดงในภาพ 3.4 (ข) และท่อนำลวดเชื่อมแบบพลาสติกสำหรับลวดเชื่อมขนาด 1.2 -1.6 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 3.4 (ก)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์สำหรับเชื่อม (ก) ท่อนำลวดเชื่อมแบบพลาสติกและ (ข) Welding Torch แบบคอยาว

4. เครื่องเจียร (Grinding) ใช้สำหรับ เจียรระโน เอนื่องานออก เช่น รอยเชื่อมยึด รอยต่อแนว ตัดผ่าแนว ดังแสดงในภาพ 3.5 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์สำหรับเจียรระโน (ก) เครื่องเจียรและ (ข) ใบเจียร

5. ลวดเชื่อม AWS.No A5.10 ER5356 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตรดัง
แสดงในภาพ 3.6



ภาพที่ 3.6 ลวดเชื่อม ER5356

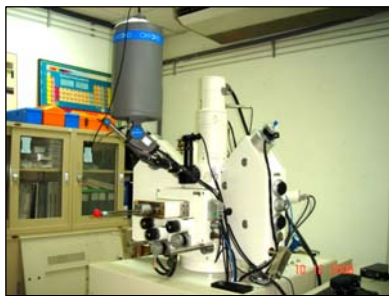
6. แก๊สปกคลุม (Shield Gas) คือ แก๊สอาร์กอนความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 ใช้เป็น
แก๊สคลุมแนวเชื่อม

7. เครื่องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงรุ่น IT-8000A ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน
น้อยกว่าร้อยละ 0.25 และมีกำลังค่าแรงดึงมากกว่า 300 กิโลนิวตันดังแสดงในภาพ 3.7



ภาพที่ 3.7 เครื่องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Universal Testing Machine)

8. เครื่อง Optical Emission Spectrometer, OES รุ่น Applied Research Laboratories 3460 ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งสามารถวัดได้ที่ระดับ part per million (ppm) ดังแสดงในภาพ 3.8 (ก) และแสดงผลในจอภาพ ดังแสดงในภาพ 3.8 (ข)



(ก)

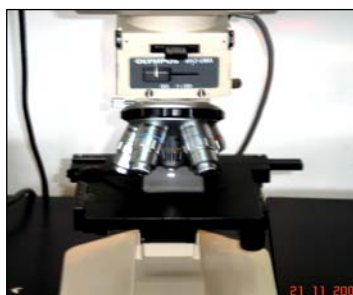


(ข)

ภาพที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี (Optical Emission Spectrometer, OES)

(ก) เครื่องตรวจสอบ OES และ (ข) จอแสดงผลของเครื่อง OES

9. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ของ Olympus รุ่น GX 51 มีกำลังขยาย 200 เท่า ดังแสดงในภาพ 3.9 (ก) โดยตัวกล้องจุลทรรศน์เชื่อมต่อกับจอแสดงภาพซึ่งใช้สำหรับแสดงและบันทึกภาพขยายของงานวิจัยดังแสดงในภาพที่ 3.9 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.9 แสดงชุดอุปกรณ์ของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope)

(ก) เครื่อง Optical Microscope และ (ข) จอแสดงผลของ Optical Microscope

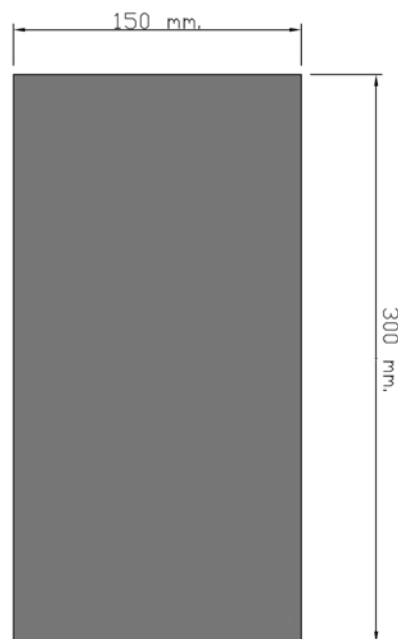
3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน และ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบ

3.3.1 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน

ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน สำหรับการเชื่อมและขั้นตอนการเชื่อม

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนเชื่อมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเตรียม อลูมิเนียมที่นำมาจากรีโอในช่วงอายุต่างๆ 4 ช่วงอายุและ การเตรียมอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับการ ซ่อมแซม โดยขนาดการเตรียมชิ้นงานจะเป็นขนาดเดียวกัน โดยขนาดการเตรียมชิ้นงานจะเป็นไป ตามมาตรฐานการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบตามที่ ABS กำหนด ดังแสดงในภาพ 3.10



ภาพที่ 3.10 ขนาดการเตรียมชิ้นงานสำหรับเชื่อมทดสอบ

การเตรียมอลูมิเนียมที่นำมาจากรีโอในช่วงอายุต่างๆ 4 ช่วงอายุ โดยชิ้นงานที่ เตรียมได้นำมาจากรีโอ อายุต่ำกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปีและ ระหว่าง 49-50 ปี โดย ชิ้นงานที่เตรียมของทุกช่วงอายุนั้นมีขนาดเดียวกัน และการเตรียมจะตัดชิ้นงานที่ตำแหน่งที่อยู่ได้ ระดับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 วงกลมแสดงถึงตำแหน่งการตัดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3.11 แสดงตำแหน่งการตัดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับการซ่อมแซม โดยตัดขนาดดังแสดงในภาพที่ 3.10 โดยอลูมิเนียมที่เตรียมสำหรับการซ่อมแซมจะใช้เกรด 5083-H116 5083-H112 และ 5086-H112

2. ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน คือการนำอลูมิเนียมที่เตรียมมาจากเรือ เตรียมทำการเชื่อมกับอลูมิเนียมที่เตรียมสำหรับการซ่อมแซมดังแสดงในภาพที่ 3.12 และภายหลังการเชื่อมแสดงดังภาพ 3.13 โดยสภาวะการทดลองแสดงในตารางที่ 3-3 โดยการทดลองได้กระทำซ้ำ 3 ครั้งและมีข้อกำหนดการเชื่อมดังนี้ การเชื่อมได้กระทำในสถานที่ปิดที่ได้ตั้งค่าอุณหภูมิห้องอยู่ระหว่าง 30 ถึง 33 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 60 รายละเอียดการเชื่อมเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมตามเอกสารชื่อ SL-WPS-D1.2-3 และ SL-PQR-D1.2.3 ดังแสดงในภาคผนวก ข ผู้เชื่อมทดสอบผ่านการทดสอบการเชื่อมตามเอกสารชื่อ BGK 0970050/02 ดังแสดงใน ภาคผนวก ก โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบค่าความต้านทานของแนวเชื่อมมีดังนี้

- นำแผ่นอลูมิเนียมที่เตรียมไว้มาบากร่องแนวเชื่อมที่ 30 องศาจากแนวตั้ง และทำความสะอาดแนวเชื่อมโดยใบปัดสแตนเลส เพื่อเตรียมแนวสำหรับเชื่อม
- อุ่นแนวเชื่อมที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาฟาเรนไฮต์ ในขั้นตอนนี้ให้กระทำต่อเนื่องภายหลังจากการทำความสะอาดแนวเชื่อมเพื่อป้องกันความสกปรกและความชื้นที่จะเข้ามาเกาะที่แนวเชื่อม

- การเชื่อมแต่ละครั้งกระทำแบบสุ่มดังแสดงลำดับการเชื่อมในภาคผนวก ค.
- การเชื่อมได้ทำการเชื่อมตามแนวยาว โดยเชื่อมทำราบ (1G) โดยใช้เครื่องเชื่อมแบบมิกแบบกระแสเชื่อมมาตรฐานและแบบพัลส์โดยกระแสเชื่อมอยู่ระหว่าง 150 ถึง 180 แอมแปร์ มีแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 20 ถึง 25 โวลต์ ด้วยอัตราการความเร็วการเชื่อมที่ 30 ถึง 40 เซนติเมตรต่อนาที ใช้แก๊สปกคลุม (Shield Gas) คือ แก๊สอาร์กอน ที่ความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.99 ที่อัตราการไหลของแก๊สปกคลุม 15-20 ลิตรต่อนาที ชนิดของลวดเชื่อมคือ ER5356 (AWS.No A5.10 ER5356) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร
- ภายหลังจากเชื่อมแนวแรกให้ทำความสะอาดแนวเชื่อมด้วยใบปัดเสตนเลส และเชื่อมแนวที่สอง กระทำซ้ำจนเต็มร่องแนวเชื่อม



ภาพที่ 3.12 ชิ้นงานทดสอบก่อนการเชื่อม



ภาพที่ 3.13 ชิ้นงานทดสอบภายหลังการเชื่อม

ตารางที่ 3-3 สภาวะการทดลอง

สภาวะการทดลอง	อายุเรืออลูมิเนียม เกรด 5083-H116	เกรดอลูมิเนียมที่ นำมาซ่อมแซม	กระแสน้ำเชื่อม
1	A1	B1	C1
2	A1	B1	C2
3	A1	B2	C1
4	A1	B2	C2
5	A1	B3	C1
6	A1	B3	C2
7	A2	B1	C1
8	A2	B1	C2
9	A2	B2	C1
10	A2	B2	C2
11	A2	B3	C1
12	A2	B3	C2
13	A3	B1	C1
14	A3	B1	C2
15	A3	B2	C1
16	A3	B2	C2
17	A3	B3	C1
18	A3	B3	C2
19	A4	B1	C1
20	A4	B1	C2
21	A4	B2	C1
22	A4	B2	C2
23	A4	B3	C1
24	A4	B3	C2

*หมายเหตุ สภาวะการทดลองเป็นแบบสุ่ม และแต่ละสภาวะกระทำซ้ำ 3 ครั้ง

- A1 เรืออายุ น้อยกว่า 1 ปี
- A2 เรืออายุระหว่าง 9-10 ปี
- A3 เรืออายุระหว่าง 29-30 ปี
- A4 เรืออายุระหว่าง 49-50 ปี
- B1 คือ อลูมิเนียมเกรด 5083-H116
- B2 คือ อลูมิเนียมเกรด 5083-H112
- B3 คือ อลูมิเนียมเกรด 5086-H112
- C1 คือ กระแสพัลส์
- C2 คือ กระแสมาตรฐาน

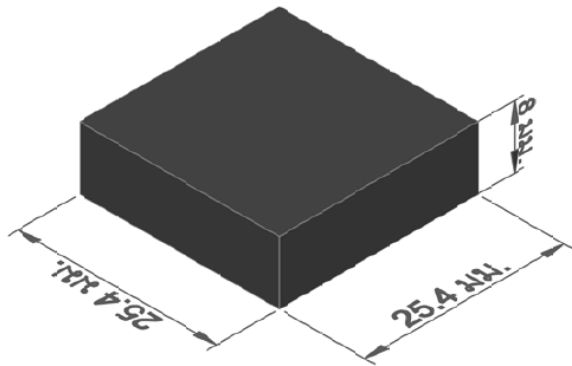
3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบ

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบสามารถแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค และการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง

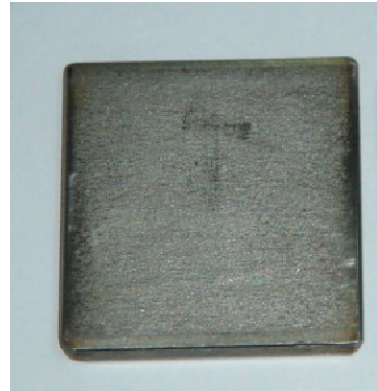
1. ขั้นตอนการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

ขั้นตอนการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงส่วนประกอบทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงของอลูมิเนียมที่ถูกกัดกร่อนจากน้ำทะเลในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและ ขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยทำการตัดอลูมิเนียมตาม เกรดและ อายุที่ต้องการทดสอบ โดยมีขนาดอย่างน้อย $25.4 \times 25.4 \times 8$ มม³ ดังแสดงในภาพ 3.14 (ก) โดยชิ้นงานที่ตัดแสดงดังภาพที่ 3.14 (ข) แล้วนำไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 120 จนเรียบเพื่อเตรียมนำไปทดสอบด้วยเครื่อง ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีโดยเครื่อง Optical Emission Spectrometer (OES) รุ่น Applied Research Laboratories 3460



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.14 ขนาดของชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี (OES)
(ก) ขนาดการตัดชิ้นงานทดสอบและ (ข) ภาพชิ้นงานก่อนการทดสอบ

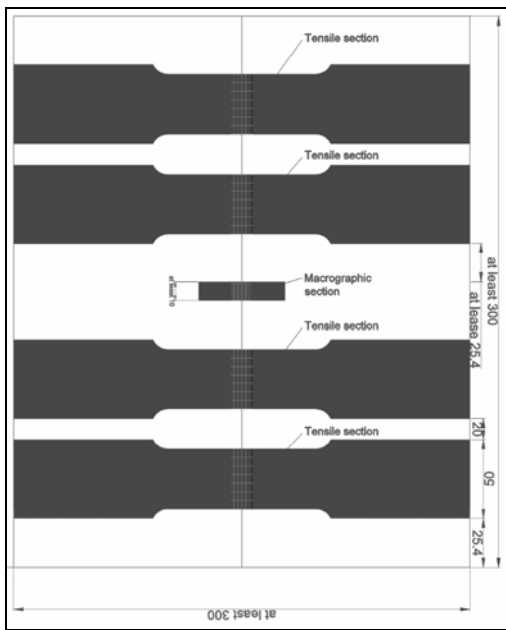
การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีโดยการนำเอาตัวอย่างทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3.14 (ข) นำเข้าเครื่อง OES โดยเครื่องจะทำการตรวจสอบซ้ำ 5 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง ซึ่งชิ้นงานหลังการทดสอบจะแสดงรอยการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3.15 แล้วนำค่าของผลการตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละครั้งมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบทางเคมี



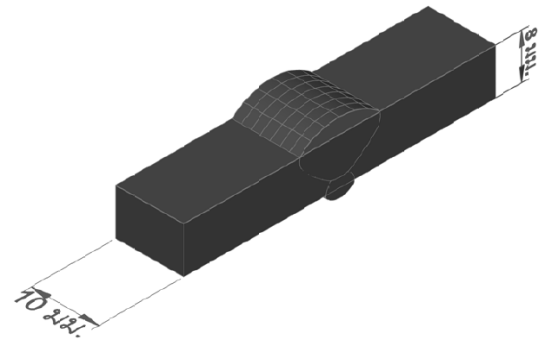
ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานภายหลังการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี

2. ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างของแนวเชื่อมและ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแนวเชื่อม โดยขั้นตอนการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคได้ทำการตัดตัวอย่างที่ตำแหน่งที่ระบุไว้ดังแสดงในภาพ 3.16 (ก) โดยมีขนาดคือ 10 x 38 x 8 มม³ ดังแสดงในภาพ 3.16 (ข) ซึ่งชิ้นงานตัวอย่างที่ตัดก่อนตกแต่งและหล่อเรซินให้ได้ขนาดที่กำหนดดังแสดงในภาพ 3.16 (ค) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ หล่อเรซินหนา 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 3.16 (ง) เพื่อเตรียมตรวจสอบโครงสร้างมหภาคต่อไป



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3.16 ชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)

(ก) ตำแหน่งการตัดชิ้นงานทดสอบ (ข) ขนาดการตัดชิ้นงานทดสอบ

(ค) ภาพชิ้นงานก่อนหล่อเรซินและ (ง) ภาพชิ้นงานภายหลังการหล่อเรซิน

ขั้นตอนการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคนำชิ้นงานที่หล่อเรซินไปขัดหยาบด้วยกระดาษทรายน้ำดังแสดงในภาพที่ 3.17 (ก) และ ขัดละเอียดด้วยผงเพชร ดังแสดงในภาพที่ 3.17 (ข) โดยนำไปขัดกระดาษทรายเบอร์หยาบ (เบอร์ 120) ไปจนถึงเบอร์ละเอียด (เบอร์ 1200) ระหว่าง

การขัดได้ใช้น้ำในการชำระฝุ่นผงที่เกิดจากขัด ภายหลังจากการขัดหยาบด้วยกระดาษทราย ให้นำมาขัดละเอียดด้วยผงเพชรขนาด 6 μm และ 3 μm ตามลำดับ โดยทิศทางการขัดจะเปลี่ยนมุม 90 องศา ทุกๆครั้งที่เปลี่ยนเบอร์กระดาษทราย



(ก)

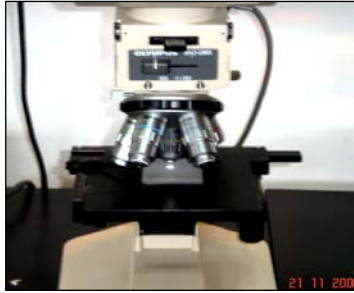


(ข)

ภาพที่ 3.17 ภาพการขัดชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

(ก) การขัดผิวหยาบและ (ข) การขัดผิวละเอียด

ภายหลังจากได้ชิ้นงานที่ขัดจนเรียบแล้ว ให้นำไปทำความสะอาดด้วย กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric Acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมในน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 วินาที แล้วนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) ดังแสดงภาพที่ 3.18 (ก) โดยกล้องจุลทรรศน์เชื่อมต่อกับจอแสดงภาพดังแสดงในภาพที่ 3.18 (ข) เพื่อทำการบันทึกภาพที่ กำลังขยายต่าง ๆ



(ก)

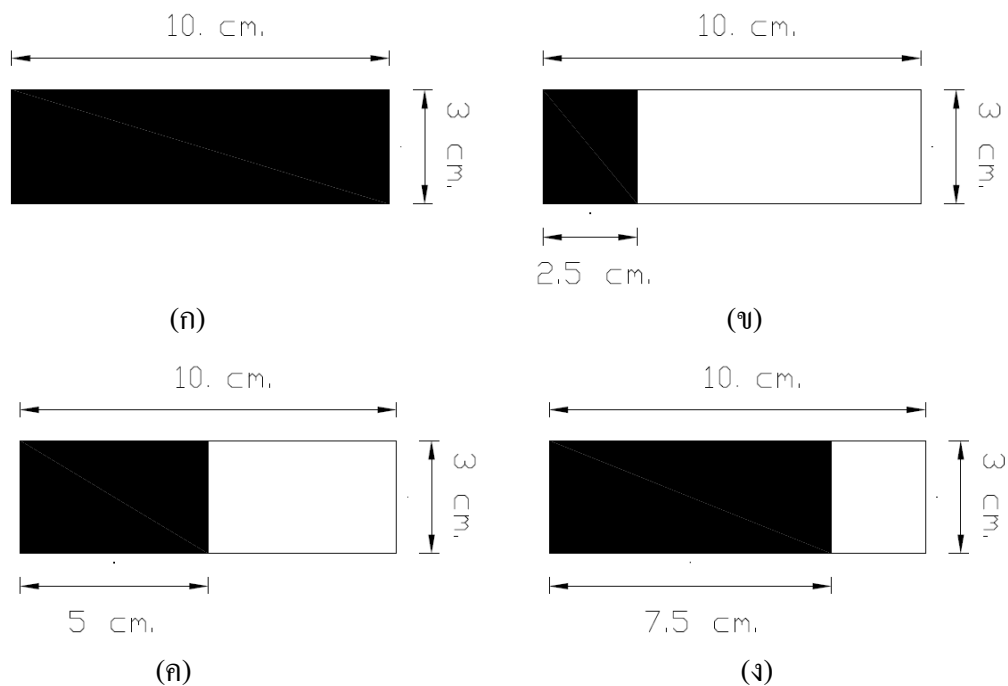


(ข)

ภาพที่ 3.18 แสดงการถ่ายภาพชิ้นงานบนกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope)

(ก) เครื่อง Optical Microscope และ (ข) จอแสดงผลของ Optical Microscope

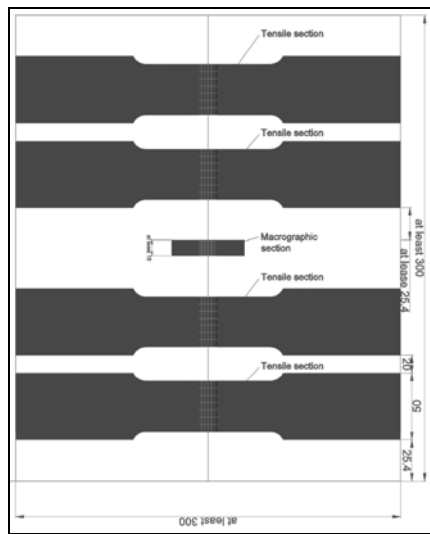
ภายหลังจากที่ได้ภาพถ่ายโครงสร้างมหภาคแล้ว ให้นำภาพมาเข้าโปรแกรมอิมเมจทูต (image tool) เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่ความบกพร่องต่อไป โดยการคำนวณพื้นที่ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโปรแกรมอิมเมจทูต ด้วยการหาสัดส่วนพื้นที่ดังแสดงในภาพที่ 3.19 โดยผลการคำนวณมีผลคือ ภาพ 3.19 (ก) มีสัดส่วนพื้นที่สีดำต่อพื้นที่ทั้งหมดคือ 100% ภาพ 3.19 (ข) มีสัดส่วนพื้นที่สีดำต่อพื้นที่ทั้งหมดคือ 25% ภาพ 3.19 (ค) มีสัดส่วนพื้นที่สีดำต่อพื้นที่ทั้งหมดคือ 50% ภาพ 3.19 (ง) มีสัดส่วนพื้นที่สีดำต่อพื้นที่ทั้งหมดคือ 75%



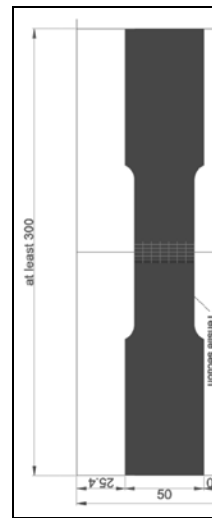
ภาพที่ 3.19 แสดงการทดสอบการวิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่โดยโปรแกรม อิมเมจทูล (image tool)
 (ก) พื้นที่สีดำ 100% (ข) พื้นที่สีดำ 25% (ค) พื้นที่สีดำ 50% และ (ง) พื้นที่สีดำ 75%

3. ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของแนวเชื่อมโดยเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมของการซ่อมแซมในรูปแบบต่างๆ โดยขั้นตอนการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมจะเป็นทำการตัดตัวอย่างที่ตำแหน่งที่ระบุไว้ โดยแต่ละแผ่นงานที่เชื่อมด้วยความยาว 300 มิลลิเมตร จะทำการตัดตัวอย่างจำนวน 4 ชิ้นที่ตำแหน่งที่ระบุไว้ในภาพที่ 3.20 (ก) โดยขนาดการตัดตัวอย่างของการตรวจสอบค่าความต้านทานของแนวเชื่อมจะเป็นไปตามภาพที่ 3.20 (ข) โดยชิ้นงานที่ตัดก่อนตกแต่งให้ได้ตามขนาดที่กำหนดแสดงในภาพ 3.20 (ค) และนำชิ้นงานมาตกแต่งให้ได้ขนาดตามที่ระบุเพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมดังแสดงในภาพ 3.20 (ง)



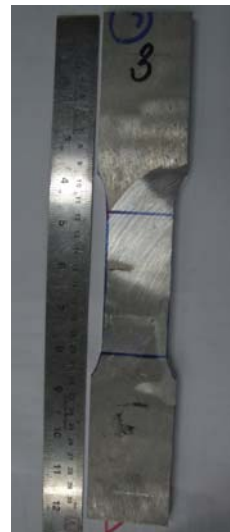
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3.20 ชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Test)

(ก) ตำแหน่งการตัดชิ้นงานทดสอบ (ข) ขนาดการตัดชิ้นงานทดสอบ

(ค) ภาพชิ้นงานก่อนการตกแต่งและ (ง) ภาพชิ้นงานสำหรับทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง

ขั้นตอนการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง กระทำโดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการตกแต่งให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด มาเข้าเครื่องทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง

(Universal testing machine) โดยขั้นตอนการทดสอบกระทำโดย ติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้ากับตัวเครื่อง เปิดเครื่องและคอมพิวเตอร์ เข้าสู่โปรแกรมการทดสอบ เลือกไฟล์และโปรแกรมการทดสอบ เพื่อใช้กำหนดวิธีการและเงื่อนไขการทดสอบ และเป็นที่เก็บข้อมูลผลทดสอบ เมื่อเริ่มการเครื่องทดสอบจะทำงานโดย Load cell จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามที่กำหนด ให้แรงกระทำต่อชิ้นทดสอบ ระหว่างนี้ผลการทดสอบจะถูกวิเคราะห์โดยตัวแปรที่กำหนดคือ พื้นที่หน้าตัดของแนวเชื่อมและ แรงกระทำที่เครื่องทดสอบอ่านค่าได้ โดยค่าแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน จึงยุติการทดสอบ

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์ผลทั้งหมด 5 ส่วนดังนี้

1. การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี จะใช้หลักการ การเปรียบเทียบปริมาณธาตุต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป ประกอบกับคุณสมบัติเชิงกลของธาตุต่างๆที่ส่งผลกระทบต่ออลูมิเนียมเกรด 5XXX มาวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีมาเพื่อสนับสนุนผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม และช่วยสำหรับการอภิปรายผลการทดลอง

2. การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ได้นำเอาหลักการการตรวจหาความบกพร่องของแนวเชื่อมมาใช้เพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม โดยความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม เช่น รูพรุน (porosity) ที่เกิดขึ้นจะนำมาคำนวณหาสัดส่วนของ พื้นที่ของรูพรุนต่อ พื้นที่ของแนวเชื่อม เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของรูพรุนระหว่างการซ่อมแซมในรูปแบบต่างๆ การหาสัดส่วนของพื้นที่ความบกพร่องโดยใช้ โปรแกรมอิมเมจทูล (image tool) เป็นเครื่องมือคำนวณสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่ของรูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม

3. การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ได้นำเอาหลักการการตรวจสอบการเชื่อมเรืออลูมิเนียมของสถาบันการตรวจสอบแห่งสหรัฐอเมริกา (American Bureau of Shipping, ABS) จากเอกสารชื่อ Rules for Materials and Welding หัวข้อ Aluminum Welding in Hull Construction และ Requirements for Approval of Aluminum welding มาเป็นค่ามาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ผล

โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจะแบ่งการวิเคราะห์ตามปัจจัยที่นำมาซ่อมแซม โดยผู้วิจัยได้แบ่งรูปแบบการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมออกเป็น 3 รูปแบบ คือแบ่งตามอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม และกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม

การวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงจะแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการซ่อมแซมที่ผ่านมาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อม และแสดงให้เห็นถึงวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมกับเรือในช่วงอายุต่างๆ

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ ได้นำหลักการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาวิเคราะห์ค่าแรงดึงแนวเชื่อม โดยใช้ ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมีตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรคือ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม และกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม และมีตัวแปรตามคือ ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบ่งออกเป็นปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย และปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย โดยการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม

5. การวิเคราะห์ด้านการเงินจะมี 2 รูปแบบ ได้แก่ ต้นทุนที่ผันแปรตามรูปแบบการซ่อมแซมและ ต้นทุนที่ไม่แปรผันตามรูปแบบการซ่อมแซม โดยประเภทของต้นทุนได้แบ่งต้นทุนออกเป็น 5 ประเภท คือ วัสดุดิบทางตรง วัสดุดิบทางอ้อม ค่าแรงทางตรง ค่าแรงทางอ้อม และค่าใช้จ่ายการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการซ่อมแซมจะทำการเปรียบเทียบต้นทุนของการซ่อมแซมแบบเก่า ที่ใช้อลูมิเนียมเกรดเดียวกับเรือในการซ่อมแซม กับต้นทุนของการซ่อมแซมแบบใหม่ที่ใช้อลูมิเนียมเกรดอื่นๆ มาทดแทน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติและ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการซ่อมแซม โดยผลการวิเคราะห์มีดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมที่ผ่านการกัดกร่อนในช่วงอายุต่าง เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของธาตุต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการตรวจสอบและ ส่วนของการวิจารณ์ผล

1. ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4-1 พบว่าในช่วงอายุต่างๆ ของเรือที่นำมาตรวจสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี โดยตลอด 50 ปี พบธาตุบางตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนที่มาก ได้แก่ สังกะสี (Zinc) ซึ่งพบว่าภายในระยะเวลา 50 ปี มีการเพิ่มขึ้น ประมาณ 10 เท่า และทองแดง (Copper) ที่เพิ่มขึ้นซึ่งจากเดิมไม่มีในส่วนผสม แต่ภายหลังจากผ่านไป 50 ปี กลับตรวจพบว่ามีผสมอยู่ 0.24% แต่ในทางกลับกัน ธาตุแมกนีเซียม (Magnesium) ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของอลูมิเนียมเกรด 5XXX กลับมีสัดส่วนที่ลดลงประมาณ 4 เท่า เช่นเดียวกับธาตุแมงกานีส (Manganese) ที่มีสัดส่วนลดลง ประมาณ 4 เท่า แต่หากเทียบเป็นปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปจะพบว่า แมกนีเซียมมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด โดย ทองแดง แมงกานีสและ สังกะสีมีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงของธาตุมีดังนี้ สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม และแมงกานีส ล้วนเป็นธาตุที่ผสมในอลูมิเนียมเพื่อเพิ่มกำลังค่าความต้านทานแรงดึงของอลูมิเนียม ซึ่งแต่ละธาตุจะมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน โดยในปริมาณที่เท่ากัน สังกะสีจะเป็นธาตุที่เพิ่มกำลังค่าความแข็งแรงให้แก่อลูมิเนียมมากที่สุดแต่ไม่เหมาะสมกับการเชื่อม ในขณะที่ทองแดงเพิ่มกำลังของอลูมิเนียมแต่ไม่เหมาะสมกับการใช้น้ำทะเล โดยทองแดงจะเพิ่มอัตราสึกกร่อนในน้ำทะเล สำหรับแมกนีเซียมนอกจากเพิ่มกำลังของอลูมิเนียมแล้วยังรักษาค่าความสามารถในการดัดของอลูมิเนียม และแมงกานีสจะช่วยให้ลดค่าความต้านทานในการนำไฟฟ้าของอลูมิเนียมให้ลดน้อยลงกว่าเดิม (Mondolfo, 1976)

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมที่ถูกกัดกร่อนในน้ำทะเล

ส่วนประกอบทางเคมีของอลูมิเนียมหลักเกรด 5083-H116				
Element (%)	อายุต่ำกว่า 1 ปี	อายุ ระหว่าง 9-10 ปี	อายุ ระหว่าง 29-30 ปี	อายุ ระหว่าง 49-50 ปี
Silicon	0.0456	0.103	0.5843	0.104
Iron	0.3548	0.1402	0.1739	0.1531
Manganese	0.5568	0.6604	0.0104	0.1071
Magnesium	4.6873	4.5863	1.0545	0.8271
Titanium	0.01	0.0506	0.0209	0.0101
Chromium	0.1521	0.0664	0.0554	0.062
Copper	-	0.0314	0.2027	0.2431
Zinc	0.0032	0.075	0.0158	0.0313
Nickel	0.0035	0.0032	-	0.0011
Other	0.0085	0.0107	0.0064	0.0164

2. การวิจารณ์ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี การตรวจสอบพบว่าเรือที่มีอายุเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าความต้านทานการกัดกร่อนต่อน้ำทะเลลดลง ซึ่งเป็นผลจากปริมาณของทองแดงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้เรือที่มีอายุมากขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นด้วยเนื่องจากปริมาณของแมกนีเซียมที่ลดลง และมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ลดลงด้วยเนื่องจากปริมาณของแมกนีเซียมที่ลดลง ถึงแม้จะมีสังกะสีที่เพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่เมื่อเทียบปริมาณของการเปลี่ยนแปลงแล้วจะพบว่าแมกนีเซียมมีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าสังกะสี เป็นปริมาณที่มาก ดังนั้นการลดลงของแมกนีเซียมจึงส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่า ดังนั้นจากการตรวจสอบพบว่าเรือที่มีอายุเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงจะมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณของธาตุแมกนีเซียมที่ลดลง

4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม

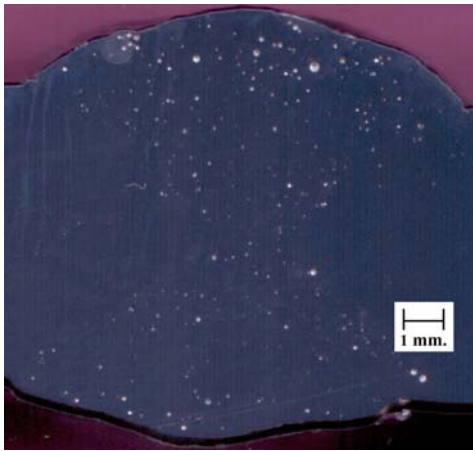
การวิเคราะห์ผลของการตรวจสอบ โครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมในการวิจัยนี้ ได้ใช้มาตรฐานการตรวจสอบของ ABS ในการอ้างอิงโดยตามมาตรฐานระบุขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนดังนี้ ขนาดเล็ก (ขนาดเล็ก < 0.50 มิลลิเมตร) ขนาดกลาง (0.50 ≤ ขนาดกลาง < 1.02

มิลลิเมตร) และขนาดใหญ่ (1.02 มิลลิเมตร \leq ขนาดใหญ่) สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของผลการตรวจสอบและ ส่วนของการวิจารณ์ผล

1. ซึ่งจากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคดังแสดงในภาพ 4.1 ถึง 4.6 แสดงถึงการเรียงตัวของรูพรุนแบบกระจาย (Uniformly scattered porosity) และขนาดของรูพรุนเป็นขนาดเล็ก และ ขนาดกลาง ซึ่งรูพรุนที่ตรวจพบแสดงให้เห็นถึงความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม ซึ่งความไม่สมบูรณ์นี้มีความสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยขึ้นอยู่กับสัดส่วนพื้นที่ของรูพรุนต่อพื้นที่ของแนวเชื่อม โดยที่ค่าสัดส่วนของพื้นที่มากขึ้นเท่าใดค่าความต้านทานแรงดึงจะยังมีค่าน้อยลง

จากการตรวจสอบหาค่าสัดส่วนของพื้นที่โดยใช้โปรแกรมอิมเมจทูล (image tool) ทำการหาค่าสัดส่วนของพื้นที่ความบกพร่องของแนวเชื่อม โดยทำการหาสัดส่วนพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อมได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4-2

- การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ด้วยกระแสพัลส์ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (ก) และ (ข) มีพื้นที่สัดส่วนระหว่างค่าพื้นที่รูพรุนต่อค่าพื้นที่แนวเชื่อมเท่ากับ 11.43%
- การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ด้วยกระแสมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ก) และ (ข) มีพื้นที่สัดส่วนระหว่างค่าพื้นที่รูพรุนต่อค่าพื้นที่แนวเชื่อมเท่ากับ 12.63%
- การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ด้วยกระแสพัลส์ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (ก) และ (ข) มีพื้นที่สัดส่วนระหว่างค่าพื้นที่รูพรุนต่อค่าพื้นที่แนวเชื่อมเท่ากับ 24.18%
- การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ด้วยกระแสมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 4.4 (ก) และ (ข) มีพื้นที่สัดส่วนระหว่างค่าพื้นที่รูพรุนต่อค่าพื้นที่แนวเชื่อมเท่ากับ 24.43%
- การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ด้วยกระแสพัลส์ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 (ก) และ (ข) มีพื้นที่สัดส่วนระหว่างค่าพื้นที่รูพรุนต่อค่าพื้นที่แนวเชื่อมเท่ากับ 29.97%
- การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ด้วยกระแสมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (ก) และ (ข) มีพื้นที่สัดส่วนระหว่างค่าพื้นที่รูพรุนต่อค่าพื้นที่แนวเชื่อมเท่ากับ 32.61%

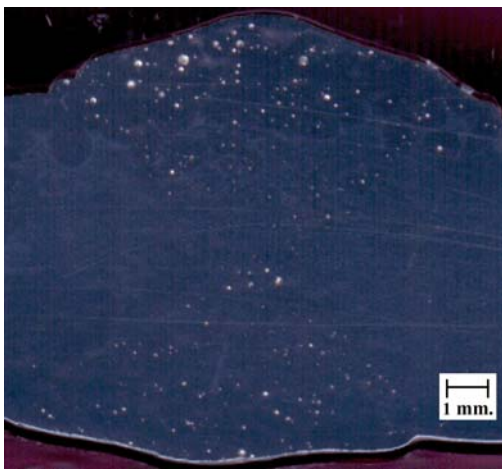


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.1 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ด้วยกระแสพัลส์ (ก) ภาพการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.2 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ด้วยกระแสมาตรฐาน (ก) ภาพการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม

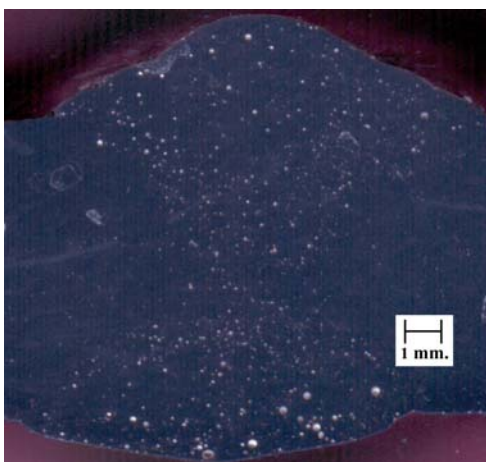


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.3 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ด้วยกระแสพัลส์ (ก) ภาพการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม

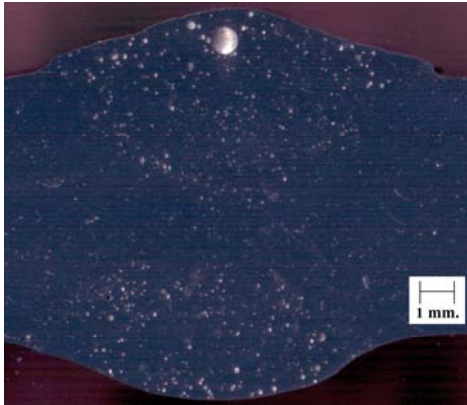


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.4 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ด้วยกระแสมาตรฐาน (ก) ภาพการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม

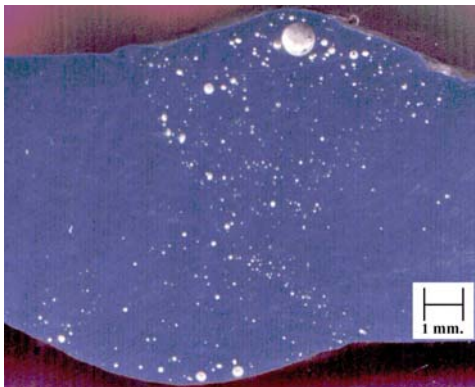


(ก)

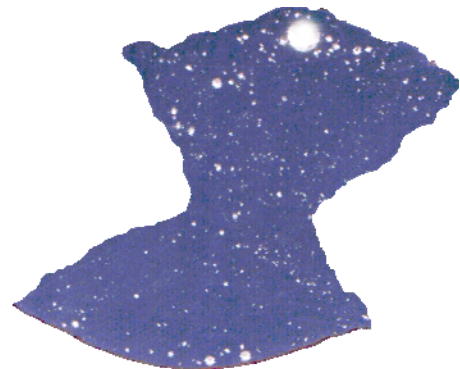


(ข)

ภาพที่ 4.5 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ด้วยกระแสปัลส์ (ก) ภาพการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.6 การตรวจสอบโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ด้วยกระแสมาตรฐาน (ก) ภาพการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคและ (ข) ภาพที่ใช้สำหรับหาสัดส่วนพื้นที่ระหว่างพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค

เรือ อลูมิเนียม เกรด	อลูมิเนียมที่ นำมา ซ่อมแซม	กระแสน เชื่อม	การเรียงตัว ของรูพรู่น	ขนาดรูพรู่น	สัดส่วนพื้นที่รู พรู่นต่อพื้นที่แนว เชื่อม (%)
5083-H116	5083-H116	พัลส์	กระจายตัว	เล็ก	11.43
		มาตรฐาน	กระจายตัว	เล็ก	12.63
5083-H116	5083-H112	พัลส์	กระจายตัว	เล็ก	24.18
		มาตรฐาน	กระจายตัว	เล็ก	24.43
5083-H116	5086-H112	พัลส์	กระจายตัว	กลางและเล็ก	29.97
		มาตรฐาน	กระจายตัว	กลางและเล็ก	32.61

2. การวิจารณ์ผลการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค การตรวจสอบพบว่า การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ (5083-H116) จะมีความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมมากที่สุด โดยพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ความบกพร่องและ การซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 จะมีความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมน้อยที่สุด สำหรับกระแสนเชื่อมที่แตกต่างกันในการซ่อมแซม พบว่า กระแสนเชื่อมแบบพัลส์มีค่าความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมมากกว่าแบบกระแสนมาตรฐานเล็กน้อย

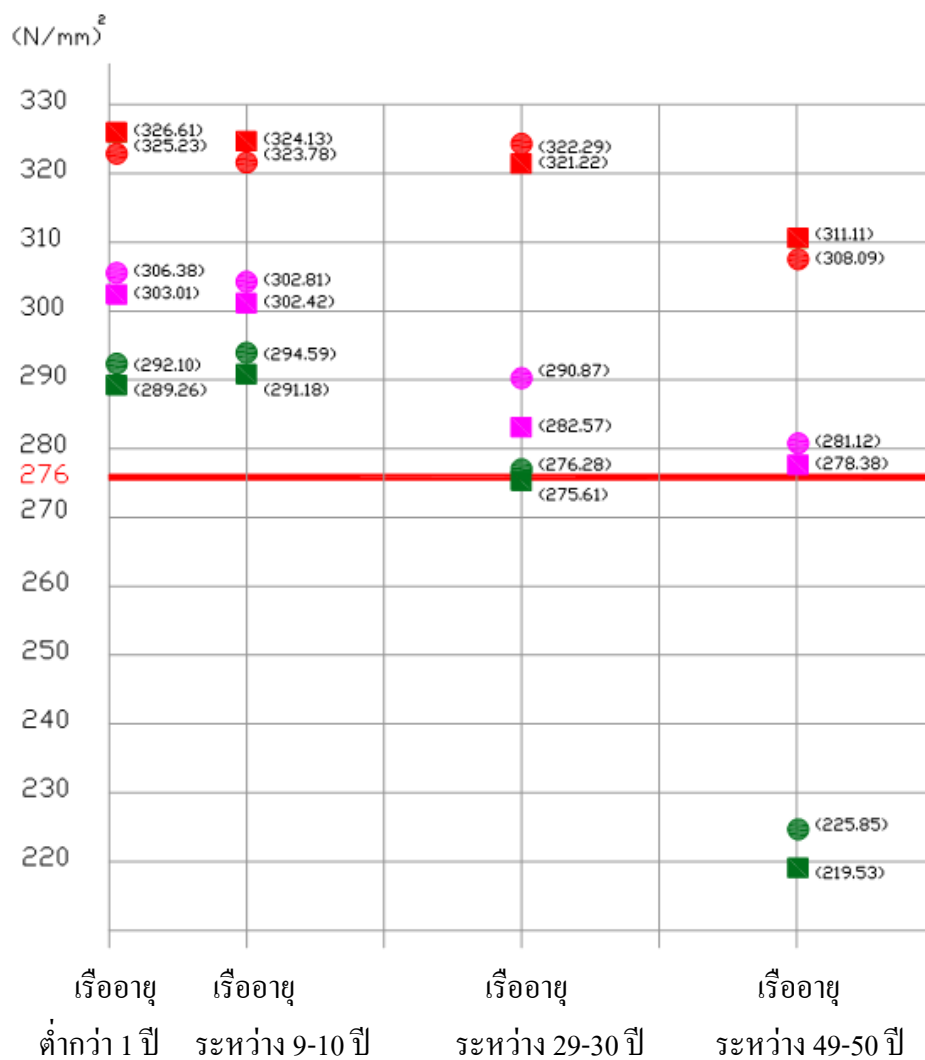
4.3 ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึง

การตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม เป็นการตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบผลการซ่อมแซมแบบเดิม (การซ่อมแซมโดยใช้อลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ 5083-H116) กับผลการซ่อมแซมแบบใหม่ (ทดลองใช้อลูมิเนียมเกรดอื่นมาทดแทน) โดยการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมนี้ ได้นำมาตรฐานของ ABS มาใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน โดยมาตรฐานกำหนดว่า ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมต่ำสุดสำหรับเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116 มีค่าเท่ากับ 276 N/mm^2 ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4-3 โดยผลการทดลองสามารถแบ่งการวิเคราะห์ตามปัจจัยต่างๆ ได้ 5 ส่วนดังนี้

ตารางที่ 4-3 อัตราส่วนที่ลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานแรงดึงของเนื้ออลูมิเนียม

อายุและ เกรดของ เรือ	เกรด อลูมิเนียม ทดสอบ	กระแ เชื่อม	ค่าแรงดึงเฉลี่ยของเนื้อ อลูมิเนียม (5083-H116)	ค่าแรงดึงใน แนวเชื่อม
			N/mm ²	N/mm ²
5083- H116 อายุ น้อยกว่า 1 ปี	5083- H116	พัลส์	353.40	325.23
		มาตรฐาน		326.61
	5083- H112	พัลส์		306.38
		มาตรฐาน		303.01
	5086- H112	พัลส์		292.10
		มาตรฐาน		289.26
5083- H116 อายุ ระหว่าง 9-10 ปี	5083- H116	พัลส์	350.07	323.78
		มาตรฐาน		324.13
	5083- H112	พัลส์		302.81
		มาตรฐาน		302.42
	5086- H112	พัลส์		294.59
		มาตรฐาน		291.18
5083- H116 อายุ ระหว่าง 29-30 ปี	5083- H116	พัลส์	331.97	322.29
		มาตรฐาน		321.22
	5083- H112	พัลส์		290.87
		มาตรฐาน		282.57
	5086- H112	พัลส์		276.28
		มาตรฐาน		275.61
5083- H116 อายุ ระหว่าง 49-50 ปี	5083- H116	พัลส์	319.89	308.09
		มาตรฐาน		311.11
	5083- H112	พัลส์		281.12
		มาตรฐาน		278.38
	5086- H112	พัลส์		225.86
		มาตรฐาน		219.53

1. ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ที่ซ่อมแซม โดยใช้ ปลายทั้ง 3 ปลายในการแบ่ง (อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ในการซ่อมแซม และ กระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม) มีผลดังแสดงในภาพที่ 4.7 ภาพนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แกน X คือ อายุเรือที่นำมาซ่อมแซม โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงอายุ คือ ต่ำกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปี และระหว่าง 49-50 ปี และแกน Y แสดงค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยมีเส้นมาตรฐานค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดที่ ABS กำหนดคือ 276 N/mm^2

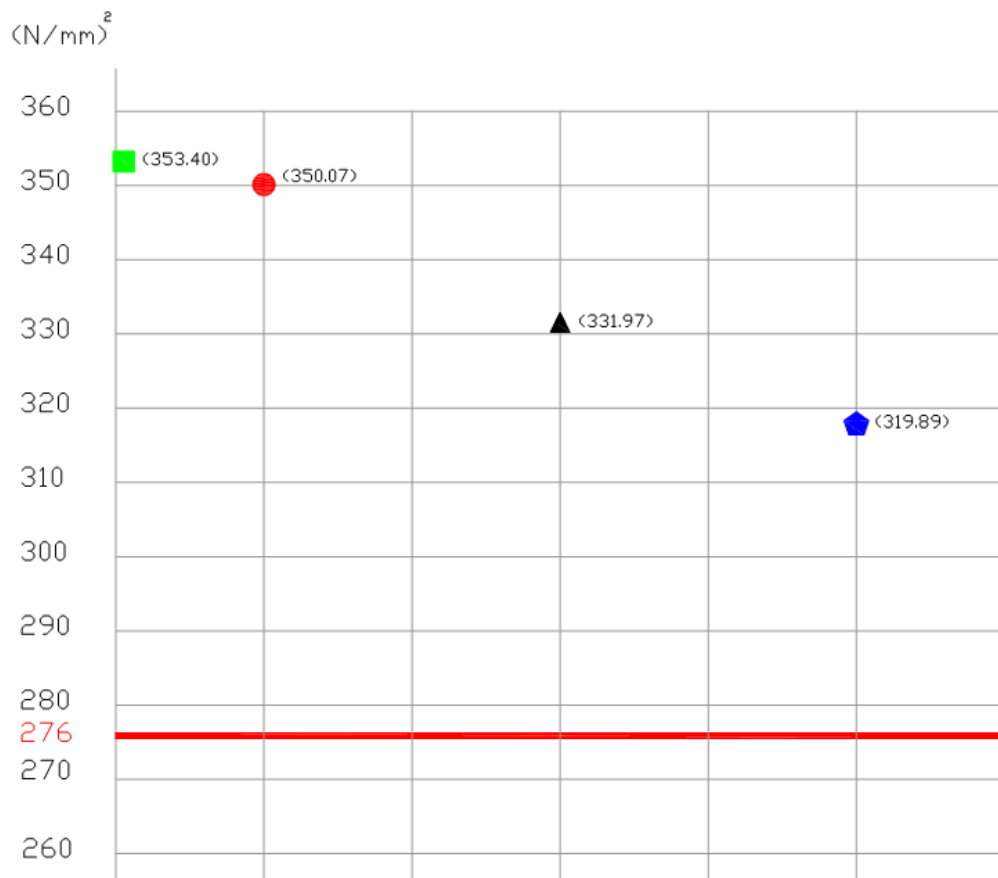


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ช่วงอายุต่างๆ โดยแบ่งตามวิธีการซ่อมแซม

- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรือที่ซ่อมแซมด้วยเกรด 5083-H116 แบบกระแสปัลส์
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรือที่ซ่อมแซมด้วยเกรด 5083-H116 แบบกระแสมาตรฐาน
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรือที่ซ่อมแซมด้วยเกรด 5083-H116 แบบกระแสปัลส์
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรือที่ซ่อมแซมด้วยเกรด 5083-H116 แบบกระแสมาตรฐาน
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรือที่ซ่อมแซมด้วยเกรด 5083-H116 แบบกระแสปัลส์
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรือที่ซ่อมแซมด้วยเกรด 5083-H116 แบบกระแสมาตรฐาน

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เรือที่มีอายุต่ำกว่า 1 ปี การใช้ลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือในการซ่อมแซมจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุด แต่การใช้ลูมิเนียมเกรดอื่นๆ มาซ่อมแซม ถึงจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่าการใช้เกรดเดียวกับลำเรือในการซ่อมแซม แต่ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ก็มีค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด และเช่นเดียวกันกับเรือที่มีอายุระหว่าง 9-10 ปี ที่การใช้ลูมิเนียมเกรดเดียวกับเรือมีค่าความต้านทานสูงที่สุด แต่การใช้ลูมิเนียมเกรดอื่นๆ มาซ่อมแซมก็มีค่าความต้านทานที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน ในขณะที่เรือที่มีอายุระหว่าง 29-30 ปี พบว่า การใช้ลูมิเนียมเกรด 5086-H112 แบบกระแสมาตรฐานพบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด และเป็นเช่นเดียวกันกับเรือลูมิเนียมที่มีอายุระหว่าง 49-50 ปี ที่การใช้ลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ในการซ่อมแซมมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนด ในขณะที่การใช้ลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ซ่อมแซมนั้นมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย

2. ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่อลูมิเนียม (ค่าแรงดึงของเนื้อโลหะ ที่นำตัวอย่างชิ้นงานมาจากเรื่อลูมิเนียมที่ช่วงอายุต่างๆ) ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่อลูมิเนียมพบว่า เรื่อที่มีอายุเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงจะมีค่าที่ลดลงตามอายุที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาพที่ 4.8

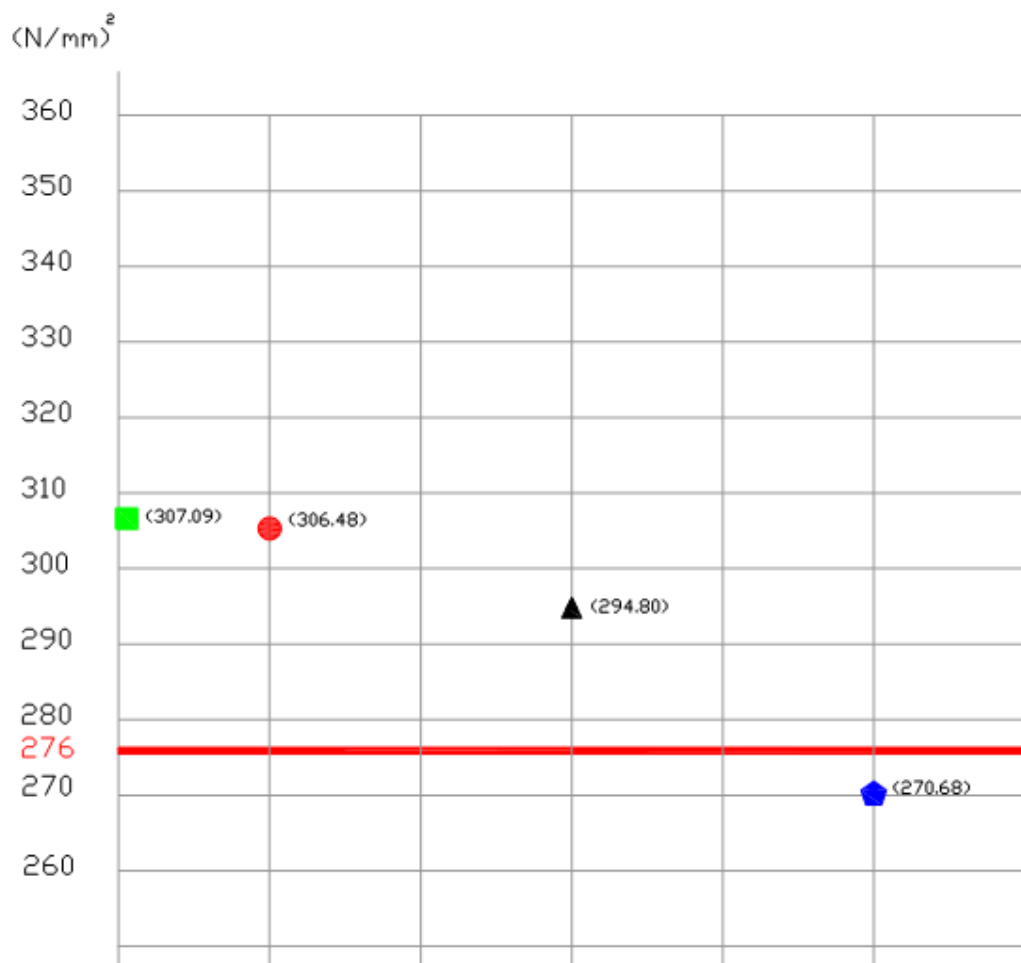


เรื่ออายุ เรื่ออายุ เรื่ออายุ เรื่ออายุ
 ต่ำกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปี ระหว่าง 49-50 ปี

ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่อ (เนื้อโลหะ) ที่ช่วงอายุต่างๆ

- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่ออายุต่ำกว่า 1 ปี
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่ออายุระหว่าง 9-10 ปี
- ▲ แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่ออายุระหว่าง 29-30 ปี
- ◆ แทนค่าความต้านทานแรงดึงของเรื่ออายุระหว่าง 49-50 ปี

3. ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยแบ่งตามอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม จากการเปรียบเทียบค่าแรงดึงของแนวเชื่อมระหว่างการซ่อมแซมเรือในช่วงอายุต่างๆ ก็พบว่าแนวเชื่อมของเรืออลูมิเนียมที่ถูกซ่อมแซมจะมีค่าความต้านทานที่ลดลง โดยเรือที่มีอายุมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมจะยิ่งลดลงตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.9

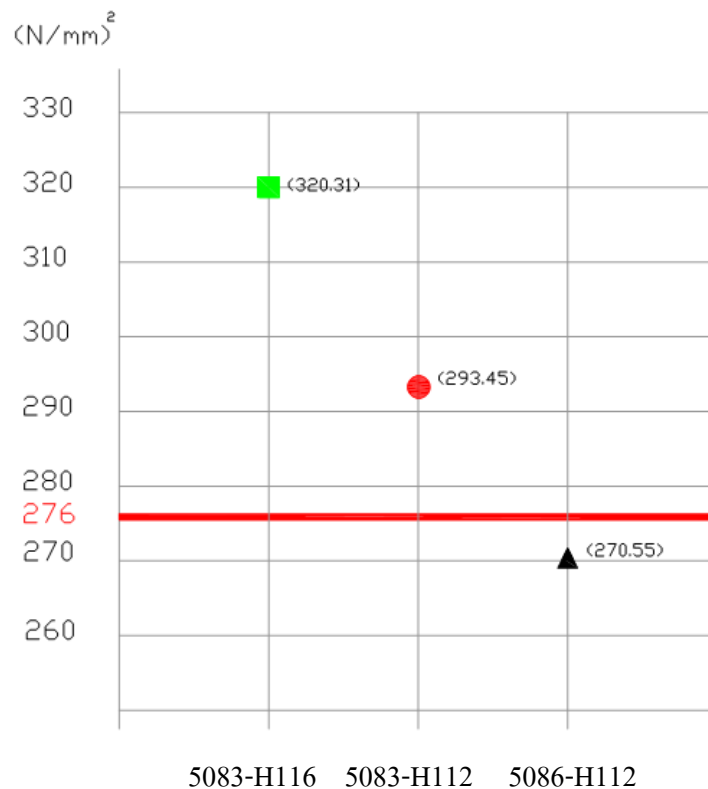


เรืออายุ เรืออายุ เรืออายุ เรืออายุ
ต่ำกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปี ระหว่าง 49-50 ปี

ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม แบ่งตามอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม

- แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรืออายุต่ำกว่า 1 ปี
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรืออายุระหว่าง 9-10 ปี
- ▲ แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรืออายุระหว่าง 29-30 ปี
- ◆ แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรืออายุระหว่าง 49-50 ปี

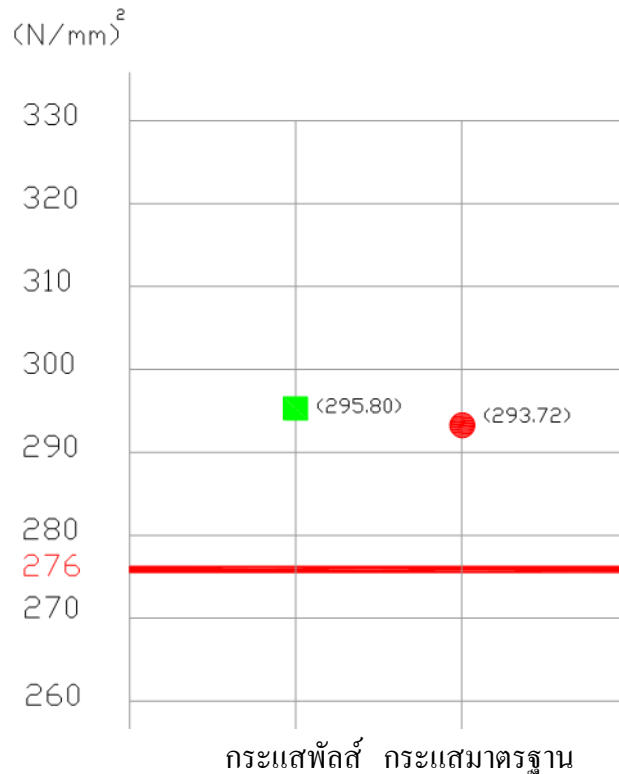
4. ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยแบ่งตามเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ในการซ่อมแซม พบว่าการซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ (5083-H116) มีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมสูงที่สุด ในขณะที่การใช้อลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ซ่อมแซมพบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมต่ำที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม แบ่งตามเกรดอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม

- แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซม
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซม
- ▲ แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซม

5. ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยแบ่งตามกระแสเชื่อมที่ใช้ในการซ่อมแซม พบว่า การซ่อมแซมโดยใช้กระแสพัลส์ มีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่าการซ่อมแซมด้วยกระแสมาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งผลแสดงดังภาพที่ 4.11

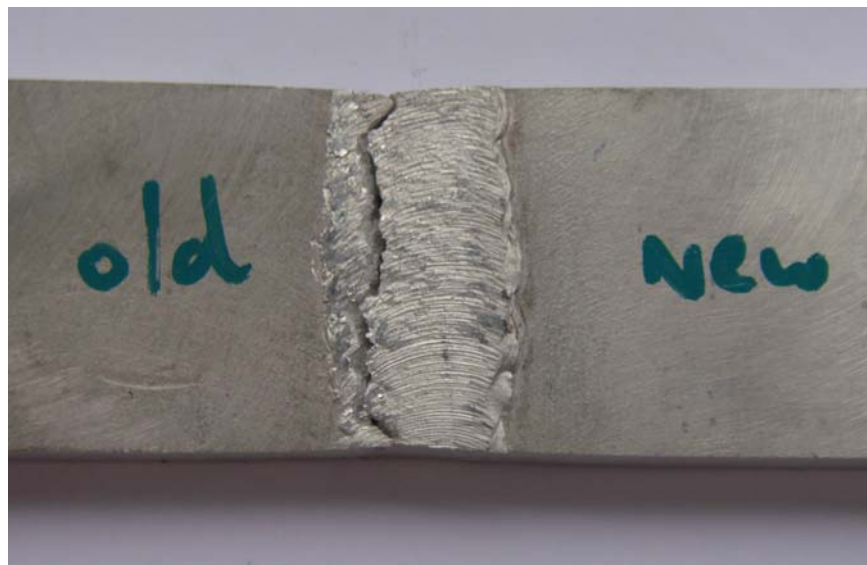


ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม แบ่งตามกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม

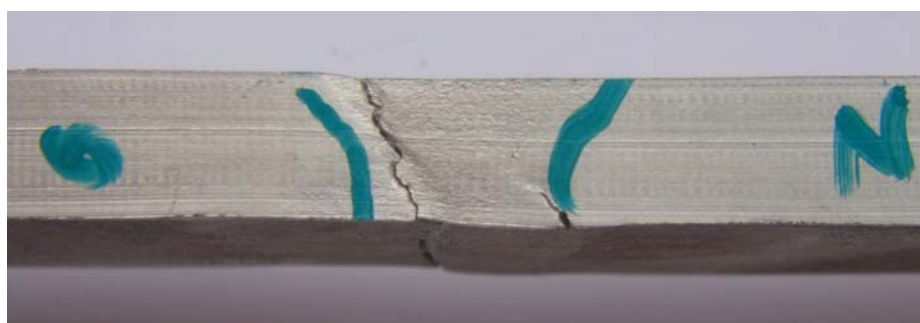
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ใช้กระแสพัลส์ซ่อมแซม
- แทนค่าความต้านทานแรงดึงแนวเชื่อม ของเรือที่ใช้กระแสมาตรฐานซ่อมแซม

ผลการตรวจสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมแสดงให้เห็นว่า การเชื่อมด้วยกระแสพัลส์จะมีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมที่สูงกว่า กระแสมาตรฐานเพียงเล็กน้อย และการซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ (5083-H116) จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุด แต่สำหรับเรือที่มีอายุต่ำกว่า 10 ปีสามารถนำเอาอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 และ 5086-H112 มาซ่อมแซมทดแทนเกรด 5083-H116 ได้ ในขณะที่เรือที่มีอายุระหว่าง 10-30 ปี สามารถนำเอาอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 มาซ่อมแซมทดแทนเกรด 5083-H116 ได้ แต่สำหรับเรือที่มีอายุระหว่าง 30-50 ปี ควรใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ในการซ่อมแซม

ตำแหน่งที่เกิดการฉีกขาดของตัวอย่างทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมทั้งหมดคือในบริเวณแนวเชื่อมโดยตำแหน่งเสียหายมีแนวโน้มเอียงเข้าหาฝั่งของอลูมิเนียมเรือ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 และ 4.13 (old) คือ อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ที่ผ่านการกัดกร่อนในน้ำทะเลที่อายุต่างๆ (new) คืออลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ที่นำมาซ่อมแซม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบทางเคมีที่แสดงให้เห็นว่าอลูมิเนียมที่ถูกการกัดกร่อนในน้ำทะเลเกิดการสูญเสียค่าความต้านทานแรงดึงเป็นสาเหตุให้บริเวณที่เกิดการเสียหายนั้นมีแนวโน้มเข้าหาฝั่งอลูมิเนียมที่ผ่านการกัดกร่อนจากน้ำทะเล



ภาพที่ 4.12 ตำแหน่งขาดของชิ้นงานทดสอบแสดงรูปด้านบน



ภาพที่ 4.13 ตำแหน่งขาดของชิ้นงานทดสอบแสดงรูปด้านข้าง

4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และการคำนวณจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มาวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยการวิเคราะห์ทางสถิตินี้ได้นำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซมมี 4 ระดับ (ต่ำกว่า 1 ปี ระหว่าง 9-10 ปี ระหว่าง 29-30 ปี และ ระหว่าง 49-50 ปี) เกรดของอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมมี 3 ระดับ (5083-H116 5083-H112 และ 5086-H112) และ กระแสเชื่อมที่ใช้ในการซ่อมแซมมี 2 ระดับ (กระแสพัลส์และ กระแสมาตรฐาน) มาวิเคราะห์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึง โดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอนดังนี้

1. สมมติฐานการทดลอง

พิจารณา ปัจจัยหลัก (Main effect)

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม (Factor A)

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของ อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซมไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \mu_i \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ อายุเรือที่นำมาซ่อมแซม แตกต่างกัน

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของ เกรดอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซม (Factor B)

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของ เกรดอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \alpha_j \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ เกรดอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซม แตกต่างกัน

- ทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลของ กระแสเชื่อมที่นำมาซ่อมแซม (Factor C)

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ สำหรับทุกระดับอิทธิพลของ กระแสเชื่อมที่นำมาซ่อมแซมไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \text{at least one } \beta_k \neq 0$ สำหรับบางระดับ อิทธิพลของ กระแสเชื่อมที่นำมาซ่อมแซม แตกต่างกัน

พิจารณา ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย (Interaction effect)

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor B) หรือไม่

$H_0 : (\mu\alpha)_{ij} = 0$ for all i, j ทุกระดับ i, j ไม่มีอิทธิพลของ Interaction

$H_1 : \text{at least one } (\mu\alpha)_{ij} \neq 0$ มีบาง i, j มีอิทธิพลของ Interaction

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A) และ (Factor C) หรือไม่

$$H_0 : (\mu\beta)_{ik} = 0 \text{ for all } i, k \quad \text{ทุกระดับ } i, k \text{ ไม่มีอิทธิพลของ Interaction}$$

$$H_1 : \text{at least one } (\mu\beta)_{ik} \neq 0 \quad \text{มีบาง } i, k \text{ มีอิทธิพลของ Interaction}$$

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor B) และ (Factor C) หรือไม่

$$H_0 : (\alpha\beta)_{jk} = 0 \text{ for all } j, k \quad \text{ทุกระดับ } j, k \text{ ไม่มีอิทธิพลของ Interaction}$$

$$H_1 : \text{at least one } (\alpha\beta)_{jk} \neq 0 \quad \text{มีบาง } j, k \text{ มีอิทธิพลของ Interaction}$$

พิจารณา ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย (3 Factor interaction effect)

- ทดสอบว่ามี Interaction ระหว่าง (Factor A), (Factor B) และ (Factor C) หรือไม่

$$H_0 : (\mu\alpha\beta)_{ijk} = 0 \text{ for all } i, j, k \quad \text{ทุกระดับ } i, j, k \text{ ไม่มีอิทธิพลของ Interaction}$$

$$H_1 : \text{at least one } (\mu\alpha\beta)_{ijk} \neq 0 \quad \text{มีบาง } i, j, k \text{ มีอิทธิพลของ Interaction}$$

2. ระดับนัยสำคัญทางสถิติ = 0.05

3. คำนวณค่าสถิติ F

คำนวณค่า Sum square

$$SS_A = 25,087,187.99 - 25,024,581.69 = 62,606.30$$

$$SS_B = 25,143,675.68 - 25,024,581.69 = 119,093.99$$

$$SS_C = 25,024,894.27 - 25,024,581.69 = 312.58$$

$$SS_{AB} = 25,053,858.07 - 25,024,581.69 = 29,276.38$$

$$SS_{AC} = 25,024,606.28 - 25,024,581.69 = 24.59$$

$$SS_{BC} = 25,024,875.15 - 25,024,581.69 = 293.46$$

$$SS_{ABC} = 25,024,912.92 - 25,024,581.69 = 331.23$$

$$SSE = 239,456.18 - \text{Sum}(SS_A \text{ to } SS_{ABC}) = 27,517.62$$

$$SST = 25,264,038.36 - [((84,894.52)^2) / (72 \times 4)] = 239,456.18$$

คำนวณค่า Degree of freedom

$$df_A = 4 - 1 = 3$$

$$df_B = 3 - 1 = 2$$

$$df_C = 2 - 1 = 1$$

$$df_{A \times B} = (4 - 1)(3 - 1) = 6$$

$$df_{A \times C} = (4 - 1)(2 - 1) = 3$$

$$df_{B \times C} = (3 - 1)(2 - 1) = 2$$

$$df_{A \times B \times C} = (4 - 1)(3 - 1)(2 - 1) = 6$$

$$df_E = (72 \times 4) - (4 \times 3 \times 2) = 264$$

$$df_T = (72 \times 4) - 1 = 287$$

คำนวณค่า MS

$$MS_A = 62,606.30/3 = 20,868.76$$

$$MS_B = 119,093.99/2 = 59,547.00$$

$$MS_C = 312.58/1 = 312.58$$

$$MS_{AB} = 29,276.38/6 = 4,879.39$$

$$MS_{AC} = 24.59/3 = 8.20$$

$$MS_{BC} = 293.46/2 = 146.73$$

$$MS_{ABC} = 331.23/6 = 55.20$$

$$MSE = 27,517.62/264 = 104.23$$

คำนวณค่า F

$$F_A = 20,868.76/104.23 = 200.21$$

$$F_B = 59,547.00/104.23 = 571.28$$

$$F_C = 312.58/104.23 = 2.99$$

$$F_{AB} = 4,879.39/104.23 = 46.81$$

$$F_{AC} = 8.20/104.23 = 0.079$$

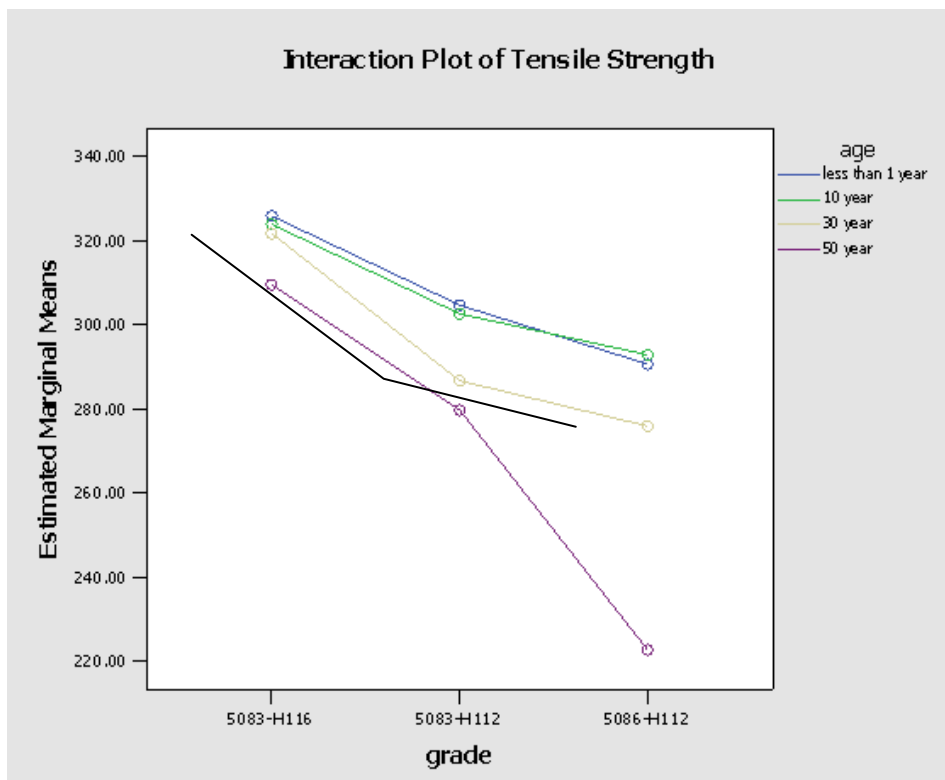
$$F_{BC} = 146.73/104.2 = 1.40$$

$$F_{ABC} = 55.20/104.23 = 0.53$$

จากการคำนวณค่าทางสถิติได้นำค่าที่คำนวณแสดงดังตารางที่ 4-4 สำหรับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยสัญลักษณ์ A = อายุของเรือที่นำมาซ่อมแซม B = เกรดของอลูมิเนียมซ่อมแซม C = กระแสเชื่อม

ตารางที่ 4-4 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	P
A	62606.30	3	20868.76	200.21	0.000
B	119093.99	2	59547.00	571.28	0.000
C	312.58	1	312.58	2.99	0.084
A*B	29276.38	6	4879.39	46.81	0.000
A*C	24.59	3	8.20	0.079	0.972
B*C	293.46	2	146.73	1.40	0.247
A*B*C	331.23	6	55.20	0.53	0.786
Error	27517.62	264	104.23		
Total	239456.18	287			



ภาพ 4.14 การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมระหว่างเกรดของอลูมิเนียมซ่อมแซมและอายุเรือที่นำมาซ่อมแซม

4. นำค่า F ที่การคำนวณได้เทียบกับค่าวิกฤตดังแสดงในตารางที่ 4-4 พบว่า

P_A มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1

P_B มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1

P_C มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

P_{AB} มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1

P_{AC} มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

P_{BC} มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

P_{ABC} มีค่ามากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0

5. ผลการทดสอบสมมติฐานสรุปได้ว่า ปัจจัยหลักด้านอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซมและเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับซ่อมแซมมีผลกระทบต่อการซ่อมแซมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4-4 โดยเรือที่มีอายุมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงจะมีค่าลดลง และการใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ในการซ่อมแซมจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุดในขณะที่การใช้เกรด 5086-H112 ในการซ่อมแซมจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยร่วมพบว่า ปัจจัยร่วมระหว่างอายุของเรือที่นำมาซ่อมแซมและ เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ในการซ่อมแซมมีผลกระทบต่อการซ่อมแซมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยเรือที่มีอายุระหว่าง 49-50 ปี ที่ใช้อลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ซ่อมแซมพบว่ามีความต้านทานแรงดึงที่มีแนวโน้มแตกต่างจากกรณีอื่นดังแสดงในตารางที่ 4-4 และภาพที่ 4.14

การคำนวณจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูล การทดลองในงานวิจัยนี้ได้กระทำซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละสภาวะการทดลองโดยใช้หลักการคำนวณการสุ่มงาน (Work sampling) เป็นเครื่องมือกำหนดจำนวนการทำซ้ำของการทดลอง โดยตัวอย่างการคำนวณคือ กรณีของการซ่อมแซมเรืออลูมิเนียม อายุต่ำกว่า 1 ปี ด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 แบบกระแสปัด ซึ่งมีความถี่การทำงานมากที่สุดมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

จำนวนครั้งของการทดลองสามารถหาได้จากสมการที่ 4 หน้า 19

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเชื่อมซ้ำ 3 ครั้ง โดยแต่ละชิ้นงานที่เชื่อมจะตัดชิ้นงานออกมาทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง 4 ชิ้นต่อ 1 ครั้งการเชื่อมดังแสดงในภาพที่ 3.20 (ก) โดยค่า X ที่นำมาคำนวณจะเป็นค่าเฉลี่ยของ ค่าความต้านทานแรงดึงของทั้ง 4 ชิ้นงานที่ทดสอบ โดยมีรายละเอียดการคำนวณและ ตัวแปรดังนี้

X_1 แทนค่าเฉลี่ย ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมของแผ่นที่ 1

X_2 แทนค่าเฉลี่ย ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมของแผ่นที่ 2

X_3 แทนค่าเฉลี่ย ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมของแผ่นที่ 3

$N = 3$

$k = 40$

รายละเอียดค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมของเรืออายุต่ำกว่า 1 ปี ที่ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ด้วยกระแสพัลส์มีดังนี้

แผ่นที่ 1 มีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย เท่ากับ 308.68 N/mm^2 โดยมีค่าความต้านทานของแต่ละชิ้นงานทดสอบดังนี้ (300.73 N/mm^2 306.68 N/mm^2 329.84 N/mm^2 และ 297.47 N/mm^2)

แผ่นที่ 2 มีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย เท่ากับ 317.38 N/mm^2 โดยมีค่าความต้านทานของแต่ละชิ้นงานทดสอบดังนี้ (327.05 N/mm^2 308.70 N/mm^2 328.93 N/mm^2 และ 304.83 N/mm^2)

แผ่นที่ 3 มีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย เท่ากับ 293.10 N/mm^2 โดยมีค่าความต้านทานของแต่ละชิ้นงานทดสอบดังนี้ (292.75 N/mm^2 304.83 N/mm^2 293.53 N/mm^2 และ 281.28 N/mm^2)

$$\sum X = 919.16$$

$$\sum X^2 = 281,917.97$$

$$(\sum X)^2 = 844,846.06$$

$$n = \left[\frac{40 \sqrt{(3 \times 281,917.97) - (844,846.06)}}{919.16} \right]^2 \text{ ----- (5)}$$

จากสมการที่ 5 พบว่า n มีค่ากับ 1.72 ดังนั้น จำนวนครั้งของการทำซ้ำเท่ากับ 2 ครั้ง

4.5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนการซ่อมแซมเพื่อเปรียบเทียบการซ่อมแซมแบบเก่า (ใช้อลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ 5083-H116 ในการซ่อมแซม) กับการซ่อมแซมแบบใหม่โดยใช้อลูมิเนียมเกรดอื่นๆมาทดแทนนั้น ได้แบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนที่ไม่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซม กับต้นทุนที่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซม

1. ต้นทุนที่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซม มี 3 ส่วน คือ เกรดของอลูมิเนียมที่นำมาซ่อมแซมซึ่งมีต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 4-5 ค่าไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมแบบกระแสพัลส์และ แบบกระแสมาตรฐาน และต้นทุนค่าเครื่องเชื่อมแบบกระแสพัลส์และ แบบกระแสมาตรฐานซึ่งมีต้นทุนเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4-6 ซึ่งมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4-7 และ 4-8

ตารางที่ 4-5 ต้นทุนของอลูมิเนียมเกรดต่างๆ

	ราคา
อลูมิเนียมเกรด	(บาท/ กิโลกรัม)
5083-H116	271.00
5083-H112	244.00
5086-H112	232.00

ที่มา : ฝ่ายบัญชีของทางบริษัท Deskearns marine surveyor

ตารางที่ 4-6 ต้นทุนที่แปรผันตามรูปแบบการซ่อมแซมแบ่งตามรูปแบบกระแสเชื่อม

ต้นทุนที่แปรผันตามรูปแบบการซ่อมแซม			
		กระแสพัลส์	กระแสมาตรฐาน
		(บาท/กิโลกรัม)	(บาท/กิโลกรัม)
วัตถุดิบทางตรง	ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม	3.38	3.43
ค่าใช้จ่ายการผลิต	ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์	2.47	0.87
ต้นทุนรวมต่อกิโลกรัม		5.85	4.3

ต้นทุนค่าเครื่องมือและอุปกรณ์ มาจากการฝ่ายบัญชีของบริษัท โดยเครื่องมือมีอายุการใช้งาน 10 ปี โดยแต่ละปีทำ การเชื่อมอลูมิเนียมเฉลี่ย 18,000 กิโลกรัม ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ต้นทุนค่าเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับซ่อมแซม

	รูปแบบการซ่อมแซม		ที่มา
	แบบกระแสพัลส์	แบบกระแสมาตรฐาน	
	(บาท)	(บาท)	
เครื่องเชื่อม	437,000.00	149,000.00	www.thetoolwarehouse.net
อุปกรณ์ ที่ใช้ประกอบเครื่องเชื่อม	6,700.00	6,700.00	www.thetoolwarehouse.net

สำหรับต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าของการเชื่อมแบบกระแสพัลส์และ แบบกระแสมาตรฐาน มาจากการเก็บข้อมูลค่าไฟฟ้า โดยเครื่องเชื่อมแต่ละเครื่อง ได้ทำการแยกมิเตอร์วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการเชื่อม โดยมีมิเตอร์วัดไฟทั้ง 2 เครื่องนี้ จะใช้เฉพาะงานเชื่อมจากเครื่องเชื่อม 2 เครื่องนี้เพียงอย่างเดียว โดยมีระยะเวลาการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า ทั้งสิ้น 4 เดือน ดังแสดงผลในตารางที่ 4-8 ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง ได้ทำการบันทึก น้ำหนักของอลูมิเนียมที่ใช้ในการเชื่อมของแต่ละเครื่อง เฉลี่ยดังนี้ เครื่องเชื่อมแบบกระแสพัลส์ เชื่อมอลูมิเนียมทั้งสิ้น 11,990 กิโลกรัม และเครื่องเชื่อมแบบกระแสมาตรฐาน เชื่อมอลูมิเนียมทั้งสิ้น 12,001 กิโลกรัม จากการทดลองสามารถคิดค่าเฉลี่ยของ ต้นทุนการใช้ไฟฟ้าของการเชื่อมแบบกระแสพัลส์และกระแสมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าของการเชื่อมแบบกระแสพัลส์และกระแสมาตรฐาน

	รูปแบบการเชื่อมแซม	
	แบบกระแสพัลส์	แบบกระแสมาตรฐาน
ค่าไฟฟ้า	(บาท)	(บาท)
เดือนที่ 1	46,118.09	47,980.50
เดือนที่ 2	41,897.89	42,097.10
เดือนที่ 3	37,190.03	42,497.43
เดือนที่ 4	36,909.10	32,119.30
รวม	162,115.11	164,694.33
เฉลี่ยต่อเดือน	40,528.78	41,173.58
ต้นทุนรวมต่อกิโลกรัม	3.38	3.43

2. ต้นทุนที่ไม่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซมซึ่งแบ่งตามประเภทของต้นทุน ดังแสดงในตารางที่ 4-9 มาจากการคำนวณต้นทุนจากการต้นทุนค่าใช้จ่ายดังแสดงในตารางที่ 4-10 ถึงตารางที่ 4-12 โดยใช้หลักการหาต้นทุนต่อหน่วยน้ำหนักของอลูมิเนียมที่ใช้เชื่อมซ่อมแซม โดยน้ำหนักของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม 1 แผ่น มีปริมาตร 1.2 x 2.4 x 0.008 เมตร มีความถ่วงจำเพาะ 2.60 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส ดังนั้น อลูมิเนียม 1 แผ่นที่ขนาดดังกล่าว มีน้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม แต่ละปี เครื่องเชื่อมแต่ละเครื่องสามารถเชื่อมได้ 300 แผ่น หรือ 18,000 กิโลกรัมต่อปีต่อเครื่อง

ตารางที่ 4-9 ต้นทุนที่ไม่แปรผันตามวิธีการซ่อมแซม

ต้นทุนที่ไม่แปรผันตามรูปแบบการซ่อมแซม		
		(บาท/กิโลกรัม)
วัตถุดิบทางอ้อม	แก๊สปกคลุม	7.62
	ลวดเชื่อม	4.89
ค่าแรงทางตรง	ค่าแรงช่างเชื่อม	28.00
	ค่าแรงช่างประกอบ	34.50
ค่าแรงทางอ้อม	เงินเดือนฝ่ายสำนักงาน	5.00
	เงินเดือนฝ่ายซ่อมแซม	7.00
ค่าใช้จ่ายการผลิต	ค่าอุปกรณ์สำนักงาน	0.70
	ค่ายานพาหนะ	1.88
	ค่าเช่าสำนักงาน	10.00
	ค่าสาธารณูปโภค	17.05
ต้นทุนรวมต่อกิโลกรัม		116.64

โดยรายละเอียดที่มาของต้นทุนต่างๆมีดังนี้ ราคาค่าลวดเชื่อม 1 ม้วนราคา 2,200 บาท ลวดเชื่อม 1 ม้วนสามารถเชื่อมได้ 450 กิโลกรัม แก๊สปกคลุม 1 ถัง ราคา 800 บาท สามารถใช้เชื่อมอลูมิเนียมได้ 105 กิโลกรัม อ้างอิงจากสภาพการทำงานจริง เงินเดือนพนักงาน การดำเนินการของโครงการ การซ่อมแซมเรืออลูมิเนียมมีพนักงานประกอบด้วย วิศวกร พนักงานบัญชีและการเงิน ช่างประกอบ ช่างฝีมือ โดยโครงสร้างจำนวนพนักงานและเงินเดือนแสดงดังตารางที่ 4-10 ซึ่งต้นทุนของเงินเดือนพนักงานต่อกิโลกรัมคือ 74.50 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4-10 ต้นทุนของเงินเดือน ของฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

	จำนวน	เงินเดือนต่อคน	รวมต่อปี
	(คน)	(บาท)	(บาท)
เงินเดือนฝ่ายซ่อมแซม	1	21,000	252,000
เงินเดือนฝ่ายสำนักงาน	1	15,000	180,000
ช่างประกอบ	6	17,250	1,242,000
ช่างฝีมือ	4	21,000	1,008,000
รวม			2,682,000
ต้นทุนของเงินเดือนต่อกิโลกรัม			74.50

หมายเหตุ: เงินเดือนของฝ่ายสำนักงานและฝ่ายซ่อมแซมนำมาคำนวณเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้เท่านั้น

ค่าอุปกรณ์สำนักงาน ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงานและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆในการทำงานดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4-11 คิดอุปกรณ์สำนักงานทุกอย่างมีอายุ 5 ปี แต่ ละปีสามารถใช้ดำเนินการเชื่อมได้ 36,000 กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนของอุปกรณ์สำนักงานคือ 0.70 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4-11 ต้นทุนอุปกรณ์เครื่องใช้สำนักงาน

รายการ	จำนวน	ราคา	รวม	ที่มา
		(บาท/หน่วย)	(บาท)	-
โต๊ะสำนักงาน	3	4,500	13,500	www.officedepot.co.th
เก้าอี้สำนักงาน	3	3,900	11,700	www.officedepot.co.th
โต๊ะวางปริ้นเตอร์	1	550	550	www.homepro.co.th
คอมพิวเตอร์	3	18,000	54,000	www.jib.co.th
ปริ้นเตอร์	1	6,200	6,200	www.jib.co.th
ตู้เอกสาร	1	5,500	5,500	www.officedepot.co.th
ชั้นหนังสือ	2	3,600	7,200	www.homepro.co.th
ชุดโต๊ะประชุม	1	28,000	28,000	www.officedepot.co.th
รวม			126,650	
ต้นทุนต่อ 1 กิโลกรัม			0.70	

ค่ายานพาหนะ ใช้สำหรับขนย้ายเครื่องมือและพนักงานเข้าท่าเรือ ยี่ห้อ TOYOTA รุ่น VIGO 2.5E Double cap ราคา 677,000 บาท คิออายุการใช้งาน 10 ปี ต่อปีสามารถใช้จ่ายเงินงานเชื่อมได้ 2 เครื่องเชื่อมหรือ 36,000 กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนของยานพาหนะคือ 1.88 บาทต่อกิโลกรัม
ที่มา: http://www.toyota.co.th/th/models/Vigo_Double_Cab/vigo_doublecab_home.htm

ค่าเช่าสำนักงานสำหรับเก็บอุปกรณ์และใช้เป็นสำนักงาน ค่าเช่าปีละ 360,000 บาท สามารถดำเนินการเชื่อมได้ 36,000 กิโลกรัม ดังนั้นต้นทุนของค่าเช่าสำนักงานคือ 10.0 บาทต่อกิโลกรัม

ค่าสาธารณูปโภคประกอบด้วยค่าน้ำค่าไฟฟ้าในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับค่าธรรมเนียม ค่าโทรศัพท์ ค่าน้ำมันรถ ค่าอินเทอร์เน็ต ค่าน้ำดื่ม และค่ารับรองผู้ตรวจสอบ โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4-12 จากตารางพบว่าต้นทุนเฉลี่ยของค่าสาธารณูปโภคคือ 17.05 บาทต่อ 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 4-12 ค่าเฉลี่ยต้นทุนค่าสาธารณูปโภค

	จำนวนเงิน
ค่าสาธารณูปโภค	(บาท/ปี)
ค่าน้ำ	3,972.00
ค่าไฟฟ้า	27,960.00
ค่าโทรศัพท์	10,836.00
ค่าน้ำมันรถ	259,284.00
ค่าอินเทอร์เน็ต	7,080.00
ค่าน้ำดื่ม	16,800.00
ค่าตรวจสอบ	288,000.00
รวม	613,932.00
ต้นทุนรวมต่อ 1 กิโลกรัม	17.05

จากการวิเคราะห์ต้นทุน โดยแบ่งตามต้นทุนที่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซมและต้นทุนที่ไม่ผันแปรตามวิธีการซ่อมแซม สามารถสรุปต้นทุนการซ่อมแซมในรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ต้นทุนรวมแบ่งตามการวิธีการซ่อมแซมรูปแบบต่างๆ

วิธีการซ่อมแซม	การซ่อมแซมด้วย อะลูมิเนียมเกรด	รูปแบบการซ่อมแซม	
		แบบกระแสพัลส์	แบบกระแสมาตรฐาน
		(บาท/ปี)	(บาท/ปี)
การซ่อมแซมแบบเก่า	5083-H116	393.49	391.94
การซ่อมแซมแบบใหม่	5083-H112	366.49	364.94
	5086-H112	354.49	352.94

การวิเคราะห์ต้นทุนของการซ่อมแซมเรืออลูมิเนียมแสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของ ต้นทุนต่างๆที่ใช้สำหรับซ่อมแซม จากการวิเคราะห์โดยรวมพบว่าวัตถุดิบทางตรงมีสัดส่วนต้นทุน ที่ 66% ลวดเชื่อมมีสัดส่วนต้นทุน 1% แก๊สปกคลุมมีต้นทุน 2% ค่าแรงทางตรงมีต้นทุน 17% ค่าแรง ทางอ้อมมีต้นทุน 3% ในขณะที่ค่าใช้จ่ายการผลิตมีต้นทุน 11%

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนสรุปได้ว่ากระแสเชื่อมส่งผลต่อต้นทุนค่าซ่อมแซมน้อยมาก โดยกระแสพัลส์และกระแสมาตรฐานมีต้นทุนที่แตกต่างกันเพียง 1.55 บาทต่อกิโลกรัมของ อลูมิเนียมที่ใช้การซ่อมแซม ในขณะที่การใช้ลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ทดแทนอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 สามารถลดต้นทุนได้ 27 บาทต่อกิโลกรัม และการใช้ลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ในการ ซ่อมแซมแทนอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 สามารถลดต้นทุนได้ 39 บาทต่อกิโลกรัม

การสรุปโดยรวม จากการวิเคราะห์ทั้งหมดที่ได้กระทำในการวิจัยนี้ พบว่าเรือที่มี อายุเพิ่มมากขึ้นจะมี ค่าความแข็งแรงและ ความสามารถในการทนทานต่อการกัดกร่อนในน้ำทะเล ลดลงตามลำดับ สำหรับการซ่อมแซมเรืออลูมิเนียมในช่วงอายุต่างๆ แสดงให้เห็นว่า การซ่อมแซม ด้วยอลูมิเนียมเกรดเดียวกับลำเรือ (5083-H116) จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุด และการ ซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมที่แสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาผลของค่า ความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ประกอบกับ มาตรฐานค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดที่กำหนด โดย ABS พบว่า เรืออายุต่ำกว่า 10 ปี สามารถนำอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 มาซ่อมแซมทดแทน อลูมิเนียมเกรด 5083-116 ได้ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการซ่อมแซมลง ประมาณ 39 บาทต่อกิโลกรัม และสำหรับเรือที่มีอายุระหว่าง 10 - 30 ปี สามารถนำอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 มาซ่อมแซม ทดแทนเกรด 5083-H116 ได้ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 27 บาทต่อกิโลกรัม แต่สำหรับเรือที่ มีอายุมากกว่า 30 ปี ควรใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ในการซ่อมแซมเนื่องจาก การซ่อมแซมด้วย อลูมิเนียมเกรด 5083-H112 และ 5086-H112 พบว่ามีบางชิ้นงาน ที่ค่าความต้านทานแรงดึงของแนว เชื่อมที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุปนี้ เป็นการสรุปผลเฉพาะของการศึกษาการช่อมแซมลำเรือที่ต่อด้วย อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังที่กล่าวในงานวิจัย สำหรับผู้วิจัยท่านอื่นที่ต้องการแก้ปัญหาที่มีรายละเอียดแตกต่างจากปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาคควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

5.1 บทสรุป

การศึกษาวิจัยพบว่าการใช้เกรดของอลูมิเนียม ให้เหมาะสมกับช่วงอายุของเรือ สามารถลดต้นทุนการช่อมแซมและ สามารถรักษาค่าความแข็งแรงให้ผ่านมาตรฐานที่กำหนดได้ โดยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 เหมาะสมที่จะใช้ช่อมแซม เรือที่มีอายุต่ำกว่า 10 ปี ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการช่อมแซมน้อยที่สุดและ ยังมีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ที่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด สำหรับอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 เหมาะสมที่จะใช้ช่อมแซม เรือที่มีอายุระหว่าง 10 ถึง 30 ปี ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการช่อมแซมน้อยที่สุดและ ยังมีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ที่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด แต่สำหรับเรือที่มีอายุมากกว่า 30 ปี ควรใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ในการช่อมแซม

การวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้เกรดของอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 โดยมีตัวแปรอิสระ คือ อายุของเรือที่นำมาช่อมแซม เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ช่อมแซม และ กระแสเชื่อมที่ใช้ช่อมแซม และมีตัวแปรตามคือ ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม จากการศึกษาผลการทดลอง พบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามดังนี้

อายุของเรือมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม โดยยิ่งอายุเรือเพิ่มมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมยังมีค่าลดลง โดยสาเหตุของการที่ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมลดลงสืบเนื่องจากการที่อลูมิเนียมถูกกัดกร่อนจากน้ำทะเลเป็นระยะเวลานาน จนอลูมิเนียมสูญเสียธาตุแมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียมเกรด 5XXX (Liu and Chao, 1993)

เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ช่อมแซมมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมโดยการใช้เกรดอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ช่อมแซมจะมีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมสูงที่สุด และการใช้เกรด 5086-H112 ช่อมแซมจะมีค่าที่ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

(Luijendijk, 2000) ที่พบว่า การเชื่อมอลูมิเนียมต่างเกรด จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมลดลง และงานวิจัยของ (Menzemer et al., 2000) ที่พบว่า การเชื่อมอลูมิเนียมต่างเกรดจะพบรอยแตกร้าวในแนวเชื่อมที่มีความยาวมากกว่า การเชื่อมอลูมิเนียมเกรดเดียวกัน

กระแสเชื่อมที่ใช้ในการซ่อมแซมพบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อม ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ (Balasubramanian et al., 2006) โดยงานวิจัยบ่งชี้ว่า พบว่า การเชื่อมด้วยกระแสพัลส์ มีค่าความแข็งแรง และ โครงสร้างของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์มากกว่าการเชื่อมด้วยกระแสมาตรฐาน ในขณะที่ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า การซ่อมแซมด้วยกระแสพัลส์มีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่า การซ่อมแซมด้วยกระแสมาตรฐานเพียงเล็กน้อย ซึ่งผลการวิจัยที่ต่างกัน อาจเกิดจากความแตกต่างของรายละเอียดการวิจัย โดยงานวิจัยครั้งนี้มีความแตกต่างกับงานวิจัยของ Balasubramanian ที่ความหนาของอลูมิเนียมที่ใช้ในการศึกษา โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้อลูมิเนียมที่มีความหนากว่า การวิจัยของ Balasubramanian ประมาณ 3 เท่า

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของเรือที่มีอายุเพิ่มสูงขึ้น โดยธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงในปริมาณมากที่สุดคือ ธาตุแมกนีเซียมซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของอลูมิเนียม ซึ่งจากงานวิจัยของ (Mondolfo, 1976) และ (Liu and Chao, 1993) แสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทานแรงดึงที่เพิ่มสูงขึ้น หากอลูมิเนียมมีส่วนผสมของแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้น

จากการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคพบรูพรุนในแนวเชื่อม แสดงถึงความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม โดยรูพรุนเรียงตัวแบบกระจายตัว โดยค่าสัดส่วนพื้นที่ที่จะแสดงถึงความแข็งแรงของแนวเชื่อม โดยค่าสัดส่วนพื้นที่ที่มีค่ามาก ค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมจะมีค่าน้อย จากการตรวจสอบค่าสัดส่วนของพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม พบว่าการซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5083-H116 แบบกระแสพัลส์มีสัดส่วนพื้นที่น้อยที่สุดคือ 11.43% และการซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 แบบกระแสมาตรฐาน พบว่ามีค่าสัดส่วนพื้นที่สูงที่สุดคือ 32.61% เมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ของรูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม โดยแบ่งตามเกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ซ่อมแซม พบว่าการใช้อลูมิเนียมเกรดต่างกันในการซ่อมแซม ค่าสัดส่วนของพื้นที่จะแตกต่างกัน โดยการใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซมจะมีค่าสัดส่วนพื้นที่น้อยกว่าการใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H112 ประมาณ 12% และสำหรับการใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซมมีค่าสัดส่วนพื้นที่น้อยกว่าการใช้อลูมิเนียมเกรด 5086-H112 ประมาณ 18% ถึง 20% แต่สำหรับการเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่รูพรุนต่อพื้นที่แนวเชื่อม โดยแบ่งตามกระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซมพบว่า การซ่อมแซมด้วยกระแสพัลส์มีสัดส่วนพื้นที่ที่น้อยกว่า การซ่อมแซมด้วยกระแสมาตรฐานประมาณ 1% ถึง 2% แสดงให้เห็นว่า

เกรดของอลูมิเนียมที่ใช้ในการซ่อมแซม มีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมมากกว่ากระแสเชื่อมที่ใช้ซ่อมแซม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Luijendijk, 2000) และ Menzemer et al., 2000) ที่พบว่าการเชื่อมอลูมิเนียมเกรดเดียวกันจะมีโครงสร้างของแนวเชื่อมที่สมบูรณ์มากกว่าการเชื่อมอลูมิเนียมต่างเกรด

ต้นทุนการซ่อมแซมเรืออลูมิเนียมขึ้นอยู่กับอายุของเรือเป็นหลัก โดยเรือที่มีอายุต่ำกว่า 10 ปี สามารถนำอลูมิเนียมเกรด 5086-H112 มาซ่อมแซมได้ซึ่งสามารถลดต้นทุนลงได้ 9.9% สำหรับเรือที่มีอายุระหว่าง 10 ปี ถึง 30 ปี สามารถนำอลูมิเนียมเกรด 5083-H112 มาซ่อมแซมได้ซึ่งสามารถลดต้นทุนลงได้ 6.87% ในขณะที่เรือที่มีอายุสูงกว่า 30 ปีผู้วิจัยแนะนำให้ใช้อลูมิเนียมเกรด 5083-H116 ซ่อมแซม และจากการวิเคราะห์ต้นทุนแสดงให้เห็นว่าค่าวัสดุและ แรงงานทางตรงเป็นต้นทุนที่สูงที่สุด ของการซ่อมแซมทั้งหมด สำหรับวัสดุสิ้นเปลืองพบว่า แก๊สปกคลุมมีสัดส่วนที่สูงที่สุด ลวดเชื่อม และค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเชื่อมมีต้นทุนที่รองลงมาตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมในแต่ละช่วงอายุของเรืออลูมิเนียมเกรด 5083-H116 สำหรับการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรจะมีการวิจัยถึงผลกระทบที่ตามมา ของการใช้อลูมิเนียมเกรดอื่นมาทดแทนเกรดเดิม ซึ่งการเชื่อมอลูมิเนียมต่างเกรด อาจส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานการกัดกร่อนน้ำทะเล ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จะมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น หากมีการวิจัยต่อเนื่องถึง ผลที่ตามมาของการซ่อมแซมด้วยอลูมิเนียมต่างเกรด โดยมุ่งเน้นที่การศึกษาหาค่าความต้านทานการกัดกร่อนในน้ำทะเล

บรรณานุกรม

กรมเจ้าท่า .2553. ผลงานการต่อเรือและซ่อมเรือ. กรมเจ้าท่า (ออนไลน์). สืบค้นจาก

<http://md.go.th/mpb/dataompc.htm> (20 เมษายน 2553)

กัลยา วาณิชบัญญัติ. 2540. หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน. คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

เขาวลัย พงศ์ผาติโรจน์. 2539. หลักการบัญชีขั้นต้น1. กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

เขาวลัย ลิ้มฉวีจิตร และคณะ. 2549. โครงการการศึกษาผลของการใช้เศษอลูมิเนียมที่ปรับสภาพ
เกรนละเอียดมาหล่อใหม่ต่อประสิทธิภาพการปรับสภาพเกรนละเอียด. สำนักงาน
คณะกรรมการการอุดมศึกษา. สกว

พินัย มุ่งสันติสุข และ เสริมศักดิ์ ศรีหิรัญ. 2551. โครงการศึกษาและผลิตอลูมิเนียมกันกร่อนสำหรับ
ใช้งานในกองทัพเรือ. ชุดโครงการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ. สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย

สยาม แก้วคำไสย 2553. การกัดกร่อนของโลหะอลูมิเนียมผสม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ
แห่งชาติ. สวทช (ออนไลน์). สืบค้นจาก

http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2010/05/blog-post_29.html (29 มิถุนายน 2553)

สุขอังคณา ที 2553. กระบวนการผลิตการขึ้นรูปแบบร้อนและแบบเย็นของโลหะ. มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี (ออนไลน์). สืบค้นจาก

<http://www.rmutphysics.com/charud/transparency/12/material-science/chap5.files/frame.htm> (24 มิถุนายน 2553)

สุธา สุทธิเรืองวงศ์ 2553. รูปแบบของการกัดกร่อน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.kmitl.ac.th/~kssutha/> (24 ตุลาคม 2553)

American Bureau of Shipping 2006. Rules for Materials and Welding, Legislature of the State of
New York, USA.

- American Bureau of Shipping 2007. *Nondestructive Inspection of Hull Welds*, Legislature of the State of New York, USA.
- C.C. Menzemer, P.C. Lam, C.F. Wittell, and T.S. Srivatsan, "A Study of Fusion Zone Microstructures of Arc-Welded Joints Made from Dissimilar Aluminum Alloys", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol 10, Pages 173-177, 2001
- C.N. Panagopoulos, E.P. Georgiou, "The effect of hydrogen charging on the mechanical behavior of 5083 wrought aluminum alloy", *Corrosion Science*, Vol 49, Pages 4443-4451, 2007
- D. A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, 1996
- D. Roylance, "Stress-Strain Curves", Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology, USA, 2001
- G.W. Mugica, D.O. Tovia, J. C. Cuyas, A.C. Gonzalez, "Effect of porosity on tensile properties of low ductility aluminum alloys", *Materials research*, Vol 7, Number 2, Pages 325-331, 2004
- J. Aromaa, A. Pehkonen and O. Forsen, *Cathodic Protection of Ship in Brackish water*, *J Solid State Electrochem*, vol. 10, 2006, p 681-688
- K. Black, "Business Statistics for Contemporary Decision Making (Fourth Wiley Student Edition for India)", Pages 129-145, 2004
- K. Nisancioglu. "Corrosion of aluminum alloys.", *Proceedings of ICAA3*, Vol 3, Pages 239-259, 1992
- K. Shankar, W. Wu, "Effect of welding and weld repair on crack propagation behavior in aluminium alloy 5083 plates", *Materials and Design*, Vol 23, Issue 2, Pages 201-208, 2002
- K. Shimizu, R.C. Furneaux, G.E. Thompson, G.C. Wood, A. Gotoh and K. Kobayashi, "On the nature of "easy paths" for the diffusion of oxygen in thermal oxide films on aluminum", *Oxidation of metals*, Vol 35, Number 5-6, Pages 427-439, 1991
- L.F. Mondolfo. 1976. *Aluminum alloys structure & properties*. London: Butterworths.
- L. L. Shreir, R. A. Jarman and G. T. Burstein, *Corrosion*, Vol. 2, Corrosion Control, 3Rev. ed., Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, England, 1995

- M. Pourbaix, "Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions", NACE Cebelcor, Huston, 1974.
- NACE International, NACE Standard TM0190-2006 item no. 21221, Standard Test Method for Impressed Current Laboratory Testing of Aluminum Alloy Anodes, NACE International, Texas, USA, 2006
- S. Aksu, S. Cannon, C. Gardinner and M. Gudze, "Hull Material Selection for Replacement Patrol Boats-An Overview" , Defence Science Technology Organisation, 2002
- S. Katsas, J. Nikolaou and G. Papadimitriou, "Corrosion Resistance of Repair Welded Naval Aluminum Alloys", Materials & Design, Vol 28, Issue 3, Pages 831-836, 2007
- T. Luijendijk, "Welding of dissimilar aluminum alloys", Journal of Materials Processing technology, Vol 103, Issue 1, Pages 29-35, 2000
- T.M.Liu, C.G.Chao, "Effect of magnesium on mechanical properties of alumina-fiber-reinforced aluminum matrix composites formed by pressure infiltration casting", Materials Science and Engineering, Vol 169, issue 1-2, Pages 79-84, 1993
- The Naval Sea System Command, Anode, Sacrificial Aluminum Alloy, MIL-A-24779 (SH), Military Specification, Department of the Navy, Washington DC, USA, 1992
- V. Balasubramanian, V. Ravisankar, G.M. Reddy, "Influences of pulsed current welding and post weld aging treatment on fatigue crack growth behaviour of AA7075 aluminium alloy joints", International journal of fatigue, Vol 30, Pages 405-416, 2008

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ใบรับรองการสอบผ่านงานเชื่อม



Welder Performance Qualification (WPQ) Certificate

Qualification: Codes/Standards **AWS D 1.2 / D1.2 M : 2003, Book A MQPS 0-2**
 Manufacturer's name **Luck Karnchang**
 Address
48/5 Srisena road, Tumbon Thaladyai,
Amphur Maung, Phoket Province, 83000
 Tel., Fax **076-252716**

Office **Bangkok**
 Date **16 July 2009**
 Welder name **Anan Loonjanta**
 Welder ID number **LKC-07**
 Weld test number **A-B 04**
 Welder's Date of Birth /National I.D Number
27 Oct 1973 / 3 6011 00059 38 4
 Welder's signature

WPS* number **SL-WPS-D1.2-8**
 The validity of this certificate expires on
 (see sheet 2 of this certificate for conditions)

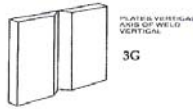
Revision number **0**
10-Jun-2011 Place of test/shop or site
Phithak Sinchai 5/yard

Date of test **11 June 2009**

Materials and Welding Details
 Materials specification, type and group – Side 1
Group 25, Aluminum Allow 5083
 Filler type and designation
AS.10 ER5356

Materials specification, type and group – Side 2
Group 25, Aluminum Allow 5083
 Shielding and purging gases
Argon

Type of joint (sketch – showing dimensions)



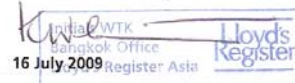
Variables	Weld Test Details	Range of Approval	Variables	Weld Test Details	Range of Approval
Welding Process	GMAW	GMAW	Pipe outside diameter (mm)	-	500mm. outer Dia. Minimum
Plate or pipe (fixed/rotated)	Plate Fixed	Plate / Pipe Fixed	Welding position	3 G	1G, 2G, 3G, 1F, 2F & 3F
Test piece thickness (mm)	6.0 mm.	4.2 - 15 mm.	Gouging /backing	Gouging	Both
Joint Type	Butt	Butt / Fillet	Welded (one/both sides)	Both Sides	One / Both sides.
Test Results (state satisfactory, unsatisfactory or not applicable)			Other	Argon	Combination gas

Test Results (state satisfactory, unsatisfactory or not applicable)

Non-destructive tests	Results	Destructive tests	No. off	Results
Visual	Satisfactory	Macro examination	-	Not applicable
Magnetic particle	Not applicable	Root Bend	2	Satisfactory
Liquid penetrant	Not applicable	Face bend	2	Satisfactory
Radiographic	Satisfactory	Side bend	-	Not applicable
Ultrasonic	Not applicable	Fillet weld fracture	-	Not applicable
Other	Not applicable	Other	-	Not applicable

We certify that the above statements are correct and that the test pieces were prepared, welded and tested in accordance with the specified codes or standards. **AWS D 1.2 / D1.2 M : 2003, Book A MQPS 0-2**

Organisation
 Surveyor to Lloyd's Register Asia
 Whitthaya Khemrach
 Date



Only the original of this certificate or authenticated copies are valid as proof of welder qualification. This certificate remains valid only whilst the welder remains in the employ of the manufacturer above.

* *Manufacturer's Welding Procedure Specification*

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the 'Lloyd's Register Group'. The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

Qualification: Codes/Standards	AWS D 1.2 / D1.2 M : 2003, Book A MQPS 0-2
Manufacturer's name	Date
Luck Karnchang	16 July 2009
Welder name	Office
Anan Loonjanta	Bangkok

This certificate remains valid for a period of two years only if the welder named on sheet 1 has been employed on the Class or Type of Welding, with satisfactory results, during the periods of six months since initial approval or last endorsement.

Prolongation of validity shall be subject to the surveyor's satisfaction with respect to the welder's documented record and any specific Code requirements.



Endorsement (6 monthly)	Signature and position of employers representative verifying employment and welding performance	Signature of surveyor verifying acceptable welding performance	Job knowledge acceptance/not tested	Office stamp and date
-------------------------	---	--	-------------------------------------	-----------------------

Prolongation of validity (biennial)

Signature/Stamp

ภาคผนวก ข
เอกสารรายละเอียดการเชื่อม



Silver Lining

Phitak Sindhai Shipyard and Service 349 Moo 2, Ban Che Bi Lang,
Muang, Satun, Thailand 91000

Welding Procedure Specification - Page 1

WPS record number	SL-WPS-D1.2-3	Welding process	GMAW
Date	23/6/2009	Company name	Silver Lining Sparkman & Stephens 106 ft Aluminum Sloop Project.
Approved			
Supporting PQR Numbers	SL-PQR-D1.2-3		

POSITION		SHIELD GAS	
Position of groove	4G	Shielding gas(es)	Argon
Welding progression	Forehand	Percent composition (%)	100
Other	n/a	Flow rate (l/min)	15-20

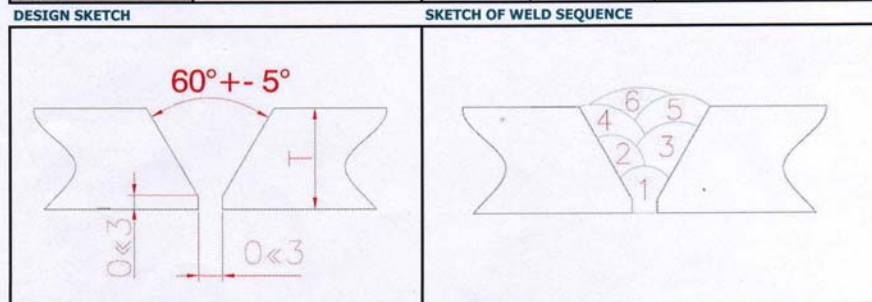
BASE METALS		FILLER METALS	
Type	Group 25, Aluminum Alloy 5083	F-No.	22
Welded to	Group 25, Aluminum Alloy 5083	Size of electrode (mm.)	1.2
Backing:	None	AWS No.	AS.10 ER5356
Thickness (mm.)	6	Type of electrode	n/a
Weld to thickness (mm.)	6	Other	n/a

BACKING		PREHEAT	
Type	n/a	Preheat temperature (°F)	150 Minimum
Permanent	n/a	Interpass temperature (°F)	250 Maximum
Removed	n/a	Other	n/a

CLEANING		POSTWELD HEAT TREATMENT	
Initial cleaning oxide	wire brush	Original temper	n/a
Initial cleaning oil & dirt	wire brush	Final temper	n/a
Interpass cleaning	wire brush	Temperature	n/a
		Time	n/a
		Quench	n/a

PROCESS		WELD SEQUENCE				
Process	GMAW	Pass no.	Welding Process	Amps	Volts	Travel speed
Type	semi-auto	All	GMAW	150-200	20-26	30-60 cm/min
Electrode	DCEP					
Other	n/a					

TECHNIQUE						
Stringer or weave bead	Group 25, Aluminum Alloy 5083					
Orifice or gas cup size	Group 25, Aluminum Alloy 5083					
Oscillation	None					
Contact tube to work distance	6					
Single pass or multipass	6					
Tungsten extension						
Method of backgouging						
Other						



Signature: M. Prapas
(Prapas Mangjumbree)
(Welding Engineer)

Signature: Pongsak Limolansuksakul
(QA/QC)

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of section 5, ANSI/AWS D1.2, Structural Welding Code-Aluminum



Silver Lining

Phitak Sinchal Shipyard and Service 349 Moo 2, Ban Che Bi Lang,
Muang, Satun, Thailand 91000

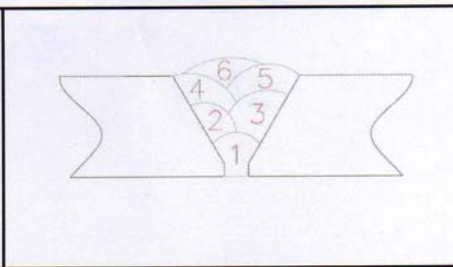
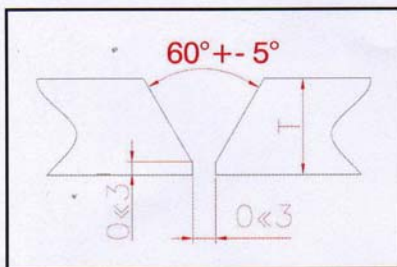
Welding Procedure Specification - Page 1

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

Procedure Qualification Record no. SL-PQR-D1.2-3 Date: August 3, 2009
WPS no. SL-WPS-D1.2-3 Process(es) 1.....GMAW..... 2.....
1..... 2.....

Design Sketch

Welding Sequence Sketch



BASE METALS

Group no. 25 To 25
Alloy and Temper 5083 To 5083
Thickness 7 mm. To 7 mm.

FILLER METALS

F-no. 22
AWS class ER5356
Diameter 1.2 mm.
Shielding gas(es) Argon
Percent composit 100%
Flow rate 15 l/min
Tungsten electrode(GTAW) n/a
Size n/a
Type n/a
Back up type n/a
Alloy 5083
Backgouging Machine Root and backweld

Pass No.	Process No.	Amps	Volts	Travel Speed
All	1	150-200	20-26	30-60cm/min

Single or multiple electrode Multiple
Stringer or weave bead stringer
Welding current DC
Polarity DCEP
Position of groove 4G

CLEANING PROCEDURE INITIAL

Oxide removal agent Stainless wire brush
Degreasing agent None
Cleaning procedure interpass Stainless wire brush
Smut removal n/a
Dye penetrant removal n/a

PREHEAT

Preheat temperature n/a
Interpass temperature n/a

POSTWELD HEAT TREATMENT NONE

Signature: M. Porapas
(Porapas Muangjimbunee)
(Welding Engineer)

Signature: Pong Sak Limolan Sukakul
(Pong Sak Limolan Sukakul)
(QA/QC)



Silver Lining

Phitak Sinchai Shipyard and Service 349 Moo 2, Ban Che Bi Lang,
Muang, Satun, Thailand 91000

Welding Procedure Specification - Page 1

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)

WPS no.

SL-WPS-D1.2-~~8~~ *mlb*

PQR no.

SL-PQR-D1.2-3

GROOVE WELD TEST

Specimen no.	Width	Thickness	Area	Ultimate tensile load, kg	Ultimate unit stress, psi	Character of failure and location
1	38	7	266	44.23	230.955	Weld Metal
2	38	7	266	45.736	252.316	Weld Metal

GUIDED BEND TEST

Type of bend	Bend jig Fig. no.	Result	Type of bend	Bend jig Fig. no.	Results
Face	4.15	Satisfactory			
Face	4.15	Satisfactory			
Side	4.15	Satisfactory			
Side	4.15	Satisfactory			

Visual examination X Pass _____ Fail _____
Type and character of failure None

FILLET WELD TEST

Fracture test n/a (pass or fail) Root fusion n/a (yes or no)
Macro test: Weld size and contour n/a Penetration n/a (set or unset)
Welder's Name Somsri Thangton Clock no. _____ Stamp no. _____
Test conducted by Dept of Industrial Engineering Rajamangala University of Technology Srivijaya Songkhla, Thailand Laboratory
Test number No. B12/2552

Signature: M. Pongpak
Pongpak Muangjimbane
(Welding Engineer)

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of section 5, ANSI/AWS D1.2, Structural Welding Code-Aluminum

Date 06/09/09

Signature: mlb
Pongsak Limlansuksakul
(QA/QC)



Report No. T6/2552

Material Engineering Testing Laboratory.

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand.

Certificate of Analysis

Company : Phitak Sinchai Shipyard and Service Co.,Ltd
Test Date : 30 June 2009
Testing Machine : Testometric (Universal Testing Machine)
Test Method : Tensile Test AWS D1.2 - 97
Specimen : Al-5083 Welding 4G

RESULTS

Specimen No.	Ultimate Tensile Load (kN)	Tensile Stress at Yield (MPa)	Tensile Strength at Ultimate (MPa)	Elongation (%)	Breaking Location	Remark
1	44.230	166.278	230.955	13.31	WM	Fig.1 a)
2	45.736	171.940	252.316	15.68	WM	Fig.2 b)

BM : Base Metal

WM : Weld Metal



1 a)



2 b)

Remark : This certificate reflects our findings at time and place of inspection only.

Test and Examined by :

Yongyuth Dunyakul
(Mr.Yongyuth Dunyakul)

ภาคผนวก ค
ลำดับการเชื่อมต่อชิ้นงานทดสอบ

ลำดับการเชื่อมชิ้นงานในสภาวะต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้ A1 คือเรืออายุน้อยกว่า 1 ปี A2 คือเรืออายุ 10 ปี A3 คือเรืออายุ 30 ปี A4 คือเรืออายุ 50 ปี B1 คือ อลูมิเนียมซ่อมแซมเกรด 5083-H116 B2 คืออลูมิเนียมซ่อมแซมเกรด 5083-H112 B3 คืออลูมิเนียมซ่อมแซมเกรด 5086-H112 C1 คือกระแสนเชื่อมแบบพัลส์ C2 คือกระแสนเชื่อมแบบมาตรฐาน ทุกสภาวะทดลองซ้ำ 12 ครั้ง การเชื่อมแต่ละครั้งเว้นระยะเวลา 20 นาทีเป็นอย่างน้อย

อายุเรือ			เกรดอลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสนเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	1	6
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	2	6
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	3	6
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	4	6
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	5	37
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	6	37
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	7	37
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	8	37
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	9	38
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	10	38
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	11	38
A	1	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	12	38

อายุเรือ			เกรดอลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสนเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	1	2
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	2	2
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	3	2
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	4	2
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	5	15
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	6	15
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	7	15
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	8	15
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	9	39
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	10	39
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	11	39
A	1	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	12	39

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ค่าค่าบริการเชื่อม
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	1	26
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	2	26
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	3	26
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	4	26
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	5	31
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	6	31
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	7	31
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	8	31
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	9	32
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	10	32
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	11	32
A	1	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	12	32

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ค่าค่าบริการเชื่อม
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	1	4
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	2	4
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	3	4
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	4	4
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	5	9
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	6	9
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	7	9
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	8	9
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	9	12
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	10	12
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	11	12
A	1	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	12	12

อายุเรือ			เกรคคอลลุมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ค่าดัชนีการเชื่อม
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	1	5
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	2	5
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	3	5
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	4	5
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	5	25
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	6	25
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	7	25
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	8	25
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	9	28
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	10	28
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	11	28
A	1	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	12	28

อายุเรือ			เกรคคอลลุมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ค่าดัชนีการเชื่อม
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	1	19
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	2	19
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	3	19
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	4	19
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	5	23
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	6	23
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	7	23
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	8	23
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	9	24
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	10	24
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	11	24
A	1	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	12	24

อายุเรือ			เกรคอดูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	1	16
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	2	16
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	3	16
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	4	16
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	5	20
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	6	20
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	7	20
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	8	20
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	9	21
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	10	21
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	11	21
A	2	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	12	21

อายุเรือ			เกรคอดูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	1	1
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	2	1
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	3	1
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	4	1
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	5	7
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	6	7
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	7	7
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	8	7
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	9	44
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	10	44
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	11	44
A	2	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	12	44

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	1	8
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	2	8
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	3	8
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	4	8
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	5	14
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	6	14
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	7	14
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	8	14
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	9	54
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	10	54
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	11	54
A	2	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	12	54

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	1	3
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	2	3
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	3	3
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	4	3
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	5	13
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	6	13
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	7	13
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	8	13
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	9	27
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	10	27
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	11	27
A	2	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	12	27

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	1	10
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	2	10
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	3	10
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	4	10
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	5	29
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	6	29
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	7	29
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	8	29
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	9	33
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	10	33
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	11	33
A	2	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	12	33

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	1	11
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	2	11
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	3	11
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	4	11
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	5	30
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	6	30
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	7	30
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	8	30
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	9	34
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	10	34
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	11	34
A	2	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	12	34

อายุเรือ			เกรคอดูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	1	35
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	2	35
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	3	35
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	4	35
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	5	36
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	6	36
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	7	36
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	8	36
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	9	50
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	10	50
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	11	50
A	3	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	12	50

อายุเรือ			เกรคอดูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	1	17
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	2	17
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	3	17
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	4	17
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	5	22
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	6	22
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	7	22
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	8	22
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	9	40
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	10	40
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	11	40
A	3	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	12	40

อายุเรือ			เกรดคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	1	41
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	2	41
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	3	41
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	4	41
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	5	42
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	6	42
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	7	42
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	8	42
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	9	48
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	10	48
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	11	48
A	3	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	12	48

อายุเรือ			เกรดคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	1	45
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	2	45
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	3	45
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	4	45
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	5	49
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	6	49
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	7	49
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	8	49
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	9	53
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	10	53
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	11	53
A	3	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	12	53

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	1	18
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	2	18
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	3	18
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	4	18
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	5	43
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	6	43
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	7	43
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	8	43
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	9	51
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	10	51
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	11	51
A	3	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	12	51

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	1	46
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	2	46
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	3	46
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	4	46
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	5	47
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	6	47
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	7	47
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	8	47
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	9	52
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	10	52
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	11	52
A	3	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	12	52

อายุเรือ			เกรคอดูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	1	65
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	2	65
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	3	65
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	4	65
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	5	66
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	6	66
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	7	66
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	8	66
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	9	72
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	10	72
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	11	72
A	4	x	B	1	x	C	1	ครั้งที่	12	72

อายุเรือ			เกรคอดูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	1	55
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	2	55
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	3	55
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	4	55
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	5	57
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	6	57
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	7	57
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	8	57
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	9	70
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	10	70
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	11	70
A	4	x	B	1	x	C	2	ครั้งที่	12	70

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	1	64
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	2	64
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	3	64
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	4	64
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	5	67
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	6	67
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	7	67
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	8	67
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	9	68
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	10	68
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	11	68
A	4	x	B	2	x	C	1	ครั้งที่	12	68

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	1	58
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	2	58
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	3	58
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	4	58
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	5	69
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	6	69
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	7	69
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	8	69
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	9	71
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	10	71
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	11	71
A	4	x	B	2	x	C	2	ครั้งที่	12	71

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	1	56
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	2	56
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	3	56
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	4	56
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	5	61
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	6	61
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	7	61
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	8	61
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	9	62
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	10	62
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	11	62
A	4	x	B	3	x	C	1	ครั้งที่	12	62

อายุเรือ			เกรคอลลูมิเนียมซ่อมแซม			กระแสน้ำเชื่อม		ครั้งที่		ลำดับการเชื่อม
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	1	59
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	2	59
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	3	59
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	4	59
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	5	60
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	6	60
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	7	60
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	8	60
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	9	63
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	10	63
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	11	63
A	4	x	B	3	x	C	2	ครั้งที่	12	63

ประวัติผู้เขียน

(VITAE)

ชื่อ สกุล นายพงศ์ศักดิ์ ลิ้มโอฬารสุขสกุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910121058

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา)

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2544

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ผู้ตรวจสอบคุณภาพเรือ

DES KEARNS MARINE SURVEYORS