



วิทยานิพนธ์

การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของกงประตูล้อหัว
สำหรับยึดบานพับประตูตำแหน่งหน้าของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1

**STRENGTH DESIGN AND ANALYSIS OF A NOSE LANDING
GEAR DOOR FOR L-39 JET TRAINER AIRCRAFT RIB
FRONT HINGE ASSEMBLY**

นาวาอากาศตรี สมชาย เรืองบุญสุข

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ)

ปริญญา

วิศวกรรมการบินและอวกาศ

วิศวกรรมการบินและอวกาศ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของกงประตูล้อหัวสำหรับยึดบานพับประตู
ตำแหน่งหน้าของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1

Strength Design and Analysis of A Nose Landing Gear Door For L-39 Jet Trainer
Aircraft Rib Front Hinge Assembly

นามผู้วิจัย นาวาอากาศตรี สมชาย เรืองบุญสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ร.อ.

(รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก สมชาย หาญกล้า, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ร.อ.

(นาวาอากาศตรี ญัฐพล นิยมไทย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ สานติ วิริยะวิทย์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 8 เดือน เม.ย. พ.ศ. 51

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของกงประตูล้อหัว
สำหรับยึดบานพับประตูตำแหน่งหน้าของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1

Strength Design and Analysis of A Nose Landing Gear Door
For L-39 Jet Trainer Aircraft Rib Front Hinge Assembly

โดย

นาวาอากาศตรี สมชาย เรืองบุญสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ)

พ.ศ. 2551

สมชาย เรืองบุญสุข, นาวาอากาศตรี 2551: การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของ
กงประตูล้อหัวสำหรับยึดบานพับประตูตำแหน่งหน้าของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1 ปรินญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ) สาขาวิชาวิศวกรรมการบิน
และอวกาศ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก สมชาย หาญกล้า, Ph.D. 85 หน้า

เนื่องจากเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1 (L-39ZA/ART) ของกองทัพอากาศ ได้ตรวจพบประตูล้อหัวชำรุด มีรอยแตกร้าวที่บริเวณกงประตู (Rib) ยึดบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งการชำรุดลักษณะนี้เป็นครั้งแรกที่เคยเกิดขึ้นนับตั้งแต่ บ.ขฝ.1 บรรจุประจำการ

งานวิจัยนี้เป็นการหารูปแบบและตำแหน่งที่เหมาะสม ในการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงให้กับกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ. 1 เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งวิกฤตหรือตำแหน่งที่เกิดรอยแตกร้าว ให้ลดลงมากที่สุด โดยใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล และการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กับแบบจำลองของประตูฐานล้อหัวที่สร้างขึ้นในคอมพิวเตอร์ ด้วยมุมการบินต่าง ๆ กัน 5 มุม ซึ่งค่าความเค้นแบบ Von Mises ณ ตำแหน่งวิกฤตที่ได้จากทั้ง 5 มุม มีค่าน้อยมาก ไม่มีผลต่อการแตกร้าวของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงจากการจำลองการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่าความเค้นแบบ Von Mises ณ ตำแหน่งวิกฤตสามารถทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้ โดยมีค่าเป็น 145.94 MPa และมีจำนวนครั้งการเปิด-ปิดประตูเป็น 5,000 ครั้ง ผลใกล้เคียงกับตัวเลขที่คำนวณได้จากการใช้งานจริง ต่างกัน 6.6% จากนั้นได้ทำการออกแบบวัสดุเสริมความแข็งแรงเป็นรูปตัว C มีรัศมีความโค้งของมุม ขนาด 3 mm นำไปติดตั้งกับกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าในตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่ง และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าเมื่อติดตั้งในตำแหน่งติดกับ Web ของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า ทำให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises ณ ตำแหน่งวิกฤตมีค่าลดลงมากที่สุดจากก่อนติดตั้งเป็น 135.44 MPa คิดเป็น 7.19% และทำให้จำนวนครั้งการเปิด-ปิดประตูเพิ่มขึ้นเป็น 8,000 ครั้ง คิดเป็น 60% และจากการคำนวณอายุเริ่มร้าวเมื่อนำไปติดตั้งใช้งานจริง พบว่ามีอายุเริ่มร้าวเพิ่มขึ้นจากเดิม 1,577.0 ชม.บิน เป็น 2,535.24 ชม.บิน (เพิ่มขึ้น 958.24 ชม.บิน) และจำนวนครั้งการเปิด-ปิดประตูเพิ่มขึ้นจากเดิม 4,788.40 ครั้ง เป็น 7,661.44 ครั้ง (เพิ่มขึ้น 2,873.04 ครั้ง)

ร.ต. 

ลายมือชื่อนิสิต

ร.อ. 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

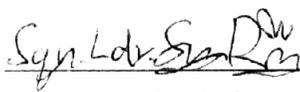
8 / เม.ย. / ๕1

Somchai Ruangbunsuk, Squadron Leader 2008: Strength Design and Analysis of A Nose Landing Gear Door For L-39 Jet Trainer Aircraft Rib Front Hinge Assembly. Master of Engineering (Aerospace Engineering), Major Field: Aerospace Engineering, Department of Aerospace Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Group Captain Somchai Hanklar, Ph.D. 85 pages.

The Royal Thai Air Force acknowledged that RTAF L-39 jet trainer aircraft had been found a serious crack on the rib at the front hinge assembly of the nose landing gear door.

This research focused on the selection of the best calculation model as well as the location for installing the reinforce materials to strengthen the understudied rib by significantly mitigating the concentration stress at the critical point on the rib using the Computational Fluid Dynamics Analysis and Finite Element Analysis methods with five different flight direction models. The result indicated that the Von Mises stresses at the critical location were very low, which were not enough to initiate a crack on the rib at the front hinge assembly of the nose landing gear door. After performing the simulation on open-close cycles of the nose landing gear door, the crack on the rib can be occurred under Von Mises stress of 145.94 MPa and 5,000 cycles of open-close door. Compared with the mathematical calculation result used the real operational data of the L-39 aircraft, our result was 6.6% different.

A designed C-shape component with fillet radius of 3 mm, reinforce material, was installed to the rib at three different locations. The result from performing Finite Element Analysis showed that the best installed location at the web of the rib would give the lowest Von Mises stress of 135.44 MPa and 8,000 cycles of open-close door, which was 7.19% stress reduce and 60% open-close cycles increase, respectively. This result revealed the increase in operational life of the rib from 1,577 flight hours to 2,535.24 flight hours and the increase in the number of open-close cycles of the nose landing gear door from 4,788.40 cycles to 7,661.44 cycles.


Student's signature


Thesis Advisor's signature

Apr 1 08 1 08

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก สมชาย หาญกล้า, Ph.D. ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ความรู้ แนวทาง ให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไข ข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นาวาอากาศตรี ฉัฐพล นิยมไทย, Ph.D. กรรมการสาขาวิชาเอก ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ปองวิทย์ ศิริโพธิ์, Ph.D. ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ สาขาวิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ ภาควิชา วิศวกรรมการบินและอวกาศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และอาจารย์โรงเรียนนายเรืออากาศ ที่ได้ สั่งสอน ให้ความรู้ แนะนำ ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ นาวาอากาศเอก ปัทม สุทธิสรโยธิน และ นาวาอากาศตรี กนก สุริยา ที่ให้ คำปรึกษาและแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจ ที่ดี ในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จลุล่วงได้

สมชาย เรืองบุญสุข
กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	43
สรุปและข้อเสนอแนะ	82
สรุป	82
ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	84
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงข้อมูลการแตกร้าว และการคำนวณอายุเริ่มร้าวที่เกิดขึ้นบนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า ของ บ.ขฝ.1 ทั้ง 7 เครื่องที่ชำรุด	10
2	แสดงข้อมูลจำนวนครั้งในการขึ้นและลงสนามบิน ต่อ ชม.บิน ของ บ.ขฝ.1 ทั้งฝูงบิน ภายใน รอบ 1 ปี	11
3	แสดงการคำนวณการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัว จากการใช้งาน และการซ่อมบำรุง ของ บ.ขฝ.1 ทั้ง 7 เครื่องที่ชำรุด	12
4	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณด้ามลึงกุดบนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า ด้วยมุมการบินต่าง ๆ	65
5	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้น ณ ด้ามลึงกุด บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ในตำแหน่งต่าง ๆ กับก่อนติดตั้ง	78
6	แสดงการเปรียบเทียบ อายุการใช้งานของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า ในการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัว ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ระหว่างใช้งานจริง กับ แบบจำลองในคอมพิวเตอร์	80

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงตำแหน่งติดตั้งประตูฐานล้อหัว	4
2	แสดงชิ้นส่วน โครงสร้างภายในประตูฐานล้อหัว	5
3	แสดงระบบการทำงานของประตูฐานล้อหัว	7
4	แสดงลักษณะรอยแตกที่เกิดขึ้นบนกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า (ก) ด้านหน้า และ (ข) ด้านหลัง	9
5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรอยแตกกับ ชม.บิน เฉลี่ย ของ บ.ขฝ.1 ทั้ง 7 เครื่อง ที่ชำรุด	13
6	ชนิดของการแตกหัก	14
7	แสดงการแตกหักแบบผสมของแบบที่ 1 และ 2	15
8	เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า	16
9	โมเดลเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า	17
10	เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า	17
11	โมเดลเอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า	18
12	เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม	18
13	ชิ้นงานแบบแบ่งเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม	19
14	เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม	19
15	ชิ้นงานแบบแบ่งเอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม	20
16	ขั้นตอนพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการคำนวณทาง พลศาสตร์ของไหล	21
17	ขั้นตอนพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	23
18	ภาพเขียนแบบของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า (บน) และ กงประตู (ล่าง)	26
19	ภาพเขียนแบบของบานพับตำแหน่งหน้า (บน) และหลัง (ล่าง)	27
20	ภาพเขียนแบบของประตูฐานล้อหัว	28
21	แสดงการกำหนดขอบเขตการไหลของกระแสอากาศรอบแบบจำลอง	30
22	แสดงการสร้างโครงร่างตาข่ายบนปริมาตรควบคุมของแบบจำลอง	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบบนแบบจำลอง	32
24	แสดงการสร้างโครงร่างตาข่ายบนแบบจำลองของประตูฐานล้อหัว	33
25	แสดงการสร้างเงื่อนไขบังคับลงบนแบบจำลองของประตูฐานล้อหัว	34
26	แสดงการกระจายตัวของความดันที่กระทำบนแบบจำลองของประตูฐานล้อหัว	34
27	แสดงแบบจำลองการติดตั้งประตูฐานล้อหัวเข้ากับแกนหมุนและขอบช่องเก็บฐานล้อหัว	35
28	แสดงบริเวณที่กำหนดเป็นหน้าสัมผัสของแบบจำลอง	36
29	แสดงแรงดึงเนื่องจากแขนของไฮดรอลิกที่จับยึดบริเวณบานพับตำแหน่งหลัง	37
30	แสดงการจำลองรูปแบบแรงที่เกิดจากการปิดประตูฐานล้อหัวปะทะเข้ากับขอบช่องเก็บฐานล้อหัว	38
31	แสดงภาพเขียนแบบของวัสดุเสริมความแข็งแรงรูปตัว C ซึ่งมีรัศมีความโค้งของมุมขนาด 3 mm	40
32	แสดงลักษณะการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่ง (ก) ติดกับ Web, (ข) ขนานกับ Web และ (ค) ตั้งฉากกับ Web ของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า	40
33	แสดงรอยแตกที่เกิดขึ้นบนกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าผ่านทางช่องมองที่ผิวกลมใน	41
34	แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูฐานล้อหัวที่มุมบิในระดับ 0 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย	44
35	แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูฐานล้อหัวที่มุมเบย 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย	45
36	แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูฐานล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย	46

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย	47
38	แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย	48
39	แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมบินระดับ 0 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด	50
40	แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมบินระดับ 0 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง	51
41	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูล้อหัวที่มุมบินระดับ 0 องศา	52
42	แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมเงย 5 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด	53
43	แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมเงย 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง	54
44	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูล้อหัวที่มุมเงย 5 องศา	55
45	แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด	56
46	แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง	57

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
47	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมก้ม 3 องศา	58
48	แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูดัดล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด	59
49	แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูดัดล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง	60
50	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา	61
51	แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูดัดล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด	62
52	แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูดัดล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง	63
53	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา	64
54	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life ในการจำลองการบินด้วยมุมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3	65
55	แสดงการจำลองแรงดึงจากไฮดรอลิก ดึงประตูดัดล้อหัวปิดเข้าที่	66
56	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปะทะที่หน้าสัมผัสของประตูดัดล้อหัวกับขอบของช่องเก็บ	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
57	แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของ ประตูลูกปืนล้อหัว จากการจำลองการเปิด-ปิดประตูลูก (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด	69
58	แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูลูกปืนล้อหัว จากการจำลองการเปิด-ปิดประตูลูก (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง	70
59	แสดงภาพตัดภายในแบบจำลองของประตูลูกปืนล้อหัว จากการ จำลองการปิดประตูลูก	71
60	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูลูก ยึดบานพับตำแหน่งหน้า จากการจำลองการปิดประตูลูก	71
61	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life ในการจำลองการปิดประตูลูก เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3	72
62	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูลูก ยึดบานพับตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ติดกับ Web	74
63	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงติดกับ Web ของกงประตูลูก ยึดบานพับตำแหน่งหน้า เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3	74
64	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูลูก ยึดบานพับตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ขนานกับ Web	75
64	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงขนานกับ Web ของกงประตูลูก ยึดบานพับตำแหน่งหน้า เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
66	แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณด้ามลึงกุด บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงตั้งฉากกับ Web	76
67	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงตั้งฉากกับ Web ของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3	76
68	แสดงระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบริเวณ Upper Flange ของแบบจำลอง (ก) ก่อน และ (ข) หลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ในตำแหน่งติดกับ Web ของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า	78
69	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรอยแตกกับ ชม.บินของอายุเริ่มร้าวเร็วที่สุด ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง	81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CFD	Computational Fluid Dynamics
FEM	Finite Element Method
dof	ระดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom)
A	พื้นที่หนึ่งหน่วย
P	ความดันสถิต
P_∞	ความดันบรรยากาศ
Pa	หน่วยความดันและความเค้น วัดเป็นปาสคาล (Pascal)
E	ค่าคงที่ความยืดหยุ่น (Young's Modulus)
C_p	สัมประสิทธิ์ความดัน (Pressure Coefficient)
F	แรงกระทำตั้งฉาก
q_∞	ความดันพลวัต
v_∞	ความเร็วกระแสอากาศ
σ	ความเค้น
σ'	ความเค้นแบบ Von Mises
σ'_{\max}	ความเค้นแบบ Von Mises สูงสุด
σ_m	ความเค้นกลาง (Mean Stress)
σ_y	ความแข็งแรงจุดคราก (Yield Strength)
ν	ค่าคงที่อัตราส่วนพัวซองส์ (Poisson's Ratio)
ρ	ความหนาแน่น
ρ_∞	ความหนาแน่นของอากาศ
R	อัตราส่วนความเค้น (Stress Ratio)

การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของกงประตูล้อหัว
สำหรับยึดบานพับประตูตำแหน่งหน้า ของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1

**Strength Design and Analysis of A Nose Landing Gear Door
For L-39 Jet Trainer Aircraft Rib Front Hinge Assembly**

คำนำ

ในช่วงอายุการใช้งาน อากาศยานจะได้รับการกระทบกระชอนอยู่ตลอดเวลา ได้แก่ ภาระกรรมที่เกิดจากอากาศพลศาสตร์, การวิ่งขึ้น-ลงสนามบิน, ท่าทางการบิน, อากาศยานชนนก และ ความเค้นจากการเกิดสั่นเป็นต้น ซึ่งภาระกรรมเหล่านี้จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับโครงสร้างของอากาศยาน โดยเฉพาะอากาศยานที่มีอายุการใช้งานมานาน ทั้งที่ใช้งานในทางทหารและพลเรือน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับภาระกรรมของโครงสร้างได้น้อยลง ดังนั้นการซ่อมหรือเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของอากาศยานในส่วนที่เกิดการชำรุดเสียหาย เพื่อให้สามารถใช้งานได้ต่อไปอย่างปลอดภัย จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญต่อผู้ใช้งานอากาศยาน

ประตูฐานล้อหัวของเครื่องบิน (Nose Landing Gear Door) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปิด-ปิดเพื่อกางและเก็บฐานล้อหัว (Nose Landing Gear) ซึ่งในแต่ละเครื่องบินจะมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันออกไป แต่จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกัน โดยปกติประตูฐานล้อหัวของเครื่องบินจะได้รับการกระทบจากอากาศพลศาสตร์กระทำในขณะที่ทำการบิน และได้รับแรงกระทำในขณะที่ปิดประตู ซึ่งจากการตรวจพบประตูฐานล้อหัวของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1 (L-39ZA/ART) ของกองทัพอากาศซำรุค มีรอยแตกร้าวที่บริเวณกงประตู (Rib) ยึดบานพับตำแหน่งหน้า (Forward Hinge) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างภายในของประตูฐานล้อหัว การชำรุดลักษณะนี้เป็นครั้งแรกที่เคยเกิดขึ้นนับตั้งแต่ บ.ขฝ.1 บรรจุประจำการ ปัจจุบันยังไม่มีผลการวิเคราะห์หาที่มาของสาเหตุการแตกร้าว และผู้ใช้งานแก้ไขโดยใช้การถอดเปลี่ยนกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า แทนการซ่อมบำรุง ดังนั้นการศึกษาถึงผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ที่กระทำต่อประตูฐานล้อหัว และแรงปะทะที่เกิดจากการปิดประตูฐานล้อหัว จะทำให้ทราบถึงลักษณะและปริมาณของแรงที่กระทำกับประตูฐานล้อหัว โดยส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นที่กงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า เพื่อที่จะหาแนวทางป้องกันการแตกร้าวที่เกิดขึ้น ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้วิธีการออกแบบวัสดุเสริมความแข็งแรงนำไปติดตั้งกับกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งวิกฤต (Critical Position) เป็น

การเพิ่มความแข็งแรงให้กับกึ่งประตูดบานพับตำแหน่งหน้า และช่วยยืดอายุการใช้งานประตูดบาน
ล้อหัว นอกจากนี้การคำนวณหาอายุเริ่มร้าวของประตูดบานล้อหัว จะสามารถทำนายช่วงระยะเวลาที่
จะเริ่มเกิดการแตกร้าวขึ้นที่กึ่งประตูดบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถ
ป้องกันการแตกร้าวที่จะเกิดขึ้นได้ทันก่อนที่จะเกิดการแตกร้าวขึ้น

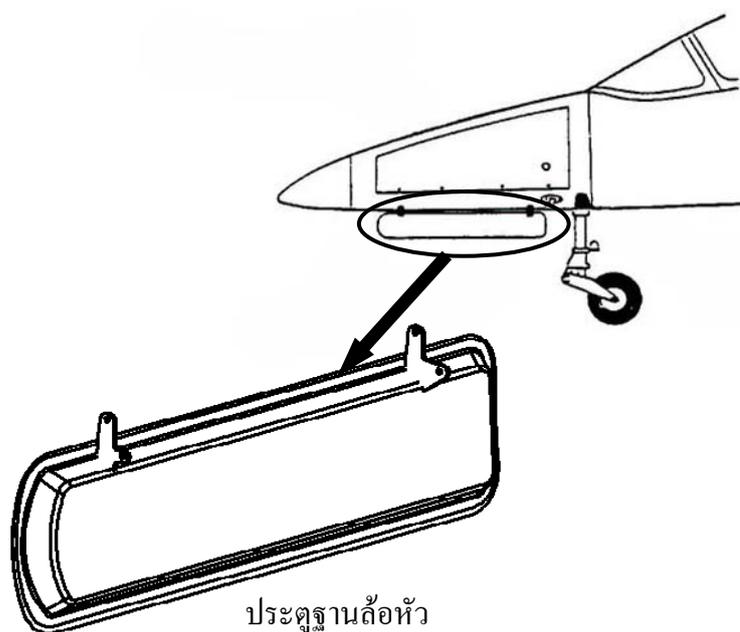
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของแรงทางอากาศพลศาสตร์ และแรงปะทะในการปิดประตูฐานล้อหัวของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1 ซึ่งมีผลทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นที่กงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า รวมถึงการหารูปแบบและตำแหน่งที่เหมาะสม ในการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงให้กับกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า เพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งวิกฤต และทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ตลอดจนช่วยยืดอายุการใช้งานประตูฐานล้อหัว

การตรวจเอกสาร

1. โครงสร้างและการทำงานของประตูล้อหัวของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1

ประตูล้อหัวของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปิด - ปิด เมื่อต้องการกางและเก็บประตูล้อหัว (Nose Landing Gear) ในอากาศ ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของประตูล้อหัว ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งติดตั้งประตูล้อหัว

ที่มา: The Royal Thai Air Force (1993)

โดยทั่วไปโครงสร้างของประตูล้อหัวประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก ดังนี้

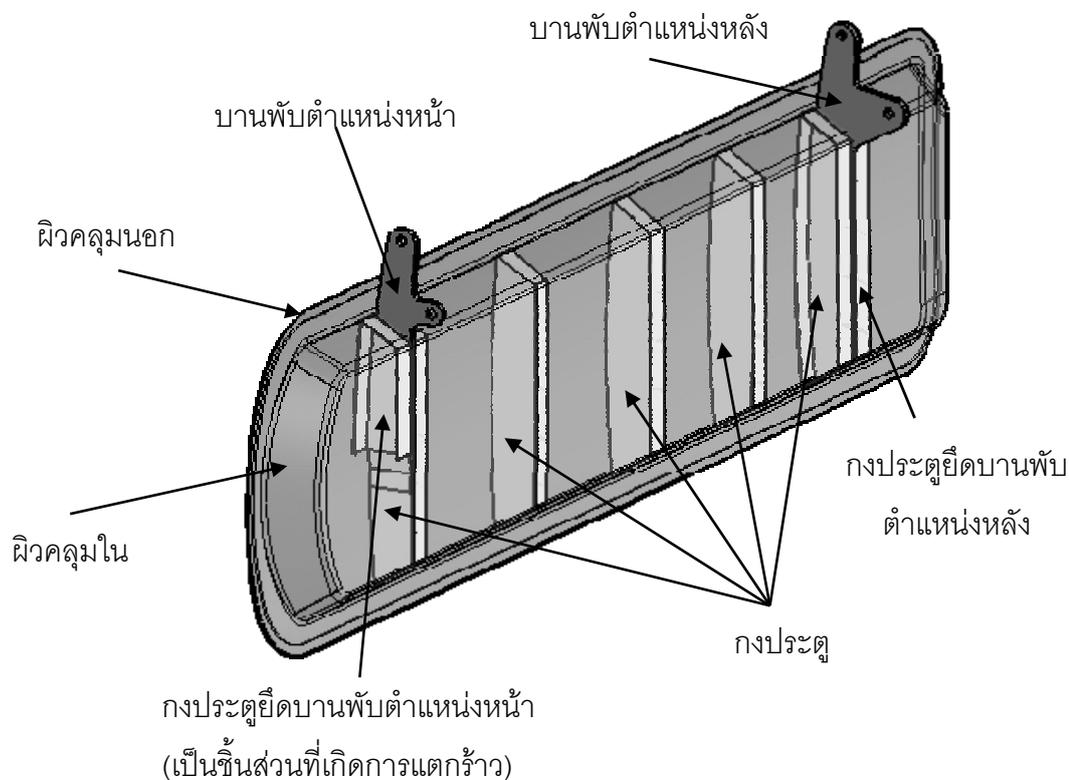
1.1 บานพับตำแหน่งหน้า (Forward Hinge) และบานพับตำแหน่งหลัง (Afterward Hinge) ทำหน้าที่เป็นข้อต่อเชื่อมระหว่างประตูล้อหัวกับโครงสร้างส่วนหัวของเครื่องบิน และเป็นส่วนที่ถ่ายเทการกระแทกจากประตูล้อหัวสู่โครงสร้างส่วนหัวของเครื่องบิน

1.2 กงประตู่ (Rib) ทำหน้าที่รักษารูปร่างของประตู่ และรองรับภาระกรรมจากผิวหนังประตู่ ซึ่งภาระกรรมดังกล่าวเกิดจากความดันอากาศและความเค้นเฉือนในรูปของแรงเสียดทานผิว (Skin Friction) (วุฒิชัย, 2539)

1.3 กงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าและหลัง ทำหน้าที่ยึดประตูล้อหัวให้ติดกับบานพับตำแหน่งหน้าและหลัง โดยประกบอยู่กับกงประตู่ ทำหน้าที่ถ่ายเทภาระกรรมจากกงประตูยึดบานพับสู่บานพับ

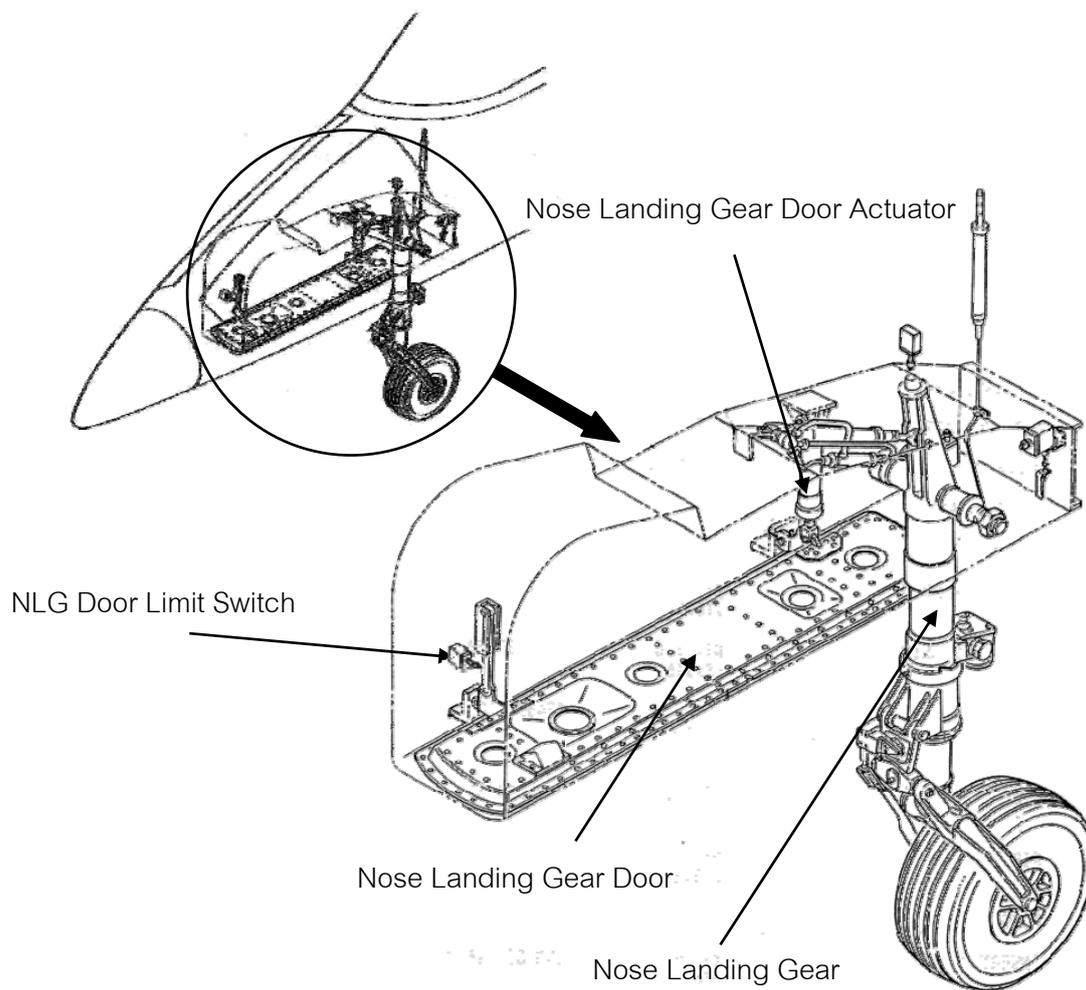
1.4 ผิวคลุมประตู่ (Skin Panel) ทำหน้าที่คลุมโครงสร้างประตู่ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ผิวคลุมนอก ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ใช้คลุมปิดชิ้นส่วนภายในประตูฐานล้อหัว และ ผิวคลุมใน ซึ่งมีลักษณะเป็นถาดเสริมความแข็งแรง สำหรับใช้จัดวางชิ้นโครงสร้างภายในประตูฐานล้อหัว

ชิ้นส่วน โครงสร้างทั้งหมดของประตูฐานล้อหัว แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงชิ้นส่วน โครงสร้างภายในประตูฐานล้อหัว

The Royal Thai Air Force (1993) อธิบายถึงหลักการทำงานของประตูฐานล้อหัวของเครื่องบินแบบ L-39 ในการบินปกติ ซึ่งมีการเปิด-ปิดประตู 2 ช่วงเวลา คือ หลังจากเครื่องบินทำการวิ่งขึ้น (Take Off) เมื่อล้อพื้นพื้นไปแล้ว ประตูจะเปิดออกเพื่อเก็บฐานล้อหัว และจะทำการปิดเมื่อฐานล้อหัวเก็บเข้าในช่องเก็บเรียบร้อยแล้ว และช่วงก่อนทำการลงสนาม (Landing) ประตูจะเปิดออกเพื่อกางฐานล้อหัวและจะทำการปิดเมื่อล้อหัวกางเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในการเปิด - ปิดประตูฐานล้อหัวแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 10 วินาที และในการเปิด - ปิดประตูฐานล้อหัวจะใช้ Nose Landing Gear Door Actuator ที่จับยึดอยู่บริเวณบานพับตำแหน่งหลัง ทำหน้าที่ดึงเปิด - ปิดประตู โดยใช้แรงดันไฮดรอลิกประมาณ 2,175 psi และจับล็อกในขณะที่ประตูเปิดออกสุดหรือปิดเข้าที่ โดยทำงานร่วมกับชุด NLG Door Limit Switch ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจจับระยะการเปิด - ปิดประตูฐานล้อหัว ซึ่งเมื่อประตูอยู่ในตำแหน่ง เปิด หรือ ปิด เข้าที่เรียบร้อยแล้ว NLG Door Limit Switch จะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมการจ่ายแรงดันไฮดรอลิกของชุด Nose Landing Gear Door Actuator ให้หยุดการทำงาน ซึ่งระบบการทำงานของประตูฐานล้อหัว แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงระบบการทำงานของประตูล้อหัว

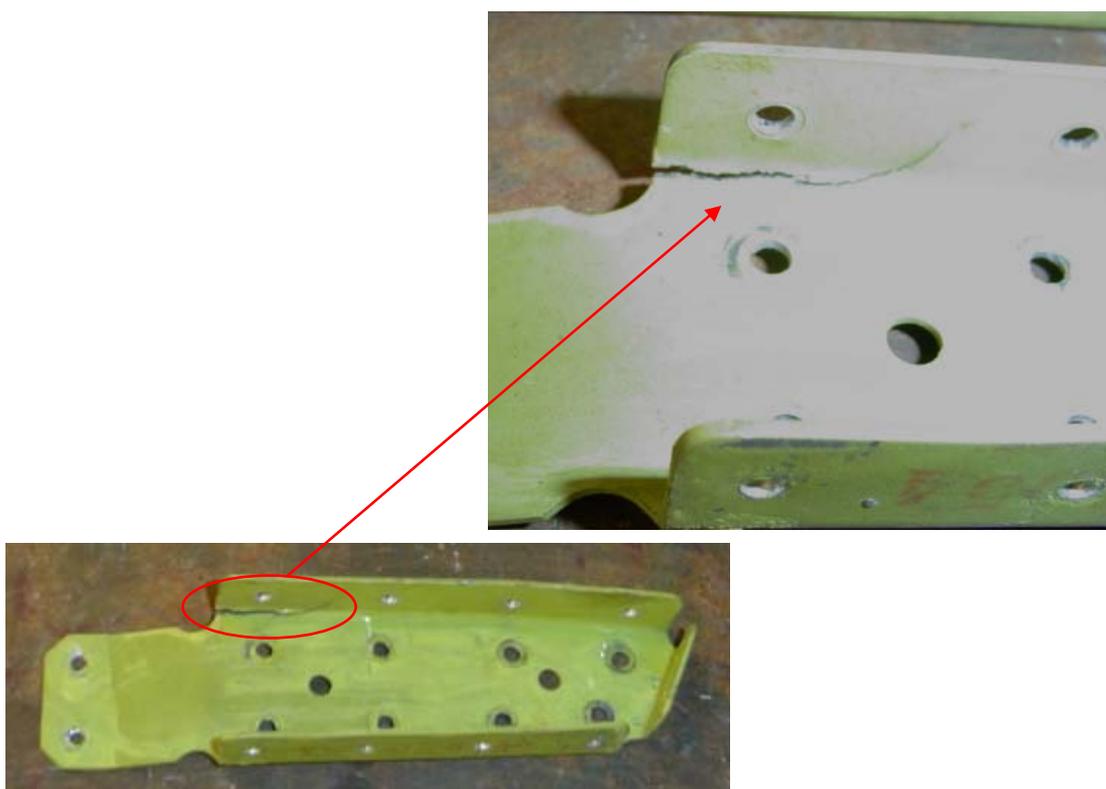
ที่มา: The Royal Thai Air Force (1993)

2. ปัญหาการแตกร้าวและการทำนายอายุการใช้งานของกึ่งประตูดับานพับตำแหน่งหน้า

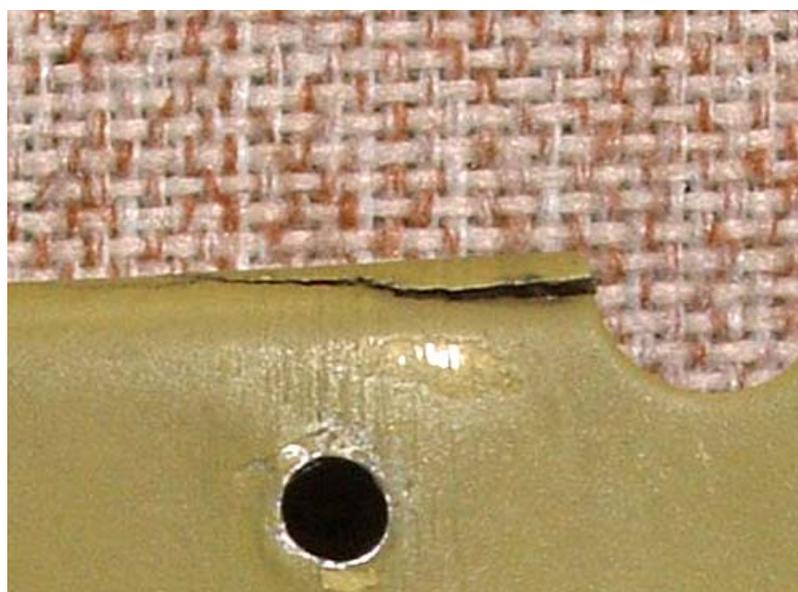
จากการตรวจพบการชำรุดของประตูล้อหัวของเครื่องบินแบบ บ.ขฝ.1 จำนวน 7 เครื่อง โดยลักษณะของการชำรุดที่ตรวจพบได้แก่ ผิวคลุมนอกบริเวณที่ยึดบานพับตำแหน่งหน้าเป็นลอนคลื่น และกึ่งประตูดับานพับตำแหน่งหน้าแตกร้าว มีความยาวประมาณ $\frac{3}{4}$ - 1 นิ้ว ดังภาพที่ 4 ซึ่งทั้ง 7 เครื่อง ในขณะที่เข้าซ่อมใหญ่โครงสร้าง นั้น ยังไม่มีการแตกร้าวของกึ่งประตูดับานพับตำแหน่งหน้า และต่อมาได้ตรวจพบรอยแตกร้าวในภายหลัง โดยมี ชม.บิน เฉลี่ยขณะที่ตรวจพบรอยแตกร้าวอยู่ที่ 1,878.13 ชม.บิน และระยะเวลาสั้นสุดที่ตรวจพบรอยแตกร้าวหลังจากเข้าซ่อมใหญ่ คือ 120.8 ชม.บิน เมื่อทำการคำนวณอายุเฉลี่ยเริ่มร้าวอย่างคร่าว ๆ พบว่า มีอายุเฉลี่ยเริ่มร้าวอยู่ที่ 1,757.33 ชม.บิน และมีอายุเริ่มร้าวเร็วสุดอยู่ที่ 1,577 ชม.บิน ซึ่งมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

ในการใช้งาน บ.ขฝ.1 นอกจากจะมีการเปิด-ปิดประตูดับานล้อหัวในการบินปกติแล้ว ในบางภารกิจหรือภารกิจที่มีการฝึกขึ้น-ลงสนามบิน เครื่องบินจะมีการเปิด-ปิดประตูดับานล้อหัวบ่อยครั้งขึ้น รวมถึงการเปิด-ปิดประตูในขณะที่เข้าซ่อมบำรุงที่พื้น โดยเฉลี่ยแล้วที่อายุเริ่มร้าวของ บ.ขฝ.1 ทั้ง 7 เครื่อง คือ 1,757.33 ชม.บิน มีการเปิด-ปิดประตูดับานล้อหัวประมาณ 5,330.10 ครั้ง หรือคิดเป็นอัตรา 3 ครั้ง/ชม.บิน จึงทำให้กึ่งประตูดับานพับตำแหน่งหน้าเริ่มร้าวขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงอยู่ในตารางที่ 2 และ 3 โดยเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลและการคำนวณร่วมกัน และเมื่อนำข้อมูลของการแตกร้าวมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของรอยแตกกับ ชม.บิน สามารถทำนายช่วงการแตกที่เกิดขึ้นได้อย่างคร่าว ๆ ดังภาพที่ 5

การชำรุดของประตูดับานล้อหัวนี้ เป็นครั้งแรกที่เคยตรวจพบตั้งแต่บรรจุ บ.ขฝ.1 เข้าประจำการ และยังไม่มีการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มาของการแตกร้าวที่เกิดขึ้น ซึ่งผู้ใช้งานได้แก้ปัญหาโดยการสร้างชิ้นงานใหม่ทดแทน ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเฉพาะแรงที่กระทำกับกึ่งประตูดับานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งส่งผลทำให้กึ่งประตูดับานพับตำแหน่งหน้าเกิดการแตกร้าว และกำหนดให้บริเวณที่เกิดการแตกร้าวเป็นตำบลวิกฤต



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะรอยแตกที่เกิดขึ้นบนกึ่งประตูด้านหน้า (ก) ด้านหน้า และ (ข) ด้านหลัง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลการแตกร้าว และการคำนวณอายุเริ่มร้าวที่เกิดขึ้นบนกึ่งประตูดัดบนพื้ตำแหน่งหน้า ของ บ.ขฝ.1 ทั้ง 7 เครื่อง ที่ชำรุด

เครื่อง หมายเลข	ขนาดรอยแตก (นิ้ว)	ชม.เข้าซ่อมใหญ่ (ชม.บิน)	ชม.บิน ที่ตรวจพบ (ชม.บิน)	ระยะเวลาที่ตรวจพบ ¹ (ชม.บิน)	อัตราการขยายตัวของ รอยร้าว ² (นิ้ว/ชม.)	อายุเริ่มร้าว ³ (ชม.บิน)
1	1	1,077.4	1,702.4	625	0.0016	1,581.6
2	0.75	1,416.7	2,130.3	713.6	0.0011	2,009.5
3	1.5	1,495.0	1,864.4	369.4	0.0041	1,743.6
4	0.75	1,603.0	1,855.5	252.5	0.0030	1,734.7
5	1	1,639.0	1,962.4	323.4	0.0031	1,841.6
6	1	1,498.8	1,697.8	199.0	0.0050	1,577.0
7	1	1,813.3	1,934.1	120.8	0.0083	1,813.3
	เฉลี่ย	1,506.17	1,878.13	371.96	0.00373	1,757.33

หมายเหตุ ¹ระยะเวลาที่ตรวจพบ = ชม.เข้าซ่อมใหญ่ - ชม.บิน ที่ตรวจพบ

²อัตราการขยายตัวของรอยร้าว เป็นการสมมติให้เริ่มแตกที่ ชม.หลังออกจากเข้าซ่อมใหญ่ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน

= ขนาดรอยแตก / ระยะเวลาที่ตรวจพบ

³อายุเริ่มร้าว = ชม.บิน ที่ตรวจพบ - ระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ตรวจพบรอยแตกร้าว คือ 120.8 ชม.บิน

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลจำนวนครั้งในการขึ้นและลงสนามบิน ต่อ ชม.บิน ของ บ.ขฟ.1 ทั้งฝูงบิน
ภายในรอบ 1 ปี

หมายเลขเครื่อง	จำนวน ชม.บิน (ชม.บิน)	จำนวนครั้งการขึ้นและลงสนามบิน (ครั้ง)
1	78.30	320
2	102.06	322
3	35.40	118
4	127.10	468
5	22.80	60
6	120.50	344
7	87.50	284
8	77.70	242
9	102.86	266
10	92.20	256
11	90.20	234
12	1.20	2
13	70.90	142
14	113.20	300
รวม	1,121.92	3,358
$\text{คิดเป็นอัตราการเปิด-ปิด} = \frac{3,358}{1,121.92} = 3.0 \text{ ครั้ง/ชม.บิน}$		

ตารางที่ 3 แสดงการคำนวณการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัว จากการใช้งานและการซ่อมบำรุง ของ บ.ขฝ.1 ทั้ง 7 เครื่องที่ชำรุด

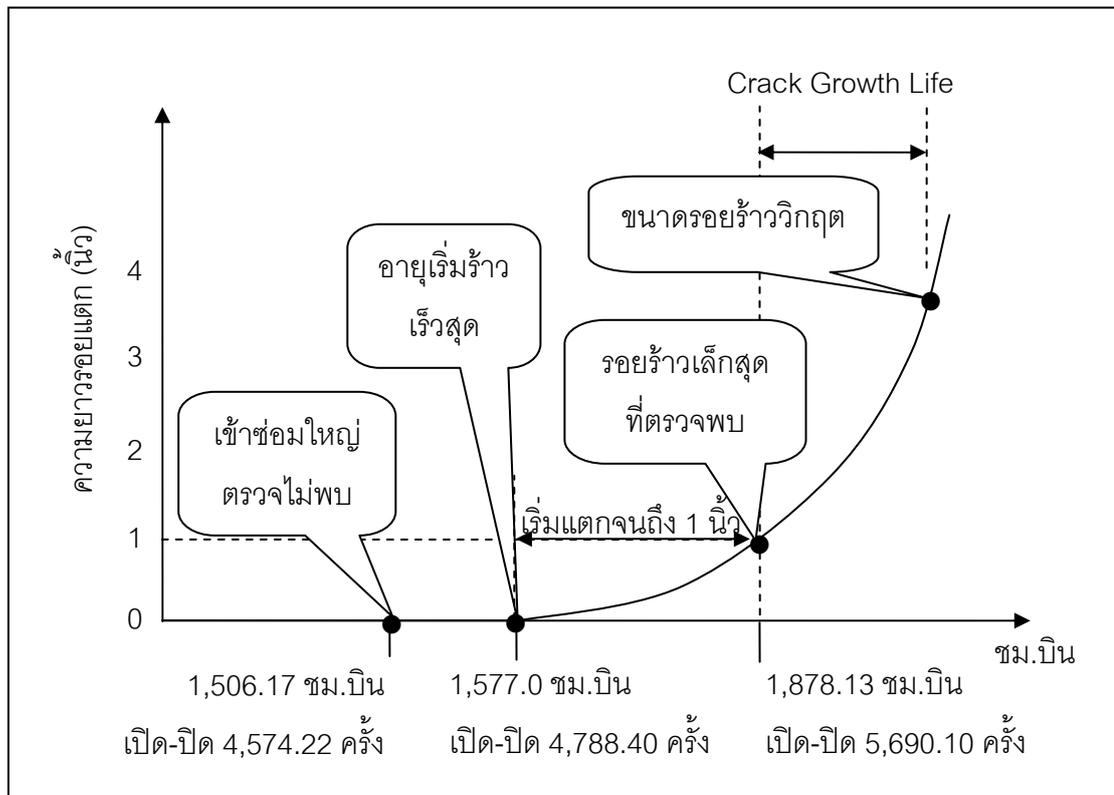
หมายเลข เครื่อง	อายุเริ่มรื้อ ¹ (ชม.บิน)	เปิด-ปิด ในการบิน ² (ครั้ง)	เข้าซ่อมบำรุง ³ (ครั้ง)	รวม เปิด-ปิด ⁴ (ครั้ง)
1	1,581.6	4,747.20	55	4,802.20
2	2,009.5	6,030.90	60	6,090.90
3	1,743.6	5,233.20	55	5,288.20
4	1,734.7	5,206.50	55	5,261.50
5	1,841.6	5,527.20	55	5,582.20
6	1,577.0	4,733.40	55	4,788.40
7	1,813.3	5,442.30	55	5,497.30
เฉลี่ย	1,757.33	5,274.39	55.71	5,330.10

หมายเหตุ ¹อายุเริ่มรื้อขมมาจากตารางที่ 1

²จำนวนครั้งเปิด-ปิด ในการบิน = อายุคาดว่าเริ่มแตก × จำนวนครั้ง/ชม.บิน คือ 3.0

³จำนวนครั้งเปิด-ปิด ในการซ่อมบำรุง เป็นการประมาณจากการเข้าตรวจซ่อมในแต่ละเฟส

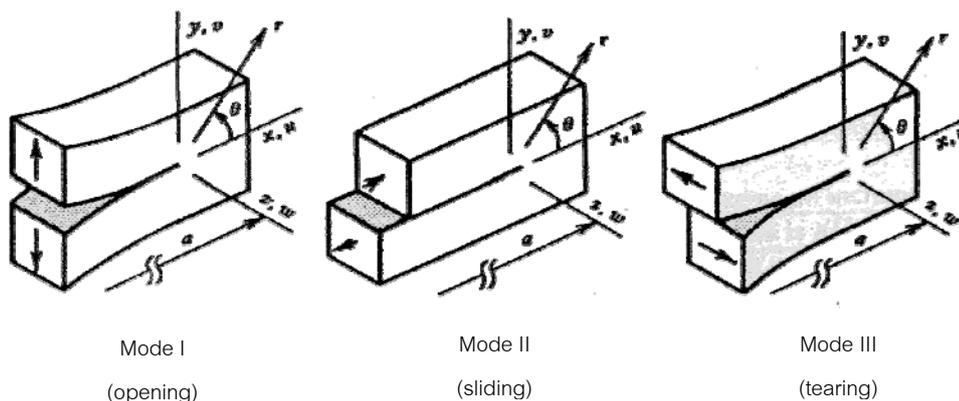
⁴จำนวนครั้งเปิด-ปิด รวม = เปิด-ปิด ในการบิน + เข้าซ่อมบำรุง



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรอยแตกกับ ชม.บิน เฉลี่ย ของ บ.ขฝ.1
ทั้ง 7 เครื่อง ที่ชำรุด

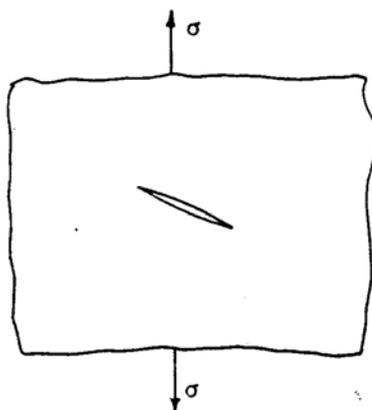
3. ชนิดของการแตกหัก

สุธีระ (2535) อธิบายถึงการแตกหักมี 3 ประเภท ดังภาพที่ 6 ได้แก่ การแตกหักแบบที่ 1 เป็นการเปิดรอยแตกออกด้วยแรงดึงทำให้พื้นผิวรอยแตกเปิดออกในทิศทางตั้งฉากกับแรง และเป็น การแตกหักที่พบมากที่สุดทางปฏิบัติ ซึ่งลักษณะรอยแตกที่เกิดขึ้นบนกึ่งประตูด้านหน้า ตำแหน่งหน้าในวิทยานิพนธ์นี้มีลักษณะคล้ายกับการแตกหักแบบที่ 1 โดยรอยแตกเป็นการเปิดออก ด้วยแรงดึงขึ้นจากด้านบนของ Upper Flange และผิวรอยแตกมีลักษณะเปิดออกในทิศทางตั้งฉาก กับแรงดึง การแตกหักแบบที่ 2 แรงเฉือนทำให้พื้นผิวของรอยแตกไถลไปในทิศทางตั้งฉากกับ ด้านหน้ารอยแตก (หน้ารอยแตกคือระนาบ $y-z$) ซึ่งพบน้อยมาก ส่วนมากจะอยู่ในรูปผสมระหว่าง แบบที่ 1 และ 2 เช่น แรงดึงที่ทำมุมกับรอยแตกดังภาพที่ 7 ส่วนการแตกหักแบบที่ 3 แรงเฉือนทำให้ผิวรอยแตกเคลื่อนที่ในทิศทางขนานกับหน้ารอยแตก เช่น เพลากลมมีรอยบากและรับแรงบิด



ภาพที่ 6 ชนิดของการแตกหัก

ที่มา: Anderson (1995)



ภาพที่ 7 แสดงการแตกหักแบบผสมของแบบที่ 1 และ 2

ที่มา: สุธีระ (2535)

4. การคำนวณหาการกระจายความดัน

การคำนวณหาการกระจายความดันบนผิวของประตูล้อหัวสามารถหาได้จากสมการ

(1)

$$P - P_{\infty} = C_p (\rho_{\infty} V_{\infty}^2) / 2 \quad (1)$$

โดย P คือความดันสถิตที่จุดใด ๆ บนประตูล้อหัว ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการหา และความดันนี้จะกระทำในแนวตั้งฉากกับผิวของประตูล้อหัว, (Pa)

P_{∞} คือความดันบรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 1.01×10^5 Pa

C_p คือสัมประสิทธิ์ความดัน

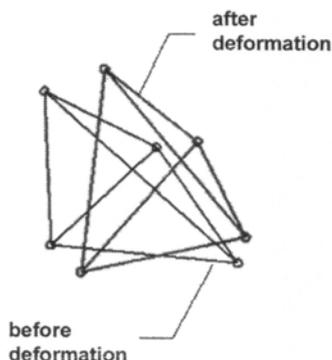
ρ_{∞} คือความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.23 kg/m^3

V_{∞} คือความเร็วของอากาศยานที่พิจารณา, m/s^2

5. เอลิเมนต์ (Element)

ศุภชัย และ สถาพร (2549) อธิบายถึงการเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ในการสร้างโครงร่างตาข่ายด้วยชิ้นประกอบที่เหมาะสม โดยจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการคำนวณ และส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทั่วไปจะใช้เอลิเมนต์ 4 แบบ ได้แก่ เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า, เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า, เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม และ เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม ซึ่งเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า (Tetrahedral Solid) จะเหมาะสำหรับใช้กับชิ้นงานทรงตัน และใช้เอลิเมนต์แบบพื้นผิวสามเหลี่ยม (Triangular Shell) สำหรับชิ้นงานผิวบาง และจะใช้เอลิเมนต์ทั้งสองแบบนี้ในการสร้างชิ้นส่วนแบบแบ่งเอลิเมนต์ โดยโปรแกรมจะเลือกเองโดยอัตโนมัติ ส่วนเอลิเมนต์แบบอื่นในลำดับที่สอง ได้แก่ เอลิเมนต์ทรงหกหน้า (Hexahedral Elements) ซึ่งจะไม่สามารถกำหนดสร้างแบบอัตโนมัติได้ ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดเอง

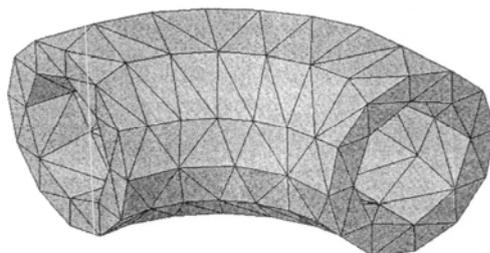
5.1 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า (First Order Solid Tetrahedral Element) สร้างจากเส้นตรง โดยความสัมพันธ์ของระยะระหว่างโหนดบนพื้นผิวและขอบชิ้นงาน การเขียนความสัมพันธ์ของระยะการยืดหดตัวจะใช้หลักวิชา Mechanics of Materials โดยพิจารณาจากสมการความเครียด (Strain) และส่งแรงไปยังเอลิเมนต์รอบข้างไปเรื่อย ๆ จนครบทุกชิ้นส่วน ในแต่ละเอลิเมนต์จะมีทั้งหมด 4 โหนด กระจายอยู่ตามมุมของเอลิเมนต์ ในแต่ละโหนดจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3 (Degree of freedom เท่ากับ 3) หมายถึงแต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทาง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า

ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

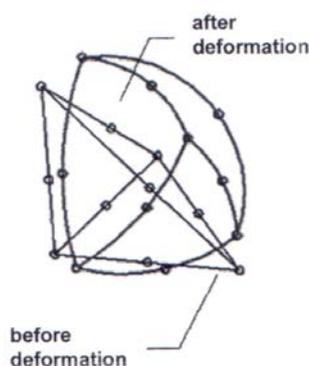
ขอบของเอลิเมนต์จะตรงและแบนราบ จึงเห็นได้ว่าเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขอบตรงและพื้นผิวแบนราบ แต่ถ้าชิ้นงานมีหน้าตัดกลมหรือมีพื้นผิวโค้ง จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากการสร้างโมเดลเอลิเมนต์ซึ่งมีขนาดไม่เท่าของจริง ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โมเดลเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า

ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

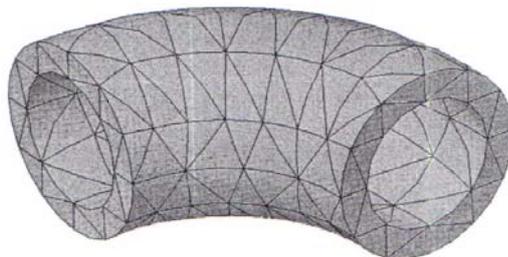
5.2 เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า (Second Order Solid Tetrahedral Element) สร้างจากเส้นโค้งพาราโบลา (Parabolic) การกำหนดความสัมพันธ์ของระยะระหว่างโหนดในแต่ละเอลิเมนต์จะมี 10 โหนด (มี 4 มุม และมีโหนดกึ่งกลาง 6 โหนด) และแต่ละโหนดจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3 (เคลื่อนที่ 3 ทิศทาง) ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า

ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

อย่างไรก็ตามการแบ่งชิ้นส่วนย่อยนี้ก็เพื่อให้รูปร่างชิ้นส่วนย่อยใกล้เคียงชิ้นงานจริงให้มากที่สุด แต่ก็อาจจะทำให้การประมวลผลใช้เวลานานขึ้น เพราะจำนวนเอลิเมนต์และจำนวนโหนดจะมากตามไปด้วย ดังภาพที่ 11

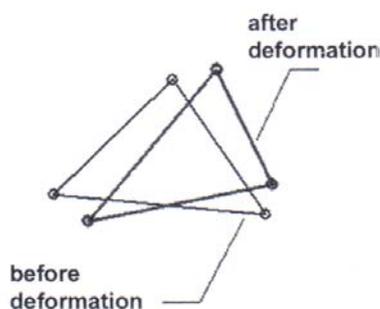


ภาพที่ 11 โมเดลเอลิเมนต์ลำดับที่สองทรงสี่หน้า

ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

ความแม่นยำของผลลัพธ์ในส่วนการวิเคราะห์ความเค้นจะแสดงเป็น 2 ชั้น (2 Layers) สำหรับชิ้นงานผนังหนา

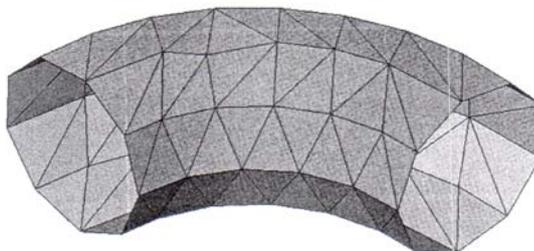
5.3 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม (First Order Triangular Shell Element) สร้างจากเส้นตรงลากระหว่างโหนด ซึ่งแต่ละโหนดจะอยู่บนขอบหรือบนพื้นผิวของชิ้นงาน โดยในแต่ละเอลิเมนต์จะมี 3 โหนด (ตามมุมของเอลิเมนต์) และแต่ละโหนดจะมีระดับชั้นความเสรีเท่ากับ 6 (เคลื่อนที่ 3 ทิศทาง และหมุนรอบ 3 แกน) ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม

ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

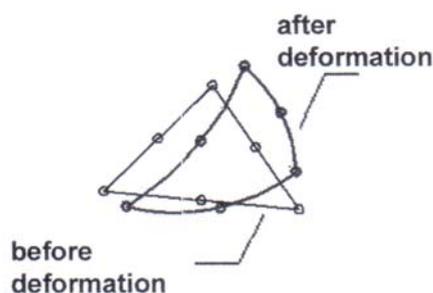
ยกตัวอย่างท่อโค้งจะใช้พื้นผิวกึ่งกลางท่อเพื่อนำมาสร้างชิ้นงานแบบแบ่งเอลิเมนต์ โดยกรณีเส้นโค้งจะใช้รูปเหลี่ยมหลายรูปแทน ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ชิ้นงานแบบแบ่งเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม

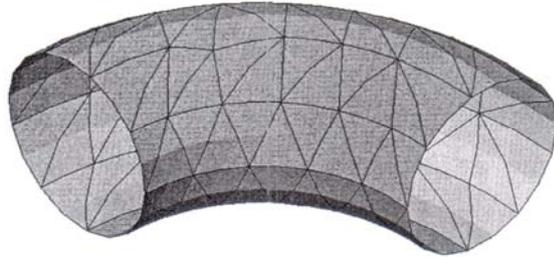
ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

5.4 เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม (Second Order Triangular Shell Element) สร้างจากเส้นโค้งพาราโบลา โดยแต่ละ เอลิเมนต์จะมี 6 โหนด (3 โหนดอยู่ที่มุมและ 3 โหนดอยู่ระหว่างกึ่งกลาง) ในแต่ละโหนดจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 6 (เคลื่อนที่ 3 ทิศทาง และหมุนรอบ 3 แกน) ดังภาพที่ 14 ที่ขอบและพื้นผิวของ เอลิเมนต์จะสามารถลงบนขอบโค้งของชิ้นส่วนเมื่อสร้างโมเดลเอลิเมนต์ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 14 เอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม

ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)



ภาพที่ 15 ชิ้นงานแบบแบ่งเอลิเมนต์ลำดับที่สองแบบพื้นผิวสามเหลี่ยม

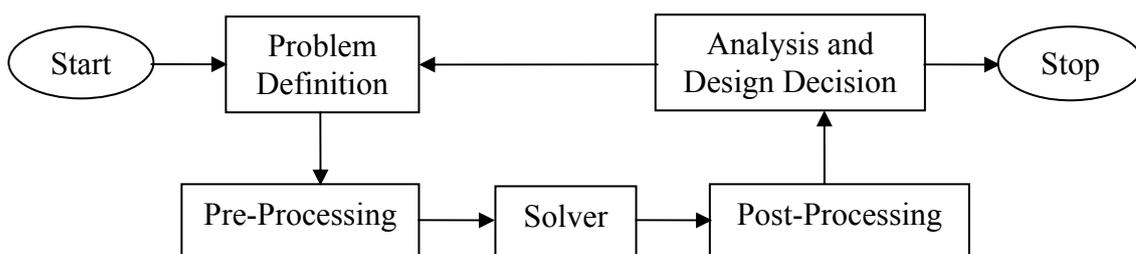
ที่มา: ศุภชัย และ สถาพร (2549)

6. การวิเคราะห์การไหลของกระแสน้ำอากาศด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD)

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์การไหลของกระแสน้ำอากาศด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล มีขั้นตอนพื้นฐาน 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองของปัญหา (Geometric Model หรือ Pre-Processing)
2. การสร้างขอบเขตการไหล (Creating regions of fluid flow)
3. การสร้างโครงร่างตาข่ายด้วยชิ้นประกอบที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น (Meshing)
4. การกำหนดคุณสมบัติของของไหลและการสร้างเงื่อนไขขอบบนแบบจำลอง (Physics Definition)
5. การคำนวณ (Solver)
6. การวิเคราะห์และแสดงผลที่ได้ (Post-Processing)

จากขั้นตอนดังกล่าว สามารถแสดงในภาพที่ 16 ซึ่งเป็นการนำโปรแกรมสำเร็จรูปการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลมาประยุกต์ใช้งานกับการแก้ปัญหาทางอากาศพลศาสตร์ที่ต้องการ



ภาพที่ 16 ขั้นตอนพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

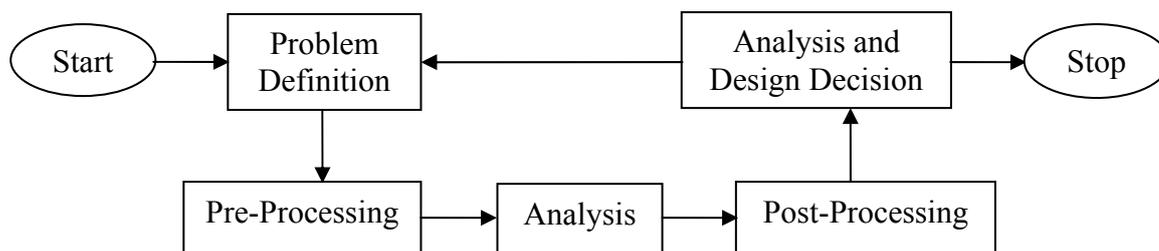
ซึ่งในขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre-Processing) ดังภาพที่ 16 หมายถึงขั้นตอนที่จะต้องปฏิบัติก่อนนำแบบจำลองเข้าไปประมวลผล ขั้นตอนดังกล่าวนี้ประกอบด้วยการสร้างรูปร่างของแบบจำลอง การสร้างขอบเขตการไหล การสร้างโครงร่างตาข่าย การกำหนดคุณสมบัติของของไหล และการสร้างเงื่อนไขขอบบนแบบจำลอง ส่วนในขั้นตอนหลังการประมวลผล (Post-Processing) เป็นส่วนที่ทำการวิเคราะห์และแสดงผลที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งสามารถเลือกใช้เครื่องมือในการแสดงผลได้หลายรูปแบบ เพื่อสามารถทำความเข้าใจกับผลลัพธ์นั้น ๆ ได้ง่ายขึ้นและตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน

7. การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (Structural Analysis with Finite Element Program)

โดยทั่วไปในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ มีขั้นตอนพื้นฐาน 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้างแบบจำลองของปัญหา (Geometric Model หรือ Pre-Processing)
2. การระบุชนิดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นแบบจำลองของปัญหา (Assign Material)
3. การสร้างโครงร่างตาข่ายด้วยชิ้นประกอบที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น (Meshing)
4. การสร้างเงื่อนไขขอบบนแบบจำลอง (Boundary Condition)
5. การกำหนดการกรรมลงบนแบบจำลอง (Load Condition)
6. การนำแบบจำลองที่สมบูรณ์แล้วเข้าสู่ขบวนการวิเคราะห์ (Analysis หรือ Solver)
7. การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ (Output of Results หรือ Post-Processing)

จากขั้นตอนดังกล่าว สามารถแสดงในภาพที่ 17 ซึ่งเป็นการนำโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ มาประยุกต์ใช้งานกับการแก้ปัญหาที่ต้องการ



ภาพที่ 17 ขั้นตอนพื้นฐานในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ที่มา: วุฒิชัย (2539)

ซึ่งในขั้นตอนก่อนการประมวลผล (Pre-Processing) ตามภาพที่ 17 หมายถึงขั้นตอนที่ต้องปฏิบัติก่อนนำแบบจำลองเข้าไปวิเคราะห์ ขั้นตอนดังกล่าวนี้ประกอบด้วยการสร้างรูปร่างของแบบจำลอง การสร้างโครงร่างตาข่าย การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ และการกำหนดการกรรมส่วนในขั้นตอนหลังการประมวลผล (Post-processing) เป็นส่วนแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถเลือกใช้เครื่องมือในการแสดงผลได้หลายรูปแบบ เพื่อสามารถทำความเข้าใจกับผลลัพธ์นั้น ๆ ได้ง่ายขึ้นและเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การวิเคราะห์โครงสร้างของประตูลานล้อหัวด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความเค้นและระยะกระจัดที่เกิดขึ้น โดยค่าความเค้นที่จะใช้เป็นเกณฑ์ (Criterion) ในการพิจารณานั้น เป็นความเค้นแบบ Von Mises (σ') ซึ่งเป็นความเค้นที่ได้มาจากการพิจารณาพลังงานการบิดเบี้ยว (Distortion Energy) และเป็นปริมาณสเกลาร์ จึงไม่คำนึงถึงทิศทางของการเกิดความเค้น (วุฒิชัย, 2539) ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกที่จะใช้ความเค้นแบบ Von Mises เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook Intel Pentium M (1.73 GHz) จำนวน 1 เครื่อง ติดตั้งโปรแกรม SolidWorks เพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ, โปรแกรม CFX เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศโดยการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล และโปรแกรม Ansys เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. เครื่องพิมพ์ชนิดใช้แสงเลเซอร์ (Laser Printer) จำนวน 1 เครื่อง
3. เครื่องพิมพ์ชนิดใช้หมึกพ่น (Inkjet Printer) จำนวน 1 เครื่อง

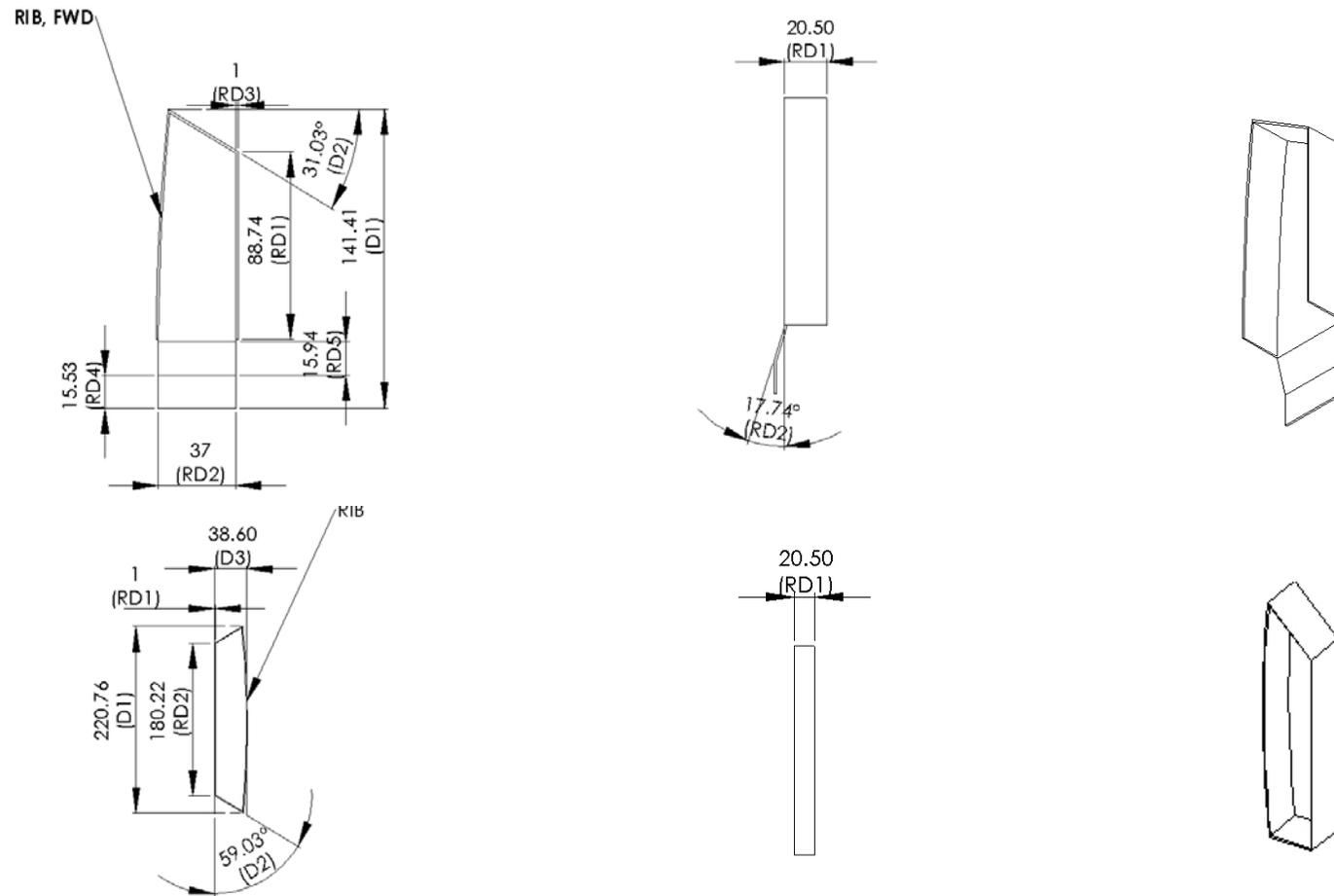
วิธีการ

ในงานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 7 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างแบบจำลองของประตูล้อหัว ขั้นตอนที่สองเป็นการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองของประตูล้อหัว ขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูล้อหัว จากการไหลของกระแสอากาศ ขั้นตอนที่สี่เป็นการหาแรงปะทะเนื่องจากการปิดประตูล้อหัว ขั้นตอนที่ห้าเป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูล้อหัวจากการปิดประตู ขั้นตอนที่หกเป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ในการลดความเค้นออกจากด้ามลึงของกงประตู ยึดบานพับตำแหน่งหน้า และขั้นตอนที่เจ็ดเป็นการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุเสริมความแข็งแรง ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

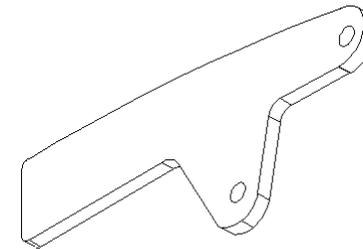
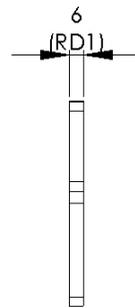
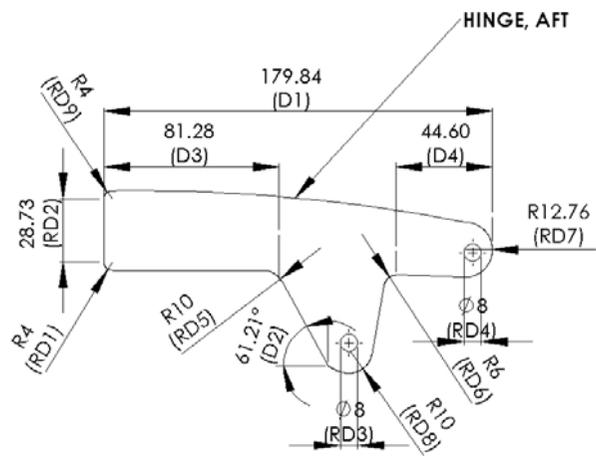
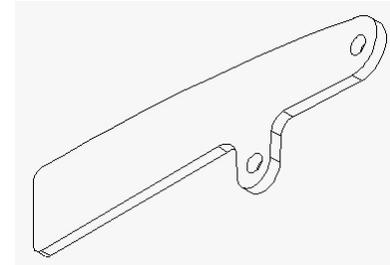
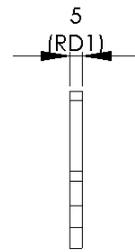
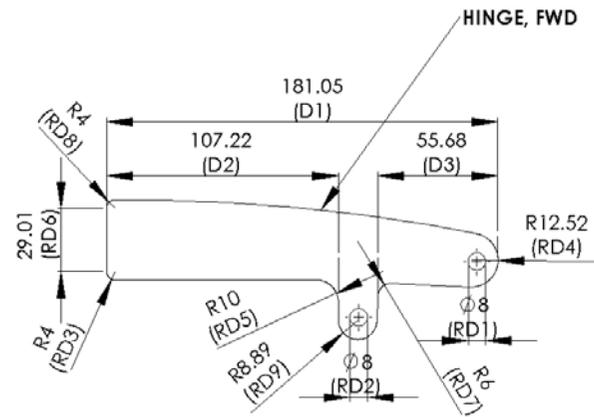
1. การสร้างแบบจำลองของประตูล้อหัว

การสร้างแบบจำลองของประตูล้อหัว เป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของชิ้นส่วนโครงสร้างของประตูล้อหัวด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม SolidWorks ในการเขียนแบบ 3 มิติ ในที่นี้ใช้การสร้างแบบจำลองให้มีความง่ายและลดความซับซ้อนของแบบจำลอง โดยการสร้างชิ้นงานให้มีผิวเรียบ และผิวรอยประกอบมีลักษณะเรียบ ดังภาพที่ 18 และ 19 ซึ่งเมื่อสร้างแบบจำลองของแต่ละชิ้นส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นแบบจำลองของประตูล้อหัวที่สมบูรณ์ ดังภาพที่ 20 และพร้อมที่จะนำไปใช้ใน

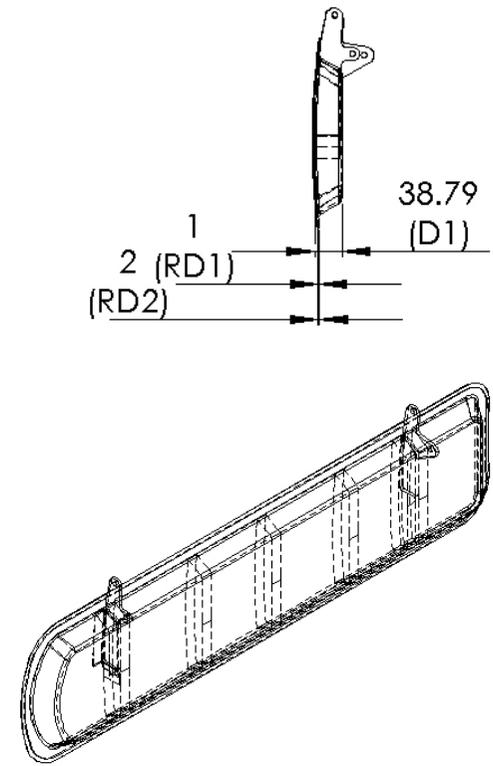
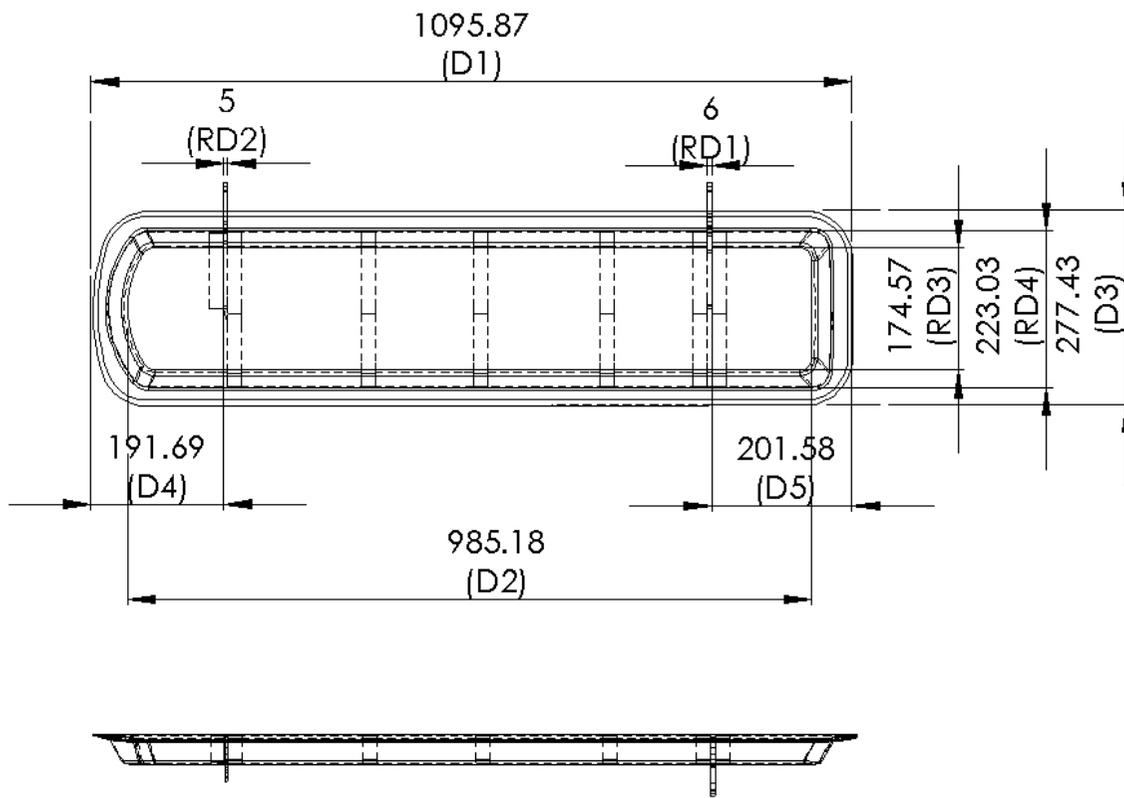
ขั้นตอนของการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศด้วยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล และการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างโดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป



ภาพที่ 18 ภาพเขียนแบบของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า (บน) และ กงประตู (ล่าง)



ภาพที่ 19 ภาพเขียนแบบของบานพับตำแหน่งหน้า (บน) และหลัง (ล่าง)

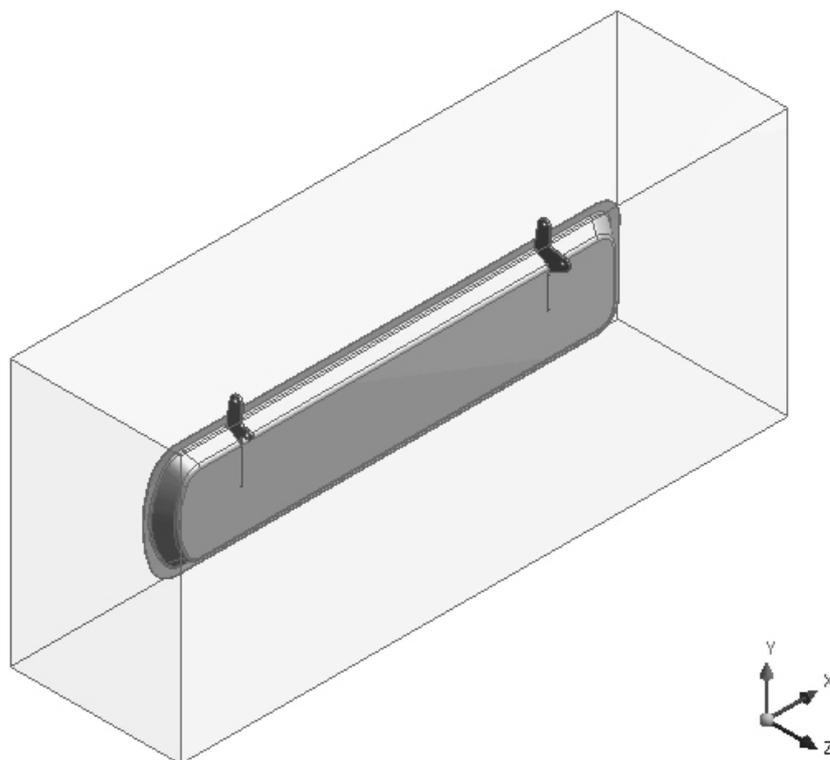


ภาพที่ 20 ภาพเขียนแบบของประตูลานลือหัว

2. การวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองของประตูล้อหัว

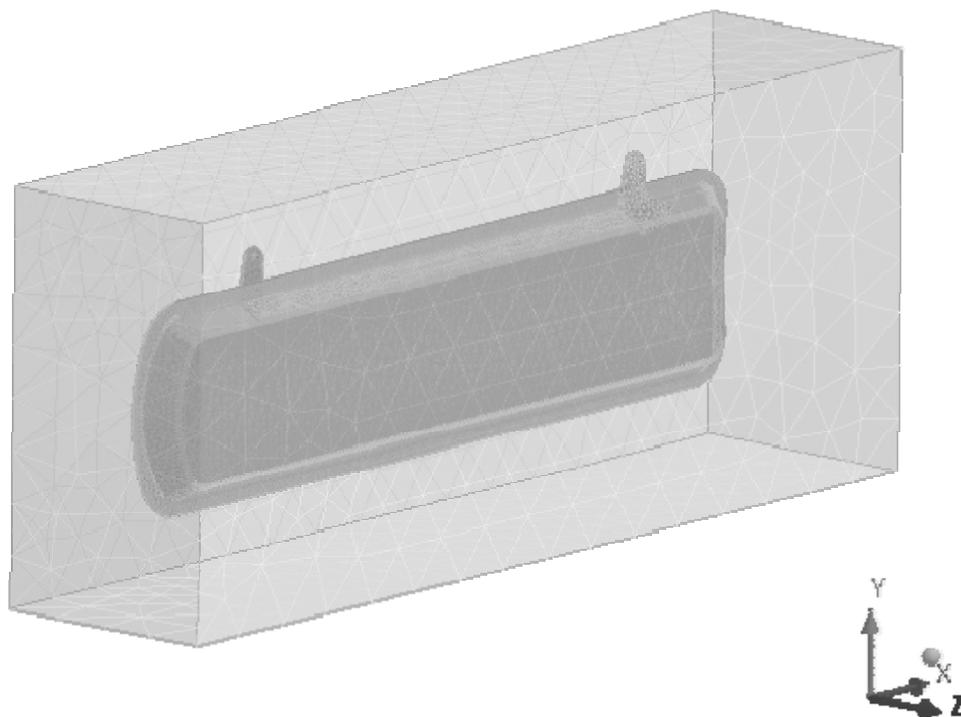
การวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลอง เป็นการจำลองการไหลของกระแสอากาศโดยโปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรม CFX ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของโปรแกรม Ansys ในการจำลองการไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองของประตูล้อหัว เพื่อหาค่าความดันของอากาศที่กระจายตัว (Pressure Distribution) อยู่รอบ ๆ ผิวของประตูล้อหัว ซึ่งจะพิจารณาการไหลของกระแสอากาศภายใต้สภาพการบินขณะเครื่องบินวิ่งขึ้นและวิ่งลงสนาม ด้วยมุมการบินต่าง ๆ กัน 5 มุม ได้แก่ บินระดับ 0 องศา, มุมยก 5 องศา, มุมก้ม 3 องศา, มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้ายมือ 5 องศา และ มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวามือ 5 องศา ซึ่งในแต่ละมุมการบินจะติดตั้งประตูในตำแหน่งเปิดกางออกสุดทำมุม 90 องศา กับลำตัวเครื่องบิน และจะไม่พิจารณาถึงผลกระทบของกระแสอากาศที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมรอบประตูล้อหัว ด้วยความเร็วของกระแสอากาศ 140 Knot (72.02 m/s) ซึ่งเป็นย่านความเร็วสูงสุดที่เครื่องบินแบบ L-39 ใช้ในการเปิด-ปิดประตูล้อหัว ที่ความเร็วนี้ การไหลของกระแสอากาศจะถูกพิจารณาเป็นแบบไม่อัดตัว (Incompressible Flow) ดังนั้นความหนาแน่นของอากาศจะคงที่เท่ากับ 1.23 kg/m^3 และที่ความเร็วต่ำกว่าเสียงมาก ๆ จะไม่พิจารณาแรงเสียดทานผิวด้วย (Anderson, 1991) ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นกับประตูล้อหัวเฉพาะที่เกิดจากความดันของอากาศที่กระจายอยู่รอบผิวประตูล้อหัวเท่านั้น ซึ่งขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากการจำลองการไหลที่มุมบินระดับ 0 องศา แล้วจึงเปลี่ยนมุมการบินไปจนครบทั้ง 5 มุม โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

2.1 นำแบบจำลอง 3 มิติ ของประตูล้อหัวที่สร้างจากในขั้นตอนที่ 1 นำเข้าในโปรแกรม CFX ต่อจากนั้นทำการสร้างปริมาตรควบคุม (Control Volume) การไหลของกระแสอากาศให้ครอบคลุมแบบจำลอง ในที่นี้กำหนดให้ขอบเขตการไหลมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แสดงการกำหนดขอบเขตการไหลของกระแสน้ำรอบแบบจำลอง

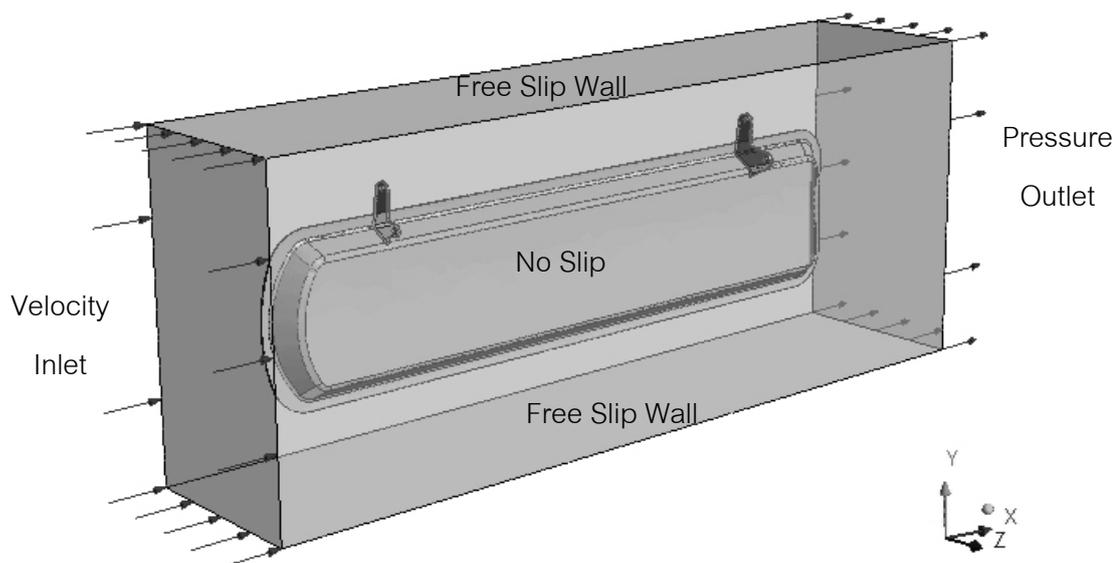
2.2 สร้างโครงร่างตาข่ายด้วยเอลิเมนต์ที่เหมาะสมให้กับแบบจำลอง ในที่นี้ใช้คำสั่งสร้างโครงร่างตาข่ายแบบอัตโนมัติ (Auto-Mesh) ด้วยคำสั่งนี้ Region ของแบบจำลองจะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบ Tetrahedron 3 มิติ 4 โหนด ดังภาพที่ 22 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าบริเวณผิวของประตูล้อหัวจะมีจำนวนเอลิเมนต์มากกว่าบริเวณขอบเขตการไหล ซึ่งจะทำให้การคำนวณการไหลที่บริเวณผิวของประตูล้อหัวมีความละเอียดถูกต้องมากกว่า และจะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าบริเวณอื่น



ภาพที่ 22 แสดงการสร้างโครงสร้างตาข่ายบนปริมาตรควบคุมของแบบจำลอง

2.3 สร้างโดเมนให้กับแบบจำลอง โดยกำหนดความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 1 atm ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) และอุณหภูมิของกระแสอากาศมีค่า 25 C°

2.4 กำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) โดยกำหนดให้ด้านหน้าของขอบเขตการไหลเป็นทางเข้า (Inlet) มีความเร็วของกระแสอากาศเท่ากับ 140 Knot และด้านหลังของขอบเขตการไหลเป็นทางออก (Outlet) กำหนดคุณสมบัติของกระแสอากาศเป็นความดันสถิต (Static Pressure) มีความดันเท่ากับ 0 Pa กำหนดให้ ด้านบน ด้านล่าง และด้านข้างของขอบเขตการไหลเป็นผนังลื่นอิสระ (Free Slip Wall) และผนังของแบบจำลองไม่มีการลื่น (No Slip) ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบบนแบบจำลอง

2.5 กำหนดค่าเริ่มต้น (Initial Value) โดยให้ความเร็วของกระแสอากาศที่ไหลผ่านแบบจำลองในแนวแกน X มีค่าเท่ากับ 140 Knot ในแนวแกน Y มีค่าเท่ากับ 0 Knot และในแนวแกน Z มีค่า 0 Knot

2.6 ทำการประมวลผล (Run)

3. การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูล้อหัวจากการไหลของกระแสอากาศ

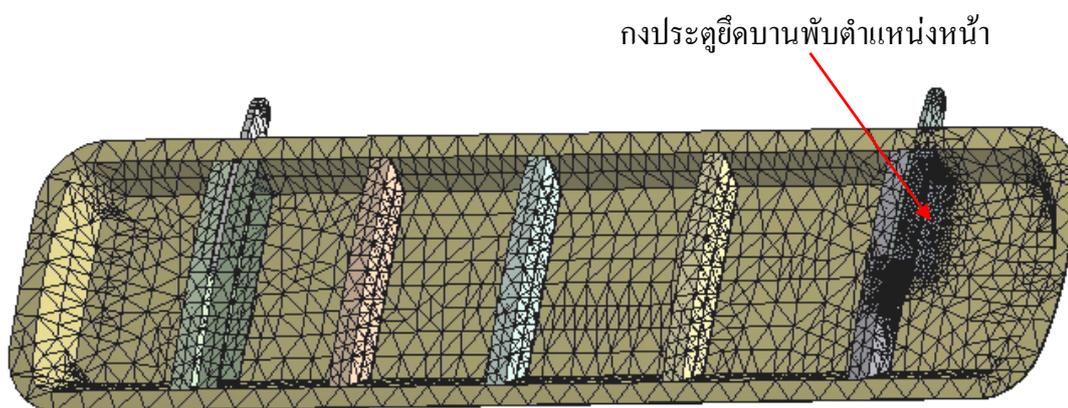
การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูล้อหัวจากการไหลของกระแสอากาศเป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างซึ่งเกิดจากแรงทางอากาศพลศาสตร์ที่กระทำต่อประตูล้อหัวในขณะที่เปิดออกสุดทำมุม 90 องศา กับลำตัวเครื่องบิน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรม Ansys ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างของประตูล้อหัวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความเค้น และระยะกระจัด ที่เกิดขึ้นกับประตูล้อหัว และมีผลทำให้เกิดตำบลวิกฤตลักษณะคล้ายที่เกิดขึ้นจริงบนกงประตูล้อหัวตามตำแหน่งหน้า โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยมุมการบิน ต่าง ๆ กัน 5 มุม ได้แก่ บินระดับ 0 องศา, มุมยก 5 องศา, มุมก้ม 3 องศา, มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้ายมือ 5 องศา และ มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวามือ 5 องศา โดยขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากการวิเคราะห์ที่มุมบินระดับ 0 องศา แล้วจึงเปลี่ยนมุมการบินไปจนครบ

ทั้ง 5 มม โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

3.1 นำแบบจำลอง 3 มิติ ของประตูลานล้อหัวที่ได้จากในขั้นตอนที่ 1 นำเข้าในโปรแกรม Ansys แล้วทำการตั้งมุมที่ต้องการ

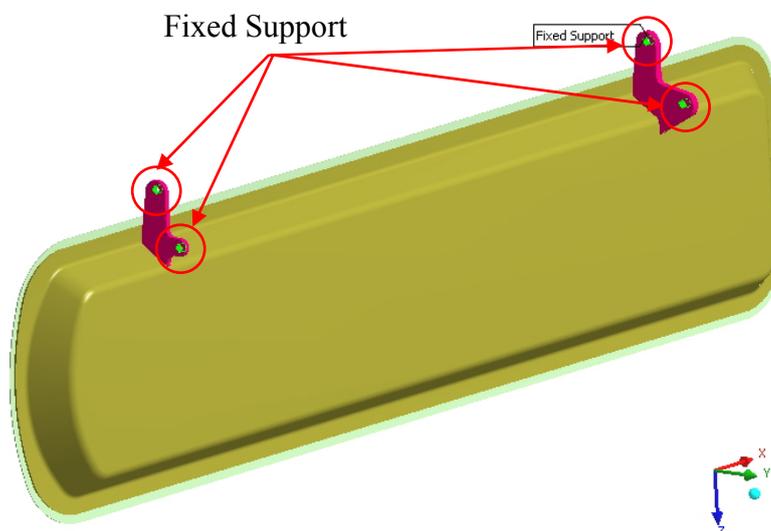
3.2 ระบุชนิดของวัสดุให้แก่แบบจำลองซึ่งได้จากวัสดุจริง ในที่นี้กำหนดให้ผิวคลุม นอกเป็น Stainless Steel ซึ่งมีค่า $E = 1.93 \times 10^5$ MPa, $\nu = 0.31$, $\rho = 2.77 \times 10^3$ kg/m³, $\sigma_y = 207$ MPa บานพับประตูตำแหน่งหน้าและหลังเป็น Al 7075 ซึ่งมีค่า $E = 7.2 \times 10^4$ MPa, $\nu = 0.33$, $\rho = 2.81 \times 10^3$ kg/m³, $\sigma_y = 505$ MPa ส่วนชิ้นส่วนที่เหลือเป็น Al 2024 ซึ่งมีค่า $E = 7.3 \times 10^4$ MPa, $\nu = 0.33$, $\rho = 2.8$ kg/m³, $\sigma_y = 280$ MPa

3.3 สร้างโครงร่างตาข่ายด้วยเอลิเมนต์ที่เหมาะสมให้กับแบบจำลอง ในที่นี้ใช้คำสั่งสร้างโครงร่างตาข่ายแบบอัตโนมัติ และสร้างโครงร่างตาข่ายบริเวณหน้าสัมผัสของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้ากับชิ้นส่วนอื่น ๆ ให้มีขนาดของเอลิเมนต์เล็กลง เพื่อให้ได้ผลการคำนวณมีความละเอียดถูกต้องมากขึ้น ด้วยคำสั่งนี้ Region ของแบบจำลองจะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบ Tetrahedron 3 มิติ 4 โหนด ดังภาพที่ 24



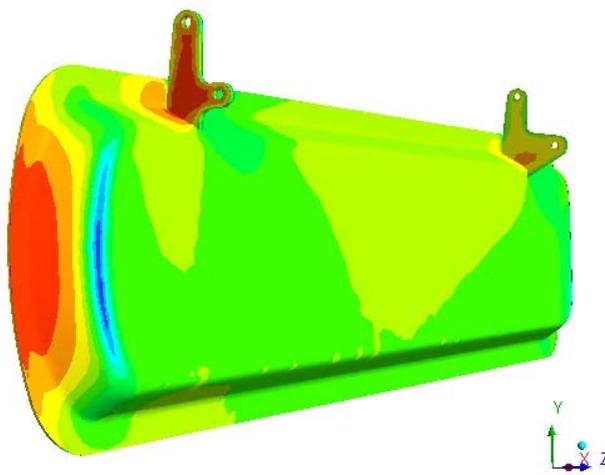
ภาพที่ 24 แสดงการสร้างโครงร่างตาข่ายบนแบบจำลองของประตูลานล้อหัว

3.4 สร้างเงื่อนไขบังคับลงบนแบบจำลอง (Apply Constraints on The Finite Element Model) ในที่นี้ใช้การสร้างเงื่อนไขบังคับแบบตายตัว (Fixed Support) ที่ตำแหน่งรูของบานพับ ตำแหน่งหน้าและหลังทั้ง 4 รู ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงการสร้างเงื่อนไขบังคับลงบนแบบจำลองของประตูล้อหัว

3.5 กำหนดการกรรมลงบนแบบจำลอง ในที่นี้กำหนดให้การกรรมเป็นความดัน ซึ่งได้จากการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองในขั้นตอนที่ 2 และจะต้องเลือกใช้ความดันให้ถูกต้องตามมุมการบินต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ไว้แล้ว โดยโปรแกรม Ansys จะทำการแปลงความดันให้เป็นแรงกระทำต่อพื้นที่ทั่วทั้งประตูล้อหัวให้โดยอัตโนมัติ ดังภาพที่ 26



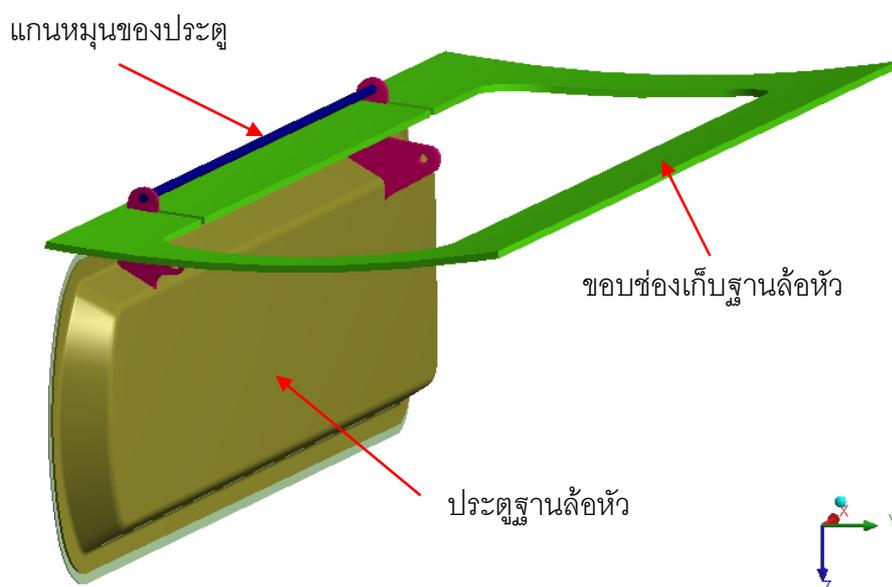
ภาพที่ 26 แสดงการกระจายตัวของความดันที่กระทำบนแบบจำลองของประตูล้อหัว

3.6 ทำการประมวลผล ทั้งนี้จะทำการวิเคราะห์แบบ Linear Static และพิจารณาในช่วง Elastic เพื่อหาดำแหน่งความเค้นสูงสุด

4. การหาแรงปะทะเนื่องจากการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัว

การหาแรงปะทะเนื่องจากการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัว เป็นการจำลองการเปิด-ปิดของประตูฐานล้อหัวด้วยแรงจากแขนของไฮดรอลิกที่จับยึดอยู่บริเวณบานพับตำแหน่งหลัง คึ่งประตูจากตำแหน่งเปิดออกสุดทำมุม 90 องศา กับลำตัวเครื่องบิน ปิดเก็บเข้าแนบสนิทกับของช่องเก็บฐานล้อหัว เพื่อหาแรงที่เกิดจากการปะทะระหว่างหน้าสัมผัสของประตูฐานล้อหัวกับขอบช่องเก็บฐานล้อหัวของเครื่องบิน และนำแรงที่ได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูฐานล้อหัวในขั้นตอนต่อไป ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรม COSMOS Motion ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของโปรแกรม Solidworks ในการจำลองการเปิด-ปิดของประตูฐานล้อหัว โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

4.1 เขียนแบบจำลอง 3 มิติ ขอบช่องเก็บฐานล้อหัวของเครื่องบิน และแกนหมุนของประตูฐานล้อหัว ในโปรแกรม SolidWorks แล้วนำแบบจำลอง 3 มิติ ของประตูฐานล้อหัวที่มีอยู่แล้วมาประกอบเข้าด้วยกัน และปรับตำแหน่งให้ประตูเปิดกางออกทำมุม 90 องศา กับช่องเก็บฐานล้อหัว ดังภาพที่ 27

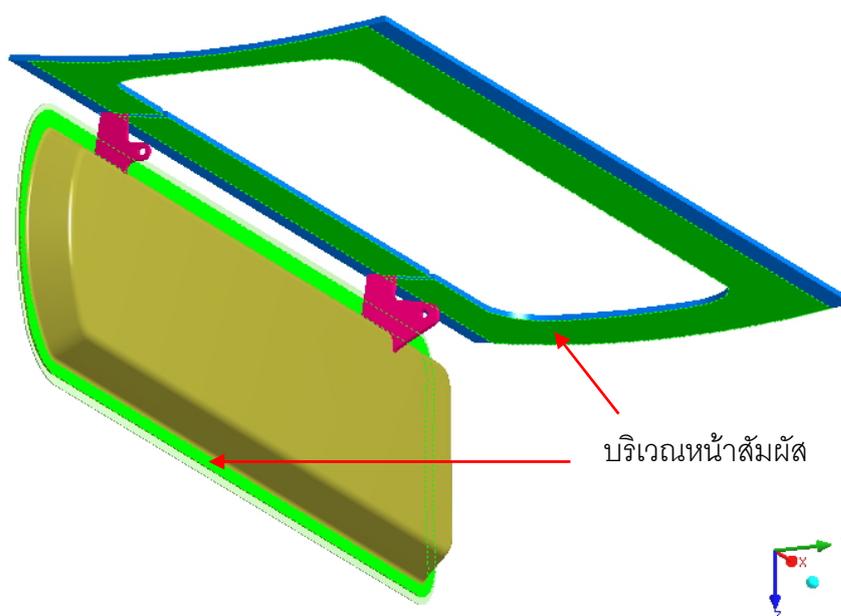


ภาพที่ 27 แสดงแบบจำลองการติดตั้งประตูฐานล้อหัวเข้ากับแกนหมุนและขอบช่องเก็บฐานล้อ

4.2 นำแบบจำลองที่ได้เข้าในโปรแกรม COSMOS Motion จากนั้นกำหนดให้ช่องเก็บฐานล้อหัวและแกนหมุนของประตูเป็นส่วนของไม่เคลื่อนที่ และกำหนดให้ประตูฐานล้อหัวเป็นส่วนของเคลื่อนที่

4.3 ระบุชนิดของวัสดุให้กับแบบจำลอง โดยกำหนดให้ช่องเก็บฐานล้อหัว และประตูฐานล้อหัวเป็น Aluminum ส่วนแกนหมุนของประตูเป็น Steel

4.4 สร้างเงื่อนไขบังคับลงบนแบบจำลอง โดยกำหนดให้บานพับตำแหน่งหน้าและหลังเป็นการหมุนแบบอิสระรอบแนวแกนความยาว และกำหนดหน้าสัมผัส เพื่อหาขนาดของแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชนกันของชิ้นงาน ในที่นี้คือหน้าสัมผัสระหว่างผิวขอบด้านในของประตูฐานล้อหัวกับขอบช่องเก็บฐานล้อหัว ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แสดงบริเวณที่กำหนดเป็นหน้าสัมผัสของแบบจำลอง

4.5 กำหนดเงื่อนไขของแรงที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ ในที่นี้กำหนดให้แรงดึงเนื่องจากแขนของไฮดรอลิกที่จับยึดบริเวณบานพับตำแหน่งหลังดังภาพที่ 29 เป็นแรงดึงคงที่มีค่าเท่ากับ 1,709 lbf ซึ่งหาได้จากสูตร

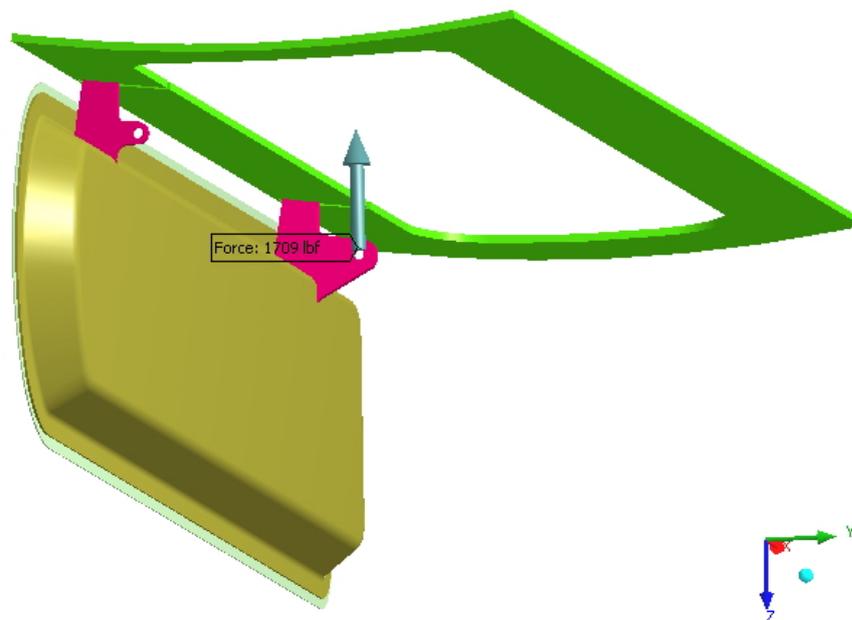
$$\text{แรงดึงไฮดรอลิก} = \text{ความดันไฮดรอลิก} \times \text{พ.ท.หน้าตัดลูกสูบ} \quad (2)$$

เมื่อ ความดันไฮดรอลิก = 2,175 psi

$$\begin{aligned} \text{พ.ท.หน้าตัดลูกสูบ} &= \frac{22}{7} \times \left(\frac{D}{2}\right)^2, D \text{ คือเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ} = 1 \text{ นิ้ว} \\ &= 0.786 \text{ ตารางนิ้ว} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงดึงไฮดรอลิก = $2,175 \times 0.786 = 1,709 \text{ lbf}$

และประตูฐานล้อห้วจะถูกห่นวงการเคลื่อนที่จนปิดสนิท โดยกำหนดให้ใช้เวลาในการปิดประตูใกล้เคียงกับการใช้งานจริง คือประมาณ 4 วินาที

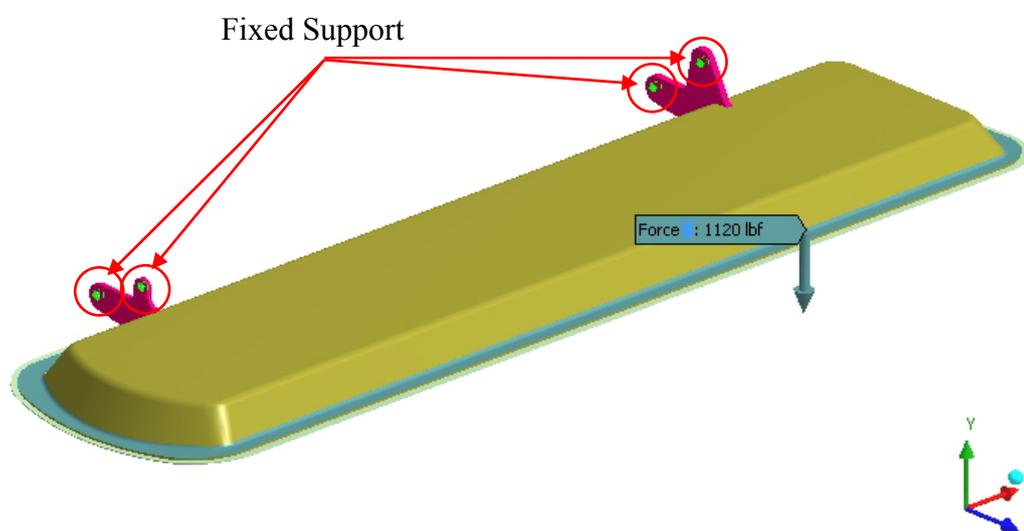


ภาพที่ 29 แสดงแรงดึงเนื่องจากแขนของไฮดรอลิกที่จับยึดบริเวณบานพับตำแหน่งหลัง

4.6 ทำการประมวลผล

5. การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูฐานล้อหัวจากการเปิด-ปิดประตู

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูฐานล้อหัวจากการเปิด-ปิดประตู เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างซึ่งเกิดจากการปิดประตูฐานล้อหัวเข้าแนบสนิทกับช่องเก็บฐานล้อหัว ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรม Ansys ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูฐานล้อหัวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าความเค้น และระยะกระจัด ที่เกิดขึ้นกับประตูฐานล้อหัว และมีผลทำให้เกิดตำบลวิกฤตลักษณะคล้ายที่เกิดขึ้นจริงบนกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูฐานล้อหัวจากการไหลของกระแสอากาศในขั้นตอนที่ 3 แต่มีข้อแตกต่างตรงที่การกรรมที่ใช้จะกำหนดให้เป็นแรงที่กระทำบนหน้าสัมผัสที่เกิดจากการปิดประตูฐานล้อหัวปะทะเข้ากับขอบช่องเก็บฐานล้อหัว ซึ่งได้หาไว้แล้วในขั้นตอนของการหาแรงปะทะเนื่องจากการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัวในขั้นตอนที่ 4 โดยมีค่าเท่ากับ 1,120 lbf และในการจำลองรูปแบบของแรงจะคิดเสมือนว่าประตูฐานล้อหัวหยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ มีเพียงแรงที่เกิดจากการปะทะที่หน้าสัมผัสกระทำเพียงแรงเดียว ดังนั้นที่บริเวณรูของบานพับตำแหน่งหน้าและหลังจึงถูกกำหนดเงื่อนไขบังคับแบบตายตัว ซึ่งสามารถจำลองรูปแบบของแรงที่กระทำได้ ดังภาพที่ 30 จากนั้นจึงทำการประมวลผล



ภาพที่ 30 แสดงการจำลองรูปแบบแรงที่เกิดจากการปิดประตูฐานล้อหัวปะทะเข้ากับขอบช่องเก็บฐานล้อหัว

6. การกำหนดหลักเกณฑ์ในการลดความเค้นออกจากตำบลวิกฤตของงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้า

ในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการลดความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณตำบลวิกฤตของงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้าให้ลดลงมากที่สุด โดยมีเงื่อนไขบังคับดังต่อไปนี้

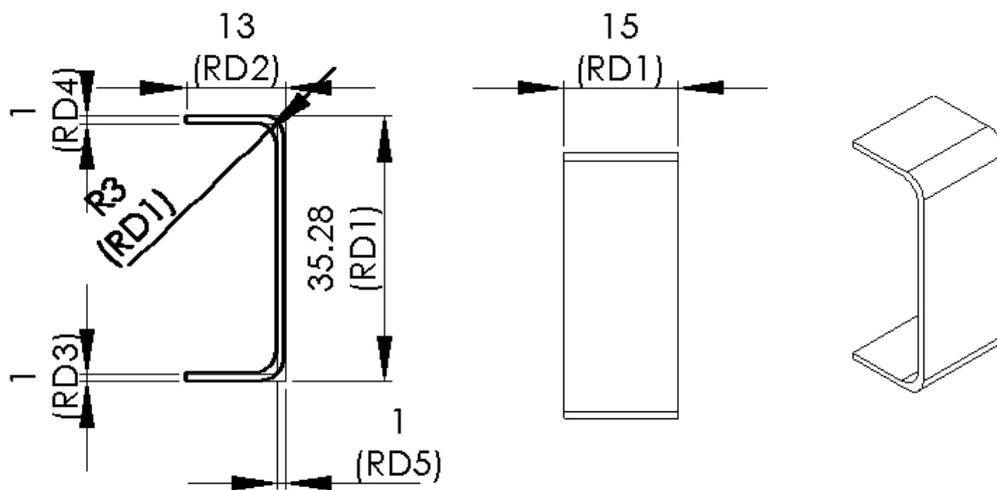
6.1 จะไม่ทำการออกแบบหรือตัดแปลงงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้าใหม่ แต่จะใช้วิธีการออกแบบชิ้นวัสดุ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้าแทน เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ได้ติดตั้งมากับประตูดอยู่แล้ว และการเสริมวัสดุสามารถทำได้ง่ายกว่า

6.2 วัสดุที่ใช้เสริมความแข็งแรงจะต้องสร้างได้ง่าย เป็นวัสดุชนิดเดียวกับงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้า และมีความหนาเท่ากัน เพื่อลดปัญหาการเลือกใช้และการจัดหาวัสดุ

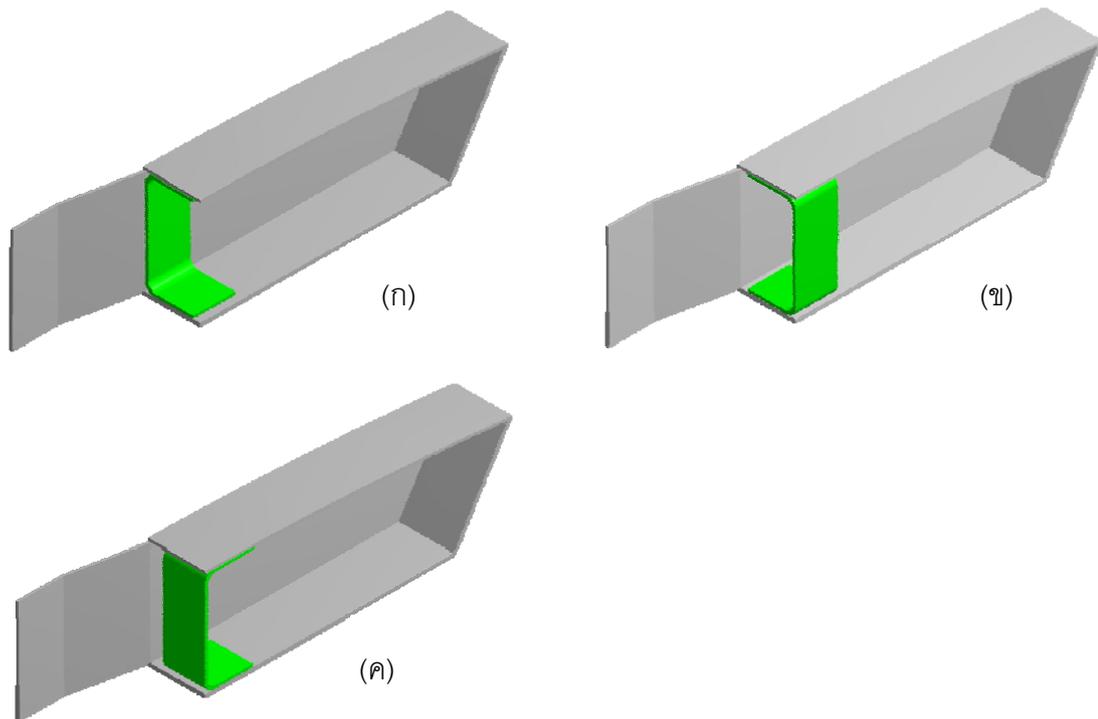
6.3 เมื่อทำการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงกับงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้าแล้ว ความเค้นบริเวณตำบลวิกฤตจะต้องลดลงจากเดิมก่อนการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง

7. การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุเสริมความแข็งแรง

ในการออกแบบวัสดุเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้า จะต้องพิจารณารูปแบบ ความแข็งแรง และตำแหน่งที่ติดตั้ง เป็นสำคัญ เพื่อสามารถลดความเค้นที่เกิดขึ้น ณ ตำบลวิกฤตให้ได้มากที่สุด โดยยังคงอยู่ในสภาวะเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การออกแบบวัสดุเสริมความแข็งแรงเป็นรูปตัว C มีรัศมีความโค้งของมุมขนาด 3 mm ดังภาพที่ 31 และจะติดตั้งในตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่ง ได้แก่ วางติดกับ Web, วางขนานกับ Web และ วางตั้งฉากกับ Web ของงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 32 ซึ่งรูปแบบและตำแหน่งที่ติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ได้จากการพิจารณาผลของการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูฐานล้อหัวจาการไหลของกระอากาศ และการเปิด-ปิดประตู ซึ่งทำให้ทราบลักษณะของแรงที่กระทำต่ององประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้า และเป็นรูปแบบที่สามารถพับขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อพิจารณาถึงความหนาของวัสดุที่ใช้ สะดวกต่อการติดตั้งเข้ากับงองประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้า รวมถึงยังสามารถตรวจสอบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นด้วยสายตาทางช่องมองที่ผิวคลุมในได้ง่ายและสะดวก ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 31 แสดงภาพเขียนแบบของวัสดุเสริมความแข็งแรงรูปตัว C ซึ่งมีรัศมีความโค้งของมุมขนาด 3 mm



ภาพที่ 32 แสดงลักษณะการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่ง (ก) ติดกับ Web, (ข) ขนานกับ Web และ (ค) ตั้งฉากกับ Web ของกึ่งประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า



ภาพที่ 33 แสดงรอยแตกที่เกิดขึ้นบนกึ่งประตูดับบานพับตำแหน่งหน้าผ่านทางช่องมองที่ผิวคลุมใน

ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุเสริมความแข็งแรง จะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรม Ansys ซึ่งจะทำให้การติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงเข้ากับกึ่งประตูดับบานพับตำแหน่งหน้าในตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่ง และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ กึ่งประตูดับบานพับตำแหน่งหน้า เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงเรียบร้อยแล้ว โดยมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างพื้นฐานลือหัวจากการเปิดปิดประตูในขั้นตอนที่ 5 เพื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ได้กับก่อนติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง

สถานที่ทำการวิจัย

กองวิทยากร กรมช่างอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ และ โรงเรียนนายเรืออากาศ กองบัญชาการฝึกศึกษาทหารอากาศ

ระยะเวลาในการวิจัย

การวิจัยและทดลองเริ่มตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2549 สิ้นสุดเมื่อเดือน กุมภาพันธ์ 2551

ผลและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองของประตูลานล้อหัว

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองของประตูลานล้อหัว ด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลโดยใช้โปรแกรม CFX ด้วยมุมการบินต่าง ๆ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 มุมบินระดับ 0 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 34 ซึ่งบริเวณที่กระแสอากาศไหลมาปะทะแบบจำลองแล้วทำให้เกิดความดันสูงกว่าบริเวณอื่น คือ บริเวณด้านหน้า และบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง โดยมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 1.052 MPa

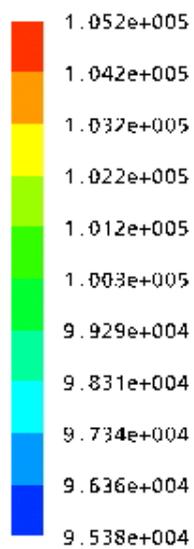
1.2 มุมเงย 5 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 35 ซึ่งบริเวณที่กระแสอากาศไหลมาปะทะแบบจำลองแล้วทำให้เกิดความดันสูงกว่าบริเวณอื่น คือ บริเวณด้านหน้า, บานพับตำแหน่งหน้า และรูล่างของบานพับตำแหน่งหลัง โดยมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 1.051 MPa

1.3 มุมก้ม 3 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 36 ซึ่งบริเวณที่กระแสอากาศไหลมาปะทะแบบจำลองแล้วทำให้เกิดความดันสูงกว่าบริเวณอื่น คือ บริเวณด้านหน้า และบานพับตำแหน่งหน้า โดยมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 1.052 MPa

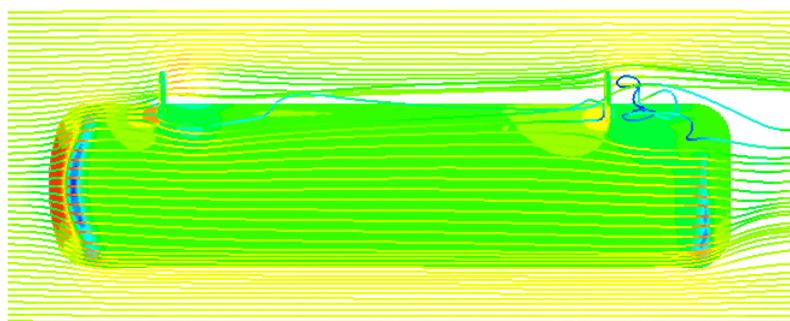
1.4 มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 37 ซึ่งบริเวณที่กระแสอากาศไหลมาปะทะแบบจำลองแล้วทำให้เกิดความดันสูงกว่าบริเวณอื่น คือ บริเวณด้านหน้า, บานพับตำแหน่งหน้า และรูบนของบานพับตำแหน่งหลัง โดยมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 1.048 MPa

1.5 มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 38 ซึ่งบริเวณที่กระแสอากาศไหลมาปะทะแบบจำลองแล้วทำให้เกิดความดันสูงกว่าบริเวณอื่น คือ บริเวณด้านหน้า, บานพับตำแหน่งหน้า และบานพับตำแหน่งหลัง โดยมีค่าความดันสูงสุดเท่ากับ 1.052 MPa

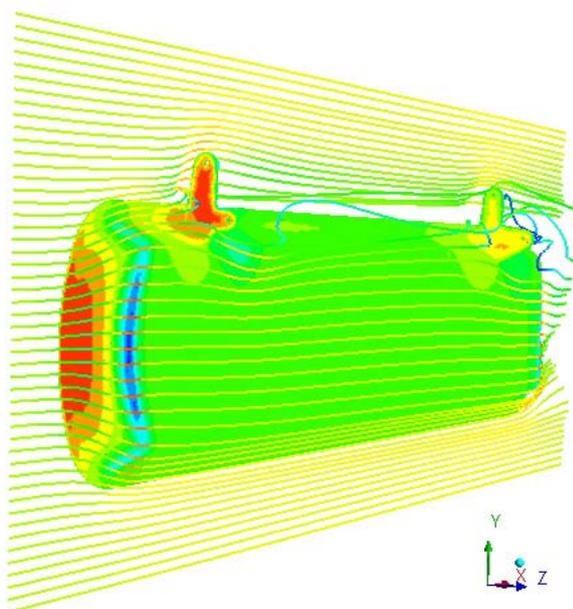
Absolute Pressure
(Contour 1)



[Pa]



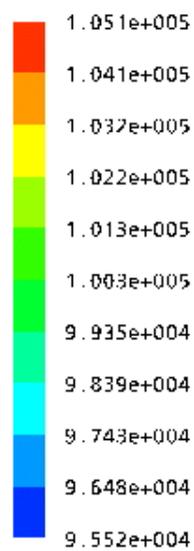
(ก)



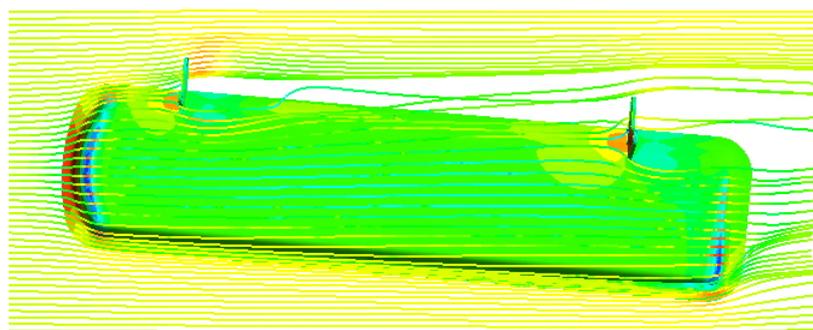
(ข)

ภาพที่ 34 แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมบิในระดับ 0 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย

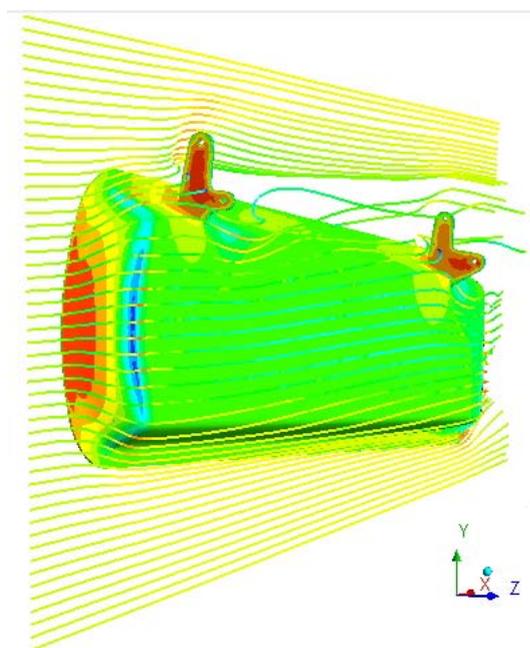
Absolute Pressure
(Contour 1)



[Pa]



(ก)

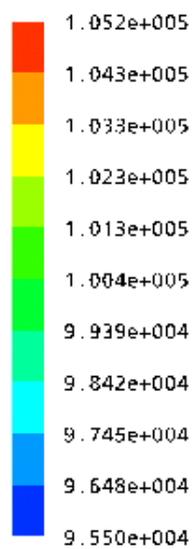


(ข)

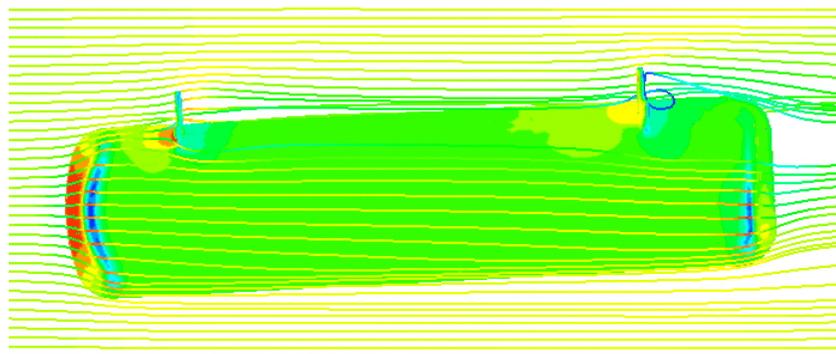


ภาพที่ 35 แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมเงย 5 องศา
(ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย

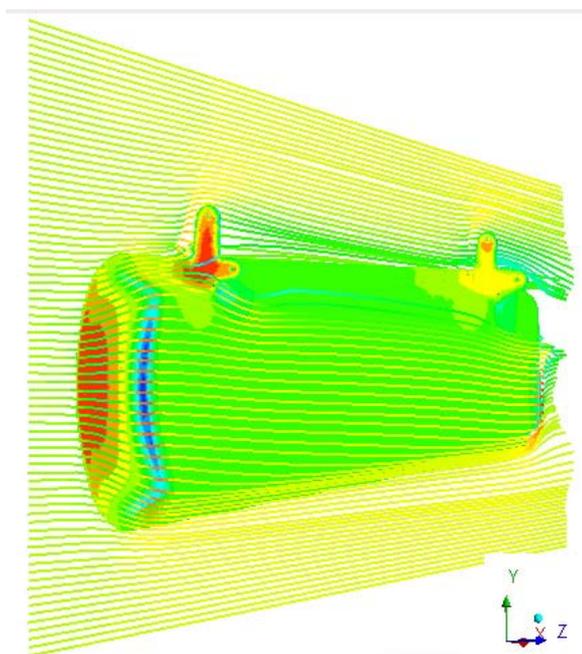
Absolute Pressure
(Contour 1)



[Pa]



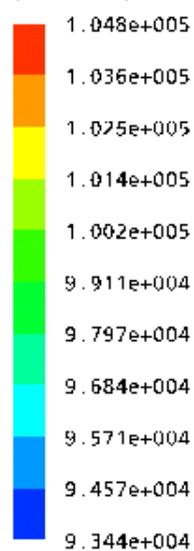
(ก)



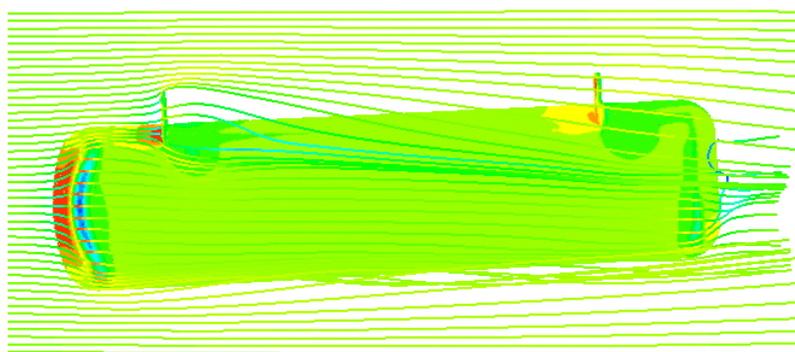
(ข)

ภาพที่ 36 แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูลานล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา
(ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย

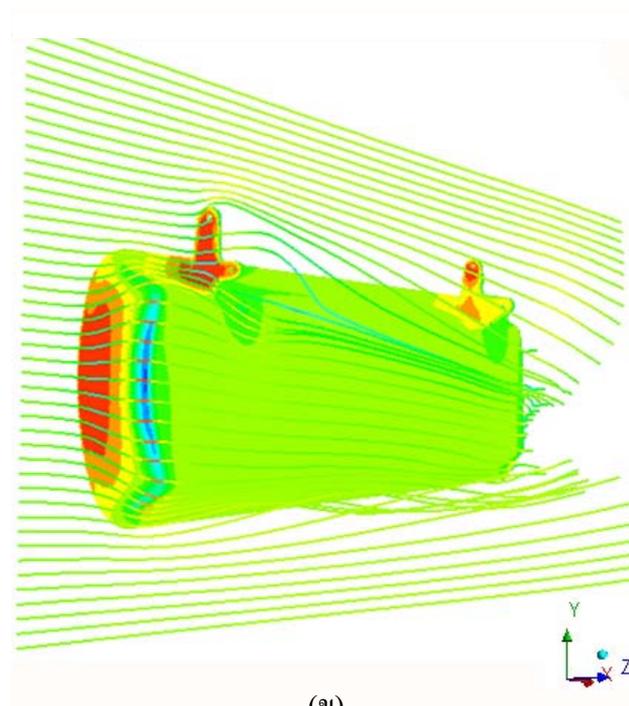
Absolute Pressure
(Contour 1)



[Pa]



(ก)

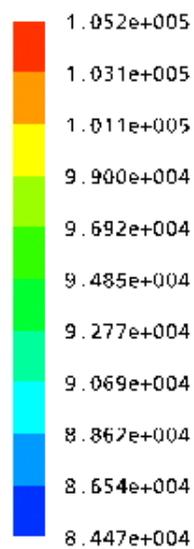


(ข)

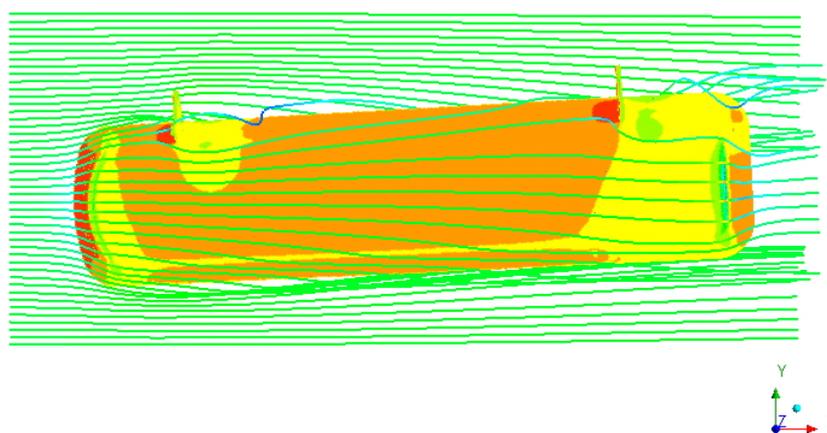


ภาพที่ 37 แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย

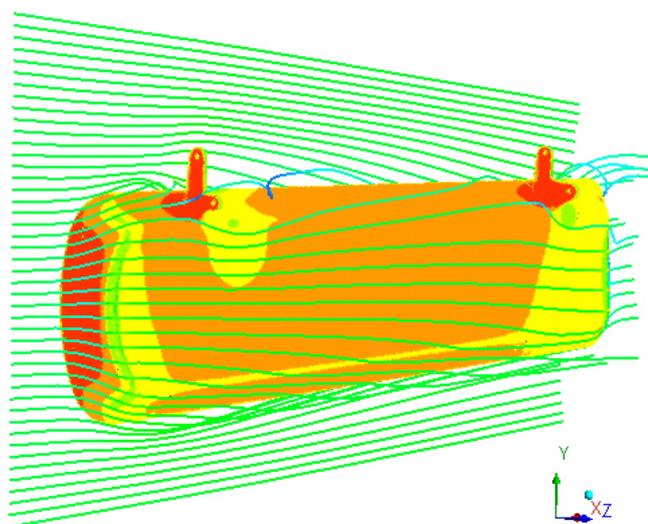
Absolute Pressure
(Contour 1)



[Pa]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 38 แสดงแถบระดับความดันที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ภาพฉาย

2. ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูล้อหัวจากการไหลของกระแสอากาศ

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูล้อหัวจากการไหลของกระแสอากาศ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Ansys ด้วยมุมการบินต่าง ๆ ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

2.1 มุมบินระดับ 0 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 39 จะเห็นได้ว่าความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรูตำแหน่งล่างของบานพับตำแหน่งหน้า มีค่าเท่ากับ 3.607 MPa และที่ผิวคลุมนอกบริเวณช่องว่างระหว่างกงประตูล้อ มีค่าความเค้นแบบ Von Mises สูงกว่าบริเวณอื่น และภาพที่ 40 แสดงแถบระดับระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมล่างส่วนท้ายของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.0124 mm และที่ผิวคลุมนอกบริเวณช่องว่างระหว่างกงประตูล้อ มีการโก่งตัวเกิดขึ้นโดยมีลักษณะเป็นลอนคลื่น เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่กงประตูล้อบานพับตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 41 พบว่าบริเวณตำบลวิกฤตมีค่าความเค้นแบบ Von Mises เท่ากับ 0.817 MPa

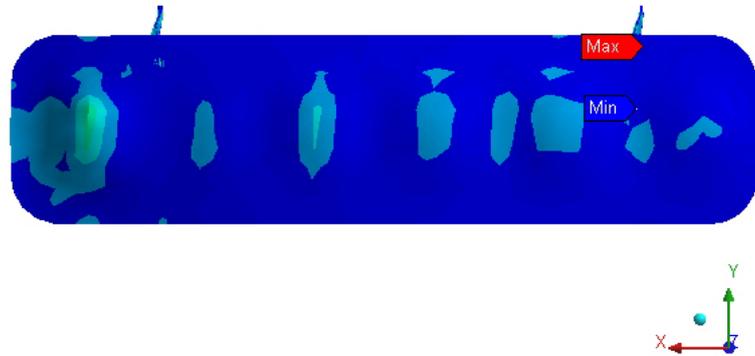
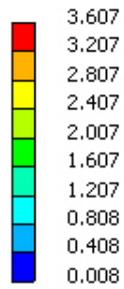
Equivalent (von-Mises) Stress

MPa

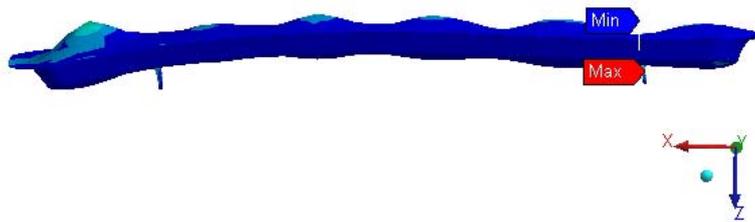
Max: 3.607e+000

Min: 7.888e-003

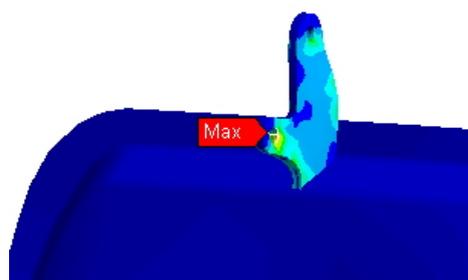
2007/10/7 11:24



(ก)



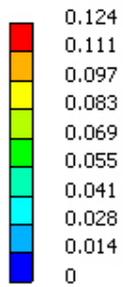
(ข)



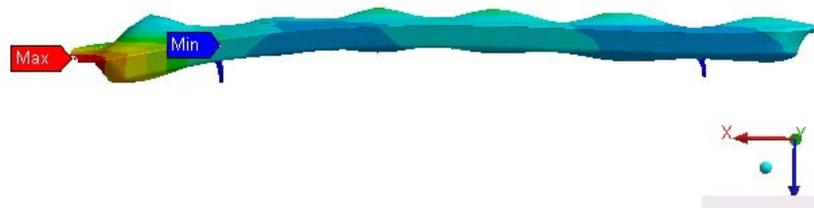
(ค)

ภาพที่ 39 แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมบิน
ระดับ 0 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด

Total Deformation
 x 1e-1 mm
 Max: 1.244e-002
 Min: 0.000e+000
 2007/10/7 11:27

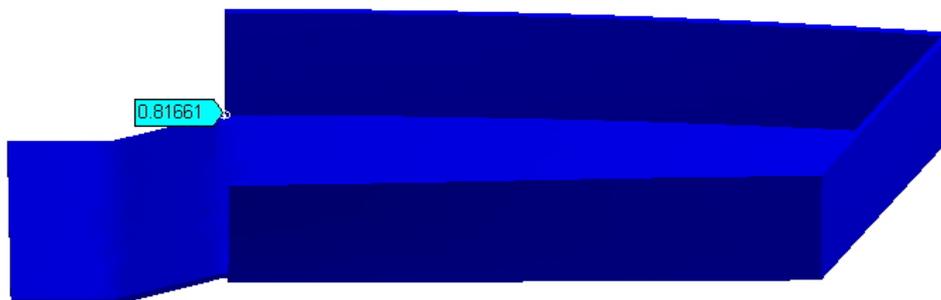


(ก)



(ข)

ภาพที่ 40 แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมบิในระดับ 0 องศา
 (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 41 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูด้านหน้าตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมบิในระดับ 0 องศา

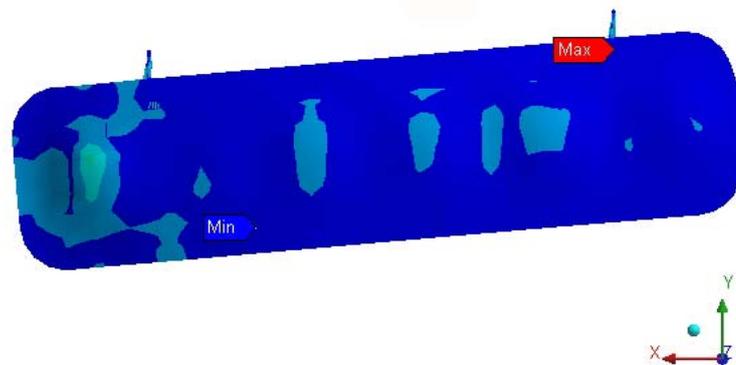
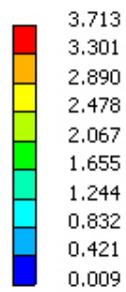
2.2 มุมเมย 5 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 42 จะเห็นได้ว่าความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณรูตำแหน่งล่างของบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.713 MPa และที่ผิวคลุมนอกบริเวณช่องว่างระหว่างกงประตูด มีค่าความเค้นแบบ Von Mises สูงกว่าบริเวณอื่น และภาพที่ 43 แสดงแถบระดับระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมล่างส่วนท้ายของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.0161 mm และที่ผิวคลุมนอกบริเวณช่องว่างระหว่างกงประตูด มีการโก่งตัวเกิดขึ้นโดยมีลักษณะเป็นลอนคลื่น เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่กงประตูดด้านหน้าตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 44 พบว่าบริเวณตำบลวิกฤตมีความเค้นแบบ Von Mises เท่ากับ 0.783 MPa

Equivalent (von-Mises) Stress
MPa

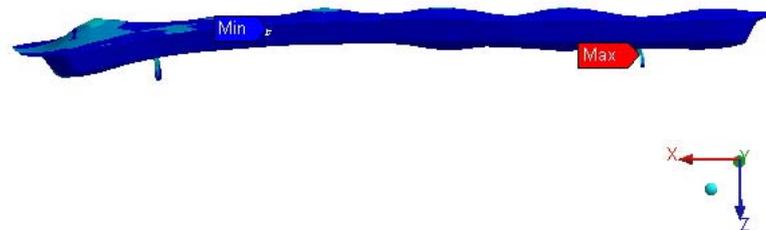
Max: 3.713e+000

Min: 9.203e-003

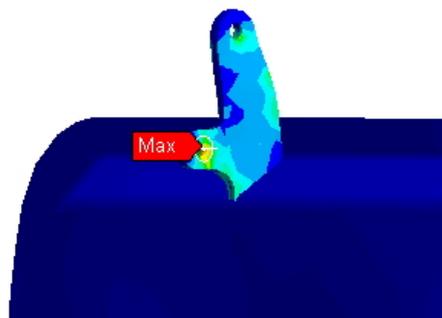
2007/10/7 11:22



(ก)



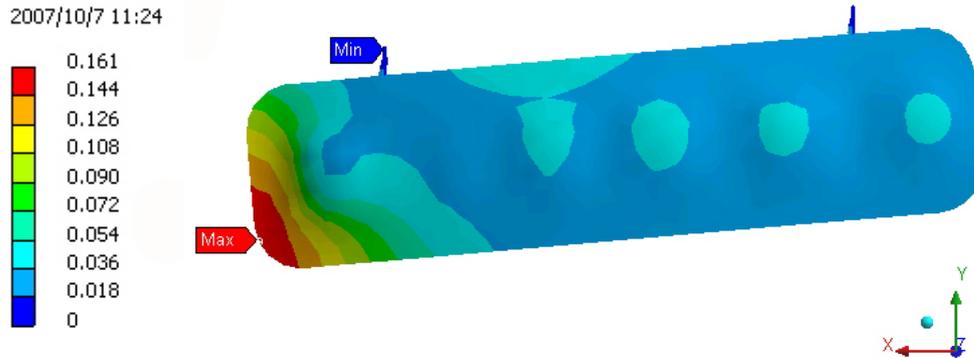
(ข)



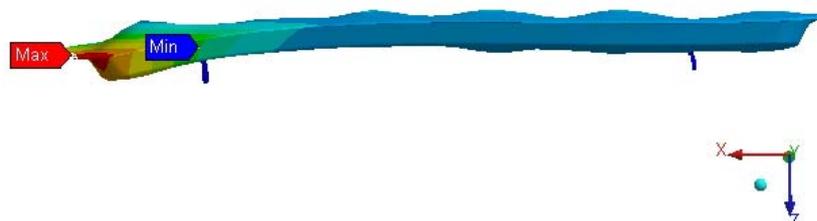
(ค)

ภาพที่ 42 แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูลานล้อหัวที่มุงย
5 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด

Total Deformation
 x 1e-1 mm
 Max: 1.615e-002
 Min: 0.000e+000
 2007/10/7 11:24



(ก)



(ข)

ภาพที่ 43 แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มีมุมยก 5 องศา

(ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 44 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณด้ามลึงกุด บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมเลข 5 องศา

2.3 มุมก้ม 3 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 45 จะเห็นได้ว่าความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณมุมรอยพับระหว่าง Lower Flange กับ Web ของกงประตูที่ยึดอยู่กับบานพับด้านหลัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.539 MPa และภาพที่ 46 แสดงแถบระดับระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมล่างส่วนท้ายของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.020 mm และที่ผิวคลุมนอกบริเวณช่องว่างระหว่างกงประตูเหนือกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า มีการโก่งตัวเกิดขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่กงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 47 พบว่าบริเวณด้ามลึงกุดมีค่าความเค้นแบบ Von Mises เท่ากับ 1.520 MPa

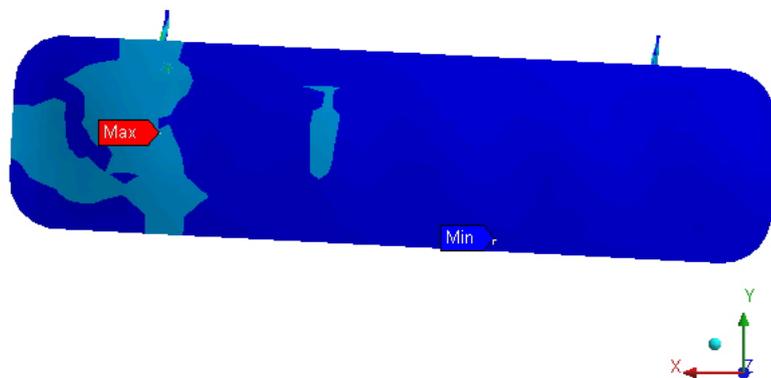
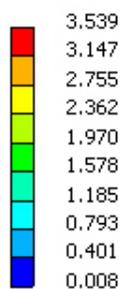
Equivalent (von-Mises) Stress

MPa

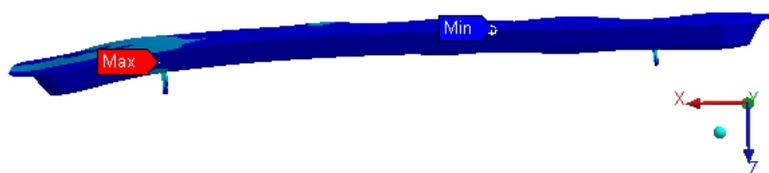
Max: 3.539e+000

Min: 8.308e-003

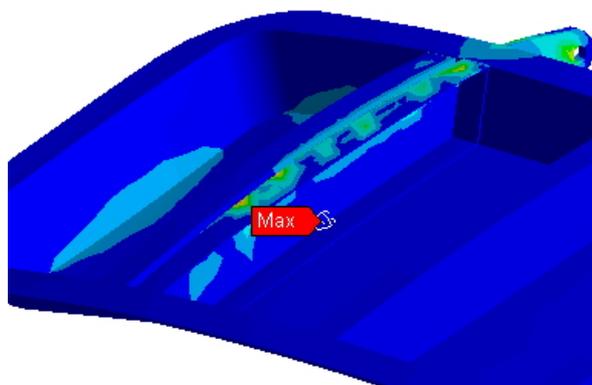
2007/10/7 11:20



(ข)

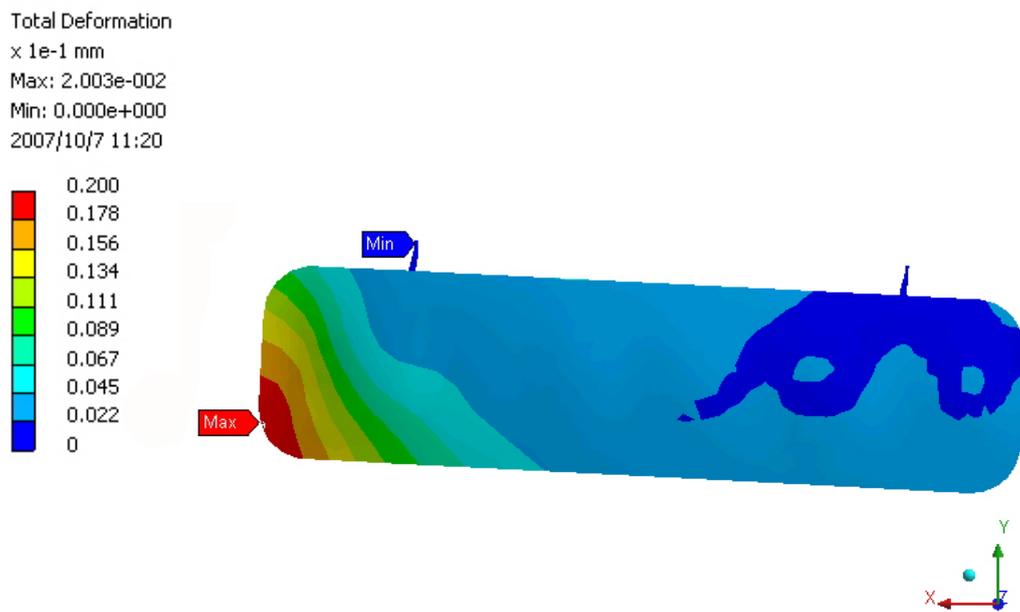


(ง)



(ค)

ภาพที่ 45 แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด

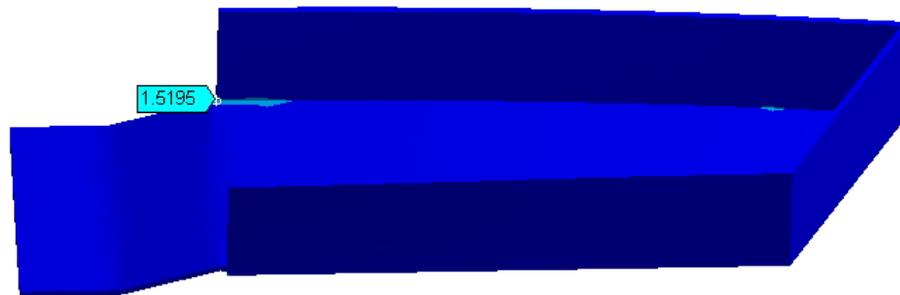


(ก)



(ข)

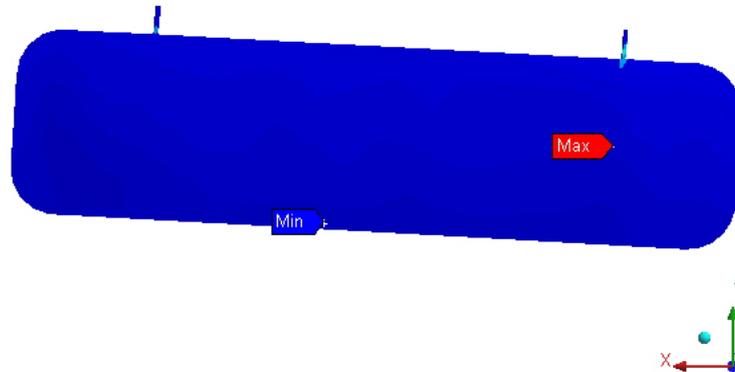
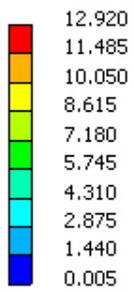
ภาพที่ 46 แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา
(ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง



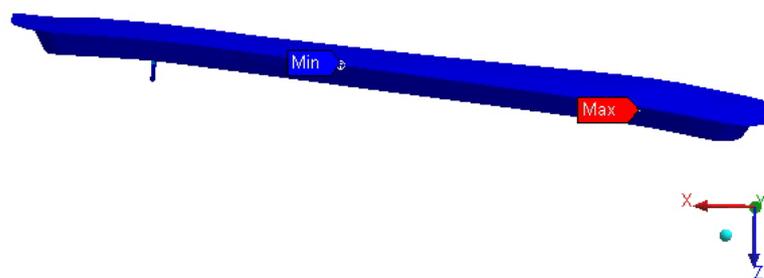
ภาพที่ 47 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณด้ามลึงกุด บนกงประตูด่านพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมก้ม 3 องศา

2.4 มุมก้ม 3 องศา หมุนทางซ้าย 5 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 48 จะเห็นได้ว่าความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณมุมรอยพับระหว่าง Upper Flange กับ Web ของกงประตูด่านพับตำแหน่งหน้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.92 MPa และภาพที่ 49 แสดงแถบระดับระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมล่างส่วนหัวของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.032 mm และที่ตัวประตูด่านพับเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาจากความเค้นที่เกิดขึ้นที่กงประตูด่านพับตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 50 พบว่าบริเวณด้ามลึงกุดมีค่าความเค้นแบบ Von Mises เท่ากับ 10.641 MPa

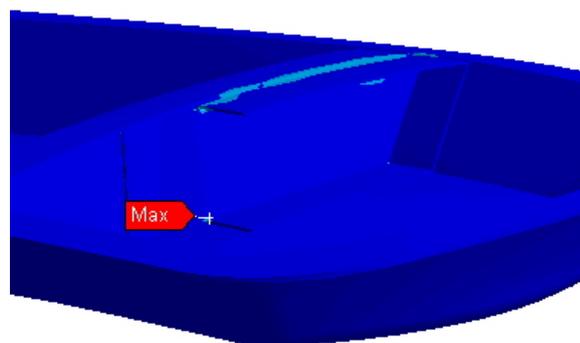
Equivalent (von-Mises) Stress
 MPa
 Max: 1.292e+001
 Min: 4.562e-003
 2007/10/7 11:14



(ก)



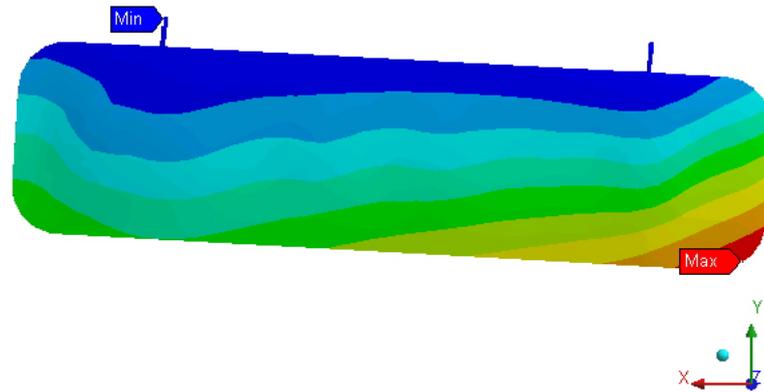
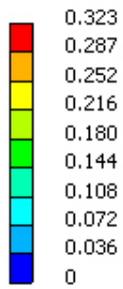
(ข)



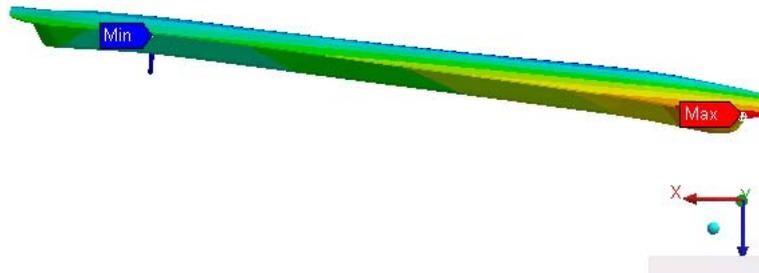
(ค)

ภาพที่ 48 แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุ่มก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด

Total Deformation
 x 1e-1 mm
 Max: 3.234e-002
 Min: 0.000e+000
 2007/10/7 11:16

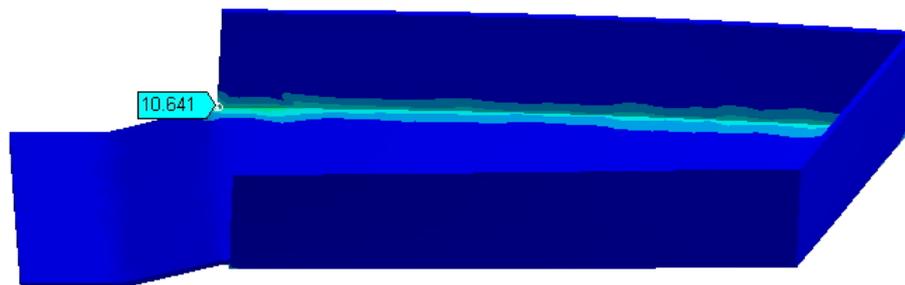


(ก)



(ข)

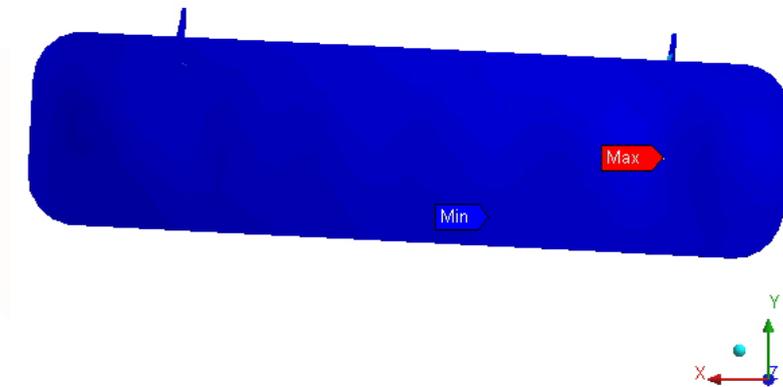
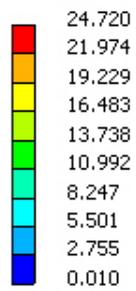
ภาพที่ 49 แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และ
 หมุนทางซ้าย 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง



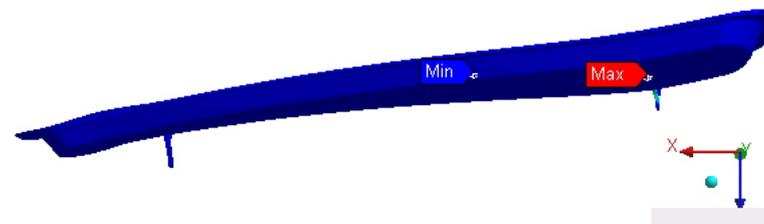
ภาพที่ 50 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณด้ามลึงกุด บนกงประตูดบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา

2.5 มุมก้ม 3 องศา หมุนทางขวา 5 องศา ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 51 จะเห็นได้ว่าความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลองมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณมุมรอยพับระหว่าง Lower Flange กับ Web ของกงประตูดบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.72 MPa และภาพที่ 52 แสดงแถบระดับระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมล่างส่วนหัวของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.055 mm และที่ตัวประตูดมีการบิดตัวเกิดขึ้น ส่วนที่ผิวคลุมนอกบริเวณช่องว่างระหว่างกงประตูเหนือกงประตูดบานพับตำแหน่งหน้า มีการโก่งตัวเกิดขึ้นโดยมีลักษณะเป็นลอนคลื่น เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่กงประตูดบานพับตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 53 พบว่าบริเวณด้ามลึงกุดมีค่าความเค้นแบบ Von Mises เท่ากับ 11.736 MPa

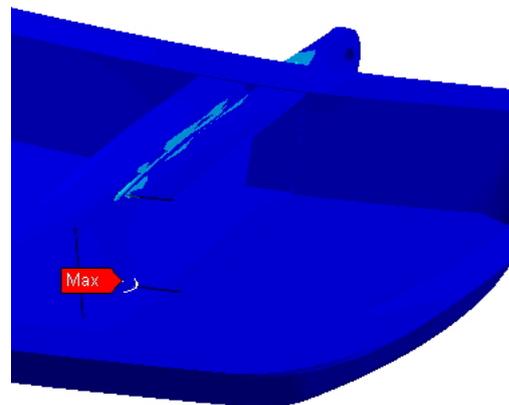
Equivalent (von-Mises) Stress
 MPa
 Max: 2.472e+001
 Min: 9.913e-003
 2007/10/7 11:17



(ก)



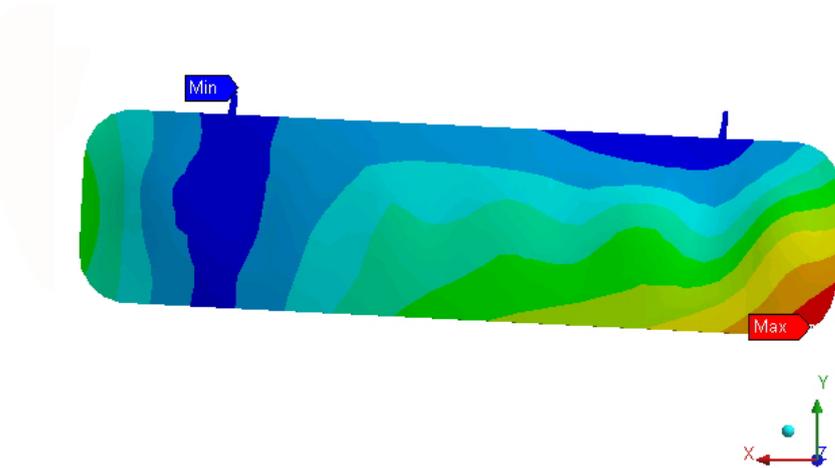
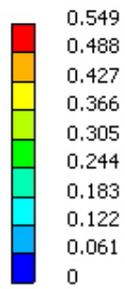
(ข)



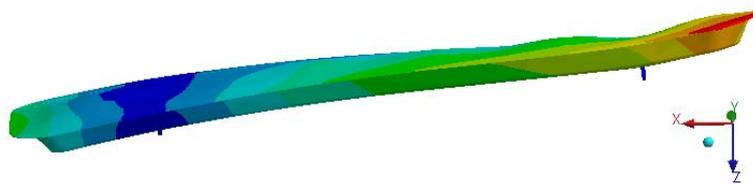
(ค)

ภาพที่ 51 แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด

Total Deformation
 x 1e-1 mm
 Max: 5.490e-002
 Min: 0.000e+000
 2007/10/7 11:18

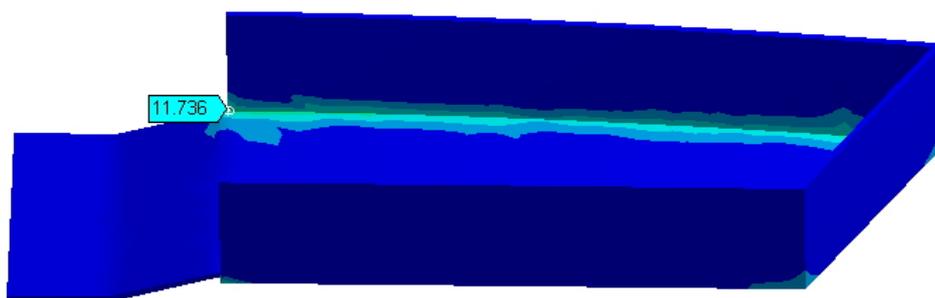


(ก)



(ข)

ภาพที่ 52 แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัวที่มุมก้ม 3 องศา และ
 หมุนทางขวา 5 องศา (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง



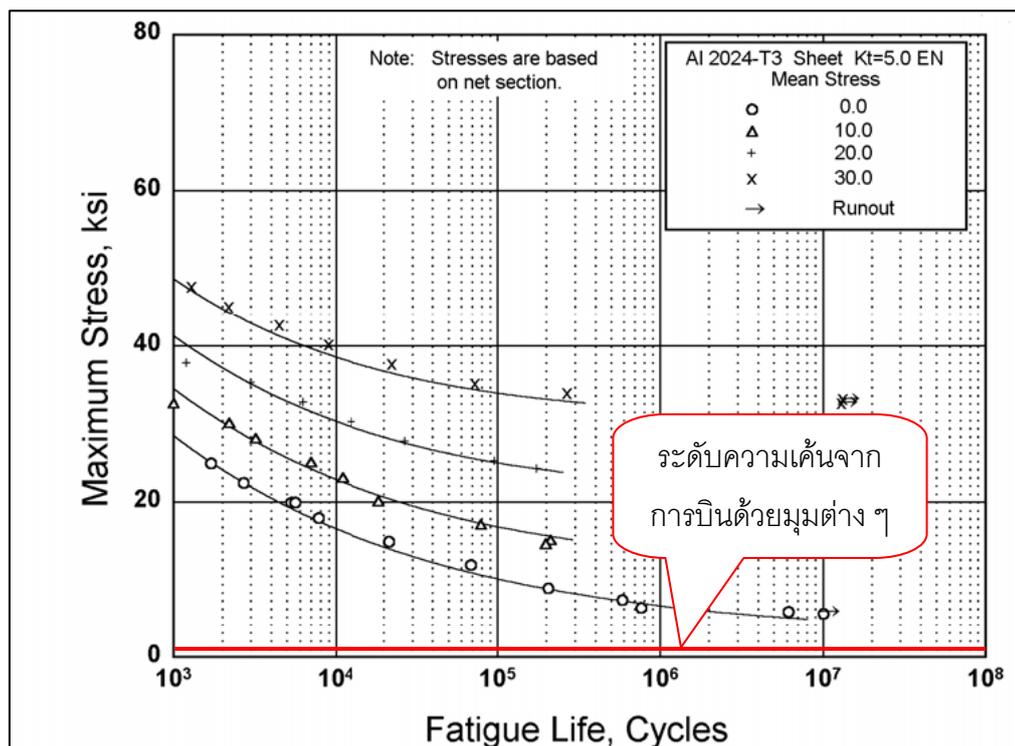
ภาพที่ 53 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณด้าบลิกฤต บนกงประตูดบานพับตำแหน่งหน้าของแบบจำลอง ที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา

เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นบนกงประตูดบานพับตำแหน่งหน้า จากการติดตั้งแบบจำลองของประตูดบานพับด้วยมุมการบิดต่าง ๆ ตามตารางที่ 4 พบว่าการบิดที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางซ้าย 5 องศา และมุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา หรือการบิดในทิศทางที่มีกระแสอากาศมาปะทะทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแบบจำลอง จะทำให้ประตูดบานพับเกิดการบิดตัว ส่งผลทำให้เกิดความเค้นที่กงประตูดบานพับตำแหน่งหน้ามีค่าสูงกว่าการบิดด้วยมุมอื่น ๆ หรือการบิดที่มีกระแสอากาศมาปะทะด้านหน้าของแบบจำลองทิศทางเดียว โดยการบิดที่มุมก้ม 3 องศา และหมุนทางขวา 5 องศา จะให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 11.736 Mpa

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเค้นที่ได้กับความเค้นในกราฟ S-N Curve (กราฟระหว่างความเค้นกับจำนวนครั้งที่วัสดุสามารถรับความเค้นหนึ่ง ๆ ได้ก่อนเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการล้า) ดังภาพที่ 54 พบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลองของประตูดบานพับด้วยมุมการบิดต่าง ๆ ทั้ง 5 มุม มีค่าน้อยมาก ไม่มีโอกาสที่จะทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นที่กงประตูดบานพับตำแหน่งหน้าเนื่องจากการล้า

ตารางที่ 4 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลึงกุดบนงประคูดบานพับตำแหน่งหน้า
ด้วยมุมการบินต่าง ๆ

มุมการบิน (องศา)	σ' ตำบลึงกุด	
	(MPa)	(ksi)
0	0.817	0.12
+5	0.783	0.11
-3	1.520	0.22
-3, -5	10.641	1.54
-3, +5	11.736	1.70

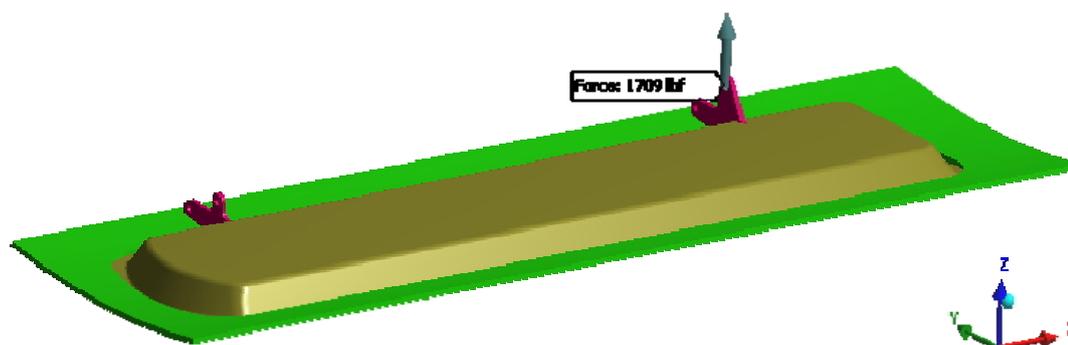


ภาพที่ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life ในการจำลองการบินด้วยมุมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ Al 2024-T3

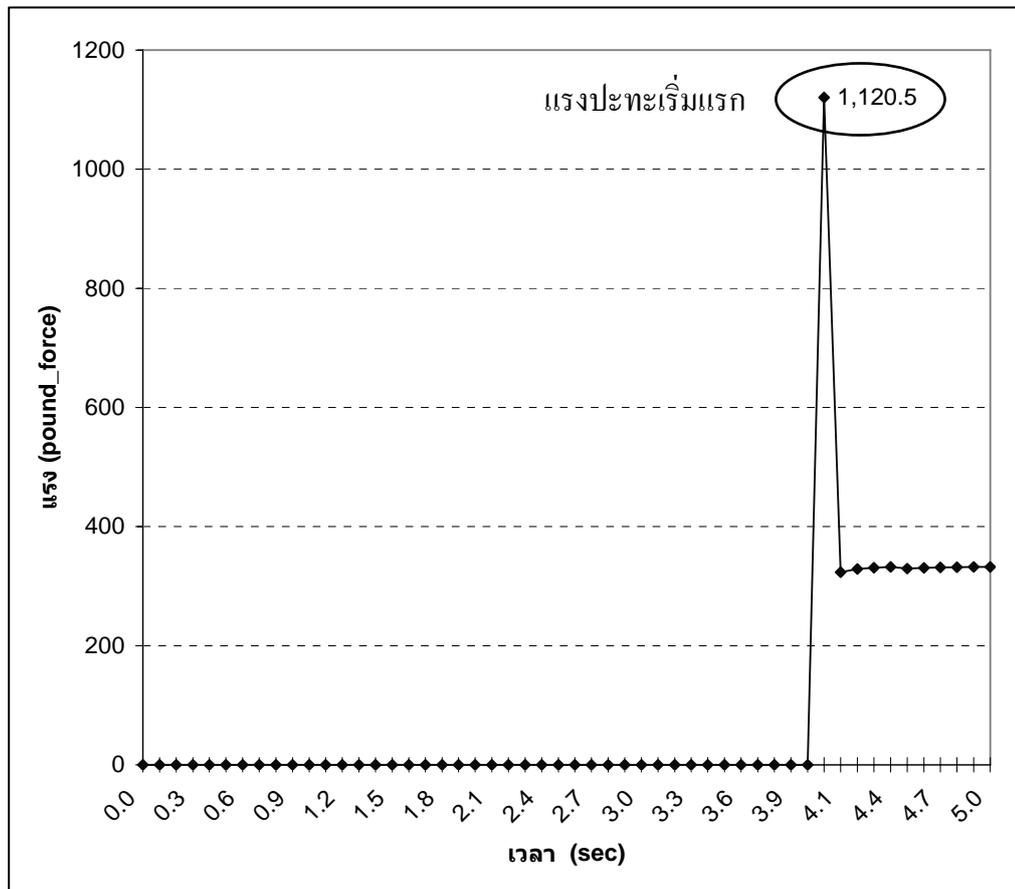
ที่มา: The United States Air Force (2003)

3. ผลของแรงปะทะเนื่องจากการจำลองการปิดประตูฐานล้อหัว

แรงปะทะที่เกิดจากการจำลองการปิดประตูฐานล้อหัวเก็บเข้าช่องเก็บฐานล้อหัว โดยใช้โปรแกรม COSMOS Motion ดังภาพที่ 55 ได้ขนาดของแรงมีค่าเท่ากับ 1,120.5 Lbf ดังกราฟในภาพที่ 56 ซึ่งแรงที่ได้นี้ เป็นแรงปะทะเริ่มแรกที่เกิดจากการปะทะกันระหว่างประตูฐานล้อหัวกับขอบของช่องเก็บฐานล้อหัว โดยกระจายตัวอยู่บนหน้าสัมผัสตามที่ได้กำหนดเอาไว้ ซึ่งใช้เวลาในการปิดประตูจนแนบสนิทกับช่องเก็บประมาณ 4.1 วินาที และไม่พิจารณาแรงกระทำอื่นที่ตกค้าง



ภาพที่ 55 แสดงการจำลองแรงดึงจากไฮดรอลิก ดึงประตูฐานล้อหัวปิดเข้าที่



ภาพที่ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปะทะที่หน้าสัมผัสของประตูลานลือหัวกับขอบของช่องเก็บฐานลือหัว

4. ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูลานล้อหัวจากการเปิด-ปิดประตูลาน

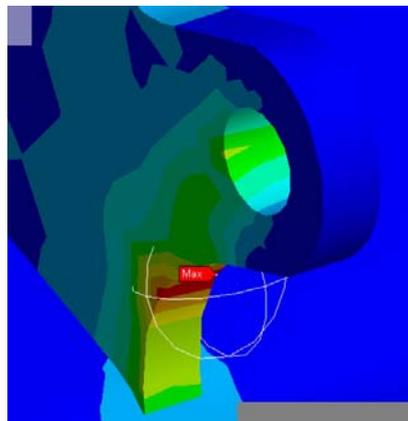
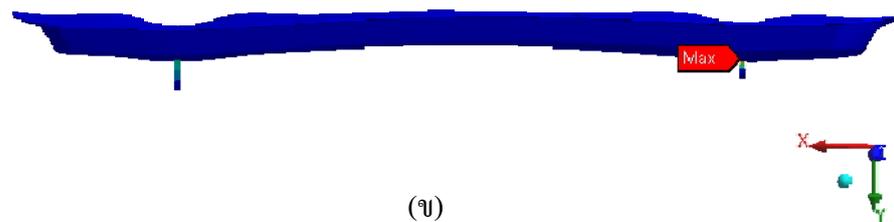
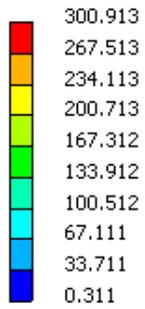
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูลานล้อหัวจากการเปิด-ปิดประตูลาน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Ansys ได้ผลการวิเคราะห์ ดังภาพที่ 57 จะเห็นได้ว่าความเค้นแบบ Von Mises ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง มีค่าสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณใต้รูล่างของบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 300.913 MPa และภาพที่ 58 แสดงแถบระดับระยะกระจัดที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าระยะกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณกึ่งกลางขอบล่างของแบบจำลอง มีค่าเท่ากับ 0.731 mm และที่ผิวคลุมในบริเวณบานพับตำแหน่งหน้าและหลังเกิดการยุบตัว ส่วนผิวคลumnอกบริเวณกึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้าและหลังมีการโก่งตัวเกิดขึ้น เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่กึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้า ดังภาพที่ 59 พบว่าบริเวณด้ามลึงกุดมีค่าความเค้นแบบ

Von Mises เท่ากับ 145.94 MPa หรือ 21.2 ksi โดยมี Mean Stress $(\sigma_m) = \frac{\sigma'_{max} + \sigma'_{min}}{2} = \frac{21.2 + 1.05}{2} = 11.1$ ksi และ Stress Ratio $(R) = \frac{\sigma'_{min}}{\sigma'_{max}} = \frac{1.05}{21.2} = 0.05$ เมื่อพิจารณาคุณลักษณะของ

แรงที่ทำให้เกิดค่าความเค้นสูงสุดที่มุมรอยพับระหว่าง Upper flange กับ Web ของกึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งเป็นด้ามลึงกุด พบว่าการโก่งตัวของผิวคลumnอกบริเวณกึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้า ซึ่งมีความอ่อนตัวและบางกว่าชิ้นส่วนอื่น ๆ จะทำให้เกิดแรงดึง (Tensile Force) กระทำบริเวณ Upper Flange ของกึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้าในทิศทางดิ่งขึ้น จึงทำให้เกิดระยะกระจัดสูงกว่าบริเวณอื่น ดังภาพที่ 60

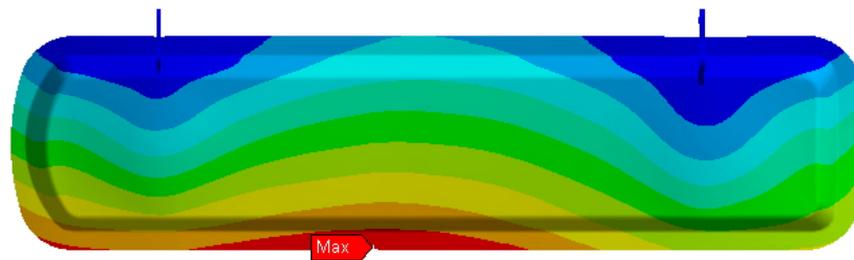
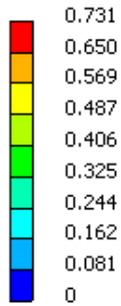
เมื่อนำค่าความเค้นบริเวณด้ามลึงกุดที่ได้มาเปรียบเทียบกับระดับความเค้นในกราฟ S-N Curve ดังภาพที่ 61 พบว่าถ้าเปิด-ปิด แบบจำลองของประตูลานล้อหัวประมาณ 25,000 ครั้ง ที่ระดับความเค้น 145.94 MPa จะทำให้กึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้าเริ่มเกิดการแตกร้าว ซึ่งค่าตัวเลขจำนวนครั้งที่ได้นี้เป็นข้อมูลจากการทดลองและข้อมูลทางสถิติ ซึ่งการกระจายตัวของข้อมูลทำให้อายุการใช้งานที่ได้ไม่ปลอดภัยในการกำหนดอายุใช้งานของกึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้า ดังนั้นเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและมั่นใจในการนำผลที่ได้มาใช้ จึงจำเป็นต้องนำอายุการใช้งานที่ได้มาหารด้วยค่าการกระจายตัวของข้อมูล (Scatter Factor) โดยทั่วไปจะใช้ค่าประมาณ 3.0 – 5.0 ซึ่งเมื่อใช้ค่า Scatter Factor เท่ากับ 5 จะได้อายุการใช้งานเนื่องจากการล้า (Fatigue Life) ของกึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้า เท่ากับ 5,000 ครั้ง ถึงจะทำให้กึ่งประตูลานบานพับตำแหน่งหน้าเริ่มร้าว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณการเปิด-ปิดประตูลานล้อหัวที่ได้จากข้อมูลการใช้งาน ตามตารางที่คือ 5,330.10 ครั้ง พบว่า แตกต่างกันอยู่ 330.10 ครั้ง หรือคิดเป็น 6.6%

Equivalent (von-Mises) Stress
 MPa
 Max: 3.009e+002
 Min: 3.107e-001
 2008/2/12 09:41

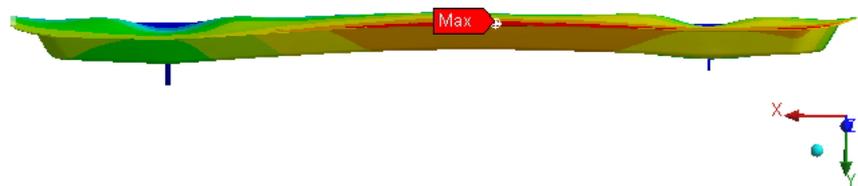


ภาพที่ 57 แสดงแถบระดับความเค้นแบบ Von Mises บนแบบจำลองของประตูล้อหัว จากการจำลองการเปิด-ปิดประตู (ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านล่าง และ (ค) บริเวณค่าสูงสุด

Total Deformation
mm
Max: 7.311e-001
Min: 0.000e+000
2008/2/4 11:14

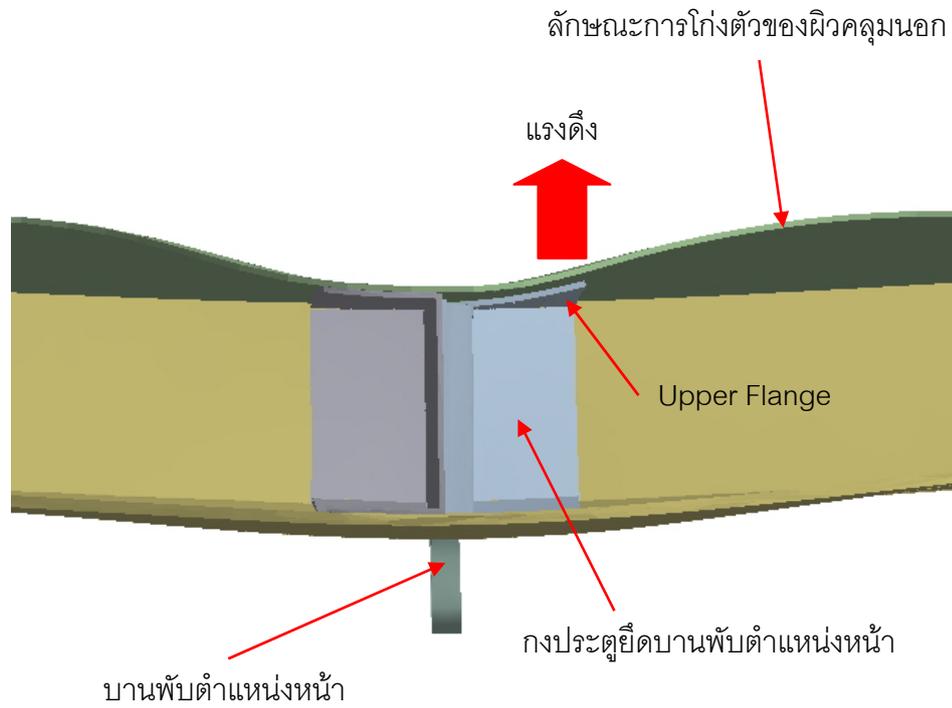


(ก)



(ข)

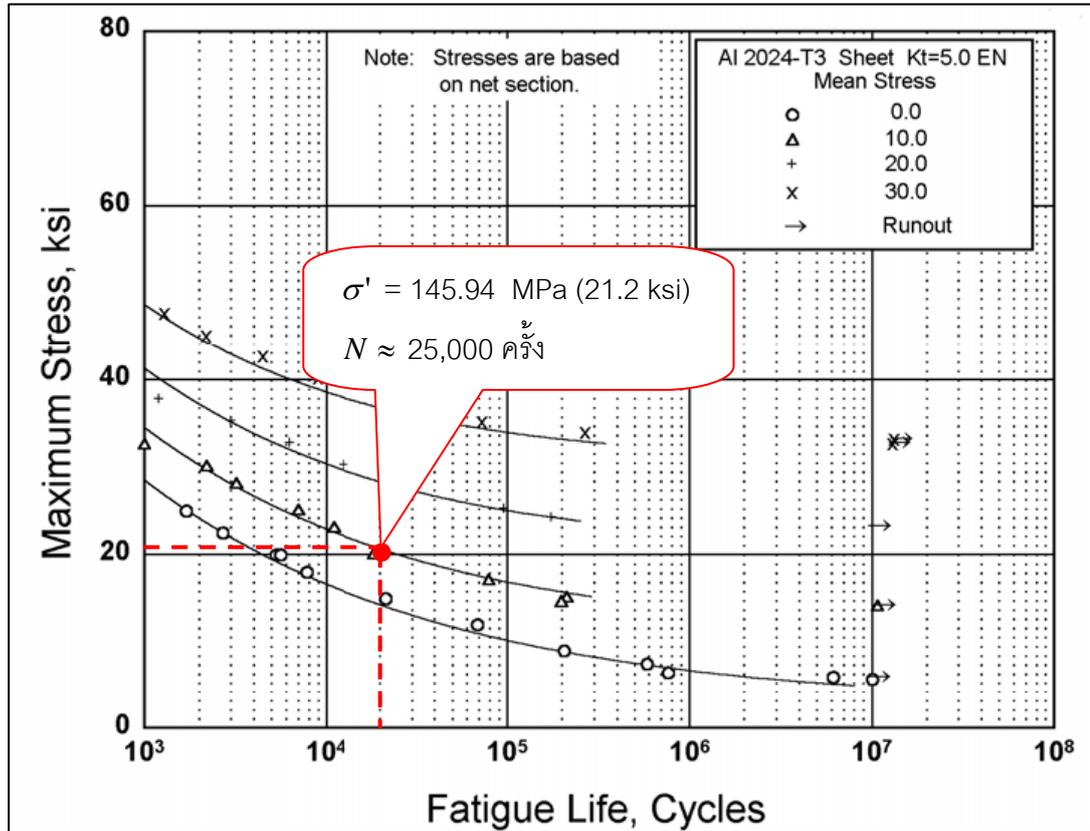
ภาพที่ 58 แสดงแถบระดับระยะกระจัด บนแบบจำลองของประตูล้อหัว จากการจำลอง
การเปิด-ปิดประตู (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านล่าง



ภาพที่ 59 แสดงภาพตัดภายในแบบจำลองของประตูล้อหัว จากการจำลองการปิดประตู



ภาพที่ 60 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกึ่งประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า จากการจำลองการปิดประตู



ภาพที่ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life ในการจำลองการเปิดประตู เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ Al 2024-T3

ที่มา: The United States Air Force (2003)

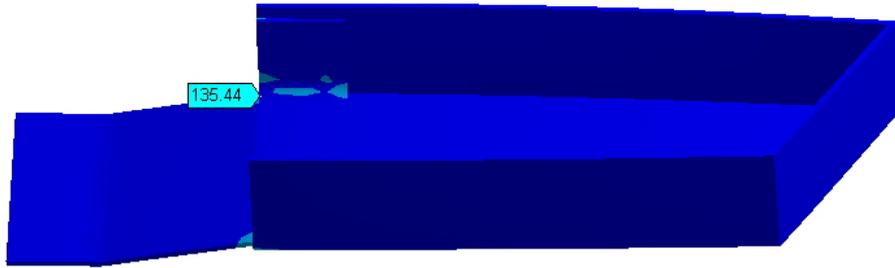
5. ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างประตูล้อหัวจากการเปิด-ปิดประตู เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงเรียบร้อยแล้ว

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของประตูล้อหัวจากการเปิด-ปิดประตู เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่งต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Ansys ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

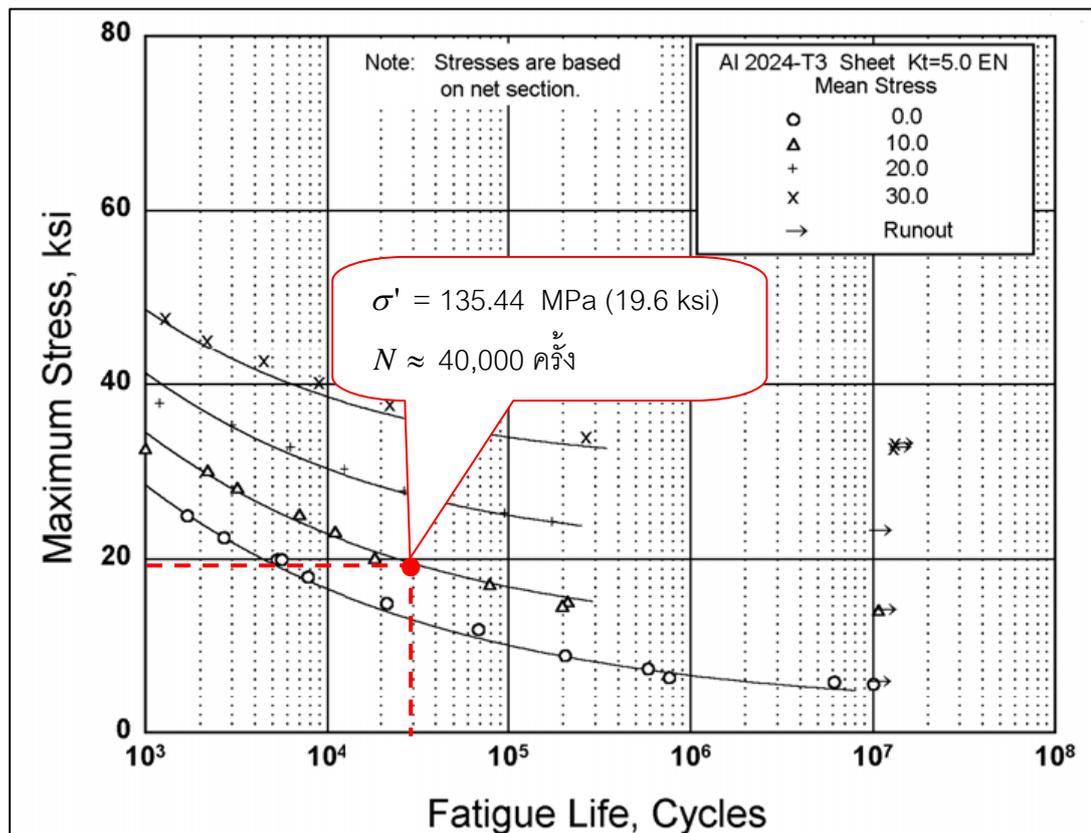
5.1 เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่งติดกับ Web ของกงประตูยึดบานพับ ตำแหน่งหน้า ทำให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูยึดบานพับ ตำแหน่งหน้ามีค่าลดลงจากเดิมก่อนติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง โดยมีค่าเท่ากับ 135.44 MPa หรือ 19.6 ksi (Mean Stress = 9.9 ksi) ดังภาพที่ 62 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 7.19 เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ดังภาพที่ 63 พบว่า วัสดุสามารถรับแรงกระทำแบบซ้ำ ๆ ได้ประมาณ 40,000 ครั้ง ก่อนเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการล้า เมื่อหารด้วยค่า Scatter Factor เท่ากับ 5 จะได้ Fatigue Life ของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า เท่ากับ 8,000 ครั้ง ถึงเริ่มร้าว

5.2 เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่งขนานกับ Web ของกงประตูยึดบานพับ ตำแหน่งหน้า ทำให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูยึดบานพับ ตำแหน่งหน้ามีค่าลดลงจากเดิมก่อนติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง โดยมีค่าเท่ากับ 140.02 MPa หรือ 20.3 ksi (Mean Stress = 10.2 ksi) ดังภาพที่ 64 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 4.06 เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ดังภาพที่ 65 พบว่า วัสดุสามารถรับแรงกระทำแบบซ้ำ ๆ ได้ประมาณ 32,000 ครั้ง ก่อนเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการล้า เมื่อหารด้วยค่า Scatter Factor เท่ากับ 5 จะได้ Fatigue Life ของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า เท่ากับ 6,400 ครั้ง ถึงเริ่มร้าว

5.3 เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่งตั้งฉากกับ Web ของกงประตูยึดบานพับ ตำแหน่งหน้า ทำให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลวิกฤต บนกงประตูยึดบานพับ ตำแหน่งหน้ามีค่าลดลงจากเดิมก่อนติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง โดยมีค่าเท่ากับ 138.42 MPa หรือ 20.1 ksi (Mean Stress = 10.0 ksi) ดังภาพที่ 66 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 5.15 เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ดังภาพที่ 67 พบว่า วัสดุสามารถรับแรงกระทำแบบซ้ำ ๆ ได้ประมาณ 37,000 ครั้ง ก่อนเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการล้า เมื่อหารด้วยค่า Scatter Factor เท่ากับ 5 จะได้ Fatigue Life ของกงประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า เท่ากับ 7,400 ครั้ง ถึงเริ่มร้าว



ภาพที่ 62 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลึงกุด บนกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงติดกับ Web

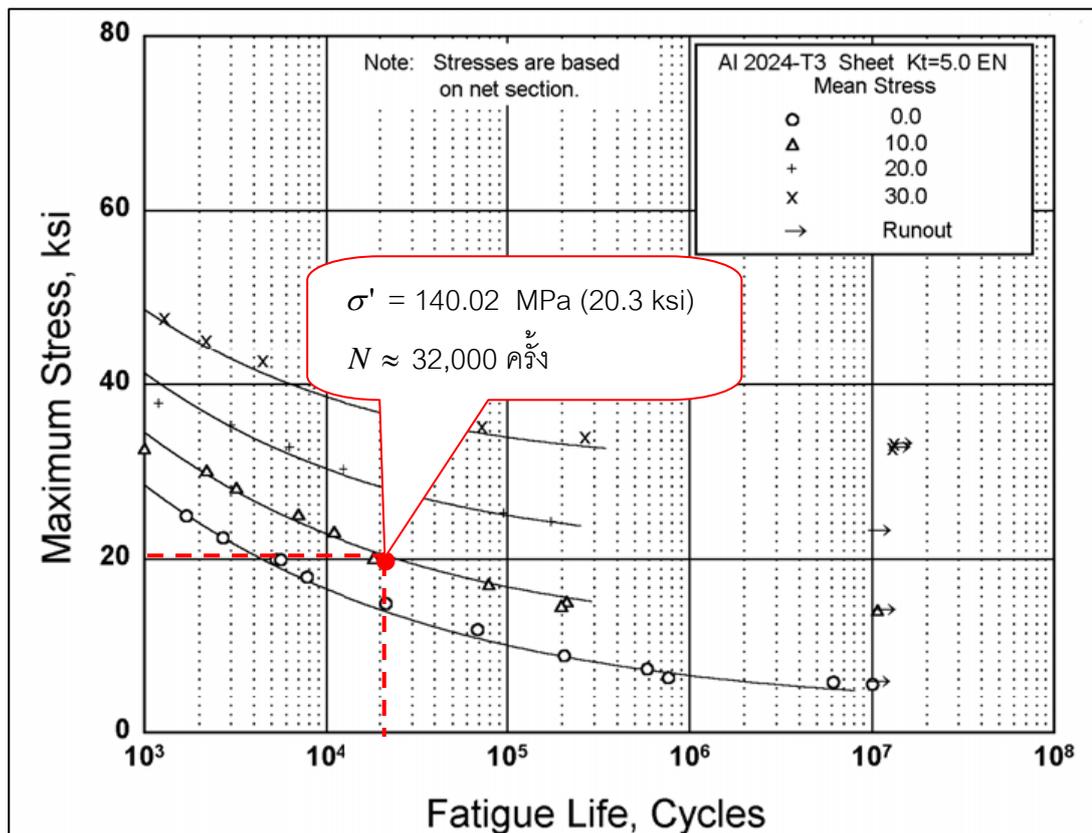


ภาพที่ 63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงติดกับ Web ของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3

ที่มา: The United States Air Force (2003)



ภาพที่ 64 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลึงกุด บนกงประตูดัดบานพับ ตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงขนานกับ Web

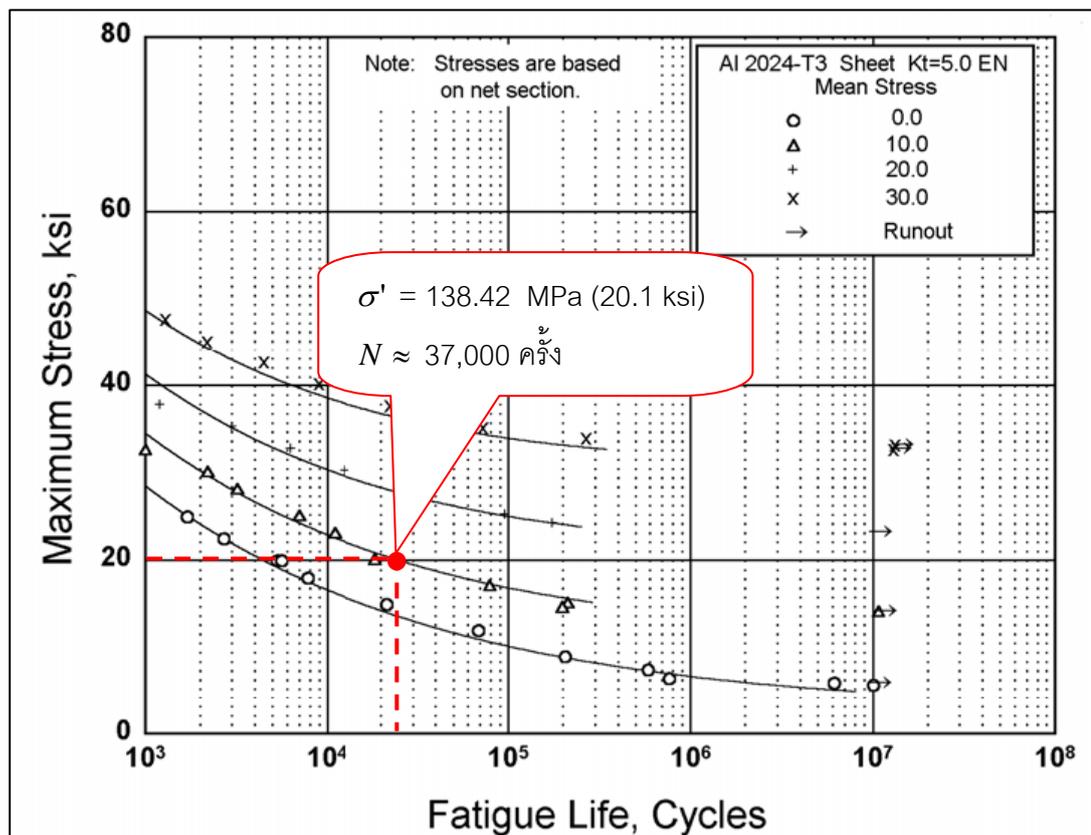


ภาพที่ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงขนานกับ Web ของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3

ที่มา: The United States Air Force (2003)



ภาพที่ 66 แสดงความเค้นแบบ Von Mises บริเวณตำบลึงกุด บนกงประตูด่านพับตำแหน่งหน้า หลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงตั้งฉากกับ Web



ภาพที่ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Stress และ Fatigue Life เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงตั้งฉากกับ Web ของกงประตูด่านพับตำแหน่งหน้า เปรียบเทียบกับกราฟ S-N Curve ของ AI 2024-T3

ที่มา: The United States Air Force (2003)

การที่ความเค้น σ ตำบลวิกฤตมีค่าลดลง เมื่อทำการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่งต่าง ๆ นั้น สามารถอธิบายได้จากสมการ (3)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

โดยที่ σ เป็นความเค้น
 F เป็นแรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่
 A เป็นพื้นที่หนึ่งหน่วย

จากสมการที่ (3) เมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ให้กับกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า แต่แรงที่กระทำมีค่าเท่าเดิม จึงเป็นการช่วยกระจายแรงและส่งผลให้ความเค้นที่เกิดขึ้น σ ตำบลวิกฤตมีค่าลดลง

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดความเค้นที่เกิดขึ้น σ ตำบลวิกฤตของวัสดุเสริมความแข็งแรงในการติดตั้งรูปแบบต่าง ๆ ตามตารางที่ 5 แล้ว พบว่าการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในตำแหน่งติดกับ Web ของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า จะช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้น σ ตำบลวิกฤตได้มากกว่าการติดตั้งแบบขนาน และแบบตั้งฉากกับ Web โดยสามารถลดความเค้นที่เกิดขึ้นได้ร้อยละ 7.19 และชิ้นงานมี Fatigue Life เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 นอกจากนี้วัสดุเสริมความแข็งแรงยังช่วยลดแรงดึงจากการโก่งตัวบริเวณ Upper Flange ของกงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้า ทำให้การโก่งตัวบริเวณดังกล่าวลดลง ซึ่งเป็นการลดระยะกระจัดที่ส่งผลให้เกิดความเค้นบริเวณตำบลวิกฤต ดังภาพที่ 68

เมื่อนำผลของจำนวนครั้งการเปิด-ปิดที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 จากการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงมาคำนวณหาการยืดอายุเริ่มร้าวจากการใช้งานจริง และจากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ เพื่อทำนายอายุเริ่มร้าวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นตามตารางที่ 6 โดยเป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณอายุเริ่มร้าว ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ระหว่างใช้งานจริงกับแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ พบว่าอายุเริ่มร้าวจากการใช้งานจริง ก่อนติดตั้งเป็น 1,577 ชม.บิน หลังติดตั้งเป็น 2,535.24 ชม.บิน มีอายุเพิ่มขึ้น 958.24 ชม.บิน และอายุเริ่มร้าวของแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ จากก่อนติดตั้งเป็น 1,666.67 ชม.บิน หลังติดตั้งเป็น 2,666.67 ชม.บิน มีอายุเพิ่มขึ้น 1,000 ชม.บิน ซึ่งต่างจากการใช้งานจริงอยู่ 41.76 ชม.บิน และเมื่อนำผลการคำนวณอายุเริ่มร้าว ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงในการใช้งานจริงที่ได้มาเขียนเป็นกราฟ โดยสมมติให้ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่ออัตราการขยายตัวของรอยร้าว สามารถแสดงให้เห็นได้ดังภาพที่ 69

ในการกำหนดอายุใช้งานปลอดภัย หรือ การกำหนดเวลาการตรวจเริ่มแรก เป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานอากาศยาน โดยการตรวจรอยร้าวก่อนขึ้นงานจะครบอายุ Fatigue Life โดยการกำหนด Safety Factor นำมาคูณกับ Fatigue Life และเนื่องจากงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้าเป็นชิ้นส่วน โครงสร้างของประตูดัดบานพับที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นส่วนอื่น ๆ จึงสามารถกำหนด Safety Factor ได้ตามความเหมาะสม ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ค่า Safety Factor เท่ากับ 0.8 และ Fatigue Life เท่ากับ อายุเริ่มร้าวเร็วสุด คือ 1,577 ชม.บิน ดังนั้นควรเริ่มตรวจรอยร้าวเมื่ออากาศยานมีอายุครบ 1,261.6 ชม.บิน จะทำให้การใช้งานงประตูดัดบานพับตำแหน่งหน้ามีความปลอดภัย และเมื่อติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงแล้ว อายุครบตรวจรอยร้าวจะเพิ่มขึ้น โดยครบอายุตรวจที่ 2,028.19 ชม.บิน

ตารางที่ 6 อายุการใช้งานของกงประตูด่านพบตำแหน่งหน้า ในการเปิด-ปิดประตูบานลื้อหัว ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง ระหว่างใช้งานจริง กับ แบบจำลองในคอมพิวเตอร์

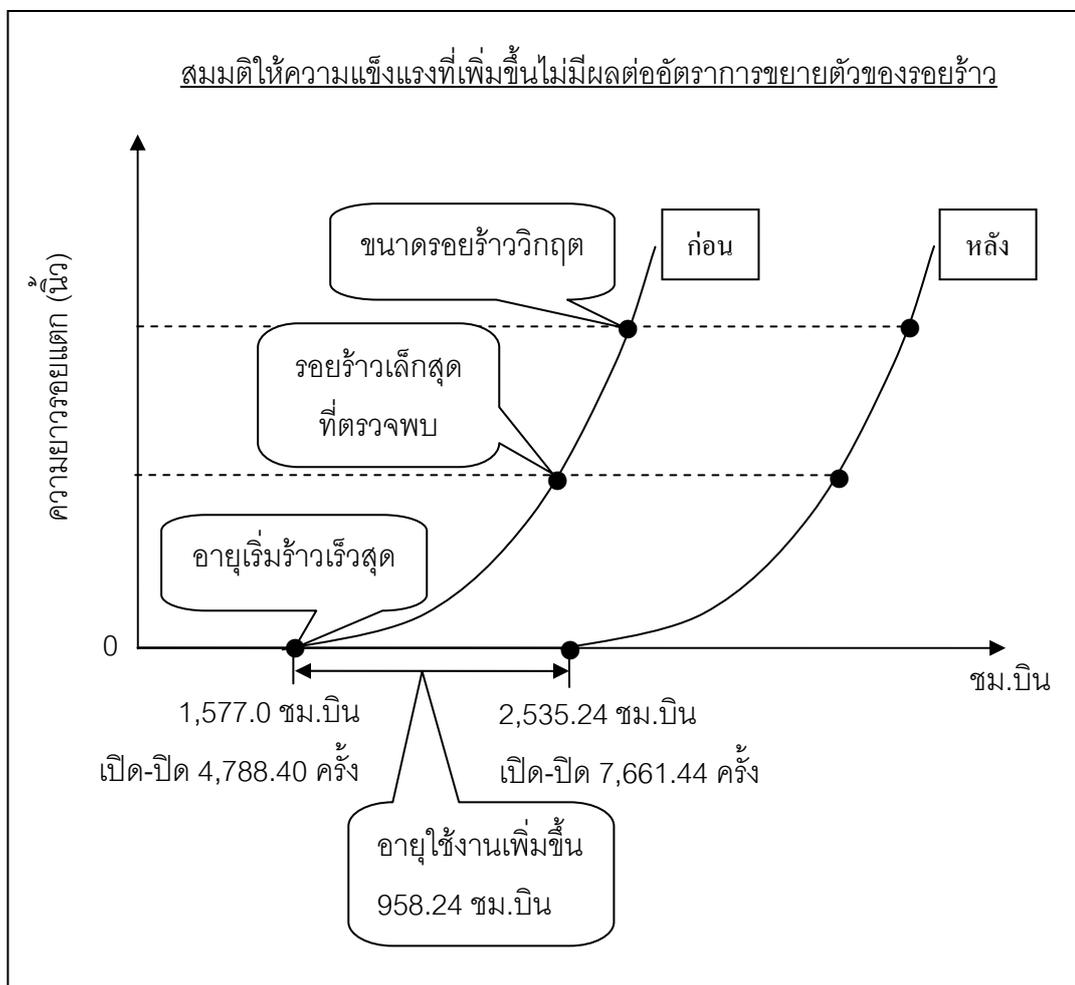
	อายุเริ่มร้าว ¹ (ชม.บิน)	การเปิด-ปิด ² (ครั้ง)	อายุใช้งานเพิ่มขึ้น ³ (ชม.บิน)	อายุใช้งานปลอดภัย ⁴ (ชม.บิน)
ใช้งานจริง				
ก่อน	1,577	4,788.40	-	1,261.60
หลัง	2,535.24	7,661.44	958.24	2,028.19
แบบจำลองในคอมพิวเตอร์				
ก่อน	1,666.67	5,000	-	1,333.34
หลัง	2,666.67	8,000	1,000	2,133.34

หมายเหตุ ¹อายุเริ่มร้าวในการใช้งานจริง ในที่นี้กำหนดให้ใช้อายุเริ่มร้าวเร็วสุด คือ 1,577 ชม.บิน, อายุเริ่มร้าว = (จำนวนครั้งการเปิด-ปิด/อัตราการเปิด-ปิด คือ 3 ครั้ง/ชม.บิน) + จำนวนครั้งเฉลี่ยในการเปิด-ปิดจากการเข้าซ่อมบำรุง คือ 55.71 ครั้ง

²จำนวนครั้งการเปิด-ปิดหลังจากติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง คิดจากการเปิด-ปิดที่เพิ่มขึ้น 60% ของก่อนติดตั้ง

³อายุใช้งานเพิ่มขึ้น = อายุเริ่มร้าวเร็วสุด หลัง - ก่อน

⁴อายุใช้งานปลอดภัย = Safety Factor คือ 0.8 × อายุเริ่มร้าว



ภาพที่ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรอยแตกกับ ชม.บิน ของอายุเริ่มร้าวเร็วที่สุด ก่อนและหลังติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาถึงผลกระทบของแรงทางอากาศพลศาสตร์ที่กระทำต่อประตูฐานล้อหัว และแรงปะทะที่เกิดจากการจำลองการเปิด-ปิดประตูฐานล้อหัว พบว่าแรงทางอากาศพลศาสตร์ที่ไหลผ่านแบบจำลองของประตูฐานล้อหัวด้วยมุมการบินต่าง ๆ กัน 5 มุม ทำให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises ณ ตำบลวิกฤตของกึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้ามีค่าน้อยมาก โดยค่าความเค้นที่ได้ไม่สามารถทำให้กึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าเกิดการแตกร้าวเนื่องจากการล้า ส่วนแรงปะทะที่เกิดจากการจำลองการปิดประตูฐานล้อหัวเข้าชนกับขอบของช่องเก็บฐานล้อหัว มีค่าความเค้นแบบ Von Mises ณ ตำบลวิกฤตของกึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าค่อนข้างสูง ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นนี้สามารถทำให้กึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าแตกร้าวเนื่องจากความล้าได้ โดยมีจำนวนครั้งการเปิด-ปิด เมื่อประตูเริ่มร้าว มีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณที่ได้จากการใช้งานจริง

เมื่อทำการออกแบบวัสดุเสริมความแข็งแรงเป็นรูปตัว C มีรัศมีความโค้งของมุมขนาด 3 mm และนำไปติดตั้งกับกึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าในตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่ง พบว่าเมื่อติดตั้งในตำแหน่งติดกับ Web ของกึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้าแล้ว ทำให้ค่าความเค้นแบบ Von Mises ณ ตำบลวิกฤตมีค่าลดลงมากที่สุดจากเดิมก่อนติดตั้ง และยังเป็นการเพิ่มจำนวนครั้งในการเปิด-ปิดประตูขึ้นอีก 60% ซึ่งเมื่อนำไปติดตั้งใช้งานจริงจะทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 958.24 ชม.บิน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการลดความเค้น ณ ตำบลวิกฤต และยังเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับกึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า ทำให้สามารถรับภาระกรรมได้เพิ่มขึ้นและใช้งานได้นานขึ้น

ผลของงานวิจัยนี้ยังนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจของผู้ใช้งาน ในการพิจารณากำหนดการตรวจรอยร้าว และวงรอบการตรวจรอยร้าวที่เกิดขึ้นกับกึ่งประตูยึดบานพับตำแหน่งหน้า ตลอดจนการติดตั้งวัสดุเสริมความแข็งแรงและแนวทางการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถนำวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศ และความแข็งแรงของชิ้นส่วน โครงสร้างอากาศยานส่วนอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของชิ้นงานจริง ถ้าเขียนแบบได้ใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง จะให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับทักษะความสามารถในการใช้งาน โปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ ของผู้ทำงานวิจัย ข้อมูลของชิ้นงานจริง และระยะเวลาที่ใช้
2. การวิเคราะห์การไหลของกระแสอากาศผ่านแบบจำลอง และการวิเคราะห์ความแข็งแรง โครงสร้างของประตูล้อหัว ถ้าสามารถสร้างโครงร่างตาข่ายด้วยชิ้นประกอบที่เหมาะสมให้กับ แบบจำลอง และมีจำนวนเอลิเมนต์ที่มีความละเอียด จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งจะใช้เวลาในการประมวลผลนาน และขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้
3. การออกแบบวัสดุเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับชิ้นส่วน โครงสร้างอากาศยาน ควรคำนึง ถึงความสามารถในการรับ ภาระกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจจะมีผลต่อโครงสร้างส่วนอื่น ๆ
4. ความถูกต้องของผลที่ได้จากการจำลองในคอมพิวเตอร์ ควรมีการเปรียบเทียบกับผล ที่ได้จากการใช้งานจริง ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการใช้งานจริง
5. กงประดิษฐ์คานพับตำแหน่งหน้าเป็นวัสดุที่ไม่ใช่โครงสร้างหลักที่สำคัญ ดังนั้นการ คัดแปลงอะไรที่จะส่งผลให้ดีขึ้นจึงไม่มีความจำเป็น จึงควรใช้วิธีการตรวจเป็นห้วงเวลา เมื่อเห็นว่า เกิดรอยแตกร้าวขึ้นควรใช้วิธีถอดเปลี่ยนจะเป็นการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

วุฒิชัย เครื่องถมยา. 2539. การศึกษาวิธีการลดน้ำหนักของชิ้นส่วนตามแนวขวางกับกางปีกของอากาศยาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพร ว่างฉาย. 2549. **SolidWorks/COSMOSWorks** ขั้นพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., กรุงเทพฯ.

สุธีระ ประเสริฐสรรพ. 2535. กลศาสตร์แตกหัก. ม.ป.ท.

Anderson, T.L. 1995. **Fracture Mechanics Fundamentals and Applications**. 2nd ed., CRC Press, Inc., United States of America.

Anderson, J.D. 1991. **Fundamentals of Aerodynamics**. 2nd ed., McGraw-Hill, Inc., Singapore.

The Royal Thai Air Force, 1993. **Landing Gear and Brake Systems L39ZA/ART Aircraft**. n.p.

The United States Air Force, 2003. **Metallic Properties Development and Standardization (MMPDS) Handbook**. n.p.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นาวาอากาศตรี สมชาย เรืองบุญสุข
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 11 กันยายน 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมการบินและอวกาศ โรงเรียนนายเรืออากาศ กองบัญชาการฝึกศึกษาทหาร อากาศ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์และป้องกันอุบัติเหตุทางช่าง แผนก วิศวกร กองวิทยาการ กรมช่างอากาศ กองบัญชาการ สนับสนุนทหารอากาศ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมช่างอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ

