



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบที่เหมาะสมเพื่อการลดมวลของหน้าแปลนก้ามปู
ในรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)
Optimum Design for Mass Reduction of Flange Yoke
in Ford Ranger (T6 1350)

นายติณณภพ ศิรินาม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบที่เหมาะสมเพื่อการลดมวลของหน้าแปลนก้ามปู
ในรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)
Optimum Design for Mass Reduction of Flange Yoke
in Ford Ranger (T6 1350)

นายติณณภาพ ศิรินาม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบที่เหมาะสมเพื่อการลดมวลของหน้าแปลนก้ามปู

ในรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)

Optimum Design for Mass Reduction of Flange Yoke in Ford Ranger (T6 1350)

ผู้จัดทำ

นาย ตินณภพ ศิรินาม

รหัสประจำตัว 57010493



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การออกแบบที่เหมาะสมเพื่อการลดมวลของหน้าแปลนก้ำมปู ในรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นายดิณณภพ ศิรินาม ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายธีรพงษ์ ชำนาญศรี
สถานประกอบการ	บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบรูปร่างที่เหมาะสมของหน้าแปลนก้ำมปูในรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350) โดยการลดมวลของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ขณะที่หน้าแปลนก้ำมปูยังมีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันอยู่ในเกณฑ์ของ บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด และมีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันน้อยกว่าชิ้นงานปัจจุบันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ใช้วัสดุชนิดเดิมกับชิ้นงานปัจจุบัน คือ เหล็กหล่อ ASTM A274 จึงได้ทำการหารูปร่างใหม่และวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าตัวประกอบความปลอดภัยกับชิ้นงานตามการออกแบบของชิ้นงานเดิม จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ออกแบบใหม่มาทำการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) จากผลการทดสอบ หน้าแปลนก้ำมปูที่ได้รับการออกแบบใหม่มีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันน้อยกว่าชิ้นงานปัจจุบันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดการใช้วัสดุในการหล่อขึ้นรูปได้ 494.33 กรัม คิดเป็น 31.19 เปอร์เซ็นต์ของการออกแบบเดิม ทำให้ลดต้นทุนค่าวัสดุลง 14.19 บาท/ชิ้น ซึ่งในปี พ.ศ.2560 มีหน้าแปลนก้ำมปูที่ผลิตจำนวน 400,000 ชิ้น ทำให้บริษัทลดต้นทุนจากค่าวัสดุลงได้ 5,676,000 บาท

คำสำคัญ : หน้าแปลนก้ำมปู, ตัวประกอบความปลอดภัย, การลดต้นทุน, การออกแบบที่เหมาะสม, ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน

Cooperative Title: Optimum Design for Mass Reduction of
Flange Yoke in Ford Ranger (T6 1350)

Student intern name: Tinnaphop Sirinam

Faculty: Engineering

Department: Mechanical Engineering

Advisor name: Asst. Prof. Dr. Monsak Pimsan

Mentor name: Mr. Theerapong Chamnansri

Company: Dana Spicer (Thailand) Ltd.

ABSTRACT

The purpose of this project is to find optimum design of flange yoke in Ford Ranger (T6 1350), for cost reduction of material used in casting process using Finite Element Method, while remaining Johnson's Apparent Elastic Limit in Dana Spicer (Thailand) Ltd.'s standard and less than 10 percent from current design. The material used in casting process is ASTM A274. Therefore, the part was optimally designed and then compared its safety of factor with current design value. After that, the optimized design prototype was tested torsion static. For the result of experiment, the Johnson's Apparent Elastic Limit of optimized flange yoke is less than 10 percent from the current design. Additionally, mass reduction in casting process is 494.33 grams or 31.19 percent approximately. This leads to the cost reduction of material used in casting process, approximately 14.19 baht/piece. Since the annual volume in 2017 of produced flange yoke is 400,000 pieces, thus the total cost saving is 5,676,000 baht.

Keywords: Flange Yoke, Safety of Factor, Cost Saving, Optimum Design, Johnson's Apparent Elastic Limit (JAEL)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำสั่งสอนรวมทั้งประสบการณ์วิชาความรู้ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าทำให้ได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวให้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายธีรพงษ์ ชำนาญศรี บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้นิเทศงาน ที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยนี้ รวมถึงได้มอบประสบการณ์ในการทำงานที่ดีในการทำสหกิจศึกษาใน ครั้งนี้ ขอขอบคุณ นายธนวัฒน์ เรืองลิขิตกุล และนายอรรถพงศ์ ต้นจันทน์พงศ์ ซึ่งเป็นผู้เสนอหัวข้อโครงการนี้ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ขอขอบคุณ ดร.สุเทพ จอยเอกา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านข้อมูลและการทดลองต่างๆ ในการทำการปฏิบัติการทดสอบชิ้นงาน และขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือซึ่งข้าพเจ้าไม่ได้กล่าวถึงอีกมากมาย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา อันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้และประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าเรื่อยมา จนข้าพเจ้าได้ทำปริญญานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ดิฉันทภาพ ศิรินาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 ระยะเวลาดำเนินการ	3
1.7 สถานที่ทำการวิจัย	3
1.8 ทรัพยากรและงบประมาณ.....	4
1.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีความเค้นและความเครียด	5
2.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์	8
2.2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คืออะไร	9
2.2.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	10
2.2.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	12
2.2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ของแข็ง	14
2.2.5 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	22
2.3 ตัวประกอบความปลอดภัย.....	23
2.4 ทฤษฎีความเค้นวอนมิสเสส (Von misses)	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน	25
2.6 ข้อต่ออ่อน (Universal Joint).....	26
2.6.1 ข้อต่ออ่อนแบบธรรมดา.....	26
2.6.2 ข้อต่ออ่อนแบบกากบาท.....	27
2.7 ความไว (Sensitivity).....	27
บทที่ 3 การดำเนินโครงการ	29
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
3.2 การสร้างแบบจำลองของชิ้นงานด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks).....	31
3.2.1 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม	31
3.2.2 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากการตกแต่งตามการออกแบบเดิม	32
3.2.3 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากการหล่อขึ้นรูป ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	33
3.2.4 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากการตกแต่ง ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	38
3.2.6 การสร้างแบบจำลองของกากบาท (Journal Cross).....	41
3.2.6 การสร้างแบบจำลองของแหวนล็อก (Snapping).....	42
3.3 การวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คซิมูเลชัน (SolidWorks Simulation).....	42
3.3.1 การเลือกประเภทของปัญหา	42
3.3.2 การเลือกคุณสมบัติทางกล.....	42
3.3.3 กำหนดตำแหน่งที่มีแรงกระทำและตำแหน่งจับยึดชิ้นงาน	44
3.3.4 กระบวนการสร้างเอลิเมนต์	45
3.3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์.....	46
3.4 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป	46
3.5 การทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test).....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์.....	51
4.1 ผลการทดสอบของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งแล้วโดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	51
4.1.1 ผลการทดสอบหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิม.....	51
4.1.2 ผลการทดสอบหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่.....	53
4.2 ผลการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) ของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งแล้ว.....	55
4.2.1 ผลการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิม.....	55
4.2.2 ผลการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่.....	59
4.3 ผลการหามวลของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่.....	63
4.4 การหาแนวความคิดในการลดต้นทุนจากค่าวัสดุ.....	65
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	67
5.1 สรุปผล.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
เอกสารอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก ASTM A274.....	43
3.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก ASTM A274.....	43
3.3 การเปรียบเทียบมวลชิ้นงานปัจจุบันกับค่ามวลจากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค	48
3.4 ส่วนประกอบของแบบหน้าแปลนคู่.....	49
4.1 การบันทึกค่าแรงบิดทุกๆ การเปลี่ยนแปลง 1 องศา ของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิม.....	56
4.2 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันจากการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิม	58
4.3 การบันทึกค่าแรงบิดทุกๆ การเปลี่ยนแปลง 1 องศา ของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่.....	60
4.4 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันจากการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปู ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	62
4.5 การเปรียบเทียบมวลชิ้นงานปัจจุบันกับค่ามวลจากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค	65

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 เพลากลางของรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)	1
1.2 หน้าแปลนก้ามปูของรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350).....	2
2.1 แสดงลักษณะของแรงดึง	5
2.2 แสดงลักษณะของแรงอัด	6
2.3 แสดงลักษณะของแรงเฉือน	6
2.4 แสดงลักษณะของความเครียดเชิงเส้น	8
2.5 แสดงลักษณะของความเครียดเฉือน	8
2.6 การวิเคราะห์หาผลเฉลยบนแผ่นอะลูมิเนียมด้วยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	9
2.7 การแบ่งรูปร่างเอลิเมนต์ออกเป็นแบบต่างๆ กัน.....	11
2.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์	13
2.9 ความสอดคล้องตามตำแหน่งใด ๆ ในของแข็งสามมิติ	16
2.10 ไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาความเค้นในระนาบบนแผ่นโลหะบาง	18
2.11 ไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาความเครียดในระนาบของเขื่อนที่มีความลึก.....	19
2.12 ลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัวในแนวแกน x และ y บนเอลิเมนต์สามเหลี่ยม.....	20
2.13 ความดันตลอดขอบ 2-3 ของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม	21
2.14 แรงรวมที่จุดต่อ 2 และ 3	22
2.15 ระนาบออกตะฮีดรัล	24
2.16 การหาค่าความยืดหยุ่นของจอห์นสัน.....	25
2.17 แสดงลักษณะของข้อต่ออ่อนแบบธรรมดา.....	26
2.18 แสดงลักษณะส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนแบบกากบาทและลูกปืน	27
2.19 ความไวของเครื่องมือวัดแบบเชิงเส้น	28
2.20 ความไวของเครื่องมือวัดแบบไม่เป็นเชิงเส้น.....	28
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.2 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม	31
3.3 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม	32

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4 การลดมวลของวัสดุบริเวณกลางตัวของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	33
3.5 การลดมวลของวัสดุบริเวณแนวกลางขนานกับฐานของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	33
3.6 การลดมวลของวัสดุบริเวณความชันของเบ้ายึดจับของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	34
3.7 การลดมวลของวัสดุบริเวณรูส่วนน้อตของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	34
3.8 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบรูส่วนน้อตของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	35
3.9 การลดมวลของวัสดุบริเวณด้านนอกของหูของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	35
3.10 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบนอกรูส่วนน้อตของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	36
3.11 การลดมวลของวัสดุบริเวณรูจับยึดของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	36
3.12 การลดมวลของวัสดุบริเวณหน้าสัมผัสกับเครื่องยนต์ และเฟืองท้ายของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป	37
3.13 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	37
3.14 การลดมวลของวัสดุบริเวณกลางตัวของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง	38
3.15 การลดมวลของวัสดุบริเวณแนวกลางขนานกับฐานของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง	38
3.16 การลดมวลของวัสดุบริเวณความชันของเบ้ายึดจับของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง	39
3.17 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบรูส่วนน้อตของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง	39
3.18 การลดมวลของวัสดุบริเวณด้านนอกของหูของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง	40
3.19 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบนอกรูส่วนน้อตของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง	40
3.20 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	41
3.21 แบบจำลองของกากบาท	41
3.22 แบบจำลองของแหวนล้อค	42
3.23 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ำมปูเป็นส่วนประกอบกับเครื่องยนต์	44
3.24 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ำมปูเป็นส่วนประกอบกับเฟืองท้าย	44
3.25 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง ตามการออกแบบเดิมที่ผ่านการสร้างเอลิเมนต์แล้ว	45
3.26 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ ที่ผ่านการสร้างเอลิเมนต์แล้ว	45

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.27 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป ตามการออกแบบเดิมด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค	46
3.28 การชั่งมวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม	47
3.29 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่ง ตามการออกแบบเดิมด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค	47
3.30 การชั่งมวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม	48
3.31 การจำลองตัวจับยึดชิ้นงาน ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค.....	50
3.32 การประกอบชิ้นงานเพื่อเตรียมการทดสอบ	50
4.1 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ามปู ตามการออกแบบเดิมกรณีที่หน้าแปลนก้ามปูติดกับเครื่องยนต์	51
4.2 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ามปู ตามการออกแบบเดิมกรณีที่หน้าแปลนก้ามปูติดกับเฟืองท้าย.....	52
4.3 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูติดกับเครื่องยนต์	53
4.4 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูติดกับเฟืองท้าย	54
4.5 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 1	55
4.6 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 2	55
4.7 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 3	56
4.8 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 1	57
4.9 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 2	57
4.10 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 3	58
4.11 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 1	59
4.12 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 2	59
4.13 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 3	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันของหน้าแปลนก้ามปู ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 1.....	61
4.15 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันของหน้าแปลนก้ามปู ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 2.....	61
4.16 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันของหน้าแปลนก้ามปู ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 3.....	62
4.17 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค.....	63
4.18 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่ง ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค.....	64
4.19 การชั่งมวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่.....	64
5.1 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเครื่องยนต์.....	67
5.2 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเฟืองท้าย.....	67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากชิ้นของเพลากลางรถยนต์ (Propeller Shaft) ดังรูปที่ 1.1 เป็นส่วนถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่เพืองขับ ส่วนประกอบของเพลากลางนั้นจึงต้องมีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง ซึ่งชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเครื่องยนต์และเพืองขับของเพลากลางนี้ เรียกว่า หน้าแปลนกำมปู (Flange Yoke) ดังรูปที่ 1.2 มีความแข็งแรงเกินกว่าความจำเป็นในการใช้งาน ซึ่งอาจเกิดจากการเลือกใช้วัสดุของชิ้นงาน กรรมวิธีการผลิตชิ้นงาน การออกแบบส่วนช่วยรับแรงหรือแม้แต่ขนาดของชิ้นงานก็ตาม ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเกินความจำเป็นในการใช้งาน จึงเล็งเห็นว่า ถ้าสามารถทำการออกแบบชิ้นงานที่มีความแข็งแรงเพียงพอกับความจำเป็นในการใช้งานที่สุด โดยคุณสมบัติยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ของบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้

โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ผลของแรงที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน กระทำต่อชิ้นงาน เพื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้มาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติระหว่างหน้าแปลนกำมปูเดิม กับหน้าแปลนกำมปูที่ออกแบบใหม่ในด้านต่างๆ เช่น มวลของวัสดุที่ใช้ จุดที่เริ่มเกิดความเสียหาย ความสามารถในการรับแรงกระทำของชิ้นงาน เป็นต้น



รูปที่ 1.1 เพลากลางของรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)



รูปที่ 1.2 หน้าแปลนก้ามปูของรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงหน้าแปลนก้ามปู
2. เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงจากภาระแรงบิดที่กระทำต่อหน้าแปลนก้ามปู โดยใช้ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันในการเปรียบเทียบ
3. เพื่อลดการใช้วัสดุส่วนเกินลง โดยที่คุณภาพของหน้าแปลนก้ามปูยังอยู่ในเกณฑ์ของบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด และมีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันน้อยกว่าเดิม ไม่เกิน 10 %

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ผลของแรงชนิดต่างๆ ที่กระทำต่อหน้าแปลนก้ามปู
2. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบกรรมวิธีทางวัสดุ
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิม กับหน้าแปลนก้ามปูที่ออกแบบใหม่ในด้านต่างๆ เช่นความสามารถในการรับแรงกระทำ มวลของวัสดุที่ใช้ จุดที่เริ่มเกิดความเสียหาย เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาลักษณะการรับแรงของชิ้นงาน เหนือในการควบคุมคุณภาพ และกระบวนการผลิตของชิ้นงาน
2. สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานดั้งเดิม เพื่อศึกษาความเค้นสูงสุดที่ชิ้นงานได้รับ ค่าตัวประกอบของความปลอดภัย (Safety of Factor) และตำแหน่งที่เริ่มเกิดความเสียหาย ของชิ้นงานตามการออกแบบเดิม
3. ออกแบบชิ้นงานใหม่
4. สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานใหม่
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความปลอดภัย ที่น้อยที่สุดระหว่างชิ้นงานตามการออกแบบเดิมกับชิ้นงานใหม่ และน้ำหนักของชิ้นงานระหว่างชิ้นงานเดิมกับชิ้นงานใหม่
6. ทำการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) กับทั้งชิ้นงานเดิมและชิ้นงานใหม่
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงบิดระหว่างชิ้นงานเดิมและชิ้นงานใหม่
8. สรุปผลโครงการ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์แก้ปัญหาได้
2. สามารถออกแบบชิ้นงานใหม่มีความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการใช้งานได้
3. สามารถหาแนวคิดในการลดต้นทุนจากการลดวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปของชิ้นงานได้

1.6 ระยะเวลาดำเนินการ

ตั้งแต่วันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ.2560 ถึงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ.2560

1.7 สถานที่ทำการวิจัย

1. บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด
2. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

1.8 ทรัพยากรและงบประมาณ

1. ค่าทำการทดสอบแรงบิดหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิม	10,165.00 บาท
2. ค่าทำการทดสอบแรงบิดหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	10,165.00 บาท
3. ค่าตกแต่งชิ้นงานหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	34,347.00 บาท
4. ค่าตัวจับยึดชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบแรงบิด	10,631.52 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	65,308.52 บาท

(หกหมื่นห้าพันสามร้อยแปดบาทห้าสิบบสองสตางค์)

1.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายศุภวัฒน์ พุ่งเกียรติไพบูลย์ [1] ได้ทำการศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานส่วนหัวหัวเครื่องยนต์ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ โดยได้ทำการวิเคราะห์ความเสียหาย และออกแบบขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าแบบจำลองของการออกแบบใหม่มีมวลลดลง สามารถผลิตชิ้นงานได้มากขึ้น ทำให้บริษัทลดต้นทุนจากค่าวัสดุลงได้ 1,621,800 บาท

นายปรัชญ์ เพชรวิไลกุล, นายผดึก ศักดาเยี่ยงยงค์, และนายพงษ์พัฒน์ กิจจรกุล [2] ได้ทำการศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูปท่อด้วยวิธีเจซีโอ (JCO) เพื่อหาค่าระยะกดของหัวกดและระยะห่างของตาย และทำนายรูปร่างสุดท้ายของท่อหลังจากการขึ้นรูปท่อแบบเจซีโอตามมาตรฐาน API 5L X-65 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ระยะกดและระยะห่างตายที่เหมาะสมมีค่า 24 มิลลิเมตร โดยค่าความผิดพลาดความกลมมีค่าเท่ากับ 1.04% อย่างไรก็ตามค่าที่ใช้จริงในการปฏิบัติระยะกดมีค่าเท่ากับ 27 มิลลิเมตร

นายนิวัฒน์ ภูเจริญ [3] ได้ทำการศึกษาการทำนายความล้าและอายุของล้อยแม็กซ์ รุ่น RS5 ของบริษัท เอนโก ไทย จำกัด ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้จำลองเงื่อนไขขอบเขตจากวิธีการทดสอบแบบโมเมนต์ดัดและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุจากการทดสอบของบริษัท โดยสมมติให้วัสดุเป็นชนิดเนื้อเดียวกันตลอดและสม่ำเสมอ และใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมสามมิติทรงสี่หน้าอันดับสูงในการประมาณค่า จากการจำลองได้นำผลไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบพบว่าล้อยไม่เกิดรอยร้าว เมื่อการทดสอบผ่านไป 100,000 รอบ แสดงว่าล้อยผ่านมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากแบบจำลองอายุการใช้งานของล้อย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีความเค้นและความเครียด[4]

2.1.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดค่านี้ จึงมักพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำมีความสมดุลกับแรงต้านภายใน การหาค่าความเค้นสามารถหาได้จากสมการดังนี้ คือ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa, 1 Pa = 1 N/m²)
หรือ kgf/mm² หรือ psi (lbf/m²)

F = แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

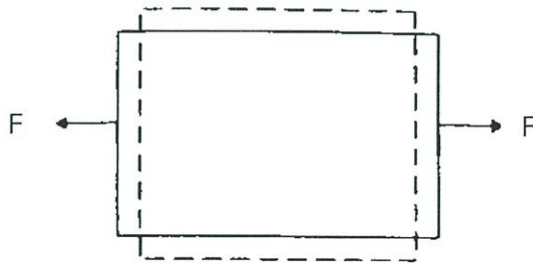
A = พื้นที่หน้าตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m²) หรือ ตารางมิลลิเมตร (mm²) หรือตารางนิ้ว (in²)

2.1.1.1 รูปแบบและชนิดของความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำ

2.1.1.1.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

เกิดขึ้นเมื่อแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้

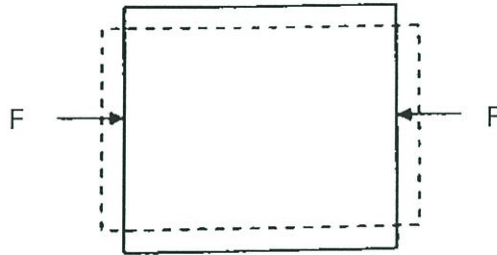
ขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของแรงดึง

2.1.1.1.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress)

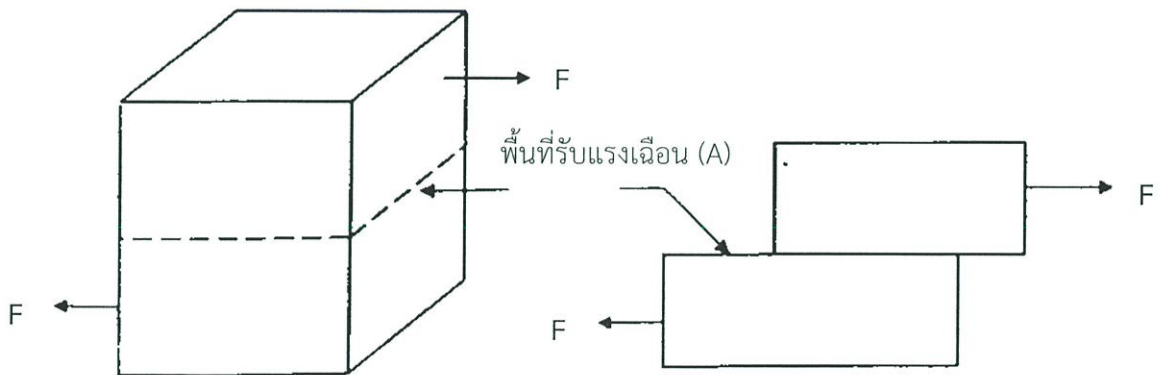
เกิดขึ้นเมื่อมีแรงอัดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของแรงอัด

2.1.1.1.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress)

ใช้สัญลักษณ์ τ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำในทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน ดังรูปที่ 2.3 มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) ทหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของแรงเฉือน

จะได้สมการ
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

F = แรงเฉือนที่กระทำกับวัตถุ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

2.1.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียด คือ การเปลี่ยนแปลงของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของการเปลี่ยนรูปของวัสดุสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

2.1.2.1 การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป

การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้น จะเคลื่อนเข้าที่ตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุยังคงรูปเดิมไว้ได้

2.1.2.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปแบบคงรูป ถึงแม้ว่าแรงที่กระทำต่อวัสดุนั้นจะหมดไปแล้วก็ตาม วัสดุทุกชนิดจะมีรูปแบบการเปลี่ยนรูปร่างทั้งสองแบบ ขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำกับความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุนั้นๆ

การวัดและคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่สองลักษณะ แบบแรก คือ เส้นตรง ความเครียดที่วัดได้ เรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากกระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงอัด ค่าความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.3)$$

เมื่อ ε = ความเครียดเชิงเส้น

L_0 = ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป ($L - L_0$)

แบบที่สอง คือ แบบเอียง เรียกว่า ความเครียดเอียง (Shear Strain) ใช้วัดความเครียดกรณีแรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเอียง (τ) ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ ดังสมการ

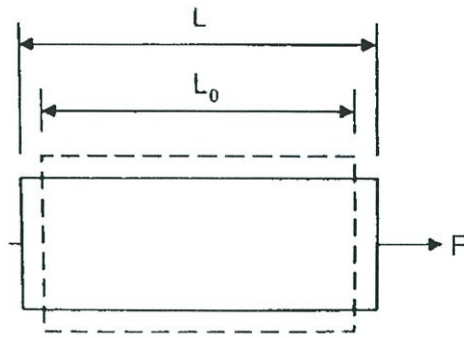
$$\gamma = \frac{a}{h} \quad (2.4)$$

เมื่อ γ = $\tan \theta \approx \theta$ (Radian ในกรณีที่มุมเล็ก)

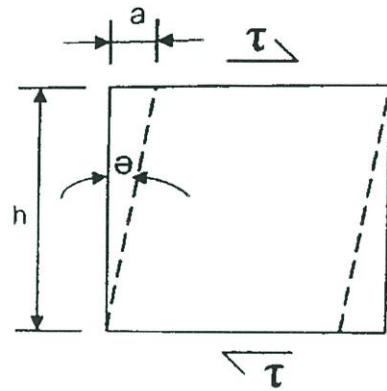
a = ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)

h = ระยะห่างระหว่างระนาบ

θ = มุมที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของความเครียดเชิงเส้น

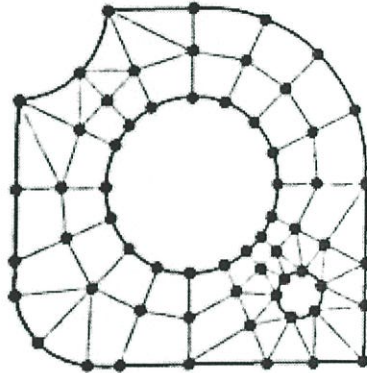


รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของความเครียดเฉือน

2.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์[5]

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มีส่วนอย่างมากในการสร้างเสริมปรับปรุงความเป็นอยู่ของมนุษย์ให้ดียิ่งขึ้น ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นรอบตัวสามารถอธิบายได้โดยกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์และทำการประดิษฐ์ขึ้นในลักษณะของสมการต่างๆ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equations) หรือในรูปแบบของสมการอินทิกรัล (Integral Equations) เป็นต้น ยกตัวอย่าง เช่น การคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิในเครื่องยนต์ของรถยนต์อาจเริ่มจากสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายสถานภาพความสมดุลของการถ่ายเทความร้อน การคำนวณออกแบบโครงสร้างปีกเครื่องบินอาจเริ่มมาจากสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายสถานภาพความสมดุลของโครงสร้างนั้นภายใต้แรงกดดันอากาศในขณะบิน รวมไปถึงการทำนายทิศทางและความเร็วของกระแสลมจากพายุไต้ฝุ่นเพื่อออกข่าวเตือนประชาชนให้อพยพออกจากพื้นที่ที่ไต้ฝุ่นจะเคลื่อนไปถึง ก็อาจเริ่มจากสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายสถานภาพความสมดุลของการไหล เป็นต้น

สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาต่างๆ นั้น ปกติจะประดิษฐ์ขึ้นได้โดยไม่ยาก แต่ผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) ที่ต้องการและจำเป็นต้องประดิษฐ์ขึ้นโดยระเบียบวิธีวิเคราะห์ (Analytical Method) นั้นทำได้ยากมากหรืออาจจะหาไม่ได้เลยก็ได้ เหตุผลดังกล่าวก่อให้เกิดวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Solution) ระเบียบวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณนั้นมีหลายๆ แบบ วิธีที่ได้รับความนิยมกันอย่างกว้างขวางในอดีตที่ผ่านมา คือ ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method)



รูปที่ 2.6 การวิเคราะห์หาผลเฉลยบนแผ่นอะลูมิเนียมด้วยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์[5]

2.2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คืออะไร

ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่ง ปัญหานั้นมักประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ ผลเฉลยแม่นยำตรง (Exact Solution) ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรตามตำแหน่งต่างๆ กันบนรูปร่างลักษณะของปัญหานั้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ผลเฉลยแม่นยำตรงจะประกอบด้วยค่าต่างๆ ทั้งหมดนับเป็นจำนวนอนันต์ค่า แทนที่จะทำการหาผลเฉลยแม่นยำตรงที่ประกอบด้วยค่าต่างๆ จำนวนมากมายเช่นนี้ซึ่งสำหรับปัญหาในทางปฏิบัตินั้นเป็นไปได้ หลักการคือทำการลดค่าทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์ค่านั้นมาเป็นค่าโดยประมาณในจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแทนรูปร่างลักษณะของปัญหาด้วยเอลิเมนต์ (elements) ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน ดังเช่นแสดงในตัวอย่างของแผ่นอะลูมิเนียม ในรูปที่ 2.6

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังบ่งชี้เป็นนัยว่า ผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต่างสอดคล้อง (Satisfy) กับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้นๆ ซึ่งหมายความว่า หลักการระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องเริ่มจากการพิจารณาเอลิเมนต์ทีละเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้น จากนั้นจึงนำสมการแต่ละเอลิเมนต์ที่

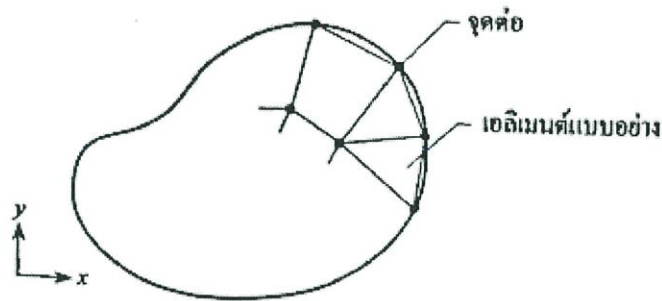
สร้างขึ้นได้มาประกอบกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็คล้ายกับการนำทุก
เอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง แล้วจึงประยุกต์
เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ลงในระบบสมการรวมนี้ก่อนทำการแก้ทั้งระบบสมการดังกล่าว เพื่อหาผลเฉลย
โดยประมาณที่ต้องการตามตำแหน่งต่างๆ ของปัญหานั้น

จากคำอธิบายนี้จะเห็นได้ว่า ความแม่นยำของผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณได้นั้นขึ้นอยู่กับขนาดและ
จำนวนของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา นอกจากนั้นความแม่นยำของผลเฉลยยังขึ้นอยู่กับการสมมุติ
รูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายใน (Interpolation function) ใช้สำหรับแต่ละเอลิเมนต์ กล่าวคือฟังก์ชันการ
ประมาณภายในที่ใช้มีความใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหานั้นมากน้อยเพียงใด ลักษณะการกระจายตัว
ของฟังก์ชันการประมาณภายในของเอลิเมนต์อาจสมมุติให้อยู่ในหลายรูปแบบนั้น อาทิเช่น รูปแบบของการ
กระจายตัวเชิงเส้น (Linear Distribution) เป็นต้น ส่วนขนาด (Magnitude) ของฟังก์ชันการประมาณภายในนั้น
ขึ้นอยู่กับค่าที่จุดต่อ (Nodes) ของเอลิเมนต์ ยกตัวอย่างเช่น หากค่าอุณหภูมิของจุดต่อที่อยู่ปลายมุมทั้งสามของ
เอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมที่มีค่าเท่ากับ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส และหากรูปสามเหลี่ยมนี้ใช้ฟังก์ชันการ
ประมาณภายในที่อยู่ในรูปแบบของลักษณะการกระจายแบบเชิงเส้นตรงแล้ว อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ใน
เอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยมนี้จะแปรผันเป็นรูปเชิงเส้นตรงคล้ายแผ่นเรียบโดยมีการกระจายของอุณหภูมิตั้ง
30 ถึง 50 องศาเซลเซียส

2.2.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งขอบเขตรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ คือ การแบ่งขอบเขตของสิ่งที่เรา
ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยก่อน เช่น หากต้องการวิเคราะห์หาการเสียรูปของแผ่นเหล็ก ขั้นตอนแรกเรา
ต้องแบ่งแผ่นเหล็กออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ก่อน



รูปที่ 2.7 การแบ่งรูปร่างเอลิเมนต์ออกเป็นแบบต่างๆ กัน[5]

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ คือ ชนิดของเอลิเมนต์จะมีทั้งแบบสามเหลี่ยมหรือแบบสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่ากันก็ได้ โดยจะมีจุดต่ออยู่ที่มุมต่างๆ และเป็นตำแหน่งที่ตั้งของตัวไม่ทราบค่า (Unknown) การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายตัวของตัวไม่ทราบค่าที่สมมุติขึ้นบนเอลิเมนต์นั้นๆ

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equations) สมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่สนใจอยู่นั้นจะถูกเปลี่ยนไปตามสมการทางพีชคณิตที่เรียกว่า สมการไฟไนต์เอลิเมนต์โดยมันจะถูกสร้างขึ้นให้เหมาะสมสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ เพราะว่าในแต่ละเอลิเมนต์นั้นจะมีขนาดไม่เท่ากัน

ขั้นตอนที่ 4 การนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกันเข้าด้วยกันแล้วแก้ปัญหาสมการใหญ่ เป็นการรวมสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ถูกคิดขึ้นในขั้นตอนที่แล้วด้วยวิธีที่ถูกต้องตามหลักการ ก่อให้เกิดระบบสมการรวม (System of Simultaneous Equations)

ขั้นตอนที่ 5 ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในระบบสมการรวมแล้วจึงแก้ระบบสมการรวมนี้ อันประกอบด้วยตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อ (Nodal Unknown) ซึ่งอาจเป็นค่าของการเคลื่อนตัวตามจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้างหรือเป็นค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ หากเป็นปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน หรืออาจเป็นค่าความเร็วของของไหลตามจุดต่อหากเป็นปัญหาเกี่ยวกับการไหล เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่างๆ ที่ จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าอื่นๆ ที่ต้องการต่อไปได้อีก เช่น เมื่อรู้ค่าการเสียรูป (Displacement) ตามจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้างก็สามารถนำไปใช้หาค่าความเครียด (Strain) และค่าความเค้น (Stress) ได้ตามลำดับ หรือเมื่อรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ ก็สามารถหาคำนวนหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้ หรือเมื่อรู้ค่าของความเร็วของของไหลที่จุดต่อก็สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณอัตราการไหลได้ เป็นต้น

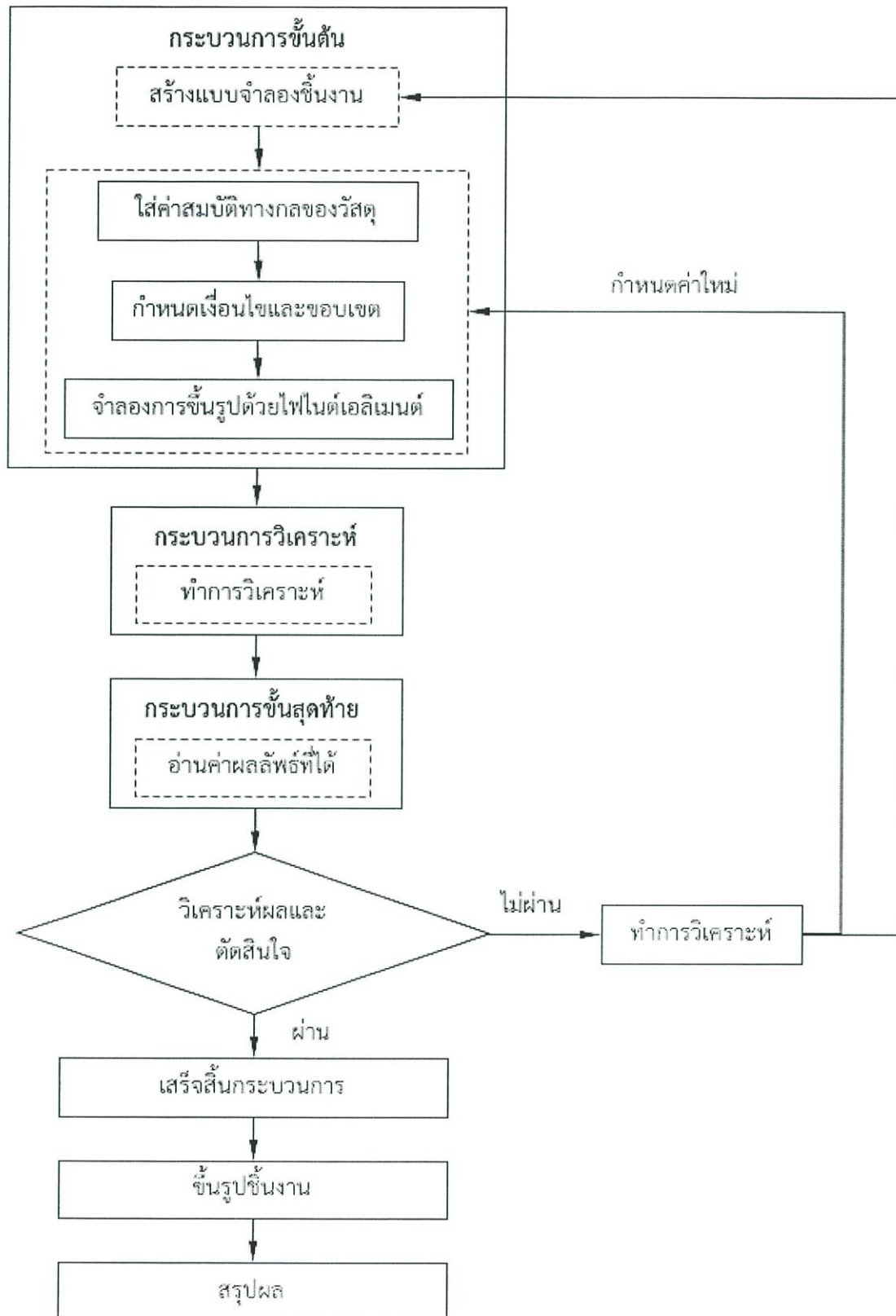
2.2.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

กระบวนการแก้ปัญหาคือวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนดังนี้

กระบวนการขั้นต้น (Pre-Processing) คือ กระบวนการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์จากรูปร่างที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นนำไปประยุกต์เงื่อนไขของขอบเขตและทำการวิเคราะห์ปัญหานั้น โดยเริ่มต้นตั้งแต่การสร้างจุดเส้นตรง เส้นโค้งต่างๆ รวมทั้งพื้นผิว ซึ่งจะเก็บข้อมูลเหล่านี้ในรูปของสมการทางเลขาคณิต โดยรูปร่างของไฟไนต์เอลิเมนต์ต้องเหมือนกับรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด และหลังจากทำการสร้างรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์เสร็จสิ้นแล้ว ต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตอันประกอบด้วยการกำหนดค่าให้กับบางจุดต่อของไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งเงื่อนไขขอบเขตนี้ต้องเหมือนหรือใกล้เคียงกับของจริงให้มากที่สุดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis) คือ การนำข้อมูลต่างๆที่สร้างไว้ในขั้นตอนแรก มาเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าที่กระบวนการวิเคราะห์ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ โดยซอฟต์แวร์จะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ ในทุกๆ เอลิเมนต์ ก่อนที่จะนำมารวมกันให้เป็นระบบสมการขนาดใหญ่แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ เสร็จแล้วจึงทำการแก้ระบบสมการต่อไป

การบวนการขั้นสุดท้าย (Post-Processing) คือ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ทำการแปลงข้อมูลจากขั้นตอนที่แล้ว อันประกอบไปด้วยตัวเลขจำนวนมากให้อยู่ในรูปแบบที่อ่านค่าได้ง่ายที่แสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ เช่น แสดงด้วยแถบชั้นสี เส้นชั้นสีหรือเวกเตอร์ โดยอาจแสดงในรูปทรงดั้งเดิมหรือรูปทรงที่เสียรูปร่างไปเนื่องจากแรงที่มากระทำ โดยสามารถแสดงให้อยู่ในรูปแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ของแข็ง

การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับปัญหาทางด้านของแข็ง เช่น การเคลื่อนตัวตามตำแหน่งต่างๆ อันเกิดจากการยืดและหดตัว ตลอดจนความเครียดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามมา ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้เริ่มพัฒนาเพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านของแข็งโดยสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์จากวิธีการหาค่าต่ำสุดของพลังงานศักย์รวมที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากแรงภายนอกที่มากระทำ ในการใช้วิธีการดังกล่าวเราได้สมมุติลักษณะการกระจายตัวของ การเคลื่อนตัว (displacement) ซึ่งเป็นตัวแปรบนเอลิเมนต์ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาผลลัพธ์ของการเคลื่อนตัวตามจุดต่อต่างๆ และจากนั้นจึงคำนวณหาความเครียดความเค้นได้ วิธีการเช่นนี้บางครั้งเรียกกันว่าระเบียบวิธีการเคลื่อนตัว(displacement method) ในขณะเดียวกันในช่วงแรกๆ ของการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้อีกเช่นกัน ได้มีการใช้หลักการอื่นๆ ในการสมมุติตัวแปรที่ต่างกันบนเอลิเมนต์ เช่น การสมมุติการกระจายของความเค้นโดยเรียกกันว่าระเบียบวิธีการใช้แรง(force method) และการสมมุติตัวแปรซึ่งประกอบด้วยการกระจายตัวของความเค้นและการเคลื่อนตัวไปพร้อมๆ กันบนเอลิเมนต์ที่เรียกว่าระเบียบวิธีผสม (mixed method) เป็นต้น

ในปัจจุบันการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถทำความเข้าใจได้โดยง่ายและใช้กันมากในการประดิษฐ์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ทั่วไปนั้นเป็นการใช้ระเบียบวิธีนี้แบบแรกซึ่งก็คือการสมมุติลักษณะการกระจายของการเคลื่อนตัวบนเอลิเมนต์ ในการใช้ระเบียบวิธีนี้มาประยุกต์ในการสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาในหลายรูปแบบ เริ่มตั้งแต่การคำนวณการเคลื่อนตัวและความเค้นที่เกิดขึ้นในปัญหาโครงสร้างวัสดุ ท่อน ปัญหาแผ่นระนาบ ปัญหาที่มีความสามารถในรอบแกน ปัญหาการโค้งงอของคานและแผ่นบาง ปัญหาการยืดหยุ่นในสามมิติ รวมไปถึงระเบียบวิธีการในการแก้ปัญหาทางพลศาสตร์ ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ มีลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ

2.2.4.1 สมการพื้นฐานทั่วไปในสามมิติ

1) สมการเชิงอนุพันธ์

ความสมดุลของของแข็งที่มีการยืดหยุ่นได้ในสามมิติดังแสดงในรูปที่ 2.9 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + F_x &= 0 \\
\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + F_y &= 0 \\
\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z &= 0
\end{aligned}
\tag{2.5}$$

โดย $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ แทนความเค้นในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ และ $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ แทนความเค้นเฉือน F_x, F_y, F_z แทนแรงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (body force) ในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ ตลอดผิวรอบนอกของของแข็งซึ่งอาจประกอบด้วยเงื่อนไขขอบเขตหลาย ๆ ชนิด อาทิเช่น การกำหนดระยะเคลื่อนตัวบนผิวบางส่วน ในขณะที่ผิวส่วนอื่น ๆ อาจมีการกำหนดเงื่อนไขความเค้นที่ผิว (surface traction) ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\vec{T} = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k}
\tag{2.6}$$

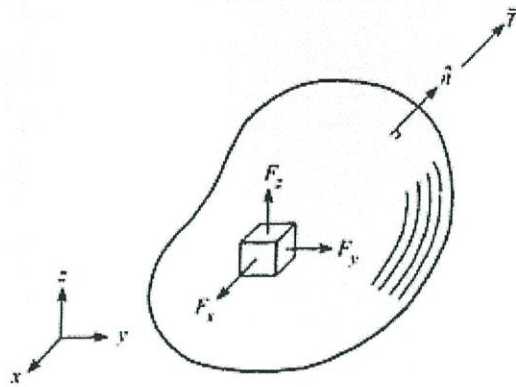
โดย T_x, T_y, T_z แทนความเค้นที่ผิวในทิศแกน x, y, z ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเค้น ณ จุดแรงกระทำ และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix}
\tag{2.7}$$

โดย เป็นทิศทางโคไซน์ (directional cosines) ของเวกเตอร์

$$\hat{n} = n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k}
\tag{2.8}$$

ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว ณ จุดที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น



รูป 2.9 ความสมดุลตามตำแหน่งใด ๆ ในของแข็งสามมิติ [5]

นอกจากเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวเหล่านี้แล้ว ของแข็งสามมิติในรูป 2.9 อาจมีความเครียดข้างต้น (prestrain) ที่เกิดขึ้นอยู่ก่อน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด เมื่อวัสดุมีคุณสมบัติเป็นไอโซทรอปิกโดยทั่วไป คือ

$$\{\sigma\} = [C]\{\epsilon - \epsilon_0\} \quad (2.9)$$

โดย

$$\{\sigma\}^T = [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{xz}] \quad (2.10)$$

$$\{\epsilon\}^T = [\epsilon_x \quad \epsilon_y \quad \epsilon_z \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{xz}] \quad (2.11)$$

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

โดย ν คือ อัตราส่วนปัวซอง (poisons ratio)

และ $\{\epsilon_0\}$ แทนเวกเตอร์ของความเครียดข้างต้นซึ่งอาจเกิดมาจากหลายสาเหตุ เช่น

อาจเกิดจากอุณหภูมิ $T(x, y, z)$ ตามตำแหน่งต่าง ๆ นั้น มีค่าไม่เท่ากัน ในกรณีเช่นนี้เวกเตอร์นี้ คือ

$$\{\epsilon_0\}^T = [\alpha\Delta T \quad \alpha\Delta T \quad \alpha\Delta T \quad 0 \quad 0 \quad 0] \quad (2.13)$$

โดย α แทนสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวทางความร้อน และ ΔT แทนอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจากอุณหภูมิ T_0 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่วัสดุนั้นไม่มีความเค้น ดังนี้

$$\Delta T = T(x, y, z) - T_0 \quad (2.14)$$

ความเครียดขั้นต้นอาจเกิดมาจากกรณีที่โครงสร้างนี้มีความเครียดอยู่ก่อนแล้วและอยู่ในสภาวะสมดุลก่อนที่จะมีแรงภายนอกมากระทำ ความเครียดขั้นต้นมีประโยชน์ก่อให้เกิดเสถียรภาพโครงสร้างทั่วไป อาทิเช่น การใช้ความเครียดขั้นต้นในสายเคเบิลต่าง ๆ เพื่อให้สายแขวนอยู่ในสภาวะสมดุล ความเครียดขั้นต้นในโครงสร้างของร่มหลังจากที่กางออก เป็นต้น

2.2.4.2 ปัญหาแผ่นระนาบ

1) สมการพื้นฐาน

สมการเชิงอนุพันธ์ของความสมดุลในแผ่นระนาบ ซึ่งวางอยู่ในแนวระนาบ x-y คือ

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y &= 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

โดยที่ขอบนอกของแผ่นระนาบอาจประกอบด้วยเงื่อนไขขอบเขตของการกำหนดค่าเคลื่อนตัว $u(x,y)$ และ $v(x,y)$ ในทิศทาง x และ y ตามลำดับ หรืออาจกำหนดแรงที่ขอบนอกซึ่งอยู่ในรูปแบบสมการเดียวกับสมการ 2.7 นั้น คือ

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \end{Bmatrix} \quad (2.16)$$

เช่น ความดัน (pressure) หรือแรงเสียดทานที่ผิว (skin friction) เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในรูปแบบของสมการ 2.9 คือ

$$\{\sigma\} = [C]\{\epsilon - \epsilon_0\} \quad (2.17)$$

ซึ่งในกรณีนี้คือ

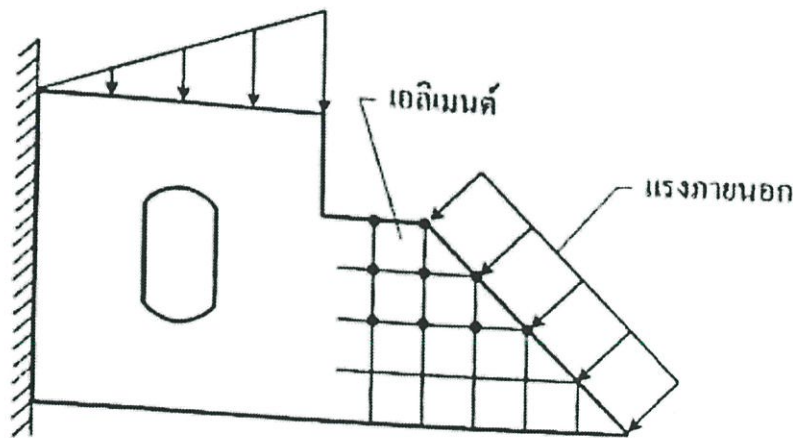
$$\{\sigma\}^T = [\sigma_x \sigma_y \tau_{xy}] \quad (2.18)$$

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_x \varepsilon_y \gamma_{xy}] \quad (2.19)$$

และหากความเครียดขั้นต้นนั้นเป็นผลมาจากอุณหภูมิ

$$\{\varepsilon_0\}^T = \{\alpha\}^T (T(x, y) - T_0) \quad (2.20)$$

โดยเมทริกซ์ $[C]$ และ $\{\varepsilon_0\}$ ขึ้นอยู่กับการสมมติจำแนกลักษณะของปัญหาว่าเป็นลักษณะของความเค้นในระนาบ (plain stress) หรือความเครียดในระนาบ (plain strain) ความหมายของปัญหาความเค้นระนาบใช้กับปัญหาแผ่นระนาบบางที่ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ความเค้นในทิศทางผ่านความหนาของแผ่นนั้นมีค่าน้อยมากและกำหนดให้เท่ากับศูนย์ ตัวอย่างลักษณะของปัญหาความเค้นในระนาบ เช่น การคำนวณความยืดหยุ่นของแผ่นโลหะที่มีแรงกระทำที่ขอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 เป็นต้น

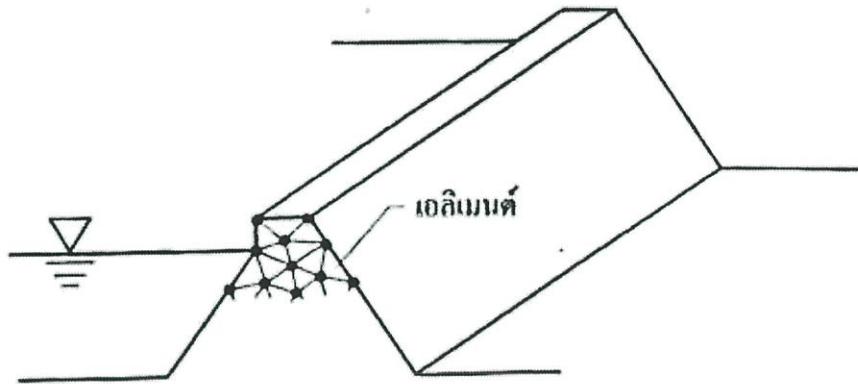


รูปที่ 2.10 ไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาความเค้นในระนาบบนแผ่นโลหะบาง [5]

ในกรณีของความเค้นในระนาบนี้

$$[C] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}; \{\alpha\} = \begin{Bmatrix} \alpha \\ \alpha \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.21)$$

ในขณะเดียวกัน ความหมายของปัญหาความเครียดในระนาบนั้นใช้กับปัญหาที่มีความลึกมากโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ค่าความเครียดในทิศทางผ่านความลึกนั้นไม่เกิดขึ้น นั่นคือให้เท่ากับศูนย์ ตัวอย่างลักษณะปัญหาความเครียดในระนาบ เช่น การคำนวณความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวเชื่อมกันน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.6 เป็นต้น



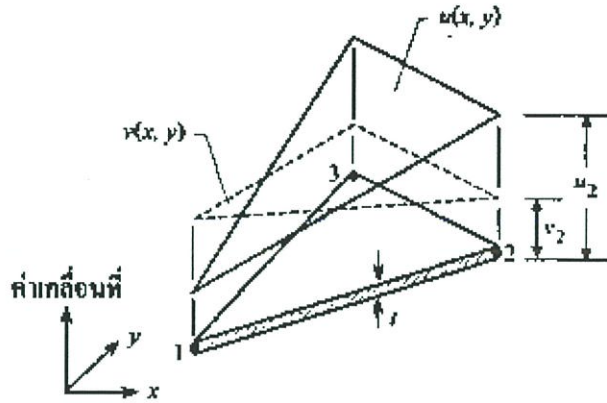
รูปที่ 2.11 ไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาความเครียดในระนาบของเขื่อนที่มีความลึก[5]

โดยในกรณีนี้ของความเครียดในระนาบนี้

$$[C] = \frac{E}{(1-\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} ; \{\alpha\} = \begin{Bmatrix} \alpha(1+\nu) \\ \alpha(1+\nu) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.22)$$

2) สมการไฟไนต์เอลิเมนต์

เราอาจเลือกใช้เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมหรือแบบสี่เหลี่ยมก็ได้ ปัญหาของความเค้นในระนาบหรือความเครียดในระนาบนี้เราจะมีตัวแปร 2 ตัว ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยตัว u และ v ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ ลักษณะของการกระจายค่าเคลื่อนตัว u และ v นี้บนเอลิเมนต์ เช่น เอลิเมนต์สามเหลี่ยม ได้แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัวในแนวแกน x และ y บนเอลิเมนต์สามเหลี่ยม[5]

ในกรณีของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมนี้ จะได้

$$\{\bar{\delta}\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = [N]\{\delta\} \quad (2.23)$$

โดยที่ $[N]$ คือ เซฟฟังก์ชัน[6]

$\{\delta\}$ คือ ค่าเคลื่อนตัวในสามทิศทาง

โดย $N_i, i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในสามเหลี่ยม ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและการเคลื่อนตัว คือ

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_2 & c_3 & b_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = [B]\{\delta\} \quad (2.24)$$

จาก

$$[K] = [B]^T [C] [B] tA \quad (2.25)$$

และโพลเดเวกเตอร์อันเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป คือ

$$\{F_0\} = [B]^T [C] (T - T_0) t A \alpha \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.26)$$

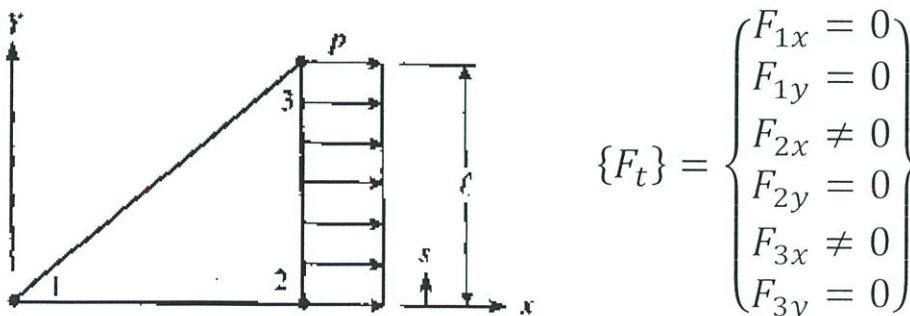
สมการ 2.26 นี้ได้มาจากระณิกที่อุณหภูมิ $T(x, y)$ ถูกสมมุติให้คงที่ตลอดเอลิเมนต์ที่พิจารณา นั้น หากอุณหภูมิบนเอลิเมนต์นั้นแปรผันในลักษณะแผ่นเรียบ (Flat Plate) โหลดเวกเตอร์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของสมการ 2.26 เช่นเดิมแต่ค่า T กลายเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสามของเอลิเมนต์นั้น

จะเห็นได้ว่าเมทริกซ์ $[B]$ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและค่าเคลื่อนตัวดังแสดงในสมการ 2.24 สำหรับเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วยสามจุดต่อ นั้นเป็นเมทริกซ์ที่มีค่าความเครียดที่คงตัว (Constant Strain Triangle) โดยไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น x หรือ y ซึ่งทำให้การประดิษฐ์เอลิเมนต์เมทริกซ์ต่างๆ ที่ตามมาดังเช่นแสดงในสมการ 2.25 - 2.26 นั้นทำได้โดยสะดวกอีกทั้งการประดิษฐ์ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็สามารถทำได้โดยง่ายเช่นกัน เอลิเมนต์ชนิดนี้ใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์และออกแบบงานทางวิศวกรรม โดยทั่วไปใช้เอลิเมนต์ดังกล่าวในการคำนวณการขยายตัวและความเค้นที่เกิดขึ้นบนส่วนหัวของเครื่องยนต์บนเครื่องบินสมัยใหม่ ซึ่งเกิดอุณหภูมิสูงเนื่องจากการเสียดสีกับบรรยากาศในขณะที่ทำการบินด้วยความเร็วเร็วกว่าเสียงหลายเท่า เป็นต้น

โหลดเวกเตอร์อื่นๆ ซึ่งเกิดจากแรงวัตถุ หรือแรงที่ผิวก็สามารถสร้างขึ้นมาได้โดยง่ายเช่นกัน สำหรับเอลิเมนต์สามเหลี่ยมดังกล่าวโหลดเวกเตอร์อันเนื่องมาจากแรงวัตถุ คือ

$$\{F_B\}^T = \frac{tA}{3} [F_x \quad F_y \quad F_x \quad F_y \quad F_x \quad F_y] \quad (2.27)$$

ส่วนโหลดเวกเตอร์ที่เกิดจากแรงภายนอกที่กระทำที่ขอบนอกดังเช่นแสดงในรูปที่ 2.10 นั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของด้านที่ถูกแรงกระทำ เช่น มีความดัน (Pressure) P กระทำตลอดขอบที่ต่อระหว่างจุดต่อ 2 และ 3 ในทิศแกน x ดังแสดงในรูปที่ 2.12 จากรูปนี้ผลลัพธ์ของโหลดเวกเตอร์นี้จะอยู่ในรูปแบบดังนี้

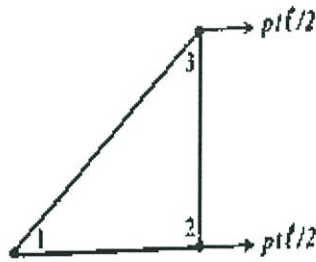


รูปที่ 2.13 ความดันตลอดขอบ 2-3 ของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม[5]

เนื่องจากเมทริกซ์ $[N]$ นั้นอยู่ในรูปเชิงเส้นตรงตลอดขอบระหว่างจุดต่อ 2 และ 3 ดังนั้นค่า F_{2x} และ F_{3x} จึงสามารถคำนวณได้โดยง่าย ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} F_{2x} \\ F_{3x} \end{Bmatrix} = \int_0^l \begin{Bmatrix} 1 - \frac{s}{l} \\ \frac{s}{l} \end{Bmatrix} p(t) ds = p t l \begin{Bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{Bmatrix}$$

ลำดับขั้นตอนที่มีความหมายทางกายภาพคือการแปลงความดันที่สม่ำเสมอไปเป็นแรงรวมที่จุดต่อ นั่นคือ เปลี่ยนลักษณะของแรงภายนอกจากรูปที่ 2.13 ไปเป็นรูปที่ 2.14 ดังนั้น ผลลัพธ์ของโหนดเวกเตอร์อื่นเนื่องมาจากแรงภายนอกที่กระทำบนเอลิเมนต์นี้ คือ



$$\{F_t\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ p t l / 2 \\ 0 \\ p t l / 2 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2.28)$$

รูปที่ 2.14 แรงรวมที่จุดต่อ 2 และ 3[5]

ในทำนองเดียวกัน หากขอบที่ต่อระหว่างจุดต่อ 2 และ 3 นั้น เอียงและไม่อยู่ในแนวแกน x หรือ แกน y เราก็สามารถใช้กระบวนการขั้นตอนที่คล้ายคลึงกัน ลำดับขั้นตอนทั้งหมดนี้ตั้งอยู่บนรากฐานของความเข้าใจที่สำคัญว่า ฟังก์ชันการกระจายภายในที่ใช้ในเมทริกซ์ $[N]$ นั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นตรงตลอดขอบใดๆ ของเอลิเมนต์ สามเหลี่ยมนี้

2.2.5 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์

ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ โปรแกรมโซลิดเวิร์คซิมูเลชัน (SolidWorks Simulation) ซึ่งมีหลักการทำงานโดยโซลิดเวิร์คซิมูเลชัน เป็นโปรแกรมที่รวมทุกขั้นตอนการทำงานด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ไว้ในโปรแกรมเดียว กล่าวคือ การทำงานจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จากโซลิดโมเดลที่ถูกเขียนด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) เองแล้วทำการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ พร้อมกันนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์ต่อเนื่องเพื่อแก้ปัญหาและสามารถแสดงผลของการวิเคราะห์ออกมาได้ด้วยตัวเอง

2.3 ตัวประกอบความปลอดภัย (Safety Factor)

ในการผลิตและออกแบบชิ้นงานเครื่องจักร เครื่องก่อสร้าง หรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงาน เมื่อดำเนินการใดๆ จะต้องมีค่าเผื่อไว้สำหรับการออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้งานหรือกำลังต่างๆ ที่มากระทำกับชิ้นงานมีมากเกินไปกว่าที่ชิ้นงานจะรับได้ ค่าเผื่อดังกล่าวเรียกว่า ค่าตัวประกอบความปลอดภัย ซึ่งค่าตัวประกอบความปลอดภัยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$N_y = \frac{\sigma_y}{\sigma_{von}} \quad (2.29)$$

โดยที่ N_y คือ ค่าตัวประกอบความปลอดภัย

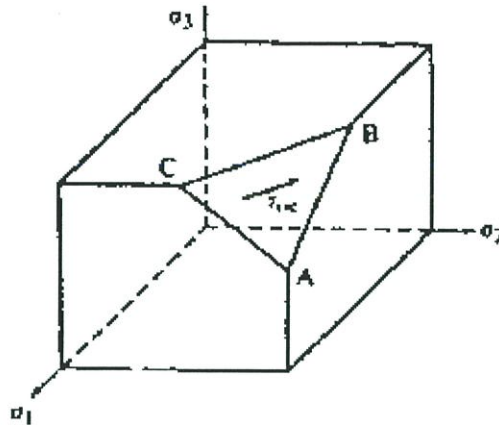
σ_y คือ ค่าความแข็งแรงคราก

σ_{von} คือ ค่าความเค้นวอนมิสเสส

2.4 ทฤษฎีความเค้นวอนมิสเสส (Von mises)[6]

สำหรับการวิเคราะห์ความเสียหาย อาจจะมีเกณฑ์ความเสียหายหลายเกณฑ์ให้เลือก ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ใช้พัฒนาเกณฑ์ความเสียหาย ยกตัวอย่างเช่น การคราก (Yielding) ของวัสดุเหนียว จะมีเกณฑ์การคราก (Yield Criteria) ที่นิยมใช้คือ เกณฑ์ของวอนมิสเสส เป็นต้น

เกณฑ์ของวอนมิสเสส กำหนดให้ความเค้นเฉือนบนระนาบออกตะฮีดรัล (Octahedral Plane) เป็นพารามิเตอร์แสดงสถานะของชิ้นงาน ระนาบออกตะฮีดรัล หมายถึงระนาบที่เอียงทำมุมกับทิศทางของความเค้นหลัก $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ เท่านั้น เช่นระนาบ ABC ดังรูปที่ 2.15 ทิศทางโคไซน์ (Directional Cosine) ของระนาบนี้มีค่า $\frac{1}{\sqrt{3}}$ และความเค้นเฉือนบนระนาบที่เรียกว่า ความเค้นเฉือนของออกตะฮีดรัล τ_{oc} โดยทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลในวัสดุที่มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ใช้ทดสอบแรงดึงชิ้นงานจนถึงจุดคราก



รูปที่ 2.15 ระบายออกคตะฮีดรัล

ในกรณีนี้ที่ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้ความเค้นสามมิติ ค่าความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัล คือ

$$\tau_{oc} = \frac{1}{3} [[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2]^{1/2} \quad (2.30)$$

ในการทดสอบแรงดึง ความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 เท่ากับศูนย์และเมื่อถึงจุดคราก ความเค้นหลัก $\sigma_1 = \sigma_y$ ดังนั้นความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัล จะหาได้จากสมการ 2.31 โดยให้ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และ $\sigma_1 = \sigma_y$ จะได้

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_y = 0.471 \sigma_y \quad (2.31)$$

จากทฤษฎีความเสียหาย การครากจะเริ่มขึ้นเมื่อ $\tau_{oc} = \tau$ จะได้

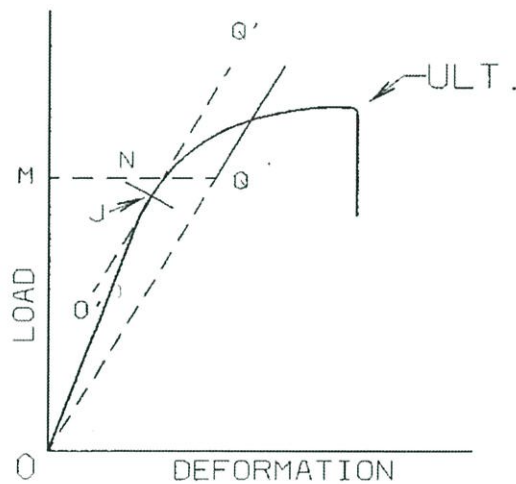
$$2\sigma_y^2 = [\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2 \quad (2.32)$$

ในการออกแบบชิ้นงานทั่วไปจะพิจารณาความเค้นในสองมิติซึ่ง $\sigma_3 = 0$ และเมื่อใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัย N_y สมการ 2.29 จะเหลือเพียง

$$\left[\frac{\sigma_y}{N_y} \right]^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2 \quad (2.33)$$

2.5 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน (Johnson's Apparent Elastic Limit) [7]

เนื่องจากการหาค่าความยืดหยุ่นอย่างแม่นยำโดยทั่วไปมีความยากลำบากในการหาสำหรับวัสดุบางประเภท จอห์นสันได้เสนอวิธีหาค่าความยืดหยุ่นที่เห็นได้ชัด ในแผนภาพความเครียดและความเค้นที่อัตราความเครียดสูงกว่าแหล่งกำเนิดมากถึง 50% คำนวณโดยการวาด OQ ตามรูปที่ 2.16 โดยมีความลาดเอียงตามแกนแนวตั้ง 50% มากกว่าส่วนเส้นตรงของเส้นโค้ง กล่าวคือ NQ เป็นครึ่งหนึ่งของ MN และ MQ เป็น 1.5 เท่าของ MN ลากเส้น O'Q' ขนานกับ OQ สัมผัสกับเส้นโค้งที่จุด J ซึ่ง คือ ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน



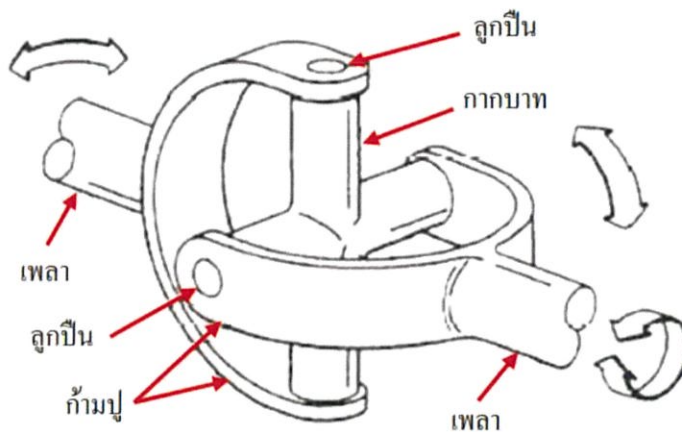
รูปที่ 2.16 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน (Johnson's Apparent Elastic Limit)[7]

2.6 ข้อต่ออ่อน (Universal Joint) [8]

ข้อต่ออ่อนเป็นส่วนประกอบของเพลากลาง ทำหน้าที่การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของเพลากลางในขณะที่ยเพลากลางถ่ายทอดกำลังงานจากเครื่องยนต์ไปยังเฟืองท้าย เนื่องจากในขณะที่ล้อยรถยนต์ เคลื่อนที่ขึ้น-ลง เพลากลางจะต้องปรับเปลี่ยนมุมตามสภาพของพื้นผิวถนน

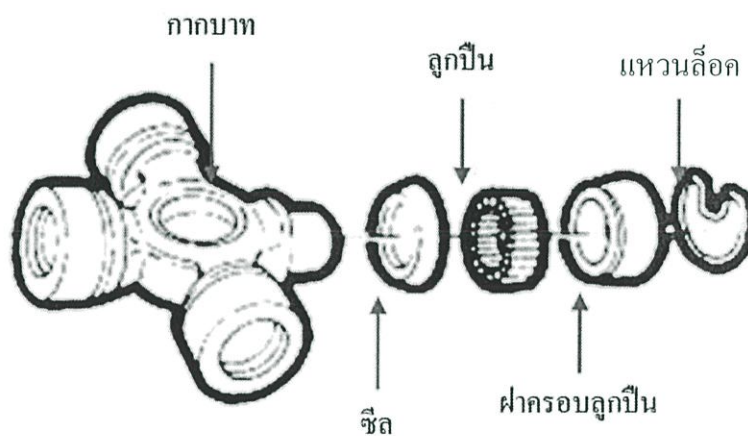
ข้อต่อเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเพลากลาง เพราะว่าเครื่องยนต์ไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกัน กับเฟืองท้าย ดังนั้น การส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังเฟืองท้ายจึงจำเป็นต้องใช้ข้อต่อ โดยส่วนใหญ่่มักจะเรียกข้อต่อว่า ข้อต่ออ่อน

2.6.1 ข้อต่ออ่อนแบบธรรมดาจะประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ก้ามปู 2 ตัว (Two – Yoke) กากบาท (Cross) หรือ สไปเดอร์ (Spider) ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของข้อต่ออ่อนแบบธรรมดา[8]

2.6.2 ข้อต่ออ่อนแบบกากบาทหรือแบบถ้วยลูกปืนแข็ง เป็นข้อต่ออ่อนที่นิยมใช้กันมากซึ่งจะประกอบด้วย ก้ามปู 2 ตัวยึดติดอยู่กับเพลากลาง 1 ตัว (Tube Yoke) และเพลากำลึงของเครื่องยนต์ 1 ตัว (Flange Yoke) ซึ่งจะมีกากบาท (Cross) เป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการส่งกำลัง โดยมีลูกปืนเข็ม (Needle) ทำหน้าที่ เป็นตัวช่วยลดแรงเสียดทานและช่วยให้ลูกปืนทั้งชุดทำงานได้ราบเรียบ ซึ่งหล่อลื่นด้วยจาระบี (Grease) ที่ปลายของกากบาทจะทำให้เป็นเดือยสวมพอดีกับลูกปืนเข็ม ฝาครอบลูกปืน (Bearing Cup) จะถูกคล้องด้วยแหวนล็อก (Snapping) ให้ติดกับก้ามปู ดังแสดงในรูปที่ 2.18

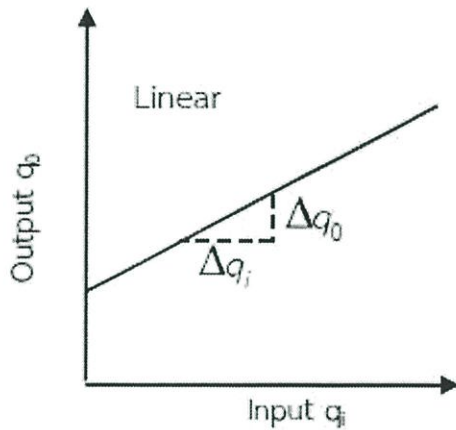


รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนแบบกากบาทและลูกปืน[8]

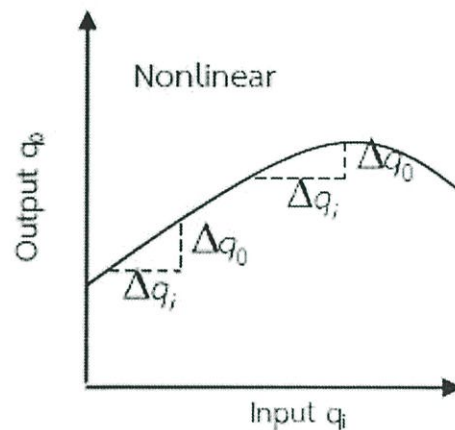
2.7 ความไว (Sensitivity) [9]

ความไว (sensitivity) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางด้านอินพุต ($\Delta O / \Delta I$) หรือค่าที่แสดงถึงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อเครื่องมือวัดได้รับสัญญาณอินพุต เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้วบรรจุปรอท (liquid filled in glass thermometer) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 10°C ระดับความสูงของปรอทเปลี่ยนแปลง 1 cm แสดงว่าเครื่องมือวัดนี้มีค่าความไวเท่ากับ $1 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$

เครื่องมือวัดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตเป็นเส้นตรง (รูปที่ 2.19) จัดเป็นเครื่องมือวัดแบบเชิงเส้น (linear instrument) มีค่าความไวคงที่และมีความเป็นเชิงเส้น (linearity) สำหรับเครื่องมือวัดแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear instrument) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตจะไม่เป็นเส้นตรง (รูปที่ 2.20) โดยค่าความไวเปลี่ยนแปลงตามย่านการวัด



รูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20

ความไวของเครื่องมือวัดแบบเชิงเส้น (รูปที่ 2.19) และแบบไม่เป็นเชิงเส้น (รูปที่ 2.20) [9]

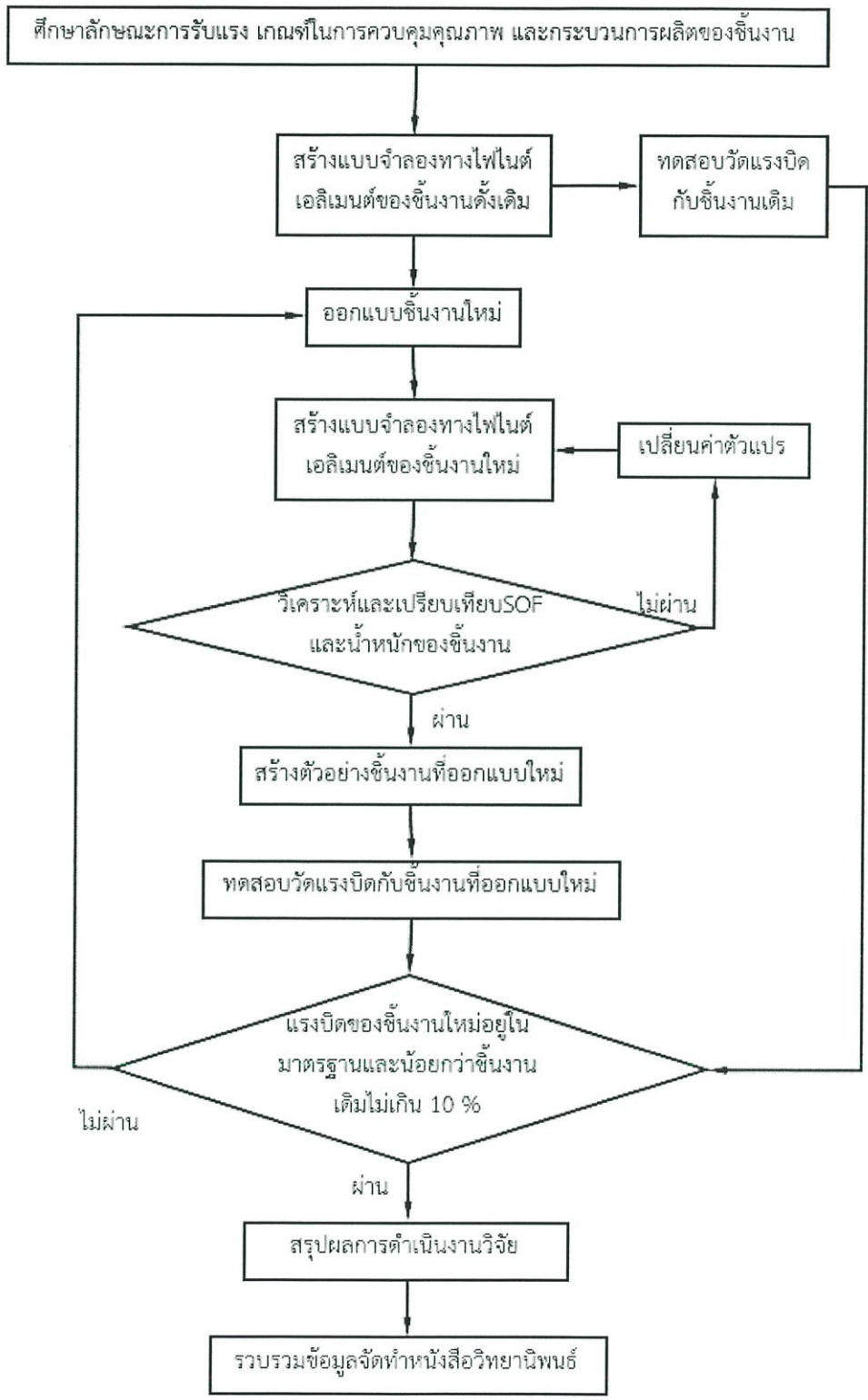
บทที่ 3

การดำเนินโครงการ

ในปัจจุบันการใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการออกแบบทางวิศวกรรมมีความสำคัญมากขึ้น เพราะว่าจะช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบ และหลีกเลี่ยงการลองผิดลองถูกที่เคยใช้กันในอดีต ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้นำวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในการออกแบบแก้ไขชิ้นงาน โดยจะใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) ในการจำลองชิ้นงาน และใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์คซิมูเลชัน (SolidWorks Simulation) ในการวิเคราะห์ซึ่งจะมีรายละเอียดในการดำเนินงานดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาลักษณะการรับแรงของชิ้นงาน เหนือในการควบคุมคุณภาพ และกระบวนการผลิตของชิ้นงาน
2. สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานดั้งเดิม เพื่อศึกษาความเค้นสูงสุดที่ชิ้นงานได้รับ ค่าตัวประกอบของความปลอดภัย (Safety of Factor) และตำแหน่งที่เริ่มเกิดความเสียหาย ของชิ้นงานตามการออกแบบเดิม
3. ออกแบบชิ้นงานใหม่
4. สร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานใหม่
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความปลอดภัย ที่น้อยที่สุดระหว่างชิ้นงานตามการออกแบบเดิมกับชิ้นงานใหม่ และน้ำหนักของชิ้นงานระหว่างชิ้นงานเดิมกับชิ้นงานใหม่
6. ทำการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) กับทั้งชิ้นงานเดิมและชิ้นงานใหม่
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงบิดระหว่างชิ้นงานเดิมและชิ้นงานใหม่
8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย
9. รวบรวมข้อมูลจัดทำหนังสือวิทยานิพนธ์

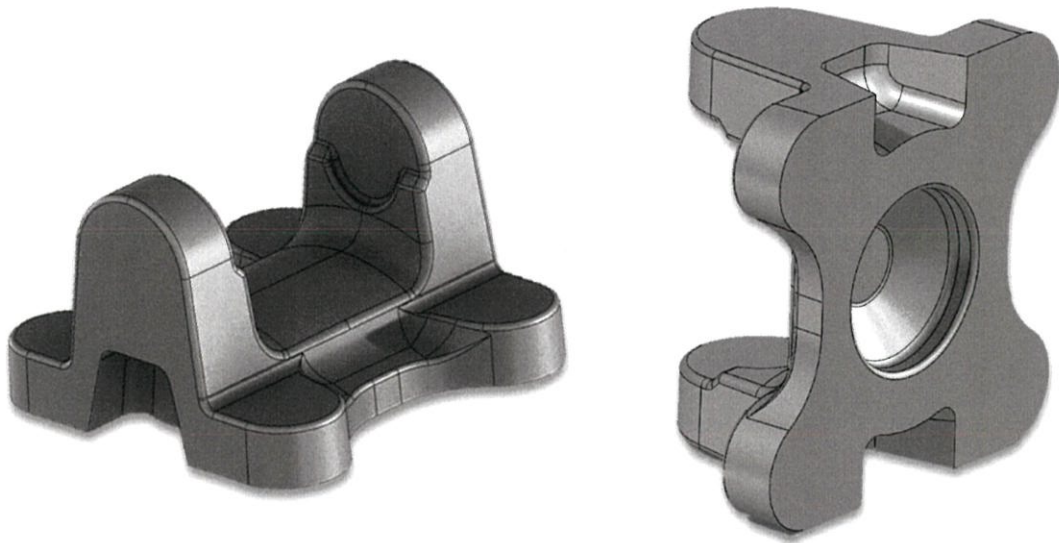


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การสร้างแบบจำลองของชิ้นงานด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks)

3.2.1 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม

แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิมถูกกำหนดโดยแบบจากทางบริษัท มีมวลเท่ากับ 1,584.94 กรัม และมีรูปร่างลักษณะเดิมที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง ในการทำงานในขั้นตอนนี้จะเป็นการเขียนโมเดล 3 มิติ เพื่อใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม

3.2.2 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม

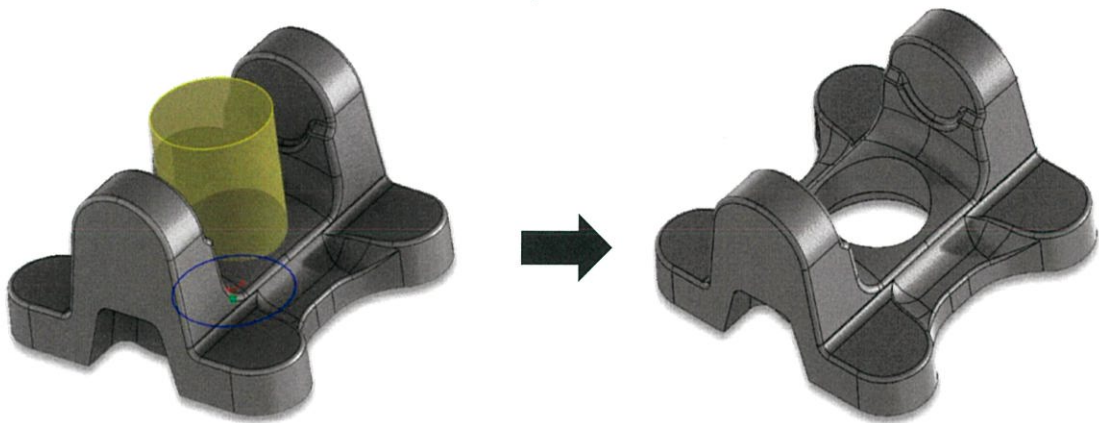
แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิมถูกกำหนดโดยแบบจากทางบริษัท มีมวล 1075.39 กรัม และมีรูปร่างลักษณะเดิมที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง ในการดำเนินงานในขั้นตอนนี้จะเป็นการเขียนโมเดล 3 มิติ เพื่อใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.3 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม

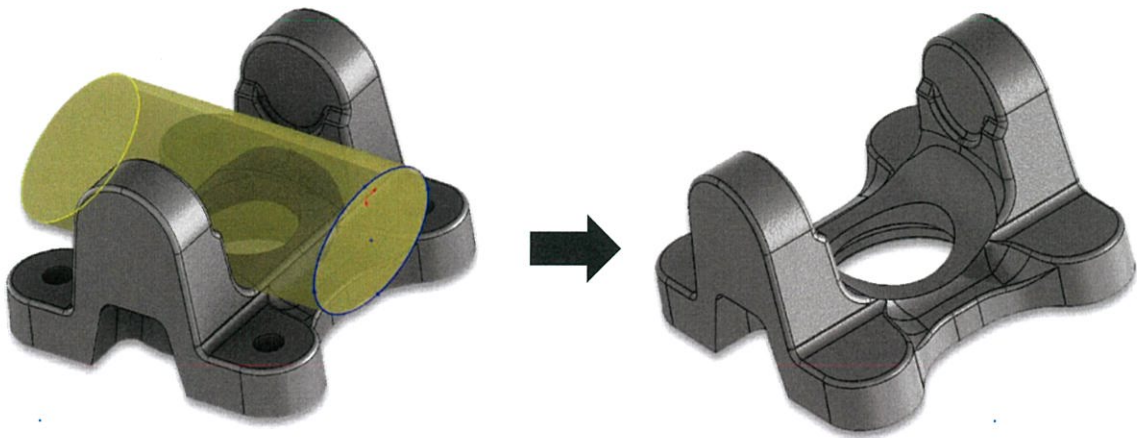
3.2.3 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่
แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่เป็น
การออกแบบปรับปรุงใหม่จากแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม
โดยได้ทำการลดเนื้อวัสดุของชิ้นงานในบริเวณที่ได้รับผลของความเค้นน้อยออก ซึ่งบริเวณที่ทำการลดเนื้อวัสดุ
ลงไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ได้แก่

3.2.3.1 บริเวณกลางตัวของหน้าแปลนก้ำมปู โดยใช้รัศมี 19 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ
16.67 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 155.58 กรัม ดังรูปที่ 3.4



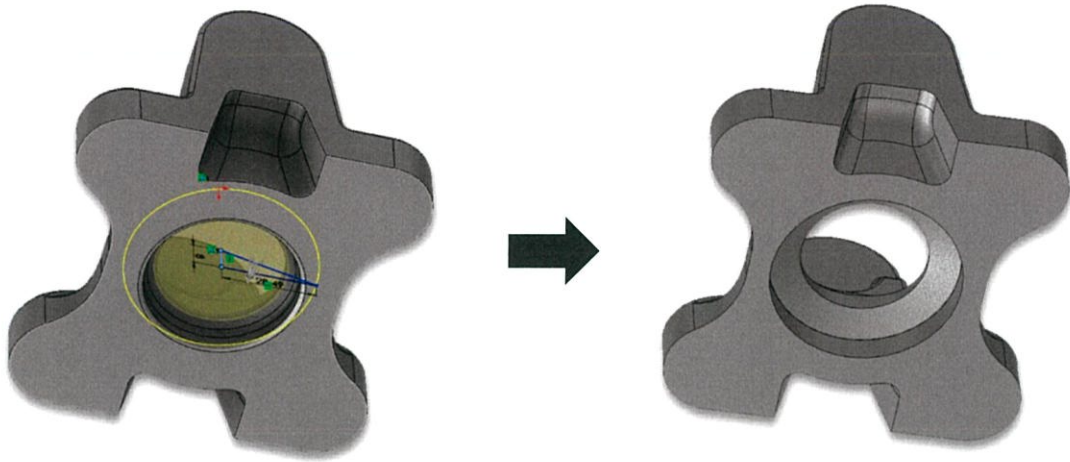
รูปที่ 3.4 การลดมวลของวัสดุบริเวณกลางตัวของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.2 บริเวณแนวกลางขนานกับฐานของหน้าแปลนก้ำมปู โดยใช้วงรีรัศมีตามแนวแกนนอน 29
มิลลิเมตร และรัศมีตามแนวแกนตั้ง 19 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 24.00 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้
57.60 กรัม ดังรูปที่ 3.5



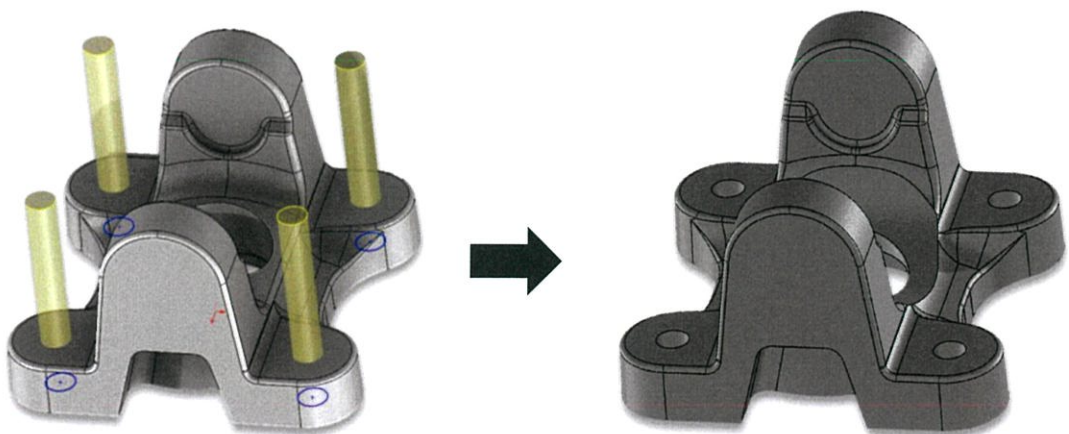
รูปที่ 3.5 การลดมวลของวัสดุบริเวณแนวกลางขนานกับฐานของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.3 บริเวณความชันของเบ้ายึดจับของหน้าแปลนก้ามปู โดยใช้รูปทรงกรวยรัศมี 28.49 มิลลิเมตร และความสูง 9.5 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 9.37 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 12.82 กรัม ดังรูปที่ 3.6



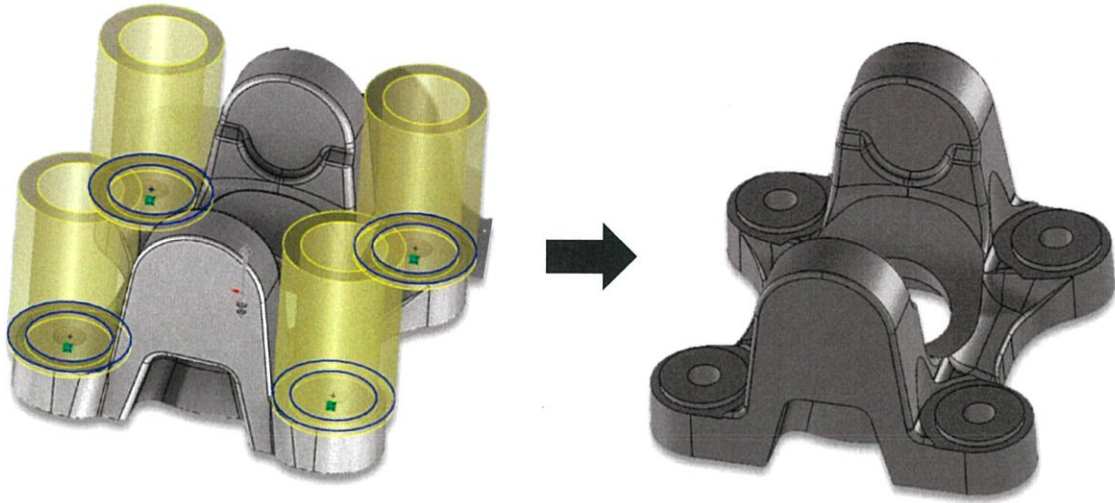
รูปที่ 3.6 การลดมวลของวัสดุบริเวณความชันของเบ้ายึดจับของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.4 บริเวณรูส่วนน็อตของหน้าแปลนก้ามปู เพื่อเป็นการลดเนื้อของวัสดุเหลือทิ้งจากการ ตกแต่ง โดยรัศมีของรูส่วนน็อต เท่ากับ 9 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 2.50 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 30.87 กรัม ดังรูปที่ 3.7



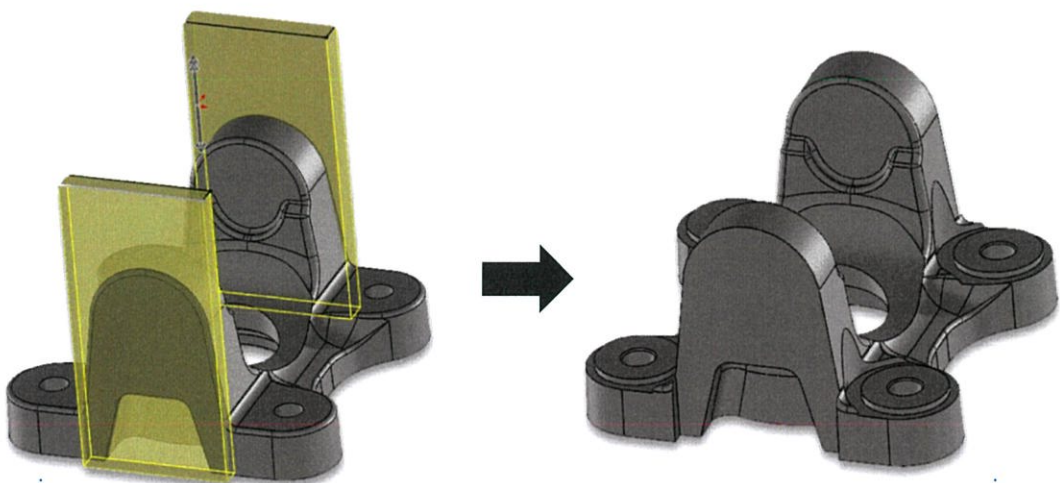
รูปที่ 3.7 การลดมวลของวัสดุบริเวณรูส่วนน็อตของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.5 บริเวณโดยรอบรูส่วนน็อคของหน้าแปลนก้ามปู โดยใช้วงกลมที่มีรัศมีภายนอก 17.00 มิลลิเมตร และรัศมีภายใน 11.90 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 4.63 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 24.66 กรัม ดังรูปที่ 3.8



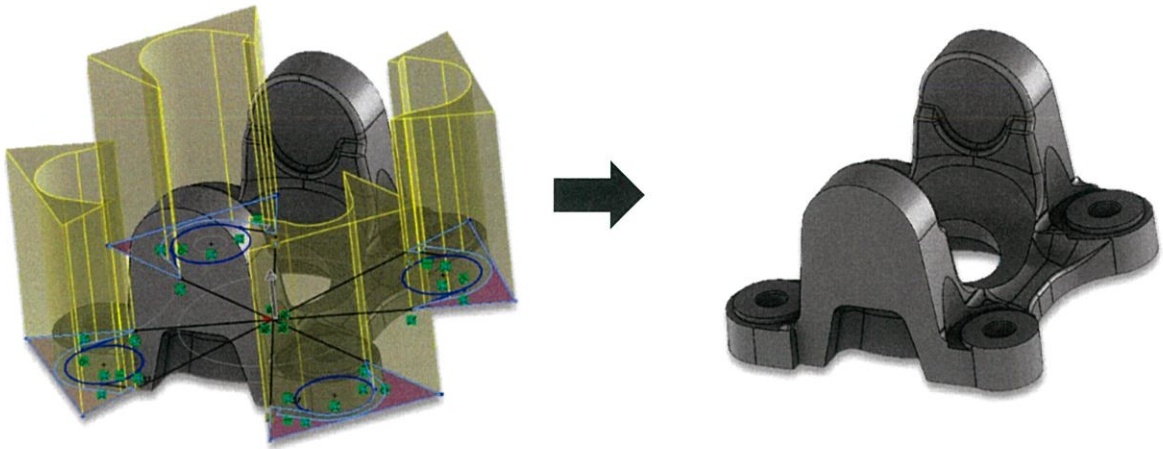
รูปที่ 3.8 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบรูส่วนน็อคของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.6 บริเวณด้านนอกของหูของหน้าแปลนก้ามปู เพื่อเป็นการลดเนื้อของวัสดุเหลือทิ้งจากการตกแต่งโดยทำมุมเอียง 2 องศา จากแนวตั้งที่ฐานของหน้าแปลนก้ามปู โดยมีค่าความไวเท่ากับ 8.72 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 84.65 กรัม ดังรูปที่ 3.9



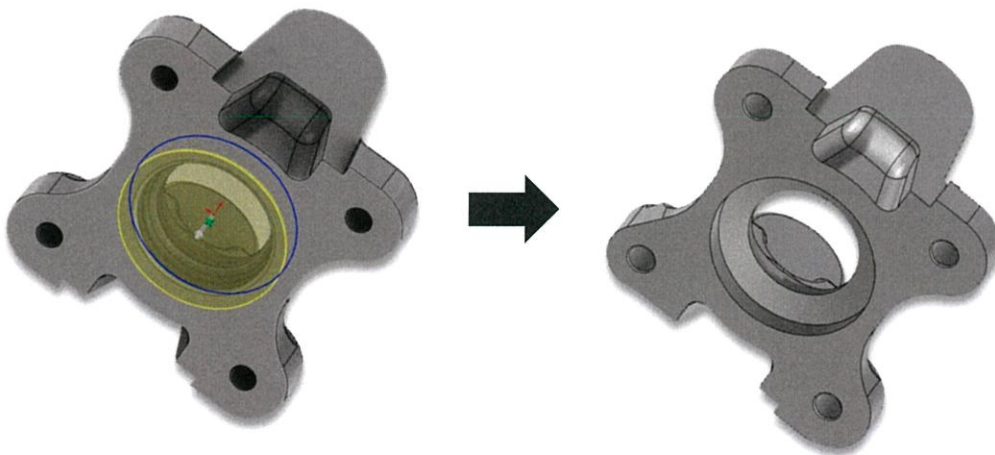
รูปที่ 3.9 การลดมวลของวัสดุบริเวณด้านนอกของหูของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.7 บริเวณโดยรอบนอกของรูสามน๊อตของหน้าแปลนก้ามปู โดยรัศมีจากรูสามน๊อต เท่ากับ 11.90 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 0.00 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 53.22 กรัม ดังรูปที่ 3.10



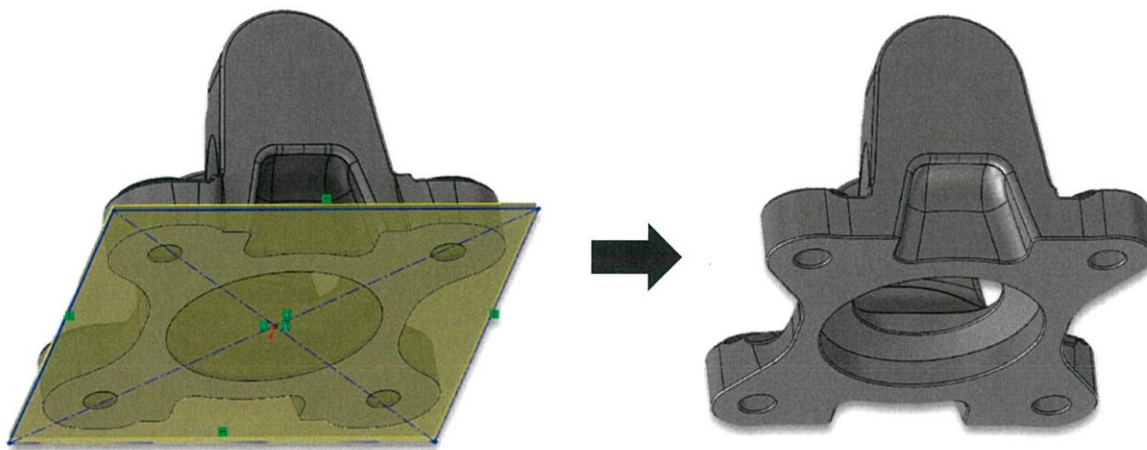
รูปที่ 3.10 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบนอกรูสามน๊อตของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.8 บริเวณรูจับยึดของหน้าแปลนก้ามปู เพื่อเป็นการลดเนื้อของวัสดุเหลือทิ้งจากการตกแต่ง โดยขนาดของรูมีรัศมี 28.50 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 2.50 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 63.69 กรัม ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การลดมวลของวัสดุบริเวณรูจับยึดของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

3.2.3.9 บริเวณหน้าสัมผัสกับเครื่องยนต์และเฟืองท้ายของหน้าแปลนก้ามปู เพื่อเป็นการลดเนื้อของวัสดุเหลือทิ้งจากการตกแต่ง โดยลดความสูงลงจากเดิม 1.50 มิลลิเมตร โดยมีค่าความไวเท่ากับ 0.00 กรัมต่อมิลลิเมตร ลดมวลลงได้ 61.31 กรัม ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การลดมวลของวัสดุบริเวณหน้าสัมผัสกับเครื่องยนต์และเฟืองท้ายของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูป

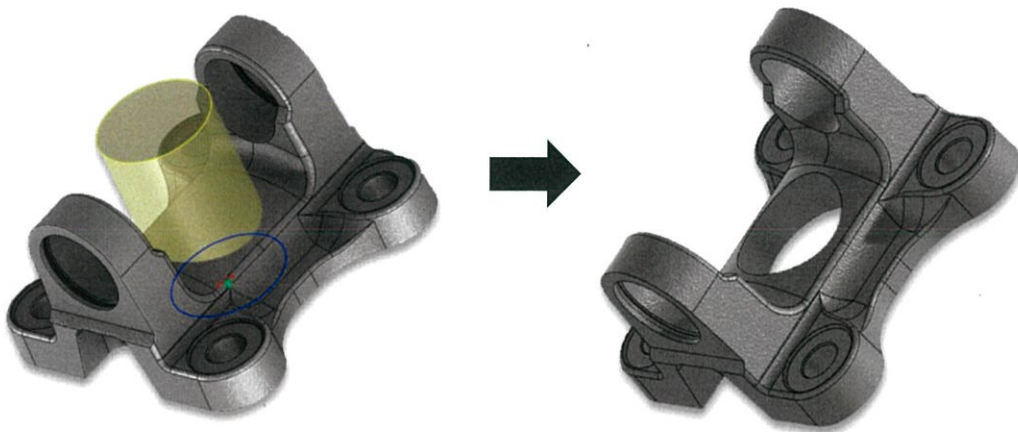
เมื่อทำการลดมวลตามขั้นตอนข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จะได้แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ ดังรูปที่ 3.13 มีมวลเท่ากับ 1,090.61 กรัม



รูปที่ 3.13 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

3.2.4 การสร้างแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่
แบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่เป็นการออกแบบ
ปรับปรุงใหม่จากแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม โดยได้ทำการลด
เนื้อวัสดุของชิ้นงานในบริเวณที่ได้รับผลของความเค้นน้อยออก ซึ่งบริเวณที่ทำการลดเนื้อของวัสดุลงไม่ส่งผล
กระทบต่อกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ได้แก่

3.2.4.1 บริเวณกลางตัวของหน้าแปลนก้ำมปู โดยใช้รัศมี 19 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.14



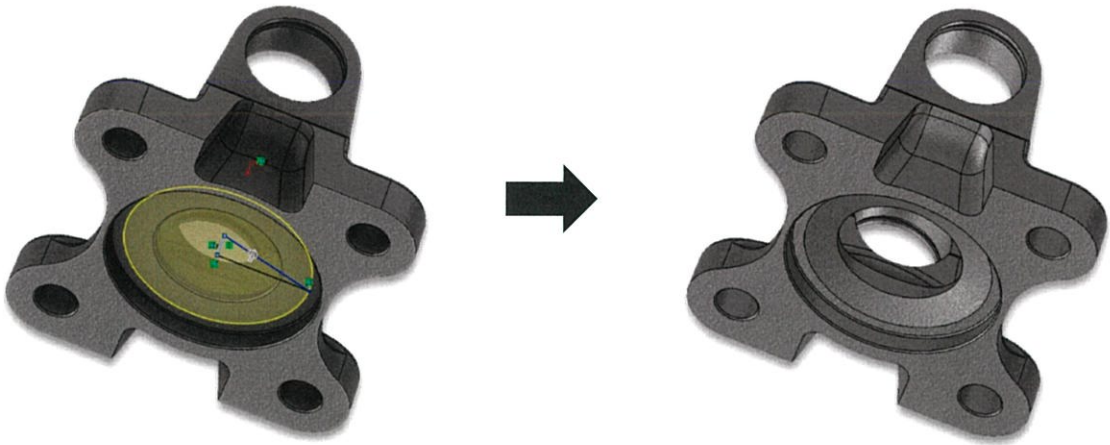
รูปที่ 3.14 การลดมวลของวัสดุบริเวณกลางตัวของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง

3.2.4.2 บริเวณแนวกลางขนานกับฐานของหน้าแปลนก้ำมปู โดยใช้วงรีรัศมีตามแนวแกนนอน 29
มิลลิเมตร และรัศมีตามแนวแกนตั้ง 19 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.15



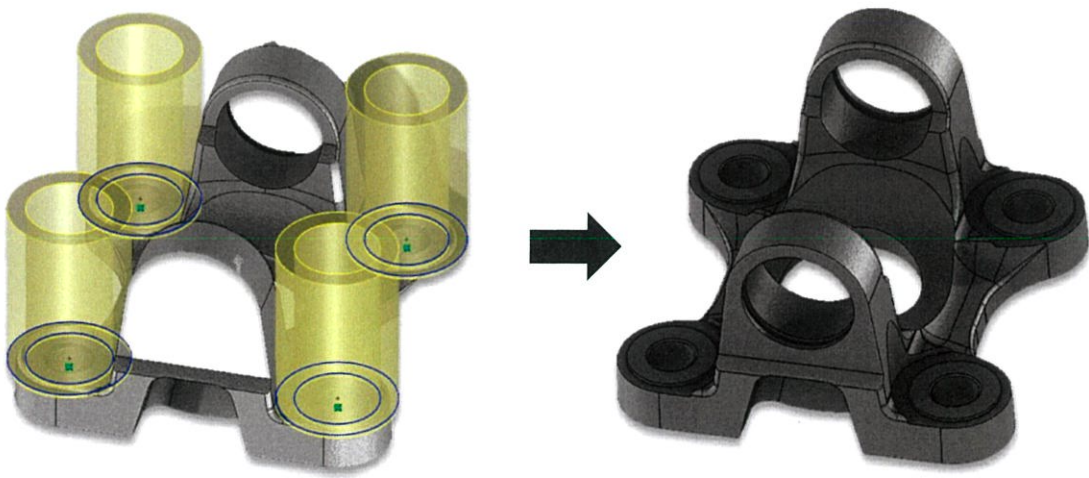
รูปที่ 3.15 การลดมวลของวัสดุบริเวณแนวกลางขนานกับฐานของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่ง

3.2.4.3 บริเวณความชันของเบ้ายึดจับของหน้าแปลนก้ามปู โดยใช้รูปทรงกรวยรัศมี 28.49 มิลลิเมตร และความสูง 9.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การลดมวลของวัสดุบริเวณความชันของเบ้ายึดจับของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่ง

3.2.4.4 บริเวณโดยรอบรูส่วนน็อคของหน้าแปลนก้ามปู โดยใช้ช่วงกลมที่มีรัศมีภายนอก 17.00 มิลลิเมตร และรัศมีภายใน 11.90 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.17



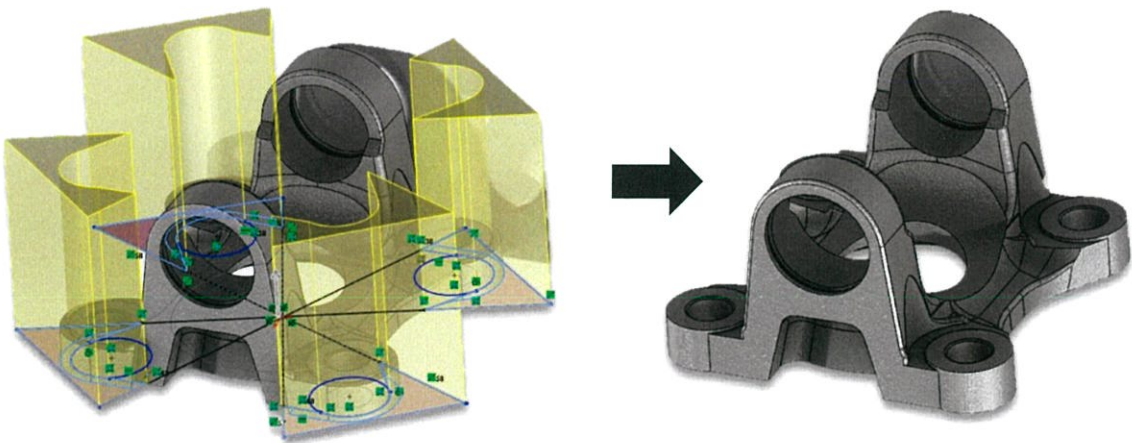
รูปที่ 3.17 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบรูส่วนน็อคของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่ง

3.2.4.5 บริเวณด้านนอกของหูของหน้าแปลนก้ามปู เพื่อเป็นการลดเนื้อวัสดุเหลือทิ้งจากการ ตกแต่งโดยทำมุมเอียง 2 องศา จากแนวตั้งที่ฐานของหน้าแปลนก้ามปู ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การลดมวลของวัสดุบริเวณด้านนอกของหูของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่ง

3.2.4.6 บริเวณโดยรอบนอกของรูสวมน็อตของหน้าแปลนก้ามปู โดยรัศมีจากรูสวมน็อต เท่ากับ 11.90 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การลดมวลของวัสดุบริเวณโดยรอบนกรูสวมน็อตของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่ง

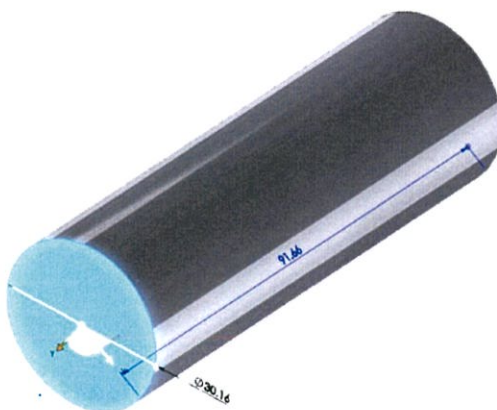
เมื่อทำการลดมวลตามขั้นตอนข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จะได้แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปู หลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ ดังรูปที่ 3.20 มีมวลเท่ากับ 782.68 กรัม



รูปที่ 3.20 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

3.2.5 การสร้างแบบจำลองของกากบาท (Journal Cross)

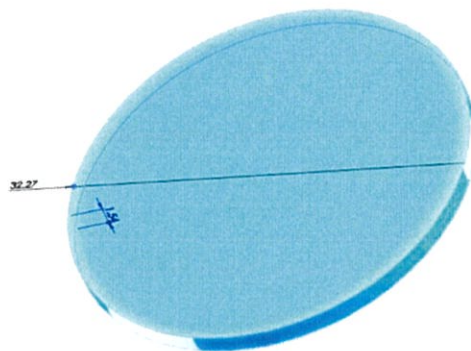
ในการวิเคราะห์ผลของแรงที่กระทำต่อหน้าแปลนก้ามปูนั้น ชิ้นส่วนที่ส่งผ่านแรงและติดกับหน้าแปลนก้ามปู คือ กากบาท (Journal Cross) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญและมีผลต่อการจำลองการรับแรงของหน้าแปลนก้ามปู จึงจำลองกากบาทขึ้นมาเพื่อประกอบเข้ากับหน้าแปลนก้ามปูในการจำลองการรับแรงของหน้าแปลนก้ามปู โดยเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.16 มิลลิเมตร และยาว 91.66 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แบบจำลองของกากบาท

3.2.6 การสร้างแบบจำลองของแหวนล๊อค (Snapping)

ในการวิเคราะห์ผลของแรงที่กระทำต่อหน้าแปลนกำมปูนั้น ชิ้นส่วนที่ล๊อคเพื่อไม่ให้กากบาทหลุดจาก หน้าแปลนกำมปูขณะใช้งาน คือ แหวนล๊อค (Snapping) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญและมีผลต่อการจำลองการรับแรงของ หน้าแปลนกำมปู จึงจำลองแหวนล๊อคขึ้นมาเพื่อประกอบเข้ากับหน้าแปลนกำมปูในการจำลองการรับแรงของหน้าแปลนกำมปู โดยเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30.27 มิลลิเมตร และหนา 1.54 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แบบจำลองของแหวนล๊อค

3.3 การวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์คซิมูเลชัน (SolidWorks Simulation)

ในการศึกษาและวิเคราะห์ชิ้นงานหน้าแปลนกำมปูของรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์ (T6 1350) สามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.3.1 การเลือกประเภทของปัญหา

ทำการให้ข้อมูลรูปแบบของปัญหาเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยในการศึกษารั้งนี้จะทำการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์แบบสถิต (Static) เพราะกำหนดให้ความเร็วเชิงมุมของการหมุนมีค่าน้อยมาก จึงไม่พิจารณาแรงเนื่องจากความเร่งเชิงมุม

3.3.2 การเลือกคุณสมบัติทางกล (Mechanical Property) ของวัสดุที่ใช้ทำการวิเคราะห์

กำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้กับชิ้นงาน โดยให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติเป็นเหล็กหล่อ ASTM A274 เป็นโลหะที่มีเหล็กเป็นส่วนผสมหลัก (Ferrous metal) เป็นไปตามมาตรฐานของสมาคม

การทดสอบและวัสดุศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials : ASTM) ซึ่งใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดี เป็นโครงสร้างต่างๆ ใช้ในการก่อสร้างตึก ก่อสร้างสะพาน สร้างเรือ หรือใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น โดยคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ของวัสดุได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และส่วนประกอบทางเคมีได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็ก ASTM A274 [10]

คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)	ปริมาณ
ความหนาแน่น (Density) (kg/m ³)	7580
ความเค้นคราก (Yield Strength) (MPa)	528
ความต้านความเค้นดึง (Tensile Stress) (MPa)	800
โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) (GPa)	158
ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation) (%)	5
ความแข็ง (Brinell Hardness) (BHN)	277
อัตราปัวซอง (Poisson's Ratio)	0.27

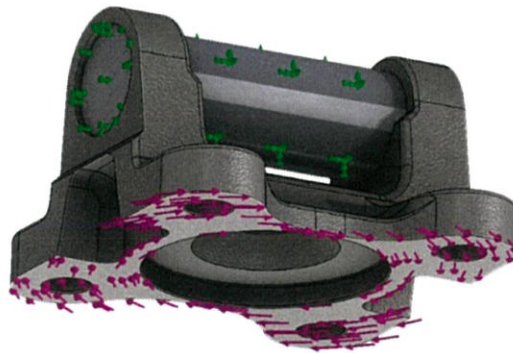
ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก ASTM A274 [10]

ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Analysis)	เปอร์เซ็นต์ (%)
เหล็ก (Fe)	92.603
คาร์บอน (C)	3.487
ซิลิกอน (Si)	2.503
แมงกานีส (Mn)	0.414
ฟอสฟอรัส (P)	0.029
กำมะถัน (S)	0.012
ทองแดง (Cu)	0.849
ดีบุก (Sn)	0.020
โครเมียม (Cr)	0.029
ซีเซียม (Ce)	0.013
แมกนีเซียม (Mg)	0.041

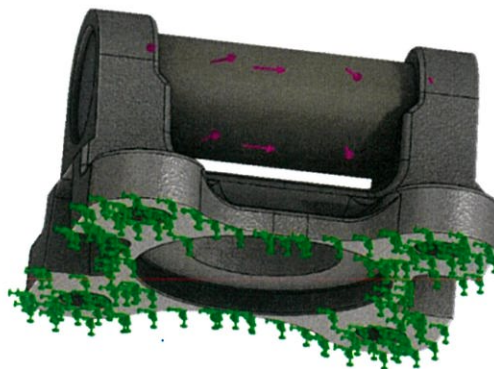
3.3.3 กำหนดตำแหน่งที่มีแรงมากระทำและตำแหน่งจับยึดชิ้นงาน

ในการวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานนั้น ได้ใช้วิธีการให้แรงแก่ชิ้นงานที่ทำการวิเคราะห์ รูปแบบของแรงจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเครื่องยนต์ (Transmission Side) และกรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเฟืองท้าย (Rear Axle Side) โดยเลือกกำหนดการให้แรงในโปรแกรมโซลิตเวิร์คซิมูเลชันเป็นแบบแรงหรือทอร์ค (Force/Torque) และวิเคราะห์ในรูปแบบ สถิต (Static)

ในกรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเครื่องยนต์ จะเลือกให้กากบาท (Journal Cross) เป็นชิ้นส่วนตรึงแน่น (Fixed Geometry) และเลือกบริเวณหน้าแปลน (Flange Face) เป็นส่วนที่รับแรงบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.23 ส่วนในกรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเฟืองท้าย จะเลือกให้บริเวณหน้าแปลน (Flange Face) เป็นจุดตรึงแน่น (Fixed Geometry) และเลือกให้กากบาท (Journal Cross) เป็นส่วนรับแรงบิด ดังแสดงในรูปที่ 3.24 โดยแรงบิดที่ใส่เป็นเกณฑ์ของบริษัท คือ ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน เท่ากับ 3,040 นิวตันเมตร



รูปที่ 3.23 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเครื่องยนต์



รูปที่ 3.24 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ามปูเป็นส่วนประกอบกับเฟืองท้าย

3.3.4 กระบวนการสร้างเอลิเมนต์

เมื่อทำการกำหนดข้อมูลของชิ้นงานให้กับโปรแกรมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างเอลิเมนต์ เป็นการแบ่งชิ้นงานเป็นส่วนย่อยๆ (Meshing) เพื่อวิเคราะห์ผลของแรงที่กระทำต่อแต่ละส่วนนั้น ซึ่งเอลิเมนต์ที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์นี้จะเลือกใช้เอลิเมนต์แบบที่ประกอบด้วย 4 โหนดต่อเอลิเมนต์ (Shell Mesh Using Mid-surface)



รูปที่ 3.25 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิมที่ผ่านการสร้างเอลิเมนต์แล้ว



รูปที่ 3.26 แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ ที่ผ่านการสร้างเอลิเมนต์แล้ว

โดยแบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิมที่ผ่านการสร้างเอลิเมนต์แล้ว มีจำนวนโหนด 60,300 โหนด และมีจำนวนเอลิเมนต์ 39,487 เอลิเมนต์ ขนาด 3.26069 มิลลิเมตร ส่วน

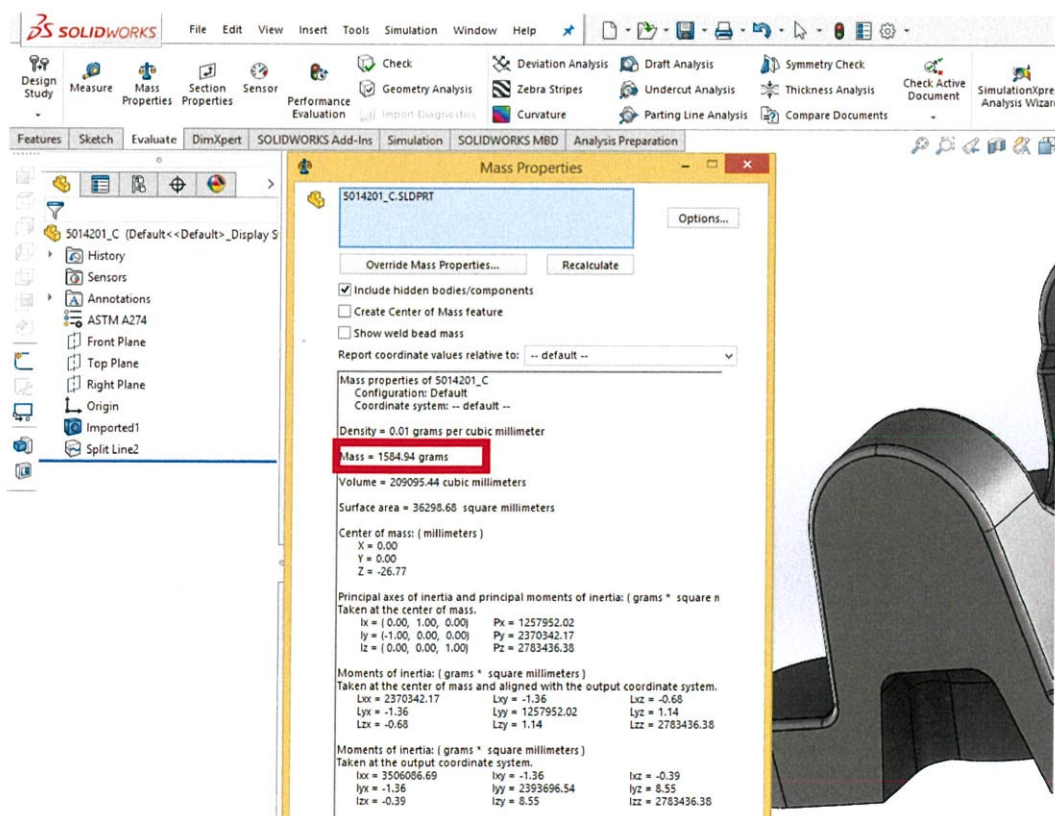
แบบจำลองของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ผ่านการสร้างเอลิเมนต์แล้ว มีจำนวนโหนด 61,917 โหนด และมีจำนวนเอลิเมนต์ 37,702 เอลิเมนต์ ขนาด 2.93304 มิลลิเมตร

3.3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์

คอมพิวเตอร์จะประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปของความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานซึ่งแสดงในลักษณะของเฉดสีเรียงลำดับโดยจะไล่ตั้งแต่บริเวณสีแดงเป็นบริเวณที่มีค่าตัวประกอบความปลอดภัยน้อยไปสู่อบริเวณสีน้ำเงินซึ่งเป็นบริเวณที่มีค่าตัวประกอบความปลอดภัยมาก

3.4 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค

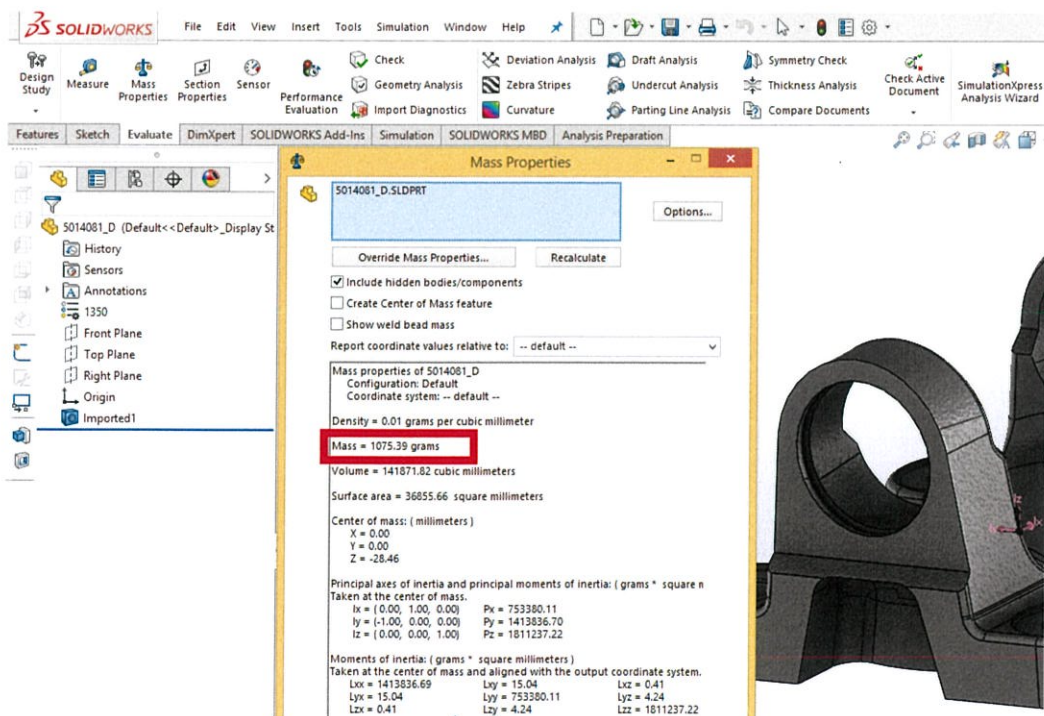
เมื่อกำหนดคุณสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กหล่อ ASTM A274 สามารถหามวลของชิ้นงานได้โดยใช้คำสั่ง Mass Properties ใน Evaluate Toolbar และได้ทำการเปรียบเทียบค่ามวลของชิ้นงานจริงกับมวลที่ได้จากโปรแกรมเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.27 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิมด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค



รูปที่ 3.28 การชั่งมวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม



รูปที่ 3.29 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิมด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค



รูปที่ 3.30 การชั่งมวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบมวลชิ้นงานปัจจุบันกับค่ามวลจากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค

ชิ้นงาน	มวลจริง (g)	ค่าจากโปรแกรม (g)	คลาดเคลื่อน (%)
หน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบเดิม	1,584.38	1,584.94	0.035
หน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบเดิม	1,076.80	1,075.39	0.131

3.5 การทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test)

เมื่อได้ชิ้นงานจริงของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งแล้ว ทั้งตามการออกแบบเดิมและตามการออกแบบปรับปรุงใหม่แล้ว การนำชิ้นงานไปทดสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะทำให้มั่นใจผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเลือกการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) กับงานวิจัยนี้ โดยศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ (ศพว.) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยเงื่อนไขในการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) ถูกกำหนดโดยมาตรฐานการทดสอบจากบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ดังนี้

3.5.1 ต้องมีชิ้นงานทดสอบอย่างน้อย 3 ชิ้นงาน

3.5.2 ทำการทดสอบด้วยเครื่องประเภททีเนียสโอเซน (Horizontal Tinius Olsen Stand)

3.5.3 ทำการประกอบแบบหน้าแปลนคู่ เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายเฉพาะหน้าแปลนก้ามปู ซึ่งใน 1 คู่จะประกอบด้วยชิ้นส่วนดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของแบบหน้าแปลนคู่

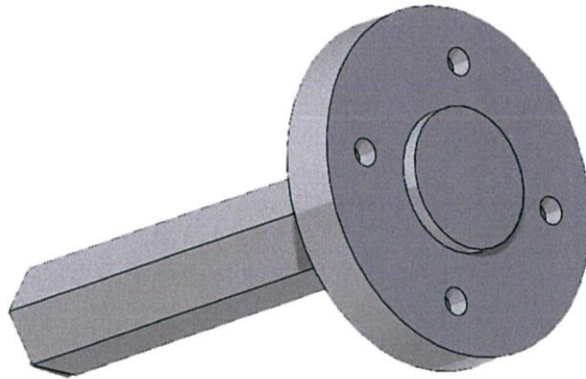
ชื่อชิ้นส่วน	จำนวน (ชิ้น)
หน้าแปลนก้ามปูหลังจากการตกแต่งแล้ว	2
กากบาท	1
แบริ่ง	4
แหวนล็อก	4

3.5.4 ชิ้นงานที่นำมาทดสอบต้องมาจากแหล่งเดียวกัน กล่าวคือ มาจากรอบการผลิตเดียว และมาจากแม่พิมพ์เดียวกัน เพื่อลดตัวแปรที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

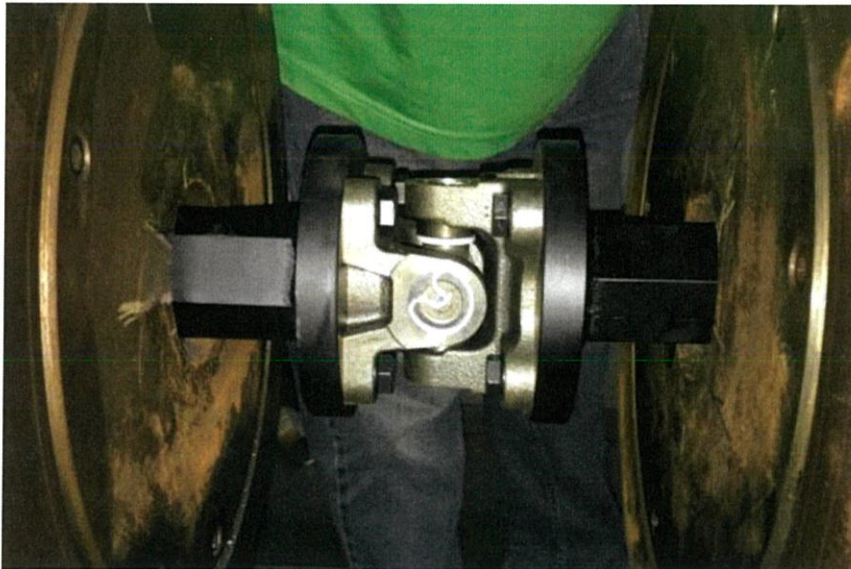
3.5.5 ทำการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) ด้วยความเร็วการหมุน 6 องศา/นาที

3.5.6 เปลี่ยนน็อตและแหวนรอง (Bolt and Washer) ในแต่ละการทดลอง

3.5.7 บันทึกค่าความเค้นที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 1 องศา นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน



รูปที่ 3.31 การจำลองตัวจับยึดชิ้นงาน ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค



รูปที่ 3.32 การประกอบชิ้นงานเพื่อเตรียมการทดสอบ

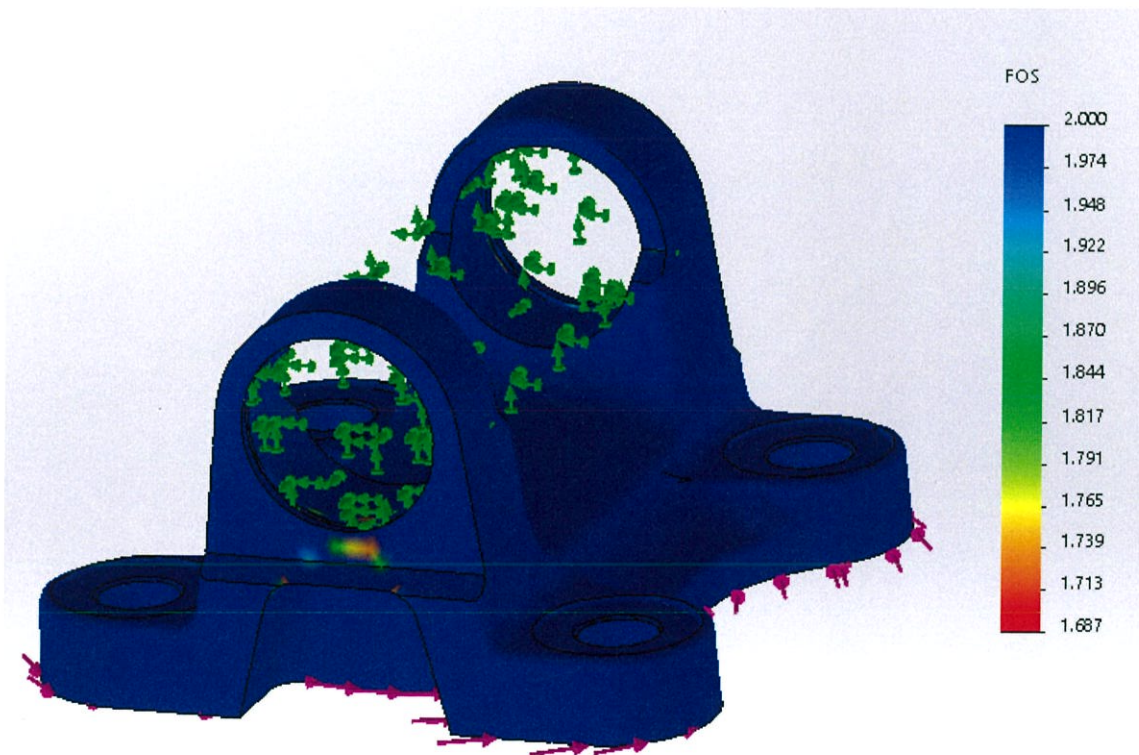
บทที่ 4

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดสอบของหน้าแปลนก้ำมปูหลังจากทำการตกแต่งแล้วโดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

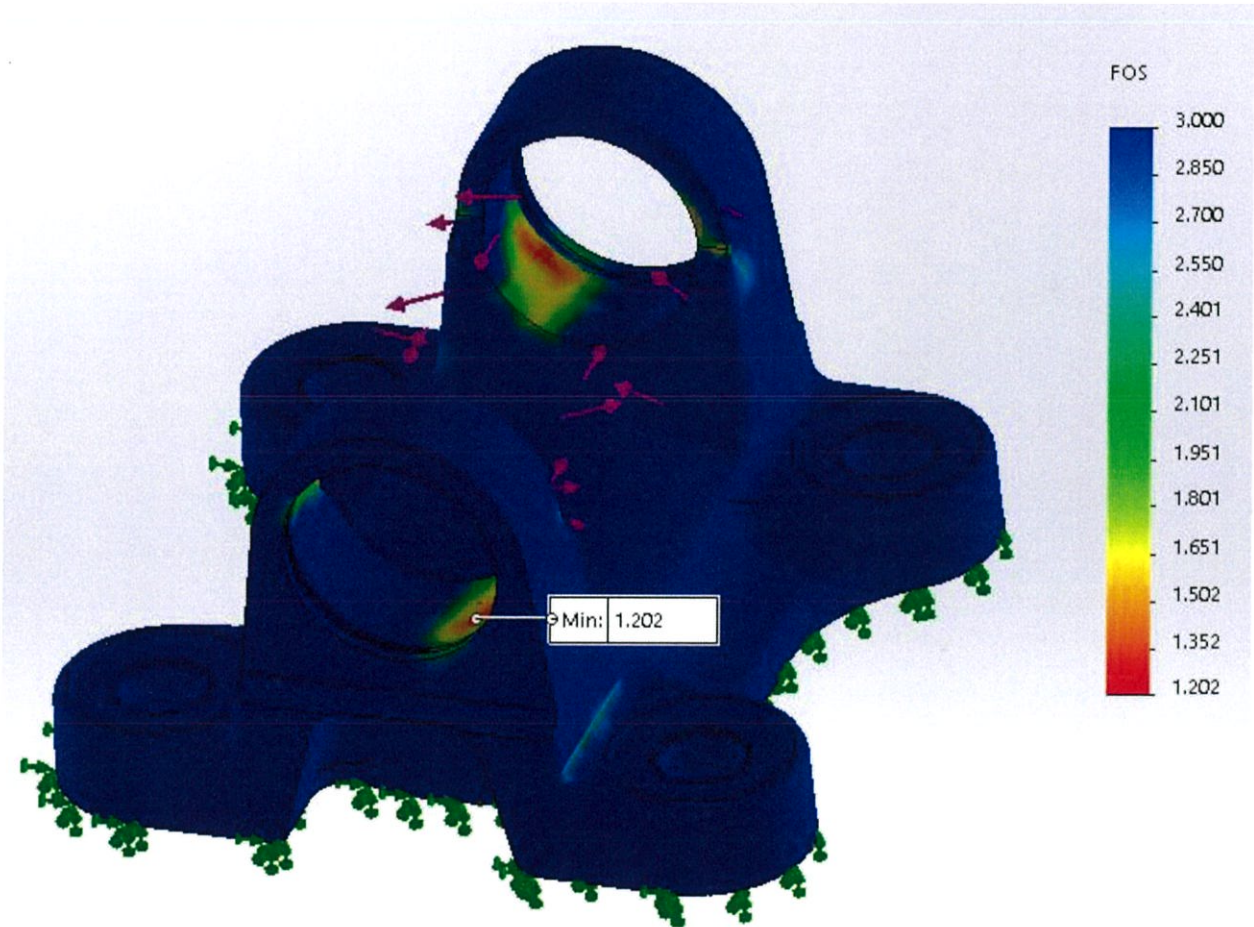
4.1.1 ผลการทดสอบหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิม

เมื่อนำแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมกรณี หน้าแปลนก้ำมปูติดกับเครื่องยนต์ไปจำลองการรับแรงในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ผลของค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมกรณี หน้าแปลนก้ำมปูติดกับเครื่องยนต์

เมื่อนำแบบจำลองของหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิมกรณีทีหน้าแปลนกำมปูติดกับเฟืองท้ายไปจำลองการรับแรงในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ผลของค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิมกรณีทีหน้าแปลนกำมปูติดกับเฟืองท้าย

จากผลทีแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 สามารถอ่านค่าตัวประกอบความปลอดภัยทีเกิดขึ้นบนบริเวณต่างๆ บนหน้าแปลนกำมปูได้จากแถบสีทีแสดงด้านข้างซึ่งแถบสีทีมีค่าตัวประกอบความปลอดภัยทีมีค่าน้อยทีสุดคือบริเวณทีมีสีแดง ส้ม และเหลือง ตามลำดับ โดยในกรณีทีหน้าแปลนกำมปูติดกับเครื่องยนต์มีค่าตัวประกอบความปลอดภัย เท่ากับ 1.687 และในกรณีทีหน้าแปลนกำมปูติดกับเฟืองท้าย มีค่าตัวประกอบความปลอดภัย เท่ากับ 1.202 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2

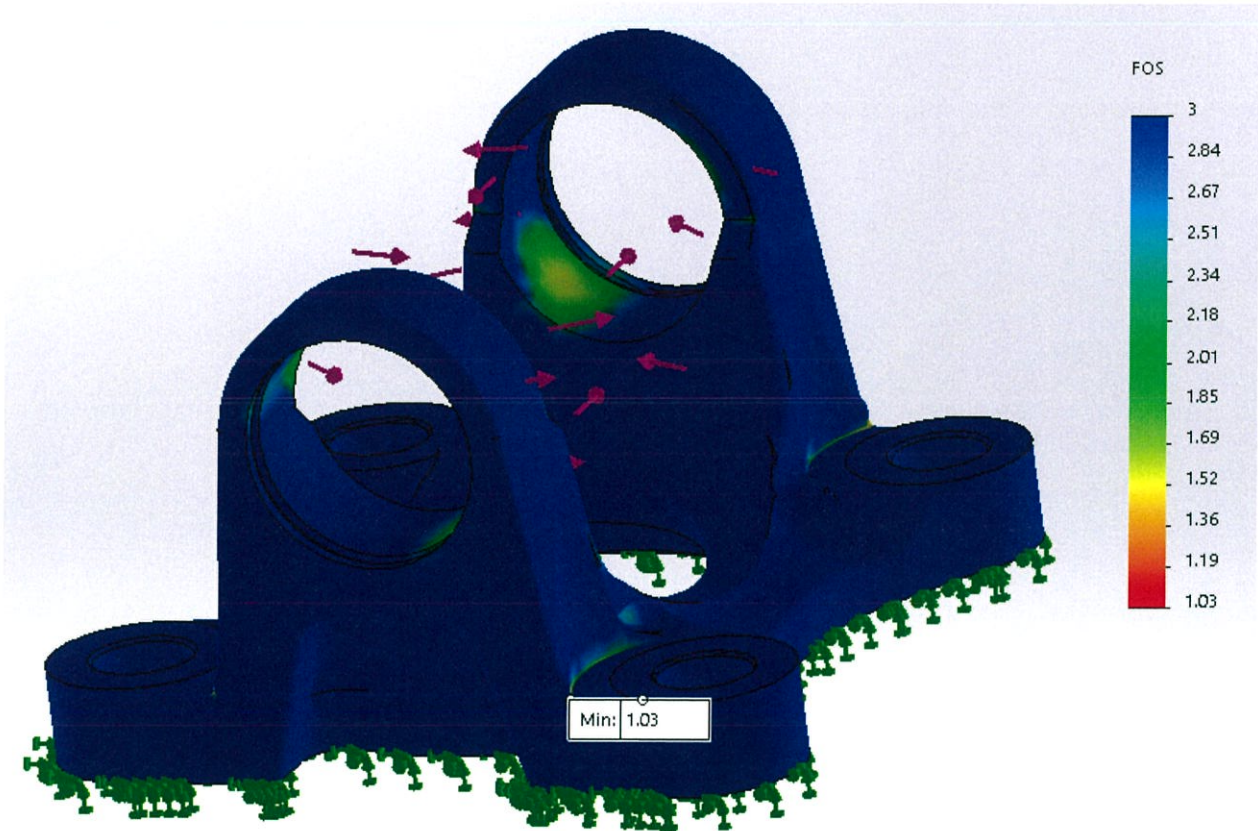
4.1.2 ผลการทดสอบหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

เมื่อนำแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่กรณี หน้าแปลนก้ำมปูติดกับเครื่องยนต์ไปจำลองการรับแรงในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ผลของค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ กรณีที่หน้าแปลนก้ำมปูติดกับเครื่องยนต์

เมื่อนำแบบจำลองของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่กรณีทีหน้าแปลนก้ำมปูติดกับเฟืองท้ายไปจำลองการรับแรงในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ผลของค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงค่าตัวประกอบความปลอดภัยของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ กรณีทีหน้าแปลนก้ำมปูติดกับเฟืองท้าย

จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 สามารถอ่านค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่เกิดขึ้นบน บริเวณต่างๆ บนหน้าแปลนก้ำมปูได้จากแถบสีที่แสดงด้านข้างซึ่งแถบสีที่มีค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่มีค่าน้อยที่สุดคือบริเวณที่มีสีแดง ส้ม และเหลือง ตามลำดับ โดยในกรณีทีหน้าแปลนก้ำมปูติดกับ เครื่องยนต์ มีค่าตัวประกอบความปลอดภัย เท่ากับ 1.08 และในกรณีทีหน้าแปลนก้ำมปูติดกับเฟืองท้าย มีค่าตัวประกอบความปลอดภัย เท่ากับ 1.03 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4

4.2 ผลการทดสอบแรงบิด (Torsion Static Test) ของหน้าแปลนกำมปูหลังจากทำการตกแต่งแล้ว

4.2.1 ผลการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิม

จากการทดสอบพบว่า ทั้งชิ้นงานทั้ง 3 คู่ ที่เกิดความเสียหาย เป็นหน้าแปลนกำมปูที่ติดกับเฟืองท้าย มีจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายเดียวกัน คือ บริเวณด้านในของหูของหน้าแปลนกำมปู ดังรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามการจำลองการรับแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 จากนั้นทำการหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน ดังรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.5 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 1



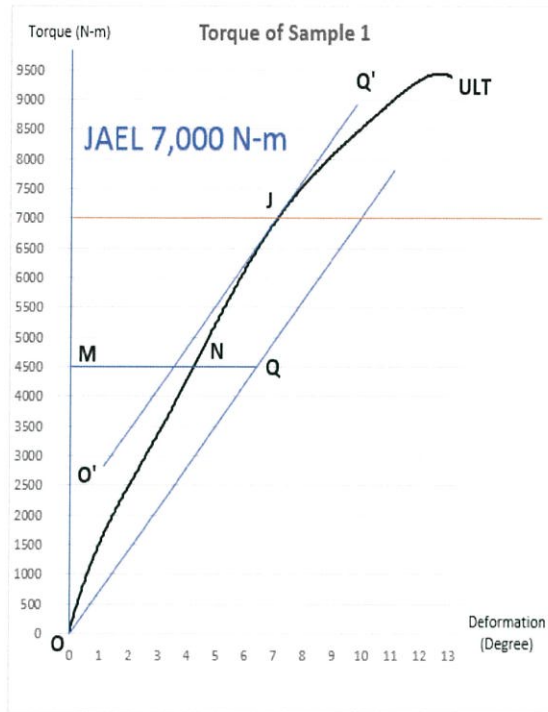
รูปที่ 4.6 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 2



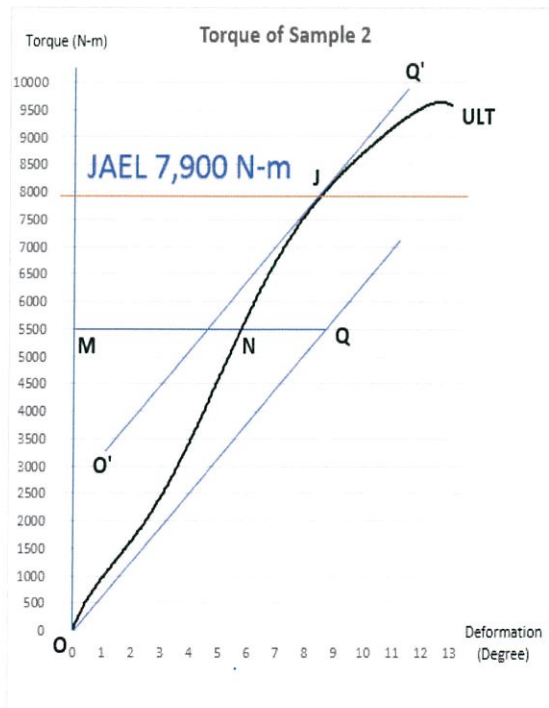
รูปที่ 4.7 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 3

ตารางที่ 4.1 การบันทึกค่าแรงบิดทุกๆ การเปลี่ยนแปลง 1 องศา ของหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิม

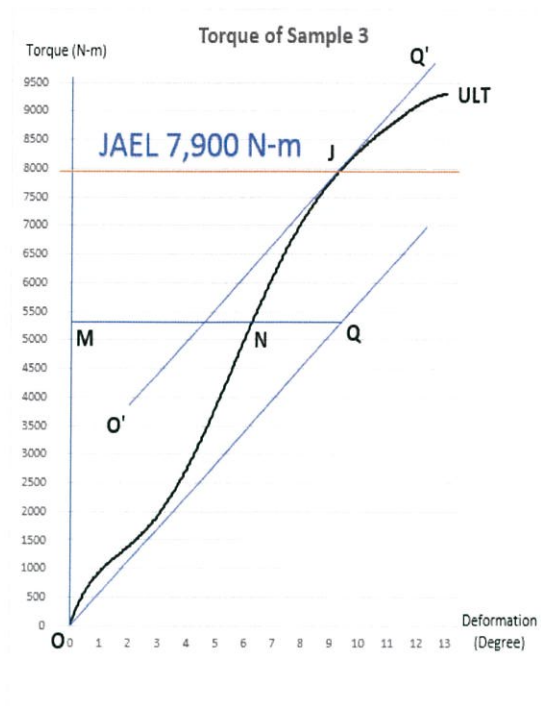
การเสีयरู (องศา)	ค่าแรงบิด (N-m)		
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3
0	0	0	0
1	1,666	1,029	1,029
2	2,401	1,568	1,274
3	3,332	2,450	1,960
4	4,263	3,430	2,744
5	5,586	4,704	3,920
6	6,027	5,782	4,998
7	6,860	6,762	6,125
8	7,546	7,546	7,056
9	8,134	8,232	7,742
10	8,624	8,820	8,379
11	8,967	9,212	8,771
12	9,310	9,506	9,065
13	9,408	9,604	9,310



รูปที่ 4.8 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 1



รูปที่ 4.9 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมชิ้นงานที่ 2



รูปที่ 4.10 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอร์นสันของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมชั้นงานที่ 3

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 สามารถอ่านค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอร์นสันได้ดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอร์นสันจากการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิม

ชั้นงานที่	ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอร์นสัน (N-m)
1	7,000
2	7,900
3	7,900

หมายเหตุ : ชั้นงานที่ 1 เกิดการใส่ตัวจับยึดชั้นงานไม่แน่นหลังจากบิดไปได้ระยะหนึ่ง ทำให้ต้องใส่ตัวจับยึดให้แน่นอีกครั้ง แล้วทำการดำเนินการทดสอบต่อ

4.2.2 ผลการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

จากการทดสอบพบว่า ทั้งชิ้นงานทั้ง 3 คู่ ที่เกิดความเสียหาย เป็นหน้าแปลนก้ามปูที่ติดกับเฟืองท้าย มีจุดที่เริ่มเกิดความเสียหายเดียวกัน คือ บริเวณฐานของหูของหน้าแปลนก้ามปู ดังรูปที่ 4.11 4.12 และ 4.13 ตามการจำลองการรับแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากโปรแกรมโซลิดเวิร์ค ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 จากนั้นทำการหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน ดังรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.11 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 1



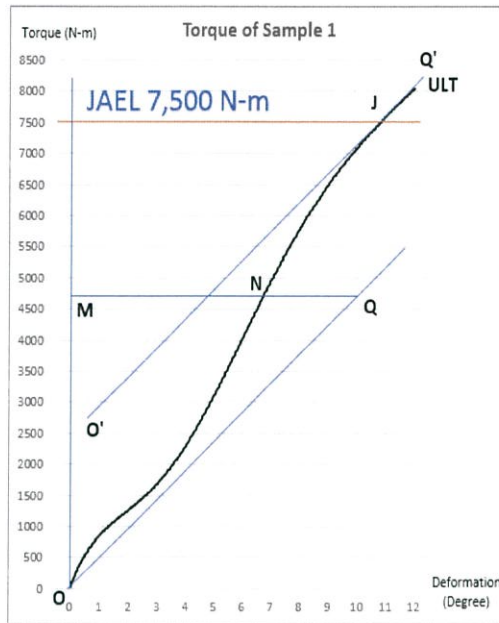
รูปที่ 4.12 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 2



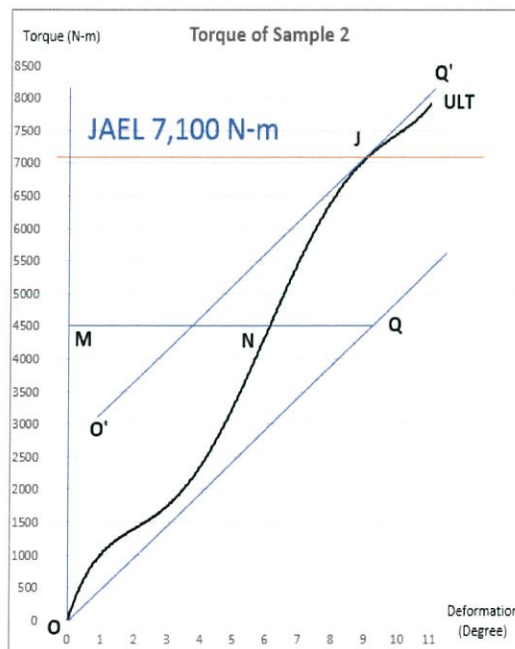
รูปที่ 4.13 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 3

ตารางที่ 4.3 การบันทึกค่าแรงบิดทุกๆ การเปลี่ยนแปลง 1 องศา ของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

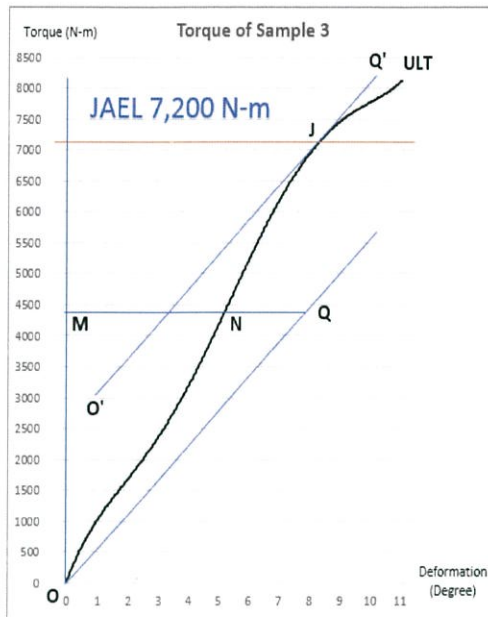
การเสียรูป (องศา)	ค่าแรงบิด (N-m)		
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3
0	0	0	0
1	784	931	1078
2	1372	1470	1715
3	1617	1764	2352
4	2303	2450	3136
5	3136	2940	4214
6	3969	4606	5390
7	4998	5586	6174
8	5782	6321	6860
9	6517	7007	7448
10	7056	7546	7889
11	7644	7889	8085
12	8036	-	-



รูปที่ 4.14 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ำมปู
ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 1



รูปที่ 4.15 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันสันของหน้าแปลนก้ำมปู
ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 2



รูปที่ 4.16 การหาค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันของหน้าแปลนก้ำมปู
ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ชิ้นงานที่ 3

จากรูปที่ 4.14 4.15 และ 4.16 สามารถอ่านค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันได้ดังในตารางที่ 4.4
ตารางที่ 4.4 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันจากการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปู
ตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

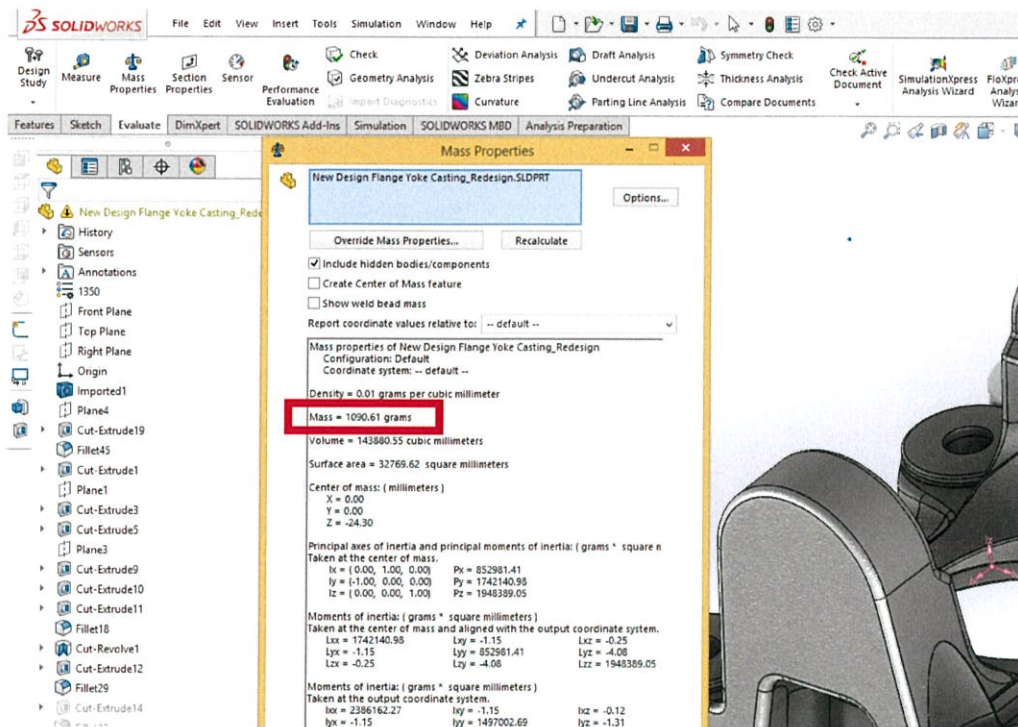
ตัวอย่างที่	ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสัน (N-m)
1	7,500
2	7,100
3	7,200

หมายเหตุ : ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันอ่านได้มีความแตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากการตกแต่งชิ้นงาน

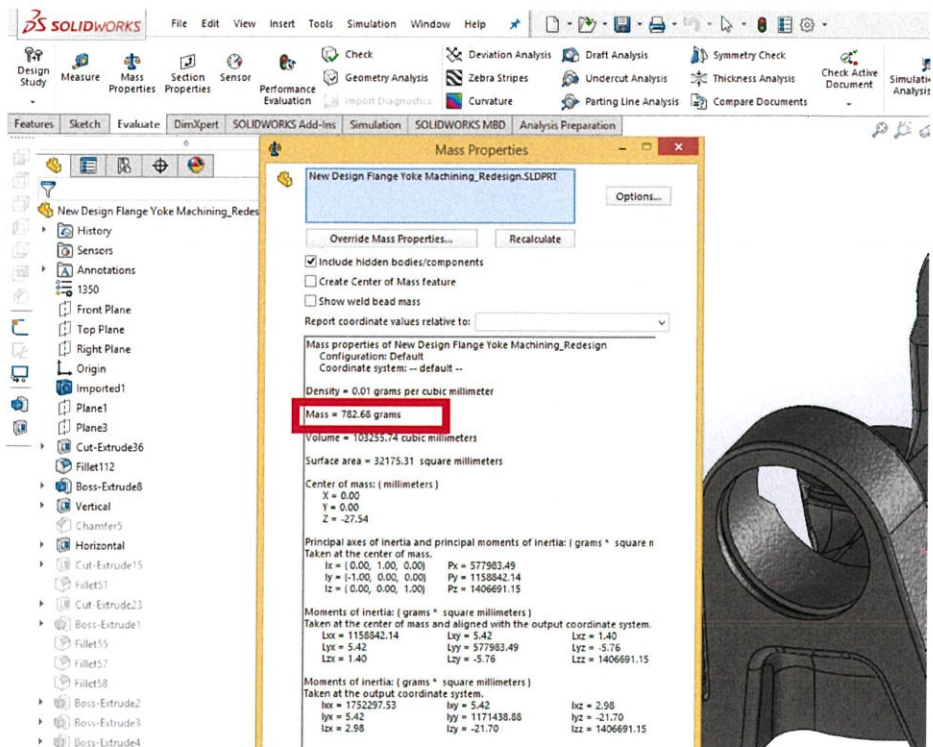
จากตารางที่ 4.2 และ 4.4 ค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันจากการทดสอบแรงบิดของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมและตามการออกแบบปรับปรุงใหม่มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 7,900 N-m และ 7,266.67 N-m ซึ่งค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันของหน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่มีค่าต่างจากการออกแบบเดิม $(7,900-7,266.67)/7,900 \times 100\% = 8.02\%$

4.3 ผลการหามวลของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

เมื่อกำหนดคุณสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กหล่อ ASTM A274 สามารถหามวลของชิ้นงานได้โดยใช้คำสั่ง Mass Properties ใน Evaluate Toolbar และได้ทำการเปรียบเทียบค่ามวลของชิ้นงานจริงกับมวลที่ได้จากโปรแกรมเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.17 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค



รูปที่ 4.18 การหามวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค



รูปที่ 4.19 การชั่งมวลของหน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบมวลชิ้นงานปัจจุบันกับค่ามวลจากโปรแกรมโซลิตเวิร์ค

ชิ้นงาน	มวลจริง (g)	ค่าจากโปรแกรม (g)	คลาดเคลื่อน (%)
หน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการหล่อ ขึ้นรูปตามการออกแบบปรับปรุงใหม่	-	1,090.61	-
หน้าแปลนก้ามปูหลังจากทำการ ตกแต่งตามการออกแบบปรับปรุง	786.95	782.68	0.544

4.4 การหาแนวความคิดในการลดต้นทุนจากค่าวัสดุ

การผลิตหน้าแปลนก้ามปูนั้น ผู้ผลิตจะใช้กระบวนการหล่อขึ้นรูป (Casting Process) ในการผลิตชิ้นงาน โดยจะเริ่มต้นการผลิตจากก้อนเหล็ก (Ingot) นำมาหลอมรวมกันกับส่วนผสมทางเคมีต่างๆ ให้ได้สัดส่วนตามตารางที่ 3.2 เป็นเหล็กหล่อ ASTM A274 แล้วเทน้ำเหล็กใส่แบบทรายของหน้าแปลนก้ามปู

การผลิตหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมด้วย เหล็กหล่อ ASTM A274 สามารถคำนวณหาราคาค่าวัสดุของหน้าแปลนก้ามปูต่อชิ้นได้ดังนี้

	เหล็กหล่อ ASTM A274	ราคา	32 บาท/กิโลกรัม
	หน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิม	มวล	1.585 กิโลกรัม/ชิ้น
ดังนั้น	หน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิม	ราคา	50.72 บาท/ชิ้น
	เหลือเศษเหล็กจากการตกแต่ง	มวล	$1.585 - 1.075.39 = 0.510$ กิโลกรัม/ชิ้น
	สามารถขายเศษเหล็กได้	ราคา	8 บาท/กิโลกรัม
	เป็นเงิน	ราคา	4.08 บาท/ชิ้น
จะได้	ค่าวัสดุในการผลิต	ราคา	$50.72 - 4.08 = 46.64$ บาท/ชิ้น
ดังนั้น	ค่าวัสดุของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิม คือ 46.64 บาท/ชิ้น		

การผลิตหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ด้วย เหล็กหล่อ ASTM A274 สามารถ
คำนวณหาราคาค่าวัสดุของหน้าแปลนกำมปูต่อชั้นได้ดังนี้

	เหล็กหล่อ ASTM A274	ราคา	32 บาท/กิโลกรัม
	หน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิม	มวล	1.091 กิโลกรัม/ชั้น
ดังนั้น	หน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิม	ราคา	34.912 บาท/ชั้น
	เหลือเศษเหล็กจากการตกแต่ง	มวล	$1.091 - 0.783 = 0.308$ กิโลกรัม/ชั้น
	สามารถขายเศษเหล็กได้	ราคา	8 บาท/กิโลกรัม
	เป็นเงิน	ราคา	2.464 บาท/ชั้น
จะได้	ค่าวัสดุในการผลิต	ราคา	$34.912 - 2.464 = 32.448$ บาท/ชั้น
ดังนั้น	ค่าวัสดุของหน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบเดิม คือ 32.45 บาท/ชั้น		

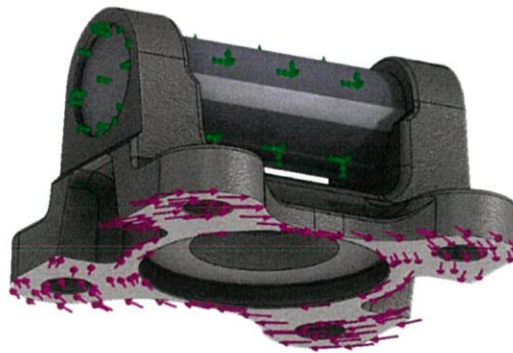
จากการคำนวณพบว่า หน้าแปลนกำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ จะสามารถลดต้นทุนจาก
ค่าวัสดุได้ $46.64 - 32.45 = 14.19$ บาท/ชั้น ซึ่งในปี พ.ศ.2560 มีอัตราการสั่งซื้อเพลากลางรถยนต์ฟอร์ดเรนเจอร์
(T6 1350) 200,000 เผลา ซึ่ง 1 เผลา ประกอบด้วยหน้าแปลนกำมปู 2 ชั้น นั่นคือต้องสั่งซื้อหน้าแปลนกำมปู
จำนวน 400,000 ชั้น เพื่อทำการประกอบเป็นเพลา 200,000 เผลา จึงสามารถลดต้นทุนจากค่าวัสดุลงได้
5,676,000 บาท/ปี

บทที่ 5

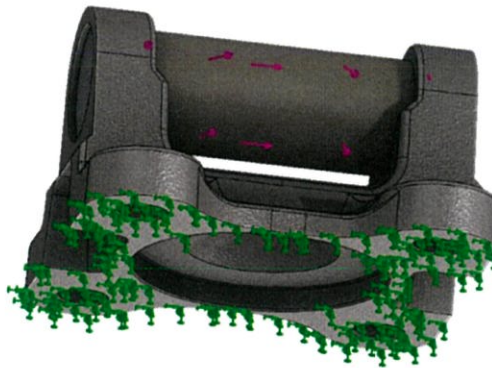
ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

1. เนื่องจากแรงที่กระทำต่อหน้าแปลนก้ำมปูเป็นแรงบิดเนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ จึงสามารถจำลองแรงที่กระทำต่อหน้าแปลนก้ำมปูได้ ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ำมปูเป็นส่วนประกอบกับเครื่องยนต์



รูปที่ 5.2 แสดงการกำหนดแรงบิดและจุดตรึงแน่น กรณีที่หน้าแปลนก้ำมปูเป็นส่วนประกอบกับเฟืองท้าย

2. จากผลการศึกษาและทำการทดสอบแรงบิด พบว่า หน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบเดิมมีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันเฉลี่ย เท่ากับ 7,900 นิวตันเมตร หน้าแปลนก้ำมปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่มีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันเฉลี่ย เท่ากับ 7,266.67 นิวตันเมตร

3. หน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่สามารถลดมวลของวัสดุที่ใช้ในการหล่อขึ้นรูปได้ถึง 494.33 กรัม คิดเป็น 31.19 เปอร์เซ็นต์ของมวลของวัสดุที่ใช้ในการหล่อขึ้นรูปของหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิม

4. จากผลการศึกษาและทำการทดสอบแรงบิด พบว่า หน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่มีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันเฉลี่ย เท่ากับ 7,266.67 นิวตันเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของบริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด และมีค่าความยืดหยุ่นปรากฏของจอห์นสันต่างจากเดิม 8.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ตามที่บริษัท ดาน่า สไปเซอร์ (ประเทศไทย) จำกัด กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องแม่นยำมากเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้ใช้ ผู้ใช้จำเป็นต้องทราบให้ชัดเจนว่าโปรแกรมนั้นๆ ถูกสร้างมาเพื่อใช้กับปัญหาชนิดใด มีกระบวนการวิเคราะห์ภายในอย่างไร ส่วนสิ่งที่ทำให้ผลลัพธ์ผิดพลาดนั้นมักเกิดจากการที่ผู้ใช้ใส่ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องลงในโปรแกรม

5.2.2 ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงชิ้นงานขึ้นใหม่นั้น นอกจากชิ้นงานที่ปรับปรุงใหม่นั้นจะมีคุณสมบัติในด้านการใช้งานใกล้เคียงกับชิ้นงานตามการออกแบบเดิมแล้ว ควรคำนึงถึงกระบวนการผลิตที่ได้มาซึ่งชิ้นงานนั้นๆ ด้วย เนื่องจากชิ้นงานที่ปรับปรุงใหม่อาจไม่สามารถใช้กับกระบวนการผลิตเดิมได้

5.2.3 นำหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบเดิมและหน้าแปลนก้ามปูตามการออกแบบปรับปรุงใหม่ที่สร้างเป็นชิ้นงานจริงแล้ว นำไปทำการทดสอบความล้าของวัสดุ (Fatigue Test) ทั้งแบบทิศทางเดียว (Uni-directional fatigue test) และสองทิศทาง (Bi-directional fatigue test) เพื่อหาอายุการใช้งาน แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

เอกสารอ้างอิง

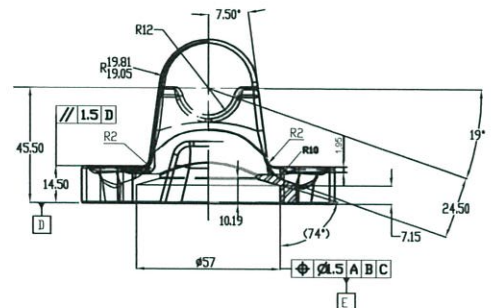
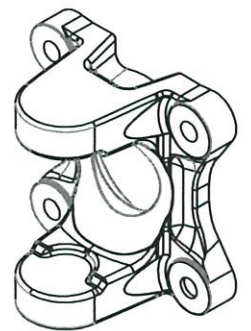
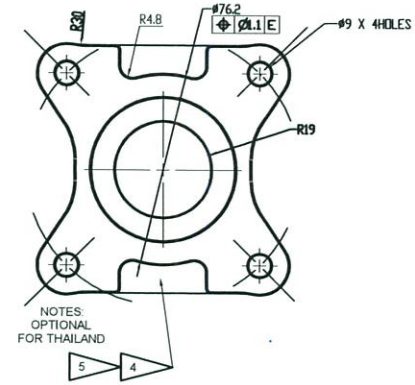
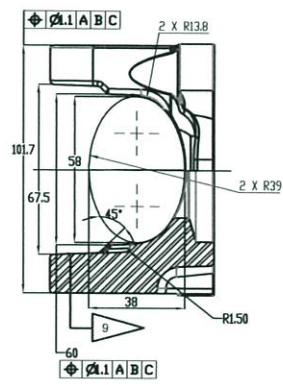
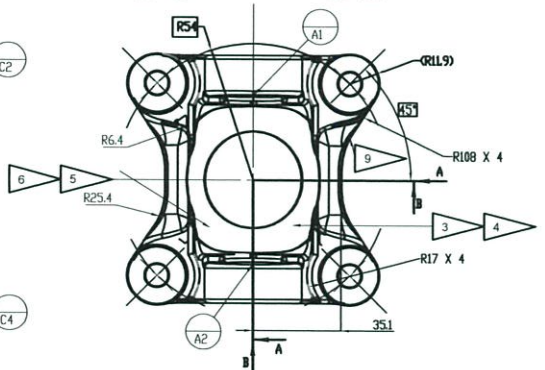
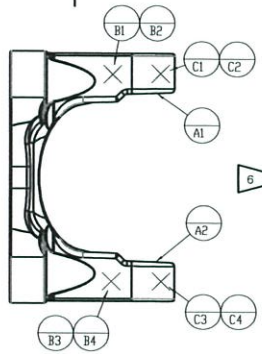
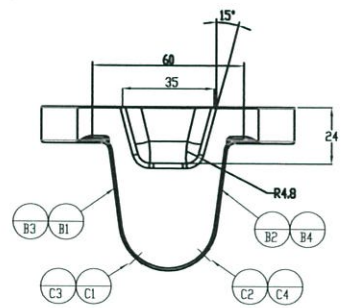
- [1] ศุภวัฒน์ ฟุ้งเกียรติไพบูลย์, 2556. การออกแบบหาขนาดรูปร่างที่เหมาะสมของชิ้นส่วนหัวหิวเครื่องยนต์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,กรุงเทพฯ
- [2] นิวัฒน์ ภูเจริญ, 2544. การทำนายความล้าและอายุของล้อแม็กซ์รุ่น RS5 โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ
- [3] ปรัชญ์ เพชรวิไลกุล, ผิดก ศักดาเยี่ยงยงค์, และพงษ์พัฒน์ กิจจรกุล, 2553. การศึกษาที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปท่อแบบจีสีโอด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ
- [4] Ansel C. Ugural, 2007, Mechanics of Materials, John Wiley & Sons, Inc.
- [5] ปราโมทย์ เตชะอำไพ, 2550, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 7.
- [6] <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/kjirapon/Fracture%20book.pdf>, access on 12/12/2017
- [7] Dana Automotive Systems Group, 2547. Static Torque Test (JTP-105), Dana Spicer (Thailand) Ltd., Bangkok
- [8] http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012510103134.pdf, access on 12/12/2017
- [9] <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4291/sensitivity>, access on 12/12/2017
- [10] Liuafang, 2559. Material Lab. Test Report, Yow Bell Casting (Tang Shan) Co., Ltd., China

ภาคผนวก

COPYRIGHT: DANA CORPORATION OR ITS SUBSIDIARY. ALL RIGHTS RESERVED. THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL AND CONTAINS DANA PROPRIETARY INFORMATION. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED TO ANYONE ELSE OR USED FOR MANUFACTURING PURPOSES WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF DANA.

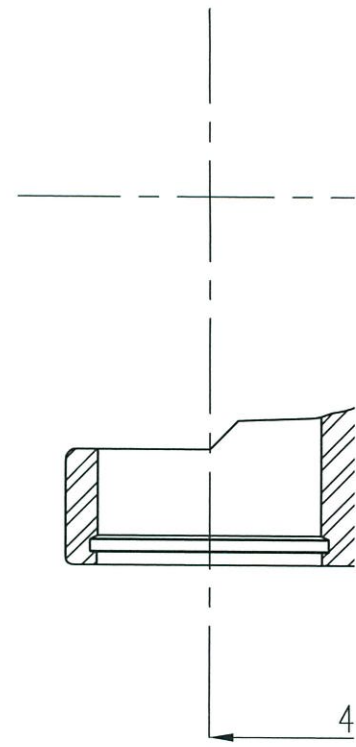
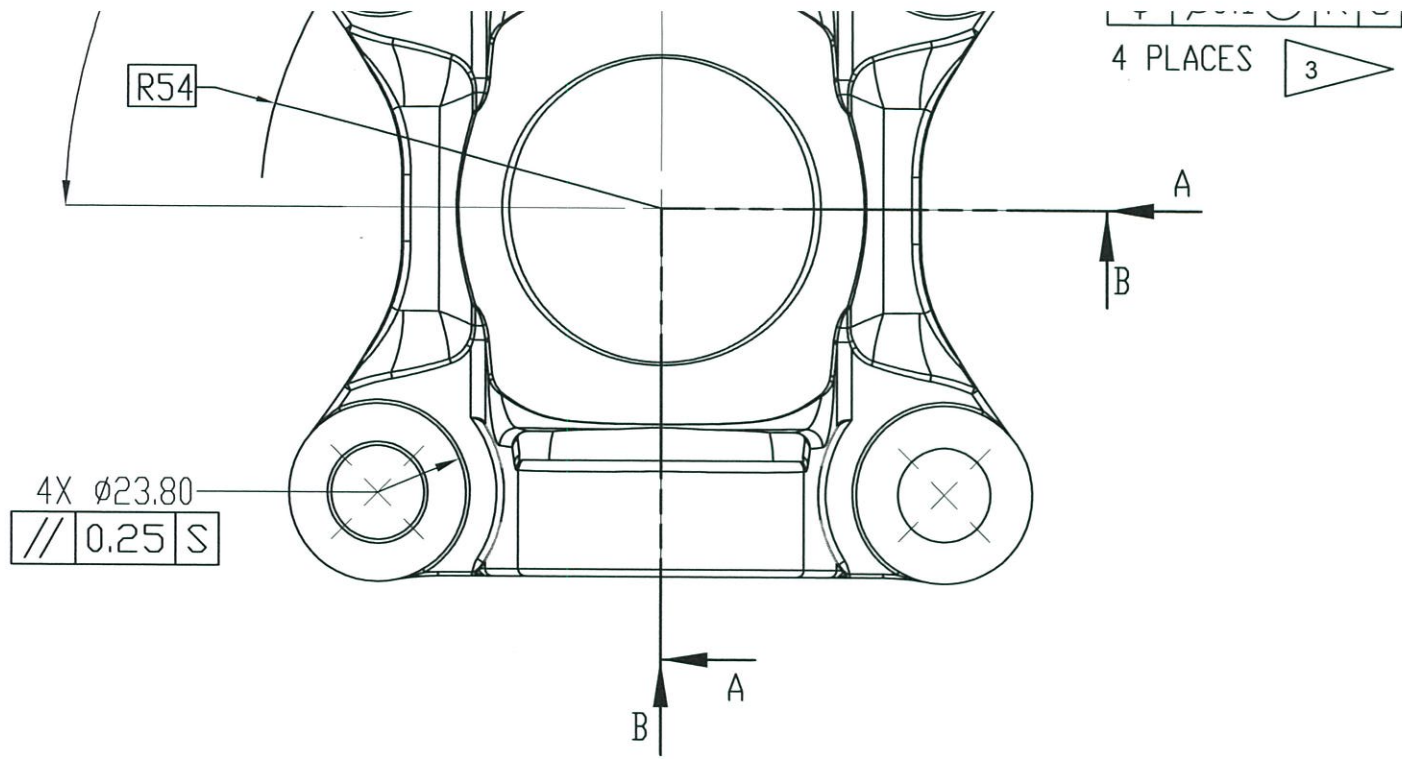
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	
1	PART MUST CONFORM TO SPECIFICATION ES-0280
2	LETTERS AND NUMBERS 9.4 HIGH, DEPRESSED 4.1 0.75 MAXIMUM
3	ADD BRAND FoMoCo IN GOTHIC LETTERS
4	RAW SUPPLIER IDENTIFICATION MARKINGS PER CHU-1023J
5	DATE CODE, RAISED NUMBERS OPTIONAL
6	MOLD NUMBER
7	GATE: REMOVE TO NORMAL CONTOUR OF CASTING WITHIN +1.5 -0.8
8	PART MUST CONFORM TO SPECIFICATION 633J
9	THE THICKNESS OF THIS SECTION MUST BE WITHIN ±0.38 OF THE SAME SECTION ON THE OPPOSITE SIDE
10	MATERIAL: DUCTILE IRON PER SPECIFICATION 93-4J HARDNESS: PER SPECIFICATION 93.4J

MARK	REV. RECORD	DATE	REV.
△	ADD FURTHER DIMENSION	7 NOV 2017	B
△	ADD RADII AT SPOT FACE CUTTING	13 NOV 2017	C

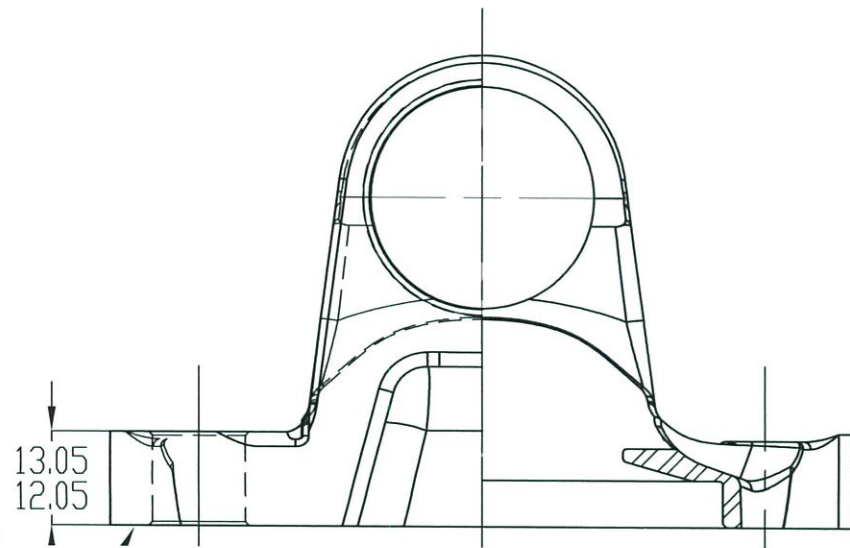


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DRAFT ANGLES (DEG) 1:5

FSCM NO.	PART OR IDENTIFYING NO.	MATERIAL SPECIFICATION	ITEM NO.
PARTS LIST			
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES ARE: TOLERANCE ±0.8 ANGLE TOLERANCE ±1°		DANA DANA SPICER(THAILAND)LTD.	
THIRD ANGLE PROJECTION		TITLE	
APPROVALS	DATE	A1 FLANGE YOKE CASTING	
DRAWN BY: S.TINNAPHOP	13-9-2017	SIZE: PART NO.	PART NO.
DESIGNED BY: S.TINNAPHOP	13-9-2017	MODEL: 1350	REFERENCE
CHECKED BY:		SCALE: 1:1	SHEET NO. 01 OF 01
APPROVED BY:		FILE NAME:	



SECTION 4



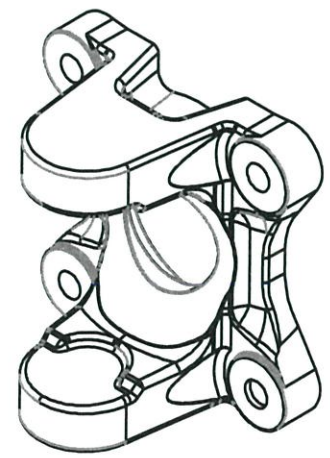
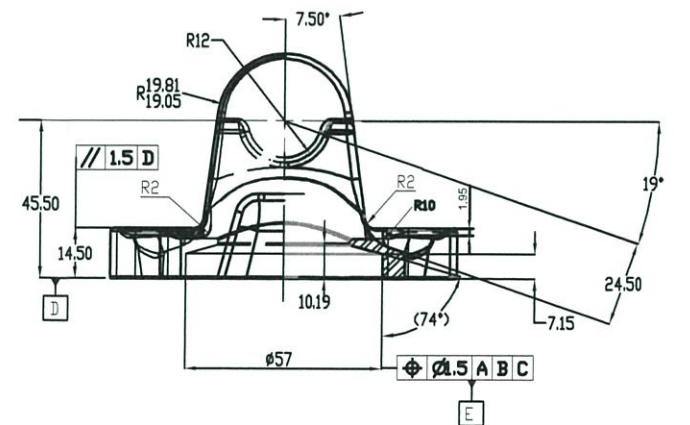
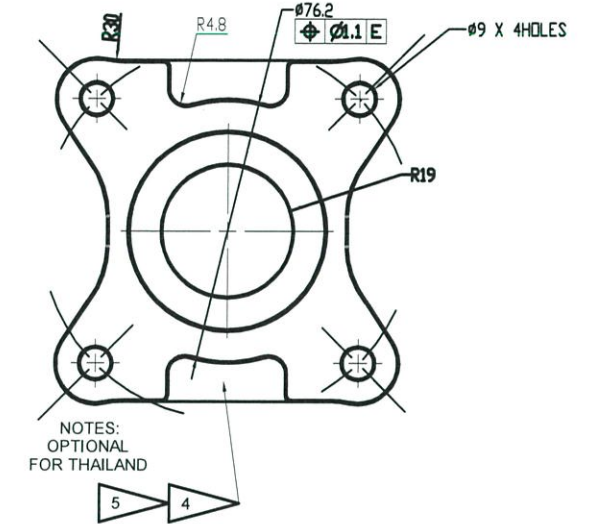
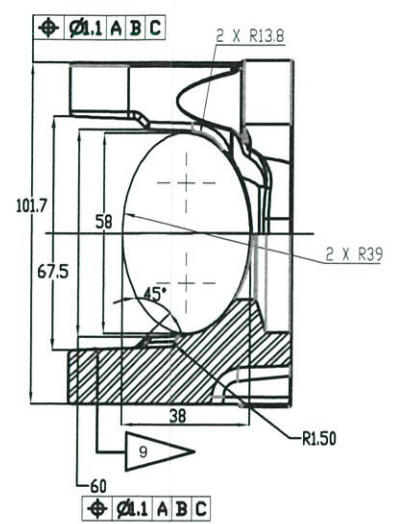
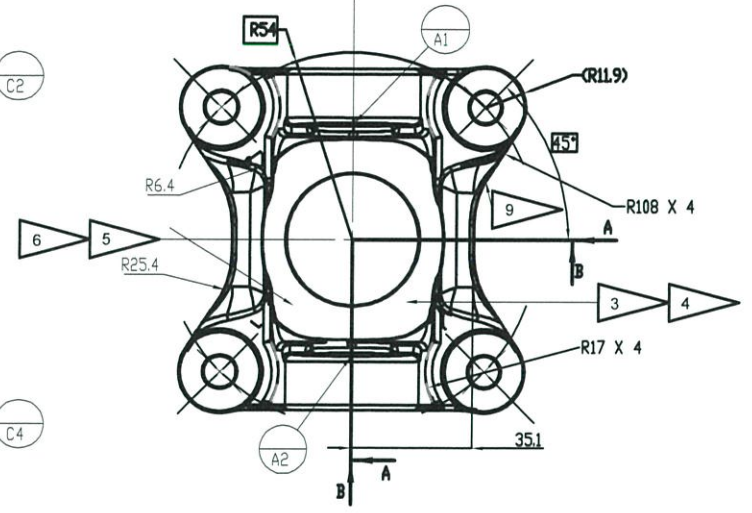
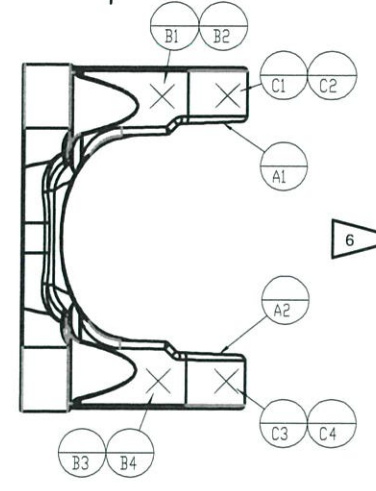
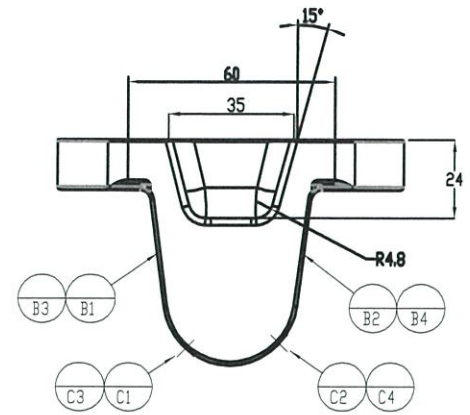
6
6
.51
IMUM

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

© COPYRIGHT, DANA CORPORATION OR ITS SUBSIDIARY. ALL RIGHTS RESERVED. THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL AND CONTAINS DANA PROPRIETARY INFORMATION. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED TO ANYONE ELSE OR USED FOR MANUFACTURING PURPOSES WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF DANA.

SYM.	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
1	PART MUST CONFORM TO SPECIFICATION ES-0280
2	LETTERS AND NUMBERS 6.4 HIGH, DEPRESSED 4.1 MAXIMUM 0.75 MAXIMUM
3	ADD BRAND FoMoCo IN GOTHIC LETTERS
4	RAW SUPPLIER IDENTIFICATION MARKINGS PER CHU-1023J
5	DATE CODE, RAISED NUMBERS OPTIONAL
6	MOLD NUMBER
7	GATE : REMOVE TO NORMAL CONTOUR OF CASTING WITHIN +1.5 -0.8
8	PART MUST CONFORM TO SPECIFICATION 633J
9	THE THICKNESS OF THIS SECTION MUST BE WITHIN ±0.38 OF THE SAME SECTION ON THE OPPOSITE SIDE
10	MATERIAL : DUCTILE IRON PER SPECIFICATION 93-4J HARDNESS : PER SPECIFICATION 93.4J

MARK	REV RECORD	DATE	REV.
▲	ADD FURTHER DIMENSION	7 NOV 2017	B
▲	ADD RADIUS AT SPOT FACE CUTTING	13 NOV 2017	C



H
G
F
E
D
C
B
A

H
G
F
E
D
C
B
A

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

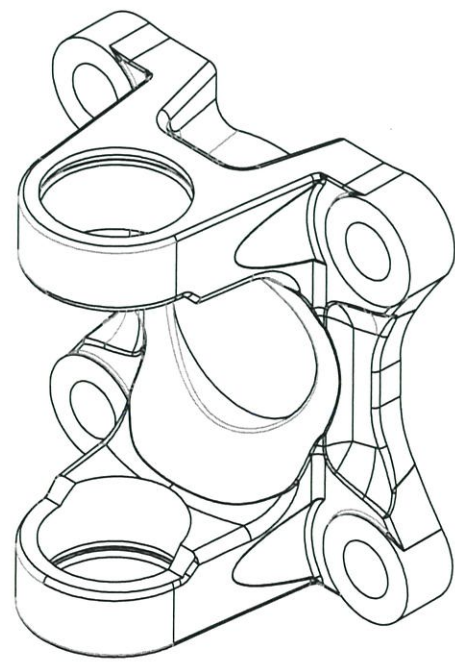
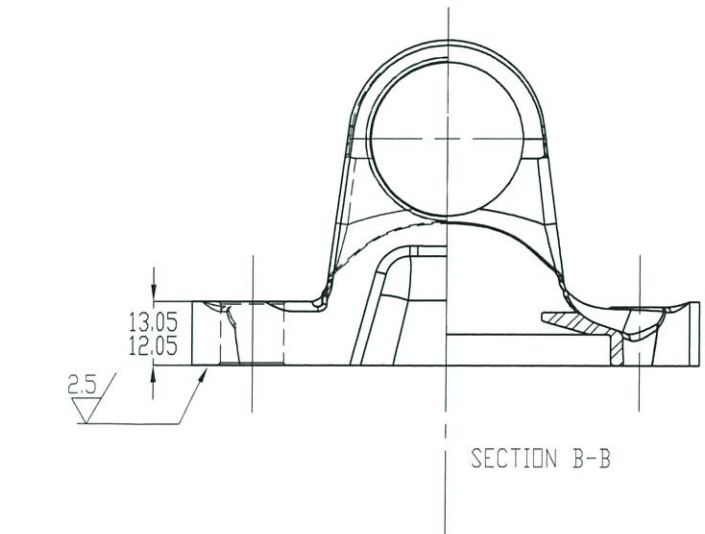
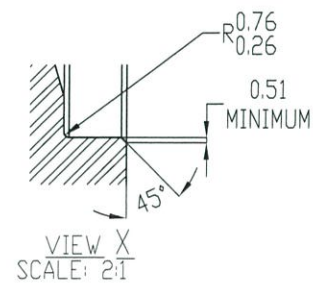
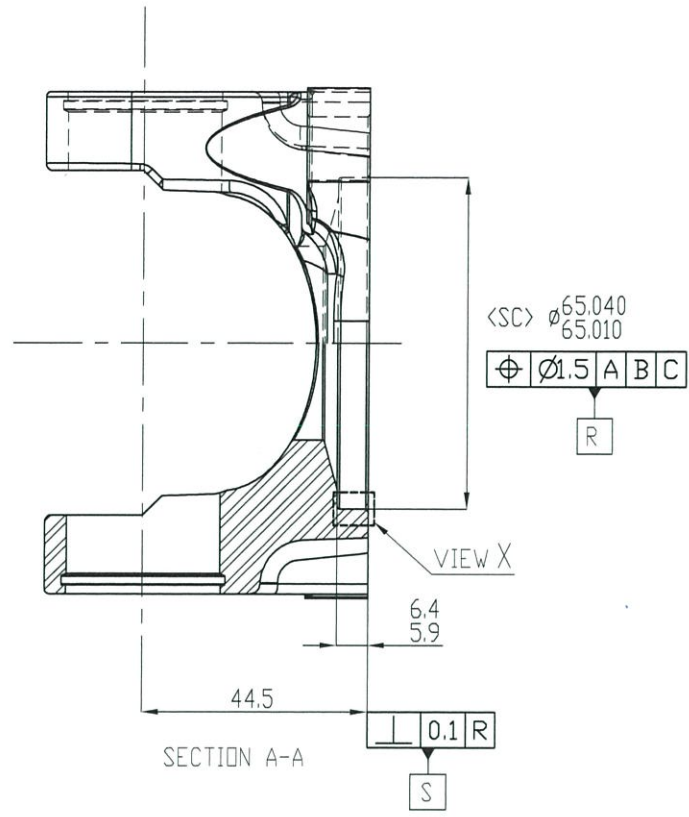
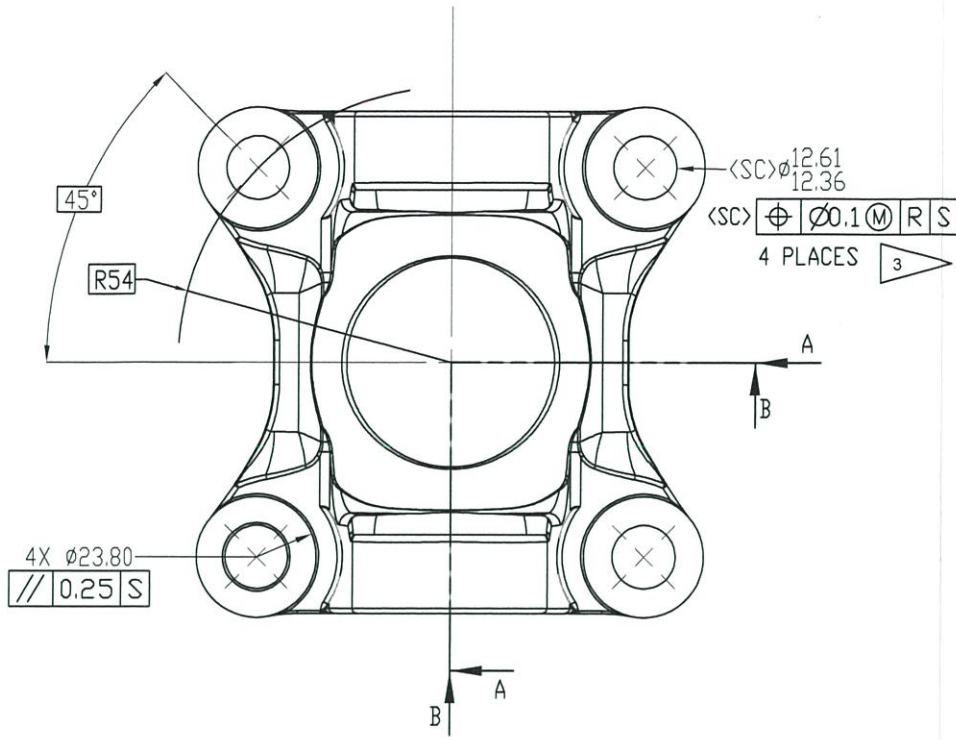
FSCM NO	PART OR IDENTIFYING NO	MATERIAL SPECIFICATION	ITEM NO
PARTS LIST			
<small>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES ARE TOLERANCE ±0.8 ANGLE TOLERANCE ±1°</small>		DANA SPICER(THAILAND)LTD.	
<small>THIRD ANGLE PROJECTION</small>		<small>TITLE</small>	
<small>APPROVALS</small>		<small>DATE</small>	
<small>MAKE FROM</small>		<small>SIZE PART NAME</small>	
<small>DESIGNED BY: S.TINNAPHOP</small>		<small>13-9-2017</small>	
<small>APPROX WT: 1.096 kg</small>		<small>MODEL: 1350</small>	
<small>CHECKED BY:</small>		<small>REFERENCE:</small>	
<small>APPROVED BY:</small>		<small>SCALE: 1:1</small>	
<small>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DRAFT ANGLES (RADI)</small>		<small>SHEET NO. 01 OF 01</small>	
<small>0° 1.5</small>		<small>FILE NAME</small>	

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

©COPYRIGHT, DANA CORPORATION OR ITS SUBSIDIARY. ALL RIGHTS RESERVED. THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL AND CONTAINS DANA PROPRIETARY INFORMATION. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR DISCLOSED TO ANYONE ELSE OR USED FOR MANUFACTURING PURPOSES WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF DANA.

MARK	REV. RECORD	DATE	REV
6	ADD RADIUS AT SPOT FACE CUTTING	13 NOV 2017	C

- UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
- 1 PART MUST CONFORM TO SPECIFICATION ES-0280
 - 2 REMOVE ALL BURRS
 - 3 BREAK EDGE 0.51 BOTH SIDES
 - 4 <SC> PER SPECIFICATION ES00010060
 - 5 FOR CROSS HOLE AND LUG MACHINING SEE SUMMARY 1350-1A
 - 6 MANUFACTURE PER SPECIFICATION 544J
 - 7 ALL MACHINED SURFACES TO BE 6.4 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
 - 8 PART MUST CONFORM TO UNBALANCE LIMITS SET FORTH BY SPECIFICATION 536J
 - 9 SWING DIA. 140.7 PER STD 04-03



72

FSCM NO	PART OR IDENTIFYING NO	MATERIAL SPECIFICATION	ITEM NO
PARTS LIST			
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS TOLERANCES ARE: TOLERANCE: ±0.5 ANGLE TOLERANCE: ±5°		DANA DANA SPICER(THAILAND)LTD.	
THIRD ANGLE PROJECTION		TITLE	
APPROVALS	DATE	DRAWN BY: S.TINNAPHOP 13-9-2017	
DESIGNED BY: S.TINNAPHOP	13-9-2017	SIZE: A2	PART NAME: FULL RND FLANGE YOKE
CHECKED BY:		MODEL: 1350	REFERENCE:
APPROVED BY:		SCALE: 1:1	SHEET NO: 01 OF 01
TREATMENT	QTY	FILE NAME:	

12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1