

การวิเคราะห์ความเสียหายของหีบประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
เนื่องจากปัจจัยทางกล

นางสาวฐวิศณี ปัทมประดิษฐ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

**ANALYSIS OF HARD DISK DRIVE SHIPPING COMB
FAILURE DUE TO MECHANICAL FACTORS**

Thawisane Pattamapradit



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

การวิเคราะห์ความเสียหายของทวีปประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟ
เนื่องจากปัจจัยทางกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ สีวงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ

(อ. ดร.สุภกิจ รูปจันทร์)

กรรมการ

(อ. ดร.วุฒิ ดำนกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ฐวิสณี ปัทมประดิษฐ์ : การวิเคราะห์ความเสียหายของหัวประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ
เนื่องจากปัจจัยทางกล (ANALYSIS OF HARD DISK DRIVE SHIPPING COMB DUE TO
MECHANICAL FAILURE) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์, 174 หน้า

กระบวนการประกอบชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลเป็นการนำเอาชิ้นส่วนหัวอ่านเขียน (Head Gimbal Assembly) หลาย ๆ ตัวประกอบเข้ากับ Actuator เมื่อประกอบเสร็จจะต้องสวมชิ้นส่วนที่เรียกว่า หัวประกอบชุดหัวอ่าน (Shipping Comb) เข้ากับชุดหัวอ่านเขียนเพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หัวอ่านเขียนเกิดการสัมผัสและกระทบกระเทือน หัวประกอบชุดหัวอ่านนี้จะประกอบอยู่กับชุดอ่านเขียนจนกระทั่งกระบวนการนำชุดหัวอ่านไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ Shipping Comb จะถูกถอดออกจากชุดหัวอ่านแล้วนำกลับมาใช้ในการผลิต HSA รอบใหม่ จากการตรวจสอบสภาพการใช้งานก่อนที่จะนำ Shipping Comb ไปใช้ในกระบวนการผลิตในครั้งต่อ ๆ ไปจะพบว่า มีชิ้นงานจำนวนหนึ่งหักงอไม่สามารถนำมาใช้งานต่อได้ โดยตำแหน่งที่เกิดเสียหายเป็นจำนวนมาก ได้แก่ Pin Latch และ Z-Latch ซึ่งล้วนแต่เป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ใช้ในการจับยึดกับชุดหัวอ่านทั้งสิ้น สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายเกิดจากการได้รับแรงกระทำภายนอกที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต การล้างและการออกแบบรูปร่างของชิ้นงานที่ทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาหาสาเหตุที่ทำให้ Shipping Comb เสียหายเนื่องจากปัจจัยทางกล โดยวิเคราะห์หาสาเหตุการเสียหายด้วยการสร้างเครื่องทดสอบชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่งเพื่อวิเคราะห์ทิศทางและขนาดของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อจำลองการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนของ Shipping Comb ในตำแหน่งที่พบการเสียหายมากให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น จากผลการศึกษาจะพบชิ้นงานที่เสียหายในส่วน Pin เป็นจำนวนมากที่สุด ต่อมาเป็น Latch และ Z-Latch ตามลำดับ ซึ่งจากการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานทั้ง 3 ส่วน จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ออกแบบใหม่สามารถรับแรงกระทำได้มากขึ้น อีกทั้งค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานยังมีค่าลดลงอีกด้วย ทั้งนี้ในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนดังกล่าวสอดคล้องกับการใช้งานจริงและเป็นแนวทางให้บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ได้นำไปเป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงไปใช้รูปร่างชิ้นงานใหม่ต่อไป

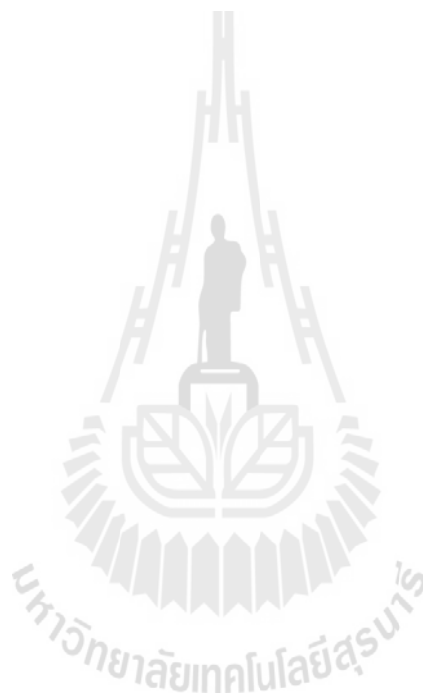
THAWISANEE PATTAMAPRADIT : ANALYSIS OF HARD DISK DRIVE
SHIPPING COMB FAILURE DUE TO MECHANICAL FACTORS

THESIS ADVISOR : SOMSAK SIWADAMRONGPONG, Ph.D., 174 PP.

HEAD STACK ASSEMBLY/ SHIPPING COMB/ FAILURE/ EXTERNAL LOAD/
FINITE ELEMENT/ IMPROVEMENT

Head stack assembly (HSA) process is one of HDD manufacturing process which assembles some of head gimbal assembly (HGA) with actuator. After that each of HGA has worn by component called "Shipping comb" to separate and protect them from contact each together and impact along process. Shipping comb has been used until the end of the process, HSA will be taken to HDD assembly process while shipping comb will be taken to HSA process again. The reuse shipping comb must be check before using in the new process and found that there is damage shipping comb like broken or bend that cannot use. The mostly failures occur at Pin, Latch and Z-Latch respectively. These are important positions that whole use to assemble with HSA. The reasons that make shipping comb failure cause from external load occur during the process, cleaning and design of shipping comb model. Therefore this research aim to study shipping comb failure factors by building fixtures to test shipping comb in 3 positions and using finite element method to simulate stress distribution. This research aims to find directions and force magnitude which cause shipping comb damage also improvement model at weak point to increase lifetime for using. From the study found that, Pin is the most failure form HSA process. Secondary is Latch and the last is Z-Latch. From improvement shipping comb at these failure areas, the new design able to obtain external load more than old design also

the maximum stress which occurs on the weak point is decrease. In order that, the new design must be consistent with condition for assemble shipping comb into HSA. Finally, this research data is for Seagate Technology (Thailand) Co.,Ltd in considering adjust the new model later.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2010

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ หากไม่ได้รับความกรุณาความช่วยเหลือการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทาง ดังนั้นจึงขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานเหล่านี้

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

บริษัท โคราชพีริซัน จำกัด ที่ทำการสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อใช้ในงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ จำปาศ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นอย่างดี

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ รองคณบดีฝ่ายวิชาการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำการวิจัย

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้ความรู้ช่วยเหลือสนับสนุนให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำการวิจัย จนทำให้ผู้วิจัยฟันฝ่าอุปสรรคต่าง ๆ ไปได้ด้วยดี

อาจารย์ ดร.สุภกิจ รูปจันทร์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม Ansys Workbench

คุณนวลพรรณ ใจงาม คุณอัญชติ อึ้งธรรมกุล คุณสุรียา สุภา และ คุณวิริยะ อยู่เป็นสุข วิศวกรแผนก HSA Process Development บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำให้ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณจิรทีปต์ สุทธิลักษณ์ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine 5560

คุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ พันเอกวิศิษฐ์-นางสุภาณี ปัทมประดิษฐ์ ที่ได้ให้การเลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ส่งเสริมการศึกษา และคอยเป็นกำลังใจในการดำเนินการวิจัยจนประสบความสำเร็จ

ฐวิสณี ปัทมประดิษฐ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ด
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....	3
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล.....	5
2.2 พลาสติกที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม.....	7
2.3 การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุ (Material Failure).....	9
2.4 ทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียว.....	12
2.5 ทฤษฎีความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration).....	17
2.6 ทฤษฎีไฟไนท์เอลิเมนต์.....	20
2.7 ฟิกเจอร์.....	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1	ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหวีประกอบชุดหัวอ่าน และกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน	28
3.2	การจำแนกลักษณะการพังเสียหายของหวีประกอบ ชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	28
3.3	การทดสอบชิ้นงานให้เสียหายด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560	29
3.3.1	การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาผลิตเป็น Shipping Comb	29
3.3.2	ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบชิ้นงาน	29
3.3.3	ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ	32
3.3.4	การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine 5560	34
3.4	การวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยโปรแกรม วิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์	35
3.4.1	ชิ้นงานทดสอบ.....	36
3.4.2	รายละเอียดตำแหน่งที่ทำการศึกษา	37
3.4.3	แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	38
3.4.4	การเลือกเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลอง ทางไฟไนต์เอลิเมนต์	38
3.4.5	การกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition)	39
3.5	การออกแบบปรับปรุง Shipping Comb.....	40
4	ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล.....	41
4.1	ผลการจำแนกลักษณะการเสียหายของ Shipping Comb	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1	การเสียหายของ Pin.....	43
4.1.2	การเสียหายของ Latch.....	45
4.1.3	การเสียหายของ Latch.....	46
4.2	ผลการทดสอบและการจำลองการเสียหายของชิ้นงาน.....	51
4.2.1	ผลการทดสอบและการจำลองการเสียหาย ของชิ้นงานมาตรฐาน (Specimens)	52
4.2.2	ผลการทดสอบและการจำลองการเสียหายของ Pin	56
4.2.3	ผลการวิเคราะห์การเสียหายของ Latch.....	66
4.2.4	ผลการวิเคราะห์การเสียหายของ Z-Latch.....	74
4.2.5	เปรียบเทียบผลการทดสอบและการจำลอง ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	82
4.3	ผลการออกแบบปรับปรุง Shipping Comb.....	83
4.3.1	ออกแบบปรับปรุง Pin	84
4.3.2	ออกแบบปรับปรุง Latch.....	103
4.3.3	ออกแบบปรับปรุง Z-Latch.....	116
4.3.4	การแบ่งเอลิเมนต์ย่อย ๆ เพื่อทำการคำนวณ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	123
4.4	การพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นงานที่ได้ออกแบบปรับปรุง (เพิ่มเติม).....	125
4.4.1	การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin	125
4.4.2	การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Latch	135
4.4.3	การพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นส่วน Z-Latch	142
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	147
5.1.1	ผลการศึกษาลักษณะการใช้งานและความเสียหายที่เกิดขึ้น จาก Shipping Comb.....	147

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และผลทดสอบ Shipping Comb.....	148
5.1.3 ผลการออกแบบปรับปรุง shipping Comb.....	149
5.1.4 การพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นงาน ที่ได้ออกแบบปรับปรุง (เพิ่มเติม).....	149
5.2 ข้อเสนอแนะ	150
รายการอ้างอิง	151
ภาคผนวก	153
ภาคผนวก ก. ข้อมูลเกี่ยวกับหวีประกอบชุดหัวอ่านและกระบวนการ ประกอบชุดหัวอ่าน	153
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560	160
ภาคผนวก ค. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	167
ประวัติผู้เขียน.....	174

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 แสดงค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาทำ Shipping comb	36
4.1 แสดงการจำแนกประเภทการเสียหายของ Shipping comb	41
4.2 แสดงจำนวนชิ้นงานเสียหายในลักษณะต่าง ๆ.....	49
4.3 แสดงผลการทดสอบการดึง Specimen จำนวน 5 ชิ้น ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560.....	54
4.4 แสดงผลการจำลองการเสียหายของ Specimen ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 12.0	55
4.5 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Pin หัก ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560.....	58
4.6 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง การหักของ Pin ด้วยการใส่โหลดบริเวณตรงกลาง Pin.....	61
4.7 แสดงผลการทดสอบ Pin ให้เสียรูปโดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560	62
4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง การเสียรูปของ Pin ด้วยการใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin.....	65
4.9 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Latch หัก ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560	68
4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้ จากการจำลองการหักของ Latch ในทิศทาง +y	69
4.11 แสดงผลการทดสอบ Latch โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560	71
4.12 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้ จากการจำลองการเสียรูปของ Latch ในทิศทาง -y	72
4.13 แสดงผลการทดสอบ Z-Latch โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.14 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง การเสียบรูปของ Z-Latch ในทิศทาง +y และ -y	78
4.15 แสดงผลการทดสอบ Z-Latch โดยกำหนดระยะเวลาการเคลื่อนที่ ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560	79
4.16 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง การเสียบรูปของ Z-Latch ในทิศทาง +x และ -x	81
4.17 แสดงเปรียบเทียบผลการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Shipping comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง	82
4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 3 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้งทั้งหมด 7 ค่า	91
4.19 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 4 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง	95
4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ Pin ปัจจุบันกับ Pin เนื้อเดิม	99
4.21 แสดงค่าความเค้น ความเครียด และระยะเวลาเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ของชิ้นส่วน Pin ที่ได้ออกแบบใหม่ทั้ง 6 แบบ	100
4.22 แสดงค่าความเค้น ความเครียด และระยะเวลาเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ของชิ้นส่วน Latch ที่ได้ออกแบบใหม่ทั้ง 6 แบบ	113
4.23 แสดงผลการทดสอบ Latch Force ของชิ้นงานทั้ง 6 แบบ	115
4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 1 โดยเพิ่ม/ลด ส่วนโค้งด้านใน	120
4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 2 โดยเพิ่ม/ลด ส่วนโค้งด้านนอก	122
4.26 แสดงผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของ Pin	123
4.27 แสดงผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของ Latch.....	124
4.28 แสดงผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของ Z-latch.....	124
4.29 แสดงแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบันภายหลัง ใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับและแนวตั้ง	126
4.30 แสดงแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 ภายหลังใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับ.....	131
4.31 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 ภายหลังใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวตั้ง.....	132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.32 แสดงแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 ภายหลังใส่โหนดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับ	138
4.33 แสดงแสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 ภายหลังใส่โหนดกระทำกับชิ้นงานในแนวตั้ง	139
4.34 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latchภายหลังใส่โหนดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับ	143
4.35 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latchภายหลังใส่โหนดกระทำกับชิ้นงานในแนวตั้ง	144
5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Shipping comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง	148
ข.1 แสดงผลการทดสอบดึงชิ้นงานมาตรฐาน	161
ข.2 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Pin หักเมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y.....	162
ข.3 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Pin หักเมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y.....	162
ข.4 แสดงผลการทดสอบ Pin ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y.....	163
ข.5 แสดงผลการทดสอบ Pin ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y.....	163
ข.6 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Latch หักเมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y.....	164
ข.7 แสดงผลการทดสอบ Pin ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y.....	164
ข.8 แสดงผลการทดสอบ Z-latch ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y.....	165
ข.9 แสดงผลการทดสอบ Z-latch ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y.....	165
ข.10 แสดงผลการทดสอบ Z-latch ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +z.....	166

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการใช้งาน Shipping comb ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน	2
2.1 แสดง Head Stack Assembly	5
2.2 แสดง Shipping comb	6
2.3 แสดงชุดอ่านเขียนข้อมูล	6
2.4 แสดงชุด Actuator Arm	7
2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโพลีคาร์บอเนต.....	8
2.6 แสดงการแตกแบบเปราะ.....	10
2.7 แสดงการเสียหายแบบเหนียว	11
2.8 แสดง State of Stress	13
2.9 แสดง Uniaxial State of Stress.....	13
2.10 แสดงความเค้นใน 1 มิติ.....	14
2.11 แสดงกราฟ Von Mises Yield Criterion.....	16
2.12 แสดง Yield Surface ใน 3 แกน	16
2.13 แสดงเปรียบเทียบ Tresca Yield Criterion กับ Von Mises Yield Criterion.....	18
2.14 แสดงความคั่นหนาแน่นบนชิ้นส่วนบริเวณหน้าตัดเป็นร่อง หน้าตัดมีรูเจาะและบริเวณฟิลเลต.....	17
2.15 แสดงตัวประกอบความคั่นหนาแน่นสำหรับ หน้าตัดเป็นรูเจาะ และบริเวณฟิลเลต.....	19
2.16 แสดงการแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ต่าง ๆ.....	21
2.17 แสดงการแบ่งชิ้นงานออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย.....	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย	27
3.2 แสดง Shipping Comb โมเดล Moose.....	28
3.3 แสดงชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตผสมคาร์บอนแบล็ค ที่ใช้ในการทดสอบการดึง	29
3.4 แสดงเครื่อง Universal Testing Machine 5560	30
3.5 แสดงอุปกรณ์จับยึด Shipping comb เพื่อใช้ประกอบเข้ากับ Gripper ด้านล่าง	31
3.6 แสดงอุปกรณ์จับยึด Shipping comb เพื่อใช้ประกอบเข้ากับ Gripper ด้านบน	32
3.7 แสดงทิศทางการทดสอบ Pin, Latch, Z-Latch	33
3.8 แสดงการทดสอบ Pin.....	33
3.9 แสดงการทดสอบ Latch	33
3.10 แสดงการทดสอบ Z-Latch	34
3.11 แสดง Specimen จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWork 2010.....	36
3.12 แสดงชิ้นส่วน Pin	37
3.13 แสดงชิ้นส่วน Latch	37
3.14 แสดงชิ้นส่วน Z-Latch.....	38
3.15 แสดงตำแหน่งการจับยึด Shipping comb โดยอ้างอิงตำแหน่ง ของชุดอุปกรณ์จับยึด.....	39
3.16 แสดงทิศทางการใส่โหลด	40
4.1 แสดงชิ้นงาน Pin ปัจจุบัน	43
4.2 แสดงรูปแบบการหักของ Pin	44
4.3 แสดงลักษณะผิวหน้าที่เสียหายจากการหักของ Pin.....	44
4.4 แสดงรูปแบบการงอของ Pin	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงชิ้นงาน Latch ปัจจุบัน	45
4.6 แสดงรูปแบบการเสียหายของ Latch	46
4.7 แสดงชิ้นงาน Z-Latch ปัจจุบัน	47
4.8 แสดงรูปแบบการหักของ Z-Latch.....	47
4.9 แสดงการเสียรูปของ Z-Latch	48
4.10 แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto) แสดงจำนวนการเสียหาย ของชิ้นงานรูปแบบต่าง ๆ	50
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียด ของชิ้นงานทดสอบมาตรฐาน	52
4.12 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้น บน Specimen โพลีคาร์บอเนต.....	53
4.13 แสดงผลการทดสอบการดึง Specimen ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560.....	54
4.14 แสดงทิศทางการใส่โหลดให้กับ Pin	56
4.15 แสดงการจับยึด Pin เพื่อทดสอบหักชิ้นงานในทิศทาง $-y$ และ $+y$	57
4.16 แสดงลักษณะของ Pin ที่หักจากการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง	58
4.17 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงกลางกระทำในทิศทาง $-y$	59
4.18 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงกลางกระทำในทิศทาง $+y$	60
4.19 แสดงการจับยึด Pin เพื่อทดสอบให้ชิ้นงานเสียรูป ในทิศทาง $-y$ และ $+y$	61
4.20 แสดงลักษณะของ Pin ที่หักจากการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง	62
4.21 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงปลายกระทำในทิศทาง $-y$	63
4.22 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงปลายกระทำในทิศทาง $+y$	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 แสดงทิศทางการใส่โหลดให้กับ Latch	66
4.24 แสดงการจับยึด Latch เพื่อทดสอบหักชิ้นงาน ในทิศทาง +y	67
4.25 แสดงลักษณะของ Latch ที่หักจากการทดสอบในทิศทาง +y	68
4.26 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y	69
4.27 แสดงการจับยึด Latch เพื่อทดสอบหักชิ้นงาน ในทิศทาง -y	70
4.28 แสดงลักษณะของ Latch ที่เสียรูปจากการทดสอบในทิศทาง -y	71
4.29 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง -y	72
4.30 แสดงทิศทางการใส่โหลดให้กับ Z-Latch	74
4.31 แสดงการจับยึด Z-Latch เพื่อทดสอบชิ้นงาน ในทิศทาง -y และ +y	75
4.32 แสดงลักษณะของ Z-Latch ที่เสียรูปจากการทดสอบในทิศทาง +y และ -y	76
4.33 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y	77
4.34 แสดงการจับยึด Z-Latch เพื่อทดสอบชิ้นงานในทิศทาง +x	78
4.35 แสดงลักษณะของ Z-Latch ที่เสียรูป จากการทดสอบในทิศทาง +x เมื่อเทียบกับชิ้นงานปกติ	79
4.36 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง +x	80
4.37 แสดงลักษณะการประกอบ Shipping comb เข้ากับ Actuator	83
4.38 แสดงบริเวณการเสียหายของ Pin	84
4.39 แสดงแบบของ Pin อันใหม่	85
4.40 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin ปัจจุบัน	87
4.41 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 1	88
4.42 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 2	89
4.43 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 3 รัศมีส่วนโค้ง 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 มิลลิเมตร	90

สารบัญรูปรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.44 แสดงกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบันกับ Pin แบบที่ 3 รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ	91
4.45 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 4 โดยการเพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงาน โดยไม่เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง.....	93
4.46 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 4 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 3 4 5 6 และ 7 มิลลิเมตร	94
4.47 แสดงกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบันกับ Pin แบบที่ 4 รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ	95
4.48 แสดงกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นบน Pin แบบที่ 3 และ 4.....	96
4.49 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 5.....	97
4.50 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 6.....	98
4.51 แสดงกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบันกับ Pin ที่ออกแบบใหม่	101
4.52 แสดงบริเวณการเสียหายของ Latch.....	103
4.53 แสดงแบบของ Latch อันใหม่	104
4.54 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบปัจจุบัน	106
4.55 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 1	107
4.56 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 2	108
4.57 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 3	109
4.58 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 4	110
4.59 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 5	111
4.60 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 6.....	112
4.61 แสดงกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นบน Latch ปัจจุบันกับ Latch ที่ออกแบบใหม่.....	113
4.62 แสดงรูปแบบการเสียหายของ Z-Latch.....	116

สารบัญรูป (ต่อ)

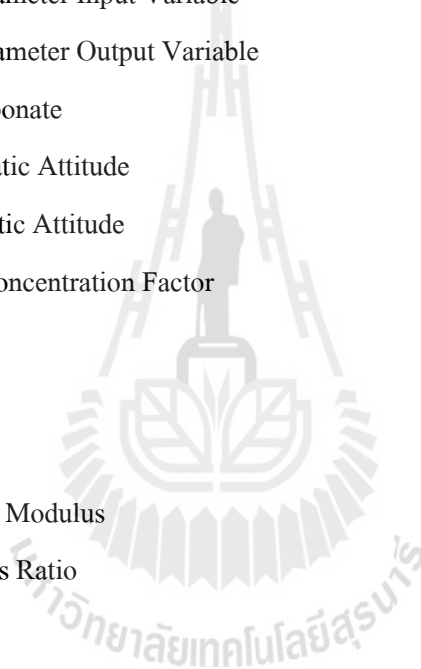
รูปที่	หน้า
4.63 แสดงแบบของ Z-Latch อันใหม่.....	117
4.64 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบปัจจุบัน	118
4.65 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบที่ 1 ส่วน โคน 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 มิลลิเมตร	119
4.66 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบที่ 2 ส่วน โคน 0.5 0.6 0.75 และ 1 มิลลิเมตร	121
4.67 แสดงกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นบน Z-Latch ปัจจุบันกับ Z-Latch ที่ออกแบบใหม่	122
4.68 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้น กับ Pin แบบปัจจุบัน	125
4.69 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบัน โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ	127
4.70 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบัน โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวตั้งที่มุมองศาต่าง ๆ	127
4.71 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5	129
4.72 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 6.....	130
4.73 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ	133
4.74 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ	133
4.75 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและ Latch แบบที่ 6.....	135
4.76 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบัน	136
4.77 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบที่ 6.....	137
4.78 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ	140

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.79 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวตั้งที่มุมองศาต่าง ๆ	140
4.80 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Z-latch	142
4.81 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latch โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ	145
4.82 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวตั้งที่มุมองศาต่าง ๆ	145
ก.1 แสดง Shipping comb รุ่น Moose.....	154
ก.2 แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ของ Shipping comb ที่ใช้สำหรับการจับยึด บนชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	155
ก.3 แสดงลักษณะการจับยึด Shipping comb เข้ากับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	155
ก.4 แสดงขั้นตอนการใช้งาน Shipping Comb ในกระบวนการประกอบ ชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	156
ก.5 แสดง Shipping comb ที่จะนำมาล้าง.....	156
ก.6 แสดงอ่างล้างชิ้นงาน	157
ก.7 แสดงการสวมหัวเข้ากับชุดหัวอ่านที่ประกอบเสร็จ	157
ก.8 แสดงชุดหัวอ่านที่จะนำไปล้างด้วยสารละลาย	158
ก.9 แสดงการวัดค่า Gram Load.....	159
ก.10 แสดงการบรรจุชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	159

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society for Testing and Materials
HDD	Hard Disk Drive
HGA	Head Gimbal Assembly
HSA	Head Stack Assembly
KPIV	Key Parameter Input Variable
KPOV	Key Parameter Output Variable
PC	Polycarbonate
PSA	Pitch Static Attitude
RSA	Roll Static Attitude
K	Stress Concentration Factor
R	Radius
σ	Stress
ε	Strain
E	Young's Modulus
ν	Poisson's Ratio



บทที่ 1

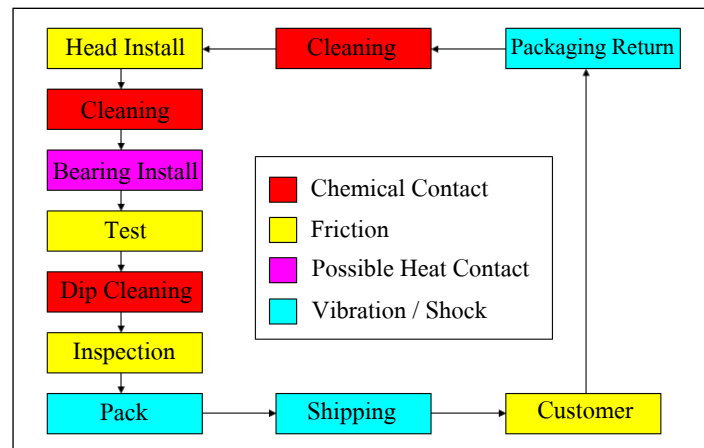
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการรับ-ส่ง เก็บ หรือประมวลผลข้อมูลมีความสำคัญอย่างมากต่อการดำรงชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม การศึกษา การแพทย์ และอื่น ๆ เทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลจึงถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นจึงเกิดการแข่งขันและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการพัฒนาออกแบบมีประสิทธิภาพสูง มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และใช้งาน ได้สะดวก ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จัดเก็บข้อมูลที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็น 5 กระบวนการหลัก คือ

- 1) กระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Fabrication)
- 2) กระบวนการผลิตหัวอ่านและเขียนข้อมูล (Slider Fabrication)
- 3) กระบวนการผลิต Head Gimbal Assembly (HGA)
- 4) กระบวนการผลิต Head Stack Assembly (HSA)
- 5) กระบวนการผลิต Hard Disc Drive (HDD)

กระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่านและเขียนข้อมูล (Head Stack Assembly : HSA) เป็นกระบวนการนำเอาชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล (Head Gimbal Assembly : HGA) หลาย ๆ ตัว มาซ้อนกันเป็นชั้นในแนวตั้งและประกอบเข้ากับ Actuator เมื่อทำการประกอบชิ้นส่วน HSA เรียบร้อยแล้วจะต้องมีการสวมชิ้นส่วนที่เรียกว่า หัวประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Shipping Comb) เข้าไปคั่นระหว่างหัวอ่านแต่ละตัวไม่ให้สัมผัสกัน เพื่อป้องกันผลเสียที่เกิดขึ้นต่อผลิตภัณฑ์ Shipping Comb จะถูกนำมาใช้ตั้งแต่ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วน การล้างทำความสะอาด การติดตั้งแบร์ริง การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน การบรรจุจัดเก็บ การขนส่งผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงถูกถอด-เข้าออกหลายครั้งและถูกเคลื่อนย้ายไปพร้อมกับชุดหัวอ่านไปจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิต Shipping Comb จะถูกถอดออกอย่างถาวรหลังจากขนส่งชุดหัวอ่านไปยังกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และถูกนำกลับมาใช้ในการผลิต HSA รอบใหม่ ลักษณะการใช้งานของ Shipping Comb ในกระบวนการผลิต Head Stack Assembly ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการใช้งาน Shipping Comb ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน

จากการตรวจสอบสภาพการใช้งานของ Shipping Comb ก่อนที่จะนำไปใช้กระบวนการผลิต HSA ครั้งต่อ ๆ ไปจะพบว่า มีชิ้นงานจำนวนมากชิ้นหักงอไม่สามารถนำมาใช้งานต่อได้ สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายเกิดจากการได้รับผลกระทบจากสารเคมี อุณหภูมิ และแรงทางกลที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงต้องทำการคัดแยกชิ้นงานที่เสียหายออกและคัดเลือกชิ้นงานที่ยังมีสภาพดีอยู่ นำไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งการนำ Shipping Comb กลับมาใช้ นั้นยังไม่มีการศึกษาอายุการใช้งานอย่างเป็นระบบจึงไม่สามารถมีเกณฑ์ในการตัดสินใจเปลี่ยน Shipping Comb ชุดใหม่เข้าสู่กระบวนการผลิตแต่ใช้วิธีเสริมจำนวนเข้าไปทดแทนชิ้นงานที่ถูกคัดแยกออกเท่านั้น ดังนั้นหากสามารถทราบสาเหตุที่ทำให้ Shipping Comb เสียหายอย่างแท้จริงและหาแนวทางในการปรับปรุงออกแบบให้ Shipping Comb มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้นก็จะเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การใช้วัสดุให้คุ้มค่า และลดต้นทุนแรงงานในการคัดแยกได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาหาสาเหตุที่ทำให้ Shipping Comb เสียหายเนื่องจากได้รับผลกระทบทางกล
- 2) เพื่อวิเคราะห์การเสียหายของ Shipping Comb โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 3) เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนต่างๆ ของ Shipping Comb ให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ศึกษา Shipping Comb โมเดล Moose ที่ใช้ประกอบกับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขนาด 3.5 นิ้ว ของบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด
- 2) งานวิจัยนี้เน้นการวิจัยด้านผลกระทบทางกลเท่านั้น
- 3) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ansys Workbench 12.0 สร้างแบบจำลอง ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของความเค้นความเครียดและการเสียหายของชิ้นงาน
- 4) ทดสอบการเสียหายด้วยเครื่องทดสอบแรงทางกล
- 5) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SolidWorks 2010 ในการออกแบบปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน

1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1) ศึกษาและเก็บข้อมูลทางเทคนิค วัสดุ และกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับ Shipping Comb
- 2) ทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อระบุ KPIV และ KPOV ของชิ้นงาน
- 3) จำแนกและศึกษาลักษณะการเสียหายของชิ้นงานที่ถูกคัดแยกออกจากกระบวนการผลิต HSA
- 4) สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์การเสียหาย
- 5) ออกแบบการทดลองและสร้างอุปกรณ์จับยึดสำหรับนำชิ้นงานไปทดสอบ
- 6) ทดสอบการเสียหายด้วยเครื่องทดสอบแรงทางกล
- 7) เปรียบเทียบผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงทางกลกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อระบุสาเหตุการเสียหายที่แท้จริง
- 8) แก้ไขปรับปรุงชิ้นงานในส่วนที่เกิดความเสียหายและทำการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 9) วิเคราะห์ผลการวิจัย สรุปผล จัดทำรายงานและนำเสนอผลการศึกษา

1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เครื่องวัดสำหรับวัดแรงที่ใช้ในการสวมและถอด Shipping Comb กับชุดหัวอ่าน
- 2) เครื่องวัดขนาดด้วยเงา (Profile Projection)
- 3) เครื่องทดสอบการดึง (Universal Testing Machine 5560)
- 4) กล้องไมโครสโคป
- 5) คอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ SolidWork 2010 และ Ansys Workbench 12.0 ที่ใช้ประมวลผล

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถระบุสาเหตุการเสียหายของชิ้นงานได้
- 2) ช่วยลดความสูญเสียกำลังคนและเวลาในการตรวจสอบหิว
- 3) สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แรงงาน
- 4) สามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาปรับปรุงและออกแบบหิวให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานดียิ่งขึ้น

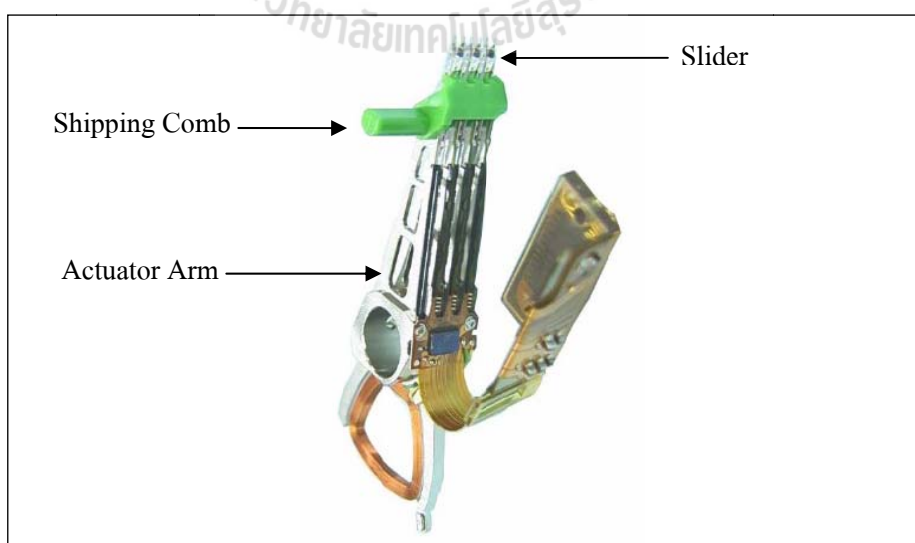


บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล (Head Stack Assembly : HSA)

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ทำงานโดยอาศัยหัวเขียนอ่านที่เป็นแม่เหล็ก เหนียวนำกับจานแม่เหล็กซึ่งหมุนด้วยรอบความเร็วสูง โดยชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ดังกล่าว เรียกว่า หัวอ่านเขียนข้อมูล (Slider) หัวอ่านเขียนนี้จะวางติดอยู่ที่ปลายแขนจับยึด (Suspension) ซึ่งจะถูกเรียกรวมกันว่าชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล (Head Gimbal Assembly : HGA) เมื่อนำชิ้นส่วน HGA มาวางซ้อน ๆ กันเป็นชั้นในแนวตั้งและประกอบเข้ากับแขนของหัวอ่าน (Actuator Arm) จะถูกเรียกว่า Head Stack Assembly ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยจะทำให้ชิ้นส่วน HGA สามารถอ่านและเขียนข้อมูลลงบนแผ่นบันทึกข้อมูล (Platter) หลาย ๆ แผ่นได้พร้อมกัน แผ่นบันทึกข้อมูลจะสามารถบันทึกข้อมูลได้ 2 ด้าน จึงจำเป็นต้องใช้ HGA จำนวน 2 ชิ้น ในการอ่านแผ่นบันทึกข้อมูล 1 แผ่น จำนวนแผ่นบันทึกข้อมูลจะมีผลต่อความจุของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วย ดังนั้นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่จุมาก ๆ ก็ต้องใช้แผ่นบันทึกมากขึ้น Shipping Comb จึงถูกนำมาติดตั้งบนชุด HGA ที่มีทั้งขนาด 4 6 หรือ 8 หัวอ่านขึ้นอยู่กับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์แต่ละรุ่นและ Shipping Comb ก็ยังมีรูปร่างหน้าตาที่แตกต่างกันออกไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดง Head Stack Assembly



รูปที่ 2.2 แสดง Shipping Comb

2.1.1 ชั้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล (Head Gimbal Assembly : HGA)

เป็นอุปกรณ์รองรับหัวอ่านเขียนข้อมูล ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลลอยอยู่บนผิวของแผ่นบันทึกข้อมูลในระยะความสูงที่เหมาะสมเพื่อการอ่านเขียนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นบันทึกข้อมูลในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ทำงานอยู่ ซึ่งระยะห่างของผิวหัวอ่านเขียนข้อมูลกับแผ่นบันทึกข้อมูลนั้นอยู่ในระดับนาโนเมตร โดย HGA 1 ชั้นจะอ่านเขียนข้อมูลบนแผ่นบันทึกข้อมูลได้เพียง 1 ด้านเท่านั้น ซึ่งในฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วย HGA จำนวนหลายชั้น ลักษณะชั้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงชุดอ่านเขียนข้อมูล (HGA)

2.1.2 แขนของหัวอ่านเขียนข้อมูล (Actuator Arm)

เป็นชั้นส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้าย HGA เพื่อควบคุมหัวอ่านเขียนข้อมูลซึ่งติดตั้งตรงส่วนปลายของ HGA ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง Track และ Sector ที่ต้องการอ่านเขียนข้อมูลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยมีระยะห่างระหว่างผิวหัวอ่านเขียนข้อมูลกับแผ่นบันทึกข้อมูลนั้นอยู่ในระดับนาโนเมตร Actuator Arm นี้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่มีผลต่อความเร็วในการอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพราะตัว Actuator Arm นี้จะต้องเคลื่อนที่นำพาหัวอ่านเขียนข้อมูล

ไปยังตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำ ไม่เช่นนั้นจะเป็นผลทำให้ความสามารถในการอ่านเขียนข้อมูลเร็วขึ้นตามไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันยังคงต้องรักษาความแม่นยำและความถูกต้องชนิดร็อยเปอร์เซ็นต์เต็ม ลักษณะชิ้นส่วนชุดอ่านเขียนข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงชุด Actuator Arm

2.2 พลาสติกที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

พลาสติก คือ สารสังเคราะห์ (Synthetic Materials) ที่มนุษย์คิดค้นขึ้นมามีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่มาก (Macromolecule) ประกอบด้วยธาตุสำคัญ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฯลฯ สมาคมวิศวกรรมพลาสติก (SPE) และสมาคมอุตสาหกรรมพลาสติก (SPI) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความของพลาสติกไว้ดังนี้ “พลาสติก คือ วัสดุที่ประกอบด้วยสารหลายอย่างมีน้ำหนักโมเลกุลสูงคงรูปเมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิต ลักษณะอ่อนตัวขณะทำการผลิต ซึ่งโดยมากใช้กรรมวิธีการผลิตด้วยความร้อนหรือแรงอัดหรือทั้งสองอย่าง”

พลาสติกเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เพราะพลาสติกส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ มีพลาสติกหลายชนิดที่มีเฉพาะธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนล้วน ๆ ผสมอยู่ แต่พลาสติกส่วนมากยังประกอบด้วยธาตุชนิดอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน ฟลูออรีน ฟอสฟอรัส กำมะถัน ฯลฯ พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กับเทอร์โมเซต (Thermoset) เทอร์โมพลาสติกเป็นกลุ่มที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้และเสียค่าใช้จ่ายในการตกแต่งน้อยกว่ามีความเหนียวดี สามารถทำให้มีความบางได้ตามต้องการ น้ำหนักเบา มีรอบในการผลิตน้อยจึงผลิตได้เร็วทำให้ได้ผลผลิตสูง สามารถให้สีได้หลากหลาย ส่วนเทอร์โมเซต

มีคุณสมบัติที่ไม่สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้ ไม่ค่อยหดตัว มีความแข็งตึง ด้านทานการขีดคราก ความชื้นและสารเคมีได้ดีเยี่ยม สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องการให้สี ความใสและการหล่อเข้าแบบ นอกจากนี้ถ้าจะแบ่งตามลักษณะการใช้งานก็จะแบ่งพลาสติกออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ พลาสติกใช้งานทั่วไป พลาสติกวิศวกรรม และสเปเชียลตีพลาสติก

1) พลาสติกใช้งานทั่วไปส่วนใหญ่เป็นจำพวกโพลิโพรพิลีน โพลิเอทิลีน โพลิสไตรีน โพลิไวนิลคลอไรด์ โพลิเมทิล เมทาคริเลต อะคริลิก เอบีเอส เอสเอเอ็น หรือแซน เป็นต้น

2) พลาสติกวิศวกรรม ได้แก่ โพลีออกซิเมทิลีน หรือพีโอเอ็ม โพลีคาร์บอเนต โมดิฟายด์ โพลีโพรพิลีนออกไซด์ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต โพลีบิวทิลีนเทรฟทาเลต เป็นต้น ลักษณะเด่นของพลาสติกวิศวกรรมที่แตกต่างจากพลาสติกใช้งานทั่วไป คือ พลาสติกวิศวกรรมจะมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่า มีน้ำหนักเบา สามารถปรับแต่งได้เหมือนโลหะ

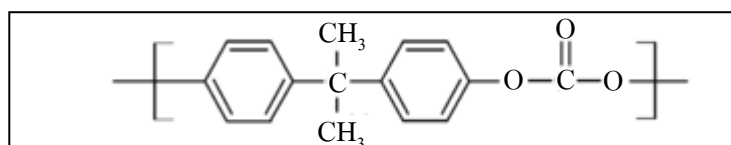
3) สเปเชียลตีพลาสติกเป็นพลาสติกชนิดพิเศษที่นอกเหนือจาก 2 กลุ่มแรกเช่น เทฟลอน เป็นต้น

2.2.1 โพลีคาร์บอเนต

โพลีคาร์บอเนตหรือที่รู้จักด้วยชื่อเครื่องหมายการค้า Lexan Makrolon Makrolear เป็นต้น เป็นกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก หรือ เรซิน เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลาย เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัวสามารถเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาวมีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมากจึงสามารถหลอมเหลวได้ หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมาก ๆ จะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม

2.2.2 โครงสร้างของโพลีคาร์บอเนต

โพลีคาร์บอเนตได้รับการเรียกตามโครงสร้างที่มีกลุ่มคาร์บอเนต (-O-(C=O)-O-) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โพลีคาร์บอเนตมีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงขีดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโพลีคาร์บอเนต

จากรูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของโพลีคาร์บอเนตจะเห็นโครงสร้างหกเหลี่ยมสองด้าน โครงสร้างหกเหลี่ยมนี้เรียกว่า กลุ่มฟีนิล (Phenyl Group) นอกจากนี้ยังจะเห็น CH_3 สองกลุ่ม เรียกว่า กลุ่มเมทิล (Methyl Group) โดยกลุ่มการแสดงของกลุ่มฟีนิลในห่วงโซ่โมเลกุลและด้านเมทิล

นำไปสู่ความแข็งแรงในระดับ โมเลกุลของโพลีคาร์บอเนต ความแข็งแรงนี้มีผลต่อคุณสมบัติของโพลีคาร์บอเนตโดยตรง

2.2.3 คุณสมบัติของโพลีคาร์บอเนต

โพลีคาร์บอเนตมาจาก Bisphenol (BPA) เป็นสารอินทรีย์ที่มีฟีนอลสองหมู่ฟังก์ชัน เป็นวัสดุที่คงทนมาก ถึงแม้จะทนต่อแรงกระแทกสูงแต่ก็มีความต้านทานรอยขีดข่วนต่ำ โพลีคาร์บอเนตมีอุณหภูมิการเปลี่ยนเนื้อแก้วประมาณ 150°C ค่ายังโมดูลัสประมาณ (E) 2.0-2.4 GPa ค่าความต้านทานแรงดึง 55-75 MPa เปรอร์เซ็นต์อีลองเกชัน 80-150%

2.2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโพลีคาร์บอเนต

ลักษณะของเรซินมีทั้งเป็นเม็ดใส เป็นผงและเป็นแผ่น เหมาะสำหรับใช้เป็นสารประกอบสำหรับงานขึ้นรูปเป็นหลัก เช่น การฉีดเข้าแม่พิมพ์หรือเอกซ์ทรูชัน ใช้ทำโคมไฟฟ้า กระจกเลนส์โคมไฟหน้าของรถยนต์ กระจกแว่นตา ภาชนะ ขวดพลาสติก ไซแพดเรือ และใช้เป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.3 การวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุ (Material Failure)

ในกระบวนการผลิตของโรงงานโดยทั่วไป วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เมื่อนำมาใช้งานในระยะหนึ่งย่อมจะเกิดปัญหาหรือความเสียหายซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดผลเสียต่อเศรษฐกิจ ถ้าหากวัสดุนั้นสามารถต้านทานความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ และใช้งานในสิ่งแวดล้อมได้ทุกรูปแบบแล้ว ในทางทฤษฎีสามารถกล่าวได้ว่าชิ้นส่วนที่ผลิตจากวัสดุชิ้นนั้น ๆ จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่ในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากมากเพราะวัสดุต่าง ๆ วัสดุต่าง ๆ มีโอกาสเกิดการเสียหายได้ทั้งนั้น ในบางครั้งวัสดุทางวิศวกรรมที่เราเลือกและคิดว่าดีที่สุดก็มีโอกาสเสียหายได้ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการตระหนักและมีความเข้าใจว่าวัสดุแต่ละชนิดสามารถเสียหายได้ในรูปแบบใดบ้างและเกิดได้อย่างไร เพื่อป้องกันปัญหาความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น

ความเสียหายของวัสดุไม่ได้มีความหมายเฉพาะการแตกหักหรือการแยกออกจากกันเท่านั้น แต่ยังหมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การสูญเสียเนื้อหรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล เมื่อชิ้นส่วนไม่สามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้ หรือเปลี่ยนหน้าที่และรูปร่างไปจากตอนเริ่มต้น เมื่อนั้นแสดงว่าชิ้นส่วนเกิดความเสียหายดังที่กล่าวนิยามมาแล้วนี้ สภาวะแวดล้อมในการใช้งานและแรงกระทำระหว่างการปฏิบัติการ มักเป็นสาเหตุแรกเริ่มที่นำไปสู่การเสียหาย โดยเฉพาะความเค้น แรงกระแทก และแรงจากการเสียดสีที่เป็นตัวอย่างของสภาวะการรับแรงที่นำไปสู่ความเสียหายของวัสดุค่อนข้างบ่อย และโดยเฉพาะกับปัจจัยที่เกิดร่วมกันระหว่างสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน มักนำไปสู่การเสียหายในอัตราที่เร็วยิ่งขึ้นการเสียหายของวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) และการเสียหายแบบเหนียว (Ductile Failure)

2.3.1 การแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture)

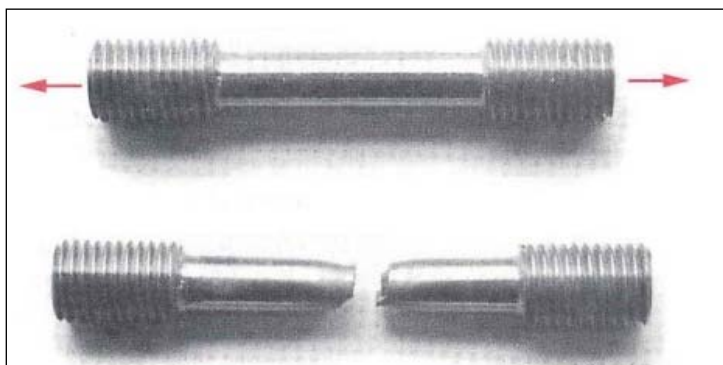
การแตกแบบเปราะของวัสดุเกิดขึ้นเมื่อการกระทำของแรงทางกลมีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานของแรงดึงสูงสุดของวัสดุ ทำให้วัสดุแตกออกจากกันเป็นสองชิ้นหรือมากกว่า โดยปรากฏการณ์ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) หรือการยืดตัวน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ปัจจัยที่แสดงตัวเป็นจุดเริ่มต้นการเกิดรอยร้าวและนำไปสู่การแตกเปราะ ได้แก่ ลักษณะเฉพาะของวัสดุและจุดบกพร่อง เช่น ร่องหลุม ช่องว่างขนาดเล็ก (Void) สิ่งเจือปน (Inclusion) รอยร้าว (Crack) และความเค้นตกค้าง (Residual Stress) การร้าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วขณะที่วัสดุกำลังรับแรง มีการดูดซับพลังงานในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการแตกแบบเหนียว รูปแบบการเสียหายนี้ส่วนใหญ่จะเกิดกับวัสดุที่เปราะ เซรามิกซ์และโลหะที่แข็ง เมื่อตรวจสอบผิวหน้าแตกหักจะมีลักษณะที่เรียบและวาว



รูปที่ 2.6 แสดงการแตกแบบเปราะ

2.3.2 การเสียหายแบบเหนียว (Ductile Failure)

วัสดุเหนียวที่ถูกใช้งานภายใต้สภาวะการได้รับความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) และความเค้นแรงกด (Compressive Stress) จะเกิดการยืดตัวแบบชั่วคราวและแบบถาวรจากแรงและมีการดูดซับพลังงานการเสียหายแบบเหนียวบางรูปแบบอาจทำให้วัสดุไม่สามารถเกิดการแตกหักได้แก่ การคราก (Yielding) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงเกินกว่าค่าความต้านทานแรงดึงจุดครากและไม่สามารถกลับมาสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้ และการเสียหายจากการโก่งงอ (Buckling) ปรากฏการณ์ทั้งสองนำไปสู่การแตกหักแบบเหนียว ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้อีกภายใต้แรงกระทำนั้น ๆ รูปแบบการเสียหายนี้ส่วนใหญ่จะเกิดกับวัสดุเหนียว เช่น โพลีเมอร์และโลหะ ลักษณะการเสียหายแบบเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการเสียหายแบบเหนียว

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความเสียหาย มีดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนและกระบวนการใช้งาน
 2) ตรวจสอบเบื้องต้นจากชิ้นส่วนที่เสียหายเพื่อคุณลักษณะการเสียหายของชิ้นงาน
 3) การตรวจสอบโดยไม่ทำลายเป็นการตรวจสอบหาจุดบกพร่องหรือความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานทั้งบริเวณผิวและภายในชิ้นงาน ทำให้ทราบถึงลักษณะและขนาดของรอยแตกที่แท้จริง รอย Crack เล็ก ๆ ที่ไม่เห็นด้วยตาเปล่า รวมทั้ง Defect ใต้ผิวชิ้นงาน

4) การตรวจสอบทางด้านเชิงกลเป็นการตรวจสอบที่ต้องมีการทำลายชิ้นตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบข้อมูลคุณสมบัติทางกลทราบว่าชิ้นงานแข็งแรงพอหรือไม่ ทราบคุณสมบัติที่สภาพอื่น ๆ เช่น ที่อุณหภูมิสูงและหาสภาพที่ไม่เหมาะสมในการใช้งาน การทดสอบเชิงกลที่ใช้ในงานวิเคราะห์มีดังนี้

- Tensile test
- Impact test
- Compressive test
- Hardness test
- Fatigue test
- Creep test

5) การตรวจสอบภายในเนื้อของวัสดุ โดยพิจารณาจากรอยแตกที่เกิดขึ้นจากบริเวณใด เช่น ตามแนวขอบแกรนหรือฝ่าแนวแกรน หรือดูสภาพโครงสร้างของวัสดุที่เกิดขึ้น

6) การตรวจสอบในสภาพที่คล้ายกับการใช้งานจริงเพื่อศึกษาถึงต้นเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นว่าเกิดขึ้นจากสาเหตุอะไรบ้าง และเพื่อศึกษาหาแนวทางในการแก้ไข

- 7) การวิเคราะห์ทางด้านเคมีของวัสดุเป็นการดูองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกับที่รายงานหรือรับรองไว้หรือไม่ เพื่อเป็นการยืนยันถึงสาเหตุปัญหาและแนวทางในการแก้ไขได้ดียิ่งขึ้น
- 8) การวิเคราะห์กลไกการเสียหาย
- 9) การสรุปผลเป็นการบอกว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากอะไร มีแนวทางในการแก้ไขอย่างไรและวิธีป้องกันการเกิดปัญหา

2.4 ทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียว (Failure Criterion for Ductile Material)

ทฤษฎีความเสียหายสำหรับวัสดุเหนียวมีอยู่ 2 ทฤษฎี คือ Tresca Yield Criterion และ Von Mises Yield Criterion ในงานวิจัยนี้จะขกกล่าวในส่วนของทฤษฎี Von Mises Yield Criterion

2.4.1 ทฤษฎีความเสียหาย Von Mises Yield Criterion

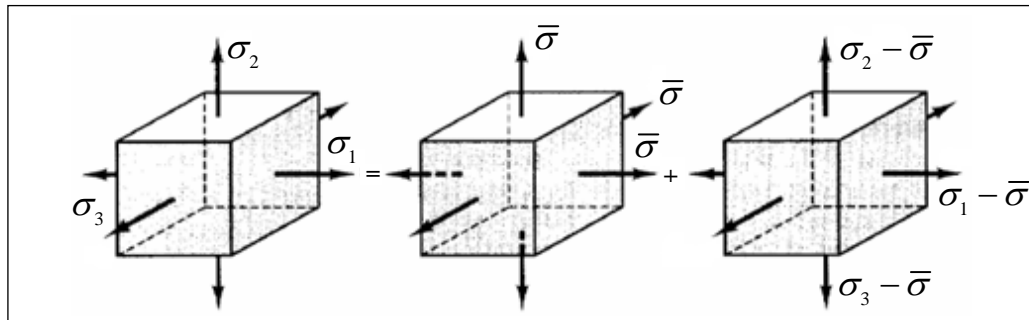
ทฤษฎีนี้พิจารณาความเค้นเฉือนเหมือนกันและเทียบกับการทดสอบการดึงชิ้นงานเหมือนกันแต่มองลึกลงไปที่ Total Elastic Energy ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Dilatational Elastic Energy) และส่วนที่ทำให้เกิดการเสียรูปจากความเค้นเฉือน (Distortional Elastic Energy) ทฤษฎีนี้อ้างว่าชิ้นงานจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการ Yield ก็ต่อเมื่อ Distortional Elastic Energy ภายในชิ้นงานนั้นมีค่าเท่ากับ ทฤษฎีนี้ใช้หลักการ Superposition ในการพิจารณาความเค้น พิจารณา Element ที่ได้รับความเค้นหลัก σ_1 σ_2 และ σ_3 ทั้งสามแกนและกำหนดให้ Mean Hydrostatic Stress เท่ากับสมการที่ 2.1

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.1)$$

เมื่อพิจารณาความเค้นในรูปเวกเตอร์

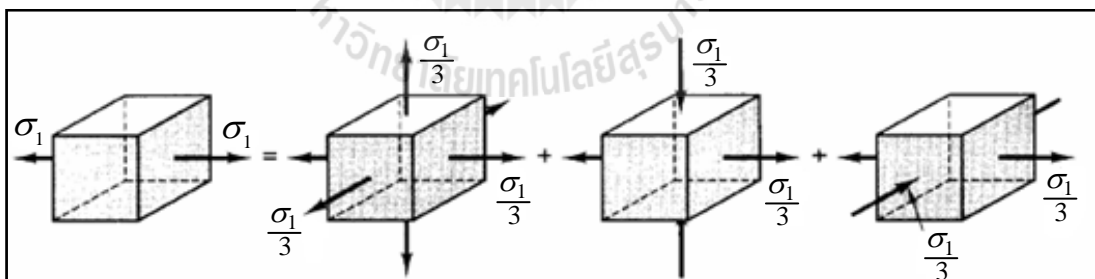
$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\sigma} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{\sigma} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{\sigma} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_1 - \bar{\sigma} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 - \bar{\sigma} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 - \bar{\sigma} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

สามารถแสดงแผนภาพได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

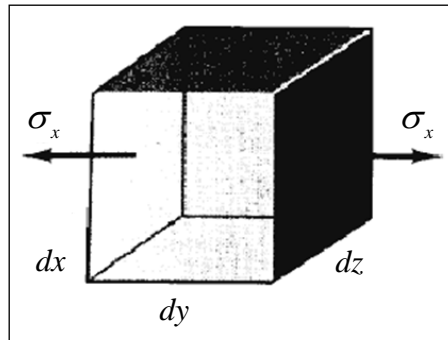


รูปที่ 2.8 แสดงทิศทางของ Stress

เทอมแรกทางด้านขวาเรียกว่า Dilatational Stress หรือ Hydrostatic Stress เทอมนี้เกิดจากความดันที่เท่ากันทุกทิศทางทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยการขยายตัวแต่ไม่ก่อให้เกิดการเสียรูปทรงไปจากเดิมจึงไม่ทำให้เกิดการ Yield เนื่องจากสภาพเช่นนี้เป็นเหมือนกับของไหลที่อยู่นิ่งมีความดันเท่ากันทุกทิศทางและไม่มีมีความเค้นเฉือนจึงเรียกว่า Hydrostatic Stress แต่เทอมที่สองคือ Distortional or Deviatoric Stress ส่วนนี้ไม่ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแต่ทำให้เกิดการผิดรูปร่างเนื่องจากความเค้นเฉือนและเกิดการ Yield ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เมื่อพิจารณาความเค้นในแนวแกนเดียวเทอมที่ 2 และ 3 ทางด้านขวา คือ Distortional Stress แต่ละเทอมประกอบด้วยความเค้นกดและความเค้นดึงบน Plane ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันจึงเทียบเท่ากับ Pure Shear Stress



รูปที่ 2.9 แสดง Uniaxial State of Stress



รูปที่ 2.10 แสดงความเค้นใน 1 มิติ

เมื่อพิจารณา Elastic Energy ของ Element ในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะได้

$$du = Fds = \frac{1}{2} \sigma_x dx dz \times \epsilon_x dx = \frac{1}{2} \sigma_x \epsilon_x dV \quad (2.3)$$

ดังนั้น Total Elastic Energy per Unit Volume เท่ากับ $\frac{1}{2} \sigma_x \epsilon_x$ เมื่อพิจารณา Total Elastic Energy per Unit Volume ของ Element โดยวิธี Superposition จะได้

$$U_{total} = \frac{1}{2} \sigma_1 \epsilon_1 + \frac{1}{2} \sigma_2 \epsilon_2 + \frac{1}{2} \sigma_3 \epsilon_3 \quad (2.4)$$

จากความสัมพันธ์ของความเค้น ความเครียด และอัตราส่วนปัวซอง

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} \\ \epsilon_y &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} \\ \epsilon_z &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E} \end{aligned} \quad (2.5)$$

เมื่อแทนในสมการ Total Elastic Energy ดังแสดงในสมการที่ (2.4) และจัดรูปใหม่จะได้

$$U_{total} = \frac{1}{2E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1) \quad (2.6)$$

ต่อไปทำการหา Dilatation Elastic Energy โดยการแทน σ_1 , σ_2 และ σ_3 ในสมการที่ (2.6) ด้วย $\bar{\sigma}$ จะได้

$$U_{dilatation} = \frac{3(1-2\nu)}{2E} \bar{\sigma}^2 = \frac{1-2\nu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 \quad (2.7)$$

และจากความสัมพันธ์ $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ และสมการที่ (2.7) จะได้

$$U_{distortional} = \frac{1}{12G} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (2.8)$$

จากการทดสอบแรงดึง σ_2 และ σ_3 เท่ากับศูนย์ ดังนั้น Distortional Elastic Energy ของชิ้นงานที่เกิดการ Yield จากการทดสอบแรงดึงในหนึ่งมิติเท่ากับ $\frac{2\sigma_{yp}^2}{12G}$ ดังนั้นชิ้นงาน จะเกิดการ Yield ก็ต่อเมื่อ

$$\frac{1}{12G} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = \frac{2\sigma_{yp}^2}{12G} \quad (2.9)$$

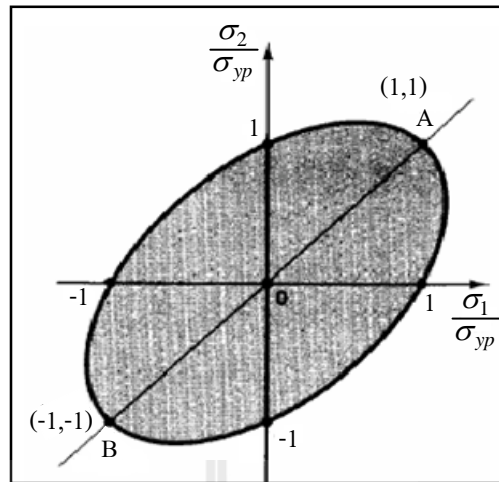
หรือชิ้นงานจะมีความปลอดภัยไม่เกิดการ Yield ก็ต่อเมื่อ

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] < 2\sigma_{yp}^2 \quad (2.10)$$

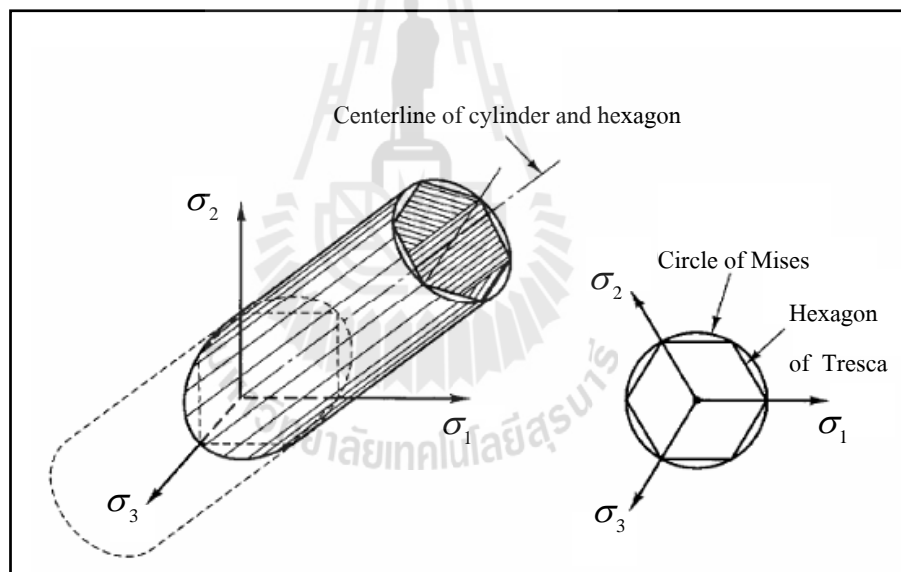
สำหรับ Plane Stress $\sigma_3 = 0$ และเมื่อจัดเมื่อรูปใหม่จะได้

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{yp}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{yp}} \frac{\sigma_2}{\sigma_{yp}}\right) + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{yp}}\right)^2 < 1 \quad (2.11)$$

เมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 พื้นที่ภายในวงรีแสดงถึง ย่านที่ปลอดภัยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการ Yield ส่วนพื้นที่บนวงรีและด้านนอกวงรีแสดงถึง ย่านที่เกิดการ Yield และในสามมิติผิวที่เกิดการ Yield เนื่องจากความเค้นเฉือนจะทำมุมกับแกนหลักของความเค้น (Principle Stress Axe) เท่า ๆ กัน โดยมี Cosine เท่ากัน คือ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



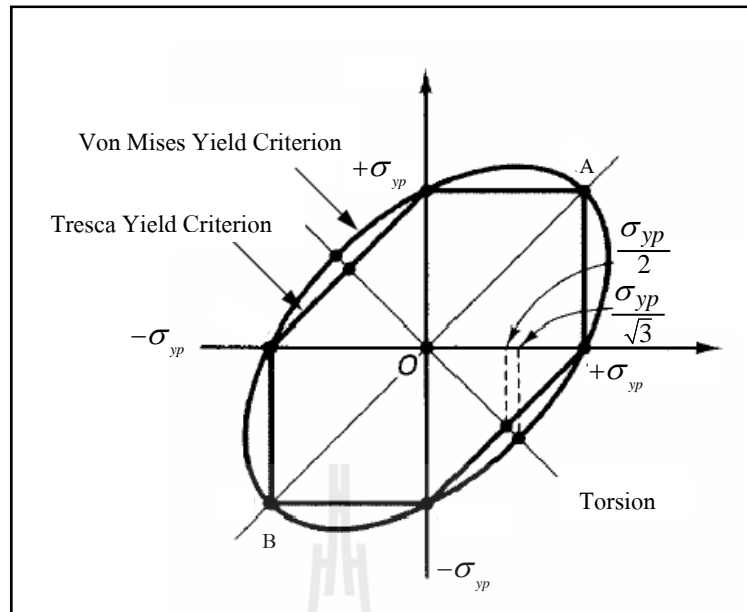
รูปที่ 2.11 แสดงกราฟ Von Mises Yield Criterion



รูปที่ 2.12 แสดง Yield Surface ใน 3 แกน

2.4.2 เปรียบเทียบ Tresca Yield Criterion กับ Von Mises Yield Criterion

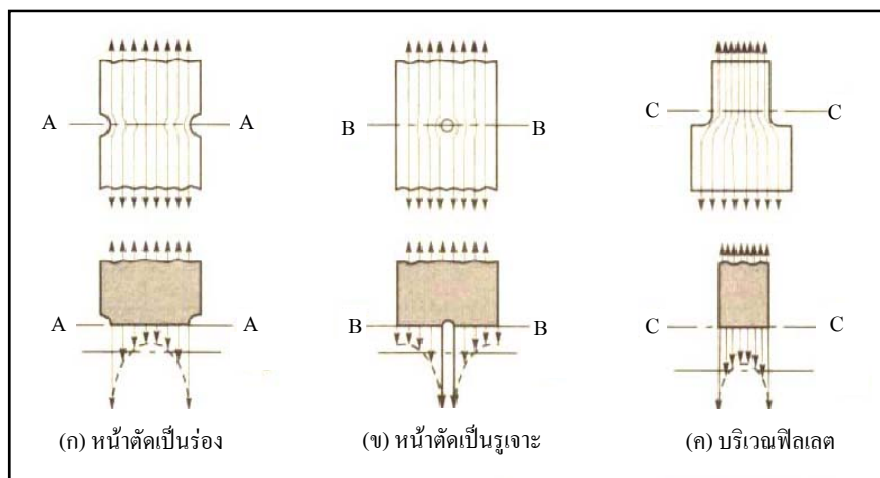
จากขอบเขตของทฤษฎีทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 พบว่า Von Mises Yield Criterion จะมีขอบเขตที่มากกว่า Tresca Yield Criterion ซึ่งหมายถึงเพื่อความปลอดภัยไว้น้อยกว่าทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบจะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อชิ้นงานรับความเค้นเท่ากันทำให้ประหยัดกว่าเมื่อความเค้นหลักเท่ากันทั้งสองแกนจะได้ค่าความปลอดภัยที่เท่ากันทั้งสองทฤษฎี ดังนั้น Von Mises Yield Criterion จะเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากใกล้เคียงกับผลการทดสอบมากกว่า



รูปที่ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบ Tresca Yield Criterion กับ Von Mises Yield Criterion

2.5 ทฤษฎีความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration)

ปกติแท่งวัสดุที่มีหน้าตัดคงที่ เมื่อรับภาระหรือขนาดคงที่จะสมมติให้การกระจายของความเค้นคงที่ตลอดหน้าตัดนั้น ถ้าหน้าตัดมีการเปลี่ยนแปลงแบบทันที เช่น ทำเป็นร่องรูเจาะ และฟิลเลต การกระจายของความเค้นบนหน้าตัดตรงตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ความเค้นเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 2.14

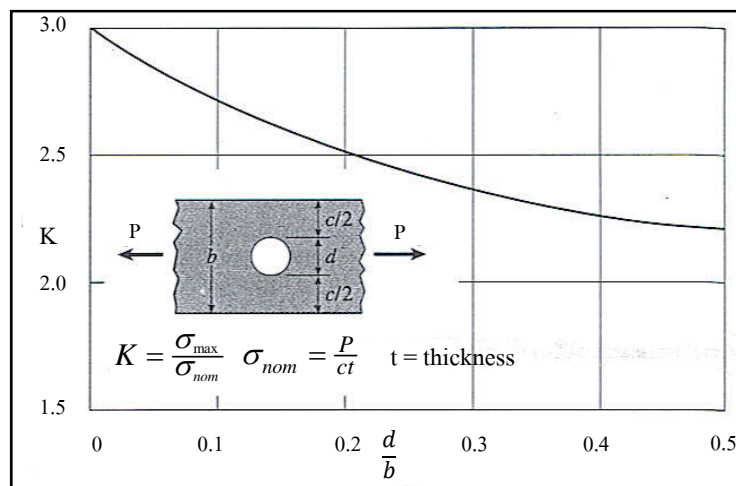


รูปที่ 2.14 แสดงความเค้นหนาแน่นบนชิ้นส่วนหน้าตัดต่าง ๆ

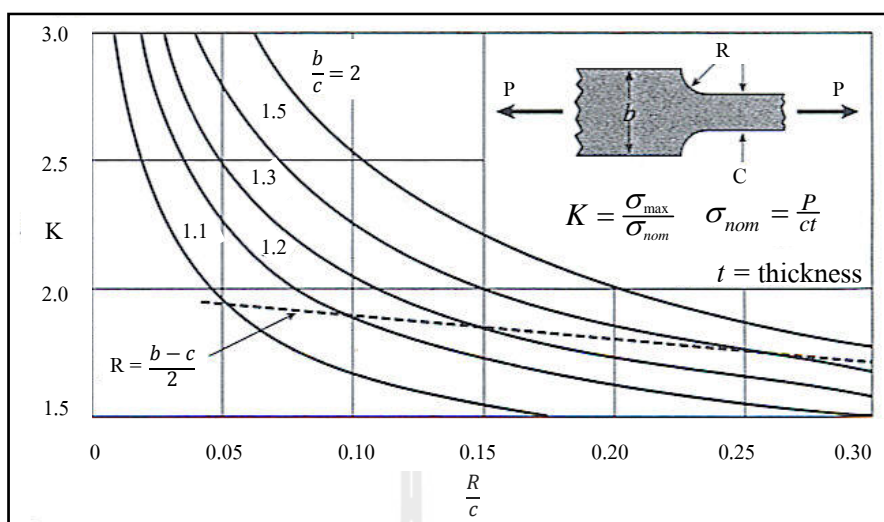
ผลของความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ของเนื้อวัสดุที่หน้าตัดของแท่งวัสดุ ทำให้เกิดเป็นเส้นการไหลของความเค้น (Stress Trajectory) บนหน้าตัดที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration)” ความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดนั้นจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของความไม่ต่อเนื่องของรูปทรงของวัตถุนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าเนื้อวัสดุบริเวณใกล้ ๆ กับรูเจาะร่องหรือฟิลเลตจะเกิดความเค้นสูงสุด (σ_{max}) บริเวณไกลออกไปจะมีความเค้นต่ำลง ในการคำนวณหาความเค้นหนาแน่นนั้น มักจะใช้ความรู้ขั้นสูงเช่น ทฤษฎีของการยืดหยุ่น (Theory of Elasticity) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้คือ ทำการทดลองเพื่อศึกษาความเค้นในบริเวณนั้น โดยใช้การเปลี่ยนแปลงในเนื้อวัสดุเป็นตัวแทนวิธีนี้จะต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดและมีความแม่นยำสูงมาก เช่น Photoelasticity เนื่องจากเกิดความยุ่งยากต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วจึงมักหาตัวเลขมาตัวหนึ่งแล้วคูณกับความเค้น เมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงของหน้าตัดเพื่อเพิ่มขนาดให้เป็นความเค้นหนาแน่นตัวเลขนี้นี้เรียกว่า ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (Stress Concentration Factor) และจะมีค่ามากกว่าหนึ่งเสมอ ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นนี้จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนทางเรขาคณิตของชิ้นส่วนแต่เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจะได้ว่า

$$\sigma_{max} = K\sigma_{avg} \quad (2.12)$$

โดยที่ σ_{max} = ความเค้นสูงสุด
 σ_{avg} = ความเค้นเฉลี่ย
 K = ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น



รูปที่ 2.15 แสดงตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับหน้าตัดเป็นรูเจาะ



รูปที่ 2.16 แสดงตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับหน้าตัดบริเวณฟิลเลต

จากตัวประกอบความเค้นหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และ 2.16 เป็นการแสดงตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับหน้าตัดเป็นรูเจาะและบริเวณฟิลเลต ตามลำดับ ป้อยครั้งที่พบว่าชิ้นส่วนที่ผ่านการขึ้นรูปทางกลและชิ้นส่วนทางวิศวกรรมมีสภาพของผิวหน้าที่ไม่ต่อเนื่องที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบ ซึ่งจุดบกพร่องดังกล่าวจะแสดงตัวเป็นจุดรวมความเค้นหรือเกิดความเค้นหนาแน่นในระหว่างการรับภาระทางกลระหว่างการใช้งานนั่นเอง อย่างไรก็ตามความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนสามารถลดหรือกำจัดได้ด้วยวิธีการที่เป็นแนวปฏิบัติมาตรฐานสากล 3 แนวทาง นำไปสู่การเพิ่มอายุการใช้งานของชิ้นส่วนทางวิศวกรรมดังนี้

1) การออกแบบ (Design)

การออกแบบจะสามารถปรับเปลี่ยนตัวประกอบความเค้นความเค้นหนาแน่น “ K_t ” ในแต่ละแบบที่ทำการออกแบบ ซึ่งมีเทคนิคหลากหลายในการปรับเปลี่ยนเพื่อลดค่าดังกล่าว

2) การเลือกวัสดุ (Material Selection)

แนวปฏิบัติดังกล่าวนี้เป็นสิ่งที่สำคัญมากเพื่อควบคุมลักษณะเฉพาะทางโลหะวิทยาที่จะใช้ในการผลิตชิ้นส่วน ซึ่งได้แก่ ส่วนผสมทางเคมี และ โครงสร้างจุลภาค การพิจารณาดังกล่าวจะมีความสำคัญมาก เพื่อยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วน

3) การผลิตและการประกอบชิ้นส่วน (Component Fabrication)

การผลิตและประกอบรวมเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วน การเลือกใช้วัสดุควรพิจารณาทั้งกระบวนการทางกลและความร้อนที่เหมาะสม เพื่อให้วัสดุมีสมบัติทางกลเป็นไปตามที่ต้องการ

2.6 ทฤษฎีไฟไนท์เอลิเมนต์

วิธีไฟไนท์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาเชิงอนุพันธ์และกำลังเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางมากในทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง เช่น วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โครงสร้างของเครื่องบิน โครงสร้างของอาคารและโครงสร้างอื่น ๆ นอกจากนั้นยังใช้คำนวณการกระจายความร้อน การสั่นสะเทือนของโครงสร้าง ดังนั้นการคำนวณที่ซับซ้อนเหล่านี้สามารถเริ่มต้นด้วยสมการเชิงอนุพันธ์อธิบายสถานะต่าง ๆ และสภาพปัญหา

ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชิ้นส่วนเครื่องจักรกลทั่ว ๆ ไปที่ไม่ซับซ้อน เราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ที่ต้องการได้ เช่น การกระจัดที่ตำแหน่งต่างใด ๆ ของชิ้นส่วนได้โดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์และได้ผลเฉลยที่แม่นยำ แต่ถ้าชิ้นส่วนนั้นมีรูปร่างที่ซับซ้อนพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน ไม่สามารถหาผลเฉลยที่แม่นยำได้ ดังนั้นจึงเกิดวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ขึ้นมา ซึ่งวิธีนี้สามารถจะประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต ชิ้นส่วนจะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยอย่างต่อเนื่องตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นส่วน ทำให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณนี้ขึ้นซึ่งก็มีหลายวิธีการ แต่วิธีที่นิยมอย่างมากในอดีต คือ วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method)

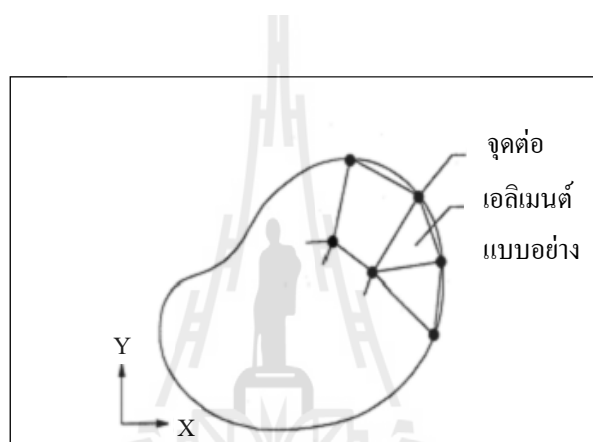
หลักการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณเริ่มจากการเขียนสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบระบบสมการผลต่างสืบเนื่อง ข้อดีของวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายต่อการเข้าใจ รวมไปถึงสะดวกในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหาผลเฉลย แต่ก็มีข้อเสีย คือ ไม่สะดวกในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ความยากลำบากในการประยุกต์ใช้ในปัญหาที่ซับซ้อน

ข้อได้เปรียบของวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

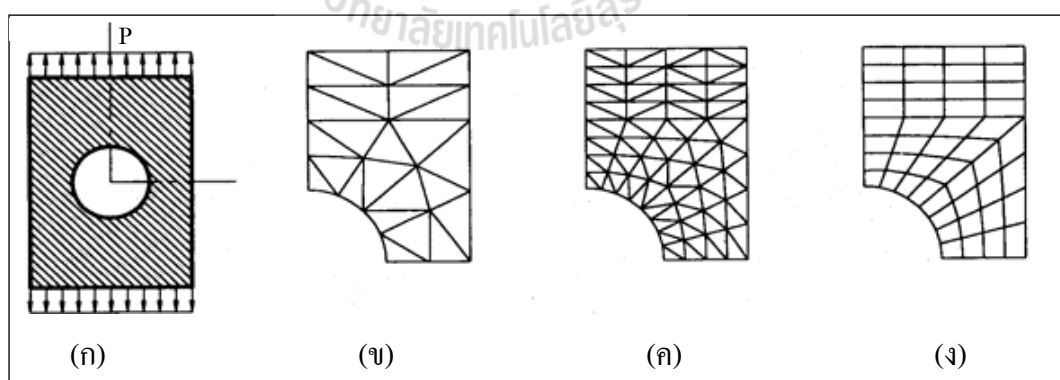
- 1) สามารถสร้างแบบจำลองของโครงสร้าง หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างที่ซับซ้อนได้ดีและสะดวก
- 2) สามารถจำลองการกระทำของโหลดในสภาพต่าง ๆ เช่น โหลดที่กระจายไม่สม่ำเสมอได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง
- 3) ใช้วิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนระบบเครื่องจักรกลที่ประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกันได้โดยไม่ยุ่งยาก
- 4) สามารถวิเคราะห์ปัญหา ไม่ว่าจะเงื่อนไขขอบเงื่อนไขบังคับและจุดรองรับอยู่ในลักษณะใดๆ
- 5) สามารถเลือกขนาดของเอลิเมนต์ที่บริเวณใดให้มีขนาดเล็กหรือใหญ่ได้ตามต้องการ
- 6) ในการออกแบบและการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสมัยใหม่ (CAD และ CAM) มักนิยมใช้วิธีไฟไนท์เอลิเมนต์วิเคราะห์ก่อน ก่อนที่จะผลิตชิ้นส่วนจริงซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและมีความถูกต้องแม่นยำสูง

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ ๆ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์จะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างเดิม จะต้องเหมือนหรือสอดคล้องกับโครงสร้างเดิมให้มากที่สุด ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง อย่างฉับพลันจำเป็นต้องแทนด้วยเอลิเมนต์ที่มีขนาดเล็กเพียงพอที่จะให้ผลการวิเคราะห์ ได้ถูกต้องแม่นยำ ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างก็ให้แบ่งเอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์นั้นจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของโครงสร้างและการกระทำของโหลด รวมถึงความละเอียดของผลเฉลยที่ผู้ใช้ต้องการว่าจะเลือกใช้เอลิเมนต์มิติเดียว สองมิติ และสามมิติ ลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เป็นการแบ่งเอลิเมนต์สองมิติ



รูปที่ 2.17 แสดงการแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.18 แสดงการแบ่งชิ้นงานออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย

ลักษณะการแบ่งชิ้นงานออกเป็นเอลิเมนต์ย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) คือ แผ่นโลหะ มีรูตรงกลางและมีโหนด P มากกระทำ รูปที่ 2.18 (ข) คือ เอลิเมนต์สามเหลี่ยมหายาบ รูปที่ 2.18 (ค) คือ เอลิเมนต์สามเหลี่ยมละเอียด และรูปที่ 2.18 (ง) คือ เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมโค้ง

ขั้นที่ 2 การเลือกฟังก์ชันประมาณในเอลิเมนต์ เช่น เอลิเมนต์สามเหลี่ยมโดยจุดต่อนี้เป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่าซึ่งตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อเหล่านี้อาจเป็นค่าการยึดหรือหดตัว หากทำปัญหายึดหยุ่นในของแข็งหรืออาจเป็นค่าอุณหภูมิก็ได้ ถ้าทำปัญหาความร้อนลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์ก็สามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้

ขั้นที่ 3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ ดังตัวอย่างสมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

ซึ่งเขียนย่อได้เป็น

$$[k]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (2.14)$$

ถ้าให้ $N_i(x, y) i=1, 2, 3$ คือ ฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ ดังนั้นสมการของ $\phi(x, y)$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = [N_1 \quad N_2 \quad N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\phi(x, y) = [N]_{3 \times 1} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix}_{1 \times 3} \quad (2.16)$$

โดย $[N_i]$ คือ เมตริกซ์ของฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์

$\{\phi\}$ คือ เวกเตอร์เมตริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

ขั้นที่ 4 ขั้นนี้ถือว่าสำคัญมากเพราะเป็นการสร้างสมการของเอลิเมนต์ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการสามารถทำได้โดย

- 1) วิธีโดยตรง (Direct Approach)
- 2) วิธีการแปรผัน (Variational Approach)
- 3) วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals)

ขั้นที่ 5 นำสมการที่ได้มาประกอบกัน ได้ระบบสมการพร้อมกัน (System of Simultaneous Equation) ขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 2.17

$$\sum (\text{Element Equation}) \rightarrow [k]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (2.17)$$

จากนั้นประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตลงในสมการนี้แล้วจึงแก้สมการนั้นเพื่อหาตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ อาจเป็นค่าการยึดหรือหดตัว

ขั้นที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่จุดต่อมาได้แล้วก็สามารถคำนวณหาค่าอื่น ๆ ได้ เช่น เมื่อรู้ค่าการเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างก็นำไปหาค่าความเครียดและค่าความเค้นได้ เมื่อรู้ค่าอุณหภูมิก็จะสามารถหาค่าการถ่ายเทความร้อนได้

2.7 ฟิกเจอร์

ฟิกเจอร์เป็นเครื่องมือสำหรับการผลิตที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่ง ยึดจับ และรองรับชิ้นงานให้อยู่คงที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ สำหรับฟิกเจอร์ที่จะมีแท่งนี้จะมีแท่งตั้งระยะและแผ่นเกจเป็นตัวช่วยให้ตั้งระยะของเครื่องมือตัดอยู่ตรงตำแหน่งที่ถูกต้องที่จะกระทำต่อชิ้นงาน ฟิกเจอร์นี้จะต้องถูกยึดให้ติดแน่นอยู่กับเทเบิลของเครื่องจักรในระหว่างที่ชิ้นงานกำลังถูกกระทำอยู่ และแม้ว่าสำหรับงานใหญ่ ๆ เช่น ใช้กับเครื่องกัด (Milling Machine) ฟิกเจอร์ก็จะถูกออกแบบให้จับยึดชิ้นงานได้แปรเปลี่ยนไปตามการทำงานแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องจักรที่เป็นมาตรฐานต่าง ๆ เช่น เครื่องกัด เครื่องไส เครื่องกลึง ฯลฯ

2.7.1 ชนิดของฟิกเจอร์

ตามพื้นฐานทั่ว ๆ ไปแล้วจิ๊กและฟิกเจอร์จะถูกสร้างขึ้นมาตามแนวทางอย่างเดียวกัน คือ จะเป็นตัวสำหรับกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานให้อยู่ตามตำแหน่งตามที่เรากำลังต้องการ ส่วนความแตกต่างกันที่สำคัญก็คือมวลของโครงสร้าง เพราะเนื่องจากว่าฟิกเจอร์จะต้องรับแรงในการตัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นฟิกเจอร์จึงถูกสร้างให้มีความแข็งแรงมากกว่าจิ๊ก สำหรับชิ้นงานแบบเดียวกัน และต่อไปนี้เป็นฟิกเจอร์ชนิดต่าง ๆ

1) พิกเจอร์แบบแผ่น

เป็นพิกเจอร์ที่เป็นแบบธรรมดาที่สุด โดยพื้นฐานแล้วพิกเจอร์ชนิดนี้จะถูกสร้างมาจากแผ่นเรียบ ๆ ซึ่งมีตัวจับยึด (Clamp) ชนิดต่าง ๆ กันติดอยู่ และยังมีตัวกำหนดตำแหน่ง (Locator) อยู่ด้วย ซึ่งจะทำหน้าที่ในการจับยึดและกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานความที่เป็นพิกเจอร์แบบธรรมดา เช่นนี้ทำให้พิกเจอร์แบบแผ่นเป็นพิกเจอร์ที่มีประโยชน์สำหรับการทำงานของเครื่องจักรทั่ว ๆ ไปเป็นอย่างมาก และเป็นพิกเจอร์ที่มีผู้นิยมใช้มากที่สุดชนิดหนึ่ง

2) พิกเจอร์แบบแผ่นตั้งฉาก

เป็นพิกเจอร์แบบหนึ่งพิกเจอร์แบบแผ่น การทำงานของพิกเจอร์ชนิดนี้คือ ชิ้นงานจะถูกกระทำในทิศทางตั้งฉากกับตัวกำหนดตำแหน่งของพิกเจอร์ ปกติแล้วพิกเจอร์แบบแผ่นตั้งฉากจะถูกทำให้เป็นมุม 90 องศา แต่ก็มีบางครั้งจำเป็นที่จะต้องใช้มุมอย่างอื่นที่ไม่ใช่ 90 องศา ซึ่งในกรณีนี้ต้องเปลี่ยนมาใช้พิกเจอร์แบบแผ่นปรับมุม

3) พิกเจอร์แบบปากกา

เป็นพิกเจอร์ที่ใช้สำหรับการทำงานกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก สำหรับพิกเจอร์ชนิดนี้จะมีปากสำหรับจับชิ้นงาน (Vise Jaw) ที่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นจึงสามารถที่จะเปลี่ยนปากสำหรับจับชิ้นงานได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว พิกเจอร์แบบปากกานี้เป็นพิกเจอร์ที่มีราคาถูกที่สุดในบรรดาพิกเจอร์ทั้งที่ถูกทำขึ้นมา การใช้งานของมันจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะที่ขนาดของปากกาจับชิ้นงานที่จะแปรเปลี่ยนไปได้ขนาดไหน

4) พิกเจอร์แบบหัวแบ่ง

เป็นพิกเจอร์ที่มีลักษณะคล้ายกับจิ๊กแบบหัวแบ่งเป็นอย่างมาก พิกเจอร์แบบหัวแบ่งเหล่านี้จะใช้สำหรับการทำงานกับชิ้นงานต้องมีการตกแต่งให้มีช่องว่างหรือระยะห่างเท่า ๆ กัน

5) พิกเจอร์แบบหลายตำแหน่ง

เป็นพิกเจอร์ที่ถูกนำมาใช้เมื่อต้องการการผลิตที่ต้องการความรวดเร็วและมีปริมาณมาก ๆ ในขณะที่การทำงานของเครื่องจักรจะต้องทำงานเป็นจังหวะต่อเนื่องกันตลอด

6) พิกเจอร์แบบโปรไฟล์

เป็นพิกเจอร์ที่ถูกใช้เป็นตัวนำทางสำหรับการทำงานที่กระทำตามเส้นรอบรูปที่เครื่องจักรไม่สามารถไปตามทิศทางปกติได้ สำหรับเส้นรอบรูปนี้อาจเป็นเส้นรอบรูปภายในหรือภายนอกก็ได้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรพันธ์ ปรริรักษ์จิตร (2007) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเสีรูปร่างของชิ้นส่วน HGA ภายหลังจากจับยึดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า ภาวะที่ทำให้กับชุดจับยึดมีส่วนสำคัญต่อการเสีรูปร่างของชิ้นส่วน HGA อย่างยิ่งเนื่องจากทำให้ความเค้นที่บางตำแหน่งของการจับยึดเกินกว่าขีดจำกัดความยืดหยุ่นของวัสดุ ส่งผลให้เกิดการเสีรูปร่างของชิ้นส่วน HGA จึงทำให้ค่าต่าง ๆ ที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไป โดยภาวะที่เหมาะสมในการจับยึด คือ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 110 MPa นอกจากนี้ลักษณะของชุดจับยึดก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเสีรูปร่างของชิ้นส่วน HGA ด้วย โดยลักษณะรูปร่างของชุดจับยึดที่มีพื้นที่จับยึดมากขึ้นจะทำให้การเสีรูปร่างของชิ้นส่วน HGA ลดลงมาก ซึ่งลักษณะของชุดจับยึดด้านบนแบบสี่เหลี่ยมและชุดจับยึดด้านล่างแบบสี่เหลี่ยมไม่มีการลบบมมีผลต่อการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนน้อยที่สุด

ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ (2008) ได้ทำการศึกษาหาค่ามุมล้อยึดหัวอ่านเขียนข้อมูลเพื่อหามุมล้อยึด (Suspension Angle) ที่ให้ค่า Gram Load ในช่วง 2.5 ± 0.2 กรัม ที่เหมาะสมโดยศึกษาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อชุดจับยึดหัวอ่านอยู่ในสภาวะ Load State ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากการจำลอง พบว่า มุมล้อยึดที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 10-12 องศา และจากการทดลองพบว่า มุมล้อยึดที่เหมาะสมจะมีค่าระหว่าง 12-13 องศา ซึ่งพบค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 1-2 องศา เมื่อกำหนดมุมล้อยึดมีค่าเท่ากับ 11 องศา เพื่อวิเคราะห์ความเค้น จะพบว่าความเค้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณ Bend Zone เป็นหลัก

เรืองฤทธิ์ สารางคำ (2008) ได้ศึกษาค่าแรงเนื่องจากความเร่ง (G-Force) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ โดยการตกกระแทกแบบอิสระในทิศทางต่าง ๆ ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบจริง และนำค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่ได้จากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ จากงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางนำเครื่องทดสอบการตกกระแทกไปใช้ในการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปได้ อีกทั้งวิธีการศึกษาการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ยังสามารถนำไปใช้เป็นการศึกษาการตกกระแทกนอกเหนือจากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์จริง

ยุทธชัย ว่องไวพินิจ (2008) ได้ทำการศึกษาอายุการใช้งานของพลาสติกถ่างหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างวัสดุ เนื่องมาจากอายุการใช้งานทำให้เสียหาย ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดจำนวนครั้งในการนำกลับมาใช้และใช้ความรู้เรื่องไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการออกแบบแก้ไขจุดที่อ่อนแอเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของ Shipping Comb จากการวิเคราะห์พบว่า Shipping Comb 1 ชิ้นสามารถนำกลับมาใช้ได้ไม่เกิน 7 ครั้ง จุดที่อ่อนแอที่สุดคือ บริเวณ Latch แบบตั้งฉาก จึงได้ทำการเปลี่ยนเป็นโค้งแบบรัศมี 0.09 องศา พบว่าโค้งแบบรัศมี

จะเกิดความเค้นและความเครียดขึ้นน้อยกว่าแบบ โล้งหักฉากและสามารถเพิ่มจำนวนรอบการใช้งาน เป็น 12 ครั้ง

คันสนีย์ ขุนทิพย์ทอง (2552) ได้ทำการศึกษาลักษณะการเสีรูปของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ขนาด 2.5 นิ้ว ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุม Pitch Static Attitude (PSA) ในกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติอันเนื่องมาจากได้รับแรงจับยึดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาค่าแรงจับยึดที่ส่งผลต่อการเสีรูปของ HGA และการเปลี่ยนแปลงค่ามุม PSA และ RSA น้อยที่สุดจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์และผลจากการทดลองจากกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติพบว่า ค่าแรงจับยึด 7 ปอนด์ ทำให้ HGA เกิดการเสีรูปที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ามุม PSA และ RSA น้อยที่สุด

ขจรศักดิ์ ใจดี สุรเชษฐ์ ชูติมา และ ทศพร กำเนิดทอง (2010) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของ ชิ้นส่วน HGA หลังถูกจับยึดด้วยชิ้นส่วนหัวอ่าน ภายในกระบวนการประกอบ HSA โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของหัวอ่าน จากตัวแปรในการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Spreader Pins ด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์และพิจารณาผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงค่า Gram Load จากการวิเคราะห์พบว่าแรงจับยึด HGA ด้วยชิ้นส่วนหัวอ่านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Spreader Pins มากขึ้นไม่เกิน 1.29 มิลลิเมตร จะไม่ทำให้เกิดการเสีรูปอย่างถาวรและไม่ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของค่า Gram Load

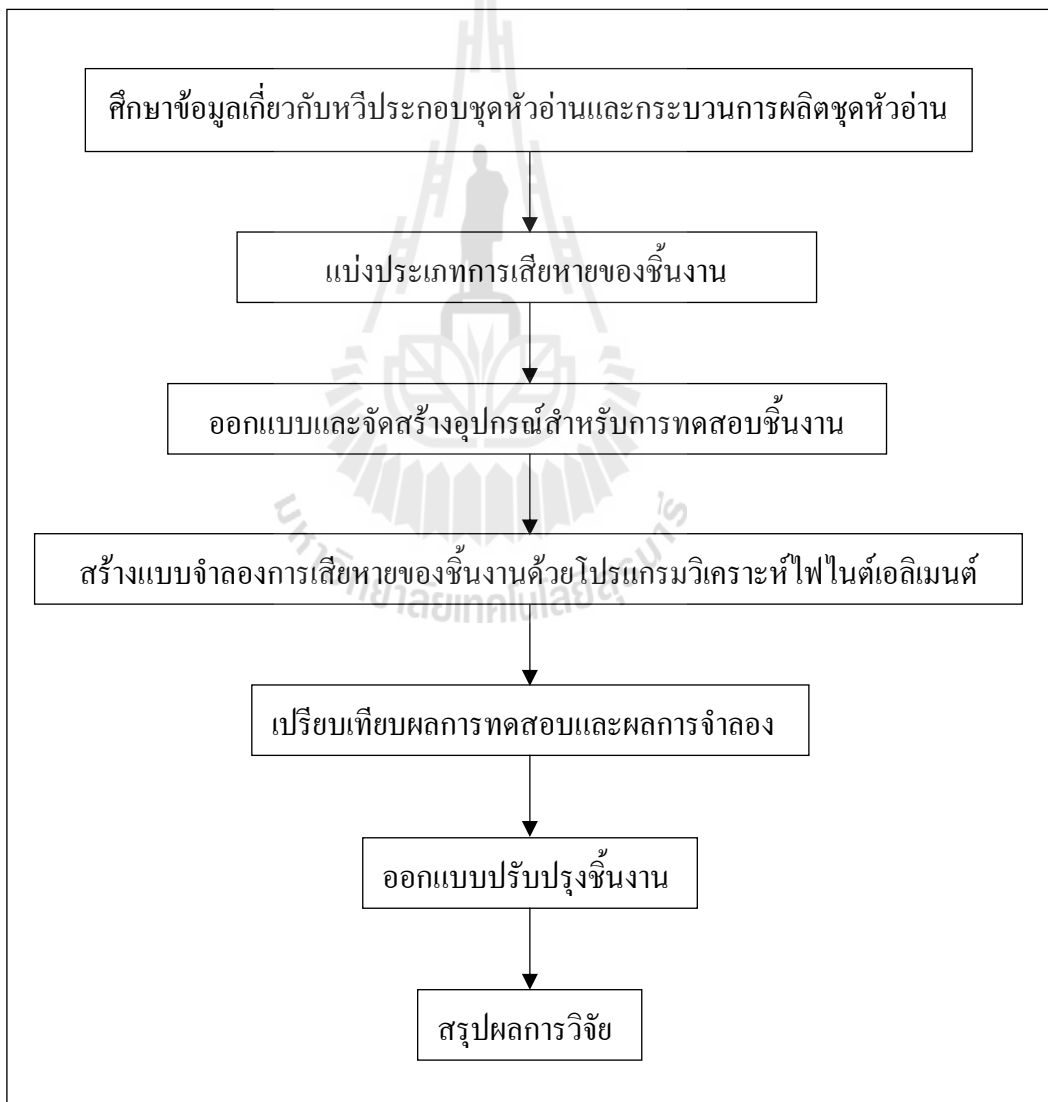
รัฐภูมิ คล้ายอักษร (2010) ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการ Ball Swaging Process ต่อค่า Pitch Static Attitude ภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว โดยสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาพฤติกรรมความสัมพันธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้น อันสืบเนื่องมาจากกระบวนการสเวจ โดยใช้บอลต่อคุณสมบัติของชุดอ่านเขียนข้อมูล และทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยนำผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการทั้งสอง มาเปรียบเทียบกันและพบว่าผล ที่ได้มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของค่าพิชสแตติกแอกทิจูดได้อย่างน่าเชื่อถือ

ทศนพ กำเนิดทอง สุรเชษฐ์ ชูติมา และจักรพันธ์ ปริรักษวิจิตร (2010) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเสีรูปของ HGA หลังจากการให้แรงจับยึดในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และนำผลที่ได้มาปรับปรุงขนาดของแรงและลักษณะการจับยึดในกระบวนการ จากการศึกษาพบว่ากราฟแสดงลักษณะของการเสีรูปตามแนวขวาง และตามแนวยาวของ HGA เนื่องจากการจับยึด โดยชุดจับยึดที่มีด้านบนเป็นแบบสี่เหลี่ยม และด้านล่างเป็นแบบไม่มีลบบุมจะมีผลกระทบต่อเสีรูปของ HGA น้อยที่สุดและเกิดการเสีรูปตามขวางที่มีลักษณะสม่ำเสมอ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหิวประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Shipping Comb) ที่ใช้สำหรับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของ บริษัท ซีเกท ประเทศไทย จำกัด โดยมีขั้นตอนดำเนินการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3.1

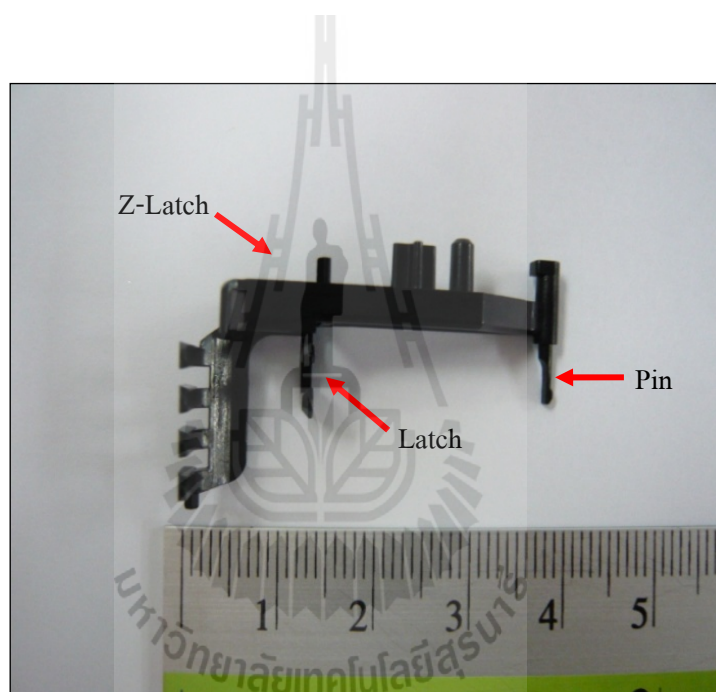


รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหวีประกอบชุดหัวอ่านและกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา Shipping Comb โมเดล Moose ที่ใช้กับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขนาด 3.5 นิ้ว จำนวน 8 หัวอ่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Shipping Comb ดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาลักษณะรูปร่างของ Shipping Comb โมเดลนี้
- 2) ศึกษาขั้นตอนในการจับยึด Shipping Comb เข้ากับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 3) ศึกษาวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ผลิต Shipping Comb
- 4) ศึกษากระบวนการผลิตชุดหัวอ่านและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับ Shipping Comb



รูปที่ 3.2 แสดง Shipping Comb รุ่น Moose

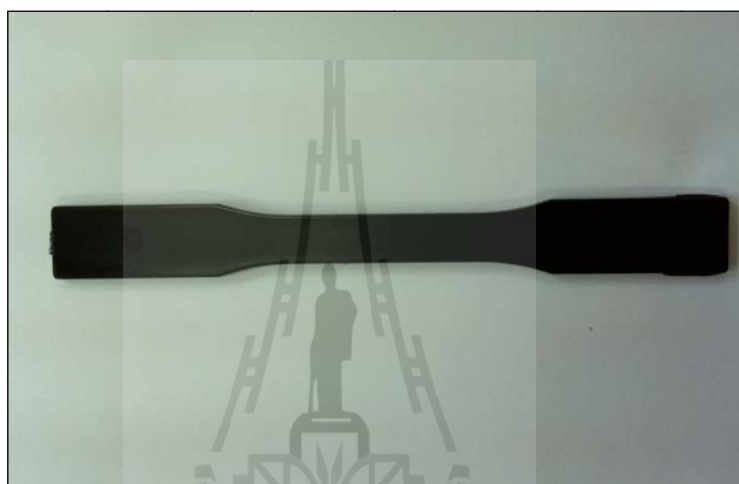
3.2 การจำแนกลักษณะการเสียหายของหวีประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การดำเนินงานในลำดับต่อไปจะทำการศึกษาลักษณะการเสียหายของ Shipping Comb โดยทำการเก็บข้อมูลชิ้นงานที่ถูกคัดแยกออกจากกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านจำนวนหนึ่ง มาจำแนกรูปแบบการเสียหาย ชิ้นงานที่จำแนกแล้วจะนำมาวิเคราะห์อย่างละเอียดมากขึ้น โดยใช้กล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 8-10 เท่า เพื่อส่องดูลักษณะการแตกหักหรือโค้งงอของชิ้นงาน ในตำแหน่งต่าง ๆ

3.3 การทดสอบชิ้นงานให้เสียหายด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาผลิตเป็น Shipping Comb

ก่อนทำการทดสอบการเสียหายของ Shipping Comb จะต้องทำการหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ผลิต Shipping Comb เป็นอันดับแรก ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้คือ โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ในการทดสอบนี้ได้นำชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 มาทดสอบดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 ขนาด 5 kN



รูปที่ 3.3 แสดงชิ้นงานโพลีคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดสอบการดึง

ลักษณะชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะมีรูปร่างดัมเบล (Dumbbell Shape) หน้าตัดสี่เหลี่ยม ขนาดความกว้าง 12.5 ± 0.3 mm ความยาว 220 ± 0.4 mm และหนา 3.2 ± 0.4 mm การทดสอบจะใช้ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น ประกอบเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบดึงชิ้นงานด้วยอัตราเร็ว 50 mm/min อ้างอิงตามมาตรฐานทดสอบการดึงพลาสติก (ASTM : D638-03) หลังจากนั้นนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียดเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

3.3.2 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับการทดสอบชิ้นงาน

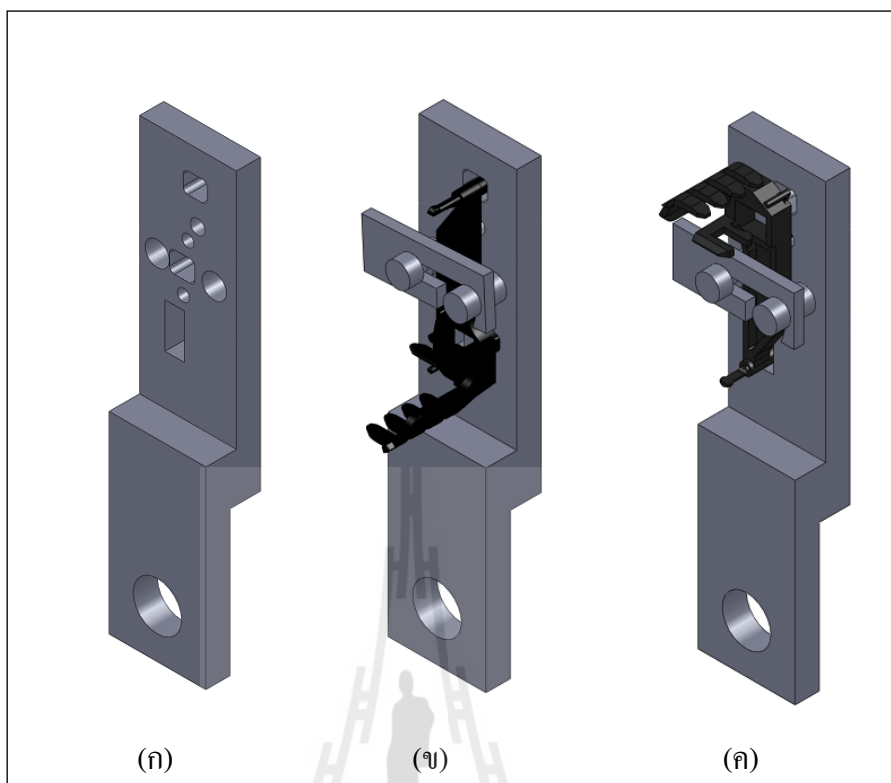
ในหัวข้อนี้ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบให้ชิ้นงานเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ โดยการใช้เครื่อง Universal Testing Machine 5560 ขนาด 5 kN ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงเครื่อง Universal Testing Machine 5560

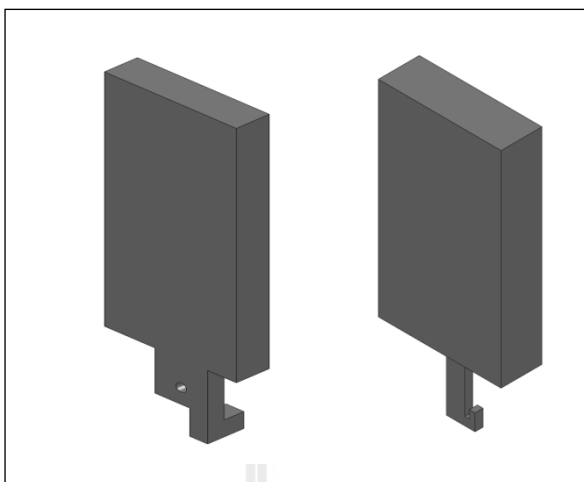
เครื่อง Universal Testing Machine 5560 เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุโดยการดึงหรือกดให้ชิ้นทดสอบเสียหาย เครื่องนี้จะใช้มี Gripper สีเหลืองสำหรับจับยึดชิ้นงาน โดย Gripper ด้านล่างจะทำหน้าที่จับยึดชิ้นงานทดสอบไว้อยู่กับที่ (Fix) ส่วน Gripper ด้านบนจะทำหน้าที่ดึงหรือกดชิ้นทดสอบด้วยค่าที่เราใส่เข้าไปในโปรแกรม ชิ้นงานที่นำมาใช้ทดสอบกับเครื่องนี้ต้องถูกออกแบบมาให้เป็นรูปทรงตามมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ แต่ Shipping Comb ที่ทำการศึกษานั้นมีรูปทรงที่ซับซ้อนจึงไม่สามารถนำไปประกอบเข้ากับ Gripper ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบและสร้างอุปกรณ์จับยึด Shipping Comb เพื่อให้สามารถนำไปทดสอบกับเครื่อง Universal Testing Machine 5560 ได้ งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อทำการทดสอบ Shipping Comb ใน 3 ตำแหน่ง คือ Pin Latch และ Z-Latch ให้สามารถนำไปประกอบเข้ากับ Gripper ได้อย่างเหมาะสม

อุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบจะต้องประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อุปกรณ์จับยึดส่วนที่ทำหน้าที่ยึดชิ้นงานทดสอบไว้อยู่กับที่ (Fix) และอุปกรณ์จับยึดส่วนที่ทำหน้าที่ดึงหรือกดชิ้นทดสอบ การออกแบบอุปกรณ์จับยึด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เป็นการออกแบบเพื่อใช้ประกอบเข้ากับ Gripper ด้านล่างให้สามารถประกอบเข้ากับ Shipping Comb ได้อย่างพอดี



รูปที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์จับยึด Shipping Comb เพื่อใช้ประกอบเข้ากับ Gripper ด้านล่าง

ทดสอบทำให้ชิ้นงานหักและงอในทิศทางต่าง ๆ แล้วดูค่าแรงที่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย จากนั้นนำชิ้นงานที่เสียหายจากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เสียหายจริง เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุว่า Shipping Comb จะเสียหายด้วยการรับแรงทางกลจากทิศทางใด เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงชิ้นงานใหม่ ให้สามารถรับแรงกระทำ ณ ตำแหน่งนั้นได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปัญหาและเพิ่มอายุการใช้งานให้กับชิ้นงานด้วยอุปกรณ์จับยึดสำหรับใช้กับ Gripper ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ก) ออกแบบมาให้สามารถประกอบชิ้นงานได้อย่างพอดีและสามารถจับยึดชิ้นงานได้ 2 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ข) เป็นการจับยึด Shipping Comb โดยให้ตำแหน่ง Pin อยู่ด้านบนสุดและรูปที่ 3.5 (ค) เป็นการจับยึดชิ้นงานโดยให้ตำแหน่ง Pin อยู่ด้านล่างสุด นอกจากนี้เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเคลื่อนในขณะทำการทดสอบ ยังได้ออกแบบ Clamp มาช่วยยึดชิ้นงานให้แน่นอีกด้วย สำหรับการออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อใช้ประกอบเข้ากับ Gripper ด้านบนนั้น จะออกแบบเป็นลักษณะรูและบ่าเพื่อทำหน้าที่ดึงหรือกดชิ้นงานทดสอบให้เสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์จับยึด Shipping Comb เพื่อใช้ประกอบเข้ากับ Gripper ด้านบน

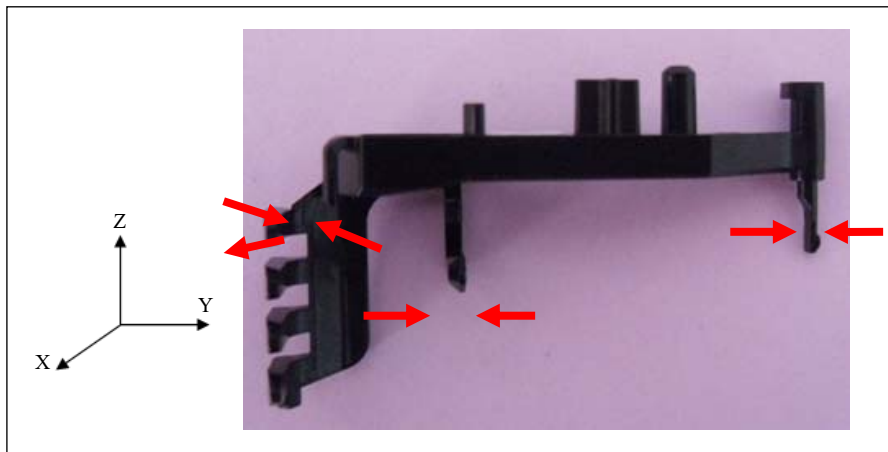
3.3.3 ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบ Shipping Comb ด้วยการใช้อุปกรณ์ Universal Testing Machine 5560 จะมีขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบดังนี้

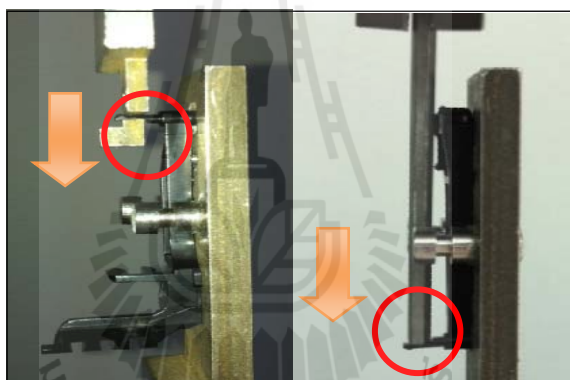
- 1) นำชิ้นงานมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดด้านล่างและยึดชิ้นงานให้แน่นหนาด้วย Clamp แล้วไปประกอบเข้ากับ Gripper ด้านล่าง
- 2) นำอุปกรณ์จับยึดด้านบนไปประกอบเข้ากับ Gripper ด้านบน โดยให้อยู่ในแนวเดียวกับอุปกรณ์จับยึดด้านล่าง
- 3) เลื่อนชุดจับยึดทางด้านบนลงมาให้สัมผัสกับชิ้นงานในส่วนที่จะทำการทดสอบ
- 4) ทำการทดสอบชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ

สำหรับการทดสอบชิ้นงานในตำแหน่งต่าง ๆ นั้น จะมีการจับยึดชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.7 และทดสอบชิ้นงานในทิศทางต่อไปนี้

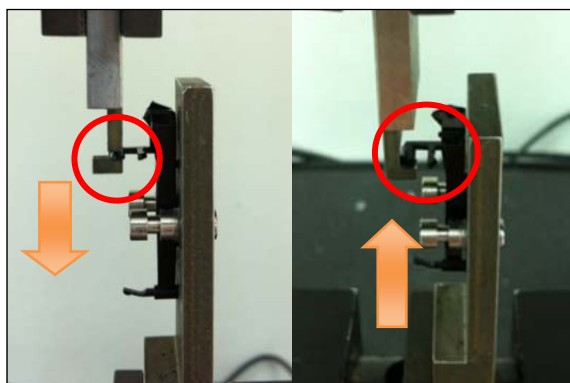
- ทดสอบการเสียหายของ Pin มีการทดสอบใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง $-y$ และ ทิศทาง $+y$
- ทดสอบการเสียหายของ Latch มีการทดสอบใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง $-y$ และ ทิศทาง $+y$
- ทดสอบการเสียหายของ Z-Latch มีการทดสอบใน 3 ทิศทาง คือ ทิศทาง $-y$ ทิศทาง $+y$ และ ทิศทาง $+x$



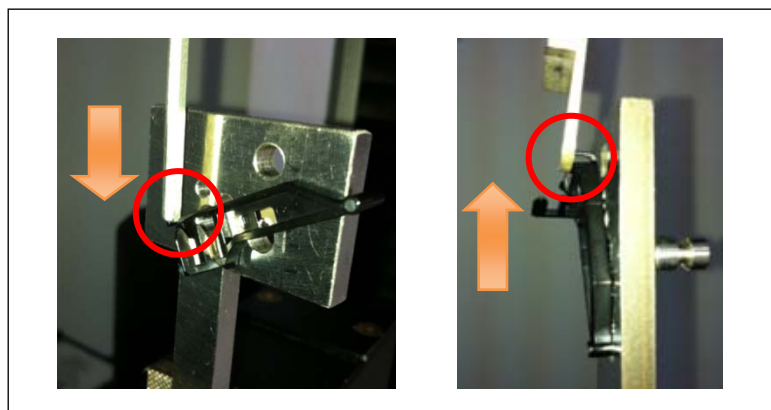
รูปที่ 3.7 แสดงทิศทางการทดสอบ Pin Latch และ Z-Latch



รูปที่ 3.8 แสดงการทดสอบ Pin



รูปที่ 3.9 แสดงการทดสอบ Latch



รูปที่ 3.10 แสดงการทดสอบ Z-Latch

3.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

การทดสอบ Shipping Comb ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 จะทำการทดสอบชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง คือ Pin Latch และ Z-Latch โดยนำชิ้นงานมาประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วทำการทดสอบกดหรือดึงชิ้นงานให้เสียหายในทิศทางที่ได้ศึกษาจากลักษณะการเสียหายของชิ้นงานจริงมาแล้ว ในการทดสอบได้ทำการเลือกโหมดที่จะใช้ทดสอบและป้อนค่าต่าง ๆ ให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมจะสั่งการให้เครื่องเคลื่อนที่กดหรือดึงชิ้นงานตามความเร็วที่ป้อนเข้าไป ซึ่งความเร็วที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงานทั้ง 3 ส่วน คือ 1 mm./min

การทดสอบจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ การทดสอบหาแรงสูงสุด (Maximum Load) และการทดสอบกดหรือดึงชิ้นงานด้วยระยะที่กำหนดเพื่อหาแรงที่ทำให้ชิ้นงานเริ่มเกิดการเสียรูป (Deform)

1) การทดสอบกดหรือดึงชิ้นงานให้หัก

เครื่องทดสอบจะเคลื่อนที่กดหรือดึงชิ้นงานจนกระทั่งชิ้นงานนั้นหักเครื่องจะหยุดการทำงาน โปรแกรมจะบันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบชิ้นงาน

2) การทดสอบกดหรือดึงชิ้นงานด้วยระยะที่กำหนด

เป็นการสั่งให้เครื่องทดสอบเคลื่อนที่กดหรือดึงชิ้นงานตามระยะที่ป้อนเข้าไป ขณะเดียวกัน Load Cell จะคำนวณหาแรงที่ใช้ในการกดหรือดึงชิ้นงานตามระยะที่เครื่องทดสอบนั้นเคลื่อนที่ ผลการทดสอบทั้ง 2 กรณีนี้ใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการทดสอบ และในการวิเคราะห์ผลการเสียหายของ Shipping Comb จะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบดังนี้

- 1) แรง (Load) ที่ใช้ดึง/กด ชั่งทดสอบให้เสียหาย
- 2) ระยะทาง (Displacement) ที่ Load Cell เคลื่อนที่ขณะดึง/กด ชั่งทดสอบ

ชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่งถูกออกแบบมาให้มีรูปทรงที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการนำไปใช้งาน การทดสอบทำให้ชิ้นงานเสียหายด้วยเครื่อง Universal Testing Machine นี้เป็นการวิเคราะห์ว่าชิ้นส่วนแต่ละตำแหน่งมีขีดความสามารถในการรับแรงได้เท่าใด และวิเคราะห์ว่าการทดสอบดึง/กดชิ้นงานตามทิศทางการเสียหายที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้ ลักษณะใดที่ตรงกับการเสียหายที่แท้จริง

3.4 การวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์การเสียหายด้วยการใช้คอมพิวเตอร์สำเร็จรูปในปัจจุบันได้มีโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คำนวณเป็นจำนวนมาก โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Ansys Workbench 12.0 เพราะเป็นซอฟต์แวร์ที่ทางบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย ใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นงาน ซึ่งในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมนี้นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อได้ผลที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันก็สามารถนำเอาวิธีการนี้ไปใช้ทำการทดสอบกับ Shipping Comb และผลิตภัณฑ์ตัวอื่น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบกับผลิตภัณฑ์จริง ๆ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานและเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นต่อไป

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Model) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deform) ที่เกิดขึ้นจากการได้รับแรงภายนอกกระทำบน Shipping Comb Model โดยสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การเสียหายของ Shipping Comb ในตำแหน่ง Pin Latch และ Z-Latch ซึ่งจะต้องกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบจริงมากที่สุด ผลการวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการทดสอบและความน่าเชื่อถือของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

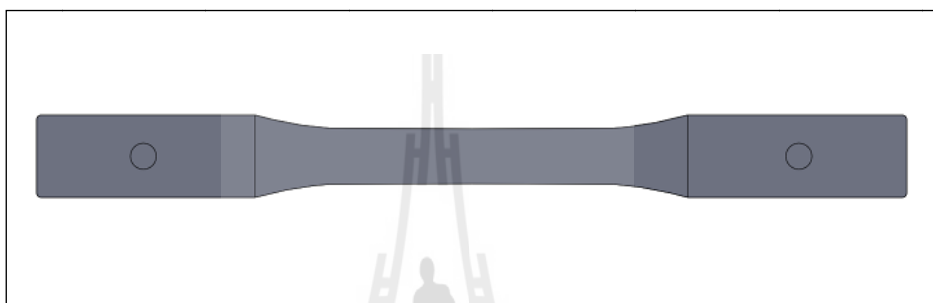
ในการวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการศึกษาใน 2 แนวทาง คือ

- 1) การวิเคราะห์ความเสียหายของโมเดล Shipping Comb ที่ทางโรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน
- 2) ทำการแก้ไข ปรับปรุงชิ้นงานในส่วนที่ส่งผลต่อความเสียหาย

3.4.1 ชิ้นงานทดสอบ

- ชิ้นงานทดสอบมาตรฐาน Specimen ของวัสดุโพลีคาร์บอเนต

Specimen ที่นำมาใช้วิเคราะห์นี้มีรูปร่างคัมเบล (Dumbbell) หน้าตัดสี่เหลี่ยมตามมาตรฐาน (ASTMD638-03) ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้วัดขนาดของ Specimen และขึ้นรูปด้วยโปรแกรม SolidWork 2010 ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ Specimen ที่ได้ออกแบบมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดง Specimen ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWork 2010

- หัวีประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Shipping Comb)

ชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ จาก บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ที่สำหรับใช้กับชุดหัวอ่านจำนวน 8 หัว ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว ทำจากโพลีคาร์บอเนตมีคุณสมบัติทางกล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

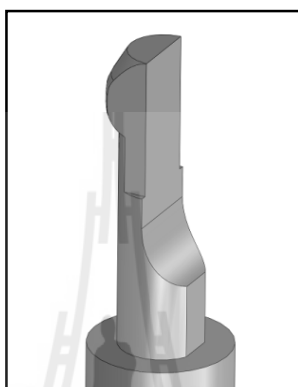
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาทำ Shipping Comb

ชนิดของวัสดุ	โพลีคาร์บอเนต
Poison ratio	0.37
Tensile Modulus (Mpa)	2,413
Tensile Strength (Mpa)	56
Tensile Elongation (%)	5.0-10.0
Flexural Strength (Mpa)	92
Flexural Modulus (Mpa)	2,620

3.4.2 รายละเอียดตำแหน่งที่ทำการศึกษา

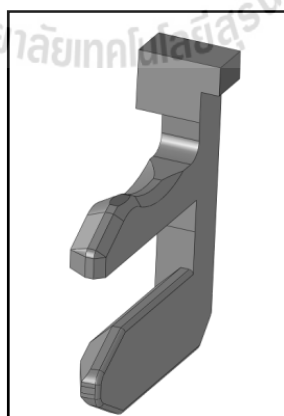
การวิเคราะห์ความเสียหายของ Shipping Comb จะทำการศึกษาชิ้นงานใน 3 ตำแหน่งที่พบว่าเกิดการเสียหายและส่งผลกระทบต่อการใช้งานมากที่สุด ตำแหน่งที่ทำการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.12-3.14

- Pin



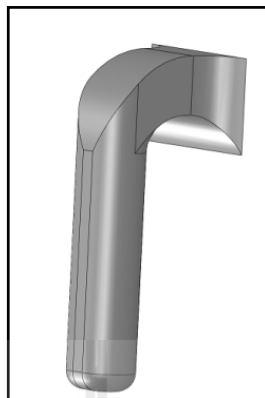
รูปที่ 3.12 แสดงชิ้นส่วน Pin

- Latch



รูปที่ 3.13 แสดงชิ้นส่วน Latch

- Z-Latch



รูปที่ 3.14 แสดงชิ้นส่วน Z-Latch

3.4.3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Ansys Workbench 12.0 ในการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้การศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงมีข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนี้

- พฤติกรรมของวัสดุเป็น Isotropic Elasticity
- เกณฑ์ความเค้นคราก (Yield Stress) เป็นไปตามเงื่อนไขความเสียหายของวอนมิสเสส (Von Mises Yield Criterion)
- คุณสมบัติของทางกลของวัสดุ แสดงไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

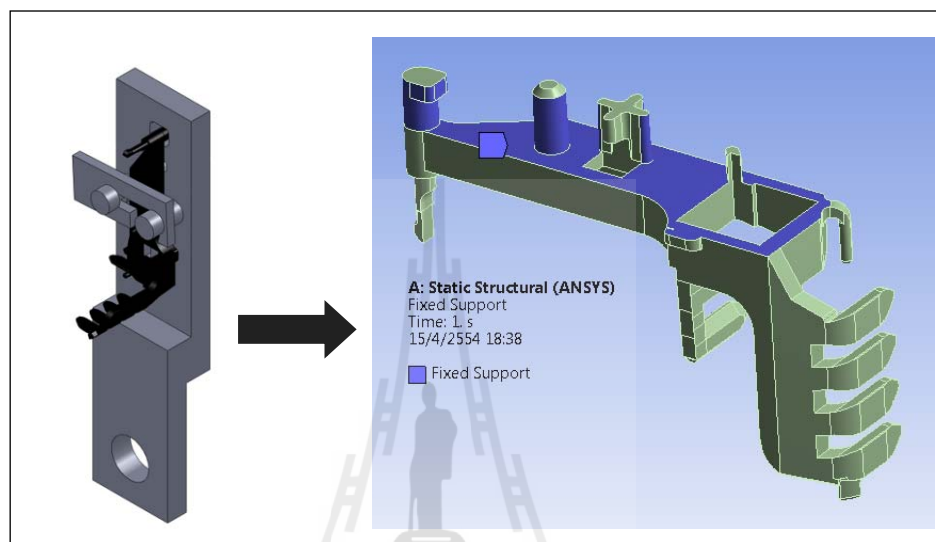
3.4.4 การเลือกเอลิเมนต์ให้กับแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากแบบจำลองโครงสร้างของ Shipping Comb มีความซับซ้อนจึงจำเป็นต้องเลือกรูปแบบเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้นจึงเลือกเอลิเมนต์รูปทรงแบบปริมาตรฐานสามเหลี่ยม (Tetrahedron) และเนื่องจากบริเวณชิ้นงาน 3 ตำแหน่งที่พิจารณาเป็นตำแหน่งที่เกิดความเข้มของความเค้นสูง (Stress Concentration) จึงต้องกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ที่มีจำนวนมากกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นจึงทำการแบ่งเอลิเมนต์บริเวณที่ทำการศึกษาออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ โดยได้ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบ เริ่มต้นที่ 0.5 mm. และลดขนาดเป็น 0.4 0.3 และ 0.2 mm. ตามลำดับ

3.4.5 การกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition)

- การกำหนดบริเวณจับยึด (Fix Support)

ในการกำหนดบริเวณจับยึด Shipping Comb ให้อ้างอิงจากตำแหน่งของชุดอุปกรณ์จับยึดที่ได้จับยึด Shipping Comb ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการจับยึด Shipping Comb โดยอ้างอิงตำแหน่งของชุดอุปกรณ์จับยึด

- การใส่โหลดกระทำต่อชิ้นงาน

การใส่โหลดจะพิจารณาจากลักษณะและทิศทางที่ชิ้นงานตำแหน่งนั้นเสียหาย การใส่โหลดจะให้ 2 วิธี คือ

- ใส่แรง (Force) กระทำกับชิ้นงาน โดยเริ่มใส่แรงน้อย ๆ และสังเกตการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน จากนั้นเพิ่มแรงกระทำมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าความเค้นนั้นมีค่าเท่ากับความเค้น ณ จุดคราก (Yield Stress) นั้นหมายความว่า ชิ้นงานจะเริ่มเกิดการเสียหาย

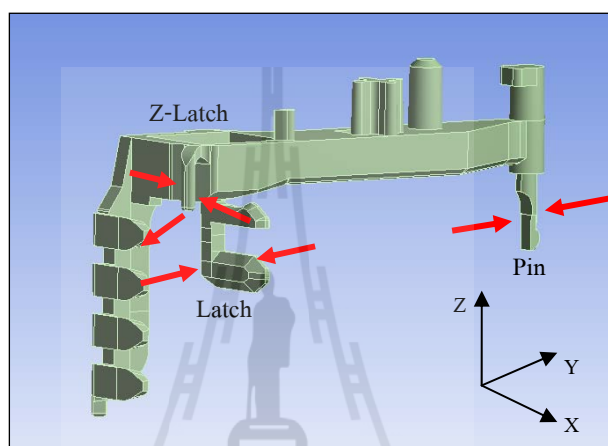
- ใส่ระยะ (Displacement) กดชิ้นงานให้เคลื่อนที่ด้วยค่าหนึ่งแล้วสังเกตการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

สำหรับทิศทางที่จะทำการใส่โหลดนั้นจะพิจารณาจากทิศทางที่ชิ้นงานตำแหน่งเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ดังนี้

- การใส่โหลดที่ Pin จะใส่ 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง $+y$ และทิศทาง $-y$
- การใส่โหลดที่ Latch จะใส่ 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง $+y$ และทิศทาง $-y$

- การใส่โหลดที่ Z-Latch จะใส่ 3 ทิศทาง คือ ทิศทาง $+y$ ทิศทาง $-y$ และ ทิศทาง $+x$

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมและวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของวิธีการทดสอบและสามารถนำเอาโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ความเสียหายนี้ไปใช้ในการทดสอบกับ Shipping Comb รุ่นอื่น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบกับผลิตภัณฑ์จริงๆ



รูปที่ 3.16 แสดงทิศทางการใส่โหลด

3.5 การออกแบบปรับปรุง Shipping Comb

ในการศึกษาหีบประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟรุ่น Moose ชีงงานในตำแหน่ง Pin Latch และ Z-Latch ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถสวมเข้ากับชุดหัวอ่านได้อย่างเหมาะสม แต่รูปทรงของชิ้นงานดังกล่าว อาจส่งผลต่อการเสียหายได้ ดังนั้นหากมีการปรับปรุงแก้ไข Shipping Comb ในตำแหน่งทั้ง 3 ใหม่ จะเป็นช่วยลดปริมาณของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานให้มากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง โดยจะนำเอาชิ้นงานที่ได้ปรับปรุงมาทำการวิเคราะห์การเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 0.5 0.4 0.3 และ 0.2 mm. ตามลำดับ ทำการศึกษาคุณลักษณะการกระจายตัวของความเค้นและความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายหลังใส่โหลดขนาด 1 นิวตัน กระทำบน Pin Latch และ Z-Latch แล้วนำมาเปรียบเทียบกับหาลักษณะรูปทรงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้งานและเพื่อให้ทางบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย ได้เป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงหรือเปลี่ยนไปใช้รูปร่างชิ้นงานแบบใหม่

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล


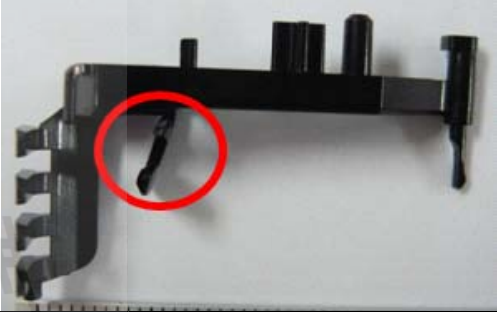



4.1 ผลการจำแนกลักษณะการเสียหายของ Shipping Comb

จากการเก็บข้อมูล Shipping Comb ที่ถูกคัดแยกออกจากกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวนหนึ่ง ใน 1 วันทำงานจะพบชิ้นงานเสียหายหลายตำแหน่ง โดยเฉพาะชิ้นส่วน Pin Latch และ Z-Latch จะพบความเสียหายมากครอบคลุม 60 เปอร์เซ็นต์ของความเสียหายทั้งหมด ซึ่งสามารถจำแนกประเภทการเสียหายได้ 7 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการจำแนกประเภทการเสียหายของ Shipping Comb

รูปแบบ	ตำแหน่ง	ลักษณะความเสียหายที่พบ	รูปภาพ
1	Pin	ชิ้นงานในส่วนนี้หักทั้งหมด	
2	Pin	ชิ้นงานบริเวณหน้าตัดครึ่งวงกลมหักออก	

ตารางที่ 4.1 แสดงการจำแนกประเภทการเสียหายของ Shipping Comb (ต่อ)

รูปแบบ	ตำแหน่ง	ลักษณะ ความเสียหายที่พบ	รูปภาพ
3	Pin	ปลายของชิ้นงาน จะพับงอไปทาง ด้านซ้ายหรือขวา	
4	Latch	ชิ้นงานจะงอเข้าหา ด้านที่มีป่าสูงกว่า	
5	Latch	ชิ้นงานจะงอออกจาก ด้านที่มีป่าสูงกว่า และหักทันที	
6	Z-Latch	ชิ้นงานจะหักทั้งหมด	
7	Z-Latch	ชิ้นงานจะกางออกจาก แนวเดิมหรือบิดไปทาง ด้านซ้ายหรือขวา	

4.1.1 การเสียหายของ Pin

Pin จะนำไปใส่ในรูของ Actuator ทำหน้าที่เป็นจุดหมุนให้กับ Shipping Comb ในการสวมและถอดจากชุดหัวอ่าน Shipping Comb รุ่น Moose ที่ใช้กับชุดหัวอ่านขนาด 8 หัวนี้ ถูกออกแบบมาให้เป็นลักษณะแท่งกลมตรงฐานที่ยื่นออกมาและลดพื้นที่หน้าตัดให้เป็นแบบครึ่งวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.1



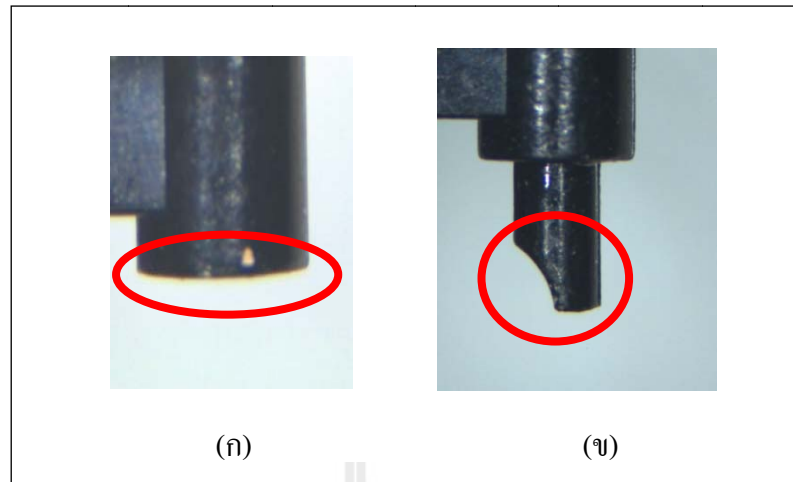
รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นงาน Pin ปัจจุบัน

จากการเก็บข้อมูลการเสียหายของ Pin พบว่า Pin มีรูปแบบการเสียหายแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ Pin หัก (Broken) และ Pin งอ (Bend)

1) Pin หัก

การเสียหายของ Pin แบบแรก คือ การหัก จากการเก็บข้อมูลรูปแบบการหักพบว่า มี Pin มีการหักใน 2 รูปแบบ ดังนี้

- ชิ้นส่วน Pin จะหักทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก)
- ชิ้นส่วน Pin จะหักในส่วนที่มีหน้าตัดเป็นครึ่งวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข)



รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการหักของ Pin

เมื่อนำชิ้นส่วน Pin ที่หักทั้งหมดในแบบที่ 1 มาส่องดูลักษณะผิวหน้าการหักด้วยกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 20 เท่า ลักษณะผิวหน้าที่เสียหายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- ผิวหน้าของ Pin มีการแตกแบบเรียบแต่จะพบรอยนูนขึ้นมาทางด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก)
- ผิวหน้าของ Pin มีการแตกแบบเรียบแต่จะพบรอยนูนขึ้นมาทางด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข)

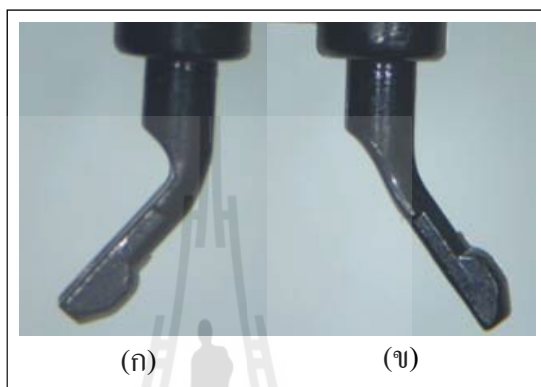


รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะผิวหน้าที่เสียหายจากการหักของ Pin

2) Pin งอ

การเสียหายของ Pin แบบที่ 2 คือ การงอ จากการเก็บข้อมูลรูปแบบการงอของ Pin พบว่า มีลักษณะการงอใน 2 ทิศทาง ดังนี้

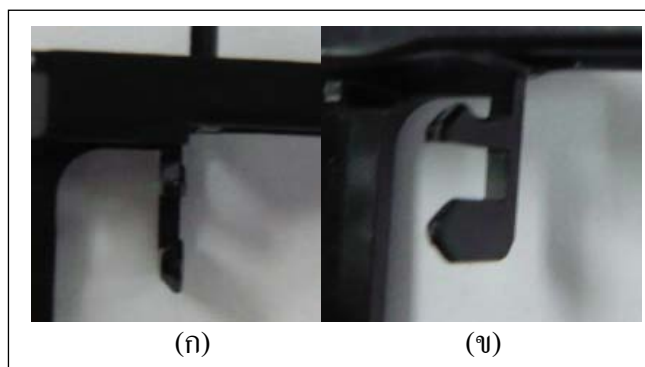
- ชิ้นงานงอเข้าหา Shipping Comb ไปทางด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก)
- ชิ้นงานงอออกจาก Shipping Comb ไปทางด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข)



รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการงอของ Pin

4.1.2 การเสียหายของ Latch

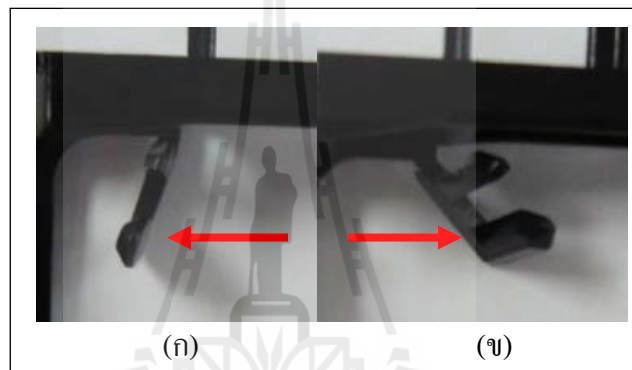
Latch จะถูกสวมเข้าระหว่างแขนที่ 1 และ 2 ของ Actuator เพื่อล็อกและปรับให้ตำแหน่งซี่หวี (Comb) ที่จะสวมเข้ากับชุดหัวอ่านบริเวณตรงปลายอยู่ในแนวเดียวกันทำให้ซี่หวีสามารถสวมชุดหัวอ่านได้อย่างพอดีโดยไม่คลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.5 แสดงชิ้นงาน Latch ปัจจุบัน

ลักษณะรูปร่างของ Latch ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะพบว่าเป็น Latch ที่มี 2 ซี่ โดยซี่ด้านบนจะมีลักษณะนูนขึ้นเพื่อทำให้พื้นที่บริเวณนั้นสัมผัสกับแขนของ Actuator ผิววูนนี้ ถูกออกแบบมาให้สามารถสวมและถอด Shipping Comb จาก Actuator ได้ด้วยแรงที่เหมาะสม จากการเก็บข้อมูล Shipping Comb ที่เสียหายจากกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านพบว่า Latch มีลักษณะการเสียหาย 2 รูปแบบ ดังนี้

- 1) Latch งอไปด้านซ้ายที่มีป่าสูงกว่าอีกด้านหนึ่งแต่ไม่หัก ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก)
- 2) Latch งอไปด้านขวาด้วยมุมประมาณหนึ่งแล้วหลังจากนั้น Latch จะเกิดรอยฉีกขาดและหักในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข)



รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการเสียหายของ Latch

4.1.3 การเสียหายของ Z-Latch

Z-Latch เป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ ยื่นออกมาจาก Shipping Comb ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ตำแหน่งตรงปลายของ Z-Latch จะเป็นส่วนที่ต้องสัมผัสกับปลายของ Actuator โดยถูกออกแบบมาให้มีพื้นที่หน้าตัดระหว่างผิวสัมผัสที่เหมาะสม ทำหน้าที่ล็อก Shipping Comb ที่สวมกับ Actuator ไม่ให้หลุดออกจากกัน



รูปที่ 4.7 แสดงชิ้นงาน Z-Latch ปัจจุบัน

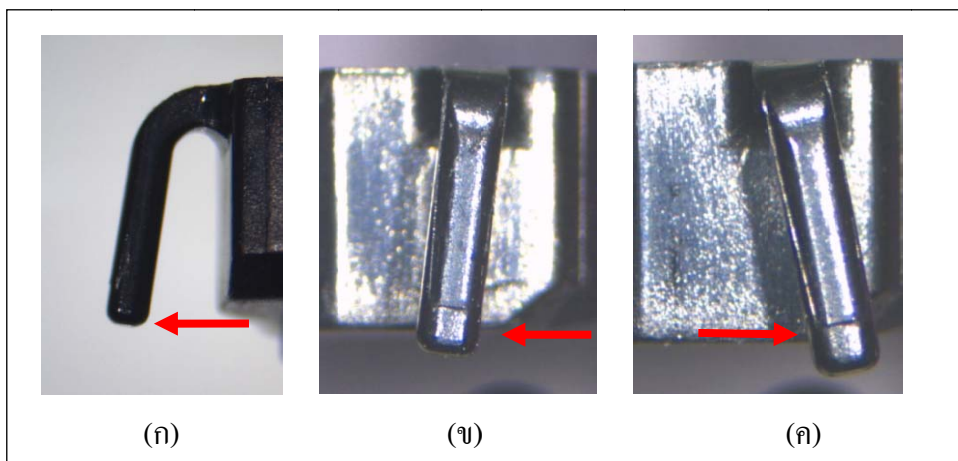
จากการเก็บข้อมูล Shipping Comb ที่เสียหายจากกระบวนการประกอบชุดหัวอ่าน พบว่า ลักษณะการเสียหายของ Z-Latch มีทั้งสิ้น 2 รูปแบบ คือ Z-Latch หัก และ Z-Latch กางออก หรือเอียงตัวออกจากแนวเดิม



รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบการหักของ Z-Latch

1) Z-Latch หัก

ลักษณะการหักของ Z-Latch ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จะพบว่า ตำแหน่งที่เกิดการหัก จะปรากฏอยู่บริเวณตรงโคนของ Z-Latch



รูปที่ 4.9 แสดงการเสียรูปของ Z-Latch

2) Z-Latch กางออกหรือเอียงตัวออกจากแนวเดิม

สำหรับการเสียรูปของ Z-Latch จะพบว่ามีรูปแบบการเสียหายใน 3 ทิศทาง ดังนี้

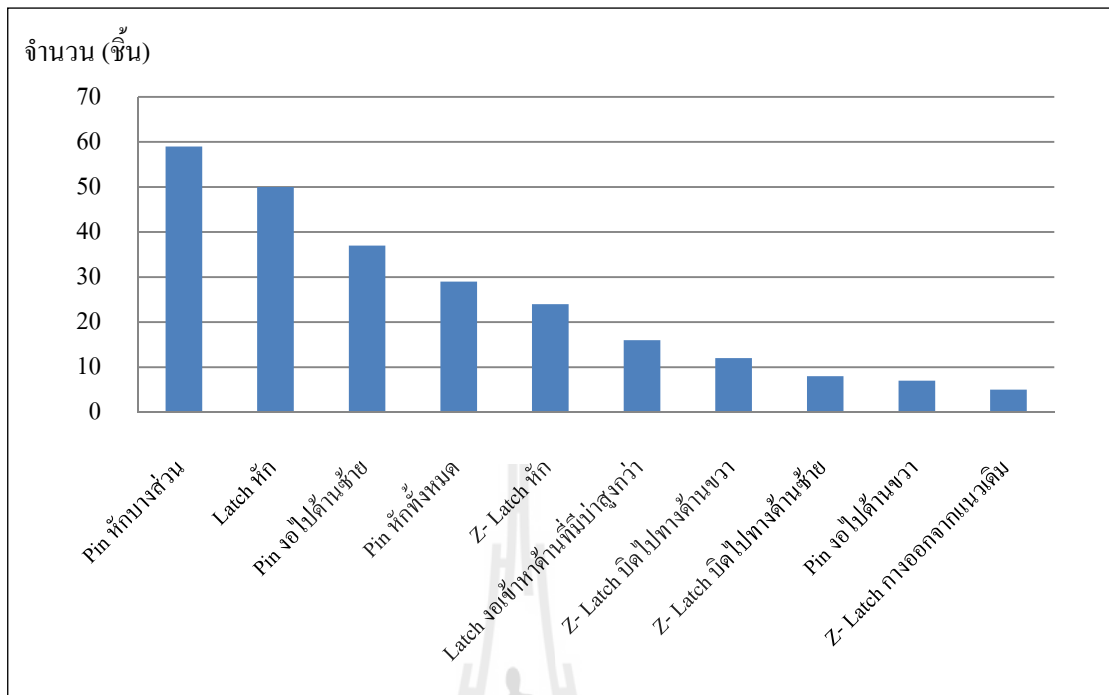
- Z- Latch จะกางตัวออกจากแนวเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก)
- Z- Latch จะเอียงตัวไปทางด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ข)
- Z- Latch จะเอียงตัวไปทางด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ค)

ข้อมูลจำนวนชิ้นงานที่ถูกคัดแยกออกจากกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านจำนวนหนึ่ง นำมาจำแนกรูปแบบการเสียหายสามารถสรุปผลได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนชิ้นงานเสียหายในลักษณะต่าง ๆ

ตำแหน่ง	ลักษณะความเสียหาย	จำนวน
Pin	ชิ้นงานหักทั้งหมด	29
	ชิ้นงานหักบางส่วน	59
	ชิ้นงานงอไปด้านซ้าย	37
	ชิ้นงานงอไปด้านขวา	7
Latch	ชิ้นงานหัก	50
	ชิ้นงานจะงอเข้าหาด้านที่มีป่าสูงกว่า	16
Z- Latch	ชิ้นงานหัก	24
	ชิ้นงานกางออกจากแนวเดิม	5
	ชิ้นงานบิดไปทางด้านซ้าย	8
	ชิ้นงานบิดไปทางด้านขวา	12
ชิ้นส่วนอื่น ๆ		159
เป็นจำนวนทั้งสิ้น		<u>406</u>

จากตารางสรุปผลการจำแนกรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า Pin เกิดความเสียหาย 4 รูปแบบ Latch เกิดความเสียหาย 2 รูปแบบ และ Z-Latch เกิดความเสียหาย 4 รูปแบบ เมื่อนำข้อมูลที่ได้อัปโหลดในแผนภูมิพารето (Pareto) แสดงจำนวนการเสียหายของชิ้นงานรูปแบบต่าง ๆ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนการเสียหายของชิ้นงานรูปแบบต่าง ๆ

จากแผนภูมิพาร์โตแสดงจำนวนชิ้นงาน Pin Latch และ Z-Latch ที่เสียหายในรูปแบบต่าง ๆ จะพบว่าชิ้นส่วน Pin ที่มีรูปแบบการเสียหายแบบหักบางส่วนเป็นจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นส่วน Latch ที่มีรูปแบบการเสียหายแบบหักทั้งหมดและพบการเสียหายของ Z-Latch ที่มีรูปแบบการเสียหายโดยชิ้นงานกางออกจากแนวเดิมนั้นมีจำนวนน้อยที่สุดซึ่งข้อมูลที่ได้จากกราฟสามารถสรุปได้ว่า Pin จะพบความเสียหายเป็นจำนวนมากที่สุด รองลงมา คือ Latch และ Z-Latch ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบและการจำลองการเสียหายของชิ้นงาน

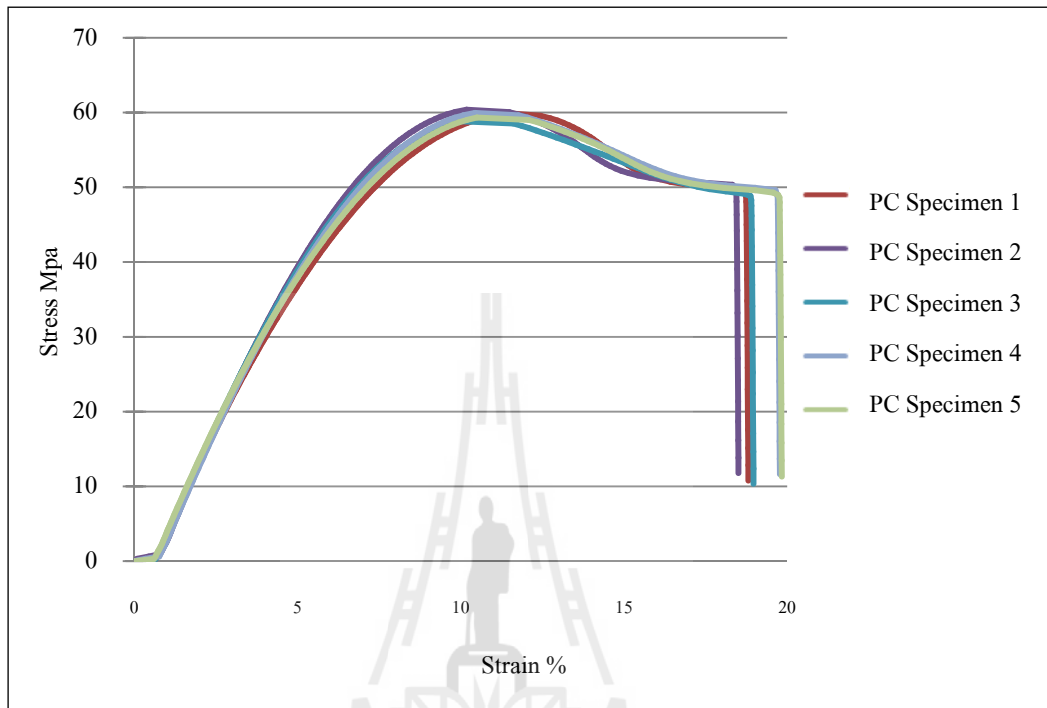
จากการศึกษารูปแบบการเสียหายของ Shipping Comb ทำให้ทราบว่าสาเหตุที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการได้รับผลกระทบทางกล เมื่อชิ้นงานได้รับแรงมากกระทันหันจะทำให้เกิดการเสียหายทั้งในรูปแบบการหักและการงอ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม Shipping Comb ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิมแล้วจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ จากลักษณะการเสียหายที่ได้ทำการจำแนกแล้วในหัวข้อที่ 4.1 จึงได้ออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบให้ชิ้นส่วนของ Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่งเสียหายตามทิศทางที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ เพื่อหารูปแบบและแรงทางกลที่ทำให้ชิ้นส่วนเสียหายที่แท้จริง หลังจากนั้นจึงได้ทำการจำลองการเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของความเค้นความเครียด ระยะที่ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงและหาแรงที่ทำให้ชิ้นงานนั้นเสียหายแล้วนำผลที่ได้จากการจำลองไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองกับผลการทดสอบและยืนยันความถูกต้องของวิธีการทดสอบนี้เมื่อเทียบกับผลการทดสอบมาตรฐาน

ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการทดสอบชิ้นงานให้เสียหายโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine 5560 และจำลองผลการเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานต่อไปนี้

- 1) ชิ้นงานทดสอบมาตรฐาน (Specimen)
- 2) Pin
- 3) Latch
- 4) Z-Latch

4.2.1 ผลการทดสอบและการจำลองการเสียหายของชิ้นงานมาตรฐาน (Specimens)

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560



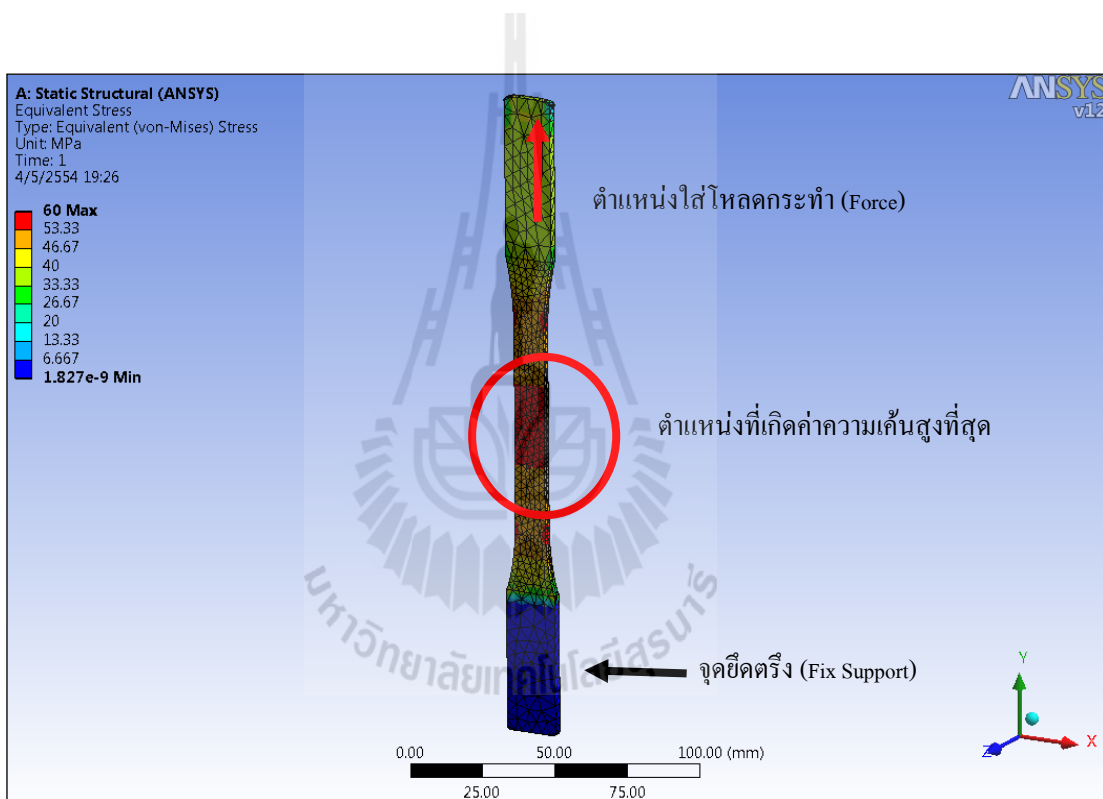
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียดของชิ้นงานทดสอบมาตรฐาน

จากการทดสอบชิ้นงาน โพลีคาร์บอเนตด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) จำนวน 5 ชิ้น ด้วยอัตราเร็ว 50 mm./min เมื่อนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 4.10 จะพบว่า ชิ้นงานจะมีพฤติกรรมการเสียหายแบบวัสดุเหนียว (Ductile Material) โดยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงวัสดุ 2 ช่วงคือ Elastic Deformation และ Plastic Deformation จากกราฟจะเห็นได้ว่าชิ้นงานจะสามารถรับแรงดึงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดคราก (Yield Point) ณ จุดนี้ ชิ้นงานทดสอบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรซึ่งจะเกิดค่าความเค้น (Yield Stress) เท่ากับ 56 MPa หลังจากนั้นชิ้นงานจะสามารถรับแรงกระทำได้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งสามารถรับความเค้นได้สูงสุด (Ultimate Tensile Stress) เท่ากับ 60 Mpa และค่าคุณสมบัติทางกลที่ได้จากการทดสอบด้วยแรงดึงนี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Shipping Comb ต่อไป

2) ผลการวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานมาตรฐานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะแสดงผลในรูปการกระจายตัวของความเค้นของเอลิเมนต์ตามเกณฑ์ของวอนมิสเชส (Von Mises Criterion) ดังนี้

การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบ Specimen โพลีคาร์บอเนตซึ่งถูกดึงให้เสียหาย การวิเคราะห์ได้ทำการดึงชิ้นงานให้ยืดออก โดยกำหนดบริเวณจับยึดและลักษณะการใส่โหลดตามการทดสอบจริงได้ผล ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบน Specimen โพลีคาร์บอเนต

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 12.0 โดยอ้างอิงค่าคุณสมบัติความเค้นคราก (Yield Stress) ของโพลีคาร์บอเนต จะพบว่าเมื่อใส่โหลดกระทำดึงชิ้นงานด้วยแรง 2,265.92 N จะมีการกระจายตัวของค่าความเค้นสูงสุด ณ บริเวณตรงกลางของ Specimen เท่ากับ 60 MPa เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าลักษณะการเสียหายจะเกิดขึ้น ณ บริเวณตรงกลางของ Specimen ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกัน ผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองการเสียหายเป็นดังนี้



รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบการดึง Specimen ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

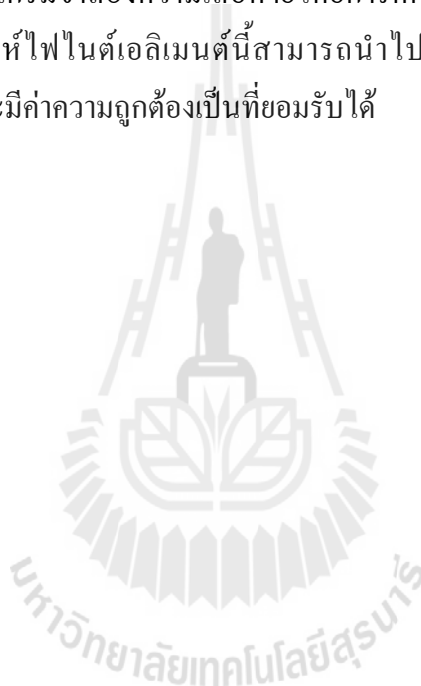
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการดึง Specimen จำนวน 5 ชิ้น
ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

ชิ้นงาน	แรง (N)	ความเค้น (MPa)
1	2,411.71	59.86
2	2,431.93	60.36
3	2,370.53	58.84
4	2,414.80	59.94
5	2,389.71	59.32
ค่าเฉลี่ย	2,403.74	59.66

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการจำลองการเสียหายของ Specimen ด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 12.0

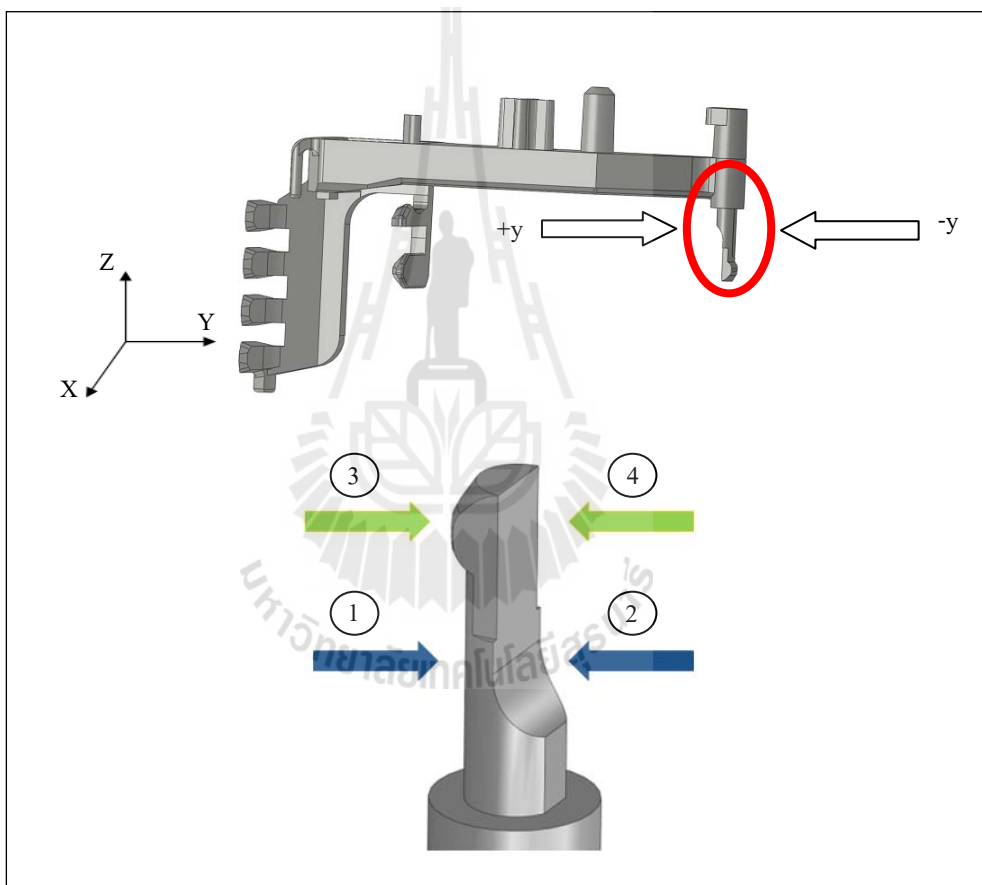
ชิ้นงาน	แรง (N)	ความเค้น (MPa)
โพลีคาร์บอนเนต	2,265.92 N	60

จากการเปรียบเทียบผลทดสอบการดึง Specimen ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 และผลการจำลองการเสียหายด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 12.0 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าได้ผลใกล้เคียงกัน การเปรียบเทียบผลที่ได้เป็นการแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของโปรแกรมจำลองความเสียหายโดยการศึกษาการกระจายตัวของค่าความเค้น ดังนั้นโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์นี้สามารถนำไปจำลองการเสียหายของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อื่น ๆ และมีค่าความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้



4.2.2 ผลการทดสอบและการจำลองการเสียหายของ Pin

จากการศึกษาลักษณะเสียหายของ Pin ในหัวข้อ 4.1.1 จะพบว่า มีการเสียหาย 2 รูปแบบ คือ Pin หักหมด และ Pin งอเสียรูป การพิจารณาจึงต้องแบ่งออกเป็น 2 กรณี เพราะลักษณะการเสียหายทั้ง 2 รูปแบบนี้จะเกิดจากการได้รับแรงกระทำคนละตำแหน่งกัน ดังนั้นในการทดสอบและการจำลองการเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ พิจารณาการหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดตรงกลาง Pin (ทิศทางหมายเลข 1 และ 2) และ พิจารณาการเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดตรงปลาย Pin (ทิศทางหมายเลข 3 และ 4) ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงทิศทางการใส่โหลดให้กับ Pin

กรณีที่ 1 การหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดบริเวณตรงกลาง Pin

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

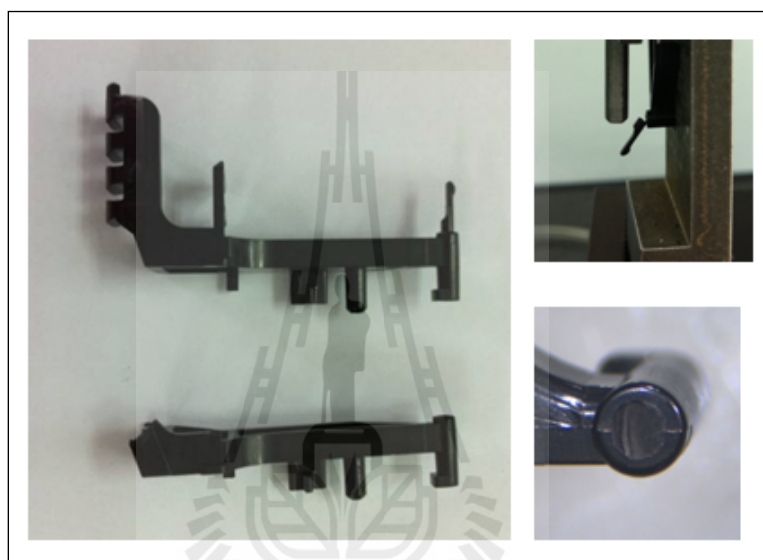
การทดสอบ Pin ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 กรณีนี้จะนำ Pin ไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 การทดสอบใช้จำนวนชิ้นงานทิศทางละ 5 ชิ้น ทดสอบชิ้นงานโดยสั่งให้เครื่องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานบริเวณตรงกลาง Pin ระหว่างนี้เครื่องจะทำการบันทึกกระยะทางที่ Load Cell เคลื่อนที่และคำนวณแรงที่ใช้กด Pin การทดสอบจะยุติลงเมื่อตำแหน่งขึ้นทดสอบหัก แรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบจะได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 ทิศทางจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงการจับยึด Pin เพื่อทดสอบหักชิ้นงานในทิศทาง $-y$ และ $+y$

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบ หาแรงสูงสุดที่ทำให้ Pin หัก
ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ (N)
1	Pin	-y	10.8848
2	Pin	+y	10.7046



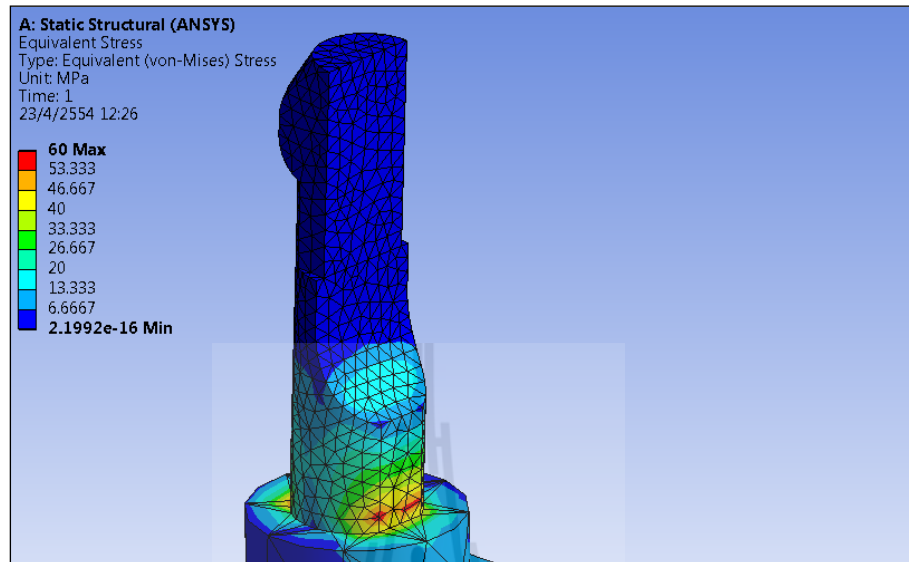
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของ Pin ที่หักจากการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง

2) ผลการวิเคราะห์การหักของ Pin ด้วยการจำลองใส่โหลดบริเวณตรงกลาง Pin

ในการจำลองการหักของ Pin โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะกำหนดบริเวณจับยึดและตำแหน่งการใส่โหลดให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบมากที่สุด การศึกษาในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์หาขนาดของแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเสียรูปโดยได้รับความเค้นสูงสุดที่อ้างอิงค่าคุณสมบัติทางกลจากการทดสอบชิ้นงานมาตรฐาน แล้วทำการศึกษาผลการกระจายตัวของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเพื่อระบุตำแหน่งที่ชิ้นงานจะมีโอกาสเสียหายได้ง่าย

การวิเคราะห์การหักของ Pin ด้วยการจำลองใส่โหลดบริเวณตรงกลาง Pin จะนำเสนอผลที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง $-y$ และ $+y$

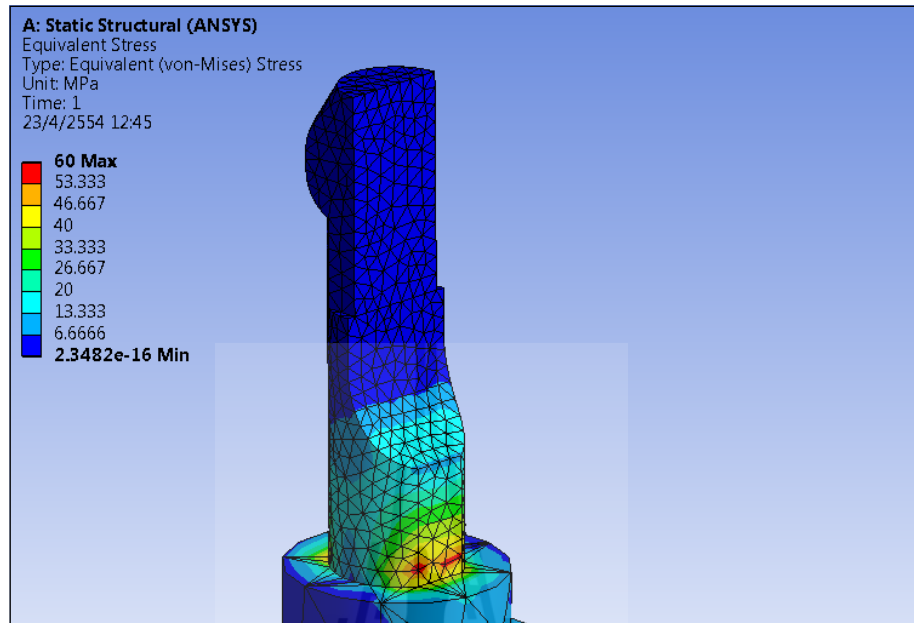
- ผลการจำลองใส่โหลดในทิศทาง $-y$



รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงกลางกระทำในทิศทาง $-y$



- การจำลองใส่โหลดในทิศทาง +y



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงกลางกระทำในทิศทาง +y

จากผลการจำลองการหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดบริเวณตรงกลาง Pin กระทำในทิศทาง $-y$ ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าจะเกิดความเค้นสูงบริเวณฐานของ Pin ทั้ง 2 ด้าน จากวิเคราะห์โดยการใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานพบว่าการใช้แรง 10.9537 N จะทำให้ชิ้นงานสามารถรับค่าความเค้นได้สูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 60 MPa

ผลการจำลองการหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y ดังแสดงในรูปที่ 4.18 จะพบว่าชิ้นงานจะความเค้นสูงบริเวณฐานของ Pin ทั้ง 2 ด้าน เมื่อใช้แรงขนาด 10.9320 N จะทำให้ชิ้นงานสามารถรับค่าความเค้นได้สูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 60 MPa

จากการวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นงานทั้ง 2 ทิศทางจะพบว่าแรงทำให้ชิ้นงานเสียหายจะมีค่าใกล้เคียงกัน และตำแหน่งของการเกิดความเค้นสูงสุดจะเกิดบริเวณเดียวกันอีกด้วย การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองความเสียหาย ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง
การหักของ Pin ด้วยการใส่โหลดบริเวณตรงกลาง Pin

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)
1	Pin	-y	10.8848	10.9537
2	Pin	+y	10.7046	10.9320

กรณีที่ 2 การเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

การทดสอบ Pin ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 กรณีนี้จะนำ Pin ไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบ เช่นเดียวกับการทดสอบในกรณีที่ 1 แต่ตำแหน่งที่ทดสอบ Pin จะเปลี่ยนเป็นบริเวณตรงปลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงการจับยึด Pin เพื่อทดสอบให้ชิ้นงานเสียรูปในทิศทาง $-y$ และ $+y$

การทดสอบใช้จำนวนชิ้นงานทิศทางละ 5 ชิ้น ทดสอบชิ้นงานโดยสั่งให้เครื่องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานเครื่องจะทำการบันทึกระยะทางที่ Load Cell เคลื่อนที่และคำนวณแรงที่ใช้กด Pin ให้เสียรูป ผลที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และลักษณะของ Pin ที่ได้จากการทดสอบกดชิ้นงานให้หักทั้ง 2 ทิศทางจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ Pin ให้เสียรูป โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	ระยะเคลื่อนที่ (mm.)	แรงที่ทำให้ชิ้นงานเริ่มเกิดการเสียรูปด้วยระยะเคลื่อนที่ดังกล่าว (N)
1	Pin	-y	0.5664	2.2218
2	Pin	+y	0.5499	2.1328



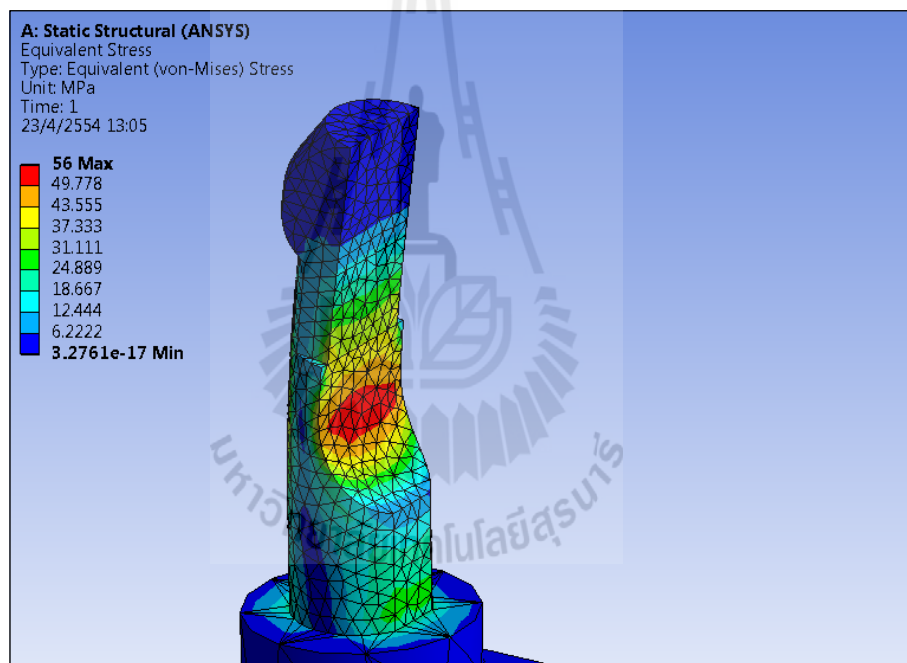
รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะของ Pin ที่หักจากการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง

2) ผลการวิเคราะห์การเสียหายของ Pin ด้วยการจำลองใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin

การศึกษาในกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์หาขนาดของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเริ่มเกิดเสียรูป โดยได้รับความเค้นครากที่อ้างอิงค่าคุณสมบัติทางกลจากการทดสอบชิ้นงานมาตรฐาน แล้วทำการศึกษาผลการกระจายตัวของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานเพื่อระบุตำแหน่งที่ชิ้นงานจะมีโอกาสเสียหายได้ง่าย

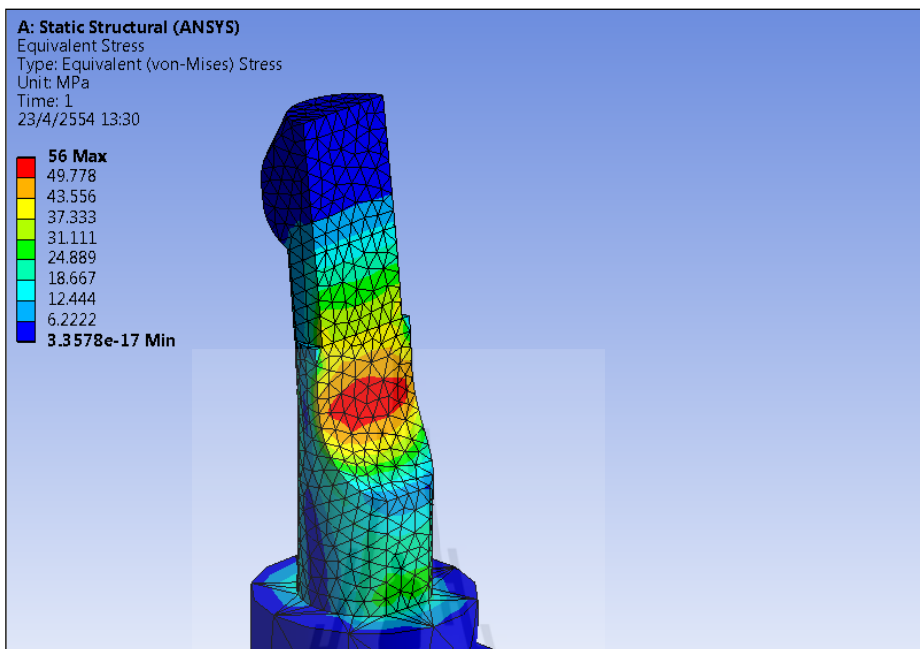
การวิเคราะห์การเสียหายของ Pin ด้วยการจำลองใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin จะนำเสนอผลที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทาง $-y$ และ $+y$

- การจำลองใส่โหลดในทิศทาง $-y$



รูปที่ 4.21 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลดบริเวณตรงปลายกระทำในทิศทาง $-y$

- การจำลองใส่โหลดในทิศทาง +y



รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Pin เมื่อใส่โหลด บริเวณตรงปลายกระทำในทิศทาง +y

จากผลการจำลองการหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin กระทำในทิศทาง $-y$ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าจะเกิดความเค้นสูงบริเวณรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent โดยจะเกิดทั้ง 2 ด้าน จากการวิเคราะห์จะพบว่าจะต้องออกแรง 1.8792 N จะสามารถกดชิ้นงานด้วยระยะ 0.5365 mm. ซึ่งทำให้ชิ้นงานสามารถรับค่าความเค้นครากได้เท่ากับ 56 MPa แล้วเริ่มเกิดการเสียรูปอย่างถาวร

ผลการจำลองการหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin กระทำในทิศทาง +y ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าจะเกิดความเค้นสูงบริเวณรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent โดยจะเกิดทั้ง 2 ด้าน จากการวิเคราะห์จะพบว่าจะต้องออกแรง 1.8968 N จะสามารถกดชิ้นงานด้วยระยะ 0.5363 mm. ซึ่งทำให้ชิ้นงานสามารถรับค่าความเค้นครากได้เท่ากับ 56 MPa แล้วเริ่มเกิดการเสียรูปอย่างถาวร

การวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นงานทั้ง 2 ทิศทางจะพบว่าแรงทำให้ชิ้นงานเสียหาย จะมีค่าใกล้เคียงกันและตำแหน่งของการเกิดความเค้นสูงสุดจะเกิดบริเวณเดียวกันอีกด้วย การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองความเสียหายเป็นดังนี้

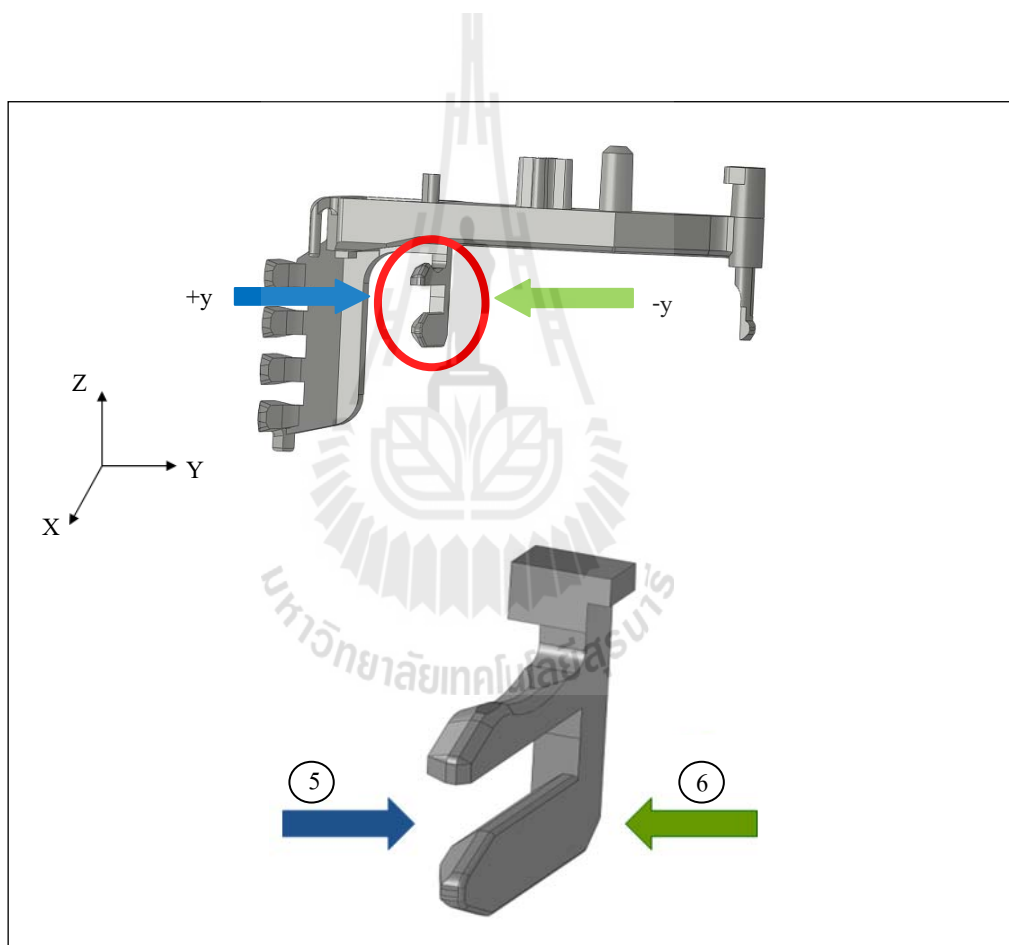
ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง การเสียรูปของ Pin ด้วยการใส่โหลดบริเวณตรงปลาย Pin

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)
1	Pin	-y	2.2218	1.8792
2	Pin	+y	2.1328	1.8968

จากการวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นงานทั้ง 2 ทิศทาง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จะพบว่าแรงทำให้ชิ้นงานเสียหายทั้งกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกันและตำแหน่งของการเกิดความเค้นสูงสุดจะเกิดบริเวณเดียวกันอีกด้วย จากการออกแบบ Pin ให้มีชิ้นงานเป็นครึ่งวงกลมลักษณะแบบนี้จะทำให้ชิ้นงานมีโอกาสเกิดความเสียหายได้ทั้ง 2 รูปแบบ คือ ทั้งหัก และงอ โดยเฉพาะการได้รับแรงกระทำบริเวณตรงปลายซึ่งจะพบความเสียหายได้ง่ายกว่า

4.2.3 ผลการวิเคราะห์การเสียหายของ Latch

จากการศึกษาลักษณะเสียหายของ Latch ในหัวข้อ 4.1.2 จะพบการเสียหาย 2 รูปแบบคือ Latch จะเกิดการงอเข้าหาด้านที่มีบ่าสูงกว่าอีกด้านหนึ่งแต่ไม่หักและ Latch จะงอออกจากบ่าดังกล่าวด้วยมุมประมาณหนึ่งแล้วหลังจากนั้น Latch ก็เกิดรอยฉีกขาดและหักในที่สุด การจำลองการเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของความเค้นตามลักษณะการเสียหายจริง โดยทำการพิจารณาการเสียหายใน 2 ทิศทาง คือ พิจารณาการหักของชิ้นงาน โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+y$ (ทิศทางหมายเลข 5) และ พิจารณาการเสียหายรูปของชิ้นงาน โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $-y$ (ทิศทางหมายเลข 6) ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงทิศทางการใส่โหลดให้กับ Latch

กรณีที่ 1 การหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

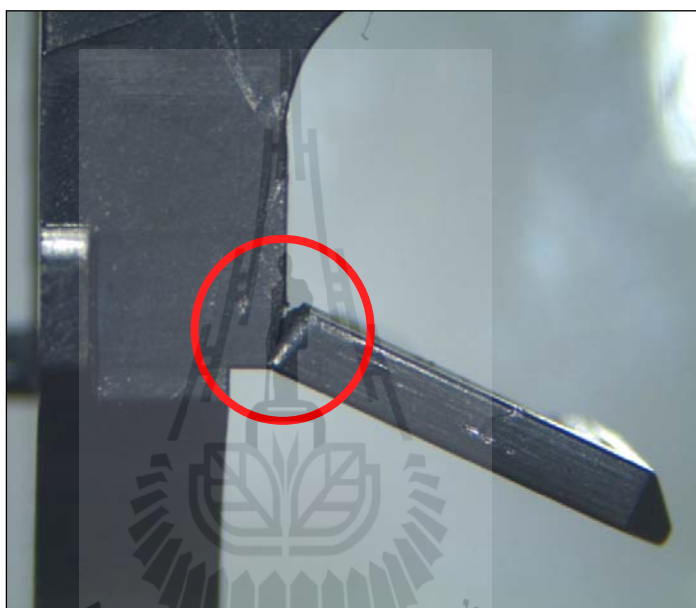
การทดสอบ Latch ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 กรณีนี้จะนำ Latch ไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 การทดสอบใช้จำนวนชิ้นงาน 5 ชิ้น สั่งให้เครื่องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานในด้านที่มีบ่าสูงกว่า ระหว่างนี้เครื่องจะทำการบันทึกกระแสวิ่งที่ Load Cell เคลื่อนที่และคำนวณแรงที่ใช้กด Latch การทดสอบจะยุติลงเมื่อตำแหน่งชิ้นทดสอบหักแรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และลักษณะของ Latch ที่ได้จากการทดสอบกดชิ้นงานให้หักในทิศทาง +y ดังแสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.24 แสดงการจับยึด Latch เพื่อทดสอบหักชิ้นงาน ในทิศทาง +y

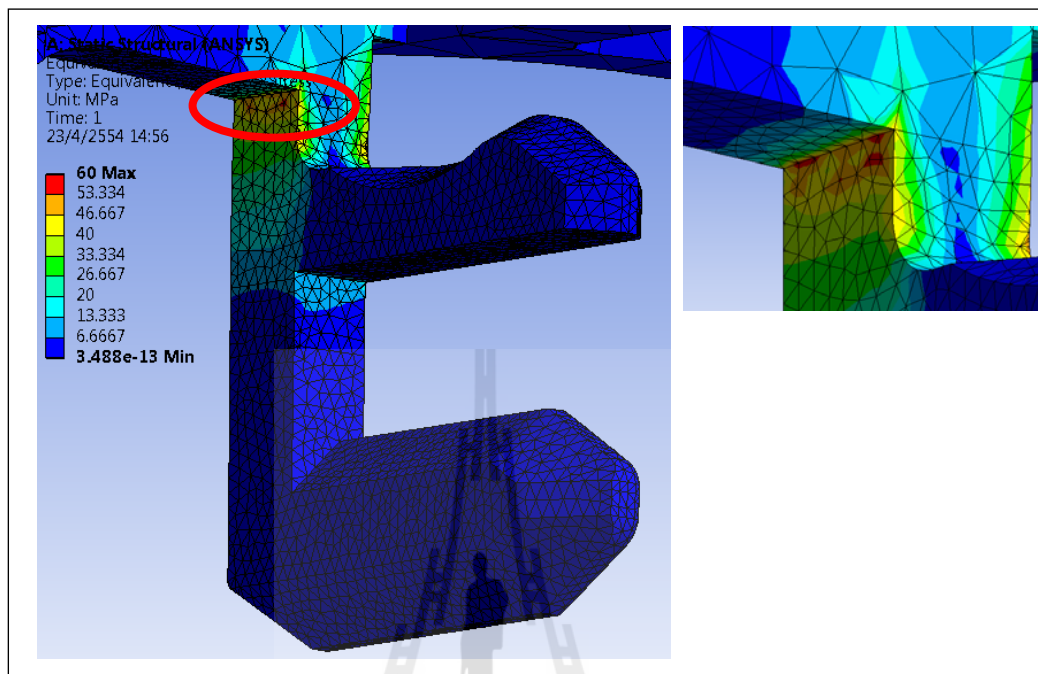
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Latch หัก
ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ (N)
1	Latch	+y	5.3880



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะของ Latch ที่หักจากการทดสอบในทิศทาง +y

2) ผลการจำลองการหักของ Latch โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y



รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y

ผลการจำลองการเสียหายของ Latch โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y ดังแสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าชิ้นงานจะเกิดความเค้นสูงบริเวณมุมขอบของหน้าตัดด้านซ้าย จากการวิเคราะห์โดยการใส่แรงกระทำกับชิ้นงาน 5.2817 N พบว่าจะทำให้ชิ้นงานสามารถรับค่าความเค้นได้เท่ากับ 60 Mpa ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานหัก

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองการหักของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง +y ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองการหักของ Latch ในทิศทาง +y

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)
1	Latch	+y	5.3880	5.2817

กรณีที่ 2 การเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $-y$

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

การทดสอบ Latch ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 กรณีนี้จะนำ Latch ไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบ เช่นเดียวกับการทดสอบในกรณีที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.27

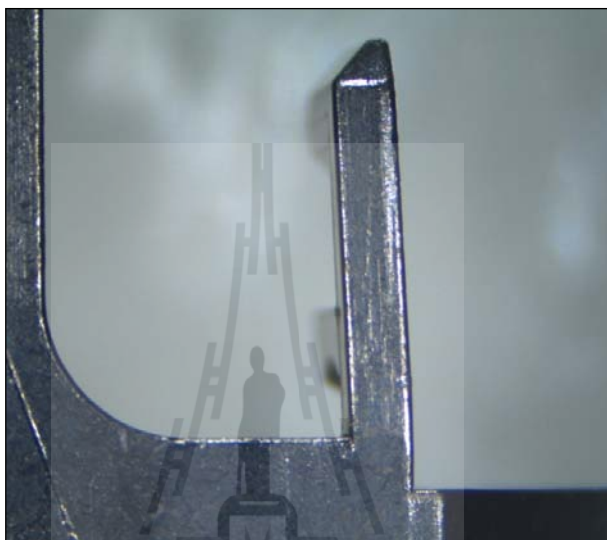


รูปที่ 4.27 แสดงการจับยึด Latch เพื่อทดสอบหักชิ้นงาน ในทิศทาง $-y$

การทดสอบใช้จำนวนชิ้นงาน 5 ชิ้น สั่งให้เครื่องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานในด้านที่มีบ่าต่ำกว่า ระหว่างนี้เครื่องจะทำการบันทึกระยะทางที่ Load Cell เคลื่อนที่และคำนวณแรงที่ใช้กด Latch ให้เสียรูป ผลที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และลักษณะของ Pin ที่ได้จากการทดสอบกดชิ้นงานให้หักทั้ง 2 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.28

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบ Latch โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ให้กับ
เครื่อง Universal Testing Machine 5560

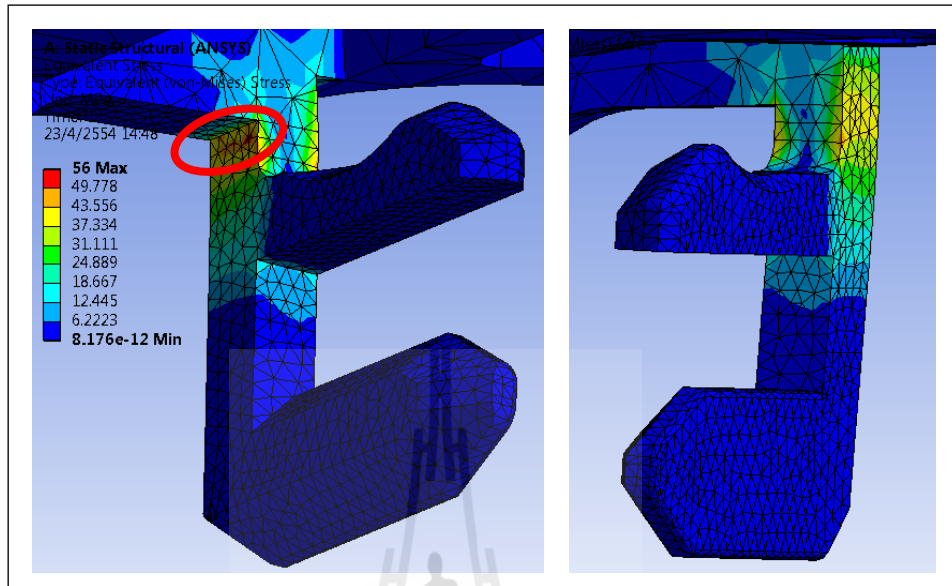
ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	ระยะเคลื่อนที่ (mm.)	แรงที่เกิดขึ้น (N)
1	Latch	-y	0.5499	4.1194



รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะของ Latch ที่เสียรูปจากการทดสอบในทิศทาง -y



2) ผลการจำลองการเสียรูปของ Latch โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $-y$



รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง $-y$

จากผลการจำลองการเสียหายในทิศทาง $-y$ จะเห็นได้ว่า เมื่อออกแรงกระทำ 4.0224 N จะทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.5055 mm. ทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นครากเท่ากับ 56 MPa ดังแสดงในรูปที่ 4.29 จะพบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณขอบของหน้าตัดด้านซ้ายและด้านขวาซึ่งเกิดขึ้นในแนวเดียวกัน แต่การเสียหายในทิศทางนี้จะพบว่า ความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้นเป็นบริเวณแคบ ๆ เท่านั้น การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองความเสียหาย ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองการเสียรูปของ Latch ในทิศทาง $-y$

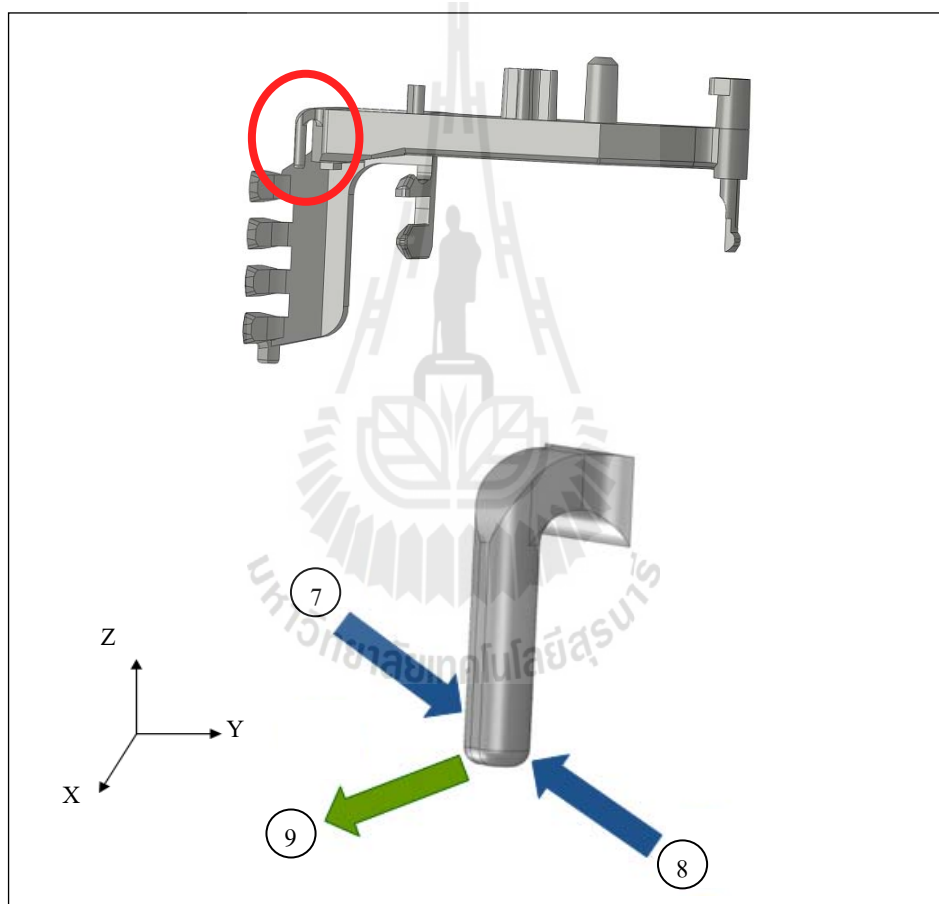
ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)
1	Latch	$-y$	4.1194	4.0224

จากการวิเคราะห์การเสียรูปของชิ้นงานทั้ง 2 ทิศทางพบว่าการออกแบบ Latch ให้มีหน้าตัด 2 ด้านไม่เท่ากันนั้นจะเป็นผลดีต่อการใช้งาน คือ จะลดโอกาสในการเสียหายของ Latch ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากชิ้นงานได้รับแรงกระทำในด้านที่มีบ่าต่ำกว่า ($-y$) จะทำให้ชิ้นงานงอโดยไม่ทำให้ชิ้นงานหัก แต่อีกด้านหนึ่งหากได้รับแรงกระทำ ($+y$) ก็จะทำให้ชิ้นงานหักอย่างง่ายดาย ดังนั้นการออกแบบชิ้นงานให้ด้านหนึ่งมีบ่าสูงกว่าจะมีโอกาสเสียหายได้ง่ายกว่า



4.2.4 ผลการวิเคราะห์การเสียหายของ Z-Latch

จากการศึกษาลักษณะเสียหายของ Z-Latch ในหัวข้อ 4.1.3 จะพบการเสียหาย 2 รูปแบบ คือ ชี้นงานมีทั้งหักและเบนออกจากแนวเดิม การจำลองการเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของความเค้นตามลักษณะการเสียหายจริง โดยทำการพิจารณาการเสียหายใน 3 ทิศทาง โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ พิจารณาการเสียหายรูปของชี้นงาน โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+y$ และ $-y$ (ทิศทางหมายเลข 7 และ 8) และพิจารณาการเสียหายรูปของชี้นงาน โดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+x$ (ทิศทางหมายเลข 9) ดังแสดงในรูปที่ 4.30

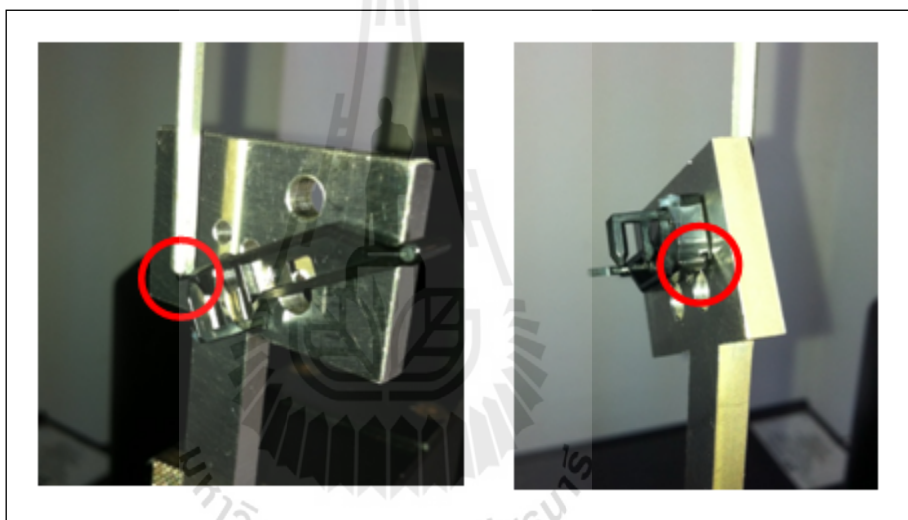


รูปที่ 4.30 แสดงทิศทางการใส่โหลดให้กับ Z-Latch

กรณีที่ 1 การเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+y$ และ $-y$

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

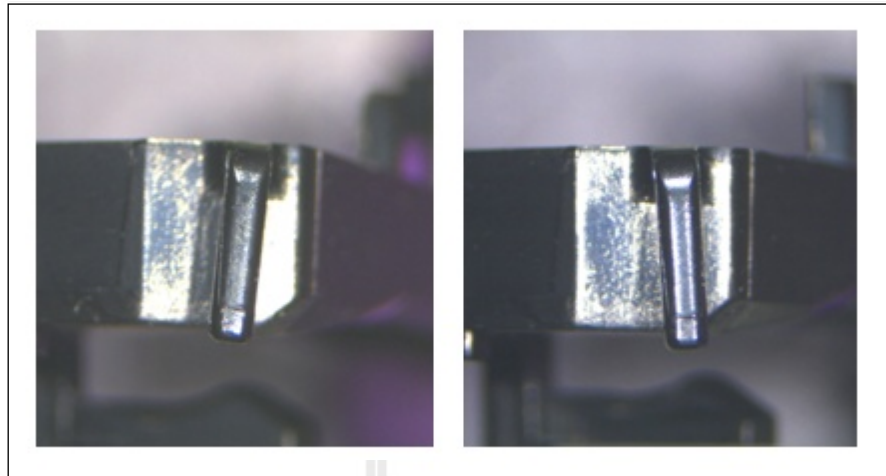
การทดสอบ Z-Latch ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 กรณีนี้จะนำ Z-Latch ไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.31 การทดสอบจะใช้จำนวนชิ้นงานทิศทางละ 5 ชิ้น และสั่งให้เครื่องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานบริเวณตรงปลายของ Z-Latch ระหว่างนี้เครื่องจะทำการบันทึกระยะทางที่ Load Cell เคลื่อนที่และคำนวณแรงที่ใช้กด Z-Latch ให้เสียรูปผลที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบให้เสียรูปทั้ง 2 ทิศทางจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.31 แสดงการจับยึด Z-Latch เพื่อทดสอบชิ้นงาน ในทิศทาง $-y$ และ $+y$

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบ Z-Latch โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560

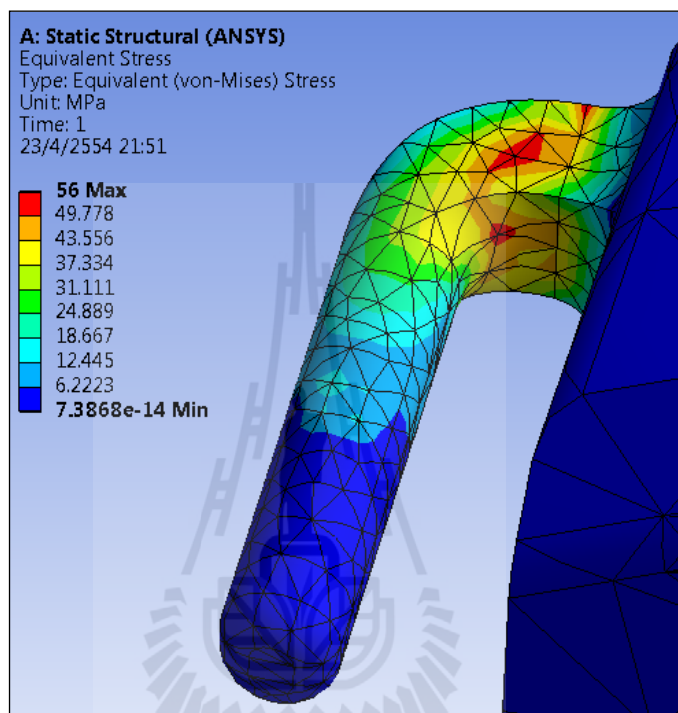
ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	ระยะเคลื่อนที่ (mm.)	แรงที่ได้จากการทดสอบ (N)
1	Z-Latch	$+y$	0.3665	2.3143
2	Z-Latch	$-y$	0.3665	2.3163



รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะของ Z-Latch ที่เสียรูปจากการทดสอบในทิศทาง $+y$ และ $-y$



2) ผลการจำลองการเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+y$ และ $-y$ เนื่องจาก Z-Latch ที่ออกแบบมีความสมมาตร ดังนั้นการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากจำลองการเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+y$ และ $-y$ จะจำลองแค่ทิศทางเดียว คือ $+y$



รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+y$

จากผลการจำลองการเสียหายของ Z-Latch ในทิศทาง $+y$ ดังแสดงในรูปที่ 4.33 เมื่อกดชิ้นงานด้วยแรง 2.2234 N จะทำให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ไปด้วยระยะ 0.3416 mm. ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นครากเท่ากับ 56 MPa ดังแสดงในรูปที่ 4.33 จะพบว่าเกิดความเค้นจะเกิดมากบริเวณ โคนงของชิ้นงาน การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองความเสียหาย ดังแสดงในตารางที่ 4.14

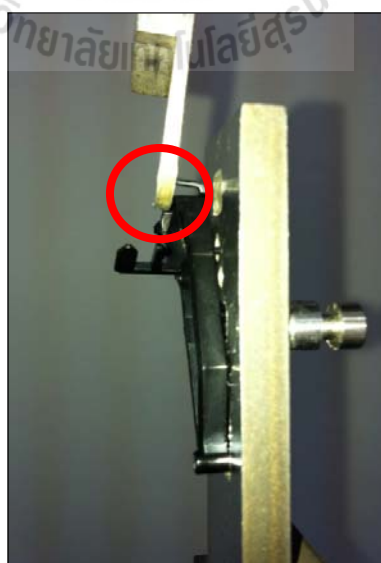
ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองการเสียรูปของ Z-Latch ในทิศทาง $+y$ และ $-y$

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)
1	Z-Latch	$+y$	2.3143	2.2234
2	Z-Latch	$-y$	2.3163	2.2234

กรณีที่ 2 การเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง $+x$

1) ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560

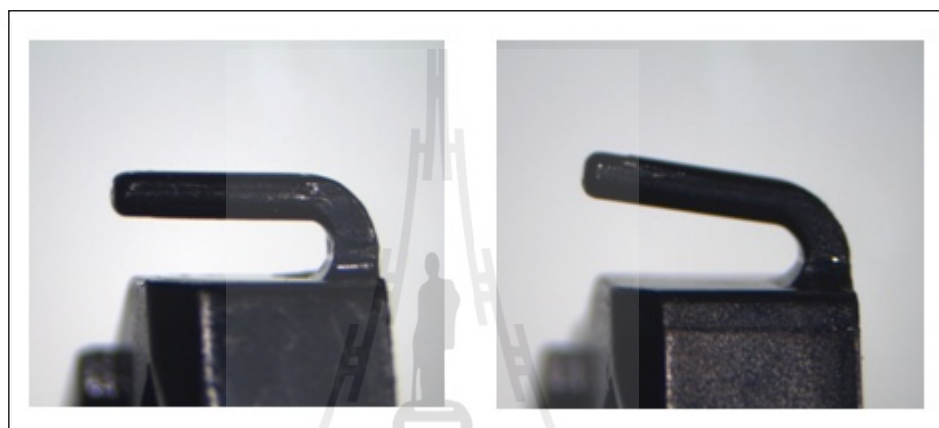
การทดสอบ Z-Latch ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine 5560 กรณีนี้จะนำ Z-Latch ไปประกอบเข้ากับอุปกรณ์จับยึดแล้วนำไปติดตั้งเข้ากับ Gripper ของเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.34 การทดสอบจะใช้จำนวนชิ้นงานเท่ากับการทดสอบ Pin และ Latch คือ 5 ชิ้น และสั่งให้เครื่องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 mm./min โดยทดสอบดึงชิ้นงานบริเวณตรงปลายของ Z-Latch ให้แกงออก ระหว่างนี้เครื่องจะทำการบันทึกกระยะทางที่ Load Cell เคลื่อนที่และคำนวณแรงที่ใช้ดึง Z-Latch ให้เสียรูป ผลที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และลักษณะของ Z-Latch ที่ได้จากการทดสอบกดชิ้นงานให้เสียรูปในทิศทาง $+x$ ดังแสดงในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.34 แสดงการจับยึด Z-Latch เพื่อทดสอบชิ้นงานในทิศทาง $+x$

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบ Z-Latch โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ให้กับเครื่อง Universal Testing Machine 5560

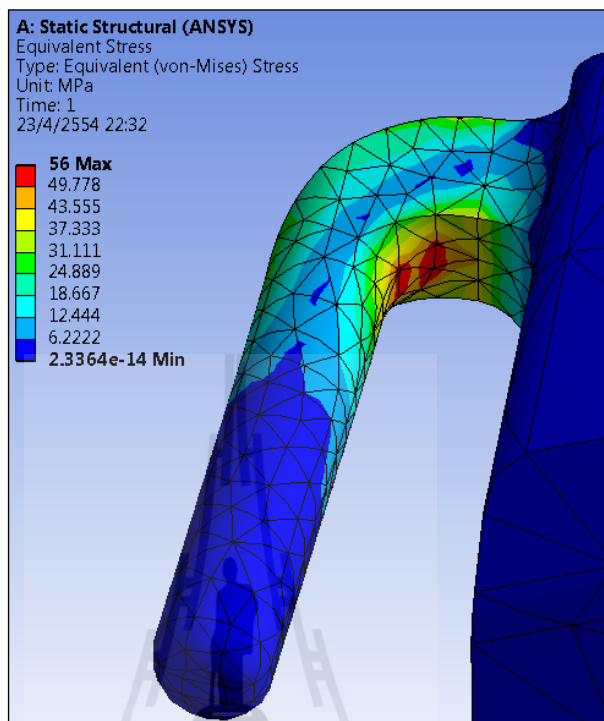
ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	ระยะเคลื่อนที่ (mm.)	แรงที่ได้จากการทดสอบ (N)
1	Z-Latch	+x	0.3330	1.7937



รูปที่ 4.35 แสดงลักษณะของ Z-Latch ที่เสียรูปจากการทดสอบในทิศทาง +x เมื่อเทียบกับชิ้นงานปกติ



2) ผลการจำลองการเสียรูปของชิ้นงานโดยใส่โหลดกระทำในทิศทาง +x



รูปที่ 4.36 แสดงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นของ Latch เมื่อใส่โหลดกระทำในทิศทาง +x

จากผลการจำลองการเสียหายของ Z-Latch ในทิศทาง +x ดังแสดงในรูปที่ 4.36 เมื่อกดชิ้นงานด้วยแรง 1.7716 N จะทำให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่ไปด้วยระยะ 0.3087 mm. ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นครากเท่ากับ 56 MPa ดังแสดงในรูปที่ 4.36 จะพบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดตรงกลางรอยต่อระหว่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมกับหน้าตัดวงกลมชิ้นงานซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ชิ้นงานอ

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลอง ความเสียหาย ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบและผลที่ได้จากการจำลองการเสียหายรูปของ Z-Latch ในทิศทาง $+x$ และ $-x$

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)
1	Z-Latch	$+x$	1.7937	1.7716

จากการวิเคราะห์การเสียหายรูปของชิ้นงานจะพบว่าตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณโค้งด้านในของฐาน Z-Latch เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดเล็กชิ้นงานจึงเสียหายได้ง่ายทั้ง 2 ทิศทาง คือ ชิ้นงานจะได้รับแรงกระทำทั้งทางด้านข้าง ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวไปจากแนวเดิม และชิ้นงานถูกง้างออกทำให้ Z-Latch เปลี่ยนระยะการวางตัวไปจากเดิม ส่วนกรณีที่ชิ้นงานโดนกดนั้นจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายแต่อย่างใด จากตารางจะพบว่าการง้างชิ้นงานให้เสียหายจะใช้แรงน้อยกว่าการดันชิ้นงานทางด้านข้างให้เบี้ยวออกไปจากแนวแกนเดิม การออกแบบ Z-Latch เพื่อนำมาใช้เป็นตัวล็อก Shipping Comb เข้ากับ Actuator นั้นจะต้องออกแบบให้มีความยืดหยุ่นทั้งในการสวมและถอด ดังนั้นหากต้องปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานส่วนใดส่วนหนึ่งจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานด้วย

4.2.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

จากผลการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่งนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	Pin (หัก)	-y	10.8848	10.9537	0.6330
2	Pin (หัก)	+y	10.7046	10.932	2.1243
3	Pin (งอ)	-y	2.2218	1.8792	15.4299
4	Pin (งอ)	+y	2.1328	1.8968	11.0653
5	Latch (หัก)	+y	5.3880	5.2817	1.9729
6	Latch (งอ)	-y	4.1194	4.0224	2.3547
7	Z-Latch (งอ)	+y	2.3143	2.2234	3.9277
8	Z-Latch (งอ)	-y	2.3163	2.2234	4.0107
9	Z-Latch (งอ)	+x	1.7937	1.7716	1.2321

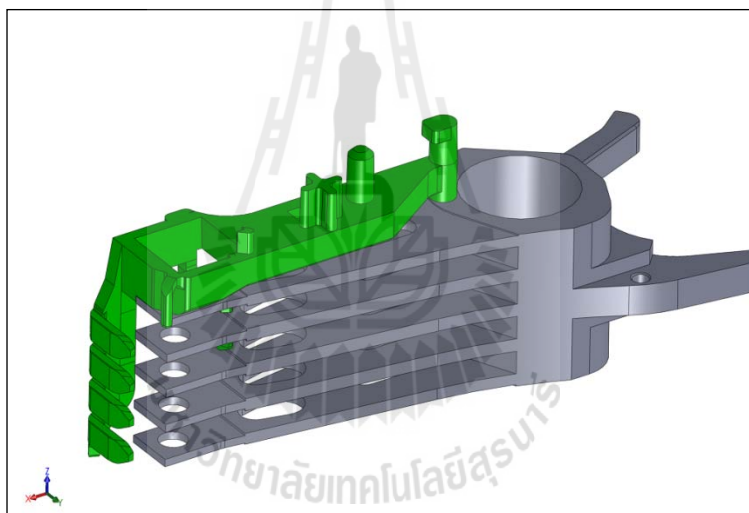
เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบชิ้นงานแต่ละตำแหน่งจะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยการทดสอบและจำลองการหักของ Pin ทั้ง 2 ทิศทางพบว่าจะใช้แรงมากที่สุด

จากการตั้งสมมติฐานความเสียหายที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตำแหน่งต่าง ๆ เมื่อทำการทดสอบและจำลองการเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลการเสียหายจริงของชิ้นงานจะพบว่าทิศทางของแรงที่กระทำให้ชิ้นงานเสียหายที่ได้ตั้งสมมติฐานไว้ตรงกับการเสียหายจริง ดังนั้นหากทำการปรับปรุงชิ้นงานให้สามารถทนต่อแรงที่จะมากระทำในทิศทางดังกล่าวจะเป็นการยืดอายุการใช้งานให้กับ Shipping Comb ได้ ในหัวข้อต่อไปจะเป็นการปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนของ Shipping Comb ในตำแหน่ง Pin Latch และ Z-Latch และจำลองการใช้งานของชิ้นงานที่ได้ปรับปรุงใหม่

4.3 ผลการออกแบบปรับปรุง Shipping Comb

จากการวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการศึกษาการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่งจะพบว่าลักษณะรูปร่างมีผลต่ออายุการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง เพื่อให้ทางบริษัทซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย ได้เป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงหรือเปลี่ยนไปใช้รูปร่างชิ้นงานแบบใหม่ต่อไป

ในกระบวนการผลิต HSA นั้น Shipping Comb จะได้รับผลกระทบจากแรงกระทำภายนอก ซึ่งทำให้ชิ้นงานเสียหาย ดังนั้นโมเดลที่ได้แก้ไขปรับปรุงต้องสามารถทนต่อแรงที่มากระทำได้มากขึ้นและต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานของ Shipping Comb ด้วย ลักษณะการสวม Shipping Comb เข้ากับ Actuator เป็นดังนี้



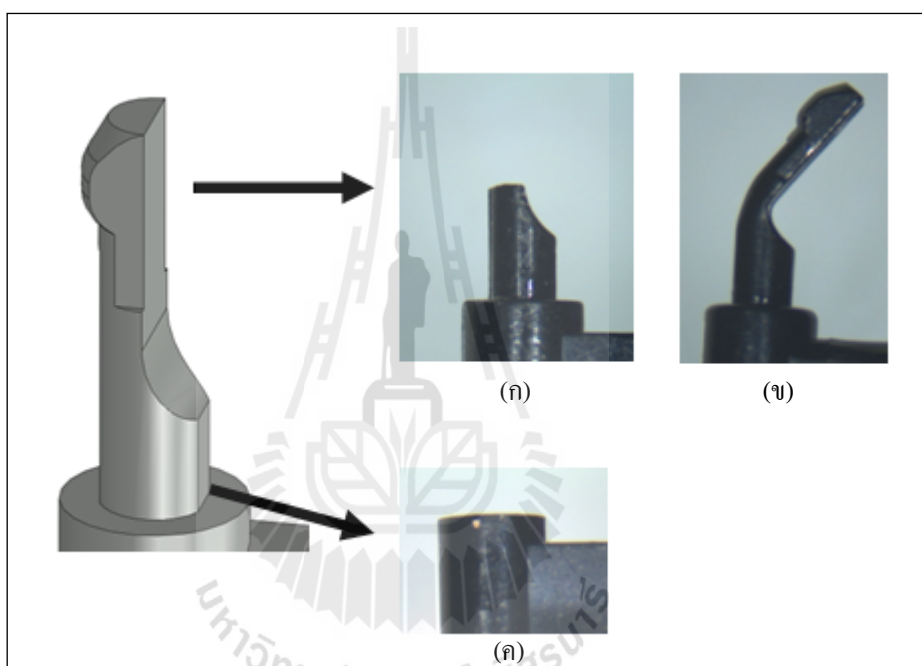
รูปที่ 4.37 แสดงลักษณะการประกอบ Shipping Comb เข้ากับ Actuator

การปรับปรุงชิ้นงานทั้ง 3 ตำแหน่งมีดังนี้

4.3.1 ออกแบบปรับปรุง Pin

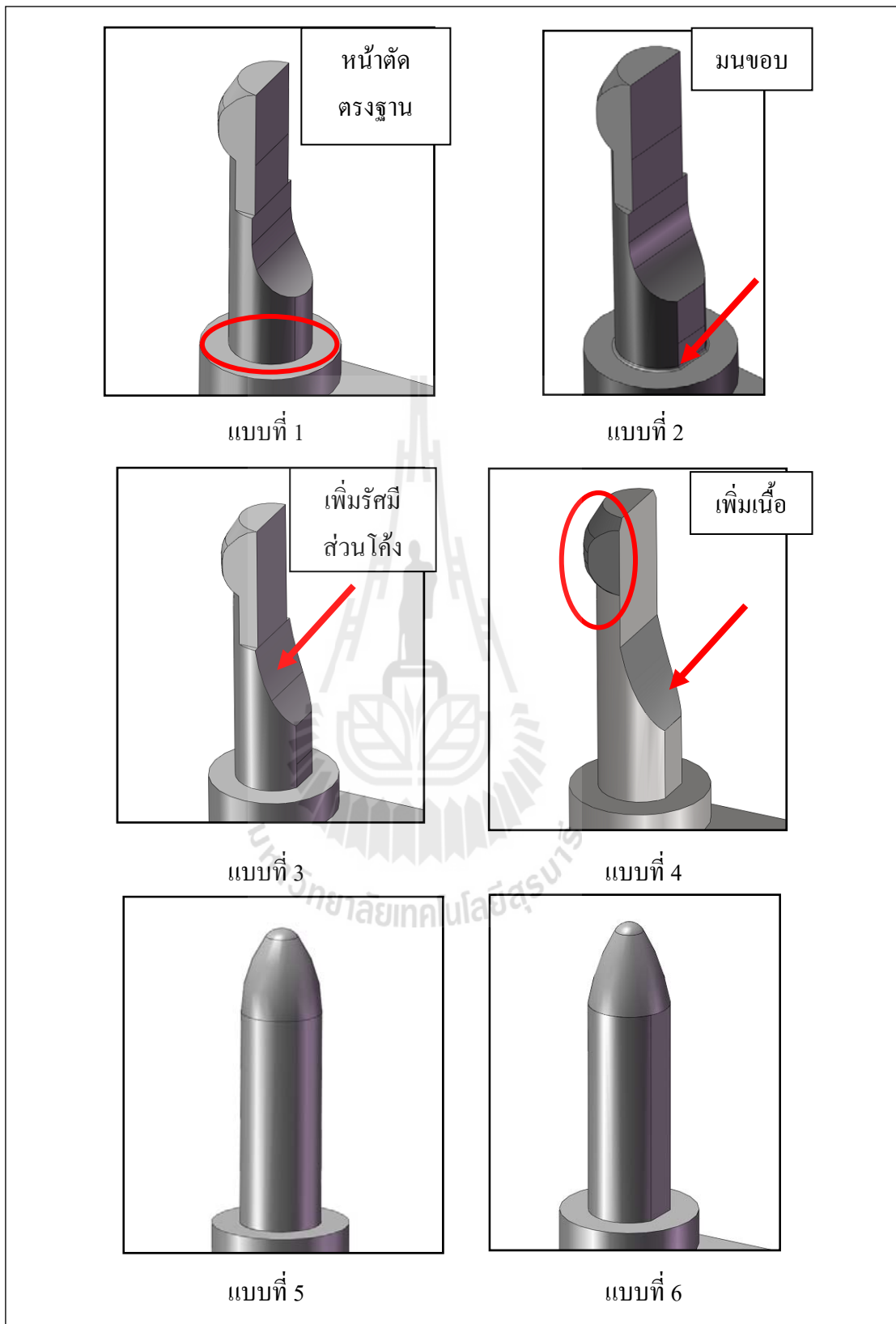
จากการศึกษา Pin แบบเดิม ในรูปที่ 4.38 จะพบการเสียหายใน 2 บริเวณดังนี้

- 1) บริเวณฐานของ Pin ซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกมาจาก Shipping Comb ลักษณะการพังของชิ้นงานในบริเวณนี้คือ Pin ทั้งหมดจะหักออกทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.38 (ก)
- 2) บริเวณรอยต่อของหน้าตัดที่สัมผัสกันแบบ Tangent ซึ่งจะพบการเสียหายของชิ้นงาน 2 รูปแบบ คือ ชิ้นงานจะหักออกจากบริเวณดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.38 (ข) และ ชิ้นงานจะงอตามรอยต่อของหน้าตัดที่สัมผัสกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.36 (ข)



รูปที่ 4.38 แสดงบริเวณการเสียหายของ Pin

จากการเสียหายของ Pin ที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานในบริเวณเหล่านั้น โดยทำการปรับปรุง Pin ทั้งหมด 6 แบบ ดังนี้



รูปที่ 4.39 แสดงแบบของ Pin อันใหม่

แบบที่ 1 เพิ่มเนื้อที่ฐานของ Pin ให้เป็นหน้าตัดกลม

แบบที่ 2 Fillet บริเวณฐานของ Pin

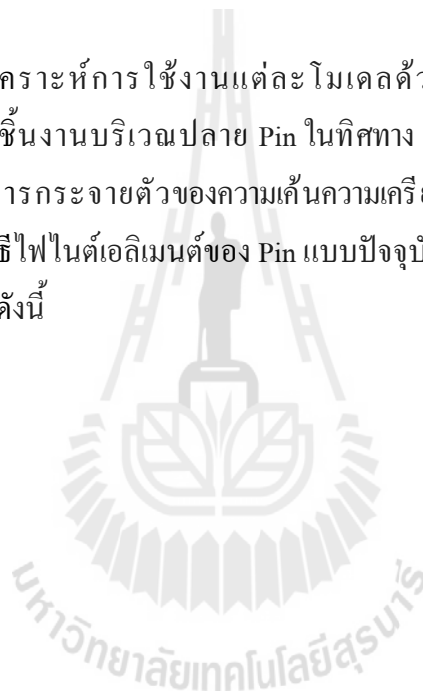
แบบที่ 3 เพิ่มรัศมีส่วนโค้งตรงตำแหน่งที่ทำให้ชิ้นงานงอ โดยในการศึกษาได้เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 7 ค่า คือ 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm.

แบบที่ 4 เพิ่มเนื้อบริเวณปลาย Pin ให้เต็มและเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 7 ค่า คือ 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm.

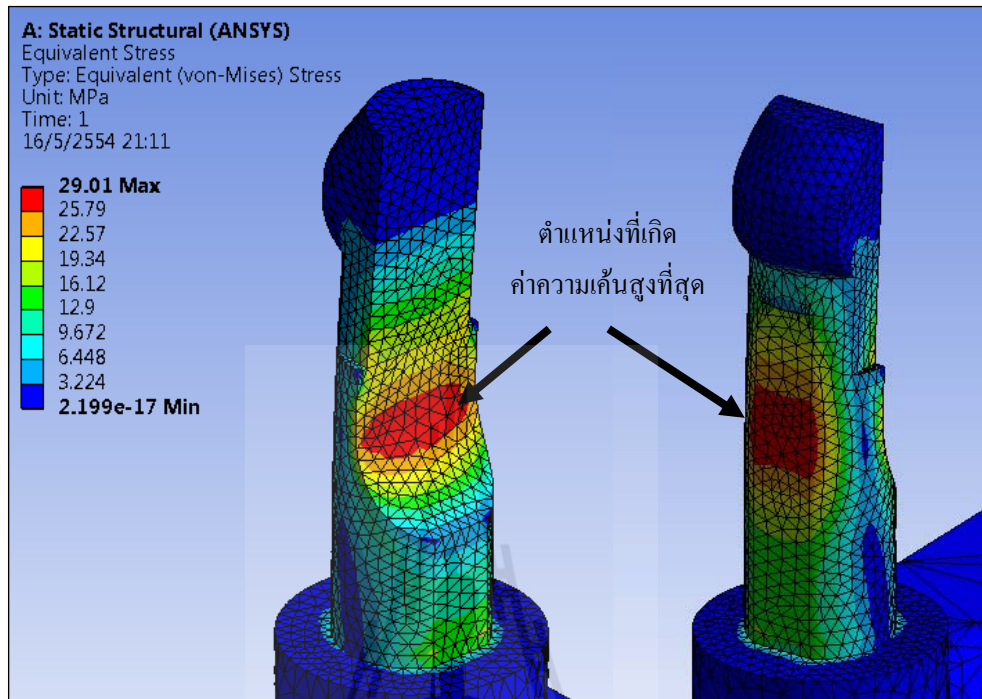
แบบที่ 5 เพิ่มเนื้อชิ้นงานให้เต็มทั้งชิ้น โดยหน้าตัดของชิ้นงานเป็นวงกลม

แบบที่ 6 เพิ่มเนื้อชิ้นงานให้เต็มทั้งชิ้น โดยหน้าตัดของชิ้นงานเดิม

ในการวิเคราะห์การใช้งานแต่ละโมเดลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะจำลองการใส่โหลดกระทำต่อชิ้นงานบริเวณปลาย Pin ในทิศทาง $-y$ (ทิศทางหมายเลข 1) ด้วยแรงขนาด 1N แล้วศึกษาผลการกระจายตัวของความเค้นความเครียดและระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบปัจจุบัน จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับโมเดลที่ได้สร้างทั้ง 6 แบบ มีผลดังนี้



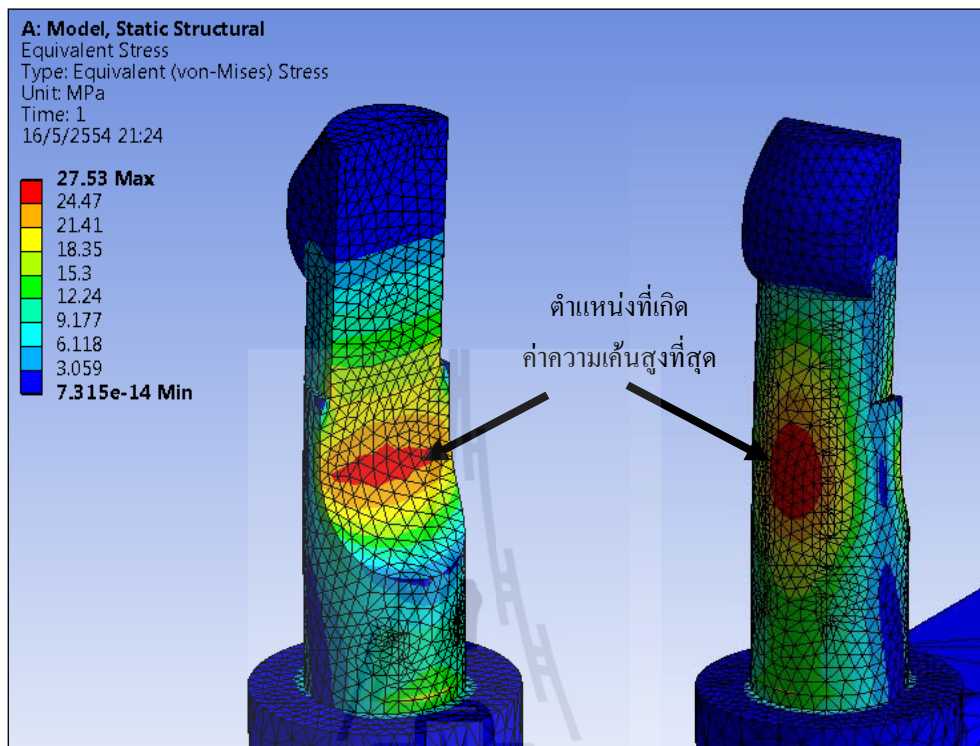
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin ปัจจุบัน



รูปที่ 4.40 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin ปัจจุบัน

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4.40 ด้วยการออกแรงกระทำขนาด 1 N จะพบว่า ชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุด ณ ตำแหน่งรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent ซึ่งจะเกิดทั้งบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 29.01 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.01 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.28 mm.

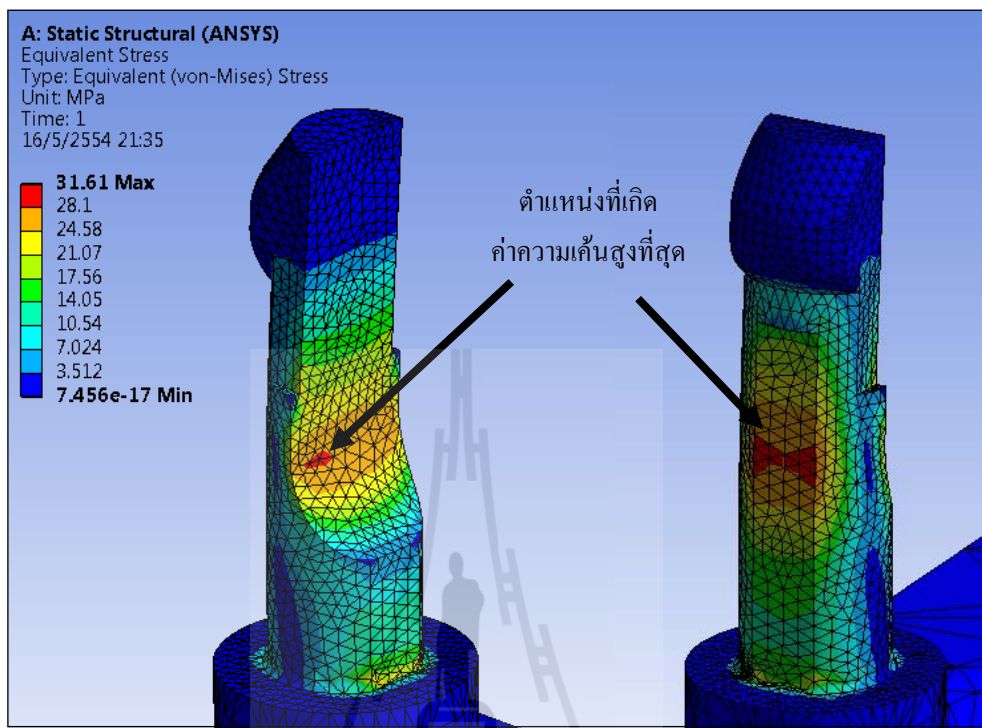
- ผลการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin แบบที่ 1



รูปที่ 4.41 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 1

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานที่ปรับปรุงแก้ไข โดยการเพิ่มเนื้อที่ฐานของ Pin ให้เป็นหน้าตัดกลม ดังแสดงในรูปที่ 4.41 จะพบว่า เกิดค่าความเค้นสูงสุด ณ ตำแหน่งรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเกิดความเสียหายของ Pin ปัจจุบัน ความเค้นสูงสุดที่เกิดมีค่าเท่ากับ 27.53 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.01 และชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.24 mm.

- ผลการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin แบบที่ 2

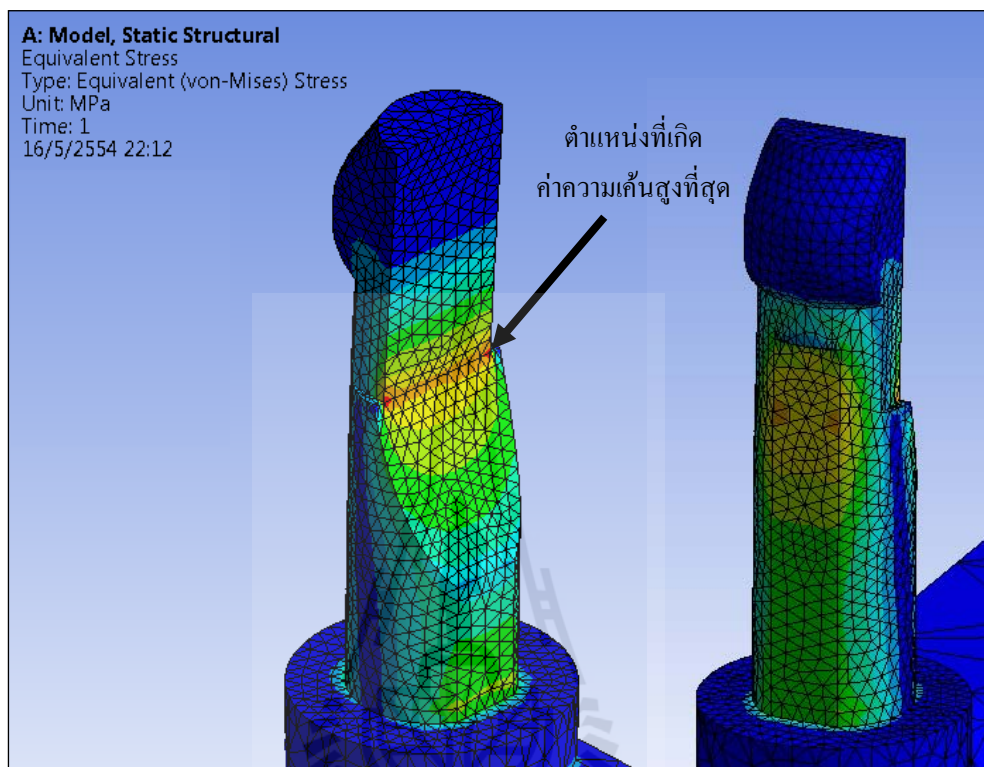


รูปที่ 4.42 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 2

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานที่ปรับปรุงแก้ไขโดยการ Fillet ที่ฐานของ Pin ดังแสดงในรูปที่ 4.42 จะพบว่า เกิดค่าความเค้นสูงสุด ณ ตำแหน่งรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเกิดความเสียหายของ Pin ปัจจุบัน ความเค้นสูงสุดที่เกิดมีค่าเท่ากับ 31.61 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.01 และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเท่ากับ 0.28 mm.

- ผลการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin แบบที่ 3

การวิเคราะห์ความเสียหายในกรณีนี้ได้เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 7 ค่า คือ 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm. จะได้ผลการกระจายตัวของความเค้นเป็นดังนี้



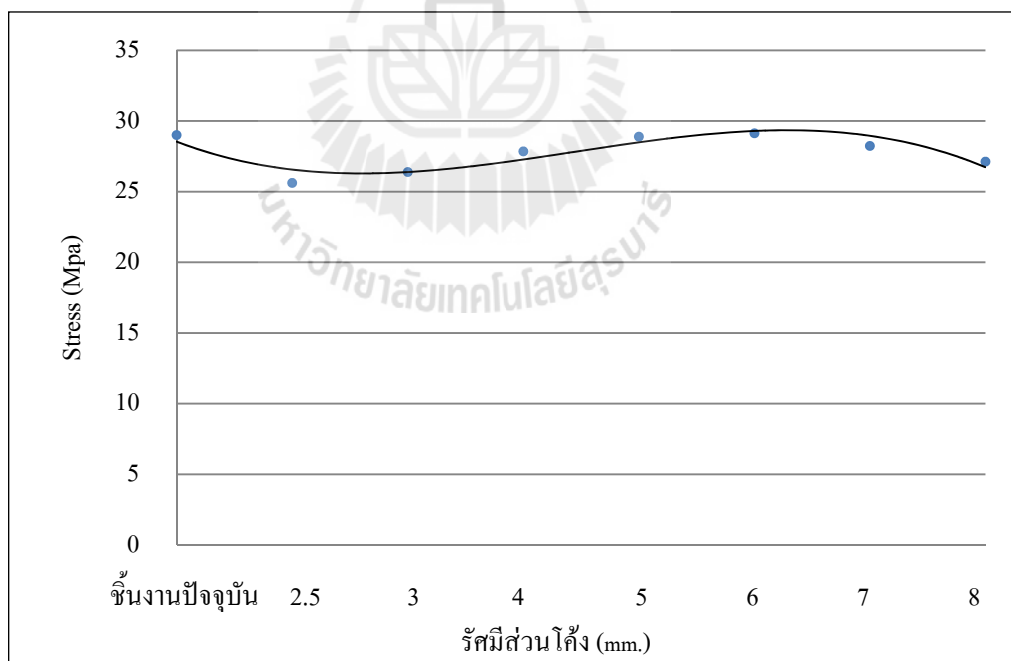
รูปที่ 4.43 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 3 รัศมีส่วนโค้ง 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm.

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 3 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4.43 จะพบว่า ตำแหน่งที่ชิ้นงานเกิดค่าความเค้นสูงสุดจะถดขึ้นมาจากตำแหน่งรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent ของ Pin ปัจจุบัน โดยจะขึ้นมามีอยู่ที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงานที่ถูกเชื่อมเนื้อด้านข้างออก ความเค้นสูงสุด ความเครียด และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานรัศมีส่วนโค้งทั้ง 7 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.18 เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 3 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้งทั้งหมด 7 ค่า

ลำดับที่	รัศมีส่วนโค้ง (mm.)	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mm.)
1	ชิ้นงานปัจจุบัน	29.01	0.01	0.28
2	2.5	25.62	0.01	0.24
3	3	26.39	0.01	0.23
4	4	27.85	0.01	0.22
5	5	28.89	0.01	0.22
6	6	29.13	0.01	0.21
7	7	28.24	0.01	0.21
8	8	27.13	0.01	0.21

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงานปัจจุบันและชิ้นงานแบบที่ 3 รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบัน
กับ Pin แบบที่ 3 รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ

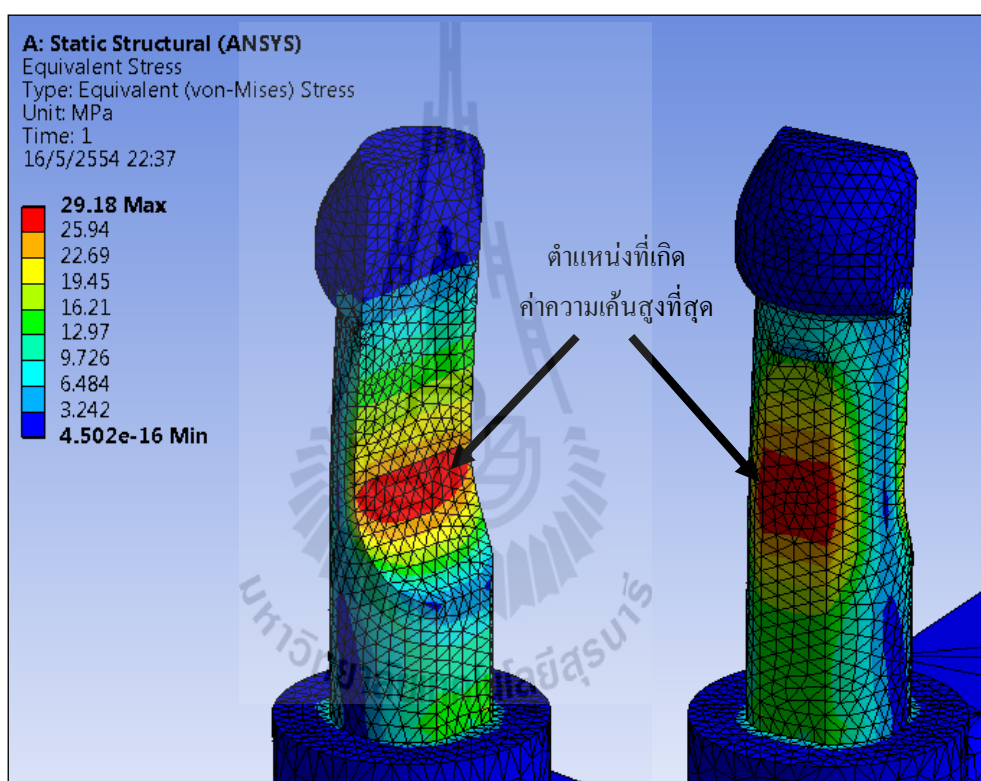
จากกราฟเชิงเส้นแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin แบบที่ 3 กับชิ้นงานปัจจุบันจะพบว่า Pin แบบที่ 3 จะเกิดค่าความเค้นน้อยกว่าแบบเดิม เมื่อเพิ่ม รัศมีส่วนโค้งให้กับชิ้นงานมากขึ้น แนวโน้มของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดตรงชิ้นงานที่เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 6 mm. ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ จะมีค่าน้อยที่สุดที่รัศมีส่วนโค้ง 2.5 mm. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25.62 MPa



- ผลการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin แบบที่ 4

จากการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin ในแบบที่ 3 จะพบว่า ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่งรอยต่อของชิ้นงานที่ถูกเชื่อมเนื้อด้านข้างออก ดังนั้นการวิเคราะห์ความเสียหายในกรณีนี้จึงได้เพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงานที่ถูกเชื่อมออกนั้นให้เต็มและทำการเพิ่มรัศมีส่วนโค้งอีก 5 ค่า คือ 3 4 5 6 และ 7 mm. ได้ผลดังนี้

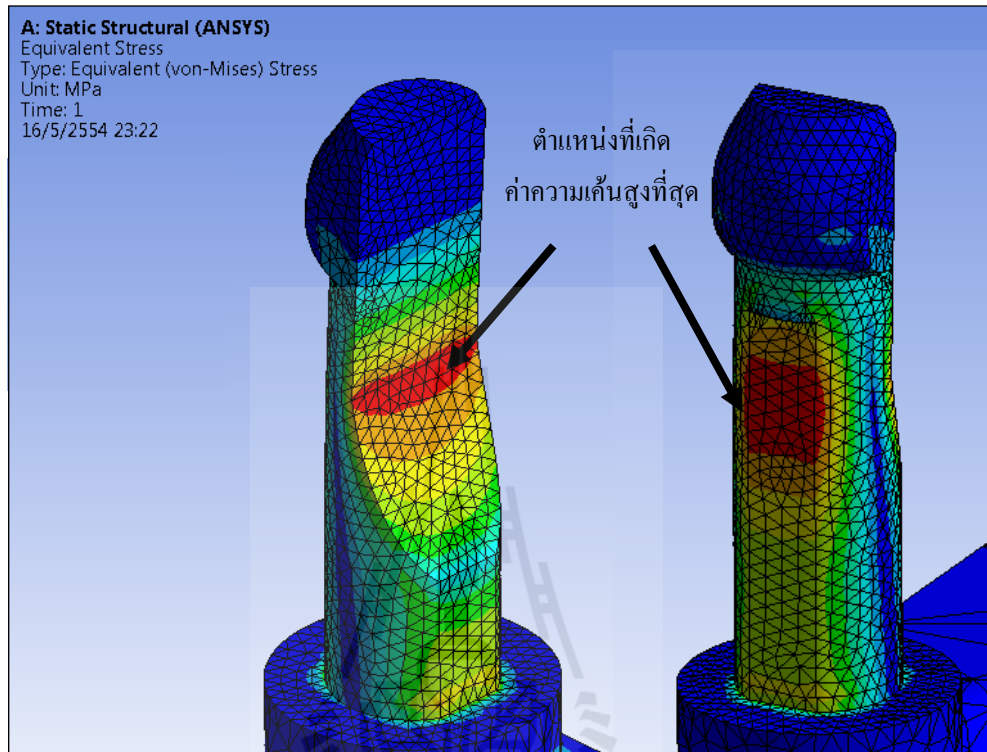
1) การเพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงาน โดยไม่เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง



รูปที่ 4.45 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 4 โดยเพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงาน ไม่เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง

ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 4 โดยการเพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.46 จะพบว่า เกิดค่าความเค้นสูงสุด ณ ตำแหน่งรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกันแบบ Tangent โดยมีลักษณะคล้ายกับการเกิดความเสียหายของ Pin ปัจจุบันความเค้นสูงสุดที่เกิดมีค่าเท่ากับ 29.18 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.1 และ ชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.28 mm.

2) การเพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงาน และเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm.



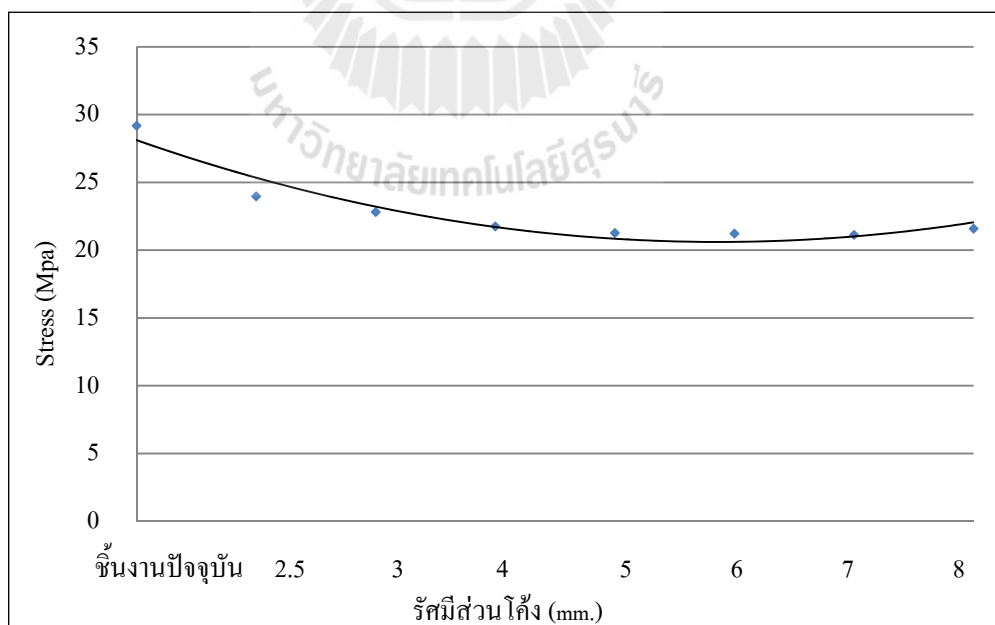
รูปที่ 4.46 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 4 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm.

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 4 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 2.5 3 4 5 6 7 และ 8 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4.46 จะพบว่า ตำแหน่งที่ชิ้นงานเกิดค่าความเค้นสูงสุดจะอยู่บริเวณเดียวกับชิ้นงานแบบที่ 3 คือ บริเวณรอยต่อของชิ้นงานที่เพิ่มเนื้อด้านข้างให้เต็ม โดยค่าความเค้นสูงสุด ความเครียด และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานรัศมีส่วนโค้งทั้ง 7 ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4.46 เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.19 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 4 โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง

ลำดับ ที่	รัศมีส่วนโค้ง (mm.)	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mm.)
1	ชิ้นงานปัจจุบัน	29.01	0.01	0.28
2	เพิ่มเนื้ออย่างเดียวก	29.18	0.01	0.28
3	2.5	23.98	0.01	0.24
4	3	22.82	0.01	0.23
5	4	21.76	0.01	0.22
6	5	21.27	0.009	0.21
7	6	21.22	0.009	0.21
8	7	21.13	0.009	0.21
9	8	21.59	0.009	0.21

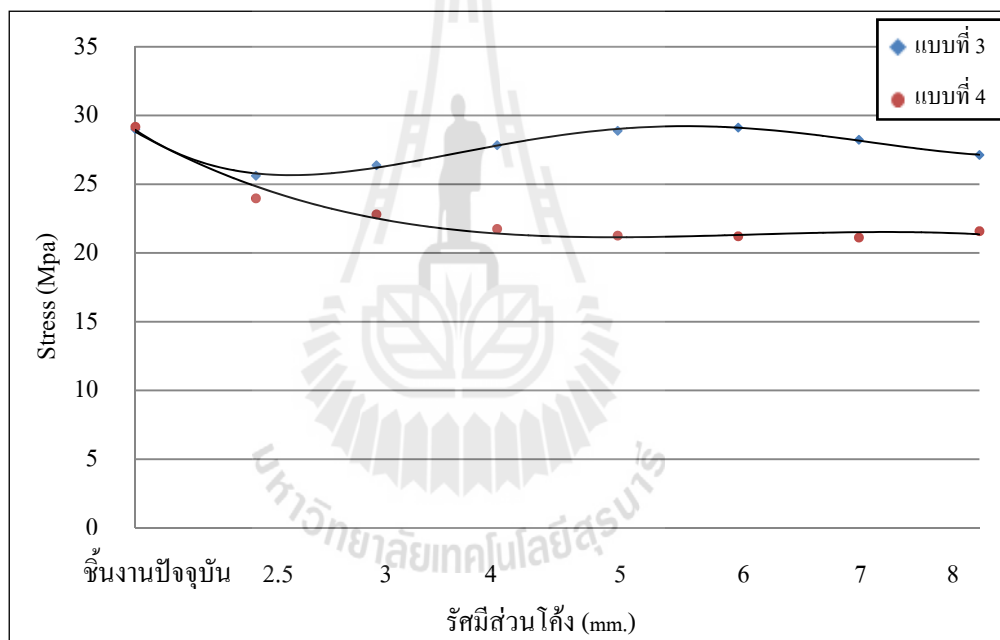
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานปัจจุบันและชิ้นงานแบบที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบัน
กับ Pin แบบที่ 4 รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ

จากกราฟแผนภูมิเชิงเส้นแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin แบบที่ 4 กับชิ้นงานปัจจุบันจะพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการเพิ่มเนื้อบริเวณขอบมุมของชิ้นงานโดยไม่เพิ่มรัศมีส่วนโค้งจะมีค่าใกล้เคียงกับชิ้นงานปัจจุบันถือว่าไม่แตกต่าง ส่วนชิ้นงานที่ทำการเพิ่มรัศมีส่วนโค้งจะพบว่า ค่าความเค้นมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งที่รัศมีส่วนโค้ง 7 mm. จะพบว่า ชิ้นงานเกิดค่าความเค้นต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.13 MPa

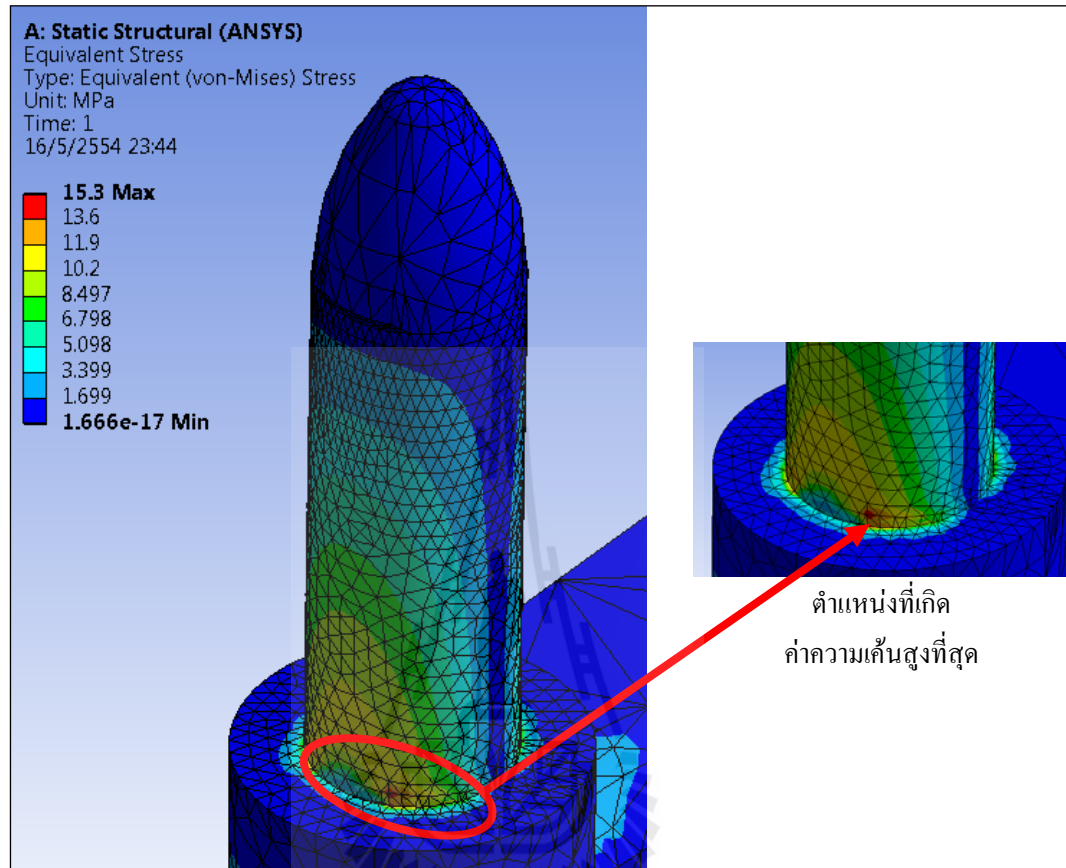
จากการพิจารณาการกระจายตัวของความเค้นของการปรับปรุง Pin โดยการเพิ่มรัศมีส่วนโค้งในแบบที่ 3 และแบบที่ 4 จะพบว่า เมื่อเพิ่มรัศมีส่วนโค้งมากขึ้น การกระจายตัวของความเค้นจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อนำค่าความเค้นสูงสุดของชิ้นงานทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบกันจะได้ผลดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin แบบที่ 3 และ 4

จากกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin แบบที่ 3 และแบบที่ 4 จะพบว่า Pin แบบที่ 4 จะเกิดค่าความเค้นน้อยกว่าแบบที่ 3 และยังพบว่า การเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 2.5 mm. ของชิ้นงานแบบที่ 3 และการเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 7 mm. ของชิ้นงานแบบที่ 4 จะให้ความเค้นต่ำสุด

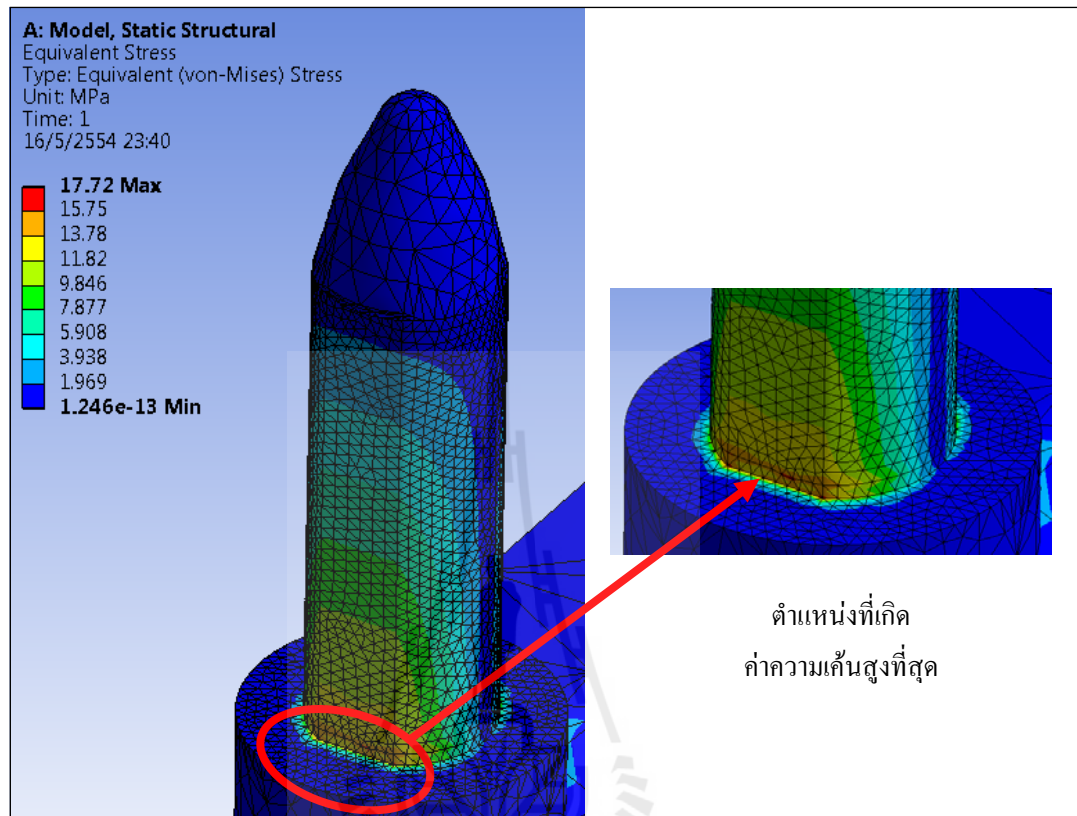
- ผลการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin แบบที่ 5



รูปที่ 4.49 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 5

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงาน โดยการเพิ่มเนื้อให้เต็มทั้ง Pin ดังแสดงในรูปที่ 4.49 พบว่า ชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณที่ฐานของ Pin โดยมีค่าเท่ากับ 15.30 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.006 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.09 mm. เห็นได้ว่าค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จะน้อยกว่า Pin ปัจจุบันและระยะที่ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างก็น้อยกว่าด้วย

- ผลการวิเคราะห์การปรับปรุง Pin แบบที่ 6



รูปที่ 4.50 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin แบบที่ 6

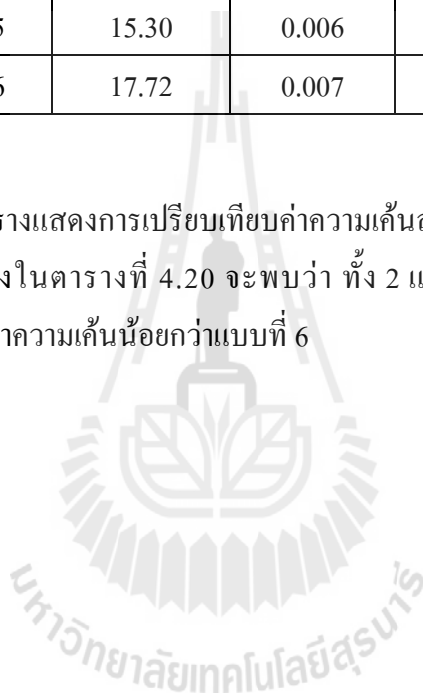
จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงาน โดยการเพิ่มเนื้อให้เต็มทั้ง Pin แต่เปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดจากแบบวงกลมให้เป็นแบบเหลี่ยมเหมือนกับหน้าตัดของ Pin ปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4.50 พบว่า ชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณที่ฐานของ Pin โดยมีค่าเท่ากับ 17.72 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.007 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.10 mm.

เมื่อทำลักษณะรูปร่างของชิ้นงานในแบบที่ 5 และแบบที่ 6 จะพบว่า มีรูปทรงคล้ายกัน คือ มีเนื้อชิ้นงานเต็มแต่ที่แตกต่าง คือ หน้าตัดของชิ้นงานทั้งสอง ผลการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบันกับ Pin ทั้ง 2 แบบ เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ Pin ปัจจุบันกับ Pin เนื้อเต็ม

ลำดับที่	Pin	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mm.)
1	ชิ้นงานเดิม	29.01	0.01	0.28
2	แบบที่ 5	15.30	0.006	0.09
3	แบบที่ 6	17.72	0.007	0.10

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin ทั้ง 2 แบบกับชิ้นงานปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 4.20 จะพบว่า ทั้ง 2 แบบมีความเค้นลดลงกว่าเดิมมาก และ Pin แบบที่ 5 จะเกิดค่าความเค้นน้อยกว่าแบบที่ 6

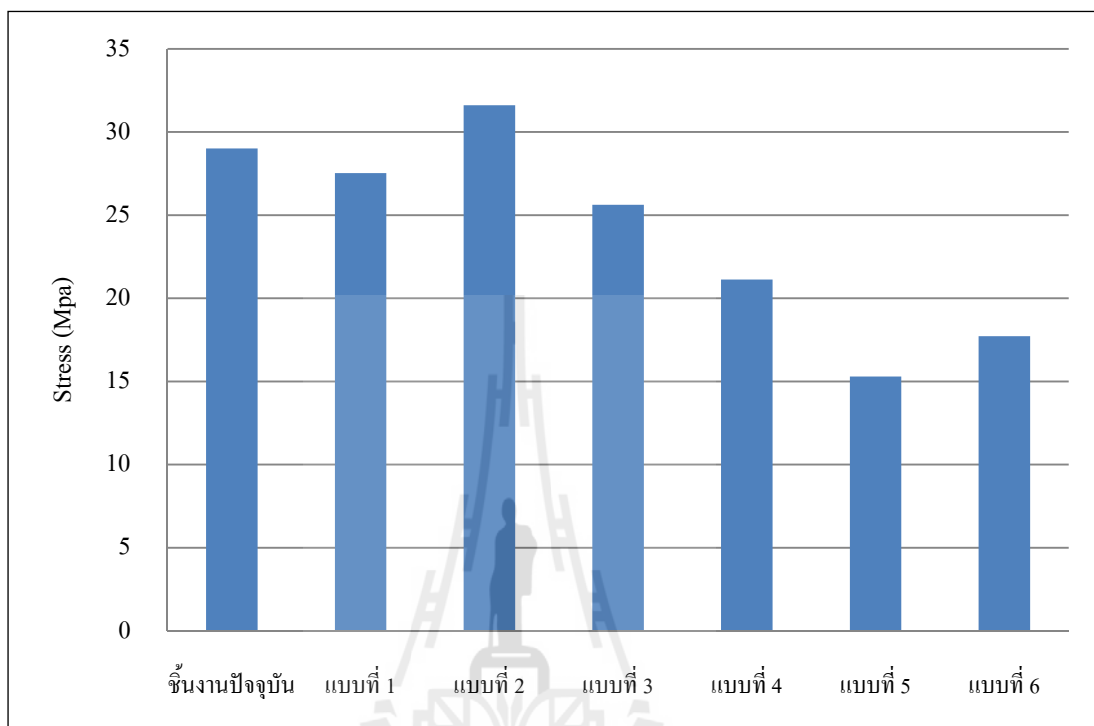


การออกแบบปรับปรุงแก้ไข Shipping Comb ในส่วน Pin จำนวน 6 แบบจะสามารถสรุปเป็นตารางแสดงค่าความเค้น ความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงค่าความเค้น ความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วน Pin ที่ได้ออกแบบใหม่ทั้ง 6 แบบ

แบบที่	รูปแบบ	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mm.)
	ชิ้นงานปัจจุบัน	29.01	0.01	0.28
1	หน้าตัดวงกลม	27.53	0.01	0.24
2	Fillet ที่ฐาน	31.61	0.01	0.28
3	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 2.5 mm.	25.62	0.01	0.24
	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 3 mm.	26.39	0.01	0.23
	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 4 mm.	27.85	0.01	0.22
	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 5 mm.	28.89	0.01	0.22
	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 6 mm.	29.13	0.01	0.21
	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง 7 mm.	28.242	0.01	0.21
4	เพิ่มเนื้อตรงปลาย Pin	29.18	0.01	0.28
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 2.5 mm.	23.98	0.01	0.24
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 3 mm.	22.82	0.01	0.23
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 4 mm.	21.76	0.01	0.22
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 5 mm.	21.27	0.009	0.21
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 6 mm.	21.22	0.009	0.21
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 7 mm.	21.13	0.009	0.21
	เพิ่มเนื้อ+รัศมี 8 mm.	21.59	0.009	0.21
5	Pin เนื้อเต็ม หน้าตัดวงกลม	15.30	0.006	0.09
6	Pin เนื้อเต็ม หน้าตัดเหลี่ยม	17.72	0.007	0.10

ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับ Pin ทั้ง 6 แบบเมื่อนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานปัจจุบันได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Pin ปัจจุบันกับ Pin ที่ออกแบบใหม่ (แบบที่ 3 และ 4 เลือกชิ้นงานที่ให้ค่าความเค้นต่ำสุด)

การแก้ไขปรับปรุง Pin ให้สามารถใช้งานได้ทนทานขึ้น โดยการออกแบบชิ้นงานใหม่ทั้ง 6 แบบ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะพบว่า ชิ้นงานแบบที่ 5 ที่ทำการเพิ่มเนื้อชิ้นงานให้เต็มทั้งชิ้น โดยหน้าตัดของชิ้นงานเป็นวงกลมจะสามารถรับแรงกระทำจากภายนอกได้ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบันที่ถูกออกแบบมาให้มีรูปร่างเป็นครึ่งวงกลมยื่นออกมาจากฐานที่เป็นวงกลม ทำให้การเสียหายสามารถเกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบ คือ หากได้รับแรงกระทำจากภายนอก กระทำบริเวณปลายของ Pin จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นสูงบริเวณรอยต่อของหน้าตัดส่วนโค้งที่สัมผัสกับแบบ Tangent แล้วทำให้เกิดการงอหรือ หากได้รับแรงกระทำจากบริเวณตรงกลางก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นสูงบริเวณตรงโคนแล้ว ทำให้ชิ้นงานหัก ดังนั้นในการแก้ไขปรับปรุง Pin เพื่อให้สามารถลดค่าความเค้นในบริเวณดังกล่าว จึงได้ทำการออกแบบ Pin ใหม่ โดยทำการจำลองความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ผลดังนี้

1) การออกแบบ Pin โดยเพิ่มเนื้อที่ฐานของ Pin ให้เป็นหน้าตัดกลมจะพบว่า ชิ้นงานจะสามารถรับความเค้นได้น้อยกว่าชิ้นงานแบบปัจจุบันเล็กน้อยเท่านั้น และลักษณะการเสียหายก็ยังคงเกิดขึ้นบริเวณเดียวกันกับชิ้นงานแบบปัจจุบัน

2) การออกแบบ Pin โดยเพิ่ม Fillet บริเวณฐานของ Pin จะพบว่า มีค่าไม่แตกต่างไปจากชิ้นงานปัจจุบันและจากเงื่อนไขการใช้งานของ Pin แบบที่ 2 นี้จะมีปัญหาในการนำไปสวมเข้ากับ Pivot Hole ของ Actuator Arm ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้แทนชิ้นงานปัจจุบัน เพราะฉะนั้นในกรณีนี้จึงตัดทิ้ง

3) การออกแบบ Pin โดยเพิ่มรัศมีส่วนโค้งตรงตำแหน่งที่ทำให้ชิ้นงานงอให้มากขึ้นกว่าเดิมจะพบว่า เมื่อเพิ่มรัศมีส่วนโค้งให้กับชิ้นงานมากขึ้น แนวโน้มของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตำแหน่งที่ชิ้นงานเสียหายจะขยับขึ้นมาจากตำแหน่งเดิม โดยมาอยู่ที่บริเวณรอยต่อของโค้งของชิ้นงาน จากการเพิ่มความโค้งขึ้นเรื่อย ๆ จะพบว่า ชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นต่ำสุดที่รัศมีส่วนโค้ง 2.5 mm.

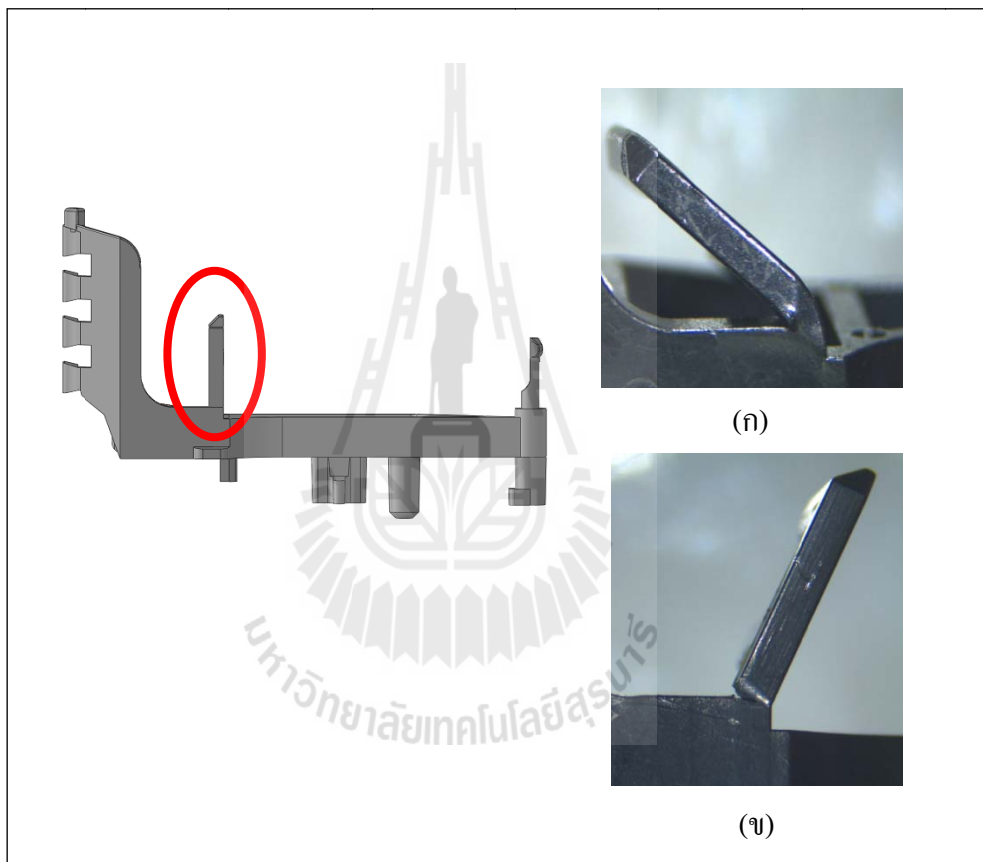
4) การออกแบบ Pin โดยเพิ่มเนื้อบริเวณปลาย Pin ให้เต็มและเพิ่มรัศมีส่วนโค้งให้กับชิ้นงานมากขึ้นจะพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จะน้อยกว่าการออกแบบ Pin แบบที่ 2 เล็กน้อย เมื่อเพิ่มรัศมีส่วนโค้งมากขึ้น ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานจะมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน โดยชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นต่ำสุดที่รัศมีส่วนโค้ง 7 mm.

5) การออกแบบ Pin โดยเพิ่มเนื้อชิ้นงานให้เต็มทั้งชิ้น โดยหน้าตัดของชิ้นงานเป็นวงกลมนั้นจะพบว่า ทำให้ชิ้นงานแข็งแรงขึ้นสามารถรับแรงที่มากกระทำได้มากขึ้นและลดโอกาสที่ Pin จะเสียหายจากการงอ ซึ่งความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ที่บริเวณฐานของ Pin และมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการออกแบบ Pin แบบอื่น ๆ ส่วนการเพิ่มเนื้อชิ้นงานให้เต็มทั้งชิ้นแต่ยังคงใช้หน้าตัดของชิ้นงานเดิมจะพบว่า ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจะมากกว่าหน้าตัดวงกลมเล็กน้อย

4.3.2 ออกแบบปรับปรุง Latch

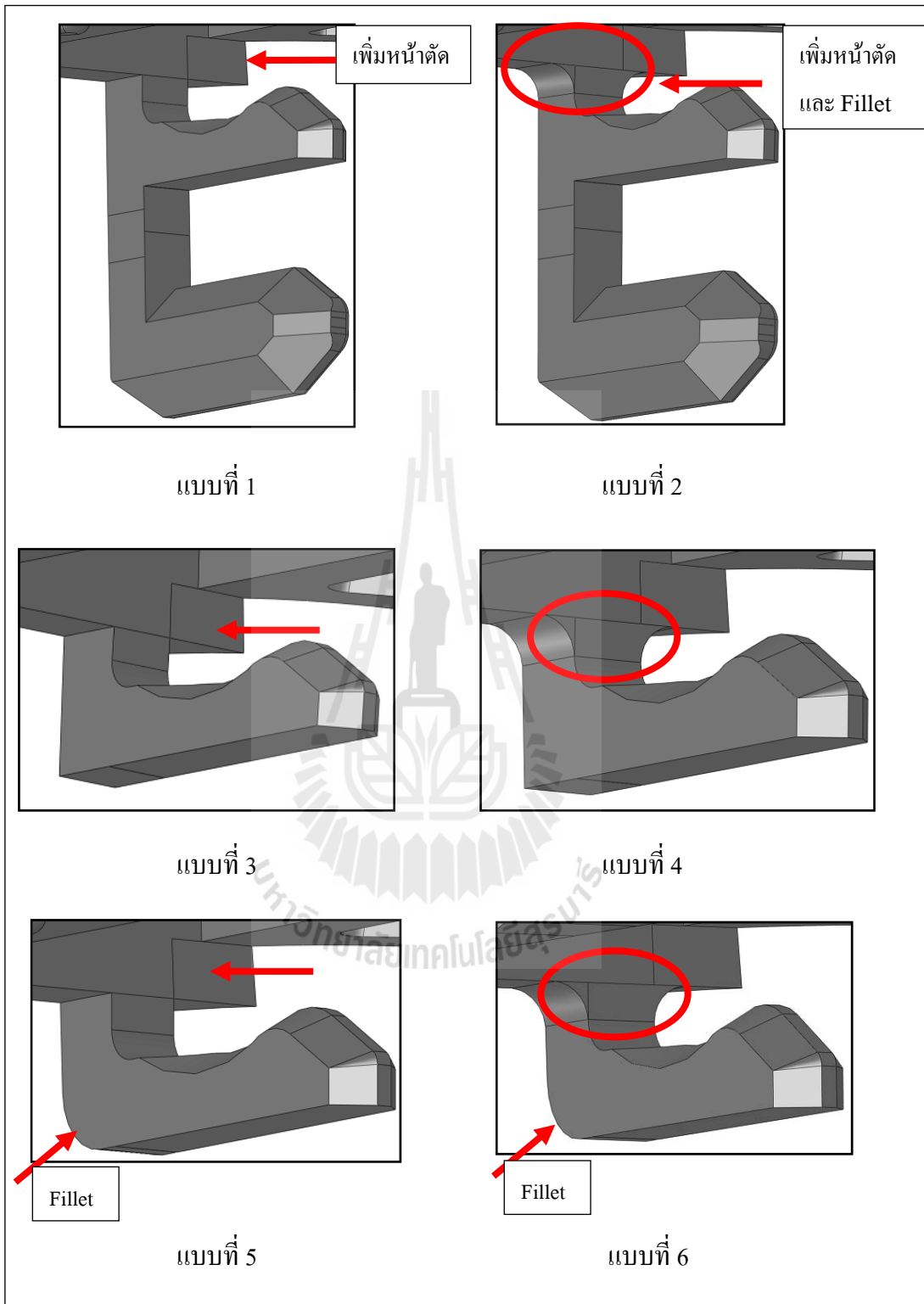
จากการศึกษา Latch แบบเดิม ดังแสดงในรูปที่ 4.52 จะพบการเสียหาย 2 ทิศทาง คือ

- 1) Latch จะเกิดการงอเข้าหาด้านที่มีหน้าตัดสูงกว่าอีกด้านหนึ่ง แต่ไม่หัก ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ก)
- 2) Latch จะงอออกจากหน้าตัดดังกล่าวด้วยมุมประมาณหนึ่งแล้วหลังจากนั้น Latch ก็เกิดรอยร้าวและหักในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.52 (ข)



รูปที่ 4.52 แสดงบริเวณการเสียหายของ Latch

การปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานบริเวณ Latch ดังแสดงในรูปที่ 4.53 มีดังนี้



รูปที่ 4.53 แสดงแบบของ Latch อันใหม่

แบบที่ 1 เพิ่มบ่าให้กับด้านที่ต่ำกว่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 2 เพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน และเพิ่มโค้งรองรับที่ขอบทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 3 เพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านและเอาซี่ Latch อันล่างออกให้เหลือแต่อันบน

แบบที่ 4 เพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน เอาซี่ Latch อันล่างออกและเพิ่มโค้งรองรับที่ขอบทั้ง 2 ด้าน

แบบที่ 5 เพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน เอาซี่ Latch อันล่างออกและเปลี่ยน โค้งแบบตั้งฉากให้เป็น โค้งแบบรัศมี

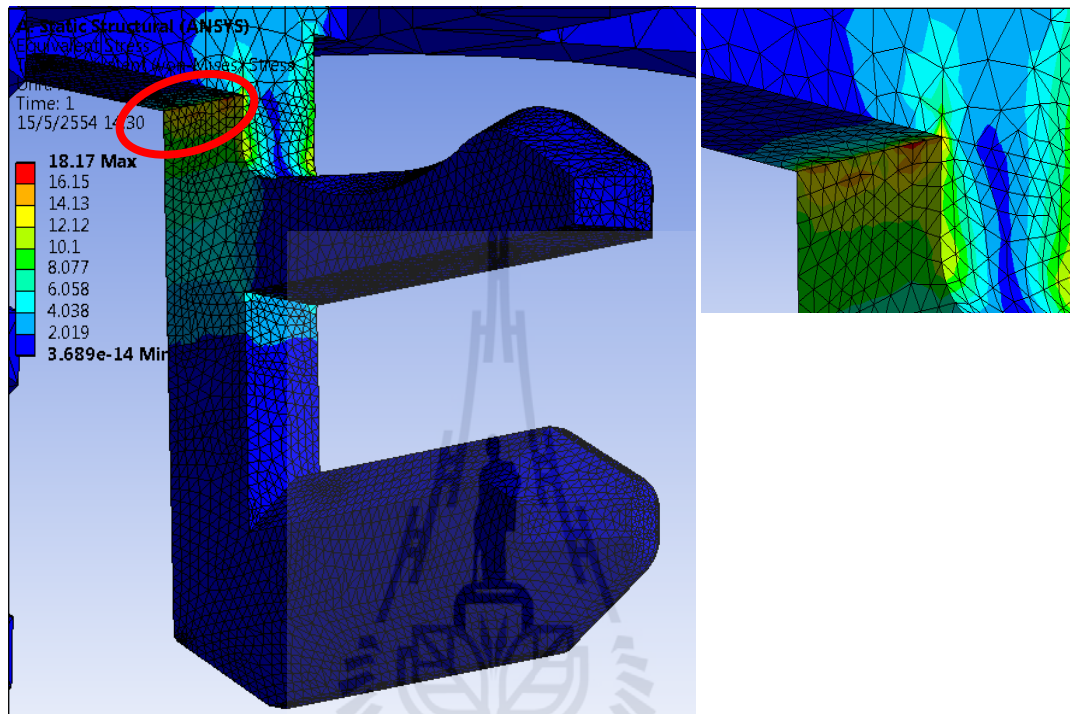
แบบที่ 6 เพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน เอาซี่ Latch อันล่างออกและเปลี่ยน โค้งแบบตั้งฉากให้เป็น โค้งแบบรัศมีและเพิ่ม โค้งรองรับที่ขอบทั้ง 2 ด้าน

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะใช้เงื่อนไขในการทดสอบเหมือนกับ การทดสอบ Pin คือ จำลองการใส่โหลดกระทำต่อชิ้นงานด้วยแรงขนาด 1 N แล้วศึกษา ผลการกระจายตัวของค่าความเค้น ความเครียด และระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม



จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบปัจจุบันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับโมเดลที่ได้สร้าง มีผลดังนี้

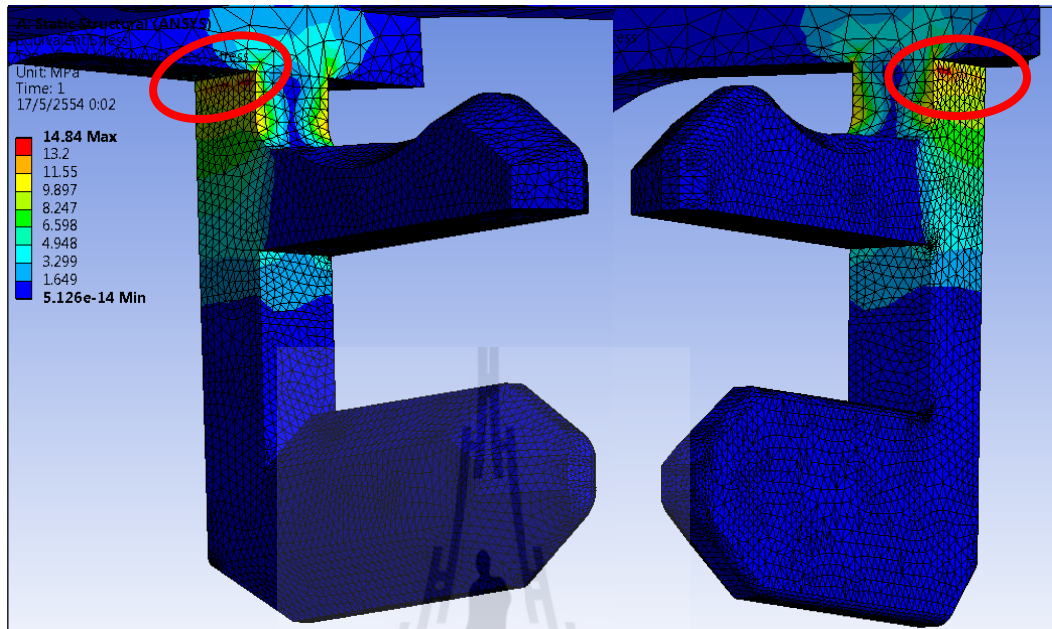
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบปัจจุบัน



รูปที่ 4.54 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบปัจจุบัน

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานปัจจุบันด้วยการออกแรงกระทำขนาด 1 N ดังแสดงในรูปที่ 4.54 จะพบว่า เกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณมุมของหน้าตัดด้านซ้ายแค่ด้านเดียว โดยมีค่าเท่ากับ 18.17 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.008 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.12 mm. ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีลักษณะคล้ายกับการเสียหายของชิ้นงานจริง

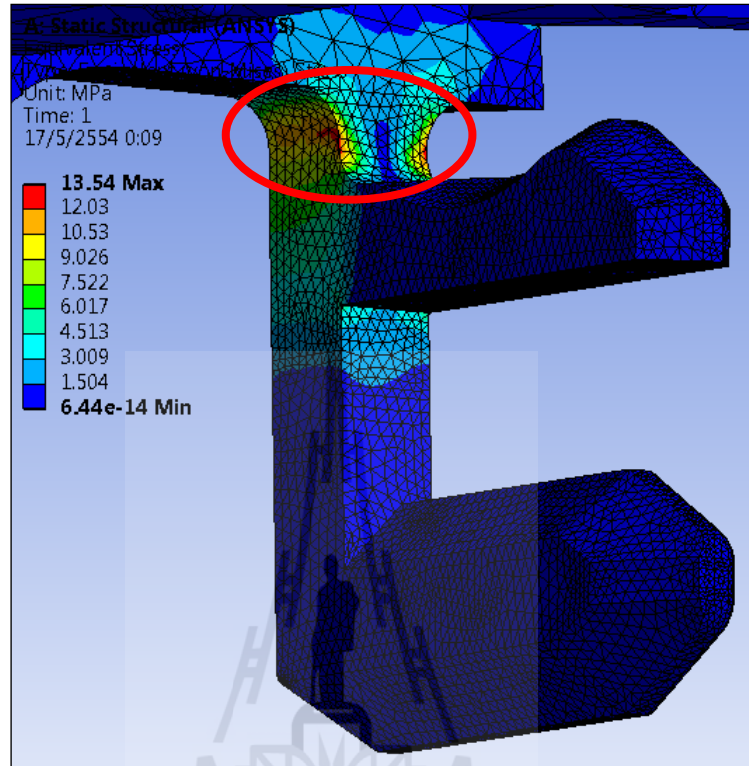
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 1



รูปที่ 4.55 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 1

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานเพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านแล้วออกแรงกระทำขนาด 1 N ดังแสดงในรูปที่ 5.55 จะพบว่า เกิดค่าความเค้นสูงสุดมุมของชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน โดยมีค่าเท่ากับ 14.84 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.006 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.11 mm.

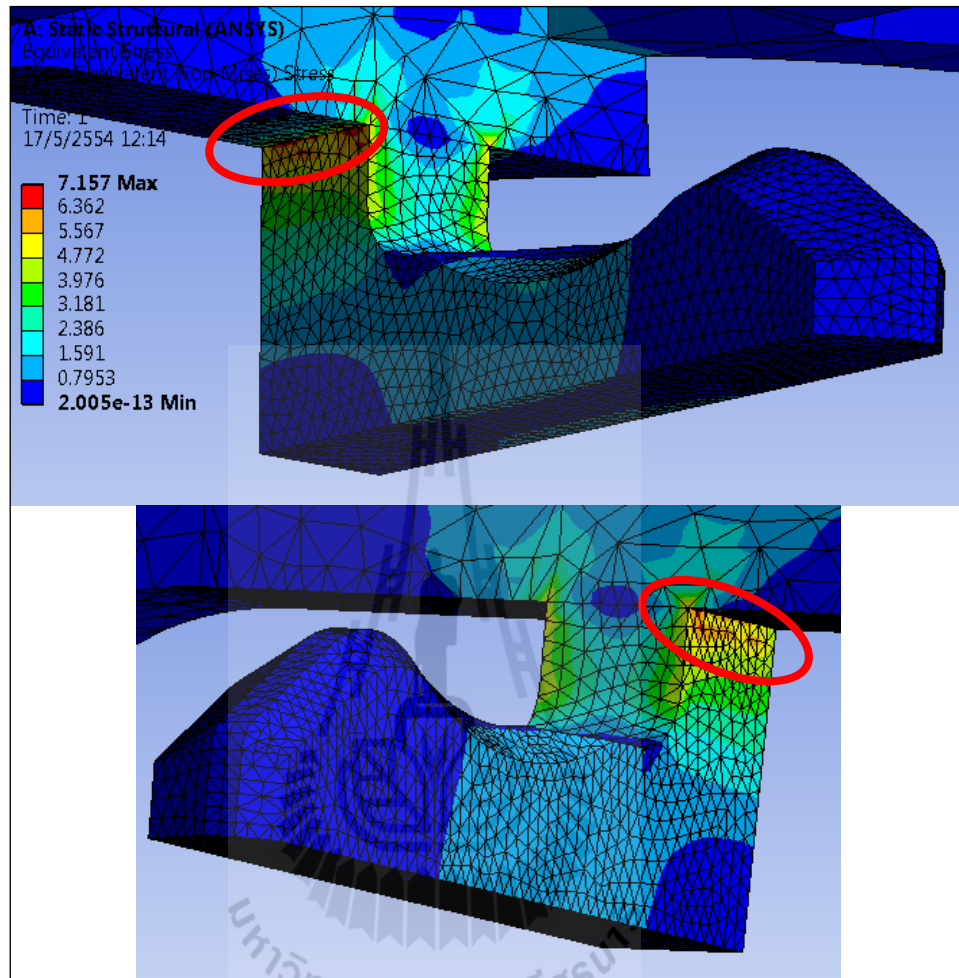
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 2



รูปที่ 4.56 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 2

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานเพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านและเพิ่มโค้งรองรับที่ขอบทั้ง 2 ด้านแล้วออกแรงกระทำขนาด 1 N ดังแสดงในรูปที่ 4.56 จะพบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณมุมของชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน โดยจะเกิดเป็นบริเวณแคบ ๆ มีค่าเท่ากับ 13.54 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.006 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.09 mm.

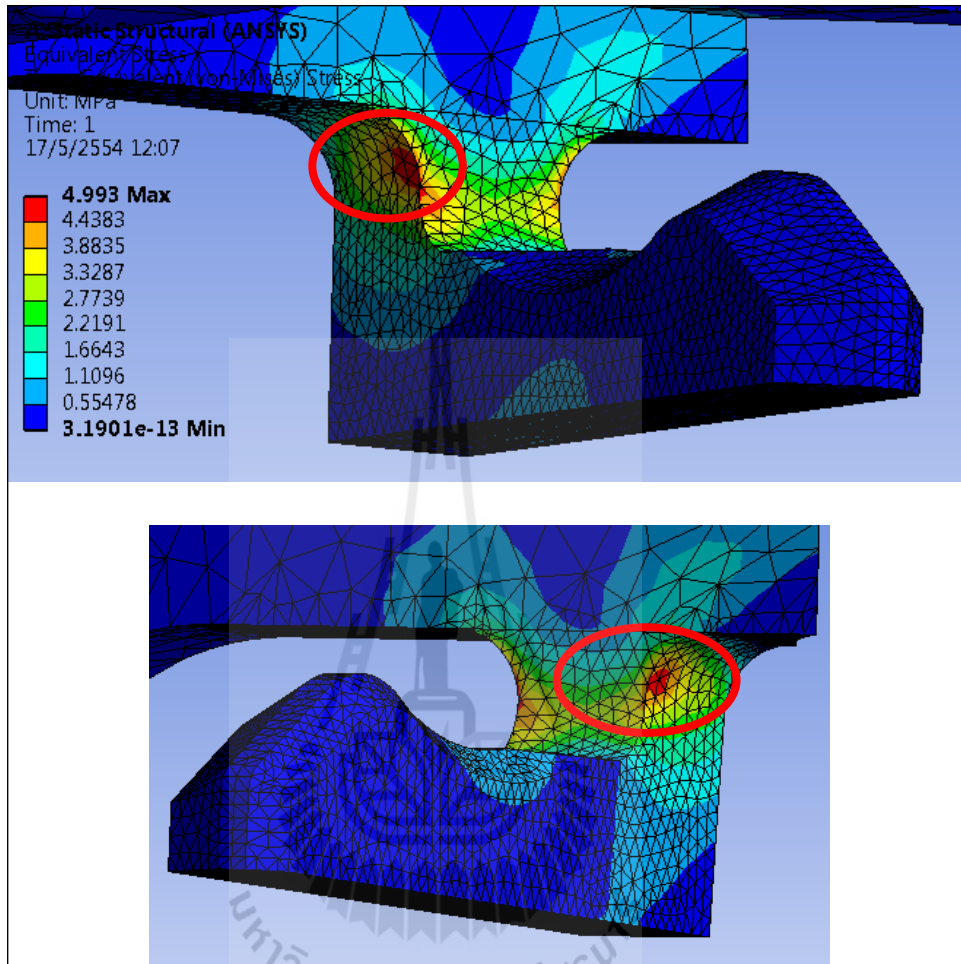
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 3



รูปที่ 4.57 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 3

การปรับปรุงแก้ไข Latch ในแบบที่ 3 จะเพิ่มบ่าให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านและเอาซี่ Latch อันล่างออกให้เหลือแต่อันบนอันเดียว ผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูป 4.57 จะพบว่าชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณมุมทั้ง 2 ด้าน มีค่าเท่ากับ 7.16 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.003 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.01 mm.

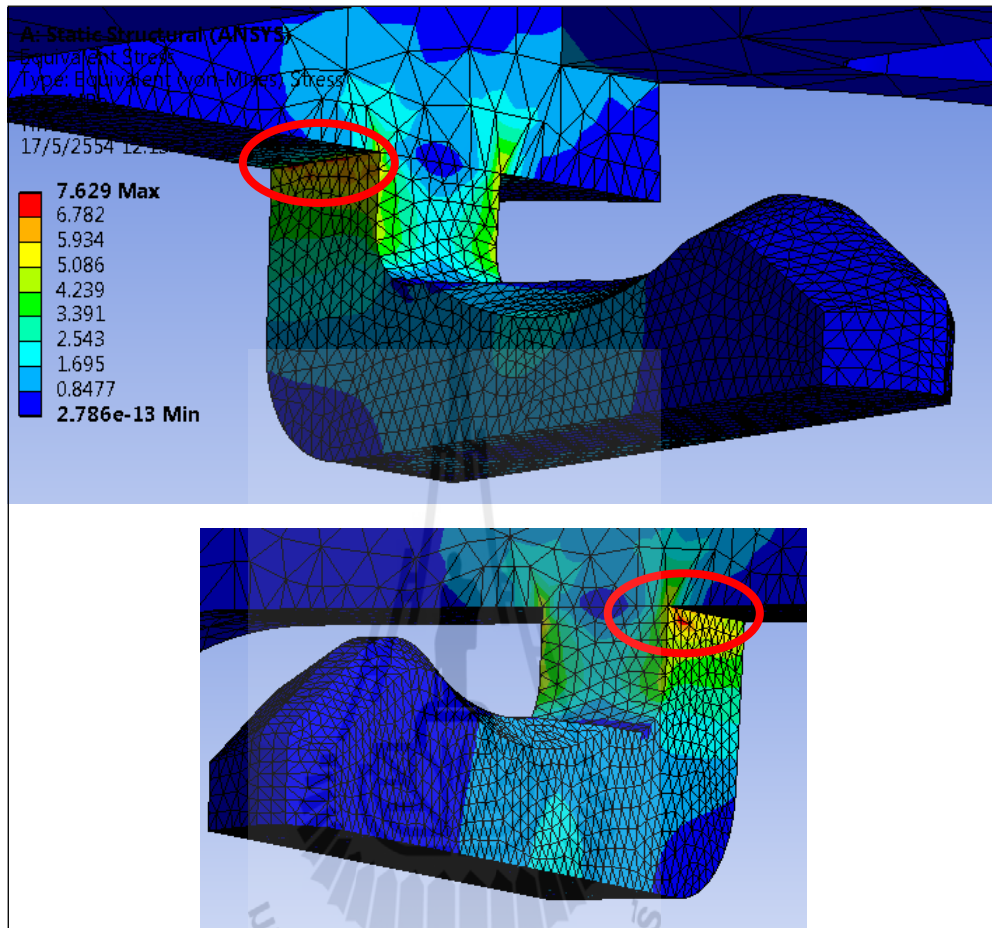
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 4



รูปที่ 4.58 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 4

การปรับปรุงแก้ไข Latch ในแบบที่ 4 จะเพิ่มโค้งรองรับให้กับชิ้นงาน ทั้ง 2 ด้าน จากผลการวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.58 จะพบว่า ชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุด บริเวณ โค้งทั้ง 2 ด้าน มีค่าเท่ากับ 4.99 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.002 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.02 mm.

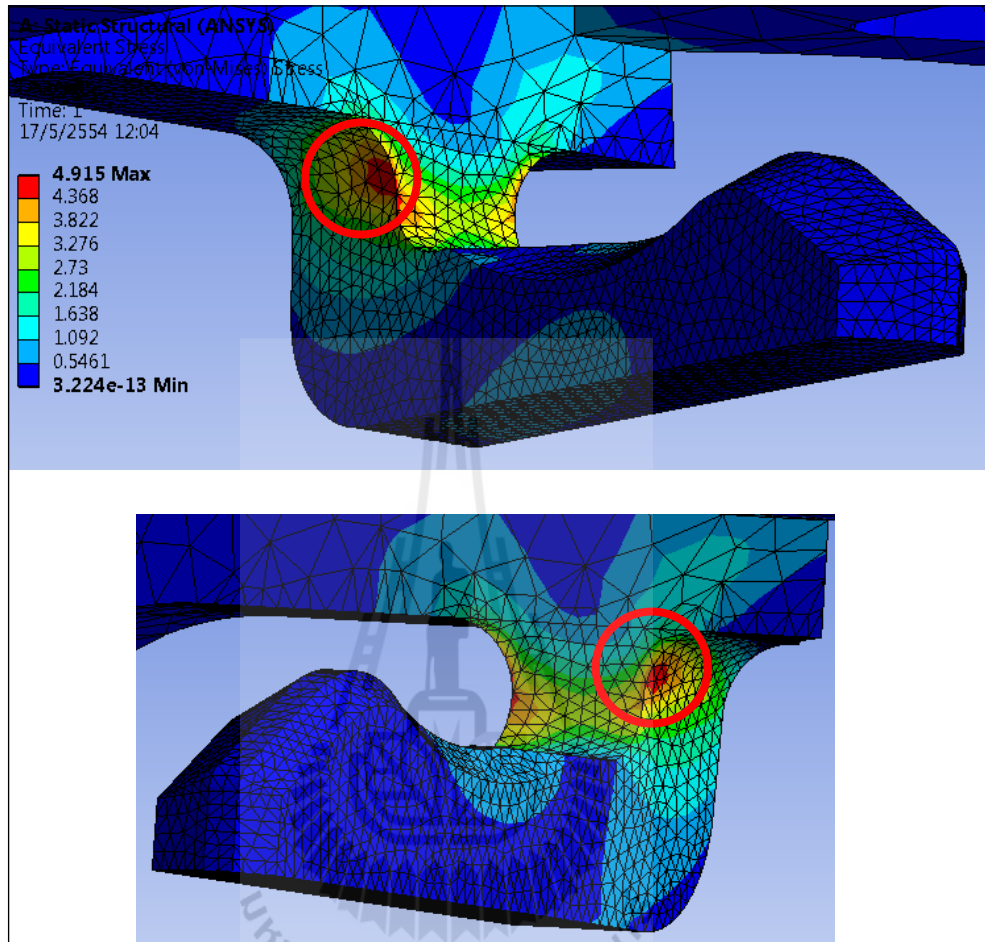
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 5



รูปที่ 4.59 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 5

จากการปรับปรุงแก้ไข Latch ในแบบที่ 5 โดยการเพิ่มโค้งให้กับหน้าตัดของชิ้นงานที่ตั้งฉากกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.59 จะพบว่า มีลักษณะการกระจายตัวของความเค้นคล้ายกับแบบที่ 3 และความเค้นสูงสุดก็ยังคงเกิดที่ตรงขอบของชิ้นงานทั้ง 2 ด้านเหมือนกันอีกด้วย ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 7.63 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.003 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.01 mm. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแบบที่ 3

- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 6



รูปที่ 4.60 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Latch แบบที่ 6

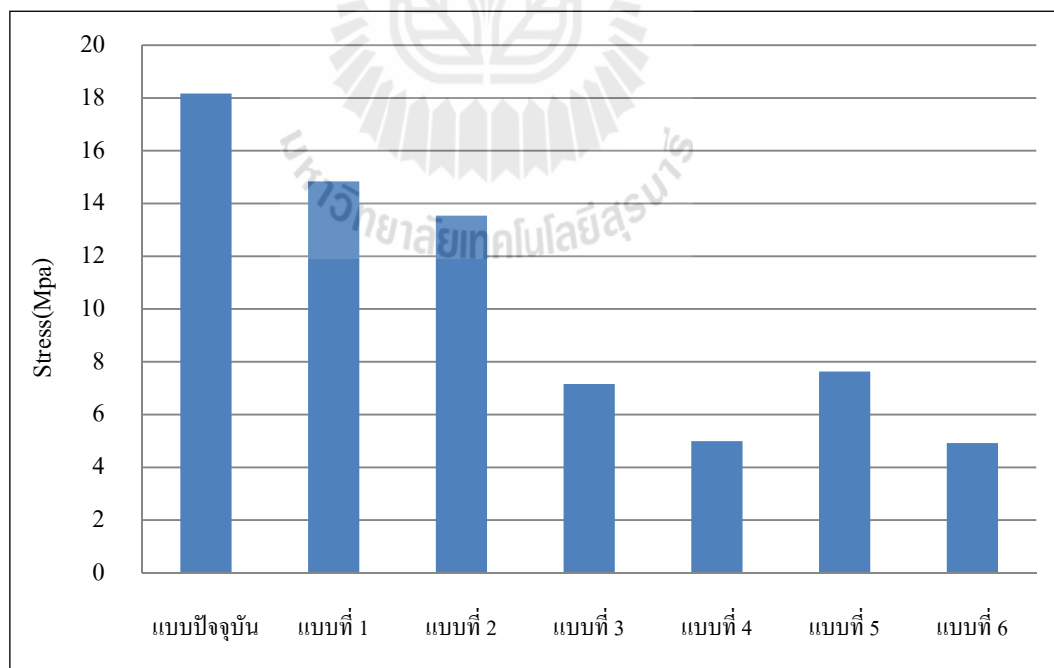
จากการปรับปรุงแก้ไข Latch ในแบบที่ 6 โดยการเพิ่มโค้งรองรับให้กับชิ้นงาน ทั้ง 2 ด้าน ดังแสดงในรูปที่ 4.60 จะพบว่า มีลักษณะการกระจายตัวของความเค้นคล้ายกับแบบที่ 4 และความเค้นสูงสุดก็ยังคงเกิดที่ตรงขอบของชิ้นงานทั้ง 2 ด้านเหมือนกันอีกด้วย ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 4.92 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.002 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วย ระยะ 0.02 mm. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแบบที่ 3

การออกแบบปรับปรุงแก้ไข Shipping Comb ในส่วน Latch จำนวน 6 แบบ จะสามารถสรุปเป็นตารางแสดงค่าความเค้น ความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าความเค้น ความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
ของชิ้นส่วน Latch ที่ได้ออกแบบใหม่ทั้ง 6 แบบ

ลำดับที่	Latch	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลง รูปร่าง (mm.)
1	แบบปัจจุบัน	18.17	0.008	0.12
2	แบบที่ 1	14.84	0.006	0.11
3	แบบที่ 2	13.54	0.006	0.09
4	แบบที่ 3	7.16	0.003	0.01
5	แบบที่ 4	4.99	0.002	0.02
6	แบบที่ 5	7.63	0.003	0.01
7	แบบที่ 6	4.92	0.002	0.02

ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับ Latch ทั้ง 6 แบบเมื่อนำมาเขียนกราฟ
เปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานปัจจุบันได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.61 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Latch ปัจจุบัน
กับ Latch ที่ออกแบบใหม่

ในการออกแบบ Latch แบบปัจจุบันให้มีขา 2 ด้านไม่เท่ากันนั้นจะเป็นผลดีต่อการใช้งาน คือ จะลดโอกาสในการเสียหายของ Latch ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ด้าน โดยจะเห็นได้ว่าหากชิ้นงานได้รับแรงกระทำในด้านที่มีขาค้ำกว่าจะทำให้ชิ้นงานงอโดยไม่ทำให้ชิ้นงานหัก แต่อีกด้านหนึ่งหากได้รับแรงกระทำก็จะทำให้ชิ้นงานหักอย่างง่ายดาย ดังนั้นรูปแบบที่ใช้ในปัจจุบันจึงยังไม่เหมาะสม ในการแก้ไขปรับปรุง Latch เพื่อให้สามารถลดค่าความเค้นในบริเวณดังกล่าว จึงได้ทำการออกแบบ Latch ใหม่ โดยทำการจำลองความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ผลดังนี้

1) การออกแบบโดยเพิ่มขาให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านจะทำให้ความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณมุมทั้ง 2 ด้านของชิ้นงาน และค่าความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าน้อยกว่า Latch แบบปัจจุบันเล็กน้อย

2) การออกแบบโดยเพิ่มขาให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านและเพิ่มโคงรองรับที่หน้าตัดตั้งฉากทั้ง 2 ด้านจะพบว่า ค่าความเค้นสูงสุดจะเลื่อนลงมาจากตำแหน่งเดิมที่เสียหายแต่จะมีค่ามากกว่าแบบที่ 1 เล็กน้อย

3) การออกแบบโดยเพิ่มขาให้เท่ากันทั้ง 2 ด้านและเอาซี่ Latch อันล่างออกให้เหลือแต่อันบนจะพบว่า ความเค้นสูงสุดที่ได้นั้นลดลงอย่างมากเนื่องจากระยะทางจากจุดอ้างอิงถึงตำแหน่งที่ชิ้นงานถูกแรงกระทำจะสั้นกว่าแบบปัจจุบัน ดังนั้นจึงสามารถรับค่าความเค้นได้มากกว่าแต่ชิ้นงานจะยังคงเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณเดียวกันกับแบบปัจจุบัน

4) การออกแบบโดยเพิ่มขาให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน เอาซี่ Latch อันล่างออกและเพิ่มโคงที่หน้าตัดตั้งฉากทั้ง 2 ด้านจะพบว่า ความเค้นสูงสุดที่ได้นั้นลดลงและจะเกิดขึ้นบริเวณที่เพิ่มโคงให้ดังกล่าว

5) การออกแบบโดยเพิ่มขาให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน เอาซี่ Latch อันล่างออกและเปลี่ยนโคงตรงปลายชิ้นงานที่เป็นแบบหักฉากให้เป็นแบบโคง เพราะโคงตั้งฉากอาจจะไม่ได้รับผลกระทบมากนักจากแรงที่มากระทำด้านข้างของชิ้นงาน แต่จะได้รับผลอย่างมากต่อการรับแรงกระทำในแนวตั้งซึ่งจะทำให้เป็นปัญหาใหม่เกิดตามมา ดังนั้นการออกแบบลักษณะนี้จะช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับ Latch ทั้งในทิศทางแนวตั้งและแนวนอน แต่ชิ้นงานจะยังคงเกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณเดียวกันกับแบบปัจจุบัน

6) การออกแบบโดยเพิ่มขาให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน เอาซี่ Latch อันล่างออก เปลี่ยนโคงตรงปลายชิ้นงานที่เป็นแบบหักฉากให้เป็นแบบโคงและเพิ่มโคงรองรับที่หน้าตัดตั้งฉากทั้ง 2 ด้านจะทำให้ชิ้นงานเกิดค่าความเค้นน้อยลงและยังช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch ใน 2 ทิศทางความเสียหายที่เกิดขึ้นจะอยู่บริเวณที่เพิ่มโคงทั้ง 2 ด้านของชิ้นงาน

ในการออกแบบ Latch ใหม่จะต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลักเพราะ Latch คือ ชิ้นส่วนที่จะกำหนดแรงที่ใช้ในการสวม Shipping Comb เข้ากับ Actuator ดังนั้นในนอกเหนือจาก ทำการวิเคราะห์หาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch ทั้ง 6 แบบแล้ว ยังต้องทำการทดสอบหา Latch Force หรือแรงที่เกิดขึ้นขณะที่ Latch ถูกสวมเข้ากับ Actuator แล้วทำให้ Latch เคลื่อนที่ไปด้วยระยะ 0.127 mm. เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าโมเดลที่ได้ออกแบบมาทั้ง 6 แบบนั้นจะสามารถนำไปใช้งานได้สอดคล้องกับการใช้งานจริง ผลของการทดสอบ Latch Force ของชิ้นงานทั้ง 6 แบบ ดังแสดง ในตารางที่ 4.23 เป็นดังนี้

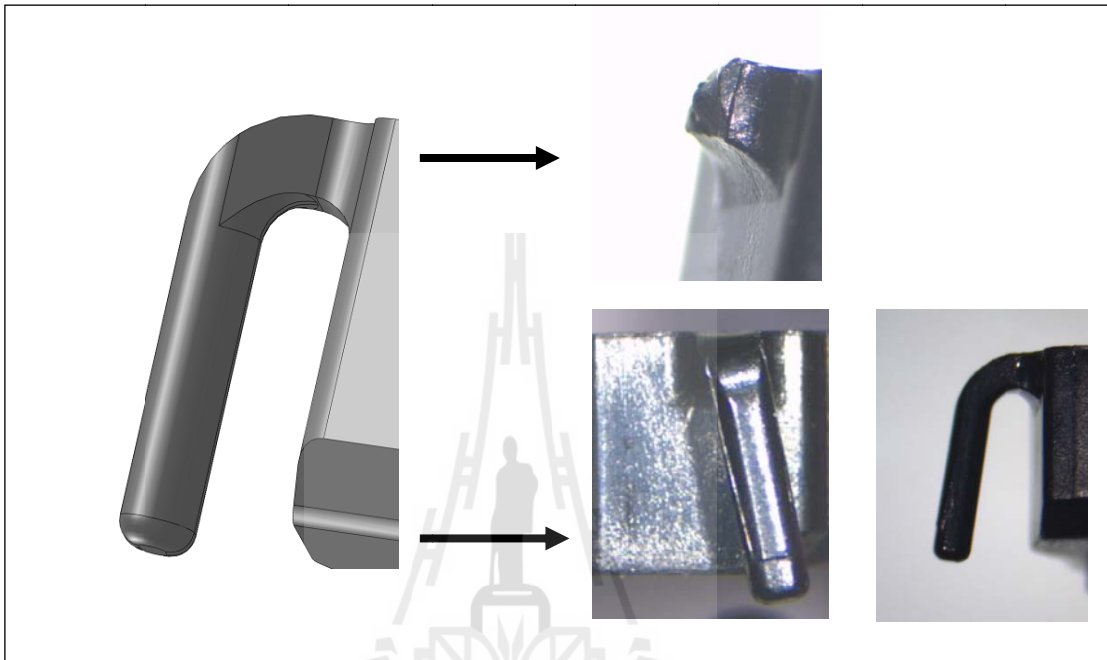
ตารางที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบ Latch Force ของชิ้นงานทั้ง 6 แบบ

แบบที่	Latch Force (N)
Latch แบบปัจจุบัน	0.66
แบบที่ 1	0.72
แบบที่ 2	0.75
แบบที่ 3	0.71
แบบที่ 4	0.75
แบบที่ 5	0.71
แบบที่ 6	0.74

จากผลการวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นขณะที่ Latch ถูกสวมเข้ากับ Actuator แล้วทำให้ Latch เคลื่อนที่ไปด้วยระยะ 0.127 mm. จะพบว่า Latch ทั้ง 6 แบบจะมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้แรงที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบปัจจุบันเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถนำไปใช้งานได้

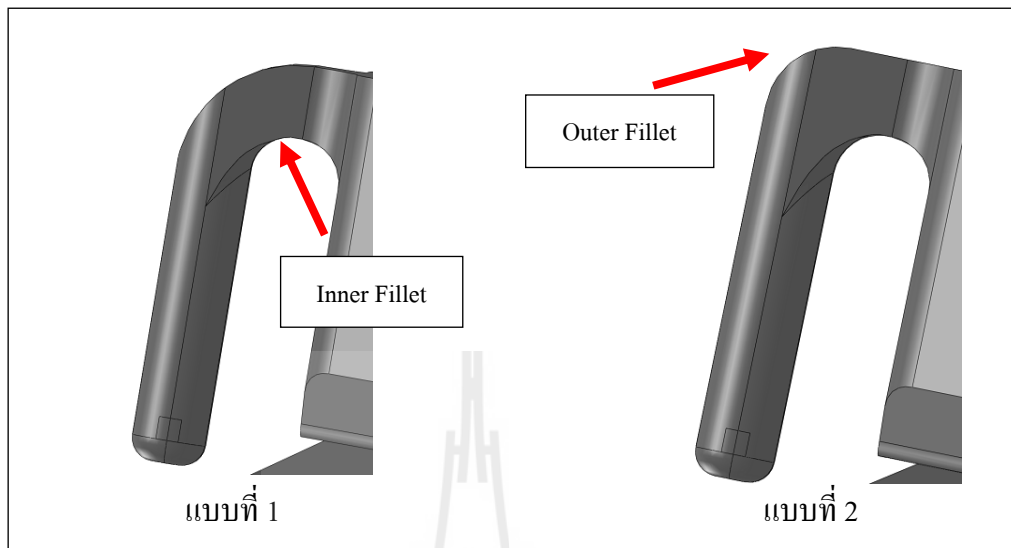
4.3.3 ออกแบบปรับปรุง Z-Latch

จากการศึกษา Latch แบบปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4.62 จะพบการเสียหาย 2 รูปแบบ คือ Z-Latch หักและเกิดการงอเสียรูป



รูปที่ 4.62 แสดงรูปแบบการเสียหายของ Z-Latch

การปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานบริเวณ Z-Latch มีดังนี้



รูปที่ 4.63 แสดงแบบของ Z-Latch อันใหม่

แบบที่ 1 ทำการเพิ่ม/ลด รัศมีส่วนโค้งด้านในของ Z-Latch

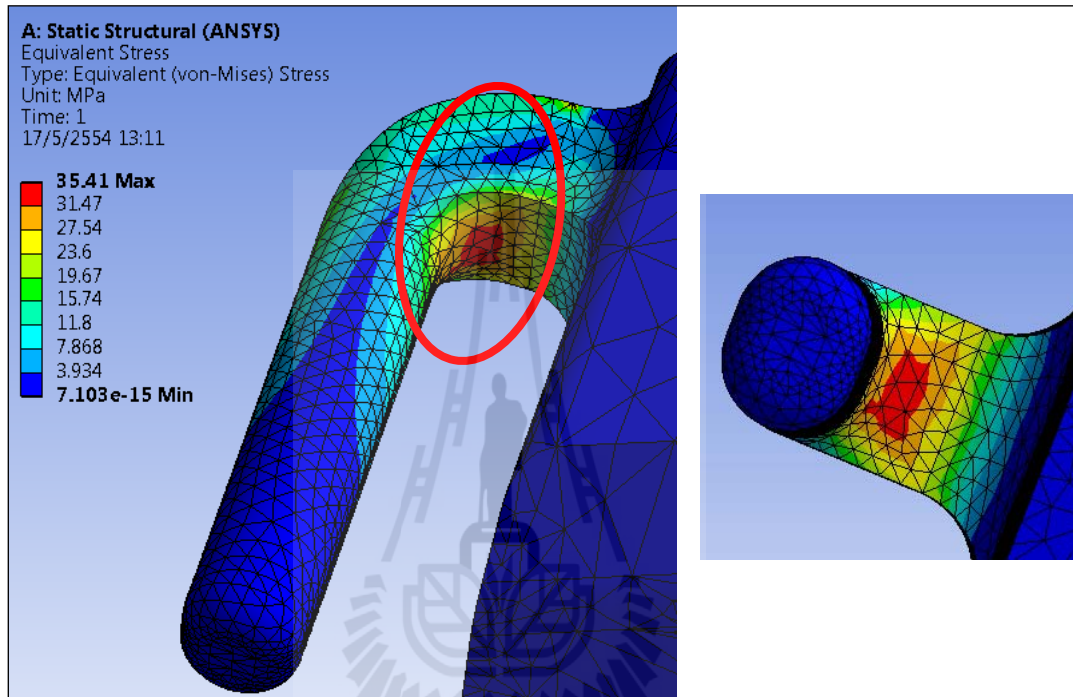
แบบที่ 2 ทำการเพิ่ม/ลด รัศมีส่วนโค้งด้านนอกของ Z-Latch

การปรับปรุงแก้ไข Z-Latch โดยการเพิ่มเนื้อตรงส่วนโค้งให้หนาก็เป็นอีกหนทางหนึ่งที่ทำให้ชิ้นงานแข็งแรงขึ้น ลดโอกาสการเสียรูป แต่ด้วยข้อจำกัดจากการใช้งาน หากเพิ่มความหนาจะทำให้ Z-Latch มีความยืดหยุ่นน้อยลงทำให้การล๊อค Shipping Comb เข้ากับ Actuator ต้องใช้แรงมากขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นการปรับปรุงแก้ไขด้วยวิธีนี้จึงตัดออกไป

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะใช้เงื่อนไขในการทดสอบเหมือนกับการทดสอบ Pin และ Latch คือ จำลองการใส่โหลดกระทำต่อชิ้นงานด้วยแรงขนาด 1 N แล้วศึกษาผลการกระจายตัวของค่าความเค้น ความเครียด และระยะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม และเนื่องจาก Z-Latch เป็นที่ส่วนที่ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่ล๊อค Shipping Comb กับ Actuator ด้วยแรงค่าหนึ่ง (Z-Latch Force) ดังนั้นการปรับปรุงแก้ไข Z-Latch จะต้องสอดคล้องกับแรงดังกล่าว

จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบปัจจุบันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับโมเดลที่ได้สร้าง มีผลดังนี้

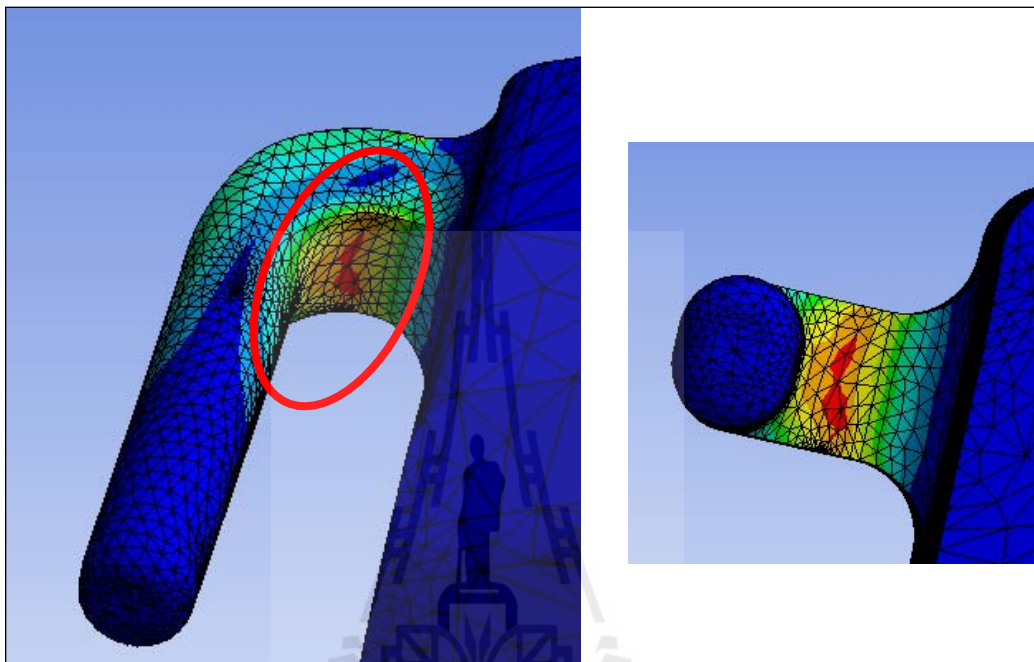
- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบปัจจุบัน



รูปที่ 4.64 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบปัจจุบัน

จากผลการวิเคราะห์ชิ้นงานปัจจุบันด้วยการออกแรงกระทำขนาด 1 N ดังแสดงในรูปที่ 4.64 จะพบว่า เกิดค่าความเค้นสูงสุดบริเวณ โคงด้านใน บริเวณรอยต่อของหน้าตัดสี่เหลี่ยมกับหน้าตัดวงกลม โดยมีค่าเท่ากับ 35.41 Mpa ความเครียดสูงสุดเท่ากับ 0.01 และมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปด้วยระยะ 0.2 mm.

- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบที่ 1
ในการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงานแบบที่ 1 ได้ทำการปรับขนาดรัศมี
ส่วนโค้งด้านในเป็น 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 mm. ตามลำดับ



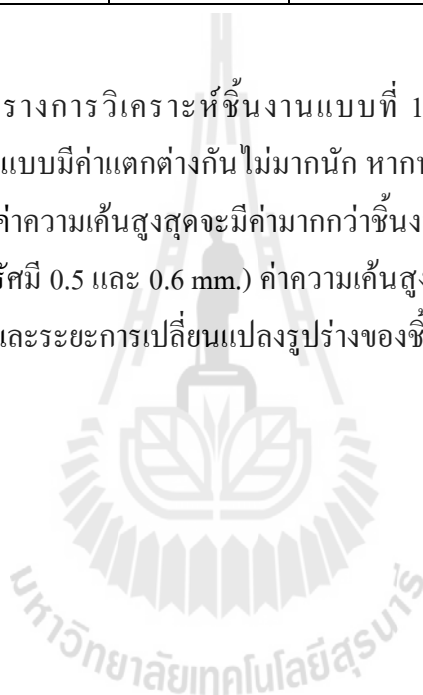
รูปที่ 4.65 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบที่ 1
ส่วนโค้ง 0.3 0.4 0.5 และ 0.6 mm.

ลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานรัศมีส่วนโค้งรัศมีต่าง ๆ ทั้ง 4 ค่า ดังแสดง
ในรูปที่ 4.65 จะพบว่า มีลักษณะการกระจายตัวของค่าความเค้นสูงสุดเหมือนกับ Z-Latch แบบ
ปัจจุบัน ความเค้น ความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.24

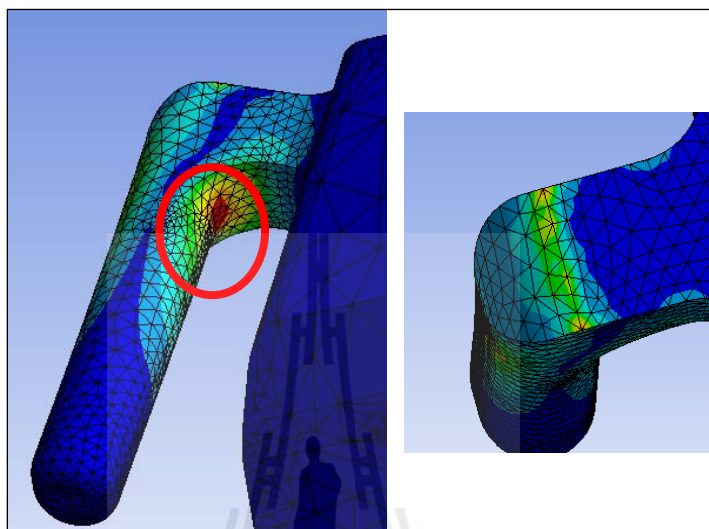
ตารางที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 1 โดยเพิ่ม/ลด รัศมีส่วนโค้งด้านใน

ลำดับที่	รูปแบบ	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mm.)
1	แบบปัจจุบัน	35.41	0.01	0.20
2	รัศมี 0.3 mm.	41.32	0.02	0.21
3	รัศมี 0.4 mm.	37.16	0.02	0.21
4	รัศมี 0.5 mm.	35.92	0.01	0.21
5	รัศมี 0.6 mm.	35.54	0.01	0.20

จากตารางการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานแต่ละแบบมีค่าแตกต่างกัน ไม่มากนัก หากทำการลดขนาดของรัศมีส่วนโค้งลง (รัศมี 0.3 และ 0.4 mm.) ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่ามากกว่าชิ้นงานแบบปัจจุบันเล็กน้อย และถ้าหากเพิ่มขนาดรัศมีส่วนโค้ง (รัศมี 0.5 และ 0.6 mm.) ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าใกล้เคียงกับชิ้นงานแบบปัจจุบัน ส่วนความเครียดและระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานจะมีค่าใกล้เคียงกัน



- ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบที่ 2
ในการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงานแบบที่ 2 ได้ทำการปรับขนาดรัศมี
ส่วนโค้งด้านนอกเป็น 0.5 0.6 0.75 และ 1 mm. ตามลำดับ



รูปที่ 4.66 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Z-Latch แบบที่ 2
ส่วนโค้ง 0.5 0.6 0.75 และ 1 mm.

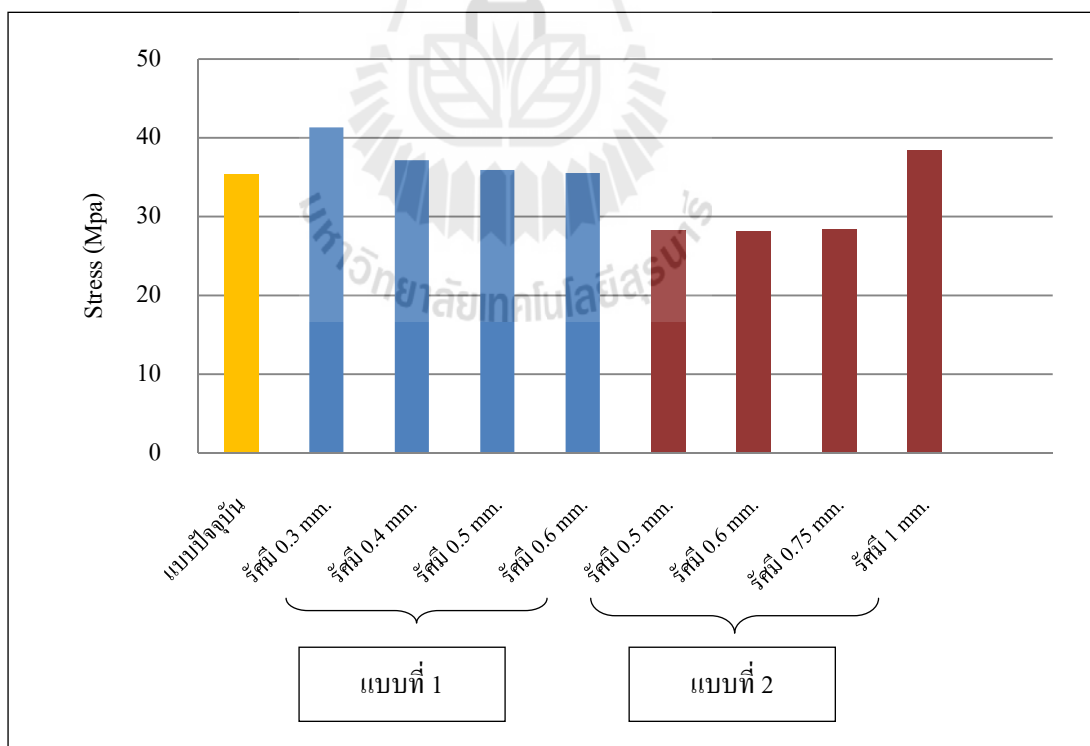
ลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่ปรับเปลี่ยนรัศมีส่วนโค้งด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 4.66 จะพบว่า มีลักษณะการกระจายตัวของค่าความเค้นสูงสุดเหมือนกับ Z-Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 1 คือ ตรงบริเวณรอยต่อของหน้าตัด แต่การกระจายของความเค้นสูงสุดของแบบที่ 1 จะพบว่า หากลดขนาดของรัศมีส่วนโค้งลง (รัศมี 0.5 0.6 และ 0.75 mm.) ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานแบบปัจจุบัน แต่ถ้าหากเพิ่มขนาดของรัศมีส่วนโค้ง 1 mm. ค่าความเค้นสูงสุดจะมีค่ามากกว่าชิ้นงานแบบปัจจุบัน โดยค่าความเค้น ความเครียด และระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงาน แบบที่ 2 รัศมีส่วนโค้งต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 2 โดยเพิ่ม/ลด รัศมีส่วนโค้งด้านนอก

ลำดับที่	Latch	ความเค้น (Mpa)	ความเครียด	ระยะเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (mm.)
1	แบบปัจจุบัน	35.41	0.01	0.20
2	รัศมี 0.5 mm.	28.30	0.01	0.12
3	รัศมี 0.6 mm.	28.14	0.01	0.13
4	รัศมี 0.75 mm.	28.31	0.01	0.13
5	รัศมี 1 mm.	38.4	0.02	0.16

จากตารางการวิเคราะห์ชิ้นงานแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานแต่ละแบบมีค่าน้อยกว่าแบบปัจจุบัน

เมื่อนำค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานทั้ง 2 แบบมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานปัจจุบันได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Z-Latch ปัจจุบัน กับ Z-Latch ที่ออกแบบใหม่

จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน Z-Latch ทั้ง 2 แบบ จะเห็นว่าชิ้นงานแบบที่ 2 จะได้ค่าความเค้นน้อยกว่าแบบที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับชิ้นงาน ปัจจุบันจะพบว่า ชิ้นงานทั้ง 2 แบบมีค่าความเค้นแตกต่างกันไปจากชิ้นงานปัจจุบันไม่มากนัก

4.3.4 การแบ่งเอลิเมนต์ย่อย ๆ เพื่อทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ได้ออกแบบใหม่ทั้ง 3 ตำแหน่ง ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องทำการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ให้เหมาะสม เพราะการแบ่ง เอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็ก ผลดี คือ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแม่นยำมากกว่า แต่จะมีผลเสีย คือ ใช้เวลา วิเคราะห์ผลนานมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการแบ่งขนาดเอลิเมนต์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง ของค่าตอบโดยเริ่มต้นที่ 0.5 mm. และลดขนาดเป็น 0.4 0.3 และ 0.2 mm. ตามลำดับได้ผลการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของ Pin

ลำดับที่	แบบที่	ขนาดเอลิเมนต์ (mm.)			
		0.2	0.3	0.4	0.5
1	ชิ้นงานปัจจุบัน	29.01	28.59	28.65	29.08
2	แบบที่ 1	27.53	27.48	27.68	27.49
3	แบบที่ 2	31.61	28.75	28.90	29.37
4	แบบที่ 3 (6 mm.)	25.62	21.58	21.71	21.29
5	แบบที่ 4 (6 mm.)	21.13	21.03	20.85	20.99
6	แบบที่ 5	15.30	14.43	13.19	12.64
7	แบบที่ 6	17.72	16.08	15.35	14.69

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของ Latch

ลำดับที่	แบบที่	ขนาดเอลิเมนต์ (mm.)			
		0.2	0.3	0.4	0.5
1	แบบปัจจุบัน	18.17	13.04	12.40	12.02
2	แบบที่ 1	14.84	12.75	11.94	11.62
3	แบบที่ 2	13.54	13.05	12.47	11.49
4	แบบที่ 3	7.16	5.66	5.26	5.07
5	แบบที่ 4	4.99	4.96	4.61	4.82
6	แบบที่ 5	7.63	5.86	5.17	5.18
7	แบบที่ 6	4.92	5.28	5.02	4.61

ตารางที่ 4.28 แสดงผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ของ Z-Latch

ลำดับที่	แบบที่	รูปแบบ	ขนาดเอลิเมนต์ (mm.)			
			0.2	0.3	0.4	0.5
1	แบบปัจจุบัน		35.41	28.08	23.92	26.16
2	แบบที่ 1	รัศมี 0.3 mm.	41.32	29.44	28.65	27.00
3		รัศมี 0.4 mm.	37.16	29.07	26.17	26.87
4		รัศมี 0.5 mm.	35.92	27.76	25.41	25.89
5		รัศมี 0.6 mm.	35.54	27.12	26.63	25.11
6	แบบที่ 2	รัศมี 0.5 mm.	28.302	23.13	23.50	22.94
7		รัศมี 0.6 mm.	28.14	22.56	21.88	23.07
8		รัศมี 0.75 mm.	28.314	23.75	21.98	22.36
9		รัศมี 1 mm.	38.4	25.81	24.59	22.53

จากผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Pin Latch และ Z-Latch ดังแสดงในตารางที่ 4.26-4.28 จะพบว่า ได้ว่าค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการลดขนาดของเอลิเมนต์ลง คำตอบที่ได้ยังไม่เป็นอิสระของการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ แต่การลดขนาดเอลิเมนต์ ในงานวิจัยนี้สามารถทำได้จำกัดที่ขนาด 0.2 mm. ดังนั้นคำตอบที่ได้จากงานวิจัยนี้จึงใช้คำตอบที่ขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 0.2 mm.

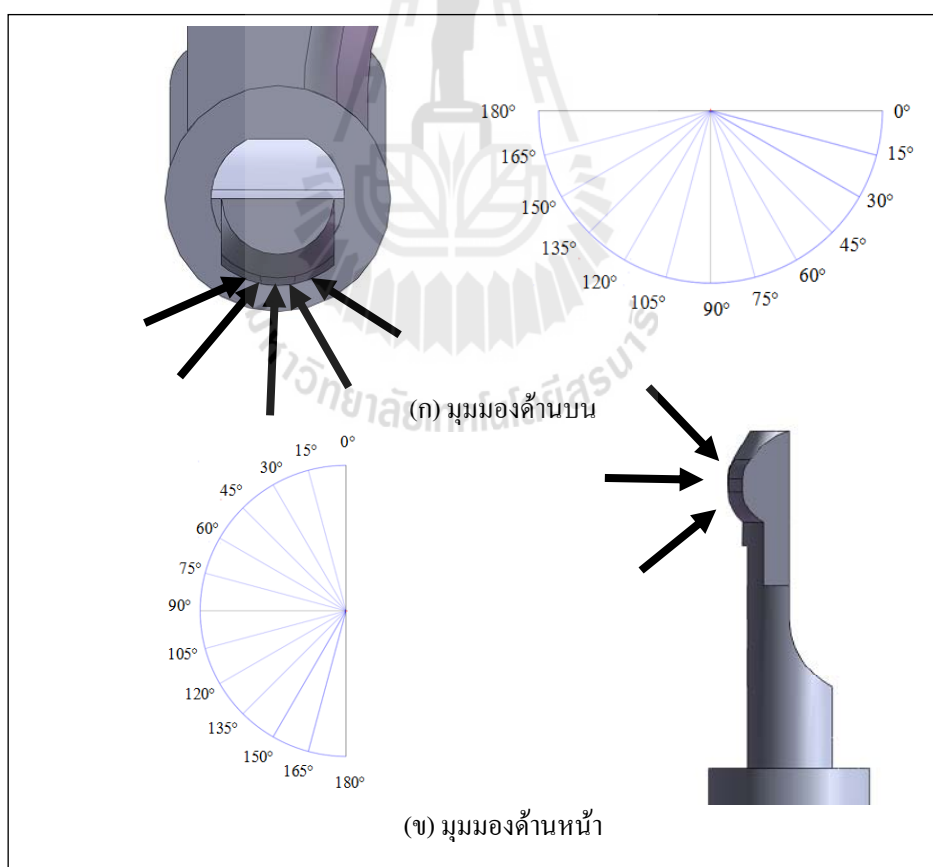
4.4 การพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นงานที่ได้ออกแบบปรับปรุง (เพิ่มเติม)

ในการจำลองหาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin Latch และ Z-Latch ทั้งชิ้นงานปัจจุบัน และชิ้นงานที่ออกแบบใหม่ได้ใส่โพลดกระทำในทิศทางเดียว คือ ทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ซึ่งในความเป็นจริงชิ้นส่วนเหล่านี้อาจได้รับแรงกระทำต่อชิ้นงานในหลายทิศทาง ดังนั้นในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นเพียงทิศทางเดียวอาจจะไม่เพียงพอในหัวข้อนี้จึงได้นำเสนอการพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นงานชิ้นส่วน Pin Latch และ Z-Latch ในทิศทางต่าง ๆ ดังนี้

4.4.1 การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin

- การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin แบบปัจจุบัน

การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin จะใส่แรงกระทำต่อชิ้นงานใน 2 ทิศทาง คือ แนวระดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.68 (ก) และแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.68 (ข) โดยใส่แรงกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดแล้วปรับมุมมองสาขาของแรงที่กระทำไปด้านข้างทีละ 15 องศา



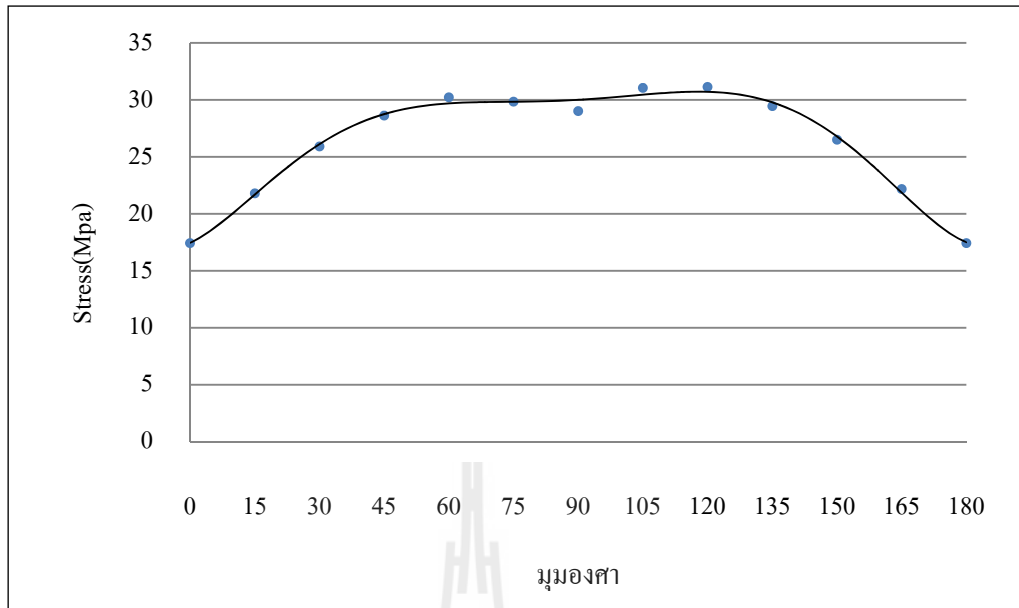
รูปที่ 4.68 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบัน

ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการจำลอง Pin แบบปัจจุบัน เมื่อใส่แรงขนาด 1 N กระทำในแนวระดับและแนวตั้งที่ได้รับมุมมองต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.29 เป็นดังนี้

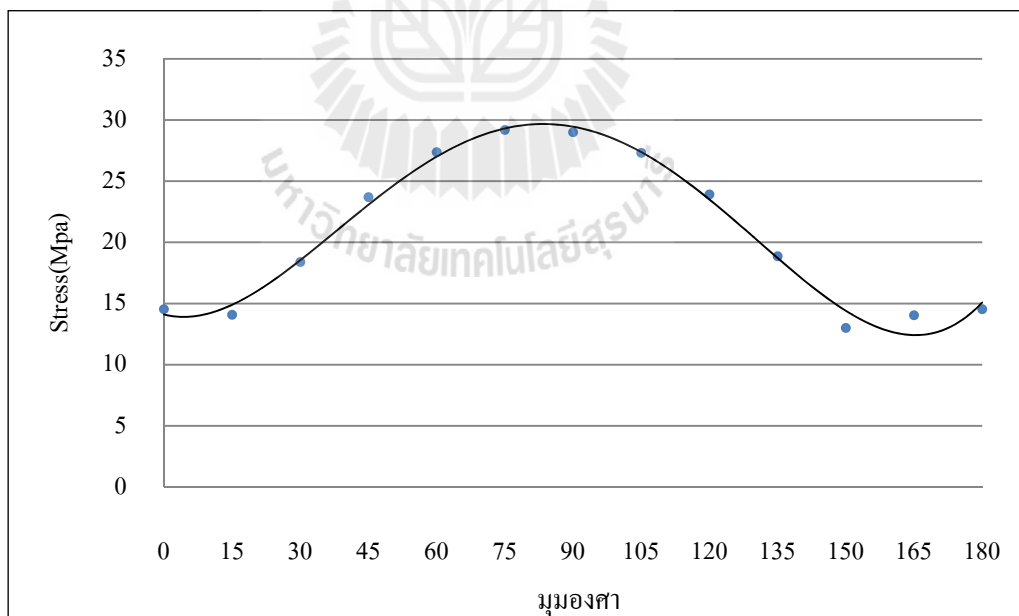
ตารางที่ 4.29 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบันภายหลังใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับและแนวตั้ง

มุมมอง	ทิศทางที่ใส่แรงกระทำ	
	แนวระดับ	แนวตั้ง
0	17.42	14.53
15	21.79	14.08
30	25.91	18.40
45	28.62	23.69
60	30.23	27.37
75	29.85	29.19
90	29.01	29.01
105	31.05	27.32
120	31.13	23.91
135	29.45	18.87
150	26.50	13.00
165	22.17	14.04
180	17.42	14.53

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์เมื่อนำไปแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับมุมมองที่เปลี่ยนไป ขณะได้รับแรงกระทำในแนวระดับและแนวตั้งในรูปแบบกราฟเชิงเส้นจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.69 และรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.69 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบัน โดยการจำลอง ใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ



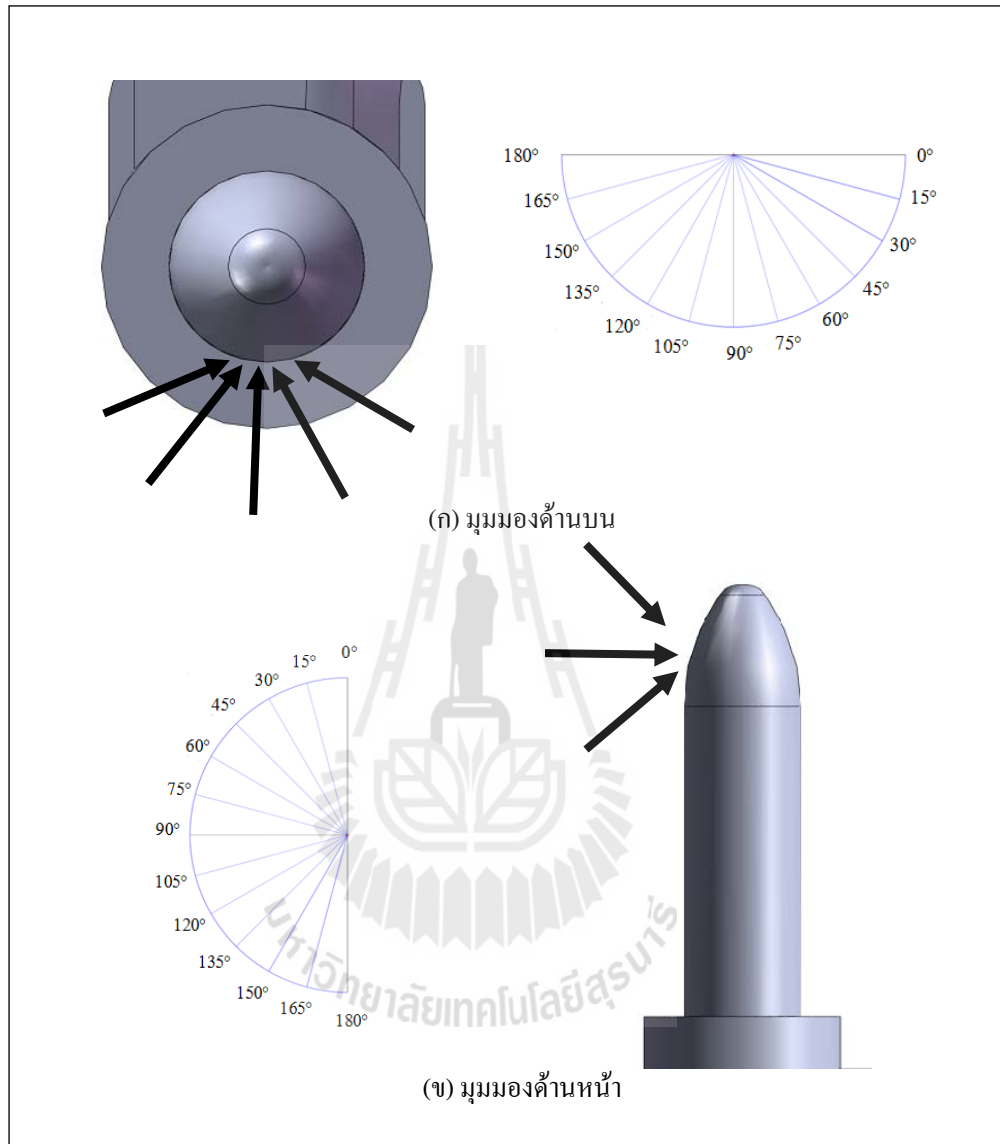
รูปที่ 4.70 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบปัจจุบัน โดยการจำลอง ใส่แรงกระทำในแนวตั้งที่มุมองศาต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.69 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานเมื่อได้รับแรงกระทำในแนวระดับจะพบว่า เมื่อมุมองศาเพิ่มขึ้น ชิ้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นเพิ่มขึ้นเกือบคงที่ จนกระทั่งมุมองศาเท่ากับ 130 องศา ชิ้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นลดลง จากกราฟแสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อใส่แรงกระทำในแนวระดับกับชิ้นงานที่มีความสมมาตรค่าความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งด้านซ้ายและด้านขวามีค่าเท่ากัน

สำหรับชิ้นงานที่ได้รับแรงกระทำในแนวตั้งในรูปที่ 4.70 นั้นจะพบว่า หากได้รับแรงกระทำระหว่างมุม 0-90 องศา จะเป็นลักษณะแรงกระทำแบบแรงกดอัด (Compression) โดยเมื่อมุมองศาเพิ่มขึ้น ชิ้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมุม 90 องศาซึ่งเป็นแรงกระทำที่ตั้งฉากกับชิ้นงานชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุด หลังจากนั้นเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำระหว่างมุม 90-180 องศา ซึ่งเป็นลักษณะแรงกระทำแบบแรงดึง (Tension) เมื่อมุมองศาเพิ่มขึ้น ชิ้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นลดลง

ในการออกแบบปรับปรุง Pin เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานนั้นได้ออกแบบทั้งหมด 6 แบบแล้วพบว่า ชิ้นงานแบบที่ 5 และ 6 ที่เป็นการเพิ่มเนื้อ Pin ให้เต็มทั้งชิ้นนั้นสามารถลดค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงได้นำชิ้นงาน Pin ทั้ง 2 แบบนี้มาพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นในแนวระดับและแนวตั้งเปรียบเทียบกับชิ้นงานปัจจุบัน โดยจำลองการใส่แรงขนาด 1 N แล้วศึกษาผลการกระจายตัวของความเค้น

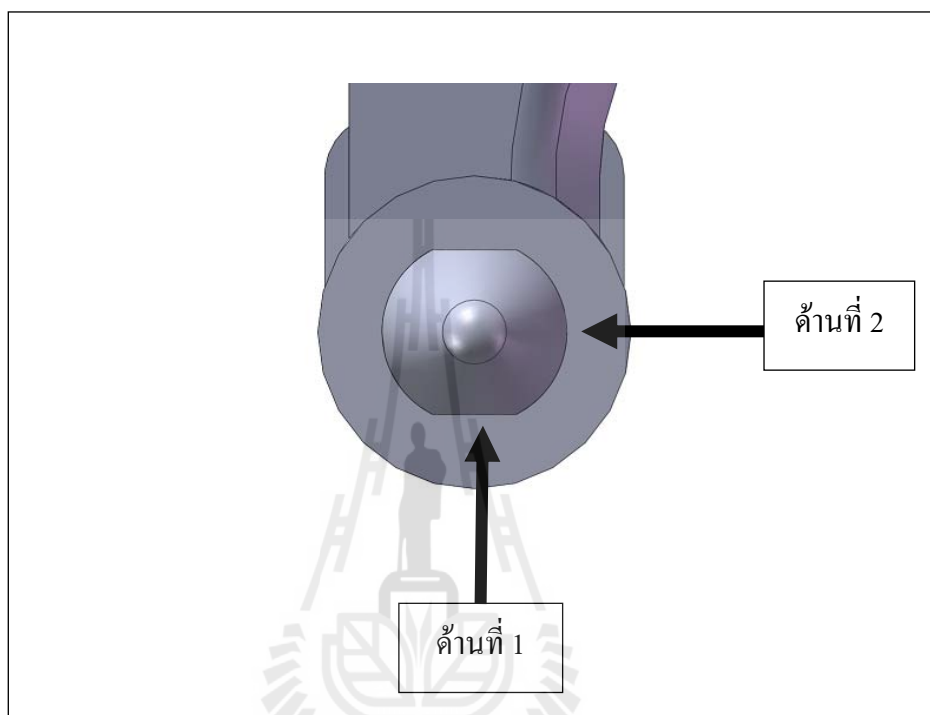
- การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin แบบที่ 5



รูปที่ 4.71 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5

- การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin แบบที่ 6

ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแบบที่ 6 เนื่องจากหน้าตัดของชิ้นงานมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 4.72 ดังนั้นการพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin แบบที่ 6 จึงพิจารณา 2 ด้าน ดังนี้



รูปที่ 4.72 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 6

ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการจำลอง Pin แบบที่ 5 และ 6 เมื่อใส่แรงขนาด 1 N กระทำในแนวระดับและแนวตั้งที่ได้ปรับมุมมองต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.30-4.31 เป็นดังนี้

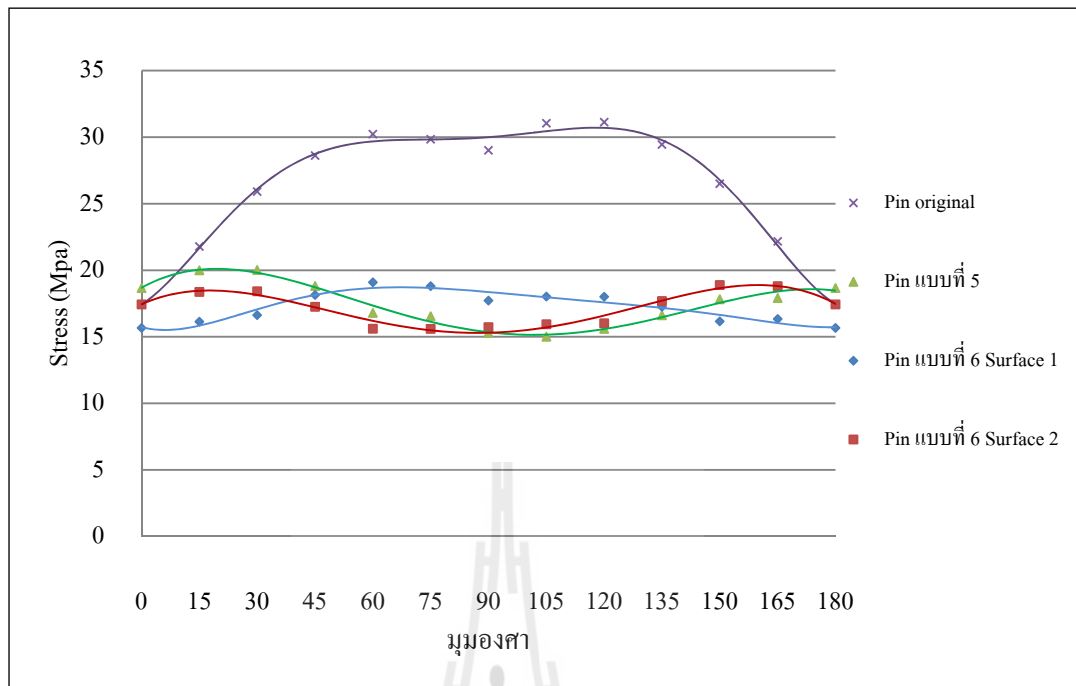
ตารางที่ 4.30 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 ภายหลังจากใส่โหลด
กระทำกับชิ้นงานในแนวระดับ

มุมมอง	Pin แบบที่ 5	Pin แบบที่ 6	
		ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
0	18.66	15.67	17.44
15	20.00	16.14	18.37
30	20.02	16.63	18.42
45	18.82	18.14	17.26
60	16.80	19.09	15.61
75	16.55	18.81	15.60
90	15.30	17.72	15.73
105	15.01	18.02	15.94
120	15.60	18.01	16.02
135	16.62	17.25	17.69
150	17.82	16.16	18.89
165	17.91	16.34	18.81
180	18.66	15.67	17.44

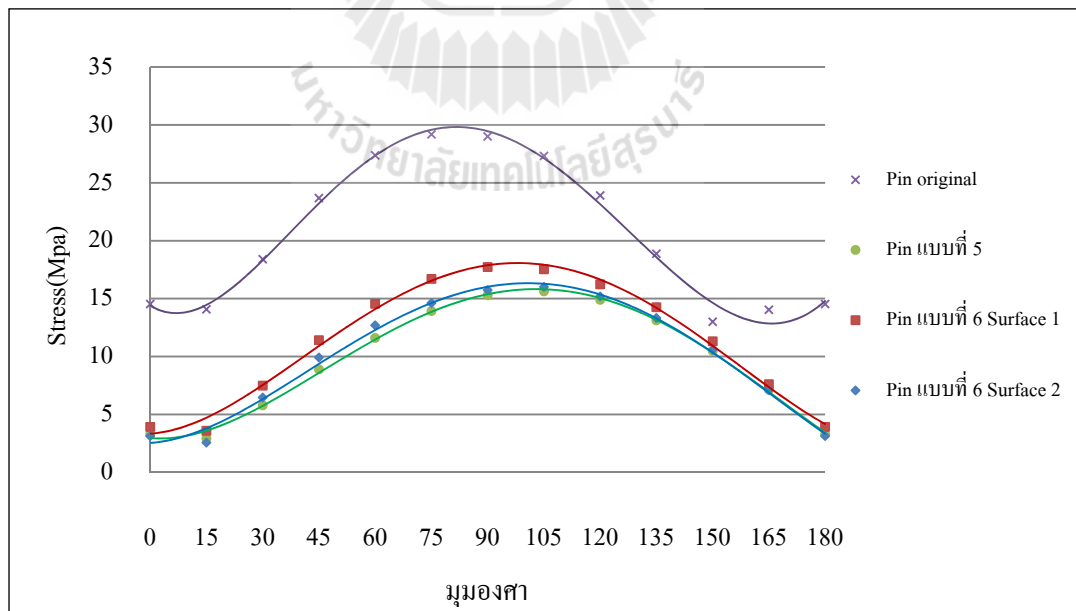
ตารางที่ 4.31 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 ภายหลังจากใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวดิ่ง

มุมมองเสา	Pin แบบที่ 5	Pin แบบที่ 6	
		ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
0	3.28	3.92	3.13
15	2.93	3.59	2.56
30	5.79	7.49	6.46
45	8.89	11.41	9.91
60	11.61	14.55	12.70
75	13.93	16.71	14.62
90	15.30	17.72	15.73
105	15.63	17.53	16.01
120	14.89	16.24	15.19
135	13.13	14.26	13.33
150	10.49	11.32	10.58
165	7.13	7.61	7.10
180	3.28	3.92	3.13

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานแบบที่ 5 และ 6 เมื่อนำไปแสดงผลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับมุมมองเสาที่เปลี่ยนไปขณะได้รับแรงกระทำในแนวระดับและแนวดิ่งจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.73 และรูปที่ 4.74



รูปที่ 4.73 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 โดยการจำลอง ใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ



รูปที่ 4.74 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Pin แบบที่ 5 และ 6 โดยการจำลอง ใส่แรงกระทำในแนวระดิ่งที่มุมองศาต่าง ๆ

จากการจำลองใส่โหลดกระทำกับ Pin แบบปัจจุบัน แบบที่ 5 และแบบที่ 6 ในแนวระดับจะพบว่า Pin แบบที่ 5 และ 6 จะเกิดค่าความเค้นน้อยกว่า Pin แบบปัจจุบัน โดย Pin ที่ได้ปรับปรุงทั้ง 2 แบบนั้นจะมีแนวโน้มการเกิดค่าค่าความเค้นสูงสุดที่กระทำต่อชิ้นงานมุมมองต่าง ๆ แตกต่างจาก Pin แบบปัจจุบันอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า Pin แบบที่ 6 ซึ่งได้รับแรงกระทำในด้านที่มีผิวโค้ง (ด้านที่ 2) จะมีแนวโน้มการเกิดค่าความเค้นสูงสุดเหมือนกับ Pin แบบที่ 5

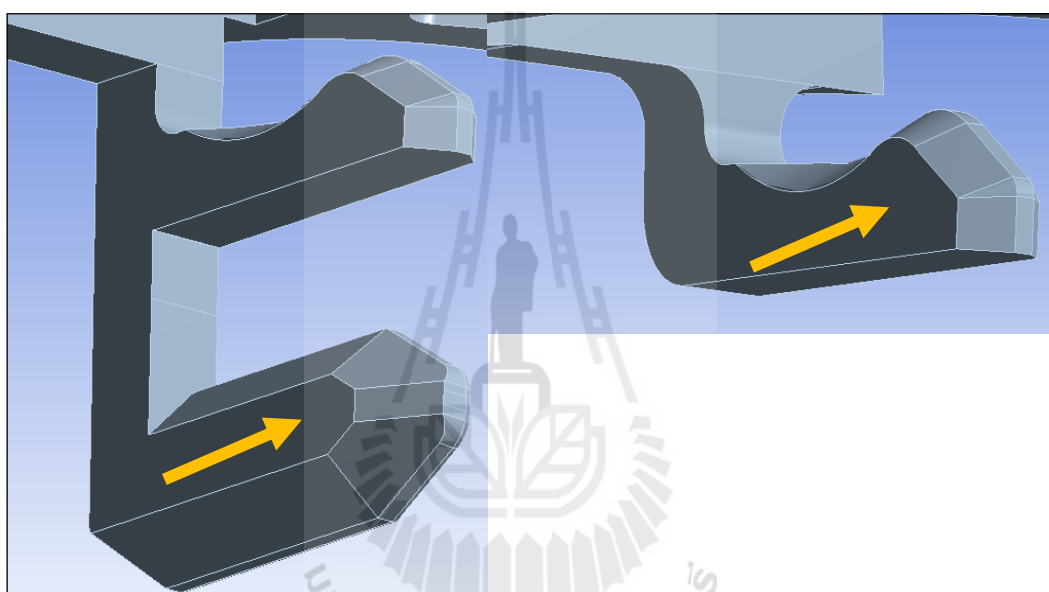
สำหรับการจำลองใส่โหลดกระทำกับ Pin แบบปัจจุบัน แบบที่ 5 และแบบที่ 6 ในแนวตั้งจะพบว่า เมื่อมุมมองเพิ่มขึ้น ชิ้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นเพิ่มขึ้นด้วยทุกแบบ จนกระทั่งมุม 90 องศาซึ่งเป็นแรงกระทำที่ตั้งฉากกับชิ้นงานชิ้นงานจะเกิดค่าความเค้นสูงสุด โดย Pin แบบที่ 5 และ 6 จะเกิดค่าความเค้นน้อยกว่า Pin แบบปัจจุบัน และพบว่า Pin แบบที่ 6 ซึ่งได้รับแรงกระทำในด้านที่มีผิวโค้ง (ด้านที่ 2) จะมีค่าความเค้นสูงสุดใกล้เคียงกับ Pin แบบที่ 5

จากกราฟแสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากการจำลองใส่โหลดกระทำกับ Pin แบบปัจจุบัน แบบที่ 5 และแบบที่ 6 ทั้ง 2 ทิศทางจะพบว่า เมื่อใส่แรงกระทำชิ้นงานที่มีความสมมาตร ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งด้านซ้ายและด้านขวาจึงมีค่าเท่ากัน



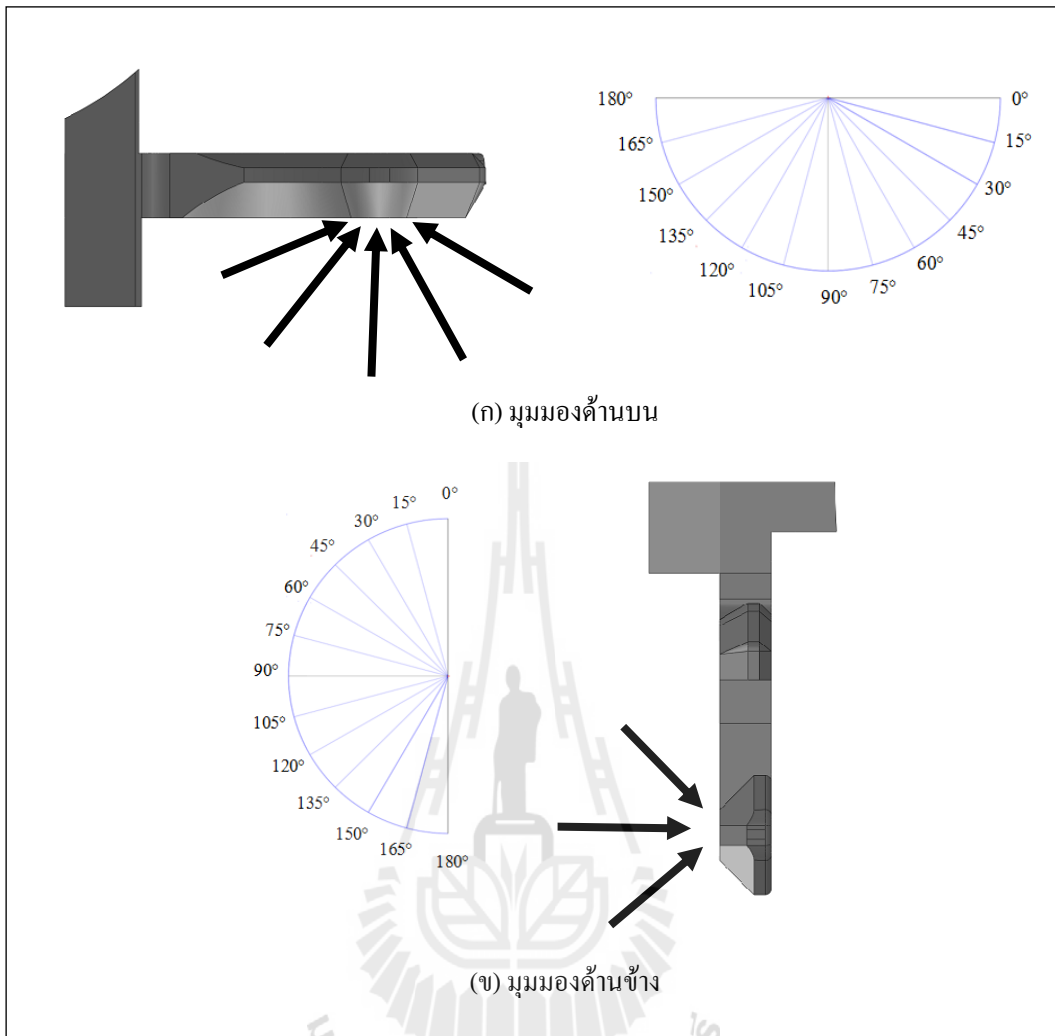
4.4.2 การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Latch

จากการออกแบบปรับปรุงชิ้นส่วน Latch ทั้ง 6 แบบจะพบว่า ชิ้นงานแบบที่ 3-6 ที่ลดจากการใช้ Latch จำนวน 2 ชิ้นที่เหลือ Latch แต่ซึ่งเดียวสามารถลดค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการพิจารณาชิ้นงานในส่วนนี้จะพิจารณาชิ้นงานแบบที่ 6 เท่านั้น แล้วนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานปัจจุบัน โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นภายหลังจากใส่แรงกระทำในแนวระดับและแนวตั้งบริเวณตรงปลายของซี่ Latch ซึ่งเป็นตำแหน่งชิ้นงานมีโอกาสได้รับความเสียหายมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.74

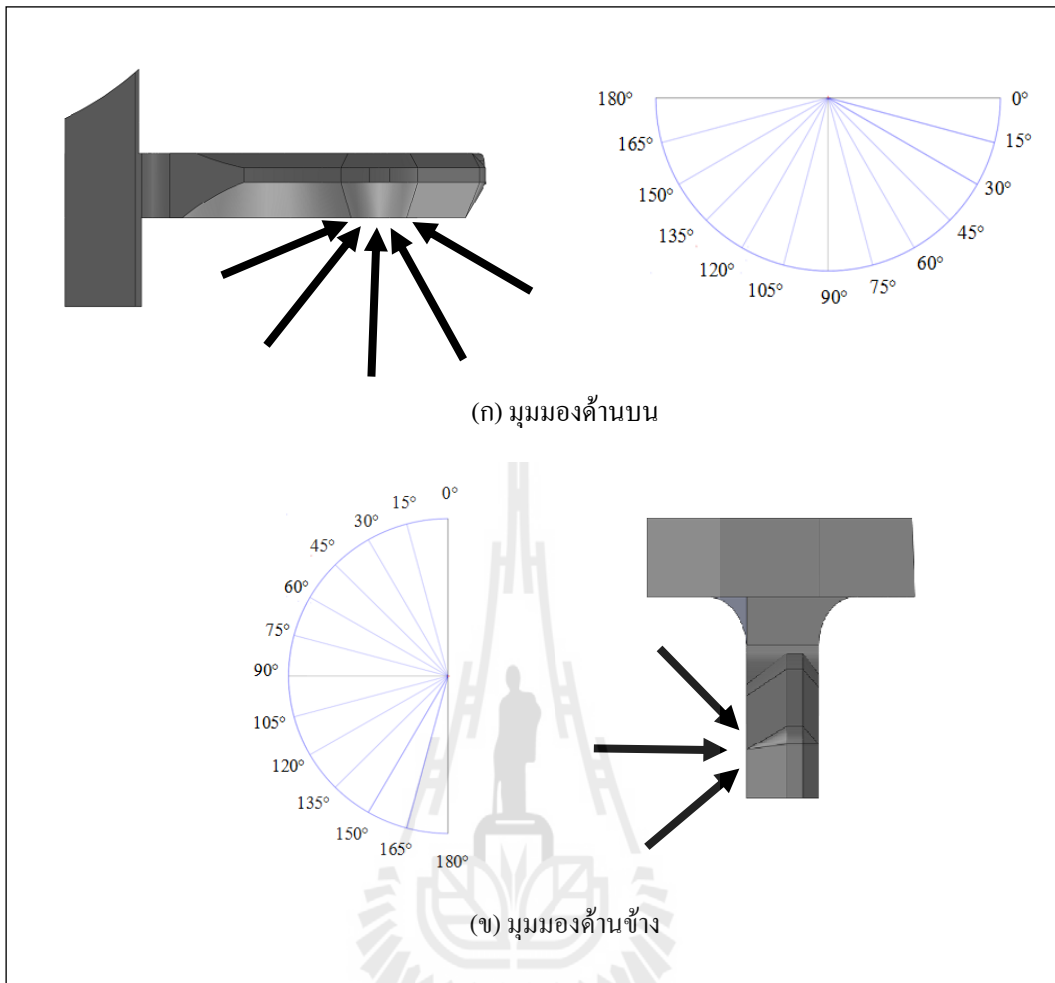


รูปที่ 4.75 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้น
กับ Latch แบบปัจจุบันและ Latch แบบที่ 6

ในการวิเคราะห์ได้จำลองใส่แรงขนาด 1 N กระทำกับ Latch ทั้ง 2 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.76 และ 4.77 แล้วศึกษาผลการกระจายตัวของความเค้น



รูปที่ 4.76 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบัน



รูปที่ 4.77 แสดงทิศทางที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบที่ 6

ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการจำลอง Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 เมื่อใส่แรงขนาด 1 N กระทำในแนวระดับและแนวตั้ง ที่ได้รับมุมมองต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.32-4.33 เป็นดังนี้

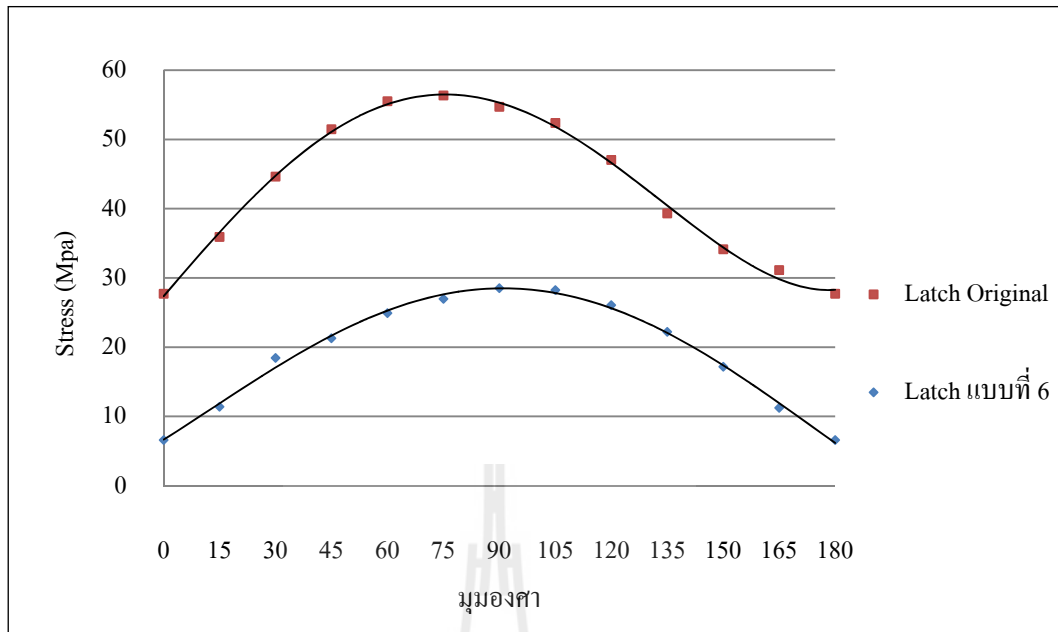
ตารางที่ 4.32 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 ภายหลังใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับ

มุมมอง	Latch แบบปัจจุบัน	Latch แบบที่ 6
0	27.72	6.60
15	35.91	11.41
30	44.64	18.44
45	51.46	21.28
60	55.51	24.91
75	56.35	26.97
90	54.70	28.52
105	52.37	28.25
120	47.04	26.08
135	39.32	22.22
150	34.13	17.19
165	31.13	11.23
180	27.72	6.60

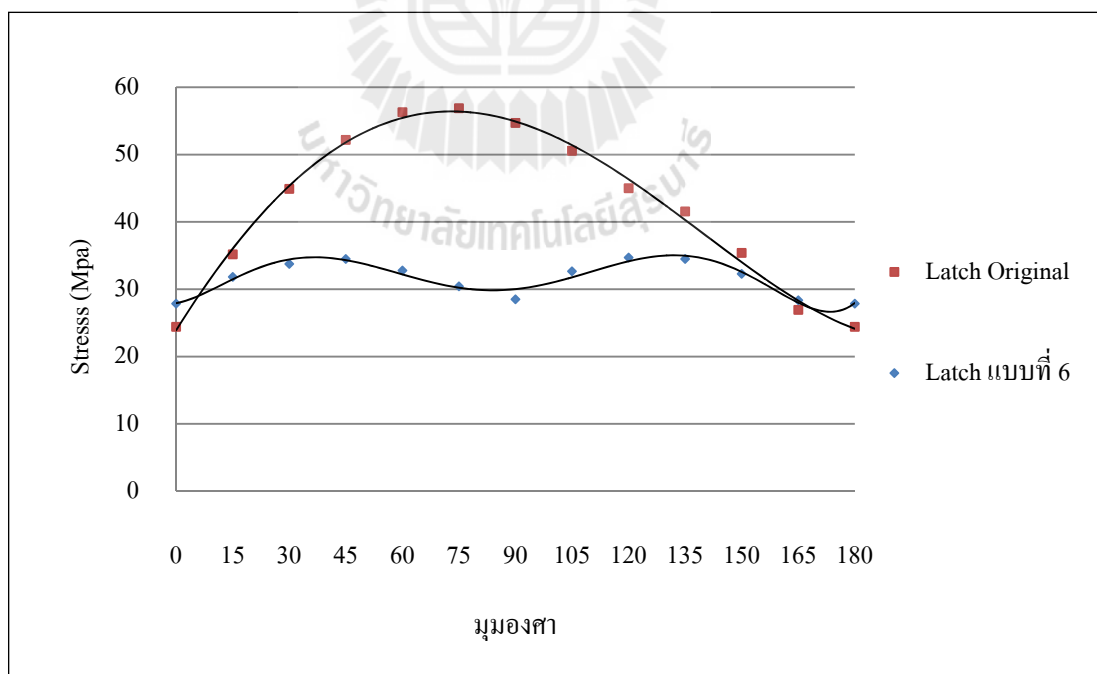
ตารางที่ 4.33 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6
 ภายหลังใส่โพลดกระทำกับชิ้นงานในแนวดิ่ง

มุมมอง	Latch แบบปัจจุบัน	Latch แบบที่ 6
0	24.42	27.88
15	35.20	31.85
30	44.91	33.77
45	52.19	34.51
60	56.31	32.78
75	56.90	30.43
90	54.70	28.52
105	50.56	32.66
120	45.00	34.72
135	41.57	34.51
150	35.40	32.28
165	26.94	28.37
180	24.42	27.88

จากค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 ทั้ง 2 ทิศทาง โดยกำหนดให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปไปที่ละ 15 องศาจากแนวเดิม เมื่อนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับมุมมองที่เปลี่ยนไปจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.78 และรูปที่ 4.79



รูปที่ 4.78 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ



รูปที่ 4.79 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 โดยการจำลองใส่แรงกระทำในแนวตั้งที่มุมองศาต่าง ๆ

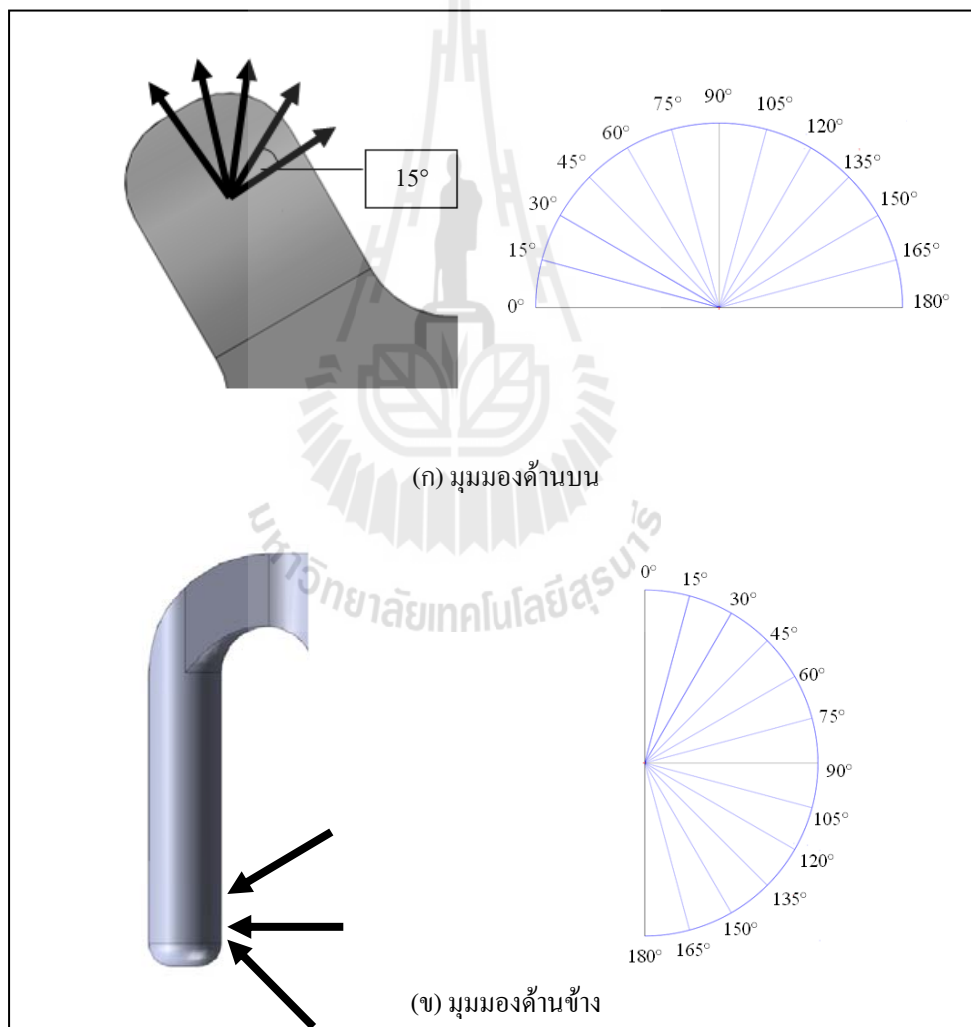
จากการจำลองใส่โหนดกระทำกับ Latch แบบปัจจุบันและแบบที่ 6 ในแนวระดับ จะพบว่า เมื่อมุมมองเสาเพิ่มขึ้น ชี้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นเพิ่มขึ้น โดย Latch แบบที่ 6 จะเกิดค่าความเค้นน้อยสูงสุดที่มุม 90 องศา ส่วน Latch แบบปัจจุบัน 6 จะเกิดค่าความเค้นน้อยสูงสุดที่มุม 75 องศา หลังจากนั้นเมื่อมุมมองเสาเพิ่มขึ้น ชี้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นลดลง

สำหรับจากการจำลองใส่โหนดกระทำกับ Latch ในแนวตั้งจะพบว่า ชี้นงานแบบปัจจุบันและมีแนวโน้มในการเกิดค่าความเค้นสูงสุดเหมือนกับการจำลองในแนวระดับ แต่ Latch แบบที่ 6 นั้นค่าความเค้นสูงสุดจะเกิดขึ้น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเมื่อมุมมองเสามากขึ้นค่าความเค้นก็จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมุม 45 องศาจะเกิดค่าความเค้นสูงสุด หลังจากนั้นค่าความเค้นก็จะลดลงจนกระทั่งมุม 90 องศา ค่าความเค้นก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งและจะมีค่าสูงสุดที่มุม 135 องศา แต่อย่างไรก็ตามค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดกับ Latch แบบที่ 6 ยังคงมีค่าน้อยกว่าแบบปัจจุบัน



4.4.3. การพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นส่วน Z-Latch

จากการออกแบบปรับปรุงชิ้นส่วน Z-Latch โดยปรับปรุงรัศมีความโค้งด้านในและส่วนโค้งด้านนอกจะพบว่า การปรับรัศมีความโค้งด้านนอกเท่ากับ 0.6 mm. จะทำให้ชิ้นงานเกิดค่าความเค้นต่ำที่สุด แต่การปรับรัศมีความโค้งด้านในจะทำให้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานมีค่ามากกว่าเดิม ดังนั้นการพิจารณาชิ้นส่วน Z-Latch นี้จึงศึกษาเฉพาะการปรับรัศมีความโค้งด้านนอกเท่ากับ 0.6 mm. เท่านั้น โดยจำลองการใส่แรงขนาด 1 N กระทำกับชิ้นงาน Z-Latch 2 ด้าน ดังแสดงในรูปที่ 4.80 แล้วศึกษาผลการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานแล้วนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานแบบปัจจุบัน



รูปที่ 4.80 แสดงตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Z-latch

ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการจำลอง Z-Latch เมื่อใส่แรงกระทำในแนวระดับและแนวตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.34-3.35 เป็นดังนี้

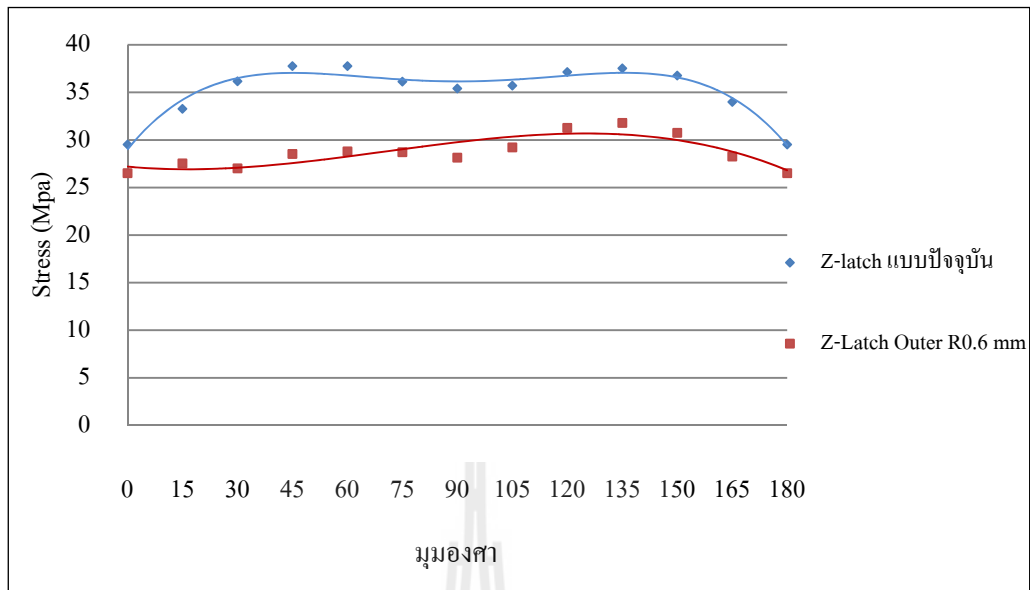
ตารางที่ 4.34 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latch ภายหลังจากใส่โหลดกระทำกับชิ้นงานในแนวระดับ

มุมมอง	Z-Latch แบบปัจจุบัน	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง ด้านนอก 0.6 mm.
0	29.52	26.51
15	33.27	27.54
30	36.16	27.02
45	37.76	28.52
60	37.76	28.79
75	36.14	28.72
90	35.41	28.14
105	35.71	29.22
120	37.15	31.27
135	37.53	31.79
150	36.77	30.75
165	34.00	28.26
180	29.52	26.51

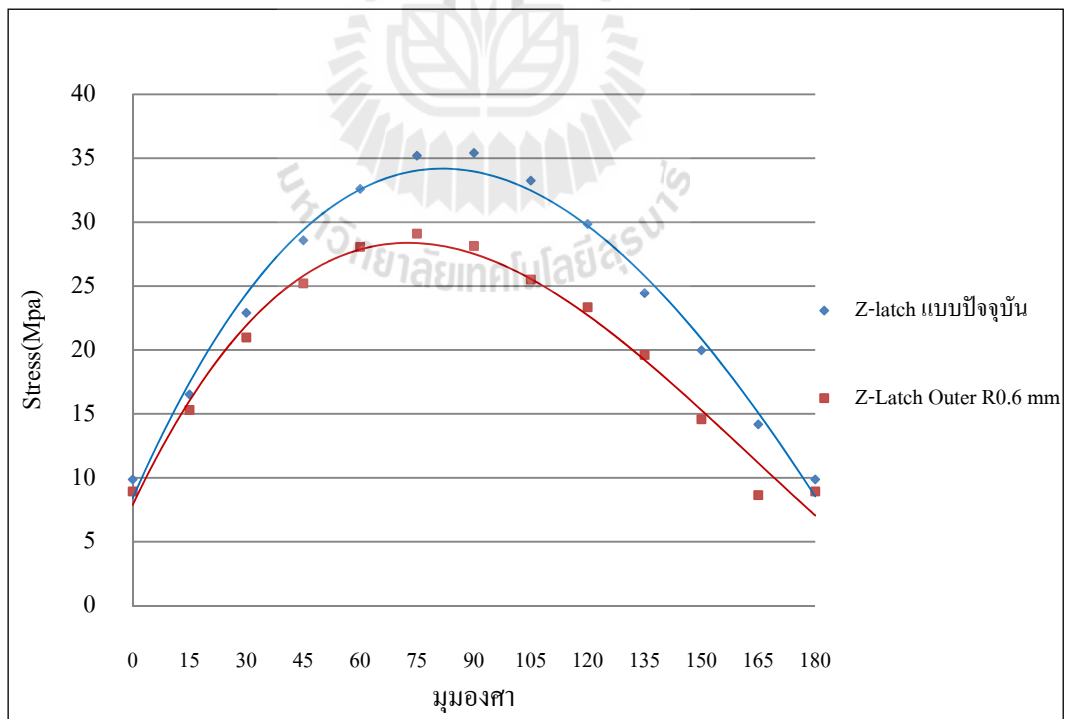
ตารางที่ 4.35 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latch ภายหลังใส่โหลด
กระทำกับชิ้นงานในแนวตั้ง

มุมมอง	Z-Latch แบบปัจจุบัน	เพิ่มรัศมีส่วนโค้ง ด้านนอก 0.6 mm.
0	9.87	8.92
15	16.51	15.30
30	22.90	20.97
45	28.58	25.21
60	32.59	28.06
75	35.20	29.10
90	35.41	28.14
105	33.24	25.51
120	29.85	23.34
135	24.44	19.61
150	19.97	14.57
165	14.17	8.63
180	9.87	8.92

จากค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latch แบบปัจจุบันและแบบเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง
ด้านนอก 0.6 mm. โดยกำหนดให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปไปที่ละ 15 องศาจากแนวเดิม เมื่อนำไป
เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับมุมมองที่เปลี่ยนไปจะได้ ดังแสดง
ในรูปที่ 4.81 และรูปที่ 4.82



รูปที่ 4.81 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latch โดยการจำลอง
ใส่แรงกระทำในแนวระดับที่มุมองศาต่าง ๆ



รูปที่ 4.82 แสดงค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ Z-Latch โดยการจำลอง
ใส่แรงกระทำในแนวตั้งที่มุมองศาต่าง ๆ

จากการจำลองใส่โหลดกระทำกับ Z-Latch แบบปัจจุบันและแบบเพิ่มรัศมีส่วนโค้ง ด้านนอก 0.6 mm. ในแนวระดับจะพบว่า เมื่อมุมมองเสาเพิ่มมากขึ้น ค่าความเค้นสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเกือบคงที่ ซึ่งชิ้นงานที่เพิ่มรัศมีส่วน โค้งด้านนอก 0.6 mm. จะเกิดค่าความเค้นน้อยกว่าแบบปัจจุบันเล็กน้อย

สำหรับการจำลองใส่โหลดกระทำกับ Z-Latch ในแนวตั้งจะพบว่า เมื่อมุมมองเสาเพิ่มขึ้น ชิ้นงานก็จะเกิดค่าความเค้นเพิ่มขึ้นด้วยทั้ง 2 แบบ โดยชิ้นงานแบบปัจจุบันจะเกิดความเค้นสูงสุดที่มุม 90 องศาซึ่งเป็นแรงกระทำที่ตั้งฉากกับชิ้นงาน ส่วนแบบชิ้นงานที่ออกแบบใหม่จะเกิด ความเค้นสูงสุดที่มุม 45 องศาหลังจากนั้นค่าความเค้นก็จะลดลง



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความเสียหายทางกลที่เกิดขึ้นกับ Shipping Comb โมเดล Moose ของ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด และปรับปรุงโมเดลเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้มากขึ้น โดยต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานจริง ซึ่งสิ่งที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาลักษณะการใช้งานและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Shipping Comb

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ Shipping Comb โมเดล Moose ที่ใช้กับชุดหัวอ่านจำนวน 8 หัวอ่านและกระบวนการผลิต HSA จะพบว่าชิ้นงานโมเดลนี้จะนำมาสวมเข้ากับชุดหัวอ่านเพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หัวอ่านเขียนข้อมูลเกิดการสัมผัสและกระทบกระเทือนกันตั้งแต่กระบวนการผลิต กระบวนการการขนส่ง ตลอดจนถึงกระบวนการนำชุดหัวอ่านไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้แรง 2-4 นิวตันในการสวมและถอด หากใช้งาน Shipping Comb จำนวนหลายครั้งจะทำให้แรงที่ใช้มีแนวโน้มลดลง ชิ้นส่วนของ Shipping Comb ที่ใช้ในการจับยึด คือ Pin Latch และ Z-Latch โดยมีหน้าที่ในการจับยึดแตกต่างกันไปเมื่อนำชิ้นงานไปศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งจับยึดกับแรงจะพบว่า Latch จะมีความสำคัญมากกว่าตำแหน่งอื่น เพราะเป็นตัวกำหนดค่าแรงที่ใช้งาน ดังนั้นหากชิ้นส่วนบริเวณนี้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปก็จะไม่สามารถนำ Shipping Comb มาใช้งานได้

จากการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Shipping Comb โมเดล Moose ที่ใช้กับชุดประกอบหัวอ่าน 8 หัวอ่าน ในกระบวนการผลิต HSA พบว่าชิ้นงานเกิดความเสียหาย 3 ตำแหน่งหลัก ๆ โดยมีลักษณะการเสียหายจะมีทั้งการหักและงอ ดังนี้

- 1) Pin คิดเป็น 53.44 เปอร์เซ็นต์ จากความเสียหายทั้งหมด
- 2) Latch คิดเป็น 26.72 เปอร์เซ็นต์ จากความเสียหายทั้งหมด
- 3) Z-Latch คิดเป็น 19.84 เปอร์เซ็นต์ จากความเสียหายทั้งหมด

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และผลทดสอบ Shipping Comb

จากความเสียหายดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้ทำการจำลองความเสียหายด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 12.0 และทำการออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์เพื่อทดสอบให้ Shipping Comb เสียหารูปในแบบต่าง ๆ เพื่อหาสาเหตุการเสียหายที่แท้จริงของชิ้นงาน ผลที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบและการจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ของ Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ทิศทาง	แรงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ (N)	ผลที่ได้จากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (N)	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
1	Pin (หัก)	-y	10.8848	10.9537	0.6330
2	Pin (หัก)	+y	10.7046	10.932	2.1243
3	Pin (งอ)	-y	2.2218	1.8792	15.4299
4	Pin (งอ)	+y	2.1328	1.8968	11.0653
5	Latch	-y	5.3880	5.2817	1.9729
6	Latch	+y	4.1194	4.0224	2.3547
7	Z-Latch	+y	2.3143	2.2234	3.9277
8	Z-Latch	-y	2.3163	2.2234	4.0107
9	Z-Latch	+x	1.7937	1.7716	1.2321

จากการเปรียบเทียบผลทดสอบและผลการจำลองการเสียหายด้วยโปรแกรม Ansys Workbench 12.0 จะเห็นได้ว่าได้ผลใกล้เคียงกัน การเปรียบเทียบผลที่ได้เป็นการแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของโปรแกรมจำลองความเสียหายโดยการศึกษาการกระจายตัวของค่าความเค้น ดังนั้นโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์นี้สามารถนำไปจำลองการเสียหายของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อื่น ๆ และมีค่าความถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้

5.1.3 ผลการออกแบบปรับปรุง Shipping Comb

จากการวิเคราะห์การเสียหายของชิ้นงานด้วยการทดสอบและการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการศึกษาการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ทั้ง 3 ตำแหน่งจะพบว่า ลักษณะรูปร่างมีผลต่ออายุการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข Shipping Comb ทั้ง 3 ตำแหน่ง เพื่อให้ทาง บริษัทซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย ได้เป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงหรือเปลี่ยนไปใช้รูปร่างชิ้นงานแบบใหม่ต่อไป โดยผลการซึ่งทางซีเกทได้ยอมรับและคัดเลือกแบบเพื่อนำไปแก้ไขปรับปรุงชิ้นงานใหม่แล้ว จำนวน 2 แบบดังนี้

1) การแก้ไขปรับปรุงตำแหน่ง Pin

ทางซีเกทได้เลือกการแก้ไขปรับปรุง Pin แบบที่ 5 ที่เป็นการเพิ่มเนื้อชิ้นงานให้เต็ม เพราะลดโอกาสความเสียหายที่เกิดจากการงอได้มากกว่าชิ้นงานแบบปัจจุบัน การเพิ่มเนื้อให้เต็มทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรงที่มากกระทำได้มากขึ้นและเกิดค่าความเค้นน้อยกว่าชิ้นงานแบบอื่นด้วย

2) การแก้ไขปรับปรุงตำแหน่ง Latch

การปรับปรุงชิ้นงานในตำแหน่งนี้จะเปลี่ยนจากการใช้ Latch 2 ซี่ ให้เหลือซี่เดียวและเพิ่มหน้าตัดให้เท่ากันทั้ง 2 ด้าน ทางซีเกทได้เลือกการแก้ไขปรับปรุง Latch แบบที่ 6 ที่เพิ่มการ Fillet ที่ฐานของชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน

3) การแก้ไขปรับปรุงตำแหน่ง Z-Latch

จากการปรับปรุงชิ้นงานในตำแหน่งนี้พบว่า การเพิ่มรัศมีส่วนโค้งทั้งด้านในและด้านนอกของ Z-Latch จะพบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากทำการเพิ่มเนื้อบริเวณโค้งให้มากขึ้นก็จะไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งาน ดังนั้น Z-Latch แบบปัจจุบันทางซีเกทเห็นว่าเป็นขนาดที่เหมาะสมแล้ว ดังนั้นทางซีเกทจึงจะเป็นปรับปรุงออกแบบลักษณะการใช้งานใหม่แทน

5.1.4 การพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นงานที่ได้ออกแบบปรับปรุง (เพิ่มเติม)

จากการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin Latch และ Z-Latch ได้ทำการพิจารณาแรงที่มากกระทำตั้งจากกับผิวของชิ้นงาน (Normal Load) เท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ชิ้นงานอาจได้รับแรงกระทำได้หลายทิศทางและทำให้เกิดค่าความเค้นในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพิจารณาแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนทั้ง 3 ในแนวระดับและแนวตั้ง ได้ผลดังนี้

- การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Pin

เมื่อใส่แรงกระทำตั้งจากกับผิวบริเวณตรงปลาย Pin จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นเฉือน (Shear Stress) และ โมเมนต์ (Moment) เมื่อทำการเปลี่ยนมุมมององศาในแนวระดับจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นแรงบิด (Torque) เพิ่มเข้ามาด้วย แต่หากเปลี่ยนมุมมององศาในแนวตั้ง 0-90 องศา

จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นกด (Compression) สำหรับมุม 90-180 องศา จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นดึง (Tension) เพิ่มขึ้นด้วย จากการพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Pin เมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางและมุมมองเสาต่าง ๆ จะพบว่าหากชิ้นงานได้รับแรงกระทำตั้งฉากกับหน้าตัดของชิ้นงานจะทำให้เกิดค่าความเค้นสูงสุด

- การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Latch

เมื่อใส่แรงกระทำตั้งฉากกับ Latch บริเวณตรงปลาย จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นเฉือนและโมเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุมมองเสาในแนวระดับจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นดึง โมเมนต์และความเค้นแรงบิดด้วย แต่หากเปลี่ยนมุมมองเสาในแนวตั้งจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นเฉือนและโมเมนต์

- การพิจารณาแรงที่กระทำกับ Z-Latch

เมื่อใส่แรงกระทำตั้งฉากกับ Z-Latch จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นเฉือนและโมเมนต์ เมื่อเปลี่ยนมุมมองเสาในแนวระดับจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นแรงบิดด้วย แต่หากเปลี่ยนมุมมองเสาในแนวตั้งจะทำให้ชิ้นงานเกิดความเค้นดึงและโมเมนต์

จากการพิจารณาใส่แรงกระทำต่อชิ้นงานทั้ง 3 ในแนวระดับและแนวตั้งจะพบว่าเมื่อใส่แรงกระทำตั้งฉากกับชิ้นงานจะทำให้เกิดค่าความเค้นสูงสุด เมื่อแรงกระทำเปลี่ยนไปค่าความเค้นที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงเช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากการศึกษาปัญหาในครั้งนี้เป็นการศึกษาปัญหาภายใต้แรงกระทำแบบ Single Load เท่านั้น แต่ลักษณะการเสียหายของ Shipping Comb ที่เกิดขึ้นจริง ๆ จะเป็นการได้รับแรงกระทำแบบ Combine Load ดังนั้นชิ้นงานที่นำไปทดสอบจึงมีลักษณะการเสียหายที่แตกต่างจากชิ้นงานจริง ดังนั้นงานวิจัยในครั้งต่อไปการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานจะต้องพิจารณาแรงที่มากกระทำแบบ Combine Load ให้ละเอียดยิ่งกว่านี้

2) อุปกรณ์จับยึดที่นำมาใช้ในการทดสอบชิ้นงานบางตำแหน่งมีการนำมาปรับปรุงให้สามารถใช้ทดสอบกับชิ้นงานอีกตำแหน่ง เพราะเนื่องด้วยระยะเวลาในการสั่งทำอุปกรณ์จับยึดใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อใช้ทดสอบควรจะออกแบบมาให้ประกอบเข้ากับ Shipping Comb ที่จะทำการทดสอบคนละชุดเพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบได้ผลถูกต้องมากที่สุด

3) การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Shipping Comb โมเดล Moose เมื่อได้รับปัจจัยทางกล โดยได้ทำการสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อนำชิ้นงานไปทดสอบหาทิศทางและค่าแรงที่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย หลังจากนั้นได้ทำการสร้างแบบจำลองความเสียหายด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันนั้นจะพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Shipping Comb โมเดลอื่นก็สามารถนำเอาวิธีการวิเคราะห์นี้ไปปรับใช้ได้

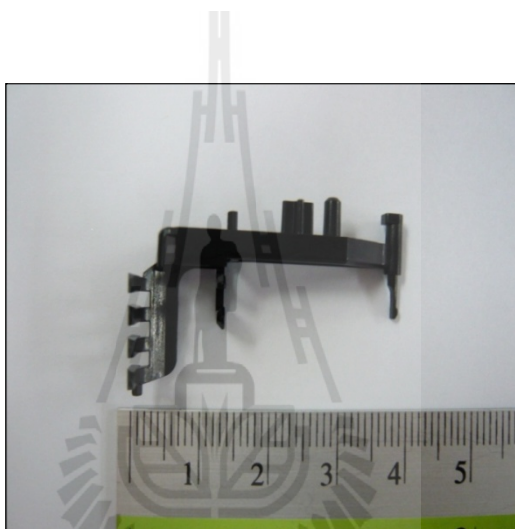
รายการอ้างอิง

- ขจรศักดิ์ ใจดี สุรเชษฐ์ ชูติมา และ ทศพร กำเนิดทอง (2553). การศึกษาพฤติกรรมชิ้นส่วน HGA ขณะถูกจับยึดด้วย Shipping comb. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 92 หน้า.
- จักรพันธ์ ปริรักษ์วิจิตร (2550). การศึกษา Static Attitude และ Gram Load Clamping Unit โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 9-26.
- ทศนพ กำเนิดทอง สุรเชษฐ์ ชูติมา และ จักรพันธ์ ปริรักษ์วิจิตร (2553). การศึกษาสภาพการเสียดรูปของ HGA ภายหลังการจับยึดโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 จังหวัดชลบุรี. หน้า 902-907.
- ปราโมทย์ เตชะอำไพ (2550). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. 294 หน้า.
- ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). การวิเคราะห์มุมมลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 71 หน้า.
- ยุทธชัย ว่องไวพินิจ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). ศึกษาและพัฒนาเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของพลาสติกถ่างหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. โครงการนมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 100 หน้า.
- รัฐภูมิ คล้ายอักษร และ สุจินต์ บุรีรัตน์ (2553). การศึกษาผลกระทบต่อชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการ Ball Swaging Process ต่อค่า Pitch Static Attitude ภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 116 หน้า.

- เรืองฤทธิ์ สารางคำ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2551). การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 112 หน้า.
- ศันสนีย์ ขุนทิพย์ทอง และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (2552). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า PSA และ RSA ของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันเนื่องมาจากค่าแรงที่ใช้จับยึดระหว่างการวัดค่าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 55 หน้า.
- Gu, B., Shu, D.W., Luo, J., and Shi, B. J. (2006). **FEA Simulation of Linear and Rotary Drop Test for Small Form Factor HDD**. International conference on Mechatronics and automation June 25-28, 2006, pp. 1264-1268.
- Monika, G., Albert, J., Shih, E., and Ronald, O. (1999). **Finite-Element Analysis of Stress Concentration in ASTM D 638 Tension Specimens**. Journal of Testing and Evaluation, Vol. 31, No. 1.
- Nasser, F., and Chenhua, L. (2008). **Optimal simple step stress accelerated life test design for reliability prediction**. Journal of Statistical Planning and Inference, pp. 1-10.
- Yusaku, F. and Dong-Wei, S. (2008). **Impact force measurement of an actuator arm of a hard disk drive**. International Journal of Impact Engineering 35 (2008), pp. 98–108.

ก.1 หวีประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Shipping Comb)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา Shipping Comb รุ่น Moose ที่ใช้กับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ขนาด 3.5 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ ก.1 Shipping Comb จะนำมาสวมเข้ากับชุดหัวอ่านเพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หัวอ่านเขียนข้อมูล (Slider) เกิดการสัมผัสและกระทบกระเทือนกันตั้งแต่กระบวนการผลิตชุดหัวอ่าน กระบวนการการขนส่ง ตลอดจนถึงกระบวนการนำชุดหัวอ่านไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ วัสดุที่นำมาใช้ทำ Shipping Comb ทำมาจากโพลีคาร์บอนเนต ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนต่อความร้อน และทนต่อแรงกระแทกสูง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นชิ้นส่วนจับยึดและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์



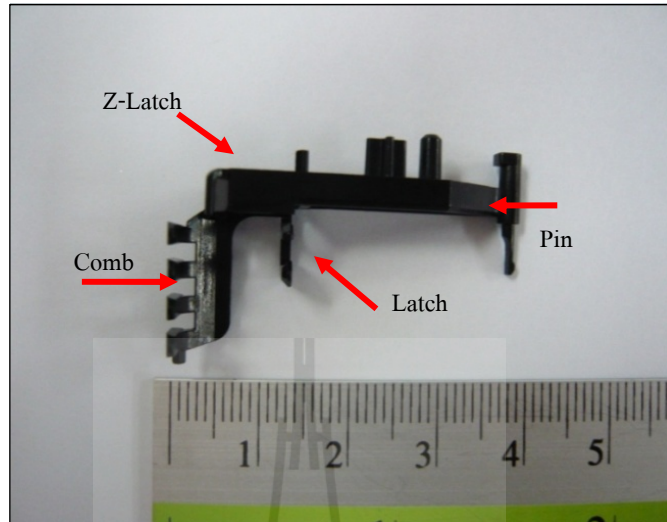
รูปที่ ก.1 แสดง Shipping Comb รุ่น Moose

ก.2 ขั้นตอนในการจับยึด Shipping Comb เข้ากับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

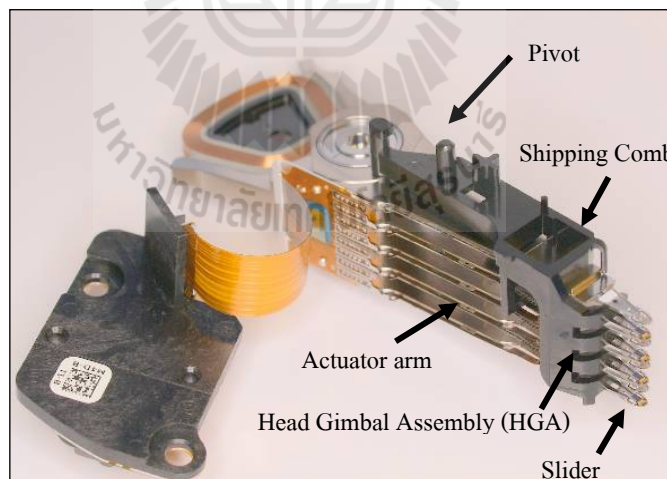
Shipping Comb รุ่น Moose ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยนี้ใช้สำหรับจับยึดชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 8 หัวอ่าน โดยขั้นตอนและตำแหน่งการจับยึด ดังแสดงในรูปที่ ก.2 และ ก.3 เป็นดังนี้

- 1) นำ Pin ใส่อเข้าไปในรูของ Actuator ตรงตำแหน่ง Pivot เพื่อทำหน้าที่เป็นจุดหมุนให้กับ Shipping Comb ในการสวมถอด
- 2) ดัน Latch เข้าไปสวมกับแขนของ Actuator ระหว่างซี่ที่ 1 และ 2 โดยผิวสัมผัสของ Latch จะถูกออกแบบมาให้สามารถสวมและถอด Shipping Comb ออกจาก Actuator ได้ด้วยแรงขนาด 1-5 ออนซ์
- 3) ซี่หัวของ Shipping Comb จะถูกสวมเข้ากับบริเวณตรงปลายของ HGA เพื่อทำหน้าที่แยกและป้องกันไม่ให้ Slider เกิดการสัมผัสกัน

4) Z-Latch จะทำหน้าที่ล็อก Shipping Comb ที่สวมอยู่ไม่ให้หลุดออกจาก Actuator



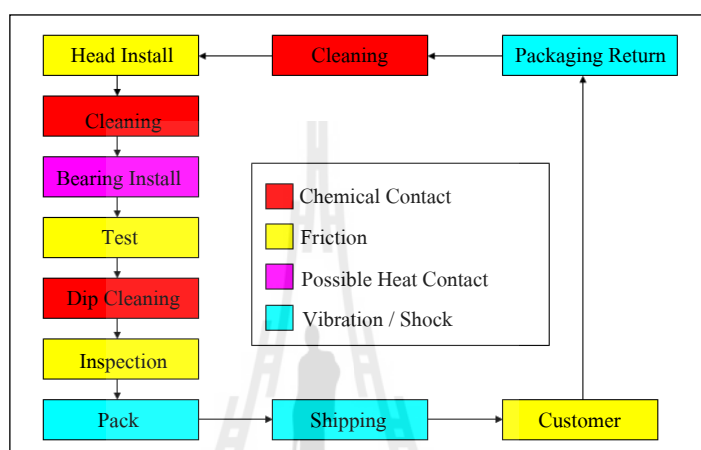
รูปที่ ก.2 แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ของ Shipping Comb ที่ใช้สำหรับการจับยึดบนชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ



รูปที่ ก.3 แสดงลักษณะการจับยึด Shipping Comb เข้ากับชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ

ก.3 กระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ

กระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟซึ่งจะมีการติดตั้ง Shipping Comb เข้ากับชุดหัวอ่านเพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ชุดหัวอ่านเขียนข้อมูลบริเวณตรงปลายเกิดการสัมผัสกัน Shipping Comb ที่นำมาใช้ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟจะมีขั้นตอนการนำไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 แสดงขั้นตอนการใช้งาน Shipping Comb ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ

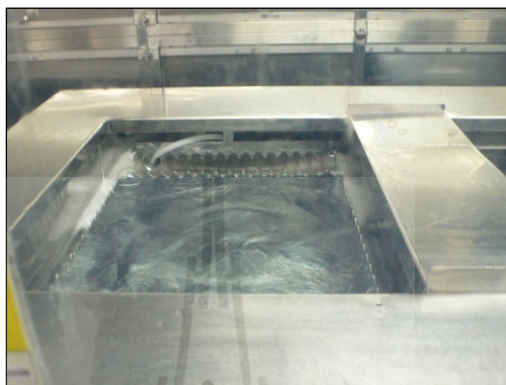
1) การล้าง (Cleaning 1)

ก่อนที่จะนำ Shipping Comb เข้ามาใช้ในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟจะต้องนำไปล้างทำความสะอาดและทำให้แห้งเสียก่อน



รูปที่ ก.5 แสดงการ Shipping Comb ที่จะนำมาล้าง

Shipping Comb จะถูกบรรจุใส่ตะแกรงจนเต็ม ดังแสดงในรูปที่ ก.5 จากนั้นถูกส่งเข้าเครื่องล้างทำความสะอาด ดังแสดงในรูปที่ ก.6 โดยผ่านการล้างในถังสารละลาย Valtron 97031 จากนั้นจะถูกฉีดด้วยน้ำ DI และนำมาเป่าด้วยลม ขั้นตอนสุดท้ายนำมาอบด้วยคลื่นอุลตราโซนิก เพื่อไล่ความชื้นที่แทรกตัวอยู่ตามซอกเล็ก ๆ ให้หมดไปจาก Shipping Comb



รูปที่ ก.6 แสดงอ่างล้างชิ้นงาน

2) Head Stall Process

ขั้นตอนนี้เป็นการนำชิ้นส่วน HGA จำนวนหลาย ๆ ชิ้นมาประกอบเข้ากับ Actuator Arm ที่วางอยู่บน Swag Shuttle Fixture แล้วถูกนำไปสู่ขั้นตอนการ Swaging ด้วยการใส่ลูกบอลยิงผ่าน HGA เพื่อให้ HGA ยึดติดกับ Actuator Arm หลังจากขั้นตอนการ Swaging เสร็จสิ้น Shipping Comb จะถูกนำมาสวมเข้ากับชุดหัวอ่านบริเวณ HGA เพื่อไม่ให้แต่ละหัวอ่านเกิดการสัมผัสกัน ดังแสดงในรูปที่ ก.7

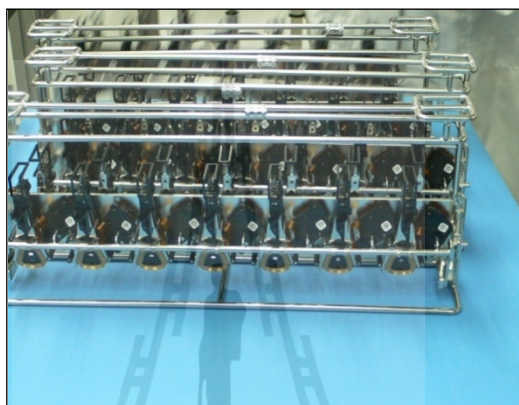


รูปที่ ก.7 แสดงการสวมหัวเข้ากับชุดหัวอ่านที่ประกอบเสร็จ

ชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่สวมกับ Shipping Comb เรียบร้อยแล้วจะนำ Head Guard มาสวมอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันปลายของ Slider เกิดการเสียหาย

3) การล้างด้วยสารเคมี (Cleaning 2)

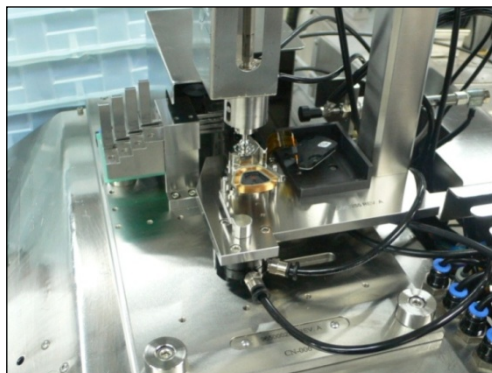
ชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ประกอบเสร็จจะถูกนำไปล้างด้วยสารละลายโดยมีการจัดเรียงชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 แสดงชุดหัวอ่านที่จะนำไปล้างด้วยสารละลาย

4) การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

ภายหลังการประกอบชุดหัวอ่าน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพการประกอบชุดหัวอ่านเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถหัวอ่านเขียนข้อมูลสามารถใช้งานได้จริงโดยขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพการประกอบจะมีการวัดค่า Gram Load ซึ่งขั้นตอนนี้ Shipping Comb จะถูกถอดออกจากชิ้นงานโดยจะมีชุด Gripper มาอ้างที่ตรงปลายของ HGA เพื่อถอด Shipping Comb ออกหลังจากนั้นชุด Load Cell จะยื่นเข้ามาทำการตรวจวัดค่า Gram Load ดังแสดงในรูปที่ ก.9



รูปที่ ก.9 แสดงการวัดค่า Gram Load

5) การบรรจุชุดหัวอ่าน (Packing)

เมื่อชุดหัวอ่านผ่านกระบวนการประกอบและตรวจสอบเรียบร้อยแล้วจะถูกนำไปบรรจุลงถาดและถูกห่อหุ้มอย่างมิดชิด เพื่อนำไปสู่กระบวนการประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.10 แสดงการบรรจุชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

6) การขนส่งผลิตภัณฑ์ (Shipping)

ชุดหัวอ่านพร้อมหัวประกอบชุดหัวอ่านจะถูกส่งไปยังลูกค้าหรือฝ่ายผลิตต่อไป หลังจากที่ยังงานถูกผลิตเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้ว Shipping Comb จะถูกส่งกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตชุดหัวอ่านอีก

ข.1 การทดสอบดึงชิ้นงานมาตรฐาน (Specimens)

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการทดสอบดึงชิ้นงานมาตรฐาน

ชิ้นงาน	Tensile Yield Stress (MPa)	Maximun Load (N)	Ultimate Tensile Stress (Mpa)	Stress at Break (Mpa)	Elongation at Break (%)
1	56.10	2,259.99	59.86	49.50	18.68
2	55.98	2,255.47	60.36	49.84	18.44
3	56.03	2,257.31	58.84	48.83	18.87
4	55.87	2,250.81	59.94	49.62	19.64
5	55.86	2,250.62	59.32	48.97	19.72
ค่าเฉลี่ย	55.97	2,254.84	59.66	49.352	19.07



ข.2 ผลการทดสอบ Pin

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Pin หัก เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง $+y$

ชั้นงาน	แรงสูงสุด (Maximum Load) ที่ทำให้ Pin หัก (N)
1	10.8552
2	10.3898
3	10.7757
4	10.9984
5	10.5039
ค่าเฉลี่ย	10.7046

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Pin หัก เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง $-y$

ชั้นงาน	แรงสูงสุด (Maximum Load) ที่ทำให้ Pin หัก (N)
1	10.4395
2	11.1280
3	11.2191
4	11.1064
5	10.6257
ค่าเฉลี่ย	10.8848

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทดสอบ Pin ให้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y

ชั้นงาน	ระยะที่ Load Cell เคลื่อนที่เกิดชั้นงาน (mm.)	แรงที่ทำให้ชั้นงานเสียรูป (N)
1	0.5331	2.2049
2	0.5330	2.3406
3	0.5331	2.2256
4	0.5331	2.1685
5	0.5330	2.1696
ค่าเฉลี่ย	0.5331	2.2218

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทดสอบ Pin ใ้งอ เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y

ชั้นงาน	ระยะที่ Load Cell เคลื่อนที่เกิดชั้นงาน (mm.)	แรงที่ทำให้ชั้นงานเสียรูป (N)
1	0.5333	2.1618
2	0.5333	2.1764
3	0.5332	2.0845
4	0.5333	2.166
5	0.5333	2.0753
ค่าเฉลี่ย	0.5333	2.1328

ข.3 ผลการทดสอบ Latch

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการทดสอบหาแรงสูงสุดที่ทำให้ Latch หัก เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y

ชั้นงาน	แรงสูงสุด (Maximum Load) ที่ทำให้ Pin หัก (N)
1	5.4400
2	5.6100
3	5.4900
4	5.1400
5	5.0600
ค่าเฉลี่ย	5.3880

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทดสอบ Pin ในห้อง เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y

ชั้นงาน	ระยะที่ Load Cell เคลื่อนที่กดชั้นงาน (mm.)	แรงที่ทำให้ชั้นงานเสียรูป (N)
1	0.5660	4.0663
2	0.5660	4.1673
3	0.5662	4.1663
4	0.5660	4.0694
5	0.5662	4.1275
ค่าเฉลี่ย	0.5661	4.1194

ข.4 ผลการทดสอบ Z- Latch

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทดสอบ Z-latch ใ้ห้อง เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง +y

ชั้นงาน	ระยะที่ Load Cell เคลื่อนที่กดชั้นงาน (mm.)	แรงที่ทำให้ชั้นงานเสียรูป (N)
1	0.3666	2.2476
2	0.3666	2.2905
3	0.3665	2.2610
4	0.3665	2.2567
5	0.3666	2.5155
ค่าเฉลี่ย	0.3665	2.3143

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการทดสอบ Z-latch ใ้ห้องเมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง -y

ชั้นงาน	ระยะที่ Load Cell เคลื่อนที่กดชั้นงาน (mm.)	แรงที่ทำให้ชั้นงานเสียรูป (N)
1	0.3664	2.3151
2	0.3666	2.3045
3	0.3666	2.2998
4	0.3664	2.2375
5	0.3666	2.4248
ค่าเฉลี่ย	0.3665	2.3163

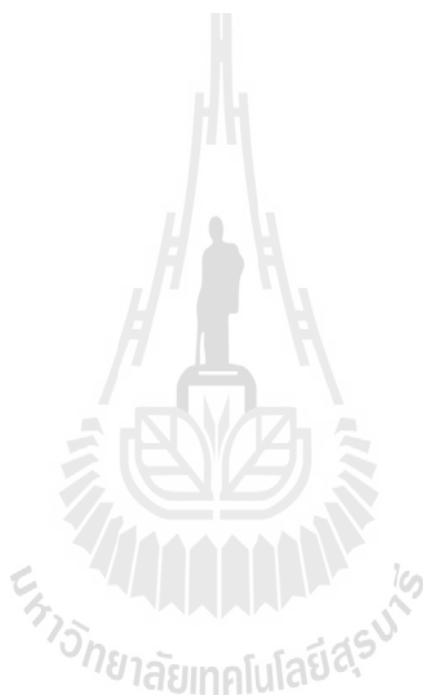
ตารางที่ ข.10 แสดงผลการทดสอบ Z-latch ใ้ห้อง เมื่อออกแรงกระทำในทิศทาง $+x$

ชั้นงาน	ระยะที่ Load Cell เคลื่อนที่กดชั้นงาน (mm.)	แรงที่ทำให้ชั้นงานเสียรูป (N)
1	0.3331	1.7437
2	0.3330	1.7980
3	0.3330	1.8306
4	0.3331	1.8168
5	0.3330	1.7976
ค่าเฉลี่ย	0.3330	1.7973



รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

ฐวิสณี ปัทมประดิษฐ์ และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์. การวิเคราะห์ความเสียหายของหวีประกอบชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เนื่องจากปัจจัยทางกล. การประชุมวิชาการเครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25. อ่าวนางวิลล่ารีสอร์ท จังหวัด กระบี่. 19-21 ตุลาคม 2554. (อยู่ระหว่างการตอบรับ)





COMPARISON OF POLYCARBONATE PART FRACTURE AND SIMULATION DUE TO MECHANICAL FACTORS

Thawisanee Pattamapradit¹, Somsak Siwadamrongpong² and Chalearmchai Chaitongrat^{1,*}

¹ School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology

² School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology

*Muang Distric, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000 E-mail : cassiopia_wawa@hotmail.com, Tel. 044-224410, Fax.044-224536

Abstract

Polycarbonate is widely used in many industries such as Automotive, Electronics, Hard disk drive etc. It was well know that polycarbonate has high strength, good hardness compared to other polymers. In HDD manufacturing, polycarbonate was used as parts and tooling. Some of them have life time problems which investigation on such problem is in sufficient. Therefore, this project aims to compare fracture of Polycarbonate part with simulation results. Numbers of fracture part was classified into various failure modes. Simulation techniques were employed to indicate and compare with the part fractures, both static and fatigue mode. Result of this study may yield the real cause of part failures and extend to longer lifetime of part due to mechanical factors.

Keywords: HDD, polycarbonate, failure, mechanical factors, simulation

1. Introduction

A polymer that is well known for its high-performance characteristics is polycarbonate (PC). PC is an important engineering thermoplastic that is widely used since its development in 1953 and first production in 1960. Its main features are transparency, high strength, toughness and high-temperature stability. It is used to fabricate many components and can be injection molded, blow molded, extruded. Also it is an ideal engineering plastic with good electrical insulating properties, finding applications in electric meter housings and covers, casket hardware, portable tool housings, safety helmets, computer parts, and vandal-proof windows, light globes, specific applications etc. One of the most advantages of polycarbonate is its impact strength thus it has become one of the most frequently used engineering plastics. The consumption of the polycarbonate products are increasing significantly today even in HDD industrial. Some of components which have used in HDD manufacturing made from

polycarbonate. It uses to contain or protect HDD products from impacting and transportation. Polycarbonate actually use in available temperature range and suitable state. Some of them cannot use because of polycarbonate part fracture from usability. The damage of polycarbonate part may cause from affecting with various environmental factors such as mechanical, chemical and temperature which happened from manufacturing process. So it cannot avoid from contacting with those conditions. The damage part was rejected from process and the usable part was taken into the processes repeatedly.

Therefore, the project was aimed to study fracture and investigate the effect of HDD polycarbonate part damage by focus on the mechanical factor. This project analyzes the physical configuration of PC damage parts and classifies type of damage. Simulation how PC parts damage by apply static load and fatigue load on PC model then comparing fracture part and simulation result to predict the way how PC



part damage. Also using reliability concept predict the life time of PC part within the appropriate confident interval.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

PC part has assembled with HDD components to protect products from impacting and prevent them along translation. To study the fracture of PC part, this work will analyze the physical configuration of PC damage parts. PC is tough material with excellent mechanical properties. PC can use in many suitably condition but it has limit its field of application. Analysis of PC damage can classify fracture behavior of PC. In HDD manufacturing process, it passed several environments such as mechanical, chemical and temperature. PC usually shows ductile fracture. However, when it used in these conditions it can fracture in a brittle manner. Analyze the physical configuration of PC damage can predict the way how PC fractures from mechanical factors.

To analyze the failure of PC by using Finite Element Analysis (FEA) is a way to simulate mechanical conditions and determine the result of stress distribution which happened after apply loading act on PC model. Each element has exact differential equations that describe how it responds to a certain load. The sum of the responses of all of the elements in a model gives the total response of PC. Eventually the result of simulation will compare with fracture of polycarbonate to yield the real cause of part failures and extend to longer lifetime of PC part.

3. ANALYZE THE PHYSICAL

CONFIGURATION OF PC DAMAGE

In generally, materials fracture can be classified into 3 failure modes, ductile brittle and fatigue fracture. In a ductile failure, materials fail in a slow and display plastic deformation with high energy absorption before fracture. In contrast, a brittle failure is characterized by a sudden failure and display little or no plastic deformation and low energy absorption prior to fracture. And fatigue failure is the formation and growth of a crack caused by repeated or fluctuating loading. In fact, polycarbonate actually is ductile material but using polycarbonate in various conditions such as affected chemical resistance and attacked by many organic solvents from HDD manufacturing process, all of these variables can cause a change from tough brittle fracture.

Analyze the physical configuration by studying Fractography surface should be able to determine types of failure or failed components.

This work is required to identify cause and factors affecting such failures and give solutions in order to prevent undesirable failures. The fracture of HDD PC part has investigated and was observed by 20x microscope that shows in figure 1 and 2.

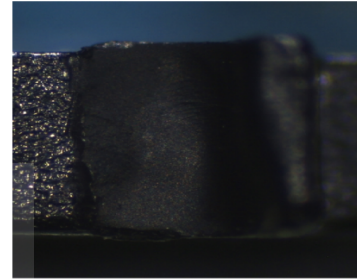


Figure 1. brittle fracture of PC

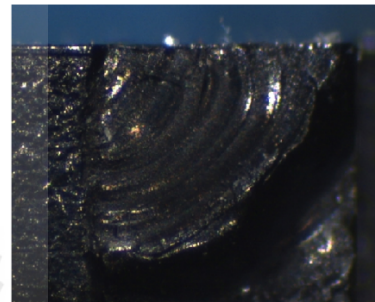


Figure 2. fatigue fracture of PC

It appears that polycarbonate shows 2 modes of failure: the first is brittle fracture. Brittle materials (fig.1) present flat fracture surfaces that cause sudden failure. The second is fatigue fracture. It has quite a unique characteristic of flat surfaces with limited plastic deformation. For this PC fracture cases (fig 2.) show visible beach mark that happen from fatigue crack growth. From these fractures, the study will analyze mechanical factors which can cause PC failure by finite element method

4. MATERIAL

Polycarbonate was selected as the material for the study consists of polycarbonate and carbon black. The PC part was injected mould into irregular shape that suitable design for assembly with HDD component. According to irregular shape of PC part is modeled as a semi-circular one is considered. It is the important part that mostly fractured.

5. FINITE ELEMENT ANALYSIS

In this work, a finite element model of a PC part was constructed to simulate the mechanical loading condition. The PC part model is studied by performing static finite element analysis (FEA) using commercial program ANSYS 11 which presents a 3D finite element calculate of stress that occur on model during apply loading act on. The material model defined in the analysis is strength and tough rigid model. Accordingly studying fractography surface found that the fracture behaviors of PC at semi-circular pin were fracture in 2 manners. These were partial broken and absolute broken part. For that reason, indicated that the PC pin was damage form different force thus analysis PC part will focus on semi-circular pin by apply force in 4 directions long the pin. The FEA model of PC is shown geometrically in Figure 3.

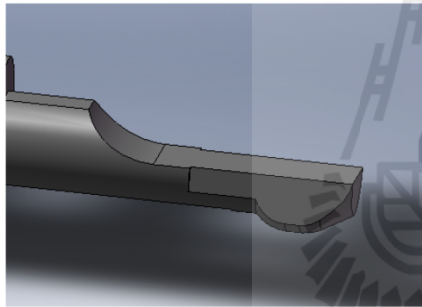


Figure 3. Model of PC

A. Boundary Conditions and Contact Surfaces

During HDD manufacturing process, PC part was assembled with HDD component and it was taken of from HDD component while the component was tested and inspection. After packing and shipping HDD to the customer, PC part will be taken into the processes repeatedly. It was translated to the process by packing rework part together in the bag therefore it was suffered with certain mechanical attack. In the FEA model, the simulation is applied via force acting at a reference point that cause PC damage and other parts that unconsidered are fixed support. Applying force in 4 direction: front, back, left and right on a rigid plate. The stress occurred at PC pin are in accordance with the obtained from the real situation as will be discussed later.

B. Meshing and Elements

All the elements used in the analysis are three-noded elements. A semi-circular pin of PC part is partitioned such that fined meshes are only required in the vicinity of the contact areas

and the elements are coarser in the area farther away. Meshing of the model is portrayed in Fig. 4.

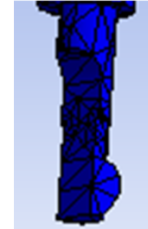


Figure 4. Meshing of the finite element model

C. Loading Condition and Analysis

The analysis of PC part is performed by applying force to the rigid plate on semi-circular pin. The force is applied in 4 directions by initial enter 0.1 force. The results for stress profile at the model reference point is evaluated then continue increasing force and evaluate stress values. The proper force which applied in each direction must generate less than 8100 psi. stress distribution. (Reference from PC material properties) The stress results from finite element analysis can be used to indicate failure that yield the real cause of part failure.

D. Validation of the finite element model

The stress distribution of the model after simulation is shown in Fig 5.

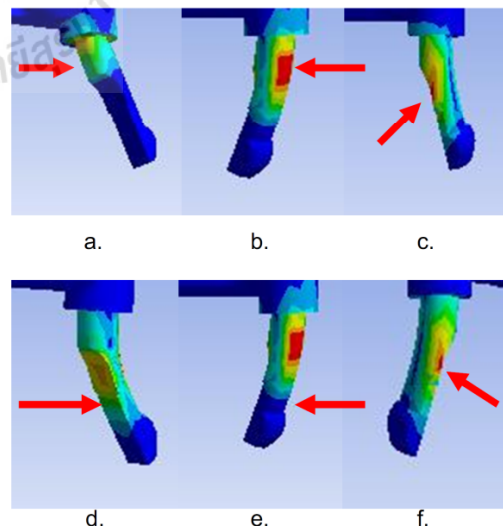


Fig 5. Result of stress distribution

This simulation is applied via force acting at a reference point that causes PC damage by applying force in 4 directions; front back left and



right however at left and right plane must apply force in 2 positions; base (Fig. 5a, 5b.) and tip (Fig. 5d, 5e.) of the pin because these positions have more opportunity to fracture than other ones.

The force that applies on FEA model is generates stress distribution. The maximum force that cause ultimate stress less than 8100 psi. has indicated as shown in Table 1.

Table 1. Force at ultimate stress in 4 directions

Direction	Force (lbf) max at ultimate stress
Left (base)	9.6
Left (tip)	0.7
Right (base)	2.9
Right (tip)	0.5
Front	0.9
Back	0.9

The result from FEA shows that the characteristic of semi-circular pin is different from various directions. If applying force on base pin in left direction (Fig 5a.), it can endure with mechanical force more than other sides. On the contrary, applying force on the tip pin (Fig 5e.) has the most opportunity to damage. As for applying force on front and back directions, force in front direction has similar to back direction because the model is symmetric shape, some part of model that has less section area can easier fracture than full section area. Therefore model designing is very important for long useful life. In the light of this aspect, the consequences of altering geometry of semi-circular pin are examined. In this paper, three new model designs as shown in Fig. 6 are investigated.

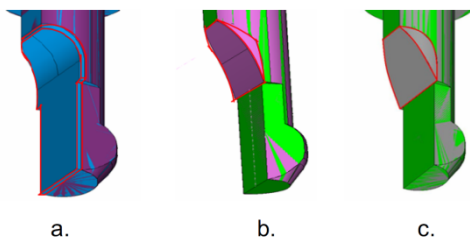


Figure 6. New semi-circular pin design

To able use PC part in long life, this work has to modify new shape. There are three new model designs that can increase efficiency for using and reduce amount of failure. These models were adjusted from exist models. The first model (Fig 6a.) is increasing thickness pin in 0.1, 0.2, and 0.67 mm. The second model (Fig 6b.) is increasing radius in 2.46 and 4.78 mm. The last model (Fig 6c.) is increasing section

area by chamfer surface. The result of force after modify are shown in Table 2.

Table 2. Force at ultimate stress in 4 directions after modify model

No.	PC Part	Force (lbf) MAX at Ultimate Stress					
		Left (Base)	Left (Pin)	Right (Base)	Right (Pin)	Front	Back
1	Original	9.6	0.7	2.9	0.5	0.9	0.9
2	t=0.1 mm	7.0	1.0	3.3	0.6	1.2	1.2
3	t=0.2 mm	7.3	1.2	3.2	0.9	1.0	1.0
4	R=0.67 mm	1.9	1.9	3.3	1.0	1.0	1.0
5	R=2.46 mm	8.3	0.7	3.0	0.5	1.0	1.0
6	R=4.78 mm	8.3	0.8	3.0	0.5	1.0	1.0
7	Chamfer	9.3	0.9	3.1	0.6	1.2	1.2

After new simulation, almost of modify pins have raise efficiency on force resistance notice from trend of the data. If increasing 0.1 mm. thickness, the model can resist external force that performs on right (base), front and back directions better than other design. Meanwhile increasing surface by chamfer can resist external force that perform on front and back directions. Besides increasing 0.1 mm thickness can endure mount force that act on right directions only. However, apply force in both of front and back directions have equal same result because of symmetric shape. The trends of force resistance of the new modify models at ultimate stress are shown in Fig. 7

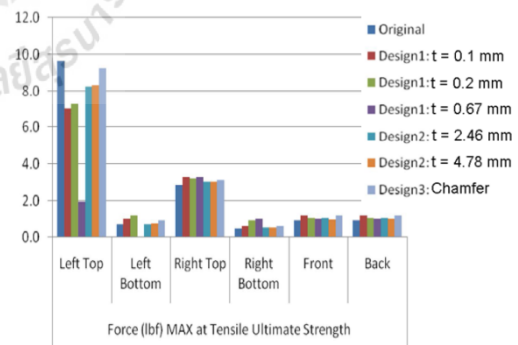


Figure 7. Force at ultimate tensile strength

6. RESULT AND DISCUSSION

The present work studies the polycarbonate part fracture and simulation from HDD manufacturing process. The failure part can happened from mechanical factors thus the stress distribution is investigated. The forces in 4 directions that yield ultimate strength are cause of failure. To modify new model with proper design can be improve and increase efficiency



also reduce amount of failure part. Moreover, the stress concentration at the critical damage point can be diminished.

In the next procedure of this work plane to test PC part by using tensile test machine and comparison the result of the testing with simulation result to predict how PC fracture from impact mechanical force in HDD manufacturing.

7. ACKNOWLEDGMENT

The researcher wishes to thank Seagate Technology for supports. Thanks are also directed to Dr.Somsak Siwadamrongpong for his helpful advices and discussions throughout this research.

8. REFERENCES

- [1] J.P.F. Inberg, Fracture of polycarbonate/ABS blends. Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands pp. 1-139, 2001
- [2] Roy A. B. Engelen, Ron H. J. Peerlings, and Marc G. D. Geers, Ductile Failure Modes in Plasticity, Eindhoven University of Technology, Netherlands Institute for Metals Research, 2003
- [3] Neville W. Sachs, P.E., _Fracture Features, Journal of failure analysis and prevention, Vol.5, 2005
- [4] Sai Sarva, Adam D. Mulliken, Mary C. Boyce. Mechanics of Taylor impact testing of polycarbonate. International Journal of Solids and Structures 44 pp. 2381–2400, 2007
- [5] Jongpradist, P., Rotbunsongsri, R., Sukkana, C., Sungtong, W., Parametric Study of Baseplate Geometry Using Finite Element Analysis, Thesis, KMUTT, Thailand, 2008

ประวัติผู้เขียน

นางสาวฐิติวิศณี ปัทมประดิษฐ์ เป็นบุตรของ พันเอกวิศิษฐ์ และนางสุภาณี ปัทมประดิษฐ์ เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2528 ที่จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ณ โรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสุนารีวิทยา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2550 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ขณะศึกษาในระดับปริญญาโทได้ทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ประจำโครงการ SUT-HDDi Training และเจ้าหน้าที่ประสานงานโครงการวิทยาลัยเทคโนโลยีฐานวิทยาศาสตร์ (วิทยาลัยเทคนิคสุรนารี) อีกทั้งเป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 6 รายวิชา คือ (1) การเขียนแบบวิศวกรรม 1 (2) การเขียนแบบวิศวกรรม 2 (3) การใช้ซอฟต์แวร์สำหรับงานวิศวกรรม (4) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล (5) ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต และ (6) ปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยได้นำประสบการณ์และความรู้ที่ได้จากการเป็นผู้ช่วยสอนและวิจัยมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี

ระหว่างศึกษามีผลงานวิจัยที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 1 บทความ โดยมีรายละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ก.