



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชั้นกาวบางต่อการเสียรูป^ช
และการล้าของรอยเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ^ช

THE EFFECT OF THIN ADHESIVE LAYER TO THE
DISTORTION AND FATIGUE OF RIVETED LAP JOINT

โดย อ. ดร. นงชัย พองสมทร และ คณะ

สิงหาคม 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชั้นกาวบางต่อการเสียรูปและการถ้าของรอยเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ
 THE EFFECT OF THIN ADHESIVE LAYER TO THE DISTORTION
 AND FATIGUE OF RIVETED LAP JOINT

คณะกรรมการผู้วิจัย

อ. ดร. นงษัย พ่องสมุทร

รศ. ตะวัน สุจิตรกุล

Professor Carol A. Rubin

สังกัด

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Mechanical Engineering Department, Vanderbilt
University, Nashville, Tennessee, USA

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยได้ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย เป็นอย่างสูงที่ ได้ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัยในโครงการนี้ ตลอดระยะเวลา 2 ปี

ขอขอบคุณ ภาควิชาศัลยกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ การสนับสนุนในการทำวิจัย นี้ ไม่ว่าจะเป็นการใช้พื้นที่เพื่อทำการวิจัย รวมทั้งสาธารณูปโภคต่างๆ

ขอขอบคุณ อ. ดร. เจริญยุทธ เดช瓦យุกุล อ. ดร. วิริยะ ทองเรือง อาจารย์ประจำ ภาควิชา ศัลยกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ข้อเสนอแนะ และ สนับสนุน เครื่องมือทดสอบในการทำการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาศัลยกรรมแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้การ สนับสนุนในด้านเครื่องมือทดสอบ

สุดท้าย ขอขอบคุณ ทุกๆ ท่านที่ยังเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำวิจัย

สารบัญ

หน้าที่

กิตติกรรมประกาศ	i	
สารบัญ	ii	
สารบัญรูป	iv	
สารบัญตาราง	ix	
 บทคัดย่อ	1	
 บทที่ 1	บทนำ	3
1.1	ที่มาและเหตุผล	3
1.2	วัตถุประสงค์	4
 บทที่ 2	การศึกษาข้อมูลงานที่เกี่ยวข้อง	5
2.1	กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้ก้าว	5
2.2	กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้หมุดย้ำ	8
2.3	กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้ทั้งหมุดย้ำและการสรุป	9
 บทที่ 3	ขั้นตอนการทำกราฟคลองและการวิเคราะห์	11
3.1	ขั้นตอนการทำกราฟคลอง	11
3.2	ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยการคำนวณทางคอมพิวเตอร์	19
 บทที่ 4	ผลการทำกราฟคลองและการวิเคราะห์	29
4.1	ผลจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกราฟ	29
4.2	ผลจากการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์	32
4.3	ผลจากการทดสอบชื่นงานตัวอย่าง	52
4.4	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 5 วิจารณ์ผล	59
บทที่ 6 สรุปผล	62
Output จากโครงการ	64
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก. TALA method	66
ภาคผนวก ข. ตัวอย่าง ไฟล์ Input	68
บรรณานุกรม	77

สารบัญรูป

รูปที่		หน้าที่
รูปที่ 1.1	หมุดย้ำแบบหัวมาตรฐานหั้งสองข้าง	3
รูปที่ 3.1	ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบการโดยรับแรงดึง	13
รูปที่ 3.2	ลักษณะรูปร่างของชิ้นงานทดสอบการโดยรับแรงเฉือน	13
รูปที่ 3.3	ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างหมุดย้ำ 30.6 มิลลิเมตร	14
รูปที่ 3.4	ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างหมุดย้ำ 38.1 มิลลิเมตร	15
รูปที่ 3.5	ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างหมุดย้ำ 50.8 มิลลิเมตร	15
รูปที่ 3.6	ลักษณะการติดตั้ง Extensometer	18
รูปที่ 3.7	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อโดยรวม	20
รูปที่ 3.8	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	21
รูปที่ 3.9	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	21
รูปที่ 3.10	แบบจำลองของชิ้นงานรอยต่อที่มีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	22
รูปที่ 3.11	ตำแหน่งสปริงอิลิเมนต์	22
รูปที่ 3.12	การอึดของหมุดย้ำ	24
รูปที่ 3.13	ค่าระยะการเปิดของขอบรอยต่อ	25
รูปที่ 3.14	S-N Curve สำหรับ Al 7075-T6	27
รูปที่ 3.15	การประมาณอายุการใช้งาน	28
รูปที่ 4.1	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงดึงและกด การอัลไดท์แสตนดาร์ท	29
รูปที่ 4.2	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงเฉือน การอัลไดท์แสตนดาร์ท	30
รูปที่ 4.3	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงดึงและกด การอัลไดท์สตีล	30
รูปที่ 4.4	ผังความเค้นและความเครียดในการรับแรงเฉือน การอัลไดท์สตีล	31

สารบัญรูป (ต่อ)

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่	
รูปที่ 4.18	การกระจายของความเคี้น Von Mises ของรอยต่อ ในกรณีที่ไม่ทากาว ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	40
รูปที่ 4.19	การกระจายของความเคี้นในแนวแกนของรอยต่อ ในกรณีที่ทาด้วย การอัดไคล์สติล ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 4.20	การกระจายของความเคี้น Von Mises ของรอยต่อ ในกรณีที่ทาด้วย การอัดไคล์สติล ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	41
รูปที่ 4.21	การกระจายของความเคี้นในแนวแกนของรอยต่อ ในกรณีที่ทาด้วย การอัดไคล์สแตนดาร์ท ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.22	การกระจายของความเคี้น Von Mises ของรอยต่อ ในกรณีที่ทาด้วย การอัดไคล์สแตนดาร์ท ระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	42
รูปที่ 4.23	ค่าความเคี้นในแนวแกนรอบรูหมุดยึด สำหรับกรณีระยะห่าง ระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	43
รูปที่ 4.24	ค่าความเคี้นในแนวแกนรอบรูหมุดยึด สำหรับกรณีระยะห่าง ระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.25	ค่าความเคี้นในแนวแกนรอบรูหมุดยึด สำหรับกรณีระยะห่าง ระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.26	การกระจายตัวของความเคี้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่ไม่มีการทำกาว สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	46
รูปที่ 4.27	การกระจายตัวของความเคี้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่ไม่มีการทำกาว สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	46
รูปที่ 4.28	การกระจายตัวของความเคี้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่ไม่มีการทำกาว สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	47
รูปที่ 4.29	การกระจายตัวของความเคี้นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดยึด ในกรณีของรอยต่อ ที่มีการทำกาวการอัดไคล์สติล สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดยึด เท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่	
รูปที่ 4.30	การกระจายตัวของความเค็นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้ำ ในกรณีของรอยต่อที่มีการทำาวารัล ไดท์สตีล สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	48
รูปที่ 4.31	การกระจายตัวของความเค็นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้ำ ในกรณีของรอยต่อที่มีการทำาวารัล ไดท์สตีล สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	48
รูปที่ 4.32	การกระจายตัวของความเค็นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้ำ ในกรณีของรอยต่อที่มีการทำาวารัล ไดท์แสตนดาร์ท สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	49
รูปที่ 4.33	การกระจายตัวของความเค็นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้ำ ในกรณีของรอยต่อที่มีการทำาวารัล ไดท์แสตนดาร์ท สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	49
รูปที่ 4.34	การกระจายตัวของความเค็นที่เกิดขึ้นในตัวหมุดย้ำ ในกรณีของรอยต่อที่มีการทำาวารัล ไดท์แสตนดาร์ท สำหรับระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	50
รูปที่ 4.35	ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของความเค็นเทียบกับระยะห่างระหว่างหมุดย้ำ และ ประเภทของการ	51
รูปที่ 4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยึดของรอยต่อสำหรับชิ้นงานระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	53
รูปที่ 4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยึดของรอยต่อสำหรับชิ้นงานระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	53
รูปที่ 4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยึดของรอยต่อสำหรับชิ้นงานระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	54
รูปที่ 4.39	ผังความเค็นและความเครียด กรณีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6 มิลลิเมตร	56
รูปที่ 4.40	ผังความเค็นและความเครียด กรณีระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 38.1 มิลลิเมตร	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่	
รูปที่ 4.41	ผังความคื้นและความเครียด กรณีระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 50.8 มิลลิเมตร	57
รูปที่ ก.1	การใช้สปริงอิลิเมนต์แทนชั้นกาว	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่	
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดของชิ้นงานตัวอย่าง	16
ตารางที่ 3.2	รายละเอียดของแบบจำลองทางระเบี่ยบวิชีไฟไนต์อิลิเมนต์	23
ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของการ อารัลไดท์สแตนดาร์ท และ การอารัลไดท์สตีล	31
ตารางที่ 4.2	ผลของชั้นการต่อการเสียรูปของรอยต่อ	33
ตารางที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ที่สำคัญ เนื่องจากผลของชั้นการ	33
ตารางที่ 4.4	ค่าความหนาแน่นของความเค้น (SCF) สำหรับรอยต่อแบบใช้หมุดย้ำ	51
ตารางที่ 4.5	ค่าแรงดึงสูงสุดสำหรับแต่ละชิ้นงานตัวอย่าง และแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย ในแต่ละกรณี	55
ตารางที่ 4.6	ค่าเปอร์เซ็นต์พิพาคระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบและวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์	58
ตารางที่ 5.1	ผลการประเมินอายุการใช้งานของชิ้นงานรอยต่อที่รับแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 60 MPa	61

Abstract

Project Code: MRG4580042

PROJECT TITLE The effect of thin adhesive layer to the distortion and fatigue of riveted lap joint

Investigator: Thongchai Fongsamoot¹ Thawan Sucharitkul¹, and Carol Rubin²

¹ Department of Mechanical Engineering, Chiang Mai University, Thailand 50200,

² Department of Mechanical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN 37202 USA,

E-Mail Address: thongchai@dome.eng.cmu.ac.th

Project Period: July 1st 2002 – Aug 31st 2004 (2 years and 2 months)

Introduction: Riveted lap joints are widely used to assemble complex structures, e.g. aircraft fuselages. In previous studies, it was showed that the stress concentration factor for single row riveted lap joints was found to be approximately 6.48. And the SCF was reduced to 5.12 when the thin sealant layer was applied to the interface surface of joints. Therefore, in this study, the effect of epoxy adhesive layers was been investigates. The adhesive stiffnesses were varied in FEA analyses to determine their affects on the joints. FEA results were compared with the experimental results to verify the results.

Methodology: 1 Testing for the adhesive properties. Two kinds of epoxy adhesive (Araldite ‘High performance’ Standard Epoxy Adhesives and Araldite ‘High Strength’ Epoxy Adhesives) were selected and tested. 2.FEM modeling. A 3-D finite element model of a single rivet row non-countersunk combined adhesive-riveted lap joint of riveted lap joints with and without adhesives was created. 3. Testing the adhesive riveted lap joints. Experiments were performed on combined adhesive-single row rivet lap joint test pieces with and without adhesives.

Results, Discussion and Conclusion: The results showed that the maximum tensile stress decreases with increases with adhesive stiffness. From the results, the SCFs increase when the adhesive stiffness is decreased. Decreases in SCFs may be caused by a reduction in bending stress due to the adhesive layer holding the panels close together. The end separation is the distance between the panels at the end of the overlap. When the end separation is small, the bending angle is small; this causes the bending stress to be small as well. With a stronger adhesive, (Araldite Standard) the end separation is very small and so is the minimum peak tensile stress. The agreement between the experimental results and the finite element analyses values provides validation for the finite element and TALA analyses. Finally, the results show that the SCFs were related to the fatigue life of the combined adhesive-riveted lap joints. If the SCFs were increased, the fatigue life of the joints was decreased.

Keywords: Riveted lap joints, Adhesive lap joints, FEM

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG4580042

ชื่อโครงการ ผลของชั้นกาวบางต่อการเสียรูปและการล้าของรอยเชื่อมต่อแบบหมุดย้ำ

ชื่อนักวิจัย: นางษัย พองสมุทร¹ ตะวัน สุจิริตกุล¹ และ ภาครัตน์ รูบิน²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, Vanderbilt University, TN 37202 USA,

E-Mail Address: thongchai@dome.eng.cmu.ac.th

Project Period: 1 กรกฎาคม 2545 – 31 สิงหาคม 2547 (2 ปี 2 เดือน)

บทนำ: การเชื่อมต่อด้วยวิธีหมุดย้ำเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการประกอบชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น ในงานประกอบเครื่องบิน ในงานก่อหนี้น้ำ ค่าความหนาแน่นของความเค้นสำหรับรอยต่อแบบใช้หมุดย้ำอยู่ที่ประมาณ 6.48 และ ค่า ค่าความหนาแน่นของความเค้นลดลงเหลือ 5.12 เมื่อมีการทำด้วยสารอุดร้อยร่วงที่บริเวณผิวสัมผัสทั้งหมด ดังนั้นในงานนี้ ผลของชั้นกาวอีพอกซี่บ่มจะถูกทำการศึกษา ค่าความแข็งแรงของกาวถูกเปลี่ยนและใช้ระเบียบวิธีไฟฟ้าในตัวอิเล็กเมนต์ทำการวิเคราะห์ผลของชั้นกาวต่อรอยต่อ ผลจากการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟฟ้าในตัวอิเล็กเมนต์จะถูกนำไปทำการทวนสอบกับผลที่ได้จากการทดลอง

วิธีทดสอบ 1. ทดสอบคุณสมบัติของกาวอีพอกซี่สองชนิด (อะรัลไดท์แสตนดาร์ท และ อารัลไดท์สตีล) ถูกเลือกในการทดสอบนี้ 2. แบบจำลองไฟฟ้าในตัวอิเล็กเมนต์ แบบจำลอง 3 มิติ ของรอยต่อใช้หมุดย้ำแบบหัวธรรมดาร่วมกับชั้นกาวจะถูกสร้างขึ้น 3. ทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง การทดสอบจะทำการทดสอบชิ้นงานทดสอบที่ประกอบด้วยหมุดย้ำ กับ มีชั้นกาว และ ไม่มีชั้นกาว

ผลการทดสอบ วิจารณ์ผล และสรุปผล จากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ค่าความเค้นสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความแข็งแรงของชั้นกาว ผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความแข็งแรงของกาวลดลง การลดลงของค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นอาจเกิดจากการลดลงของความเค้นด้วย เนื่องจากแผ่นแนวติดกันมากขึ้น ดูจากระยะเปิดที่ขอบ เมื่อระยะเปิดที่ขอบมีน้อยลงบดกีน้อยลง ทำให้ค่าความเค้นด้านน้อยลง และเมื่อมีการเพิ่มความแข็งแรงของชั้นกาว (อะรัลไดท์แสตนดาร์ท) ระยะเปิดที่ขอบน้อยลง ทำให้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด ผลการเปรียบเทียบแสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบและจากวิธีไฟฟ้าในตัวอิเล็กเมนต์ ถูกพยัญชนะดังความสอดคล้องกันระหว่างความเค้นมีค่าสัมพันธ์กับอายุการใช้งานของรอยต่อ โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นมีค่าสูงขึ้น อายุการใช้งานก็จะลดลง

Keywords: Riveted lap joints, Adhesive lap joints, FEM

บทที่ 1

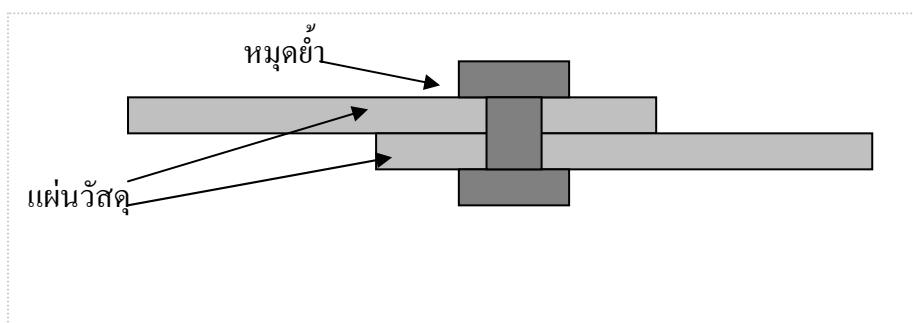
บทนำ

INTRODUCTION

1.1 ที่มาและเหตุผล

ในการประกอบชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้หมุดยึด เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับ การยอมรับ และ ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายมานานจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างเครื่องบิน และ อื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามการประกอบชิ้นส่วนด้วยหมุดยึดนั้น ยังคงมีข้อเสียอยู่บางประการ เช่น ประการแรก การประกอบด้วยหมุดยึดเป็นการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้การกระจายตัวของความเค้นเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ และ ประการที่สอง การประกอบด้วยหมุดยึด จำเป็นต้องมีการเจาะรูเพื่อใช้สำหรับขึงหมุดยึด และการที่มีรูในชิ้นงานจะส่งผลทำให้เกิดความหนาแน่น ของความเค้น (Stress Concentration) สูงที่บริเวณรูหมุดยึด จากการศึกษาที่ผ่านมา Iyer [1] แสดงให้เห็น ว่าบริเวณรูหมุดจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้น (Stress Concentration Factor, SCF) สำหรับในกรณีที่ใช้หมุดยึดแบบหัวมาตรฐาน (Standard rivet head, Non-Countersunk Rivet Head) ดัง แสดงในรูปที่ 1.1 และระยะห่างระหว่างหมุดยึดเท่ากับ 15.3 มิลลิเมตร อยู่สูงถึงประมาณ 6.48 หมายความ ว่าชิ้นงานจะต้องรับค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ณ. บริเวณรูหมุดยึดสูงกว่าค่าความเค้นที่กระทำกับชิ้นงานถึง 6.48 เท่า

Fongsamootr [2] ได้ทำการศึกษาผลของการทาสารอุดกันรั่ว (Sealant) ในบริเวณผิวสัมผัส ทึ้งหมุด ต่อพฤติกรรมการเสียรูปของรอยต่อโดยใช้หมุดยึด จุดประสงค์เบื้องต้นในการทาสารอุดรอยรั่วนี้ เพื่อป้องกันความชื้นที่จะมากระทบต่อชิ้นส่วนของโครงสร้าง จากการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าผลของการ ทาด้วยสารอุดรอยรั่วนี้ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยต่อนั้นลดลง เหลือเพียง 5.12



รูปที่ 1.1 หมุดยึดแบบหัวมาตรฐานทั้งสองข้าง

เนื่องจากสารอุดรอยร้าวที่ใช้ในงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถจัดได้ว่าเป็นการลักษณะหนึ่งที่เรียกว่าเป็น Elastomer Adhesive ได้ โดยที่การประเภทนี้จะมีค่าโมดูลัสค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับ การประเภทอื่น ๆ Elastomer Adhesive จะมีค่าโมดูลัสอยู่ที่ประมาณ 1 MPa ในขณะที่การประเภท Epoxy Adhesives จะมีค่า โมดูลัสอยู่ที่ประมาณ 1 GPa จากปัจจุบันที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงนำไปสู่แนวความคิด ที่ว่า ถ้าหากมีการหากาวที่มีลักษณะเป็น Epoxy Adhesive ระหว่างผิวสัมผัสของรอยต่อทั้งหมดของ ชิ้นงานแทนสารอุดกันร้าว ชั้นงานนั้นจะมีผลต่อชิ้นงานนั้น ๆ อย่างไรบ้าง จะมีผลต่อพฤติกรรมการเสีย รูป่างของชิ้นงานอย่างไร และจะทำให้ค่าสมประสิทธิ์ความหนาแน่นของค่าความเค้นมีค่าเปลี่ยนแปลง อย่างไร

ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการศึกษาผลของชั้นการที่มีลักษณะเป็น Epoxy Adhesive ที่มีต่อ พฤติกรรมการเสียรูปของชิ้นงานรอยต่อ โดยในการวิเคราะห์จะต้องทำการเปลี่ยนค่าคุณสมบัติเชิงกลของ กาวที่ใช้ เพื่อทำการศึกษาว่ากาวชนิดใดเหมาะสมในการทำชิ้นงาน เนื่องจากถ้ามีการใช้กาวที่มีความ เชิงแรงมากเกินไปก็จะเปรียบเสมือนว่าไปทำให้ค่าความหยัดหยุ่นในการเคลื่อนที่ภายในรูหมุดย้ำลดลง ตามไปด้วย เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของการที่เหมาะสมในการใช้ทำชิ้นงาน เพื่อทำให้ชิ้นงานนั้นมีความเชิงแรงเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันไม่ทำให้ค่าความหยัดหยุ่นระหว่าง ผิวสัมผัสลดลงมาก

อีกวัตถุประสงค์หนึ่งในการทำการศึกษานี้คือต้องการศึกษาเพื่อการพัฒนาชิ้นงานอุปกรณ์ต่างที่ ใช้การประกอบคัวยหมุดย้ำ ให้มีการใช้งานบนหมุดย้ำลดลง เนื่องจากการลดลงของหมุดย้ำจะเป็นการ ลดลงของน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้าง และทำให้โครงสร้างที่ได้ทั้งหมดมีน้ำหนักน้อยลง ดังนั้นใน งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาว่าชั้นการที่ทางในชิ้นงานนั้นจะทำให้สามารถลดจำนวนหมุดย้ำลงได้เท่าไร จึงจะทำให้ชิ้นงานรอยต่อดังกล่าวสามารถรับแรงกระทำได้เท่าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาข้อดีและข้อเสียจากการที่ทำชิ้นการที่ทำชิ้นการบาง ๆ ระหว่างผิวสัมผัสทั้งหมดของบริเวณรอยต่อ ต่อการเสียรูปของชิ้นงานที่ต้องเชื่อมด้วยหมุดย้ำ และเพื่อศึกษาผลของการหากาวต่อค่าความคงทนต่อการ ลักษณะของชิ้นงาน เพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของการที่เหมาะสมในการใช้ทำชิ้นงานเพื่อเพิ่มความเชิงแรง เพื่อใช้ในการพัฒนาชิ้นงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการต้องเชื่อมด้วยหมุดย้ำใช้มีอายุการใช้งานนานขึ้น และเพื่อเป็นการลดจำนวนตัวหมุดย้ำในการประกอบชิ้นงาน

บทที่ 2

การศึกษาข้อมูลงานที่เกี่ยวข้อง

LITERATURES REVIEW

จากการทำการศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่ได้มีการทำมาก่อนหน้านี้ พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอยู่จำนวนมาก โดยที่สามารถแบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดได้ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- 2.1. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้กา (Adhesive Lap Joints)
- 2.2. กลุ่มที่ทำการวิจัยที่ศึกษารอยต่อที่ใช้หมุดย้ำ (Riveted Lap Joints)
- 2.3. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้ทั้งหมุดย้ำ และ กา (Adhesive Riveted Lap Joints)

2.1. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้กา (Adhesive Lap Joints)

จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยมากมายที่ทำการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้กา โดยใช้วิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์ และวิธีทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยที่การวิเคราะห์นั้นเริ่มจาก

M. Goland, E. Reissner [3] ได้ทำการการศึกษาข้อต่อชิ้นงานที่สร้างขึ้นด้วยสารยึดติด โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาความเค้นที่เกิดขึ้น ณ บริเวณขอบของข้อต่อและ ความเค้นในข้อต่อ อันเนื่องมาจาก การใส่แรงภายนอก โดยที่มีเงื่อนไขในการศึกษาอยู่สองแบบ คือ (1) ศึกษาโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของ ภาพที่มีต่อข้อต่อ โดยพิจารณาว่ากาจะแข็งแรงมาก (2) ศึกษาโดยคำนึงถึงผลกระทบของภาพที่มีต่อข้อต่อ โดยทั้งสองกรณีผลลัพธ์ที่ได้คือสมการของ Shearing Stress และ Normal Stress ที่เกิดขึ้นในสารยึดติด เนื่องจากในการวิเคราะห์นั้นมีข้อจำกัดอยู่มาก หลังจากนั้นได้มีผลงานวิจัยต่อเนื่องตามมาอีกมากมายเพื่อ แก้ข้อจำกัดนั้น ๆ เช่น

R. W. Cornell [4] ได้เสนอวิธีที่ได้ปรับปรุงจากวิธีของ Goland ในการคำนวณหาค่าความเค้นที่ เกิดขึ้นในรอยต่อ โดยทำการสมนติว่าแผ่นทั้งสองประพฤติตัวเหมือนการก้นคาน และชั้นของการกี ประพฤติตัวเหมือนกับสปริง ในขณะที่ F. Dalale, F. Erdogan และ M. N. Aydinoglu [5] ได้ทำการ พิจารณาโครงสร้างของรอยต่อที่ใช้กา โดยใช้หลักการของรูนนาความเครียด โดยที่สมนติว่าความหนา ของแผ่นที่นำมาต่อกันนั้นมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ทำการ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าตอบที่ได้ สามารถให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น และ Chien-Chang Lin และ Yee-Shown Lin [6] ได้ทำการเสนอการใช้ ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในรอยต่อ

J. Pascal, E. Darque-Ceretti, E. Felder และ A Pouchelon [7] ได้ทำการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้กา โดยที่กาเป็นลักษณะของ Rubber-like adhesive ที่มีค่า young's Modulus อยู่ที่ประมาณ 1 MPa โดยที่ทำ การวิเคราะห์ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ในการวิเคราะห์ รอยต่อ โดยที่ได้ทำการใส่แรงกระทำต่อ

ชื่นงาน เพื่อให้เกิดแต่แรงเลื่อนเพียงอย่างเดียว โดยที่ P.C. Pandey, H. Shankaragouda, and Arbind Kr. Singh [8] ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ระบบที่มีความซับซ้อน non-linear สำหรับรอยต่อที่ใช้การ และทำการหาค่าความแข็งแรงของรอยต่อที่ใช้การ โดยได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อ

จากทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้การ กับวัสดุที่นำมาต่อกันนั้นเป็นวัสดุเดียวกัน หลังจากนั้นก็มีการวิเคราะห์ในส่วนของรอยต่อที่ใช้การสำหรับวัสดุที่ไม่เหมือนกัน ดังต่อไปนี้

Toshiyuki Sawa, Katsuhiro Temma, Tohru Nishigaya และ Hirohisa Ishikawa [9] ได้ทำการศึกษาผลผลกระทบของค่า young modulus ratio และค่า poisson ratio ของ adherend และ กาว, ค่า stiffness และค่าความหนาของกาวและลักษณะของการกระจายของแรงภายนอกที่มีต่อการกระจายตัวของ stress รวมถึงตำแหน่งของ stress singularity ในบริเวณผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend ในข้อต่อแบบกาวเป็นแบบ butt joint (ข้อต่อแบบชน) ของ dissimilar adherends ที่รับ tensile load จากภายนอกโดยคิดเสมอว่า adherend และกาวเป็นวัสดุสามชนิดมาสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี two dimensional ของ Elasticity ใน การวิเคราะห์ควบคู่ไปกับวิเคราะห์ทาง Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและทางวิธี Finite Element มีความสอดคล้องกันโดยพบว่าตำแหน่งของ stress singularity จะเกิดบริเวณขอบของผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างกาวกับ adherend

Z. J. Wu, A. Romeijn และ J. Wardenier [10] ทำการปรับปรุงสมการที่ใช้อธินาย Stress ที่เกิดขึ้นในการของข้อต่อแบบกาวของ Goland และ Reissner และสร้างสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อต่อแบบกาวที่ใช้ในการยึด adherend ที่มีความยาวและความหนาต่างกัน

Jiemin Liu, Toshiyuki Sawa และ Hiroshi Toratani [11] ศึกษาผลผลกระทบของ Young's modulus ratio (E_1/E_3), thickness ratio (h_1/h_3) และ length ratio (l_1/l_3) ที่มีต่อการกระจายตัวของ stress ในข้อต่อแบบกาวของ dissimilar adherends รับ bending moment จากภายนอก โดยคิดเสมอว่า adherend และกาวเป็นวัสดุสามชนิดมาสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี plain strain ของ Elasticity ใน การวิเคราะห์ควบคู่ไปกับวิเคราะห์ทาง Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและทางวิธี finite element มีความสอดคล้องกันคือ stress component ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) จะเพิ่มขึ้นตามค่า Young's modulus ratio (E_1/E_3), thickness ratio (h_1/h_3) ส่วนค่า length ratio (l_1/l_3) จะส่งผลกระทบต่อค่า stress ที่เกิดขึ้นในข้อต่ออย่างมาก และผลลัพธ์ที่ได้นี้สามารถตรวจสอบได้จากค่าที่วัดจากการทดลอง

Jiemin Liu และ Toshiyuki Sawa [12] ศึกษาผลผลกระทบของ Young's modulus ratio ระหว่าง dissimilar adherends, ratio of adherend thicknesses และ ratio of band length to the haft of lab length ที่มีต่อการกระจายตัวของ stress ในข้อต่อแบบกาวที่เป็นแบบ Single lab band joint ของ dissimilar

adherends ณ บริเวณผิวที่เชื่อมต่อกันระหว่างการกับ adherend ที่รับ bending moment จากภายนอก โดยคิดเสมือนว่า adherend และการเป็นวัสดุสี่ชนิดมาสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี plain strain ของ Elasticity ในการวิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์โดยใช้ Elasto-plastic Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี, วิธี finite element และค่าที่วัดได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือ component ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) และ maximum principle stress (σ_1) จะมีค่ามากขึ้นที่บริเวณขอบของผิวที่เชื่อมต่อ กันระหว่างการกับ adherend และจะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ค่า Young's modulus มีค่าน้อยลง ค่า normalized singular stress (σ_1/p) จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของค่า ratio of adherend thicknesses (h_4/h_2)² และพบว่าเมื่อค่า ratio of band length to the haft of lab length มีค่ามากกว่า 0.5 stress singularity ของข้อต่อจะเกิดที่บริเวณของการเมื่อนกับกรณีข้อต่อแบบการชาร์มนดาที่ทำการทดลองข้อต่อ

Toshiyuki Sawa, Jiemin Liu, Katsuyuki Nakano และ Junnya Tanaka [13] ศึกษาผลกระทบของ Young's modulus ratio ระหว่าง dissimilar adherends, ความหนาของ adherend, ความยาวของ adherend และความหนาของ adhesive ที่มีต่อการกระจายตัวของ stress ในข้อต่อแบบการของ dissimilar adherends ณ บริเวณผิวที่เชื่อมต่อ กันระหว่างการกับ adherend รับ tensile load จากภายนอก โดยคิดเสมือนว่า adherend และการเป็นวัสดุสามชนิดมาสัมผัสกันอยู่และใช้ทฤษฎี plain stress ของ Elasticity ในการวิเคราะห์ควบคู่ไปกับวิธีทาง Finite element จากนั้นนำผลที่ได้ไปตรวจสอบกับค่าที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี, วิธี finite element และค่าที่วัดได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือ singular stress จะเกิดขึ้นบริเวณขอบของผิวที่เชื่อมต่อ กันระหว่างการกับ adherend โดย singular stress จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ค่า Young's modulus และความหนาของ adherend มีค่าน้อยลงและ singular stress ใน adherend จะเพิ่มขึ้นในกรณีที่ความยาวของ adherend ลดลงและในกรณีที่อัตราส่วนความหนาของภาคร่องต่อความหนาของ adherend, (h_2/h_1) มีค่าน้อยๆ singular stress จะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วน (h_2/h_1) ลดลงแต่ในกรณีที่อัตราส่วน (h_2/h_1) มีค่ามากขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่ง singular stress จะลดลงถ้าอัตราส่วน (h_2/h_1) ลดลง

Michihiro Takiguchi และ Fusahito Yoshida [14] พบว่าในกรณีที่สร้างข้อต่อระหว่างวัสดุด้วยการนั่็นในขันตอนสุดท้ายต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่า press-form จากขันตอนนี้ในข้อต่อที่เป็นแบบ V-bending จะทำให้เกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนใน adhesive layer เป็นผลทำให้ทำงานเกิดลักษณะที่เรียกว่า “gull-wing” จึงได้ทำการศึกษาเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยทำการศึกษาแยกออกเป็นสองแบบคือ ศึกษาจากการทดลองและศึกษาจากการวิเคราะห์จาก model ที่สร้างตามทฤษฎี thin plate การศึกษาจาก model นั้นจะแยกออกเป็นสองส่วนคือ สำหรับแผ่นโลหะใช้หลักการของ Kirchhoff-Love hypothesis และสำหรับ adhesive layer ใช้หลักการของ Mindlin โดยจากการศึกษาทั้งสองแบบได้ผลที่สอดคล้องกันคือ ในระหว่างกระบวนการ press-form การเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือน (shear strain, γ_a) จะเกิดราคเร็ว

มากที่สุดในช่วงสภาพของการให้ load ในช่วงสุดท้ายที่เรียกว่า “die bending” ดังนั้นในการสร้างข้องต่อระหว่างวัสดุด้วยการที่เป็นแบบ V-bending นั้นแรงที่ใช้ควรอยู่ในช่วงที่เรียกว่า “air bending” เพื่อลดการเสียรูปจากแรงเฉือนที่เรียกว่า “gull-wing”

Elena David และ A. Lazer [15] ศึกษาข้อต่อแบบการของวัสดุสองชนิดระหว่าง aluminum และ polytetrafluoroethylene (PTFE) โดยที่ผิวส่วนที่เป็นข้อต่อของ PTFE จะถูกเคลือบด้วยแอลูมิเนียม sodium metal บาง ๆ สม่ำเสมอจากนั้นทำการทดสอบ fatigue, internal-pressure leakage, internal-underpressure leakage, thermal shock, leakage after thermal shock, tensile และ bent ตามมาตรฐานของ ASTMA 380-72, ASTM A 488-75, DIN 51227, DIN 53504, DIN 50123, ASTM A 654-76, ASTM D-897, ISO 1167 โดยจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าข้อต่อชนิดนี้มีความแข็งแรงที่ high vacuum (1.33×10^{-9} mbar) ทนทานต่อการรับ thermal shock และมีช่วงอุณหภูมิการทำงานจะอยู่ระหว่าง -195.5 ถึง 270 °C

2.2. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้หมุดยึด (Riveted Lap Joints)

จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสำหรับรอยต่อที่เป็นการต่อด้วยหมุดยึด ตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดค่าความแข็งแรงของรอยต่อคือ ค่าอัตราความหนาแน่นของความเค้น (Stress Concentration Factor: SCF) จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีทั้งที่ได้ทำการศึกษาโดยการทำทดสอบจริง (Experimental) โดยการการคำนวณเชิงตัวเลข (Mathematic Models) และ โดยการใช้วิธีระเบียบวิธีไฟฟ้า finite element (Finite Element Method: FEM) กับชิ้นงานตัวอย่างรอยต่อด้วยหมุดยึด

John C. Ekvall [16] ได้พัฒนาแบบจำลองทางระเบียบวิธีไฟฟ้า finite element สำหรับรอยต่อแบบหมุดยึด 4 แฉว โดยใช้ bar element แบบจำลองสามารถคำนวณหาค่าความหนาแน่นของความเค้นของรอยต่อได้เท่ากับ 4.7 โดยที่แรงที่ถ่ายทอดระหว่างแฉวสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 30%

G. Husheng, G. Haicheng และ Z. Huijiu [17] ได้ศึกษาผลของขนาดการไถลของรอยต่อ ที่มีต่อคุณสมบัติการเกิด fretting fatigue และได้ทำการทดลอง fretting fatigue กับชิ้นงานจริงภายใต้รับแรงดึงด้วยขนาดของความเค้นต่ำสุด และสูงสุดเท่ากับ 0.1 ผลแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของขนาดการไถล จะทำให้ความลึกของการลึกกร่อนเพิ่มขึ้น และ การเสียหายเนื่องจากการลึกกร่อนร้ายแรงขึ้น

C. Fung และ J. Smart [18] ได้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อใช้เคราะห์ รอยต่อแบบหมุดยึด ด้วยโปรแกรม ABAQUS หมุดยึดแบบ Countersunk และ Snap ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลของแรงกด และแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส สัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นที่บริเวณขอบของรูหมุดยึดจะอยู่ที่ประมาณ 10 และ 7 สำหรับกรณีของหมุดยึดแบบ Countersunk และ Snap ตามลำดับ

K. Shivakumar และ J. Newman [19] ได้คำนวณสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นสำหรับรูหมุดยึดแบบทรงกรวย และ Countersunk สามารถคำนวณได้ว่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเค้นเมื่อรับ荷重 men ตัดเพียงอย่างเดียวเท่ากับ 3.75 และ 1.75 ตามลำดับ

K. Iyer, G. Hahn, P. Bastias และ C. Rubin [1] ได้พัฒนาแบบจำลองทางระเบี่ยนวิชีไฟไนต์อิล เมนต์ 2 มิติ และ 3 มิติ สำหรับรอยต่อระหว่างอลูมิเนียม โดยใช้หมุดขึ้นหลัก โดยใช้โปรแกรม ABAQUS โดยทำการคำนวณเพื่อหาค่า หมุดอิ่งของหมุดขึ้น ค่าความเกินอัดที่เกิดขึ้น และ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเกิน และ C. Dechwayukul [20] ทำการศึกษาการถ่ายทอดแรงในรอยต่อแบบหมุดขึ้น สำหรับกรณีของหมุดขึ้นแบบ Countersunk และ Non-Countersunk แรงที่ผิวสัมผัสต่างๆ ค่าแรงที่ตั้งฉากระหว่างชิ้นงานด้านล่าง ลูกทำ การศึกษา

2.3. กลุ่มที่ทำการศึกษารอยต่อที่ใช้หัวหมุดขึ้น และ กาว (Adhesive Riveted Lap Joints)

J. Mann, R. Pell, R. Jones และ M. Heller [21] ได้ทำการศึกษาของการเกิดรอยแตกในชิ้นส่วนของโครงสร้างเครื่องบิน ผิวของรูหูหมุดขึ้นทำด้วยการเพิ่มอายุการใช้งาน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตของรอยแตกสามารถลดลงได้ประมาณ 50% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ทำกา

M. Imanaka [22] ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะความเกินสำหรับกรณีของรอยต่อแบบหมุดขึ้นและ กาว การทดสอบการล้ำทำงานชิ้นงานที่ทำกาวและหมุดขึ้น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าความคงทนต่อการล้ำของรอยต่อแบบใช้กาวสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มหมุดขึ้น

J. Liu และ T. Sawa [23] ได้ทำการศึกษาโดยการจำลองแบบและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม finite element analyses โดยที่ทำการวิเคราะห์รอยต่อที่เชื่อมด้วยหมุดขึ้นและทำกาว บริเวณผิวน้ำสัมผัสของรอยต่อ แต่ไม่ได้ทำในส่วนของรูหูหมุดขึ้น โดยมีโมเมนต์ดัดกระทำต่อรอยต่อ จากผลการวิเคราะห์พบว่าการทำกาวบนรอยต่อทำให้ความแข็งแรงของรอยเชื่อมต่อสูงขึ้น แต่การวิเคราะห์นี้คำนึงถึงแค่มีโมเมนต์ดัดจากภายนอกกระทำเท่านั้น ในแง่ของความเป็นจริงแรงจะทำในลักษณะของการดึง โดยที่ทิศทางของแรงจะไม่อยู่บนแนวเส้นแรงเดียวกัน และจะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดขึ้น และสุดท้ายชิ้นงานจะรับแรงลักษณะผสม คือระหว่างแรงดึงและโมเมนต์ดัด

T. Fongsamootr [2] ได้ทำการศึกษาโดยการทำสารอุดกันร้อน ฯ ลงไประหว่างผิวสัมผัสของรอยต่อหัวหมุด และบริเวณหมุดขึ้นและรู โดยที่รอยต่อนี้เป็นการจำลองรอยต่อจริงของเครื่องบิน และมีการใช้สารอุดกันร้อนทับบริเวณรอยต่อหัวหมุด จากนั้นได้ทำการทดสอบโดยการดึงชิ้นงานเพื่อวัดค่าความแข็งแรงและการเสียรูปของรอยต่อ จากนั้นนำชิ้นงานไปวัดหาค่าความคงทนต่อการล้ำ จากผลการวิจัยพบว่าการทำสารอุดกันร้อนนี้ช่วยให้ชิ้นงานนี้มีความคงทนขึ้นในระดับหนึ่ง เนื่องจากพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความหนาแน่นของความเกินที่บริเวณรอยต่อที่ใช้หัวหมุดขึ้นแบบหัวมาตรฐานหัวส่องข้างลดลงจาก 6.48 ไปเป็น 5.43 ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีค่าความคงทนสูงขึ้นตามไปด้วย

2.4. สรุป

จากการวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดทั้ง 3 กลุ่ม จะเห็นว่างานวิจัยที่พูดถึงรอยต่อที่ใช้ทั้งหมุดข้ามและชั้นกาวนี้ ยังน้อย โดยที่งานวิจัยหนึ่งเป็นการศึกษากรณีที่เป็นการใส่เฉพาะ โนเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว กับรอยต่อที่ใช้หมุดข้ามและกาว พนว่าความแข็งแรงของรอยต่อนั้นสูงขึ้นกว่าการใช้เพียงแค่หมุดข้ามเพียงอย่างเดียวจะพบว่า ได้มีการวิเคราะห์รอยต่อที่ใช้หมุดข้ามและกาว แต่ในขณะที่บางงานมีการวิเคราะห์แต่ในกรณีที่มีโนเมนต์ดัดเพียงอย่างเดียว ในขณะที่ความเป็นจริงชิ้นงานจะรับแรงในลักษณะของแรงดึงและโนเมนต์ดัดพร้อมๆ กัน งานต่อมาในการวิเคราะห์ในลักษณะการรับแรงตามจริงคือมีทั้ง โนเมนต์ดัดและแรงดึง แต่ในการวิเคราะห์นั้นและทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้จะทำเฉพาะชั้นกาวที่เป็นลักษณะ Elastomer เท่านั้น และในส่วนของชั้นกาวที่แข็งแรงขึ้นเป็นการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) เท่านั้น และสนใจเฉพาะการลดลงของความเค้นเท่านั้น โดยที่ไม่ได้สนใจถึงการยึดหยุ่นของรอยต่อ โดยที่คาดว่าจะมีผลต่อกำลังที่สามารถรับแรงของรอยต่อ และอาจทำให้การแตกของรอยต่อเลื่อนไปยังจุดอื่น สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาถึงการใช้ชั้นกาวที่มีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบ กับชั้นกาวที่เป็นลักษณะ Elastomer Adhesive ถึงประมาณ 1000 เท่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของรอยต่อที่ทั้งหมุดข้ามและกาว โดยที่กาวเป็นประเภทที่มีความแข็งแรงสูง และใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

บทที่ 3

ขั้นตอนการทำกราฟและวิเคราะห์

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL PROCEDURES

ในขั้นตอนการทำกราฟและวิเคราะห์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนในการทำการทดลอง และ ขั้นตอนในการทำการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ โดยที่สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้ คือ

3.1. ขั้นตอนการทำกราฟและวิเคราะห์ (Experimental Procedures)

3.1.1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

- 3.1.1.1 การศึกษาเพื่อเลือกประเภทของการที่จะนำมาใช้ในการศึกษา
- 3.1.1.2 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของการ
- 3.1.1.3 ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง

3.1.2. การทดสอบ

- 3.1.2.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของการ
- 3.1.2.2 การทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง

3.2. ขั้นตอนการทำกราฟและวิเคราะห์โดยการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computational Analyses Procedures)

3.2.1. การออกแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้ วิธี FEA-TALA

3.2.2. การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1. ขั้นตอนการทำกราฟและวิเคราะห์ (Experimental Procedures)

3.1.1. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.1.1.1 การศึกษาเพื่อเลือกประเภทของการที่จะนำมาใช้ในการศึกษา

ในการทำการศึกษานี้จะเน้นที่ตัวอย่างของการที่มีใช้อยู่ในห้องทดลอง จากการสำรวจพบว่าการที่มีอยู่ในห้องทดลองนั้นมีอยู่หลายชนิด เช่น การที่เป็นลักษณะเหมือนสารอุดรอยรั่ว (Sealant) เช่น Silicone การที่เป็นลักษณะของ Acrylic Adhesives และการที่เป็นลักษณะของ Epoxy Adhesives เนื่องจากในการศึกษานี้ต้องการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ประกอบด้วยการมีค่าความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้การชนิดที่เป็น

Epoxy Adhesives มาใช้ในการทำการทดสอบ โดยที่การชนิด Epoxy Adhesive นี้ที่พับในห้องทดลองนั้นยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ (1) แห้งเร็ว (Rapid Dry) และ (2) แห้งช้า โดยที่พวกราบแห้งเร็วจะใช้เวลาในการแข็งตัว เพียงแค่ประมาณ 4 – 5 นาที หมายความว่า สำหรับใช้ในงานที่ต้องการการแข็งตัวของการอย่างรวดเร็ว เพื่อต้องการใช้งานอย่างทันทีหลังจากทำการเรียบร้อยแล้ว ในขณะที่พวกราบแห้งช้าจะใช้เวลาในการแข็งตัวประมาณ 90 นาที ข้อดีของการประเกทหลังก็คือทำให้มีเวลาในการขับนิ้นงานให้ได้ตามแบบก่อนที่จะปล่อยให้แห้ง แต่ก็มีข้อเสียเปรียวก็คือจำเป็นต้องมีสีดับชั้นงานให้ดีตลอดเวลา ไม่เช่นนั้นอาจทำให้ขึ้นงานที่ได้ผิดพลาดไปจากที่ตั้งไว้

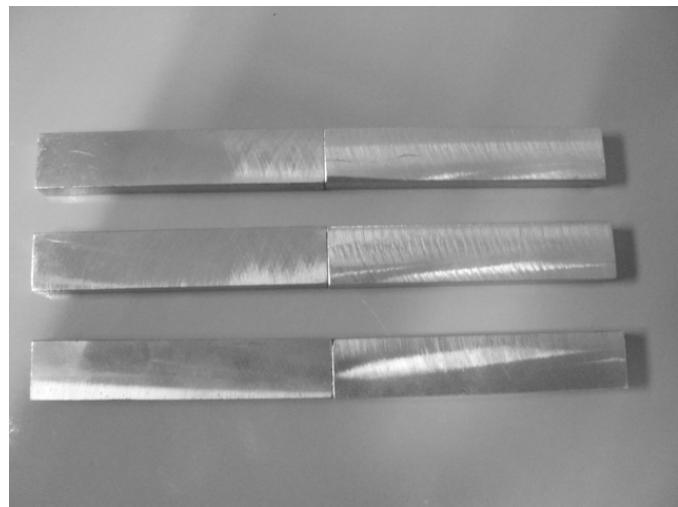
โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การ Epoxy ชนิดแห้งช้า สำหรับทำการวิเคราะห์และทดสอบ เนื่องจากการประกอบชิ้นงานต้องการเวลาในการประกอบนาน โดยที่ถ้าใช้การประเกทแห้งเร็ว อาจจะทำให้การประกอบชิ้นงานตัวอย่างนั้นไม่ได้ตามแบบที่ได้วางไว้ การที่ถูกเลือกมาใช้ในการศึกษานี้มี 2 ชนิด ดังนี้คือ

- **Araldite “High Strength” Steel Epoxy Adhesives**
(อารัลไดท์สตีล)
- **Araldite “High performance” Standard Epoxy Adhesives**
(อารัลไดท์แสตนดาร์ท)

3.1.1.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของการ

หลังจากได้ทำการเลือกชนิดของการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลของการทั้งสองชนิด ได้แก่ คุณสมบัติในการรับแรงดึง คุณสมบัติในการรับแรงกด และ คุณสมบัติในการรับการรับแรงดึง โดยที่คุณสมบัติเชิงกลทั้งสามจะถูกใช้ในการป้อนเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยที่ค่าที่ต้องการคือความสัมพันธ์ระหว่าง แรง และ การเดินรูปของกาวชนิดนั้น ๆ

- สำหรับการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของการในการรับแรงดึง จะทำการทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบบนรอยต่อที่เป็นลักษณะ Butt Joints ดังรูปที่ 3.1 โดยที่ชิ้นงานจะประกอบด้วยเทงเหล็ก 2 แท่งนำมาต่อ กันด้วยกาวชนิดนั้น ๆ เพื่อที่นำไปทำการทดสอบต่อไป



รูปที่ 3.1 ลักษณะรูป่างของชิ้นงานทดสอบการโดยการรับแรงดึง

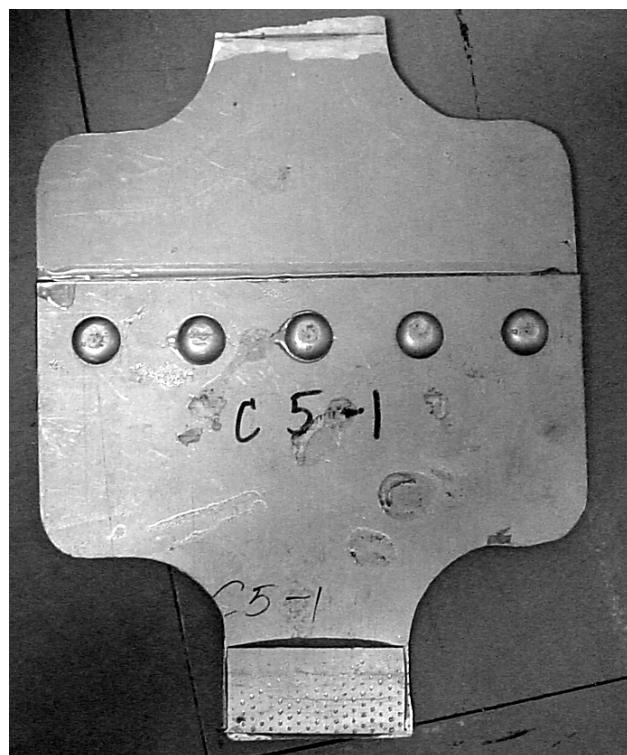
- สำหรับการหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของการในการรับแรงกด จะทำการทดสอบโดยทำการออกแรงกดลงบนชั้นกาว การจะถูกนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่น จากนั้นจะถูกนำมายกโดยหัวกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.27 มม.
- สำหรับหาค่าคุณสมบัติเชิงกลของการในการรับแรงเฉือน จะใช้วิธีการทดสอบโดยให้แรงดึงกับชิ้นงานที่เป็นลักษณะ Lap Joint ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะรูป่างของชิ้นงานทดสอบการโดยการแรงเฉือน

3.1.1.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง

ในการสร้างชิ้นงานทดสอบตัวอย่างที่จะใช้ในการทำการทดสอบ จะทำการตัดชิ้นงานและประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดัง รูปที่ 3.5 สำหรับ ระยะห่างระหว่างหมุดย้ำเท่ากับ 30.6, 38.1 และ 50.8 มิลลิเมตร โดยที่ชิ้นงานตัวอย่างประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียม (Al 7075-T6) หนา 1.53 mm สองแผ่นประกอบกันโดยที่มีระยะหักซ้อนเท่ากับ 30.6 mm ถูกเชื่อมต่อด้วยหมุดย้ำ หมุดย้ำทำจากอลูมิเนียมชนิด (Al 2117-T4) ขนาด 0.635 mm เป็นหัวแบบ Standard (Non-Countersunk) โดยที่จะมีเปลี่ยนระยะห่างของหมุดย้ำ และชนิดของการ ตามแบบของแต่ละชิ้นงานตัวอย่าง ดังมีรายละเอียดต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1 ทั้งนี้เพื่อใช้ในการทำการศึกษาผลของระยะห่างของหมุดย้ำ และ ผลของคุณสมบัติของ การ ที่มีต่อพฤติกรรมการเสียรูปของรอยต่อ



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานตัวอย่างทดสอบระยะห่างระหว่างหมุดย้ำ 30.6 มิลลิเมตร