

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาชิ้นส่วนของปลอกครอบปลายสายหยุดรถโดยใช้ไฟไนต์อีลิเมนต์

DEVELOPMENT OF NEW PART OF CASING CAP FOR PARKING BRAKE
CABLE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **148008**
วันเดือนปี **16 ต.ค. 2560**

b. **12860498**
l.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบและข้อมูล
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560
KMITL-2017-AMI-M-001-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF NEW PART OF CASING CAP FOR PARKING BRAKE
CABLE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION AND SYSTEM ENGINEERING
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงจำกัดซึ่งจะสงวนไว้และไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMUTL-2017-AMI-M-001-001



COPYRIGHT 2017




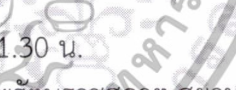
FACULTY OF COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาชิ้นส่วนของปลอกครอบปลายสายหยุดรถโดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์
Thesis Title DEVELOPMENT OF NEW PART OF CASING CAP FOR PARKING BRAKE CABLE
USING FINITE ELEMENT ANALYSIS
นักศึกษา นายศิววงศ์ บุษเกตุ
รหัสประจำตัว 58609006
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบและข้อมูล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อนรรฆพล แสนทน
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-AMI-M-001-001

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล	
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติเชต สุริรักษา	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิวิดา มณีวรรณ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หนูทอง	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรฆพล แสนทน	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 18 พฤษภาคม 2560 เวลา 09.30 - 11.30 น.
สถานที่สอบ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง)
คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชิ้นส่วนของปลอกครอบปลายสายหยุดรถ โดยใช้ไฟไนต์อีลิเมนต์
นักศึกษา	นายศิววงศ์ บุษเกตุ
รหัสประจำตัว	58609006
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบและข้อมูล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อนรรฆพล แสนทน

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบความปลอดภัยในส่วนของยานยนต์ที่สำคัญระบบหนึ่ง คือ ระบบเบรกซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของยานยนต์โดยนำเสนอการศึกษาและการออกแบบชิ้นส่วนของปลอกครอบสายของสายหยุดรถโดยการนำเอาเทคนิคไฟไนต์อีลิเมนต์มาใช้วิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยศึกษาอิทธิพลและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนปลอกครอบปลายตามมาตรฐาน JASO F903-75 การควบคุมสายเคเบิลสำหรับรถยนต์ จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าการใช้พลาสติกผสม PA GF15 สามารถนำมาใช้ทดแทนปลอกครอบปลายเดิมที่เป็นเหล็กได้ ทำให้ลดต้นทุนลงได้ 40% ของราคาเหล็ก ส่งผลให้น้ำหนักโดยรวมลดลง 40% และที่สำคัญที่สุดในการออกแบบโดยการวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์นี้ สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำแม่พิมพ์ขึ้นและส่วนตัวอย่างจาก 45-60 วัน เหลือ 7 วัน อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Development of new part of casing cap for parking brake cable using finite element analysis
Student	Mr.Siwawong Buthgate
Student ID.	58609006
Degree	Master of Engineering
Program	Information and System Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Anakkapon Saenthon

ABSTRACT

This thesis presents an important part of the automotive safety system that is the brake system, which controls the movement of vehicles. To present the study and development of a new part of casing cap for Parking Brake Cable, the finite element technique is used to analyze and evaluate the feasibility of designing the right product. In this study, the influences and factors that affect the casing caps with Japanese Automobile Standard (JASO F903-75) control for Automobiles are investigated. As results indicated, the use of PA GF15 can be used to replace the original steel which can reduce the cost of 40% from steel price, and results in a 40% reduction in overall weight. Moreover, the finite element design reduces the time and cost of prototype molding from 45-60 days to 7 days.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือความกรุณาจากคณาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านของวิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง ที่สละเวลาและให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง คณบดี วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง ที่สนับสนุนทุนวิจัย DSTAR-RESEARCH-01-58-02M ในการศึกษา เรื่อง การพัฒนาชิ้นส่วนของปลอกครอบโดยใช้ไฟไนต์อีทีเมนต์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรฆพล แสนทน อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งคอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการทำวิจัยและพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ไทยสตีลเคเบิล จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนหัวข้องานวิจัย เรื่อง การพัฒนาชิ้นส่วนของปลอกครอบปลายสายโดยใช้ไฟไนต์อีทีเมนต์

สุดท้ายนี้ ต้องขอขอบคุณท่านกรรมการสอบหัวข้อและโครงสร้างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อเสนอแนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ศิววงศ์ บุษเกตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	4
1.7 แผนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การศึกษาระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีอยู่เดิม	6
2.2 การศึกษาการออกแบบชิ้นส่วน	10
2.3 ทฤษฎีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	11
2.3.1 ทฤษฎีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์คืออะไร	12
2.4 วัสดุที่ใช้ในการผลิตปลอกครอบปลายสายปัจจุบัน	14
2.4.1 เหล็ก	15
2.4.2 อลูมิเนียม	18
2.4.3 สังกะสี	21
2.4.4 พลาสติกผสม	22
บทที่ 3 การศึกษา พัฒนาและออกแบบ	27
3.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	27
3.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	27
3.3 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	30
3.4 จำลองการออกแบบปลอกครอบปลายสายของสายหยุดรถด้วยการวิเคราะห์ ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	33
4.1 การทดลองการออกแบบด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	33
4.1.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	33
4.2 การทดสอบจริงของชิ้นงานปลอกครอบปลายสาย.....	37
4.3 สรุปผลการจำลองและการทดลอง.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ.....	43
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก.....	46
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการออกแบบการทดลองด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	47
ภาคผนวก ข. มาตรฐานรถยนต์ของประเทศญี่ปุ่น JASO F 903-75.....	66
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 รายละเอียดหน้าที่ขึ้นส่วนของสายหยุดรถ.....	3
2.1 ความเครียดแบบง่าย.....	11
2.2 การเทียบเกรดเหล็ก.....	16
3.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	32
3.2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ	32
4.1 ผลการทดสอบค่าความเค้นของวัสดุชนิดต่างๆ	35
4.2 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของชิ้นส่วนปลอกครอบปลายสายของวัสดุเหล็ก	38
4.3 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของชิ้นส่วนปลอกครอบปลายของพลาสติกผสม	39
4.4 ผลการเปรียบเทียบค่า Pull of strength ของแต่ละวิธีการ	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การทำงานของสายหยุดรถ.....	1
1.2 ชิ้นส่วนของสายหยุดรถ	2
1.3 โครงสร้างของสายหยุดรถที่ติดตั้งภายในรถยนต์.....	3
2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	10
2.2 ความสมดุลตามตำแหน่งใดๆ ในของแข็งสามมิติ	13
2.3 วัสดุสำหรับรถยนต์.....	14
2.4 ความสามารถในการขึ้นรูปทางกลของเหล็ก	15
2.5 เหล็กเหนียวและเหล็กแข็ง	17
2.6 กระบวนการหล่อขึ้นรูปอลูมิเนียมด้วยแรงอัดสูง.....	21
2.7 กราฟสัดส่วนของอลูมิเนียม-ซิลิกอน.....	21
2.8 ภาพชิ้นส่วนที่ทำจากพลาสติก	24
3.1 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ แบบต่างๆ กัน.....	28
3.2 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ.....	29
3.3 รูปแบบจำลองวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ก้านเบรคมือ	30
3.4 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ในการยวบตัวของรถบัส	31
3.5 รูปร่างของเอลิเมนต์ : Tetrahedron 10 nodes.....	32
4.1 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	34
4.2 เส้นโค้งประมาณการความเครียดของแต่ละวัสดุ.....	36
4.3 เครื่องทดสอบแรงดึง	37
4.4 การเสียหายของชิ้นส่วนพลาสติกกรอบปลาย	37
4.5 กราฟการกระจายตัวค่าแรงดึงของเหล็ก	39
4.6 กราฟการกระจายตัวค่าแรงดึงของพลาสติกผสม.....	40

รูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าการทำงานของสายหยุดรถมีลักษณะและโครงสร้างในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในระบบเบรก คือ

สายหยุดรถ

- เป็นสายเคเบิลที่ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังเพื่อหยุดรถเวลาเบรครถ หยุดรถ และการจอดรถในที่ตั้งต่างระดับหรือสูงชัน ปลายด้านหน้าจะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์มือดึงเบรกหรือเรียกว่า Hand Lever เพื่อดึงเวลาหยุดรถ จอดรถ ส่วนปลายอีกด้านนั้นจะเชื่อมต่อกับดรัมเบรกซ้ายและขวา

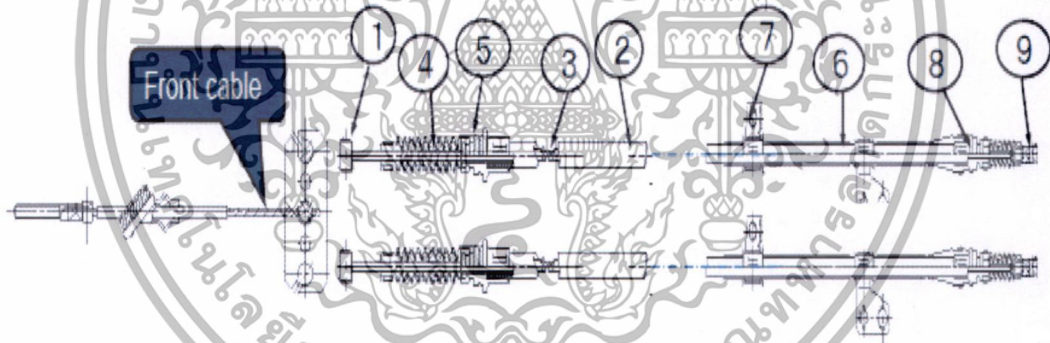
จุดประกอบ

- จะเห็นภาพชิ้นงานปลอกครอบปลายประกอบกับแผ่นจับยึดของตัวรถซึ่งอยู่ใต้ท้องรถและมีคลิปใส่เพื่อล็อกและยึดให้ติดกัน

ปลอกครอบปลาย

- ชิ้นงาน ปลอกครอบปลายที่เปลี่ยนการออกแบบจากเดิมซึ่งเป็นเหล็กมาเป็นพลาสติกผสมใยแก้วแทนซึ่งทำหน้าที่ในการเชื่อมและยึดติดกับแผ่นจับยึดของตัวรถ และรับแรงสะท้อนแรงอัดซึ่งเกิดจากการอัดตัวของสายเคเบิล เมื่อเวลาดึงเบรคมือเวลาจอดรถ

สายหยุดรถประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักๆ 9 ชิ้นที่ยึดต่อกันด้วย คือ



รูปที่ 1.2 ชิ้นส่วนของสายหยุดรถ

จากรูป 1.2 แสดงภาพสายหยุดรถ (Parking Brake Cable) และบอกรายละเอียดชิ้นส่วนต่างๆ ของสายหยุดรถ เป็นหลักไว้ทั้งสิ้น 9 ชิ้นส่วนย่อย ซึ่งกำหนดเป็นหมายเลขต่างๆ ไว้ โดยแต่ละชิ้นส่วนได้ออกแบบไว้ให้มีหน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน คือ

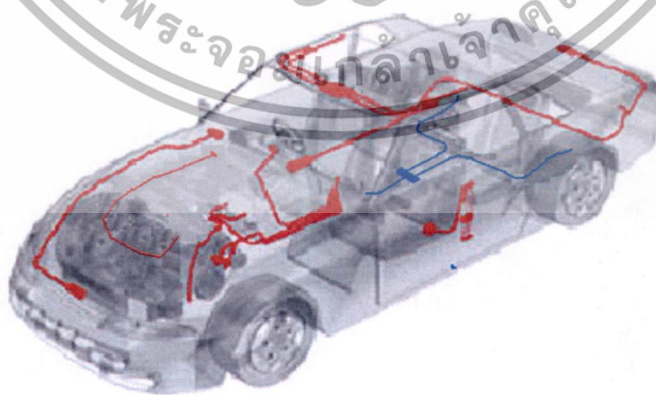
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดหน้าที่ชิ้นส่วนของสายหยุดรถ

ลำดับ	ชื่อชิ้นส่วนที่ประกอบ	หน้าที่
1	Inner cable	รองรับแรงที่กระทำและส่งผ่านพลังและการขับเคลื่อน
2	Outer casing	รองรับแรงสะท้อนและปกป้อง inner cable เพื่อรักษาเส้นทางของสายหยุดรถ
3	Inner end	รองรับแรงที่กระทำและเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง
4	Boot	ป้องกัน ฝุ่นและน้ำ
5	Casing cap	รองรับแรงที่สะท้อน และเชื่อมต่อ ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง
6	Protector	ปกป้อง Outer casing
7	Clamp	รักษาเส้นทางของสายหยุดรถ
8	Casing cap	รองรับแรงที่สะท้อนและเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง
9	Inner End	เชื่อมต่อชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องและส่งผ่านแรง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อเป็นการออกแบบชิ้นส่วนและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ ปลอกครอบปลายของสายหยุดรถโดยมีการประยุกต์เทคโนโลยีแบบจำลองในรูปแบบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และทำการเปรียบเทียบแนวทางกับการทดสอบชิ้นส่วนจริง เพื่อให้ได้คำตอบที่มีความแม่นยำ ถูกต้อง เพราะจะนำผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบนี้ไปประยุกต์ใช้กับชิ้นส่วนในลักษณะเดียวกันกับรถรุ่นอื่นๆต่อไป ซึ่งจะสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าและทำให้ลดต้นทุนต่ำลง



รูปที่ 1.3 โครงสร้างของสายหยุดรถที่ติดตั้งภายในรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สามารถนำผลจากการจำลองการออกแบบชิ้นส่วนประกอบปลายของสายหยุดรถโดยการ ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มายืนยันเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดและสร้างความน่าเชื่อถือ ความมั่นใจ โดยส่งผลทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดทำ ชิ้นงานตัวอย่างลง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การออกแบบชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นผู้ออกแบบจะต้องทราบตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดและค่าความเค้นดังกล่าวจะต้องไม่เกินจุดครากของวัสดุที่นำมาใช้ออกแบบซึ่งตำแหน่งและค่าของความเค้นนั้นสามารถนำทฤษฎีทางกลศาสตร์มาคำนวณได้แต่ทฤษฎีทางกลศาสตร์นั้นมีข้อจำกัด คือในกรณีที่รูปแบบของชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนก็ทำให้การคำนวณนั้นยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในบางกรณีจะไม่สามารถคำนวณได้ด้วยมือดังนั้นจึงมีการนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปของการออกแบบ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนประกอบปลายของสายหยุดรถโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมเพื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง การเสียรูปของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำและนำไปใช้ในการออกแบบจริงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ศึกษาค้นคว้าและทบทวน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นส่วนประกอบปลายที่มีอยู่เดิมแล้วนำมาวิเคราะห์ ข้อดี ข้อเสีย ปัญหา และประเด็นที่น่าสนใจของงานวิจัยอื่นๆ ที่สามารถนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่องานวิจัยที่จะนำเสนอ

1.6.2 ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาและกำหนดแนวความคิดของงานวิจัย โดยมีการอ้างอิงทฤษฎีหรือหลักการที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

1.6.3 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

1.6.4 ศึกษาค้นคว้าแนวคิดที่จะนำมาแก้ปัญหา

1.6.5 เตรียมข้อมูลของตัวอย่าง ความต้องการและการออกแบบที่มีอยู่จริง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบวิเคราะห์รวมถึงสามารถนำมาใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพและความถูกต้องของการออกแบบได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.6 ทำการออกแบบต้นแบบของชิ้นส่วน ปลอกครอบปลายโดยใช้โครงสร้าง วิธีการและแนวคิดที่นำเสนอ

1.6.7 ทดสอบประสิทธิภาพในด้านต่างๆ โดยการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการพัฒนาการออกแบบที่มีอยู่เดิม

1.6.8 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์และประเมินงานวิจัย และสรุปผลเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย

1.7 แผนการดำเนินงาน

การทำงานวิจัยฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการค้นคว้าหาข้อมูลจากบทความของวารสารต่างๆในท้องสมุดและจากสื่อสิ่งพิมพ์ออนไลน์ทางอินเทอร์เน็ตเกี่ยวกับระเบียบไฟในต้อลิเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งจะนำทฤษฎีและข้อปฏิบัติต่างๆมาเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าวิเคราะห์และออกแบบ จากนั้นจึงจะตัดสินใจเลือกชิ้นส่วน วัสดุ และโปรแกรมที่ใช้เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลงานวิจัย

หัวข้องาน	ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ธ.ค.				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	[]																
2. จัดทำบทที่ 1					[]												
3. เก็บรวบรวมข้อมูล							[]										
4. จัดทำ บทที่ 2									[]								
5. จัดทำ บทที่ 3									[]								
6. แก้ไขบทที่ 1-3										[]							
7. จัดทำสื่อการนำเสนอ															[]		
8. ขออนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์																[]	

หัวข้องาน	ธ.ค.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
9. เก็บรวบรวมข้อมูล		[]																			
10. นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์					[]																
11. ทำการปฏิบัติการทดลอง									[]												
12. จัดทำบทที่ 4											[]										
13. จัดทำบทที่ 5													[]								
14. จัดทำรูปเล่มและสื่อการนำเสนอ																			[]		
15. ขออนุมัติสอบวิทยานิพนธ์																				[]	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ที่ศึกษาในงานวิจัยที่นำเสนอมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐาน ทั้งในส่วนของโครงสร้างและกระบวนการสร้างและออกแบบงานต่างๆ ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์มีอยู่เดิม และการเปรียบเทียบวิธีการเชิงวัตถุกับวิธีการเชิงโครงสร้าง

2.1 การศึกษาระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่มีอยู่เดิม

การออกแบบที่มีน้ำหนักเบาบนรถโดยเทอร์โมพลาสติกเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้พลาสติกนำเสนอบทบาทสำคัญในแนวคิดสีเขียวสำหรับขั้นตอนการออกแบบโดยการแทนที่เหล็กด้วยวัสดุพลาสติก น้ำหนักของบังโคลนรถที่เป็นพลาสติกลดลงเป็น 41% เมื่อเทียบกับกันชนเหล็ก นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการผลิตของบังโคลนพลาสติกมีราคาถูกกว่าเหล็ก [1]

ถึงโลหะทั่วไปของรถโดยสารสาธารณะถูกแทนที่ด้วยถังน้ำมันพลาสติกที่ออกแบบและพัฒนาถังน้ำมันพลาสติกอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์แบบคงที่ และแบบไดนามิกโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัดกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการทดสอบเพื่อให้ตรงกับคุณสมบัติที่จำเป็นของวัสดุกับการทดสอบแรงตามความต้องการแบบคงที่และแบบไดนามิก ผลการวิเคราะห์แบบคงที่และแบบไดนามิกได้ดำเนินการโดยใช้วิธีการองค์ประกอบจำกัดกลุ่ม จุดมุ่งหมายของงานวิจัยที่จะนำเสนอวิธีการวิเคราะห์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหาย [2]

ท่อน้ำขึ้นรูปเป็นที่รู้จักในอุตสาหกรรมยานยนต์และอากาศยานที่มีความซับซ้อนมากๆ ประโยชน์ของการขึ้นรูปสามารถนำมารวมกับเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงๆ ซึ่งจะทำให้น้ำหนักลดลงและประสิทธิภาพดีขึ้น การออกแบบและการผลิตขึ้นรูปที่ต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมของวัสดุและผลกระทบกระบวนการขึ้นรูปเป็นกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อน การออกแบบที่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุและเงื่อนไขขอบเขตที่ซับซ้อน การศึกษาการจำลองด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาอิทธิพลและปัจจัยต่างๆ เช่น แรงเสียดทาน ความเค้นและความเครียดภายใน จะช่วยให้กระบวนการที่ซับซ้อนถูกต้องและรวดเร็วขึ้น[3]

การวัดความเครียดชั่วขณะและความเครียดที่แท้จริงของวัสดุโพลีเมอร์ เป็นสิ่งสำคัญในการจำลองความผิดพลาดของชิ้นส่วนพลาสติก การจำลองพฤติกรรมของวัสดุพลาสติก ความเครียดขึ้นอยู่กับพลาสติกภายใต้เงื่อนไขที่ส่งผลกระทบต่อแบบจำลองของชิ้นส่วนพลาสติกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ วิธีการใหม่ คือการจำลองผลของอัตราความเครียดพลาสติกซึ่งจะขึ้นอยู่กับโพลีเมอร์ที่ใช้ผลของการจำลองขึ้นอยู่กับเวลาและความสัมพันธ์ได้ดำเนินการวิธีการใช้อย่างสมบูรณ์ ตามขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

การเพิ่มประสิทธิภาพซึ่งคล้ายกับการวิเคราะห์ผกผัน ดังนั้นจึงใช้เฉพาะข้อมูลที่วัดได้ในการทดสอบทางกลในการสร้างความเครียด ความเครียดแท้จริงในอัตราที่คงที่ทำให้ลดเวลาลง [4]

คอมโพสิตโพลีเมอร์เป็นที่รู้จักกันดีและมีหลายคนพยายามที่จะอธิบายคุณสมบัติทางกลที่ระดับนาโน ดังนั้นแม้จะมีการเพิ่มขึ้นของความละเอียดในระดับนาโนและใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม แต่มันเป็นไปได้เมื่อความบางมีขนาดใกล้เคียงกับห้วงกุดพื้นผิวสัมผัส ผลของการสาดิตโดยทั้งสองการทดลองและผ่านการวิเคราะห์ห้วงกุดประกอบจำกัดด้วยระเบียบไฟไนต์อีลิเมนต์และวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมโดยวัดคุณสมบัติทางกายภาพที่ระบุได้อย่างรวดเร็ว คือการจำกัดขนาดและการเสริมแรง [5]

แบร็งแบบเร็วเป็นขึ้นส่วนสำคัญของเฟืองและคุณสมบัติการทำงานนี้ส่งผลต่อพฤติกรรมของลูกปืน ความแน่นของลูกปืนแบบเร็วมีผลต่อเฟืองและการหล่อลื่นระหว่างลูกกิ้งและลูกปืน ผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลเมนต์ประการแรกลูกปืนลูกกิ้งจะใช้สมการ Reynolds และพิจารณาความขรุขระของพื้นผิว จากนั้นพื้นที่ความเครียดในลูกกิ้งและรางจะถูกคำนวณโดยการเพิ่มความเร็วและแรงในการหาค่าสูงสุดของความเค้นและความเครียดของลูกปืน ในสุดท้ายผลกระทบของการทำงานคุณสมบัติของแบร็งที่ถูกวิเคราะห์โดยความเครียดสูงสุดที่ได้รับและความเครียด ผลของการทำงานวิจัยในครั้งนี้จากการวิเคราะห์ห้วงกุดประกอบจำกัด ไม่เพียงแต่จะให้ค่าสูงสุดและขจัดความเครียดต่ำสุดในแบร็ง แต่ยังแสดงให้เห็นตำแหน่งที่มีความเข้มข้นความเครียดอยู่ในระดับสูง [6]

พลศาสตร์แบบพรีเป็นทฤษฎีต่างแดนใหม่ที่ให้ความสามารถในการเป็นตัวแทนของนักจัดระบบในร่างกายอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องชัดเจนจำลองพื้นผิวแตก การดำเนินการเปลี่ยนแปลงของแรงพลศาสตร์ที่ชัดเจนของของแข็งตามสูตร การเปลี่ยนแปลงจะนำเสนอในการจำลองกระบวนการแตกหักแบบไดนามิกในแบบ 3 มิติที่มีความยืดหยุ่นที่เป็นของแข็งต่อเนื่อง วิธีกาลอร์คินไม่ต่อเนื่องแบบปรับตัวได้เป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการกำหนดการเปลี่ยนแปลงระบบเป็นผลให้บูรณาการเชิงพื้นที่สามารถดำเนินการผ่านวิธีการองค์ประกอบจำกัดในการบังคับใช้เงื่อนไขขอบเขตอย่างจำกัด เช่นเดียวกับการจัดการตาข่ายไม่สม่ำเสมอในการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรม บทสรุปของสูตรแบบไดนามิกอย่างชัดเจนและขั้นตอนวิธีเชิงตัวเลขของของแข็งตามรูปแบบ peri-dynamics ที่จะคาดการณ์ความเสียหายของวัสดุเปราะ 3 มิติ ในทางตรงกันข้ามกับตาข่ายแบบอิสระ การเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องโดยวิธีกาลอร์คินไม่ต่อเนื่องแบบปรับตัวได้ตามรูปแบบที่อ่อนแอของสมการพลศาสตร์เป็นที่ยอมรับ [7]

ความเคลื่อนไหวของความร้อนผ่านรูปทรงวัสดุ โดยใช้องค์ประกอบจำกัดอย่างง่าย ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ประเทศไทยสร้างและพัฒนาเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคเงากราฟ เป็นเทคนิคที่สามารถนำไปใช้กับการเคลื่อนไหวของอากาศร้อนเป็นสื่อที่มีความโปร่งใส ผลของการจำลองไฟไนต์อีลิเมนต์ที่มีเหตุผลที่แตกต่างกันว่าทำไมถึงจะสันนิษฐานว่า ข้อผิดพลาดของแบบจำลองการวัดว่าค่าบางอย่างจะไม่นำมาพิจารณาเช่น การสูญเสียความเสียดทานหรือความหนาแน่นของอากาศที่มีข้อผิดพลาด ในช่วงอุณหภูมิที่ทางเข้าของอากาศร้อนไหลผ่าน อากาศร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสูญเสียความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งแตกต่างจากรุ่นที่มีการตั้งค่าที่จะอยู่ในสภาพที่มั่นคงเป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากพฤติกรรมของการไหลของอากาศร้อนจากผลที่ได้ทั้งสองวิธีสามารถนำมาเปรียบเทียบและนำไปใช้ในสาขาต่างๆ [8]

ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ต่อความเครียดในภาชนะรับความดันในแนวนอนและสนับสนุนอน ทำโดยใช้วิธีการองค์ประกอบจำกัด ในแบบฟอร์มสามมิติและเพียงหนึ่งในสี่รูปแบบขององค์ประกอบ จำกัด ตัวแปรที่มีอัตราส่วนของระยะทางของการสนับสนุนจากส่วนท้าย ความยาวและอัตราส่วนของความยาว กับรัศมี นอกจากนี้การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเรขาคณิต มันก็พบว่าความเครียด ในภาชนะรับความดันลดลง ทางเรขาคณิตความเครียดผลกระทบของความเครียดในรูปแบบในการ สนับสนุนแนวนอนถึงแรงดันและยื่นตามองค์ประกอบจำกัด อธิบายไว้ในส่วนสรุป และเทคนิคในการ ปรับปรุงองค์ประกอบ ความเครียดในถังและความดัน, การสนับสนุนแพลตฟอร์มได้ลดลง [9]

เกณฑ์การแตกหักสำหรับวัสดุเหนียวได้รับการพัฒนาในการวิจัยจำนวนมาก แต่มีความแตกต่างอย่างมากระหว่างวัสดุด้วยกัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะหาวิธีที่จะเลือกหรือแสดงเกณฑ์ความ เหนียวการแตกหักและระบุการบังคับใช้และความน่าเชื่อถือ ในการศึกษานี้ได้ทดสอบองค์ประกอบ จำกัดซึ่งมี วิธีการเสนอที่จะได้รับอย่างเต็มรูปแบบความสัมพันธ์ที่เป็นส่วนประกอบแกนเดียวถึงความ ล้มเหลวของเหล็ก A508-3 และ SS316L ความเครียดแตกหักและความเครียดจะได้รับการวิเคราะห์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบจำกัด ผลสรุปของวิธีที่ได้มาซึ่งความสัมพันธ์ที่เป็นส่วนประกอบอย่างเต็ม รูปแบบขึ้นอยู่กับความล้มเหลวของวัสดุเหนียวได้รับการพัฒนาอย่างเต็มรูปแบบ เส้นโค้งที่เป็น ส่วนประกอบของ A508-3 และ SS316 ใช้วิธีการทดสอบองค์ประกอบจำกัดมาพร้อมกับรัศมีที่ แตกต่างกันของตัวอย่างNRB ความถูกต้องหรือขึ้นส่วนตัวอย่าง วิธีนี้จะถูกตรวจสอบโดยการใช้วิธีการ ที่แตกต่างกันของการไหล (แรงดึงและการบีบอัด) และที่แตกต่างกัน ประเภทของการกำหนดค่า ตัวอย่าง โดยการประยุกต์ใช้อย่างเต็มรูปแบบความสัมพันธ์เป็นส่วนประกอบที่ได้รับโดยวิธีทดสอบ องค์ประกอบจำกัด และเกณฑ์การพิจารณาการแตกหักความเครียดทั้งสามแกน ที่แตกหัก ดัดเหล็ก A508-3 และ SS316L เป็นไปได้ที่จะคาดการณ์ได้โดยไม่ต้องมีการทดสอบการแตกหรือดัด [10]

ตัวลดเสียงรบกวนที่ใช้ลดทอนสัญญาณเป็นชนิดขององค์ประกอบทั่วไปซึ่งทั้งสองสามารถ ลดทอนเสียงความเร็วสูงและตอบสนองความต้องการที่เฉพาะเจาะจงในการติดตั้ง วิธีเมทริกซ์หนึ่งมิติ การถ่ายโอนและวิธีการองค์ประกอบจำกัดถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการคาดการณ์การสูญเสีย การส่งสัญญาณสะท้อนนี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบระหว่างขนาดหนึ่งทิศทางและในการ สร้างแบบจำลองการเจาะรายละเอียดจะนำไปใช้กับการสร้างแบบจำลองอะคูสติก ผลการทำไฟไนต์อี ลิเมนต์กับการสร้างแบบจำลองการเจาะรายละเอียดแสดงข้อตกลงที่ดีกับการทดสอบแม้จะมีความ กว้างขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยที่ความถี่สูงสุด วิธีการนี้ใช้อย่างมากที่ใช้บังคับกับงานที่ไม่สม่าเสมอ กระจายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่และอัตราการเจาะสูง เห็นได้ชัดว่าไฟไนต์อีลิเมนต์ที่ดีขึ้น สามารถทำซ้ำผลการทดสอบในช่วงความถี่ทั้งหมด วิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบ ผลการทำและชดเชยความไม่ถูกต้องก่อนการสร้างต้นแบบ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์สองวิธีการคำนวณที่แตกต่างกันคือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีการที่แตกต่างกันของตาข่ายจำกัด ในโดเมนที่ถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาค่าเริ่มต้นของปัญหาในเขตแดนที่การขนส่งความร้อนในโดเมนคือไม่ใช่แบบประจำ ในวิธีการนี้โดเมนจะถูกแบ่งออกเป็นสองโดเมนย่อยสำหรับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และวิธีการที่แตกต่างกันของตาข่ายจำกัดตามลำดับ ขัดกับเทคนิคการ วิธีการที่นำเสนอในบทความนี้ถูกกำหนดไว้ในแง่ของการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์มากกว่าที่ระดับประมาณการ ขนาดของตัวแปรแสดงออกมาแตกต่างกันในการพิจารณาปัญหา การประยุกต์ใช้การประมาณการและค่าความแตกต่าง มันจะแสดงบนการลดลงของค่าความหนาแน่นเท่านั้นและจะแสดงจุดค่าของตัวแปรของทางกลและความร้อนของชิ้นส่วนในการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ รวมถึงการเคลื่อนที่ของความร้อนและรูปร่างของวัสดุ [12]

เมตริกซ์ใหม่ เป็นวิธีการเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาอินเตอร์เฟซบนตาข่ายคาร์ทีเซียนซึ่งเป็นที่น่าพอใจหรือการใช้งานมากมาย เช่น การจำลองอนุภาคในเซลล์ของวิธีเมตริกซ์นี้สำหรับปัญหาที่อินเตอร์เฟซที่มีโครงสร้างเป็นระยะๆ ในโดเมนที่ไม่มีที่สิ้นสุด เพื่อรับมือกับเงื่อนไขขอบเขตระยะเมตริกซ์ใหม่จะยังคงสมมาตรบวกแน่นอนเพื่อให้ระบบเชิงเส้นจะสามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลของวิธีการเมตริกซ์ สำหรับปัญหามากมายอินเตอร์เฟซรูปไข่ที่มีโครงสร้างเป็นระยะๆ ปัญหาจะสามารถทำการคำนวณใหม่โดเมนจำกัดด้วยเงื่อนไขขอบเขตระยะที่เหมาะสมเงื่อนไขขอบเขตระยะสามารถอาศัยโดยการปรับเปลี่ยนเมตริกซ์ [13]

ขั้นตอนที่สองนี้-อย่างชัดเจน (ไอเม็กซ์) ต่อเนื่องเวลาควบคุมกระเปียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการแก้ปัญหาความล่าช้าในการปฏิบัติการของระบบการแข่งขันปฏิกิริยาการแพร่กระจายกระเปียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการไม่จำกัดตัวแปรพื้นที่ทั้งไอเม็กซ์ สองขั้นตอนวิธีการหนึ่งขาและไอเม็กซ์เชิงเส้นวิธีการแบบสองขั้นตอนจะมีการพิจารณาในเวลาต่อเนื่องซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยาไม่เชิงเส้นลดลงอย่างชัดเจนและเป็นส่วนหนึ่งกระจายเป็นไม่คงที่และลดลงโดยปริยายกระเปียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการลดตัวแปรพื้นที่และมันก็แสดงให้เห็นว่าการประมาณการข้อผิดพลาดกับการจัดการจุดแตกหักเป็นศูนย์เป็นการทดลองเชิงตัวเลขยืนยันผลทางทฤษฎี [14]

การวิเคราะห์สถิติของโครงสร้างเชิงเส้นยึดหยุ่นกับพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนอยู่ภายใต้แรงที่กำหนด คุณสมบัติที่มีโครงสร้างไม่แน่นอนย่อมเป็นตัวแปรที่มีช่วงเวลาที่ได้รับมอบหมายขอบเขตล่างและบน เป็นความคิดที่สำคัญของวิธีการในการวิเคราะห์คือการเชื่อมโยงหน่วยช่วงเวลาพิเศษเพื่อแต่ละพารามิเตอร์มีความไม่แน่นอนในการสั่งซื้อเพื่อให้คุณสมบัติทางกายภาพที่เชื่อมโยงกับองค์ประกอบจำกัดทั้งในการระดมความคิดและการแก้ปัญหา ขั้นตอนนี้จะช่วยให้เป็นหนึ่งในการลดการประเมินค่าสูงและดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานของการฝึกอบรมระดับเริ่มต้น ช่วงการวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัด วิธีสำหรับการวิเคราะห์แบบคงที่ของโครงสร้างเชิงเส้นที่มีพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอน ได้รับการเสนอความคิดที่สำคัญของวิธีการในการจำลองพารามิเตอร์ที่มีความไม่แน่นอนเป็นตัวแปรช่วงเวลาการจัดการโดยวิธีการของการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่ดีที่สุด ผ่านช่วงเวลาพิเศษรวมที่จะลดการประเมินค่าสูงที่มีผลต่อการวิเคราะห์ช่วงเวลาคลาสสิก [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

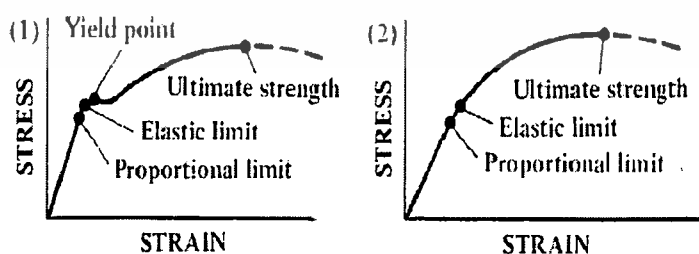
2.2 การศึกษาการออกแบบชิ้นส่วน

การออกแบบชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ผู้ออกแบบจะต้องทราบตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดและค่าความเค้นดังกล่าวจะต้องไม่เกินจุดครากของวัสดุที่นำมาใช้ออกแบบซึ่งตำแหน่งและค่าของความเค้นนั้นสามารถนำการคำนวณโดยทฤษฎีทางกลศาสตร์มาคำนวณได้แต่ทฤษฎีทางกลศาสตร์นั้นมีข้อจำกัด คือ ในกรณีที่รูปแบบของชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนก็จะทำให้การคำนวณนั้นยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในบางกรณีจึงไม่สามารถคำนวณได้ด้วยมือ ดังนั้นจึงมีการนำเอาวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปของการออกแบบ

วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ คือทำการเติมรูปร่างของชิ้นงานด้วยชิ้นส่วนเล็กๆ ที่มีรูปร่างเรขาคณิต เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ลูกบาศก์ ประกอบเข้าด้วยกันให้มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับต้นแบบให้มากที่สุด เนื่องจากเราสามารถประมาณหาค่าตอบที่แน่แท้ของชิ้นส่วนที่มีรูปร่างเรขาคณิตได้ ดังนั้นเมื่อเติมชิ้นส่วนเล็กๆ เหล่านี้ ลงไปในชิ้นส่วนใหญ่ ก็สามารถศึกษาพฤติกรรมโดยรวมของระบบได้

โปรแกรมเริ่มต้นจาก การหาวิธีการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง ของเครื่องบิน Hrenikoff ได้เสนอการใช้วิธี frame work เพื่อแก้ปัญหาทาง elasticity เป็นรายแรก ต่อมาในปี ค.ศ.1943 Courant ก็ได้ตีพิมพ์บทความวิชาการ เกี่ยวกับการนำวิธีการ polynomial interpolation บนขอบเขตสามเหลี่ยม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณผลคำตอบ และนอกจากนี้ Courant ก็ยังแนะนำการใช้วิธีการของ Rayleigh-Ritz มาใช้ในการหาค่าคำตอบของปัญหาทางวิศวกรรมอีกด้วย ซึ่งน่าจะเป็นที่มาของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์นั่นเองจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1953 วิศวกรจึงได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาแก้สมการของ stiffness matrix เป็นครั้งแรก หลังจากนั้นอีกเจ็ดปี Clough จึงได้ตั้งชื่อวิธีการนี้ว่า วิธีการไฟไนต์อิลิเมนต์ ในปี ค.ศ. 1960

ขั้นตอนการทดลองได้มีการดำเนินการตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ การออกแบบ ปลอกครอบ ปลายสามารถวัดผลโดยใช้ ไฟไนต์อิลิเมนต์ และแสดงผลของแรงตามค่าความเครียดที่เกิดขึ้น สมบัติเชิงกลของวัสดุ คุณสมบัติทางกลหลายชนิด และบางวัสดุอาจสามารถหาได้จากการทดสอบบางส่วนที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและความเค้นที่แสดงโดยเส้นโค้งประกอบ



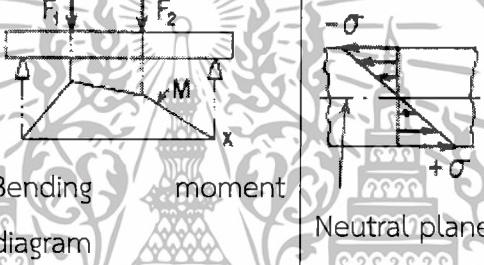


รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียดเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ และมักจะเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ถ้าความเครียดมีแนวโน้มที่จะ ยืด หรือยืดวัสดุ เรียกว่าความเค้นแรงดึง หากการบีบอัด หรือลดวัสดุ ความเครียดอัด และถ้า ให้แรงเฉือนวัสดุ ความเครียดตัด เค้นแรงดึง และแรงอัดกระทำเสมอที่มุมขวาเป็น (ปกติไป) พื้นที่ที่มีการพิจารณา ตัดเครียดมักอยู่ในระนาบของพื้นที่

ตาราง 2.1 ความเครียดแบบง่าย

Case	Type of Loading	Illustration	Stress Distribution	Stress Equations
1	Direct tension		Uniform	$\sigma = \frac{F}{A}$
2	Direct compression		Uniform	$\sigma = -\frac{F}{A}$
3	Bending		Neutral plane	$\sigma = \pm \frac{M}{Z} = \pm \frac{My}{I}$

2.3 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [16]

ในความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์หรือทางวิทยาศาสตร์นั้น มีส่วนอย่างมากในการสร้างชีวิตของมนุษย์ให้ดีขึ้น ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นรอบตัวโดยอธิบายถึงหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ หรือสมการเชิงอินทิกรัล เป็นต้น สมการเชิงอนุพันธ์จะสามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ไม่ยากแต่การได้ผลเฉลยที่แม่นยำ, ที่ต้องการและจำเป็นต้องประดิษฐ์ให้ได้รูปทรงที่ตื้นนั้นทำได้โดยระเบียบการวิเคราะห์ซึ่งทำได้ยากมากหรืออาจจะไม่ได้เลย ดังนั้นเหตุผลดังกล่าวจึงก่อให้เกิดวิธีการผลเฉลยโดยประมาณเกิดขึ้น ในอดีตวิธีการผลเฉลยโดยประมาณมีหลากหลายแบบ แต่ที่เด่นชัดคือระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง(Finite difference method)

เมื่อเราจะทำการวิเคราะห์การกระจายของความเค้น (Stress distribution) บนแผ่นตัวอย่างนี้ด้วยวิธีระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method) เราพบว่าจากการแบ่งช่องตาราง 4 ช่องต่อกันที่จุดต่อ ซึ่งขนาดของปัญหาหรือจำนวนตัวไม่รู้ค่า (Number of unknowns) จะขึ้นอยู่กับจำนวนของจุดต่อนี้เองพูดง่าย ๆ ก็คือจำนวนจุดของวิธีนี้ไม่สามารถลงตามรอยโค้งเว้าและวงกลมได้และยังทำให้จุดที่เลยออกมาเป็นค่าสมการที่เกินจริงและยังทำให้รูปทรงผิดไปอีกด้วย เพราะเหลี่ยมที่เลยออกมาไม่สามารถคำนวณความเป็นจริงของแผ่นตัวอย่างได้ ดังนั้นอุปสรรคและความไม่

เอกลวิธีเป็นเอกลวิธีที่ลงมือทำหรือการแก้ไขในเพื่อการแก้ไขเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้เขียนระเบียบวิธีนี้ในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะดวกดังกล่าวที่พูดมานั้น มีส่วนที่ก่อให้เกิดระเบียบวิธีการหาผลเฉลยโดยวิธีอีกวิธีหนึ่งที่เรียกว่า ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) หรือ FEM ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นี้สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีรูปร่างรูปทรงลักษณะซับซ้อนได้เป็นอย่างดี สามารถจำลองรูปร่างลักษณะดั้งเดิมที่แท้จริงได้ใกล้เคียงและเที่ยงตรงกว่า หลักการของระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) นี้ใกล้เคียงกับวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) แต่แตกต่างกันตรงที่ ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) สามารถแบ่งจุดและเหลี่ยมออกได้โดยไม่ต้องซ้ำกันและไม่จำเป็นต้องมีขนาดของชิ้นส่วนแต่ละเอลิเมนต์ๆ เท่ากัน

ข้อดีอย่างแรกที่เห็นได้ชัดเจนจากวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) คือ สามารถจำลองรูปของจริงได้ใกล้เคียงกว่ามากไม่ต้องกำหนดขนาดเหลี่ยมต่อจุดให้เท่าๆ กัน แต่สามารถกำหนดตามลักษณะของแผ่นตัวอย่าง ดังนั้นค่าเฉลยโดยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method)

2.3.1 ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) คือ อะไร

ในการวิเคราะห์ปัญหาใดปัญหาหนึ่งนั้น ปัญหานั้นมักประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ผลแม่นยำที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้ จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรตามของตำแหน่งต่างๆ กันบนรูปลักษณะของปัญหานั้น ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ยังบ่งชี้เป็นนัยว่า ผลเฉลยของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้นๆ ซึ่งหมายความว่าวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องเริ่มพิจารณาที่ละเอลิเมนต์ โดยทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่พิจารณาอยู่ จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์มาประกอบเข้าด้วยกันก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งในความหมายทางกายภาพก็คล้ายกับการนำทุกเอลิเมนต์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันก่อให้เกิดเป็นรูปร่างลักษณะทั้งหมดของปัญหาที่แท้จริง แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้ลงไปในระบบสมการรวมนี้ ก่อนทำการแก้ทั้งระบบสมการดังกล่าว เพื่อหาผลและโดยประมาณที่ต้องการตามตำแหน่งต่างๆ ของปัญหานั้น ความสมดุลของของแข็งที่มีการยึดหยุ่นได้ในสามมิติแสดงในรูปที่ 3 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย คือ

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + F_x = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + F_y = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z = 0$$

โดย $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ แทนความเค้นในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ และ $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$ แทนความเค้นเฉือน $F_x, F_y,$

F_z แทนแรงวัตถุ (body force) ในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ ตลอดผิวรอบนอกของของแข็งตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในรูป 3 อาจประกอบด้วยเงื่อนไขขอบเขตหลายๆ ชนิด อาทิเช่น การกำหนดระยะเคลื่อนตัวบนผิวบางส่วน ในขณะที่ผิวส่วนอื่นๆ อาจมีการกำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว (surface traction) ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\vec{T} = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k} \quad (2)$$

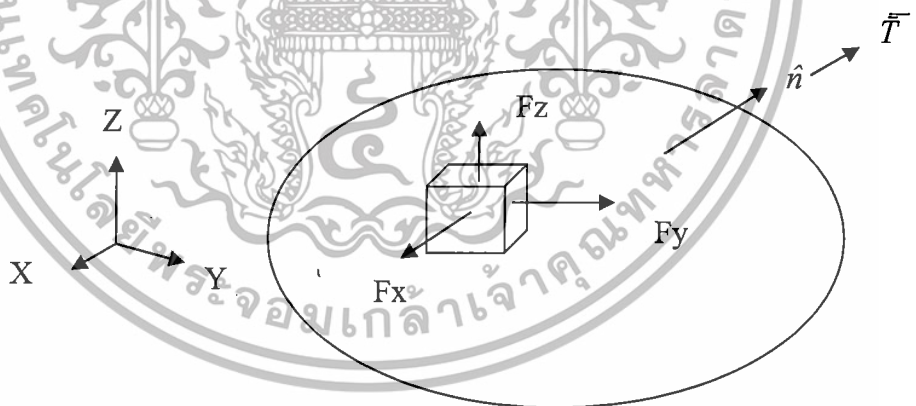
โดย T_x, T_y, T_z แทนความเค้นที่ผิวในทิศแกน x, y, z ตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของความเค้นย่อยต่างๆ ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix} \quad (3)$$

โดย n_x, n_y, n_z เป็นทิศทางโคไซน์ (direction cosines) ของเวกเตอร์

$$\hat{n} = n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k} \quad (4)$$

ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว ณ จุดที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น



รูปที่ 2.2 ความสมดุลตามตำแหน่งใดๆ ในของแข็งสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวเหล่านี้แล้ว ของแข็งในสามมิติในรูป 3 อาจมีความเครียดขั้นต้น (pre-strain) ที่เกิดขึ้นอยู่ก่อน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยทั่วไปคือ

$$\{\sigma\} = [c]\{\epsilon - \epsilon_0\} \tag{5}$$

ดังนั้น

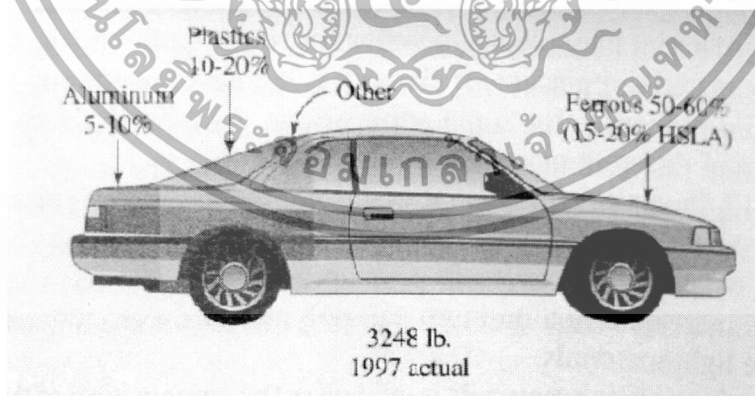
$$\{\sigma\}^T = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \tau_{xy} \ \tau_{yz} \ \tau_{xz}] \tag{6}$$

$$\{\epsilon\}^T = [\epsilon_x \ \epsilon_y \ \epsilon_z \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{xz}] \tag{7}$$

$$[c] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{8}$$

ν คือ ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) และ E คือ ค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Elastic modulus)

2.4 วัสดุที่ใช้ในการผลิตปลอกครอบปลายในปัจจุบัน



รูปที่ 2.3 สำหรับรถยนต์

ที่มาจากหนังสือ Foundation of Materials Science and Engineering: Smith, McGraw-Hill

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงสัดส่วนของวัสดุที่ใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยแบ่ง

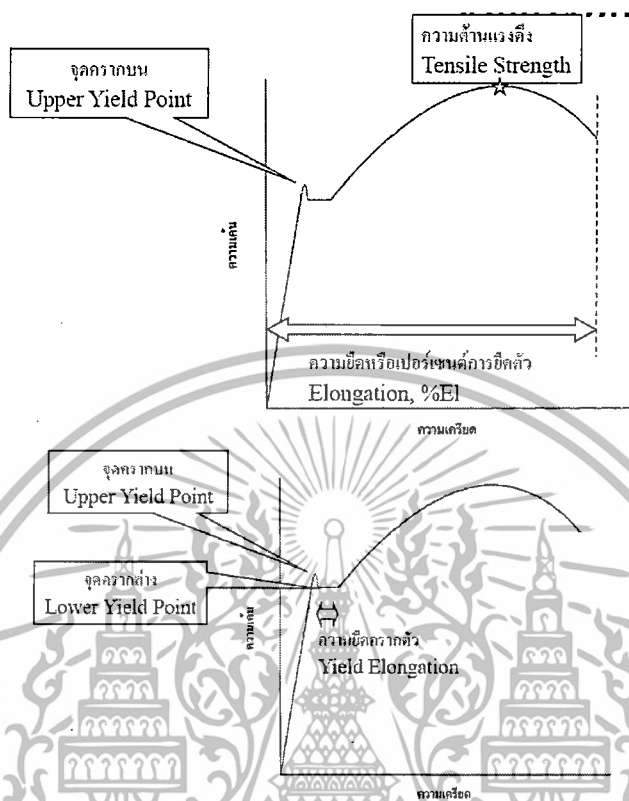
สัดส่วนในปี 1997 เป็น เหล็ก 50-60%, พลาสติก 10-20 %,อลูมิเนียม 5-10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 เหล็ก (Steel) [17]

ความสามารถในการขึ้นรูปทางกล



รูปที่ 2.4 ความสามารถในการขึ้นรูปทางกลของเหล็ก
ที่มา <http://www.engineering-eye.com>

คุณสมบัติและการใช้งาน

เหล็กแผ่นรีดร้อนใช้สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดีสามารถเชื่อมต่อได้ง่ายเป็นโครงสร้างต่างๆใช้ในการก่อสร้างตึก ก่อสร้างสะพาน สร้างเรือหรือใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์

ตารางที่ 2.2 การเทียบเกรดเหล็ก Equivalent

JIS	DIN	AISI	ASSAB	BOHLER	HITACHI	NIPPON KOSHURA
SS400 (SS41)	-	-	-	MS	SS400	SS400

ส่วนผสม(%) Composition

C	Si	Mn	P / S	Cr	Mo	V
0.13-0.18	0.15-0.35	0.5-0.7	0.050 max	-	-	-

ความแข็ง Hardness

สภาพอบอ่อน (Annealed)	หลังการอบชุบ (Tempered)
116-152	-

คุณสมบัติของเหล็กเกรดต่างๆ

1. เหล็ก SS400 คุณสมบัติเหล็กแผ่นรีดร้อน สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป
2. เหล็ก SKD11 คุณสมบัติทำลูกรีดเกลียว ลูกรีดแป้น ใบมีดตัดเหล็กแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป แม่พิมพ์กรรไกร แม่พิมพ์กระดาษ ทนแรงดึงสูง
3. เหล็ก SKS3 คุณสมบัติ เหล็กทำแม่พิมพ์งานเย็น พิมพ์ตัด โลหะแผ่นบางและกระดาษ มีความสามารถในการชุบแข็งสูง ทนแรงเสียดสีได้ดี
4. เหล็ก SKD61 คุณสมบัติ เหล็กสำหรับทำแม่พิมพ์งานร้อน มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติ และอุณหภูมิสูงๆ ทนการสึกหรอดีมาก ทนแรงกระแทกสูง รักษาความแข็งแรงที่สูงได้ดี ใช้ทำแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะได้ดี
5. เหล็ก P20 คุณสมบัติเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกคุณภาพสูง ชัดผิวขึ้นเงาได้ดีมาก ทำงานง่าย ทนแรงดัน
6. เหล็ก S45C คุณสมบัติเหล็กคาร์บอนปานกลางเหมาะสำหรับงานพื้นฐานทั่วไปโครงสร้างแม่พิมพ์และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชุบแข็งได้ง่าย ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับการทำชิ้นส่วนพื้นฐานหรือโครงสร้างของแม่พิมพ์และงานต่างๆ ไป
7. เหล็ก S50C คุณสมบัติเหล็กคาร์บอนปานกลางเหมาะสำหรับงานพื้นฐานทั่วไปโครงสร้างแม่พิมพ์และแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชุบแข็งได้ง่าย ทนการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูงเหมาะสำหรับการทำชิ้นส่วนพื้นฐานหรือโครงสร้างของแม่พิมพ์และงานต่างๆ ไป
8. เหล็ก SCM440 คุณสมบัติเหล็กเครื่องมือมีคาร์บอนปานกลาง มีความเหนียว ทนแรงดึงสูง เหมาะสำหรับการทำเครื่องมือ น็อต สกรู เพลา ก้านสูบและชิ้นส่วนรถยนต์
9. เหล็ก SCM415 คุณสมบัติทนแรงดึงสูงมีความเหนียว เหล็กเครื่องมือเหมาะที่จะเฟืองรอบจัด และงานที่ต้องการผิวที่แข็งเฉพาะผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เหล็ก SCM439, SNCM439 คุณสมบัติเหล็กเครื่องมือทนแรงดึงสูงเหมาะสำหรับทำเพลาค้อ เหวียง เฟืองแกนพวงมาลัย เพลากลางรถยนต์ และชิ้นส่วนเครื่องจักรที่มีความเครียดสูง
11. เหล็ก SK5 คุณสมบัติเหล็กคาร์บอนสูง ชุบแข็งได้ง่าย ทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติเป็นสปริงสูง
12. เหล็ก SUP9 คุณสมบัติ ใช้สำหรับสปริงชิ้นรูปงานร้อน (Hot Format Spring) เช่น เหล็กแผ่นสปริง (Laminated Springs) เหล็กคอยล์สปริง และเหล็กแหวนสปริงที่ใช้ในรถยนต์
13. เหล็ก EH400 คุณสมบัติเป็นเหล็กทนสึก
14. เหล็กเหนียว และเหล็กแข็ง



รูปที่ 2.5 เหล็กเหนียวและเหล็กแข็ง

ที่มา <http://www.engineering-eye.com/>

เหล็กที่เราเห็นกันทั่วไป ซื่อขายกันทั่วไป ส่วนใหญ่คือเหล็กเกรด SS400 คือ เหล็กเหนียวธรรมดา คุณสมบัติคือสามารถเชื่อมต่อดี เหมาะสำหรับเชื่อมและเป็นโครงสร้างได้ เหล็กเหนียวจะมีความยืดหยุ่น ไม่แตกหักง่าย และเหล็กอีกตัวหนึ่งที่อยู่ในชั้นคุณภาพใกล้เคียงกัน คือ เหล็ก ST โดยทั้งสองเกรดนี้เหมาะกับการก่อสร้าง โดยเหล็กชั้นคุณภาพ SS400 จะสามารถเทียบเท่ากับเกรดชั้นคุณภาพ ASTM A36 แต่ยังไม่สามารถใช้ได้เทียบเท่ากับ ST37 เพราะมีค่าทนแรงดึงต่างกัน ส่วนเหล็กแข็ง คือ เหล็กเกรด S45C, S50C โดย S จะหมายถึง Steel, C หมายถึง Carbon ดังนั้น เหล็กเกรด S45C ก็หมายถึง เหล็กที่มีส่วนประกอบธาตุคาร์บอน 0.45% โดยยังมีส่วนประกอบธาตุคาร์บอนยิ่งเยอะ เหล็กชนิดนั้นก็จะสามารถยิ่งชุบแข็งได้สูง และเมื่อนำมาขัดเงา ก็จะได้เงาดีกว่าด้วย โดยมาตรฐานใกล้เคียงกับเหล็กเกรดนี้ คือ

- JIS S45C = AISI1045

- JIS S50C = AISI1050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารนี้และส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148008

2.4.2 อลูมิเนียม (Aluminium Die Casting)

- โลหะอลูมิเนียม นับเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีปริมาณการใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยมีการใช้โลหะอลูมิเนียมทั่วโลก ในราว 29 ล้านตันต่อปี ในปี 2548 (International Aluminium Institute)

- ลวด/แผ่นนำไฟฟ้า/นำความร้อนในงานที่ต้องการน้ำหนักเบา ชิ้นส่วนน้ำหนักเบา แผ่นสะท้อนแสง ชิ้นส่วนยานยนต์หลายประเภท ล้อแม็ก แผ่นพอยล์ ฯลฯ

- อุตสาหกรรมอะลูมิเนียมเกิดจากการเข้าไปทดแทนโลหะและวัสดุอื่น เช่นทดแทนทองแดง ในการผลิตสายส่งไฟฟ้า ทดแทนแผ่นเหล็กวิลาดในการผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยในปัจจุบันเริ่มเข้าไปแทนที่เหล็กกล้าในอุตสาหกรรมรถยนต์ เป็นต้น นับเป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มการเติบโตที่ดี มีราคาที่สูงขึ้นเรื่อยๆ

Die Casting Material(วัสดุสำหรับฉีดอะลูมิเนียม)

วัสดุที่ใช้ในงานฉีดอะลูมิเนียมแบ่งได้หลายชนิด สามารถแบ่งได้ทั้งชนิดของการใช้งานและชนิดของวัสดุที่ใช้ผสมในอะลูมิเนียม ซึ่งการนำไปใช้งานก็สามารถแยกออกได้ตามแต่ชนิดการใช้งาน เช่นในงานฉีดอะลูมิเนียม และงานหล่ออะลูมิเนียม เป็นต้น การระบุวัสดุในการฉีดอะลูมิเนียมต้องคำนึงถึงการใช้งานเสมอ เพื่อให้สามารถนำวัสดุผสมเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่

มาตรฐานวัสดุสำหรับงานฉีดอะลูมิเนียม (JIS Standard)

1. อะลูมิเนียมผสมสำหรับงานไดคาสต์ JIS Standard JIS-H5302-2000 (JIS Aluminium Alloy Die Casting)
2. อิงกอตอะลูมิเนียมผสมสำหรับงานไดคาสต์ JIS Standard JIS-H2118-2000 (JIS Aluminium Alloy Ingot for Die Casting)

ลักษณะเด่นของอะลูมิเนียมผสมสำหรับงานไดคาสต์ JIS Standard

1. ADC1 Al-Si Alloy (มี Si ผสมอยู่ประมาณ 12%) เป็นโลหะผสม Al-Si ระบบ 2 ธาตุ

จุดเด่น

- คุณสมบัติการไหลตัวดี
- ไม่เกิดการเปราะที่อุณหภูมิสูง
- ค่าการขยายตัวทางความร้อนต่ำ
- มีมิติและขนาดที่เสถียร

จุดด้อย

- คุณสมบัติการทำ Anodic oxidation coating ต่ำ
- คุณสมบัติการกัดกร่อนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ADC2 Al-Si Alloy (มี Si ผสมอยู่ประมาณ 12%) แตกต่างจาก ADC1 ที่มีสิ่งเจือปน เช่น Cu, Mg, Zn, Ni, Sb, Pb ในปริมาณต่ำ

จุดเด่น

- คุณสมบัติทนการกัดกร่อนสูง
- คุณสมบัติการหล่อดี
- ไม่เกิดการเปราะที่อุณหภูมิสูง

จุดด้อย

- เหมือน ADC1

3. ADC3 Al-Si-Mg Alloy (มี Si ผสมอยู่ประมาณ 9.5% และ Mg 0.5%)

จุดเด่น

- คุณสมบัติการไหลตัวดี
- ไม่เกิดการเปราะที่อุณหภูมิสูง
- คุณสมบัติการทนความร้อนสูง

จุดด้อย

- คุณสมบัติการทำ Anodic oxidation coating ต่ำ
- คุณสมบัติการทำ Chemical coating ต่ำ

4. ADC5, ADC6 Al-Mg Alloy

(ADC5 = Mg 4.0-8.5%)

(ADC6 = Mg 2.5-4.0%)

จุดเด่น

- คุณสมบัติทนการกัดกร่อนสูง
- ค่า Proff stress และ Elongation สูง
- คุณสมบัติการทำ Anodic oxidationcoating สูง
- คุณสมบัติการกัดกลึงสูง

จุดด้อย

- คุณสมบัติการไหลตัวต่ำ
- เกิดการเปราะที่อุณหภูมิสูง
- เกิดการหลอมติดแม่พิมพ์ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ADC10 Al-Si-Cu Alloy (Si 8.5%, Cu 3%)

จุดเด่น

- คุณสมบัติการหล่อดี
- คุณสมบัติเชิงกลดี
- ไม่เกิดการเปราะที่อุณหภูมิสูง
- คุณสมบัติทนการหลอมติดแม่พิมพ์สูง
- คุณสมบัติการชุบเคลือบผิวดี

จุดด้อย

- คุณสมบัติการทนความดันต่ำ
- คุณสมบัติการทำ Anodic oxidation coating ต่ำ
- คุณสมบัติการทำ Chemical coating ต่ำ

6. ADC12 Al-Si-Cu Alloy (Si 10%, Cu 2.5%) มีลักษณะเด่นคล้ายกับ ADC10

7. ADC14 Al-Si-Cu-Mg Alloy (Si 17%, Cu 4.5%, Mg 0.55%)

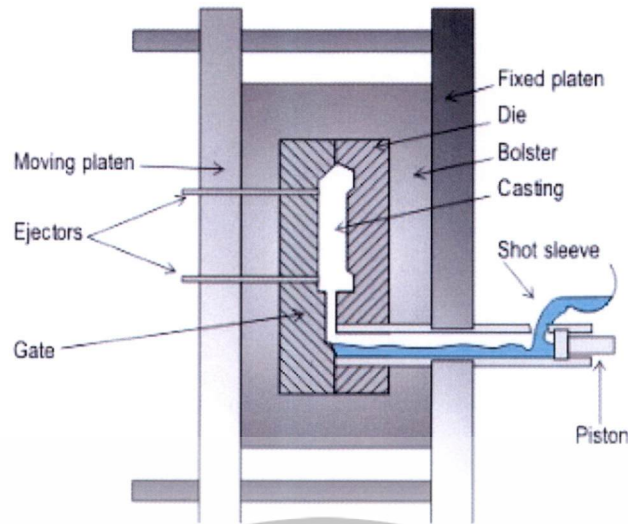
จุดเด่น

- คุณสมบัติทนการสึกหรอสูง
- ค่าขยายตัวทางความร้อนต่ำ
- คุณสมบัติการหล่อดี
- คุณสมบัติที่อุณหภูมิสูงดี
- คุณสมบัติทนการกัดกร่อนต่ำ

จุดด้อย

- หลอมลำบาก
- คุณสมบัติการทำ Anodic oxidation coating ต่ำ
- คุณสมบัติการทำ Chemical coating ต่ำ
- คุณสมบัติทนการกัดกร่อนต่ำ

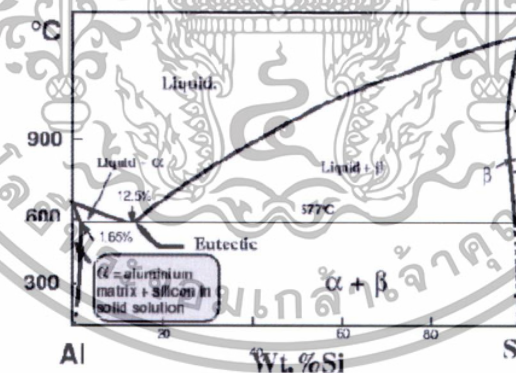
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กระบวนการหล่อขึ้นรูปด้วยแรงอัดสูง

ที่มา : โลหะวิทยาและกรรมวิธีการผลิต

Die-Cast Aluminium หรือ Die casting Aluminium คือ อลูมิเนียมผสมชนิดหนึ่งที่ทำขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการหล่อขึ้นรูปด้วยแรงอัดสูง die casting machine อลูมิเนียมที่ใช้ส่วนใหญ่คือ ADC12 (JIS Standard) ส่วนผสมหลัก 12 Si (Silicon) Fe น้อยกว่า 1% Cu น้อยกว่า 1% Al (balance)



รูปที่ 2.7 กราฟสัดส่วนอลูมิเนียม-ซิลิกอน

ที่มา : โลหะวิทยาและกรรมวิธีการผลิต

2.4.3 สังกะสี (Zinc Die Casting)

คุณสมบัติที่โดดเด่นของโลหะสังกะสี คือ การป้องกันเหล็กไม่ให้เป็นสนิม แต่คุณสมบัติเพียงประการเดียวไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรมบางประเภท ดังนั้นจึงได้มีการนำโลหะอื่นมาผสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้กับโลหะสังกะสี ซึ่งได้แก่ อลูมิเนียม แมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทองแดงเป็นต้น โดยเรียกโลหะประเภทนี้ว่า โลหะสังกะสีผสม หรือ Zinc Alloys และเนื่องจากโลหะสังกะสีมักนำไปใช้ในงานฉีดขึ้นรูป จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Zinc Diecasting Alloys

ด้วยคุณสมบัติการไหลที่ดี มีกำลังวัสดุและความแข็งแรงสูง ทนทานต่อการผุกร่อนและการเสียดสี รวมทั้งคงรูปร่างได้ดี จึงทำให้โลหะสังกะสีผสมเป็นที่นิยมสำหรับการนำไปใช้งานฉีดขึ้นรูป (Die casting) ชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรง มีรูปร่างซับซ้อน ต้องการขนาดที่แม่นยำและผลิตคราวละมากๆ นอกจากนี้ยังเหมาะกับชิ้นงานฉีดขึ้นรูปที่ต้องนำไปเคลือบผิวด้วยโลหะอื่นๆ รวมทั้งต้องการทาสีเคลือบซึ่งจะทำได้ง่ายและสวยงาม การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยโลหะสังกะสีผสมยังช่วยรักษาแม่พิมพ์ให้ใช้งานได้นานอีกด้วย ตัวอย่างชิ้นงานต่างๆ ที่ฉีดขึ้นรูปด้วยโลหะสังกะสีผสมได้แก่ ชิ้นส่วนยานยนต์, ชิ้นส่วนเครื่องบินและอุปกรณ์สื่อสาร, ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์, ชิ้นส่วนสุขภัณฑ์, ของเด็กเล่น, เครื่องใช้ภายในบ้าน ได้แก่ บานพับ

เกิดองค์ความรู้สำหรับการประยุกต์ใช้ zinc die casting กับอุตสาหกรรม เกิดการรวมกลุ่มของผู้ที่อยู่ใน Value Chain ของอุตสาหกรรม ตั้งแต่ผู้ผลิตวัตถุดิบ ผู้ทำแม่พิมพ์ ผู้ฉีด ผู้ชุบผิวและผู้ผลิตผลิตภัณฑ์สู่การยกระดับของการพัฒนาทั้งอุตสาหกรรม และทดแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ เอ็มเทค ร่วมมือกับบริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) เพื่อเพิ่มศักยภาพและยกระดับขีดความสามารถของผู้ประกอบการ zinc die casting และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สังกะสี พัฒนาหลักการออกแบบแม่พิมพ์และวิธีการกำหนดสภาวะการผลิตสำหรับกระบวนการหล่อ Zinc High Pressure DieCasting เพื่อใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์สุขภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติและพื้นผิวชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการชุบผิวโดยวิธีการทางไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตถัดไป งานวิจัยได้ทำการศึกษาแก้ไขการออกแบบแม่พิมพ์ (Re-designing) และปรับเปลี่ยนแก้ไขกระบวนการผลิต (Process Optimization) ทำให้ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานเพิ่ม productivity และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีผิวเหมาะสมสำหรับการชุบผิวในกระบวนการถัดไปซึ่งทำให้ไม่เพียงแต่ลดการสูญเสียของผู้ผลิตลำดับแรก แต่เป็นการลดการสูญเสียทั้งห่วงโซ่คุณค่าจนถึงกระบวนการผลิตขั้นตอนสุดท้ายและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น ทั้งนี้ การนำสังกะสีมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์สุขภัณฑ์ยังช่วยทดแทนการใช้ทองเหลืองช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบ ช่วยขยายตลาดให้กับผลิตภัณฑ์สังกะสี ช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์สังกะสี นอกจากนี้ยังนำไปสู่การรวมกลุ่มของผู้ผลิตวัตถุดิบต้นน้ำ ผู้ประกอบการกลางน้ำ จนถึงปลายน้ำ ซึ่งทำให้ผู้ผลิตในแต่ละลำดับขั้นได้รับรู้ความต้องการ เกิดความร่วมมือและนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสามารถขยายตลาดที่เกิดขึ้นใหม่ภายในประเทศและต่างประเทศได้

2.4.4 พลาสติกผสม (Nylon Glass Fiber 15%)

คุณสมบัติของพลาสติก

พลาสติกนับว่าเป็นวัสดุที่มีบทบาทและสำคัญมากในยุคปัจจุบันนี้ และเป็นคู่แข่งของ

เหล็ก ซึ่งนับวันได้ถูกใช้อย่างมากมายจนเหลือน้อยทำให้พลาสติกได้ถูกนำมาใช้แทนอย่างมาก เพราะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษดีเด่นกว่าวัสดุอื่นที่ใช้กันมาก่อนอย่างมากมาย เพราะสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้เกือบทั้งหมด เช่น

- แข็งแรง
- ทนการสึกกร่อน
- ทึบแสง และเบา
- อ่อนนุ่ม
- ทนสารเคมี
- ลอยน้ำได้
- ยืดตัว
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- หล่อลื่นในตัว
- เหนียวทนทาน
- กันน้ำ
- ทำเป็นสีต่าง ๆ ได้
- โปรงใส
- ไม่ไฟติดง่าย
- ทนความร้อน

พลาสติกมีคุณสมบัติทางโครงสร้างพิเศษที่เรียกว่า High Molecular Weight คือในหนึ่งโมเลกุลมีจำนวนอะตอมมากกว่าสารชนิดอื่นมากมาย จึงทำให้มีคุณสมบัติหลาย ๆ อย่างพร้อมกันไป คือ

- คุณสมบัติทางกายภาพ มีความแข็งแรง เหนียว ยืดหยุ่น ฯลฯ
- คุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นฉนวนไฟฟ้า
- คุณสมบัติทางเคมี ทนกรด ต่าง และสารเคมีอื่น ๆ

ข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติพลาสติกเมื่อเทียบกับเหล็ก

ข้อดี

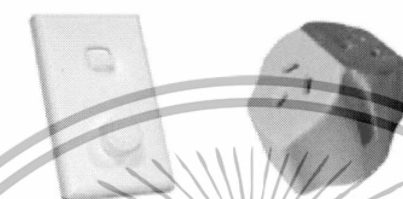
1. น้ำหนักเบา สามารถขนย้ายได้ง่าย
2. ทนต่อกรด - ต่างได้ดี ทำให้ไม่เกิดสนิม
3. กรรมวิธีผลิตชิ้นงานทำได้ง่ายและครั้งละหลายๆ ชิ้น
4. เป็นฉนวน กับกระแสไฟฟ้าได้ดี
5. สามารถ เชื่อม กลึง ใส เจาะ ประกอบได้ง่าย
6. ราคามีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เพราะกรรมวิธีการผลิตทันสมัย และปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น
7. ผสมสีเข้ากันได้ดี ชิ้นงานจึงสามารถจะย้อมสีอะไรก็ทำได้ง่ายและคงทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

1. ความมันคงแข็งแรงน้อยกว่าเหล็ก
2. ทนความร้อนได้น้อย ทำให้อ่อนตัวได้ง่าย
3. ระยะเวลาการใช้งานสั้นกว่า
4. เมื่อชำรุดแล้วซ่อมแซมได้ยาก
5. เปอร์เซนต์การหดตัวมากกว่าเหล็กมาก

ประโยชน์ของพลาสติก



รูปที่ 2.8 ภาพชิ้นส่วนที่ทำจากพลาสติก

ที่มา <https://enchemcom1po.wordpress.com/plastic>

1. โพลีเมทริคเมทาอะคริเลต (Polymethymethaacrylate) หรือ อะคริลิก (Acrylics) มีตัวย่อว่า PMMA รู้จักกันดีในชื่อว่าการค้าว่าเพลคซิกกลาส (Plexiglass) ลูไซท์ (Lucite) โพลีกลาส (Polyglass) ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมในสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 1936 อะคริลิก ได้ถูกนำไปผสมกับพลาสติกชนิดอื่นเช่น สไตรีน (styrene) บาง พิวิชี บาง เกิดเป็นพลาสติกชนิดใหม่ เช่น Methyl Methacrylate Styrene เป็นต้น

- คุณสมบัติ เป็นพลาสติกที่ใสที่สุดชนิดหนึ่ง แข็งแรงพอสมควร เป็นรอยขีดข่วนง่ายทนแสงอุลตราไวโอเลตได้ดี ทนความร้อน ความเย็น เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ทนสารเคมีได้พอสมควร ไม่ควรให้ถูกน้ำมัน เบนซิน อาซิโตน คลอโรฟอร์ม สเปร์น้ำหอม และพวกกรดออกซิไดซิ่ง ชนิดเข้มข้น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ โปร่งใส อะคริลิกยังทำเป็นสีต่างๆ ได้มีทั้งชนิดใส ฝ้าและทึบแสง

- ประโยชน์ นิยมนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ป้ายร้ายคำ ป้ายโฆษณา โคมหลังคา กรอบแว่นตา เลนซ์ โคมไฟ เฟอร์นิเจอร์ ถาด และถ้วยบรรจุของเหลวชนิดใส

2. โพลีเอไมด์ (Polyamides or Nylon) ย่อว่า PA พลาสติกชนิดนี้รู้จักกันดีในชื่อ ไนลอน ซึ่งคิดค้นและนำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมเมื่อค.ศ.1938โดยบริษัทDuPont จุดประสงค์เพื่อใช้เป็นวัสดุทนทานเส้นไหมในอุตสาหกรรมทำถุงเท้า ซึ่งได้รับความสำเร็จอย่างงดงามในช่วงระยะเวลาอันสั้นในลอนได้เข้ามามีบทบาทแทนเส้นไหมเกือบทั้งหมด

- คุณสมบัติ มีน้ำหนักเบา ราคาแพง แข็งแรง ทนทาน ตกไม่แตก ไม่มีปฏิกิริยาต่อน้ำมัน ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่เป็นพิษ เป็นฉนวนไฟฟ้าแต่ไม่เหมาะสำหรับไฟฟ้าแรงสูง มีความทนทานต่อกราดเสียดทานสูง รับแรงดคง แรงอัดได้ดี ทนความร้อน ทนการขีดข่วน ทนกรดชนิดอ่อน ทนด่างได้ทั้งชนิดอ่อน และเข้มสามารถทำเป็นสีต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การใช้ประโยชน์ ใช้ทำเครื่องนึ่งห่ม ทำเกียร์ แบริ่ง บูช ส่วนรับน้ำหนักและมีแรงเสียดทานสูง ในรูปเส้นใยใช้ทำร่มชูชีพ ถุงเท้า เสื้อผ้า เ็นตักปลา ผงกำมะหยี่ นอกจากนั้นยังใช้ทำคอนพลาสติก วาวล์ ท่อส่งน้ำมันและสารเคมีอื่นๆ ใบพัด ขวดสเปรย์บางชนิด

3. โพลีคลอไรด์ (Polyvinylchloride) ย่อว่า PVC มีคุณสมบัติทนทางเคมี ทำความสะอาดง่ายไม่เกาะติดสิ่งสกปรก จึงใช้ทำกระเบื้องยางปูพื้นซึ่งมักจะผสมใยหิน (Asbestos) ด้วย คุณสมบัติเหนียวทนทานใส และพิมพ์ง่ายจึงนิยมใช้ทำท่อน้ำ สายไฟฟ้า ถุงมือ ของเด็กเล่นชนิดเป่าลม ถ้วยและถาดบรรจุอาหารชนิดแผ่นบาง ใช้ทำถุงและพลาสติกบรรจุของ รองเท้าเด็ก ขวดน้ำมันพืช ชนิดต่างๆ

4. โพลีเอทิลีน (Polyethylene) ย่อว่า PE มีน้ำหนักเบาในรูปของแผ่นบาง สามารถพับงอได้ดี มีความหนามากขึ้นจะคงรูปรับแรงดึงและแรงอัดได้น้อย มีความยืดตัวได้สูงถึง 500 เปอร์เซ็นต์ ฉีกขาดยาก มีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก โดยทั่วไป โพลีเอทิลีน มีลักษณะใส เมื่อเป็นแผ่นบางจะมีสีขุ่น เมื่อความหนาเพิ่มขึ้น สามารถทำเป็นสีต่างๆ ได้ตามต้องการ

- การใช้ประโยชน์ โพลีเอทิลีน มีปริมาณการใช้สูงสุดในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก แม้ราคาต่อปอนด์จะไม่ถูกที่สุด แต่เพราะมีน้ำหนักเบากว่าจึงสามารถผลิตได้ปริมาณมาก นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารและเสื้อผ้า ตุ๊กตาเด็กเล่น ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุในครัว ถาดทำน้ำแข็งในตู้เย็น ขวดและภาชนะบรรจุของเหลว พลาสติกคลุมโรงเพาะชำ สายเคเบิล แผ่นกันความชื้นในอาคารและของใช้ราคาถูกอีกมากมาย

5. โพลีสไตรีน (Polystyrene) ย่อว่า PS น้ำหนักเบาที่สุดในพลาสติกชนิดแข็ง (Rigid Plastics) มีความคงรูปดีแต่เปราะสามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ มีทั้งใส ผ้าและทึบ ผิวมีทั้งเรียบและขรุขระไม่มีรสและกลิ่นเป็นฉนวนไฟฟ้าดี

- การใช้ประโยชน์ ทำกล่องบรรจุอาหารชนิดใส กล่องบรรจุของใช้อื่น ๆ เช่น แปรงสีฟันของเด็กเล่น ไม้บรรทัดราคาถูก แผง และตู้โทรทัศน์ วิทยุ ในรูปโฟม ซึ่งเรารู้จักกันในชื่อสไตรโฟม (styrofoam) ใช้ทำป้ายและสิ่งประดับในงานด้าน ๆ วัสดุกันแตกในกล่องบรรจุของแผ่นฉนวนกันความร้อนและเสียง

6. ฟีนอล - ฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol - Formaldehyde) ย่อว่า PF พลาสติกชนิดนี้รู้จักกันดีในชื่อ เบกเกิลไลท์ (Bakelite) มีปริมาณการใช้สูงสุดในประเภทเทอร์โมเซตติง

- การใช้ประโยชน์ นิยมทำด้ามมือจับ หูหม้อ หุกะทะ ฝาครอบจานจ่ายรถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า และถาดบรรจุสารเคมี

7. โพลีเอสเตอร์ (Unsaturated Polyester) ย่อว่า UP รู้จักกันดีในรูปของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส การใช้ประโยชน์ นิยมทำผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส เช่น เรือ รถยนต์ ชิ้นส่วนในเครื่องบิน กระดุมชนิดต่างๆ ไม้อัดต่าง ๆ เคลือบด้วยโพลีเอสเตอร์

8. ยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ (Ureaformadihyde) ย่อว่า UF คุณสมบัติ ตกไม่แตก ทนต่อน้ำยาเคมี ไขมัน และน้ำมัน เป็นฉนวนไฟฟ้า บางอย่างทึบแสงบ้างอย่างโปร่งแสง ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ไม่ว่ากรณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่อุณหภูมิใช้งานได้คือ 70 - 80 องศาฟาเรนไฮต์ ใช้ทำกระดุมเรือ ตัวถังรถยนต์ ยูเรียชนิดเหลวนิยมใช้ทำกาวไม้อัด และชิปบอร์ด น้ำยาเคลือบผิวประเภทผลิตภัณฑ์นิยมใช้ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า ตู้วิทยุ ปุ่มจับด้ามเครื่องมือ

9. เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamineformaldehyde) ย่อว่า MF คุณสมบัติ มีน้ำหนักมากกว่าพลาสติกต่างๆ ไปเล็กน้อย คือ มีสมรรถภาพระหว่าง 1.47-1.55 รับแรงดึงได้ดีพอสมควรรับแรงอัดและแรงบิดได้ดีมาก ทนความร้อนหากผสมใยหินจะทนความร้อนได้ถึง 400 องศาฟาเรนไฮต์ และใช้เก็บความเย็นได้ในอุณหภูมิ (-70) องศาฟาเรนไฮต์ คุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีกับกระแสไฟฟ้าความถี่ต่ำไม่เหมาะกับการใช้กับกระแสไฟฟ้าความถี่สูง คุณสมบัติทางเคมีทนกรดต่างทนสารเคมีอื่นๆ เช่น ผงซักฟอก น้ำมัน ไขมัน ทินเนอร์ ดูดซึมน้ำได้บ้าง น้ำอากาศแผลจะทำให้เกิดคราบเปื้อนได้

การใช้ประโยชน์ นิยมใช้ทำถ้วยชามมากที่สุด นอกจากนั้นยังใช้ทำวัสดุปิดผิวโต๊ะที่รู้จักกันดีในชื่อ โฟมิก้า (Formica) และ Texolite ชนิดเหลวใช้ทำกาว

10. โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene) ย่อว่า PTFE เป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักมากที่สุดชนิดหนึ่ง กับแรงดึงและแรงอัดได้ดีพอสมควร แต่รับแรงกระทบได้ดีมาก

- การใช้ประโยชน์ เนื่องด้วยพลาสติกชนิดนี้มีราคาแพงมาก จึงถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษหลายอย่างรวมกับคุณสมบัติด้านทนความร้อน ใช้ทำฉนวนไฟฟ้ากับลวดไฟฟ้าที่ต้องเชื่อมด้วยความร้อนปะเก็น (Gasket) ในเครื่องจักรแหวนลูกสูบ (Piston Rings) วาล์ว (Valve) คุณสมบัติทางไฟฟ้าใช้ทำฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้า คุณสมบัติทางไม่ติดไฟง่ายใช้เคลือบหม้ออะทะฝรั่ง

11. โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ย่อว่า PC เป็นพลาสติกใสชนิดที่แข็งแรงที่สุด คุณสมบัติแข็งแรง ทนทานดีมาก ทนความร้อนขณะใช้งานได้ถึง 240 องศาฟาเรนไฮต์หากนำไปใช้กับใยแก้วเป็นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสจะทนทานมากยิ่งขึ้นเป็นฉนวนไฟฟ้าดีทนกรดต่างได้ดี

- การใช้ประโยชน์ เช่น ขวดนมเด็กชนิดดี โคมไฟฟ้าสาธารณะ ซ่อมมองหน้าหมวกนักบิน อวกาศ ด้ามเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ แวนตากันแดด ซื่อพลาสติก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์วิธีตรวจสอบแบบง่าย ๆ โดยเผาไฟ

บทที่ 3

การศึกษา พัฒนาและออกแบบ

3.1 ระเบียบไฟไนต์อีลิเมนต์

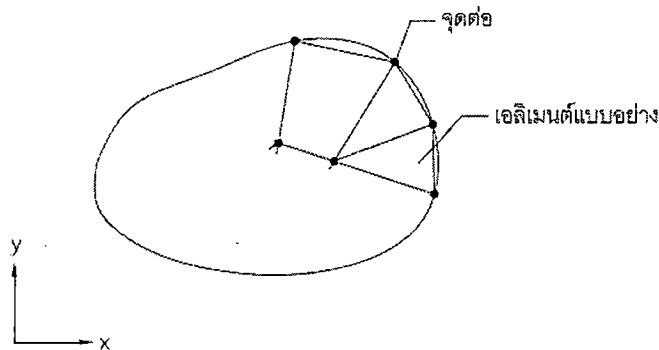
ในความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์หรือทางวิทยาศาสตร์นั้นมีส่วนอย่างมากในการสร้างชีวิตของมนุษย์ให้ดีขึ้น ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นรอบตัวโดยอธิบายถึงทางหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์หรือสมการเชิงอินทิกรัล เป็นต้นสมการเชิงอนุพันธ์จะสามารถประดิษฐ์ขึ้นมาได้ไม่ยากแต่การได้ผลเฉลยที่แม่นยำที่ต้องการและจา เป็นต้องประดิษฐ์ให้ได้รูปทรงที่ดีนั้น ทำได้โดยระเบียบการวิเคราะห์ซึ่งทำได้ยากมากหรืออาจจะไม่ได้เลย ดังนั้นเหตุผลดังกล่าวจึงก่อให้เกิดวิธีการผลเฉลยโดยประมาณเกิดขึ้น ในอดีตวิธีการผลเฉลยโดยประมาณมีหลากหลายแบบ แต่ที่เด่นชัดคือ ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method)

หลักการที่สำคัญของระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) คือการหาค่าเฉลยโดยประมาณจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบสมการผลต่างสี่เหลี่ยม ข้อดีของวิธีนี้คือเป็นวิธีที่ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ รวมไปถึงความสะดวกในการประดิษฐ์ขึ้นเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ แต่ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) นั้นมีข้อเสียและข้อผิดพลาดที่มีอยู่หลายประการแต่ที่เป็นปัญหาเด่นชัดที่สุดของระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) นี้คือ ความไม่สะดวกในการกำหนดขอบเขต (Application of boundary conditions) และที่สำคัญที่สุดคือความยากลำบากในการประยุกต์ระเบียบวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) เข้ากับการวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนมากขึ้นซึ่งในปัจจุบันหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้กลายเป็นความจำเป็นเพื่อพัฒนาปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์นั้นให้ดีขึ้น

3.2 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแบ่งขอบเขตรูปของปัญหาออกเป็นอีลิเมนต์ย่อยๆ ดังรูปที่ 3.1 ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่างๆกันเช่น ปัญหาของการไหล ปัญหาที่เกี่ยวกับอุณหภูมิและความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 3.1 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆแบบต่างๆกัน
(จากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เตชะอำไพ, 2555)

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element interpolation functions) เช่นสมการเอลิเมนต์สามเหลี่ยมซึ่งเอลิเมนต์นี้ประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังรูปที่ 3.1 โดยที่จุดต่อเป็นตำแหน่งที่ตั้งของตัวไม่รู้ค่า ซึ่งได้แก่ ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3 ตามลำดับ ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่ออาจเป็นค่าของการเสียรูป (Displacement) หากเราวิเคราะห์ปัญหาความยืดหยุ่นในของแข็ง หรืออาจเป็นค่าของอุณหภูมิหากเราทำปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน หรืออาจเป็นความเร็วของของไหล เป็นต้น ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนได้ให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ ดังรูปที่ 3.2

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (9)$$

สมการฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

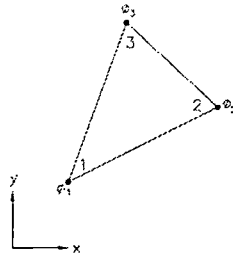
จากสมการฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อโดย $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์โดยมีตัวไม่รู้ค่าอยู่ ณ ตำแหน่งจุด

$$\phi(x, y) = [N_1 \ N_2 \ N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

$$\phi(x, y) = N_{(1 \times 3)} \phi_{(3 \times 1)} \quad (11)$$

โดย $[N]$ แทนเมทริกซ์ฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ และ $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์เมทริกซ์ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างประกอบด้วยสามจุดต่อ
(จากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2555)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างสมการของเอลิเมนต์ ดังตัวอย่างเช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบอย่างดังสมการเมทริกซ์จะอยู่ในรูปแบบดังต่อไปนี้

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

จากรูปแบบเมทริกซ์ข้างต้นซึ่งเราจะเขียนย่อๆได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (13)$$

ขั้นตอนที่ 4 ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การสร้างสมการของเอลิเมนต์ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการข้างต้นสามารถทำได้โดยวิธีการโดยตรง(Direct approach) วิธีการแปรผัน (Variational approach) หรือวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of weighted residuals) จากสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกันเข้า ก่อให้เกิดระบบสมการรวม ในรูปแบบดังนี้

$$\sum(\text{element equations}) \Rightarrow [K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (14)$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำการประยุกต์เครื่องหมายขอบเขต (Boundary conditions) ลงในระบบสมการรวมข้างต้นแล้วจึงแก้ระบบสมการนี้เพื่อหา $\{\phi\}_{\text{sys}}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ(nodal unknown) ซึ่งอาจเป็นค่าของการเคลื่อนตัวตามจุดต่างๆ ของโครงสร้าง หรือเป็นค่าของอุณหภูมิที่จุดต่อ หากเป็นปัญหาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนหรืออาจเป็นค่าของความเร็วของของไหลตามจุดต่อ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อคำนวณค่าต่างๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าอื่นๆที่ต้องการต่อไปได้อีกเช่น เมื่อรู้ค่าการเสียรูป ตามจุดต่อต่างๆ ของโครงสร้างก็สามารถนำไปหาค่า

เอกลีมันต์เป็นเอกลีมันต์ที่สร้างขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขใช้ประโยชน์ในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียด (Strain) และความเค้น (Stress) ได้ตามลำดับ หรือเมื่อรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อก็สามารถคำนวณหาปริมาณค่าถ่ายเทความร้อนได้ เป็นต้นจากขั้นตอนทั้ง 6 ขั้นตอนนี้จะเห็นได้ว่าระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นี้เป็นระเบียบวิธีที่มีระเบียบแบบแผนอย่างเป็นขั้นตอน โดยมีหัวใจสำคัญอยู่ที่การสร้างสมการเอลิเมนต์ทั้ง 3 วิธีในขั้นตอนที่ 3 คือ วิธีการโดยตรง(Direct approach) วิธีการแปรผัน (Variational approach)หรือวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of weighted residuals)

3.3 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากรูปแบบผลิตภัณฑ์งานทางวิศวกรรมทั่วไปมักมีรูปร่างซับซ้อน ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์จึงมีบทบาทเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาต่างๆในปัจจุบัน เช่นปัญหาการถ่ายเทความร้อนในวัตถุและการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคู่กับคอมพิวเตอร์ทำให้เราสามารถคำนวณหาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยสะดวกและในขณะเดียวกันสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เคยใช้ในการทดลองจริงการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในยุคแรกเริ่มจากงานทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง(Solid mechanics) และโครงสร้างเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในงานทางด้านนี้สามารถทำความเข้าใจได้โดยไม่ยากเกินไป วิวัฒนาการระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ในทางด้านของแข็งสามารถนำไปใช้ออกแบบชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้เช่น ก้านเบรคมือ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบจำลองวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ก้านเบรคมือ

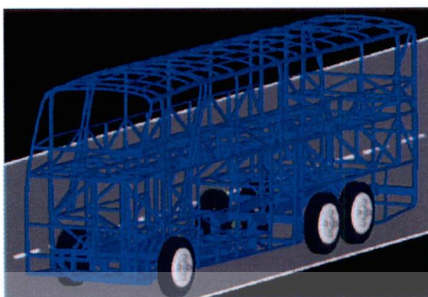
(จากหนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในทางวิศวกรรม, ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2555)

เนื่องจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถนำมาใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์สำหรับปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพทำให้การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ขยายวงกว้างออกไปนอกเหนือจากทางวิศวกรรม เช่น การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับงานทางด้านทางการแพทย์

แม้แต่การวิเคราะห์ยานพาหนะก็ยังใช้ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์และมีส่วนสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมรถยนต์เพราะเพื่อให้รถยนต์มีประสิทธิภาพที่จะก่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดในขณะเดียวกันก็ยังลดภาระค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วยดังรูปที่ 3.5 แสดงการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรถบัสที่ถูกชนตรงด้านหน้าซ้ายของรถ การออกแบบด้วยการทดลองเพื่อให้ทราบถึงปรากฏการณ์

จะสิ้นเปลืองอย่างมากทั้งวัสดุและค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์และออกแบบด้วยวิธีคำนวณ การคำนวณที่แม่นยำขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้นทุนการคำนวณลดลงเรื่อยๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และที่สำคัญมันยังสามารถเปลี่ยนแปลงการออกแบบรูปทรงลักษณะที่ดีผ่านทางระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนสร้างขึ้นจริง



รูปที่ 3.4 การประยุกต์ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ในการยู่ตัวของรถบัส
(ที่มา: หนังสือไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม, ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2555)

ในปัจจุบันการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังคงพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากระเบียบวิธีนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ กันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกนำไปใช้ประยุกต์กับงานในหลายๆ แขนง โดยเฉพาะทางด้านวิศวกรรม เช่น การออกแบบชิ้นส่วนยานยนต์ ที่จำเป็นต้องออกแบบในส่วนที่ถูกแรงอัดแรงดึงมากระทำมาก ทำให้เกิดอายุการใช้งานที่ยืนยาวและการเสียรูปให้น้อยที่สุด โดยผ่านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นต้น

3.4 จำลองการออกแบบ ปลอกครอบปลายของสายหยุดรถด้วยการการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การจำลองการออกแบบ ปลอกครอบปลายซึ่งได้รับการออกแบบและพัฒนาสำหรับการจ่อรถ หยุดรถ โดยการสร้างแบบจำลอง CAD โดยโปรแกรม CATIA และวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์โดยโปรแกรม MSC Nastran แบบจำลองนี้มีรูปร่างทรงกลมและมีฟังก์ชันหน้าสำหรับการรับแรงสะท้อน โดยการป้อนข้อมูลรายละเอียดตามเงื่อนไขการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ดังตารางที่ 3.1 และรูปร่างของเอลิเมนต์ Tetrahedron ดังรูปที่ 3.6

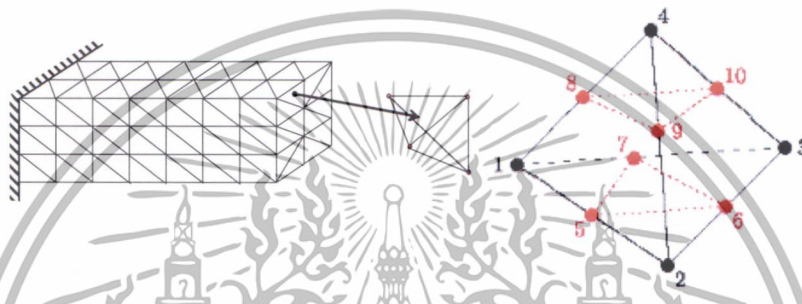
ดังนั้น การจำลองการออกแบบนี้ แสดงให้เห็นถึงการออกแบบจะต้องสนับสนุนความแข็งแรงและการเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง วัสดุที่ใช้สำหรับการจำลองมีทั้งสิ้นจำนวน 4 ชนิด สำหรับการตรวจสอบและผลการตรวจสอบสามารถนำไปเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกับมาตรฐานดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

Finite Element Program:	Element shape	Topology	Meshing value
MSC Nastran software	Tetrahedron	Tetrahedron 10 nodes	0.8

หมายเหตุ : มาตรฐาน JASO F903-75 การควบคุมสายเคเบิลสำหรับรถยนต์: Pull of load for ปลอกครอบปลายis 18 kgf min. (Refer Jaso standard table 17 ปลอกครอบปลายtype D2) [18]



รูปที่ 3.5 รูปร่างของเอลิเมนต์ : Tetrahedron 10 nodes

ตาราง 3.2 ค่าคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ[19]

Material	Modulus of elasticity	Yield strength	Poisson's Ratio
เหล็ก SS400	207 GPa	230 MPa	0.30
พลาสติกผสม PA6 GF15	5.8 GPa	200 MPa	0.42
อลูมิเนียม ADC6	71 GPa	159 MPa	0.33
สังกะสี ZDC2	85.5 GPa	221 MPa	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การทดลองการออกแบบด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) และลักษณะที่สอง คือ การทดลองและประเมินประสิทธิภาพด้วยการใช้เครื่องทดสอบแรงดึงจากชิ้นส่วนตัวอย่าง (Sample Test) เพื่อหาค่าจริงแล้วทำการเปรียบเทียบค่าของการออกแบบด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงว่าผลการทดลองแตกต่างกันอย่างไร และสามารถนำผลที่ได้จากการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ไปใช้งานการออกแบบได้จริงหรือไม่

4.1 การทดลองการออกแบบด้วยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis)

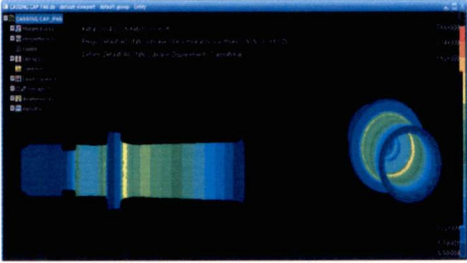
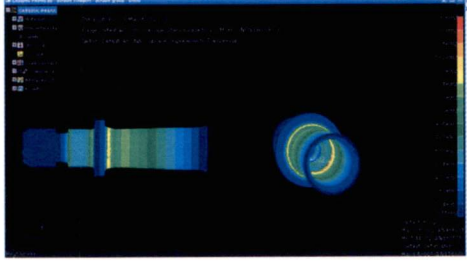
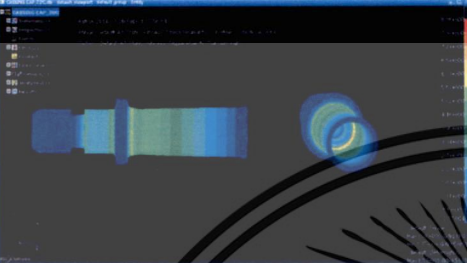
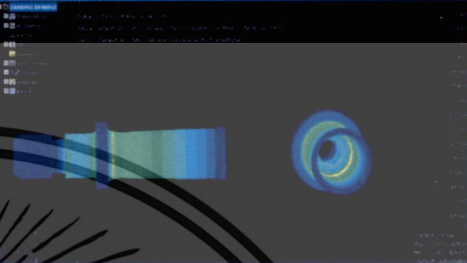
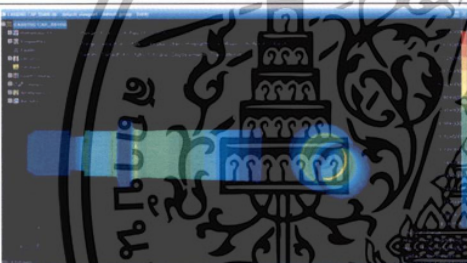
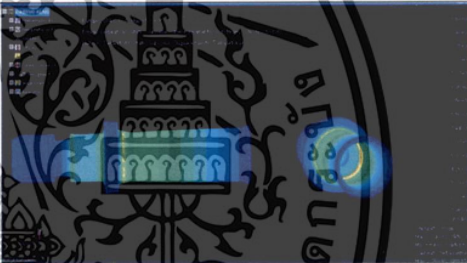
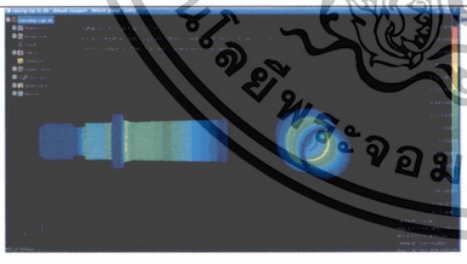
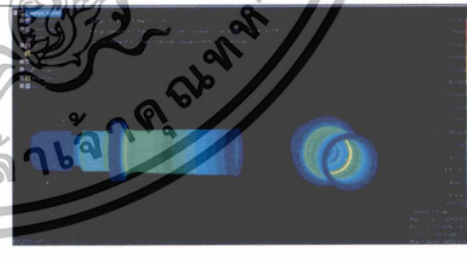
4.1.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ด้วยโปรแกรม MSC Nastran



โมเดลและผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปข้างล่างนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	
Material : PA GF15 % Pull of load : 18 kgf , Safety factor : 26.14	Material : PA GF15 % Pull of load : 471 kgf , Safety factor : 1.0
	
Material : steel SS400 Pull of load : 18 kgf , Safety factor : 27.98	Material : steel SS400 Pull of load : 505 kgf , Safety factor : 1.0
	
Material : Aluminium ADC6 Pull of load : 18 kgf , Safety factor : 19.70	Material : Aluminium ADC6 Pull of load : 355 kgf , Safety factor : 1.0
	
Material : Zinc ZDC2 Pull of load : 18 kgf , Safety factor : 26.43	Material : Zinc ZDC2 Pull of load : 475 kgf , Safety factor : 1.0

รูปที่ 4.1 ผลวิเคราะห์จากโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าวัสดุแต่ละชนิดมีความเครียดใกล้เคียงกัน โดยวัสดุเหล็กจะมีค่าความเครียดและสามารถรับโหลดมากที่สุด รองลงมาเป็น สังกะสี พลาสติกและอลูมิเนียมตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

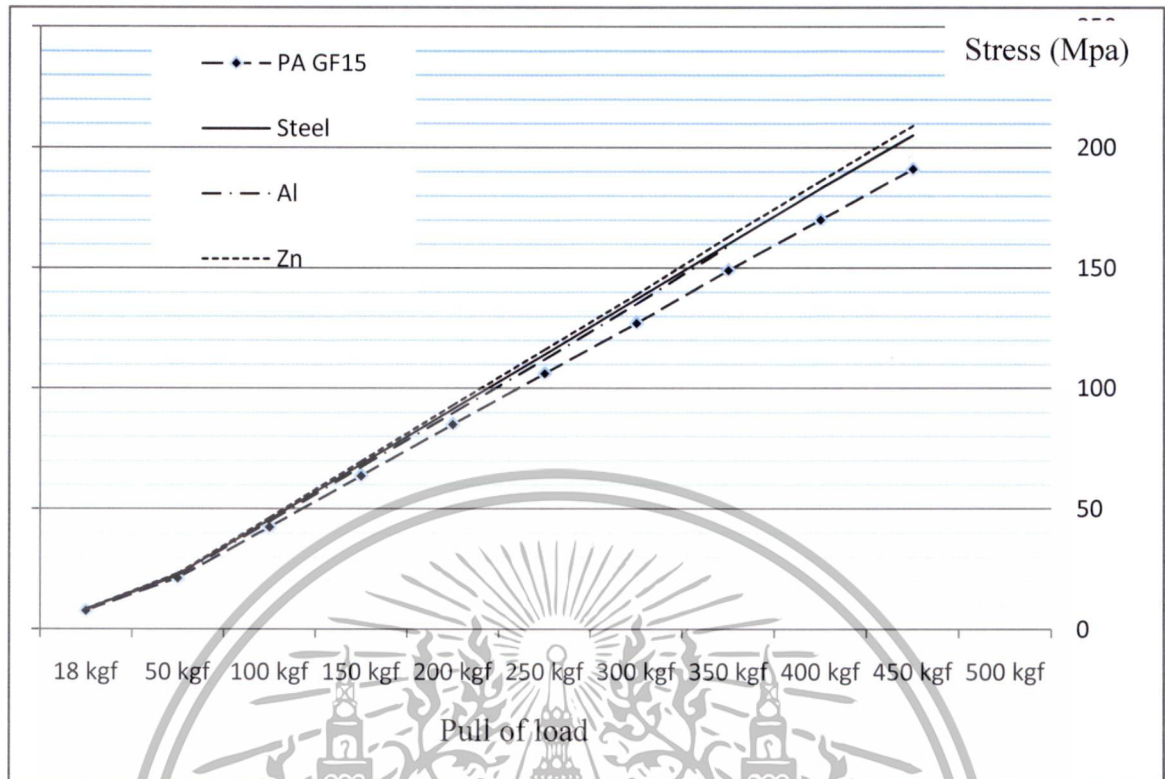
ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน JASO F903-75 การควบคุมสายเคเบิลสำหรับรถยนต์: Pull of load สำหรับปลอกครอบปลายis 18 kgf min. วัสดุทุกชนิดผ่านมาตรฐาน

- วัสดุพลาสติกไนลอนผสมใยแก้ว 15 เปอร์เซ็นต์
 - ค่าความปลอดภัย = yield 200 Mpa / stress 7.65 Mpa = 26.14
 - ค่า pull of load สูงสุด 471 kgf
- วัสดุเหล็ก SS400
 - ค่าความปลอดภัย = yield 230 Mpa / stress 8.22 Mpa = 27.98
 - ค่า pull of load สูงสุด 505 kgf
- วัสดุอลูมิเนียมชนิดขึ้นรูป ADC6
 - ค่าความปลอดภัย = yield 159 Mpa / stress 8.07 Mpa = 19.70
 - ค่า pull of load สูงสุด 355 kgf
- วัสดุสังกะสีชนิดขึ้นรูป ZDC2
 - ค่าความปลอดภัย = yield 221 Mpa / stress 8.36 Mpa = 26.14
 - ค่า pull of load สูงสุด 475 kgf

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบค่า stress ของวัสดุชนิดต่างๆ

	Material	Pull of load				
		18 kgf	50 kgf	100 kgf	150 kgf	Max
Stress (Mpa)	PA GF15	7.65	21.20	42.50	63.70	200
	Steel	8.22	22.80	45.60	68.50	230
	Al	8.07	22.40	44.80	67.30	159
	Zn	8.36	23.20	46.40	69.70	221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งประมาณการความเครียดของแต่ละวัสดุ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าความเค้นของวัสดุแต่ละชนิดจากไฟไนต์อีลิเมนต์มาเปรียบเทียบกันพบว่าวัสดุเหล็กมีค่าความเค้นเท่ากับ 230 Mpa รับโหลดได้ 505 kgf., วัสดุสังกะสีมีค่าความเครียดเท่ากับ 221 Mpa รับโหลดได้ 475 kgf., วัสดุพลาสติกมีค่าความเครียดเท่ากับ 200 Mpa รับโหลดได้ 471 kgf., และวัสดุอลูมิเนียมมีค่าความเครียดเท่ากับ 159 Mpa รับโหลดได้ 355 kgf.

ทั้งนี้การพิจารณานำผลจากการทดลองไปใช้จะต้องพิจารณาค่าของ yield และ ค่าความเค้นสูงสุดของแต่ละวัสดุมาพิจารณาด้วยกัน หรืออาจดูจากค่าความปลอดภัยของวัสดุเพื่อช่วยในการตัดสินใจ

พบว่าวัสดุที่นำมาทดลองและวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์แล้วผลที่ดีที่สุด คือ เหล็ก แต่เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านน้ำหนักและต้นทุนทางโดยที่พลาสติกผสมใยแก้วมีน้ำหนักต่ำกว่าเหล็ก 40 % และมีต้นทุนต่ำกว่าประมาณ 40% โดยที่มีค่าความแข็งแรงไม่ต่างกันมาก ทางผู้ผลิตจึงมีแนวทางจะใช้พลาสติกผสมใยแก้วในการดำเนินการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบจริงของชิ้นงาน ปลอกกรอบปลาย

กำหนดเงื่อนไขในการทดสอบของเครื่องจักรและเครื่องมือ คือ เครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 2000 kgf

Brand : Hungta instrument

Speed : 20 m/s



รูปที่ 4.3 เครื่องทดสอบแรงดึง

จากรูปที่ 4.3 เครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 2000 kgf ซึ่งได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)



รูปที่ 4.4 การเสียหายของชิ้นงาน Casing cap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

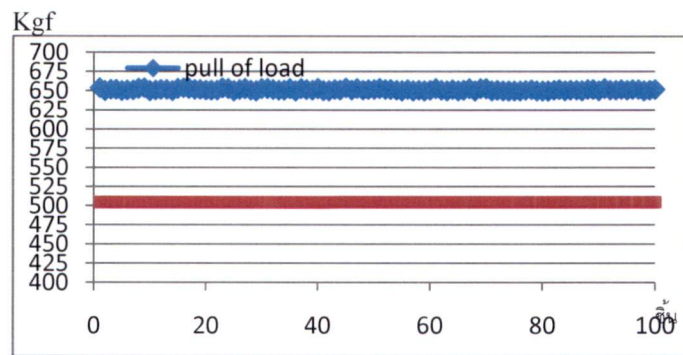
จากรูปที่ 4.4 ภาพการเสียหายของชิ้นส่วนปลอกครอบปลายหลังการทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงดึงพบว่าชิ้นงานตัวอย่างเกิดเสีयरูปลเสียหาย ซึ่งพบรอยแตก หลังจากนั้นจะนำค่าที่ได้นำไปหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของชิ้นส่วนปลอกครอบปลายของวัสดุเหล็ก (unit : kgf)

ชั้นที่ 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
654	650	652	652	650	651	651	653	654	650	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
651	652	652	650	653	654	653	652	652	651	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
651	651	654	653	650	652	653	651	650	653	
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
653	652	651	651	653	650	653	652	651	653	
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
650	650	652	651	654	651	653	651	652	652	
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
653	652	652	651	650	652	650	651	650	651	
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
653	651	650	652	650	651	653	650	653	653	
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
650	651	650	650	650	650	651	652	650	650	
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
650	651	652	650	651	651	650	652	652	650	
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
653	651	651	652	651	652	652	650	651	652	
x-bar	651.46 kgf						4 kgf			

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการทดสอบและเก็บค่าการทดสอบจำนวน 100 ชิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ยของวัสดุเหล็กเพื่อหาค่า pull of strength ของชิ้นงาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 651.46 Kgf. จากกราฟ พบว่าข้อมูลที่ทำการทดสอบวิเคราะห์หานั้นใกล้เคียงกันทุกชั้น และไม่แตกต่างกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟการกระจายตัวค่าแรงดึงของเหล็ก

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟการกระจายตัวของค่าแรงดึงของเหล็ก โดยข้อมูลเส้นสีน้ำเงินเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยที่ 651.46 kgf และเส้นสีแดงเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 505 kgf.

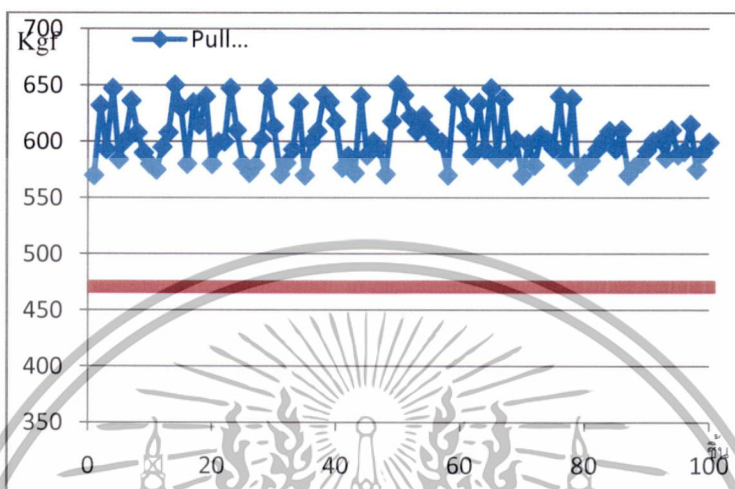
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าแรงดึงของชิ้นส่วนเปลือกกรอบปลายของวัสดุพลาสติกผสม (unit:kgf)

ชิ้นที่ 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
570	632	593	647	584	601	636	608	590	580
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
575	595	608	650	630	580	634	615	640	580
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
599	600	647	610	580	572	579	602	647	613
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
571	581	593	634	570	600	609	641	635	618
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
577	587	572	640	588	600	594	571	618	650
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
641	622	609	623	610	601	599	570	640	638
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
613	588	634	593	647	585	638	591	601	570
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
598	579	605	601	594	640	585	638	570	580
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
583	593	601	609	593	610	570	577	581	592
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
600	602	585	610	588	591	615	575	590	599
x-bar	603.13 kgf.			R			80 kgf.		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการทดสอบและเก็บค่าการทดสอบจำนวน 100 ชิ้น เพื่อหาค่าเฉลี่ยของวัสดุพลาสติกผสม เพื่อหาค่า pull of strength ของชิ้นงานซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 603.13 Kgf.

จากกราฟพบว่าข้อมูลที่ทำกรทดสอบวิเคราะห์นั้นมีความแตกต่างกันไม่เกิน 100 kgf. และถือว่าแตกต่างกันในระดับที่ยอมรับได้



รูปที่ 4.6 กราฟการกระจายตัวค่าแรงดึงของพลาสติกผสม

จากรูปที่ 4.6 แสดงกราฟการกระจายตัวของค่าแรงดึงของพลาสติกผสม โดยข้อมูลเส้นสีน้ำเงินเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยที่ 603.13 kgf และเส้นสีแดงเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 471 kgf.

4.3 สรุปผลการทดลองและการจำลอง

ในส่วนนี้แสดงการเปรียบเทียบผลการออกแบบและวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์กับการทดสอบจริง ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่า pull of strength ของแต่ละวิธีการ

Pull of load			
วัสดุ	Finite Element Analysis	การทดสอบจริง	ผลต่าง
เหล็ก	505 kgf	651.46 kgf	146.46 kgf
พลาสติกผสม	471 kgf	603.13 kgf	132.13 kgf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 สรุปจะเห็นได้ว่าค่าจากการทดสอบจริงของเหล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 651.46 kgf. ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 505 kgf. ค่าจากการทดสอบงานจริงมีค่ามากกว่า 146.46 kgf. คิดเป็น 29%

ค่าจากการทดสอบจริงของเหล็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 603.13 kgf. ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 471 kgf. ค่าจากการทดสอบงานจริงมีค่ามากกว่า 132.13 kgf. คิดเป็น 28%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำผลจากการจำลองการออกแบบชิ้นส่วน ปลอกครอบปลายของสายหยุดรถโดยการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์มายืนยันเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดและสร้างความน่าเชื่อถือ ความมั่นใจ โดยส่งผลทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดทำชิ้นงานตัวอย่างลง

ในการวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วน ปลอกครอบปลายของสายหยุดรถโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ช่วยในการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมเพื่อวิเคราะห์ค่าความแข็งแรง การเสียรูปของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำและนำไปใช้ในการออกแบบจริงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

- จากผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองด้วย FEA กับการทดสอบจริงพบว่า การทดสอบจริงของเหล็กค่า Pull of strength มีค่ามากกว่าที่ได้ทำ Finite Element Analysis ประมาณ 29%
- จากผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองด้วย FEA กับการทดสอบจริงพบว่า การทดสอบจริงของพลาสติกผสมค่า Pull of strength มีค่ามากกว่าที่ได้ทำ Finite Element Analysis ประมาณ 28%
- ผลของการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นได้ว่าสามารถนำผลและวิธีการออกแบบด้วย FEA ไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบชิ้นส่วน ปลอกครอบปลายที่มีรูปร่างและลักษณะใกล้เคียงกันได้ ซึ่งจะช่วยให้ลดเวลาในการออกแบบและทดลอง จากการทำแม่พิมพ์ prototype จาก 45-60 วันเหลือเพียง 7 วันเท่านั้น
- เมื่อพิจารณาด้านราคาและน้ำหนัก พลาสติกผสม มีความน่าสนใจในการนำไปผลิตมากที่สุด
- ผลของการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบในบทความนี้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการในการวัดแรงดึงของ ปลอกครอบปลายสำหรับสายหยุดจอตรถของวัสดุเหล็กและพลาสติกผสมสามารถผ่านคุณสมบัติของ JASO F903-75 สายเคเบิลควบคุมมาตรฐานสำหรับรถยนต์

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของ ปลอกครอบปลายของสายหยุดรถโดยมีการประยุกต์เทคโนโลยีแบบจำลองในรูปแบบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Method) และการเปรียบเทียบแนวทางการทดสอบชิ้นส่วนจริง เพื่อให้ได้คำตอบที่มีความแม่นยำ ถูกต้อง เพราะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะนำผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบนี้ไปประยุกต์ใช้กับชิ้นส่วนในลักษณะเดียวกันกับรุ่นอื่นๆต่อไป ซึ่งจะสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าและทำให้ลดต้นทุนต่ำลง

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อ

- การออกแบบชิ้นส่วนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นผู้ออกแบบจะต้องทราบตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดและค่าความเค้นดังกล่าวจะต้องไม่เกินจุดครากของวัสดุที่นำมาใช้ออกแบบซึ่งตำแหน่งและค่าของความเค้นนั้นสามารถนำทฤษฎีทางกลศาสตร์มาคำนวณได้แต่ทฤษฎีทางกลศาสตร์นั้นมีข้อจำกัดคือในกรณีที่รูปแบบของชิ้นงานมีรูปร่างที่ซับซ้อนก็จะทำให้การคำนวณนั้นยุ่งยากและซับซ้อนมาก ในบางกรณีจะไม่สามารถคำนวณได้ด้วยมือดังนั้นจึงมีการนำเอาวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปของการออกแบบ
- การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อออกแบบชิ้นส่วน ปลอกครอบปลายที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันซึ่งมีจำนวนค่อนข้างมากในสายหยุดรถที่มีการผลิตอยู่ ขึ้นอยู่กับรูปร่างและจุดประกอบที่เกี่ยวข้อง
- ผลที่ได้จากการศึกษางานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเฉพาะงานชิ้นส่วน ปลอกครอบปลายของสายหยุดรถเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ได้กับชิ้นงานอื่นๆ แต่สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปได้

บรรณานุกรม

- [1] H.S. Park, X.P. Dang, A. Roderburg, B. Nau. (2012). "Development of plastic front side panels for green cars." **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, 6, 44-52.
- [2] H. Burak Ustaoglu, Sena Ayhün, Gökay Simitçioğlu, Sedat Süsler , Erdem Akay,Vedat Z. Dogan, Zahit Mecitoglu, Halit S. Türkmen, Serter Atamer. (2015). "Static and Dynamic Analysis of Plastic Fuel Tanks used in Buses." **International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading**, 3, 509-517.
- [3] Bathina sreenivasulu, G. Prasanthi. (2014). "FEA Simulation analysis of tube hydroforming process using DEFORM-3D." **Global Congress on Manufacturing and Management**,12, 1187-1197.
- [4] Valeriy A. Buryachenko, Michele Brun. (2011). "FEA in elasticity of random structure composites reinforced by heterogeneities of non canonical shape." **International Journal of Solids and Structures**, 48, 719-728.
- [5] T.J. Young, L.E. Crocker, W.R. Broughton, S.L. Ogin, P.A. (2013). "Observations on interphase characterisation in polymer composites by nano-scale indentation using AFM and FEA." **Composites: Part A**, 50, 39-43.
- [6] Zhang Yongqi, Tan Qingchang, Zhang Kuo, Li Jiangang.(2012). "Analysis of Stress and Strain of the Rolling Bearing by FEA Method." **International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering**, 24, 19-24.
- [7] Bo Ren , C.T.Wu, E. Askari.(2016). "A 3D discontinuous Galerkin finite element method with the bond-based peridynamics model for dynamic brittle failure analysis." **International Journal of Impact Engineering** 99 (2017), 14-25.
- [8] Wuttichai Sittiwong.(2015). "Study of Hot Air Flow Behavior using Easy FEM Simulation and Shadow graph Techniques." **Journal of thonburi university**, 8, 1-14.
- [9] Attaphon Chaimanutsakul. (2013). "A study of stress in a horizontal pressure vessel and the saddle support using finite element method." **Journal of thonburi university**, 8, 1-9.

- [10] Di Yao, Lixun Cai, Chen Bao. (2016). "A new fracture criterion for ductile materials based on a finite element aided testing method." **Materials Science & Engineering**, A673 (2016), 633–647.
- [11] Rong Guo, Wen-bo Tang, Wei-wei Zhu. (2016). "Comparison of 1D transfer matrix method and finite element method with tests for acoustic performance of multi-chamber perforated resonator." **Applied Acoustics**, 112 (2016), 140-146.
- [12] J. Jaskowiec, S. Milewski. (2016). "Coupling finite element method with meshless finite difference method in thermomechanical problems." **Computers and Mathematics with Applications**, 72 (2016), 2259–2279.
- [13] Yong Cao, Yuchuan Chu, Xiaoshi Zhang, Xu Zhang. (2016). "Immersed finite element methods for unbounded interface problems with periodic structures." **Journal of Computational and Applied Mathematics**, 307 (2016), 72-81.
- [14] Aiguo Xiao, Gengen Zhang, Jie Zhou. (2016). "Implicit–explicit time discretization coupled with finite element methods for delayed predator-prey competition reaction–diffusion system." **Computers and Mathematics with Applications**, 71 (2016), 2106-2123.
- [15] Alba Sofi, Eugenia Romeo. (2016). "A novel Interval Finite Element Method based on the improved interval analysis." **Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.**, 311 (2016), 671–697.
- [16] Pramote Dechaumpai. **Finite Element Method in Engineering**. Bangkok, Chulalongkorn, 2nd edition, 2012.
- [17] Ampika Kairit. **Value Engineering VE**. Bangkok, Se-education, 4th edition, 2536.
- [18] Japanese Automobile Standard, *JASO F903-75*, 1975.
- [19] Narongsak Thamchot. **Engineering Material**. Bangkok, Se-education, 2nd edition, 2006.



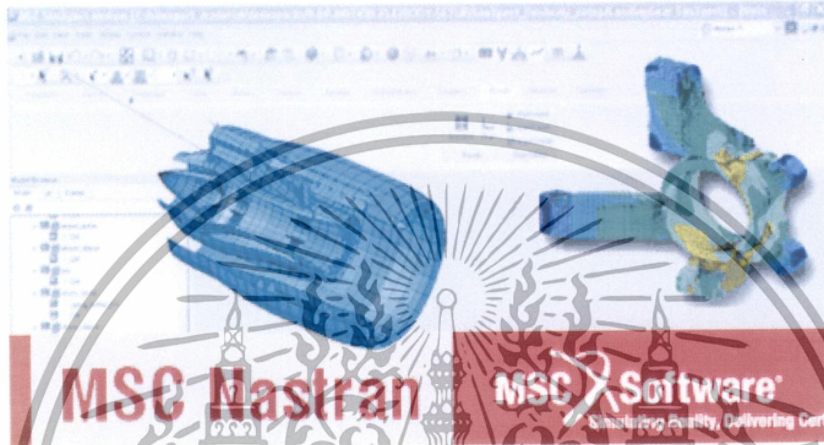
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ด้วยโปรแกรม MSC Nastran

ขั้นตอนที่ 1 เปิดใช้งานโปรแกรม MSC Nastran



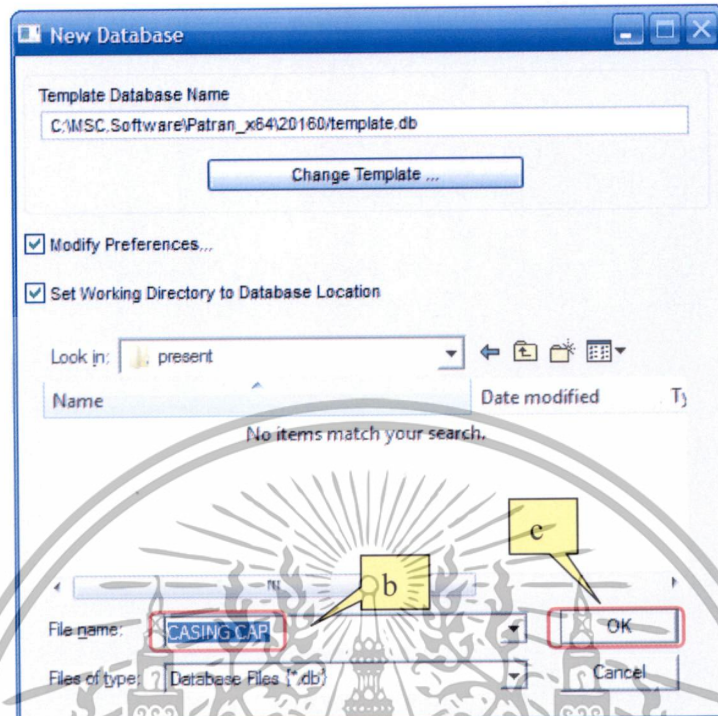
ขั้นตอนที่ 2 สร้างฐานข้อมูลใหม่และตั้งค่ารูปแบบ:

a. ได้เห็นหน้าแรกคลิกใหม่ในค่าเริ่มต้น

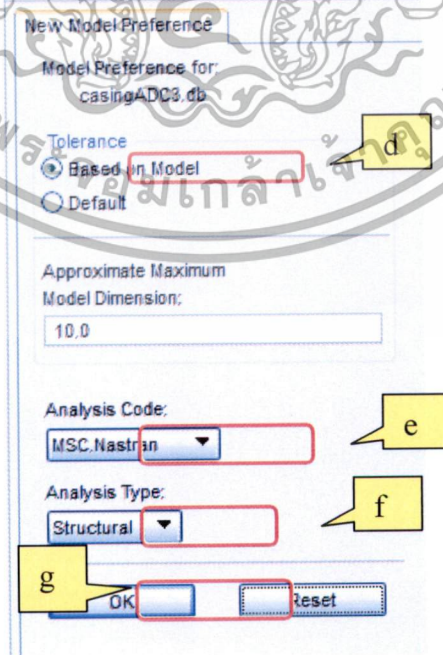


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- b. เลือกเพิ่มที่ต้องการทำไฟไนต์อิลิเมนต์ (ปลอกครอบปลาย)
 c. เลือกตกลง



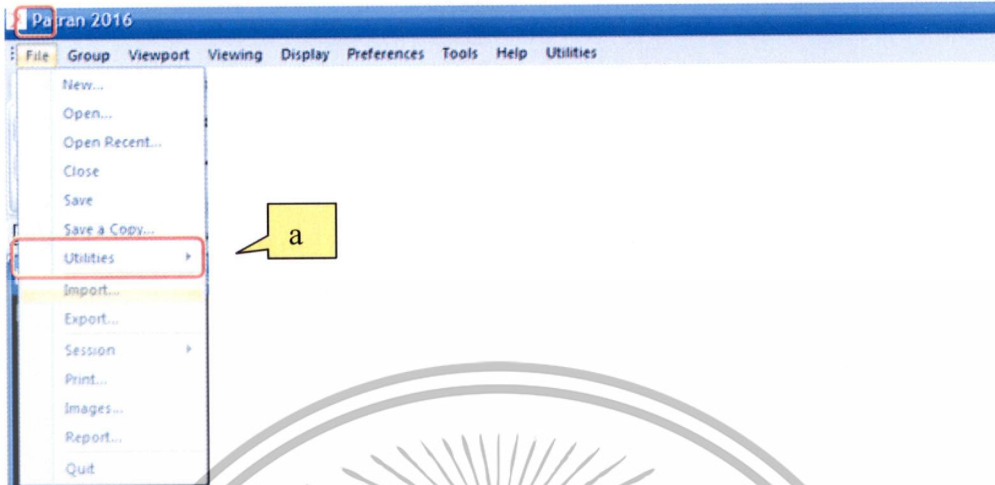
- d. ในหัวข้อ Tolerance เลือก Base on model
 e. ในหัวข้อ Analysis code เลือก MSC Nastran
 f. ในหัวข้อ Analysis type เลือก Structural
 g. เลือก OK



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 นำเข้ารูปทรงทางเรขาคณิต

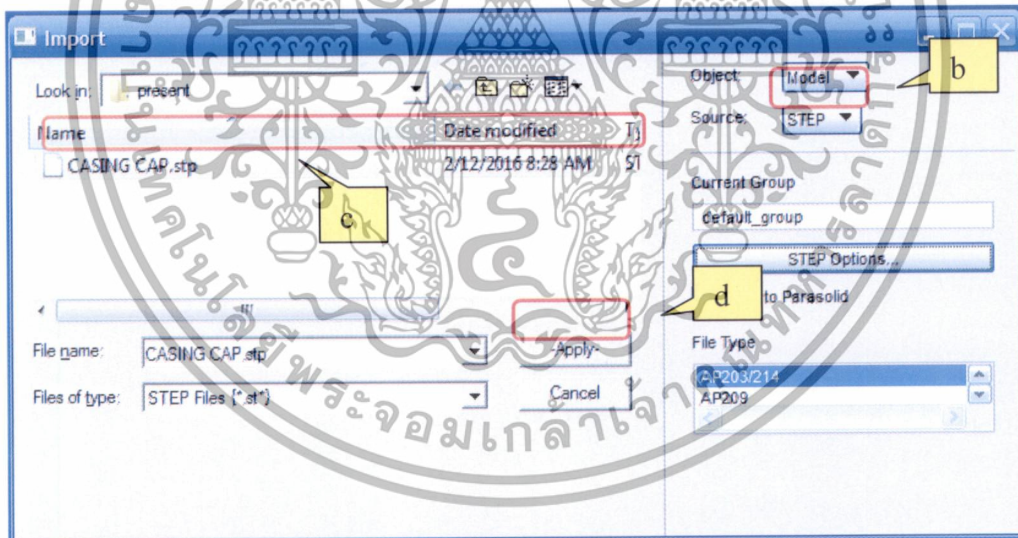
a. เข้าที่ file เลื่อนลงไป Import.



b. หัวข้อ source กดเลือก STEP

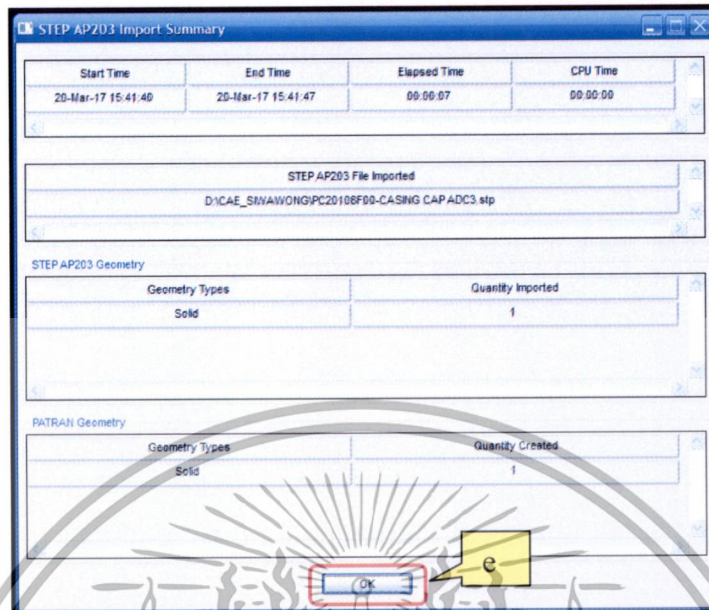
c. เลือกเพิ่ม casing cap.stp

d. เลือก apply.

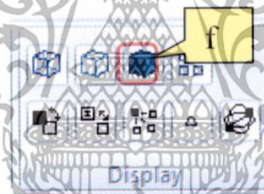


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e. เลือก OK บนหน้าต่าง STEP import summary.



f. เลือก smooth shaded ในกลุ่ม display

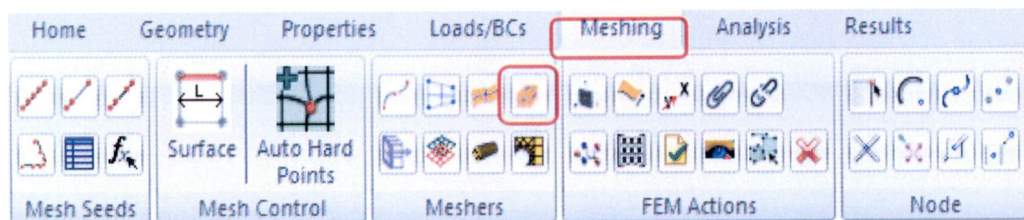


g. ลากเมาส์กลางเพื่อหมุนแบบจำลองให้เป็นแนวเดียวกันกับที่ปรากฏอยู่ในหน้า

ถัดไป

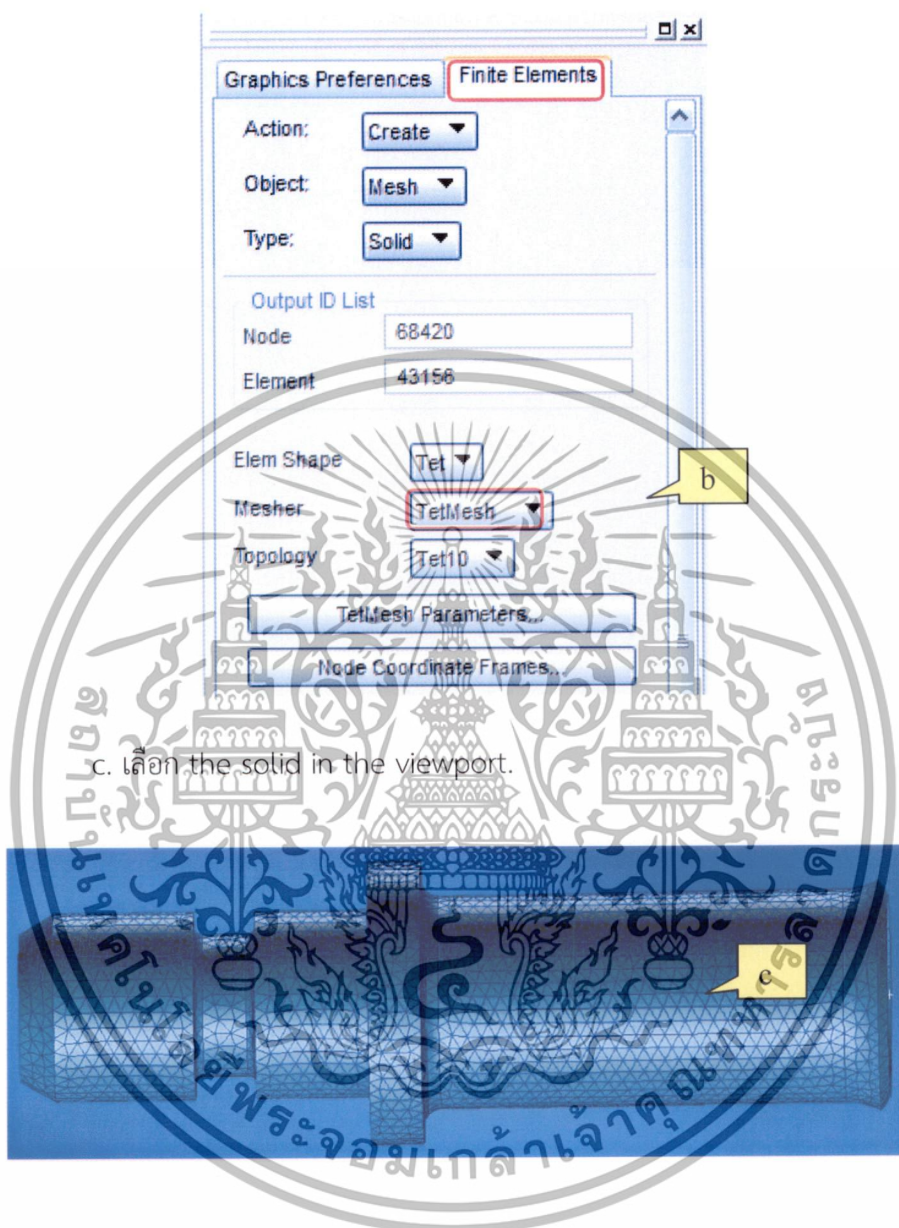
ขั้นตอนที่ 4 สร้างตาข่ายของไฟไนต์เอลิเมนต์

a. meshing tab, เลือก solid ในกลุ่ม Meshers



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- b. หน้าต่าง Finite Element, หัวข้อ Mesher , และ Topology > Tet, TetMesh and Tet10, ตามลำดับ



- c. เลือก the solid in the viewport.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

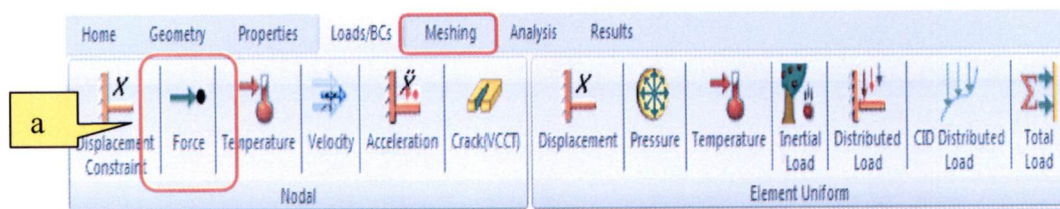
- d. ไม่ต้องเลือก Automatic Calculation.
- e. ป้อน 0.8 สำหรับ value
- f. เลือก Apply



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

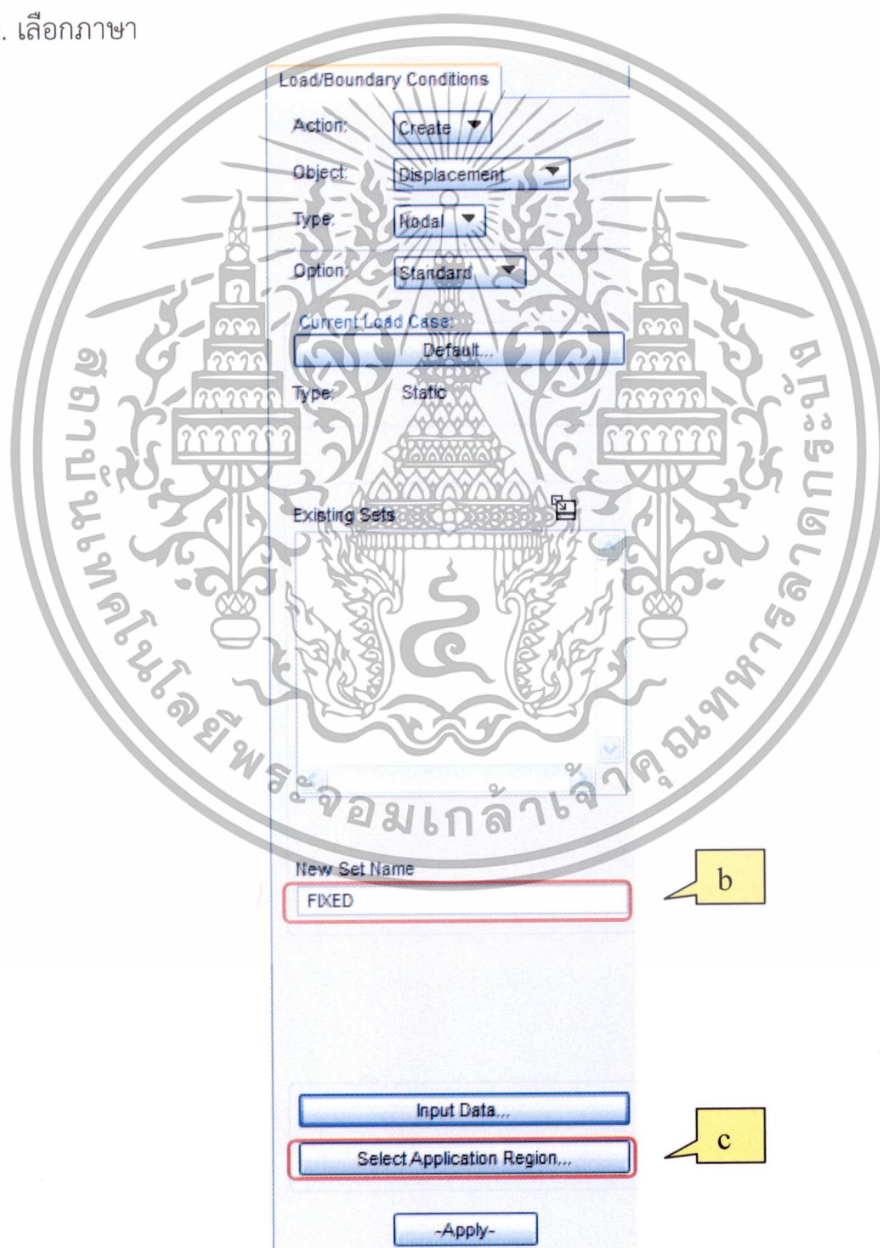
ขั้นตอนที่ 5 Create Constraints

a. หัวข้อ Loads/BCs, เลือก Displacement Constraint ในกลุ่ม Nodal



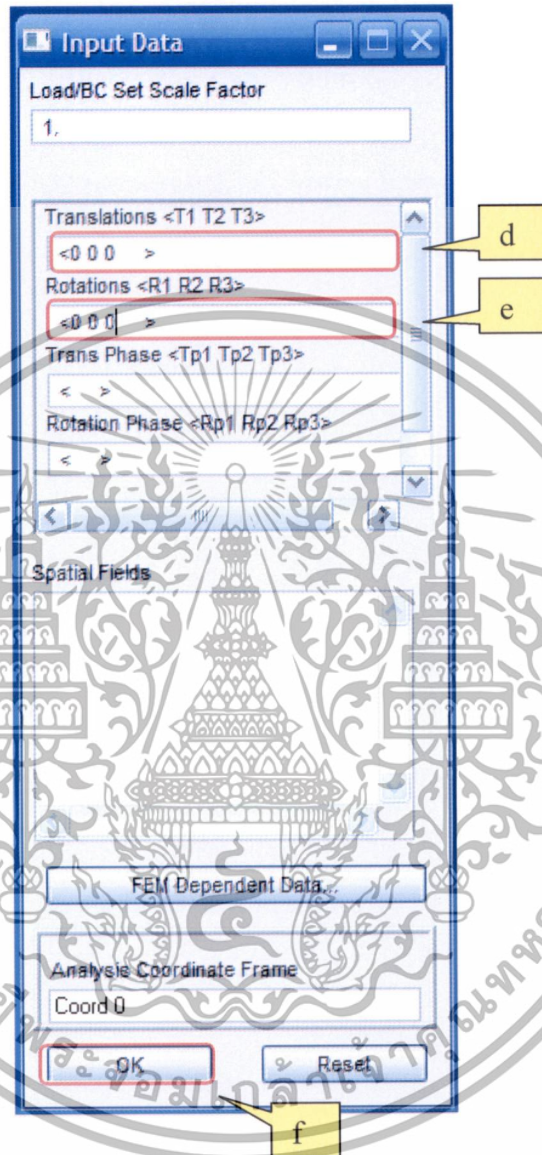
b. หัวข้อ new set name ให้เลือก fixed

c. เลือกภาษา



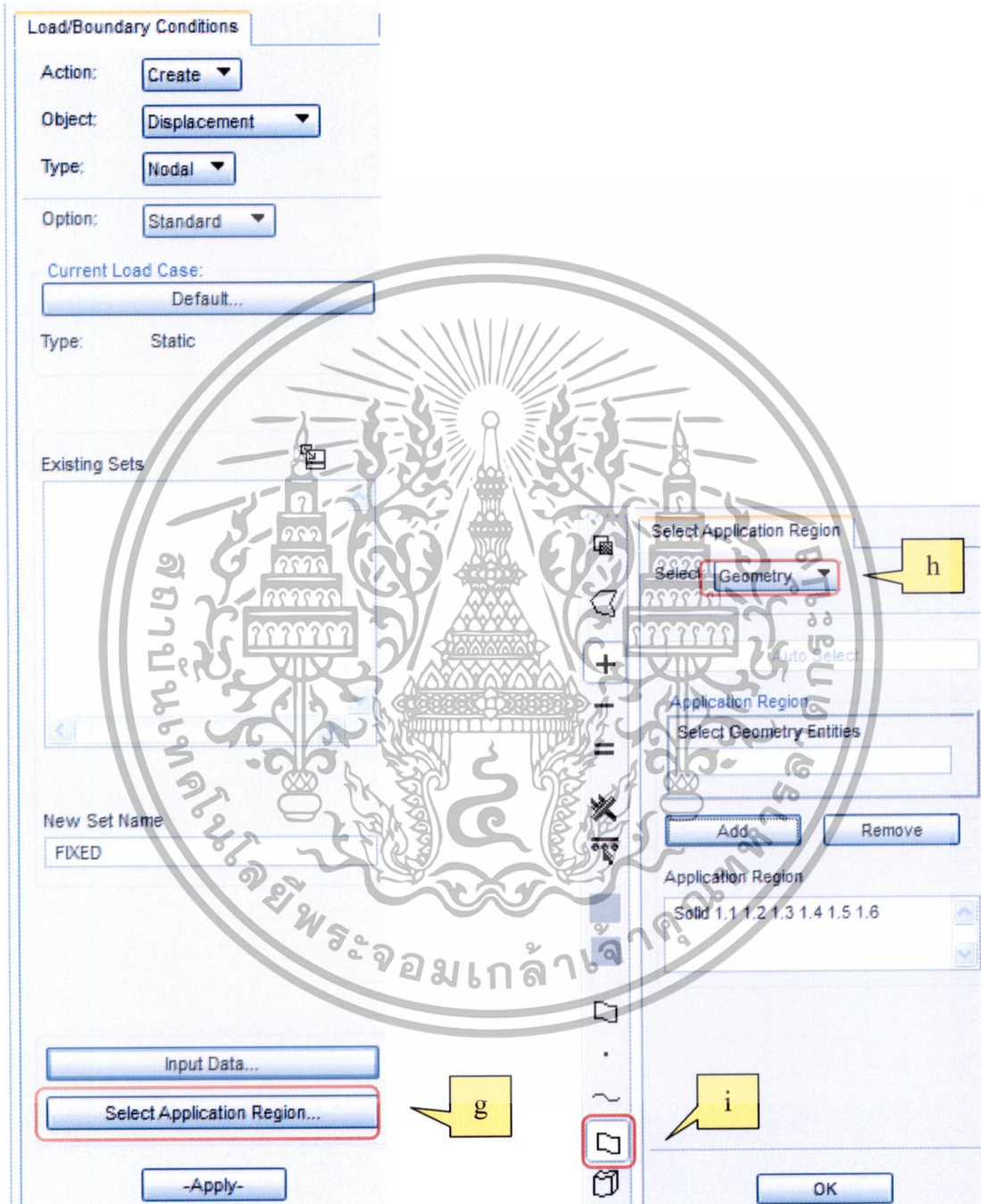
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- d. Translations <T1 T2 T3> เลือก <0 0 0 >
- e. Rotations <R1 R2 R3> เลือก <0 0 0 >
- f. เลือก OK.



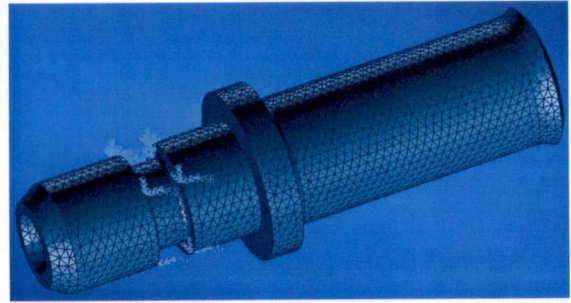
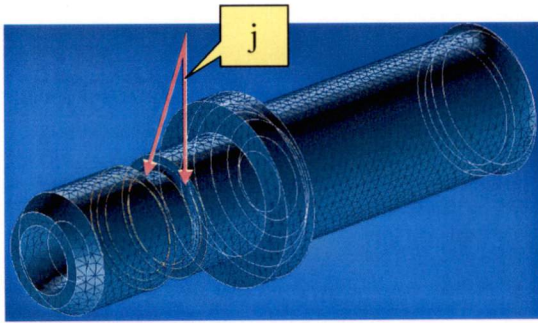
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- g. เลือก select Application region...
- h. ในหัวข้อ select เลือก Geometry.
- i. เลือก Surface บน the picking Fillers toolbar.



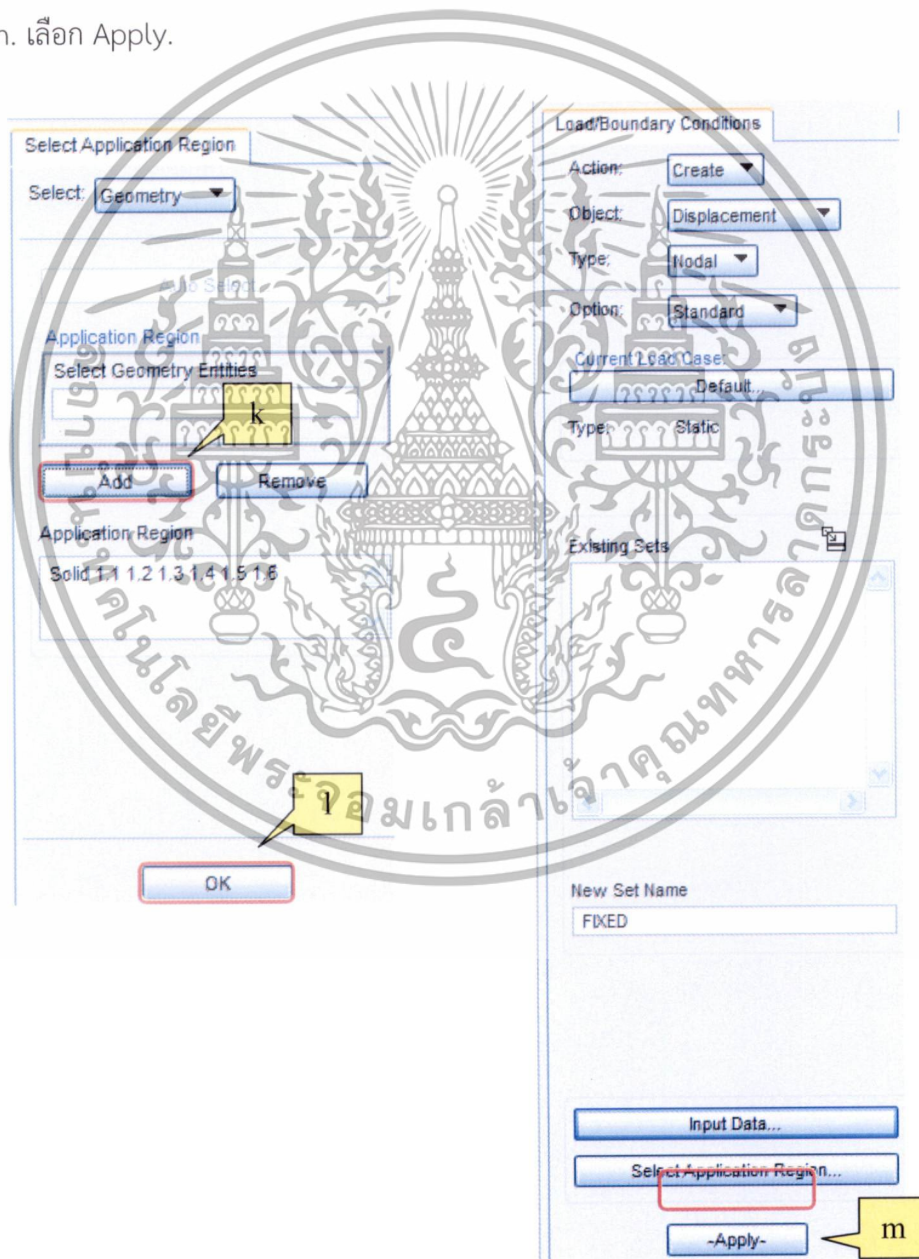
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

j. เลือก cylindrical all face of the slot.



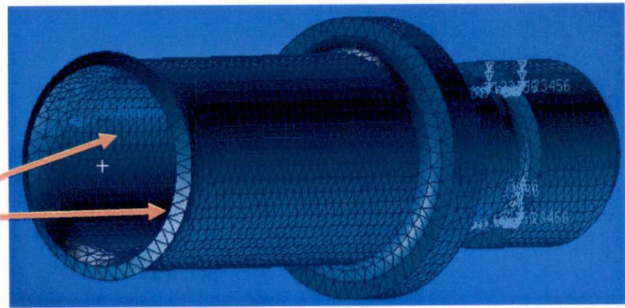
l. เลือก Ok

m. เลือก Apply.



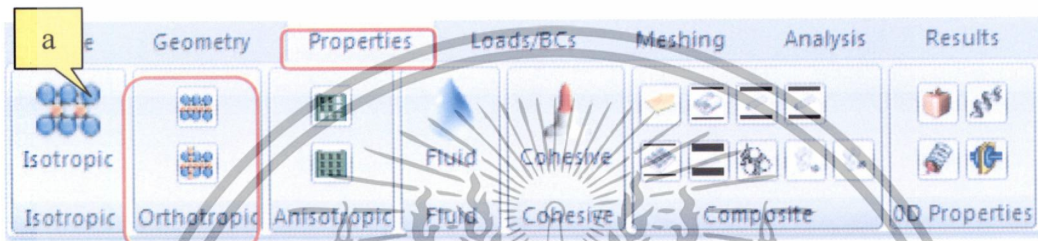
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The cylindrical face
in the hole of Casing cap.



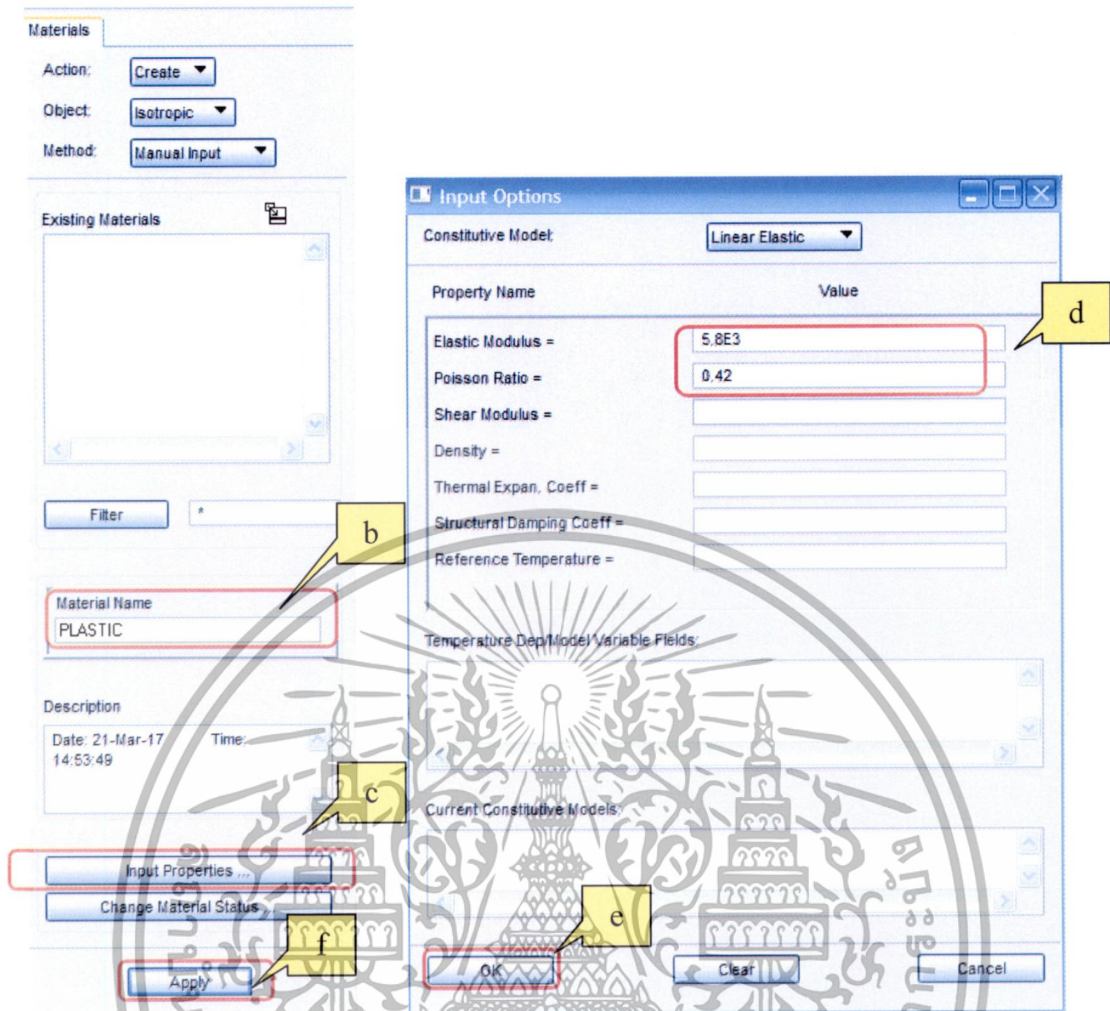
ขั้นตอนที่ 6 สร้างคุณสมบัติของวัสดุ

a. เลือกหน้าต่าง properties , เลือก Isotropic group.



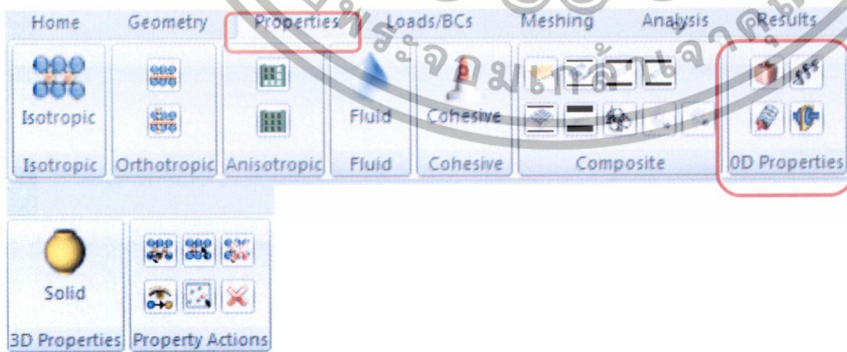
- b. ป้อน PLASTIC ลงใน material Name.
- c. เลือก input properties...
- d. ป้อน 5.8E3 ลงใน Elastic modulus และ 0.42 ลงใน Poisson Ratio
- e. เลือก OK.
- f. เลือก Apply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขั้นตอนที่ 7 สร้าง element properties

a. เลือก Solid in the 3d properties group.

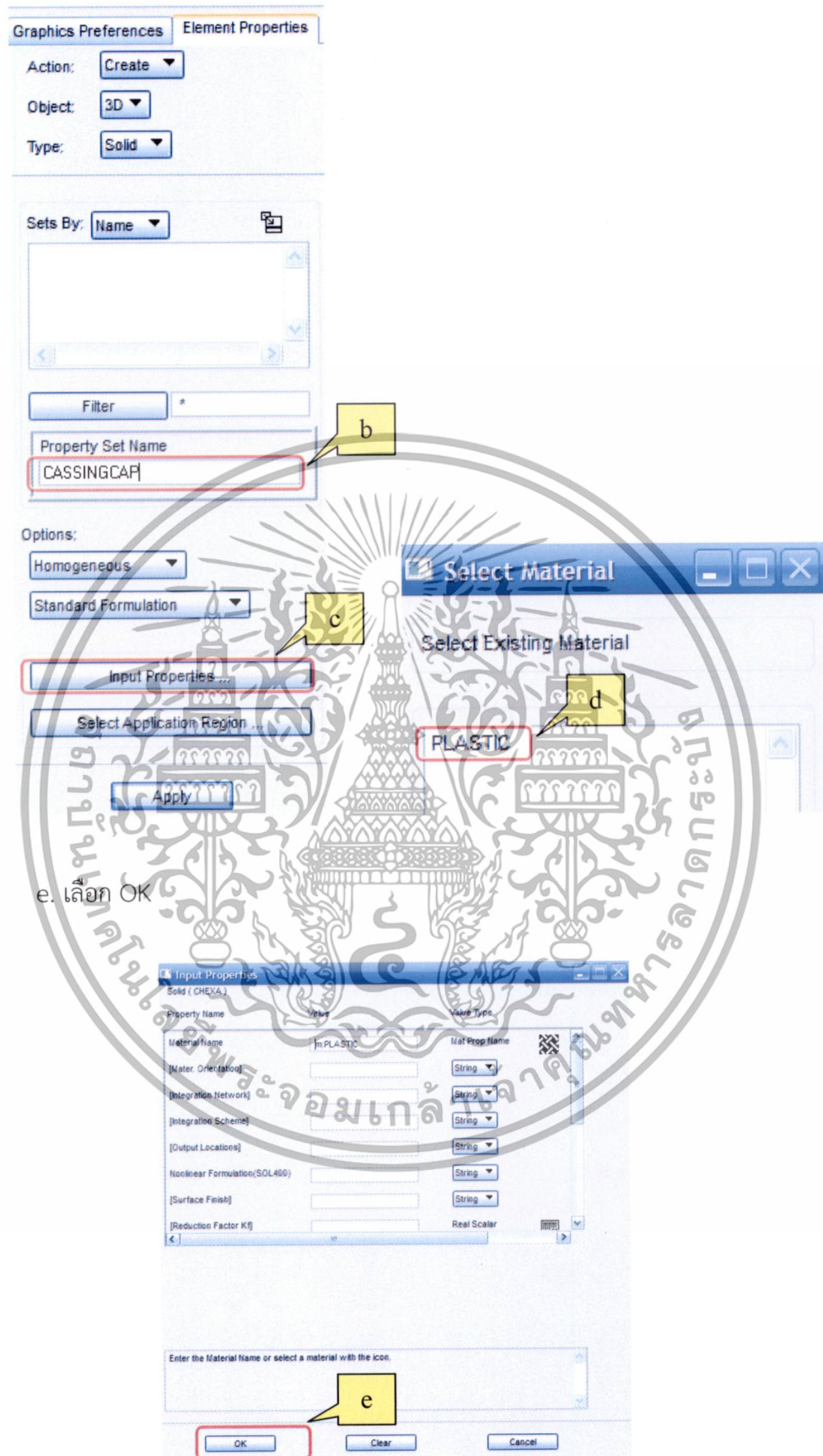


b. ป้อน ปลอกครอบปลายลงใน property set Name

c. เลือก input properties...

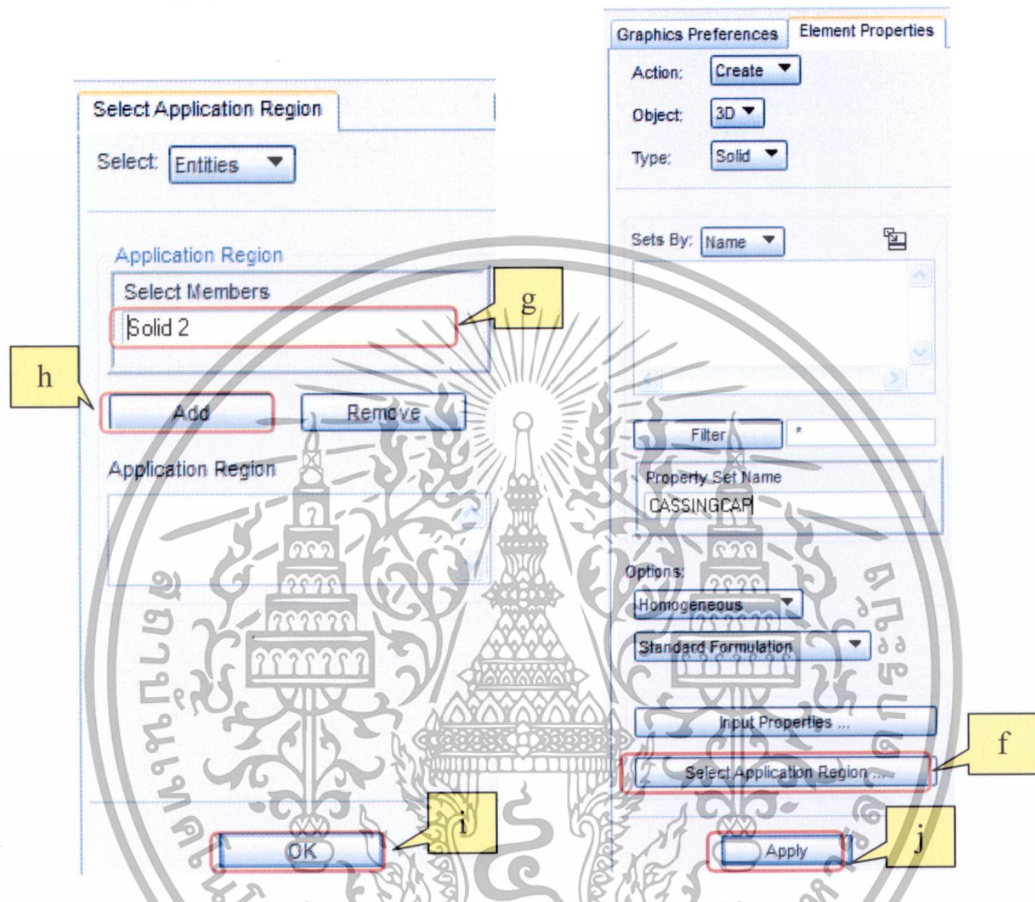
d. เลือก PLASTIC from select existing material

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



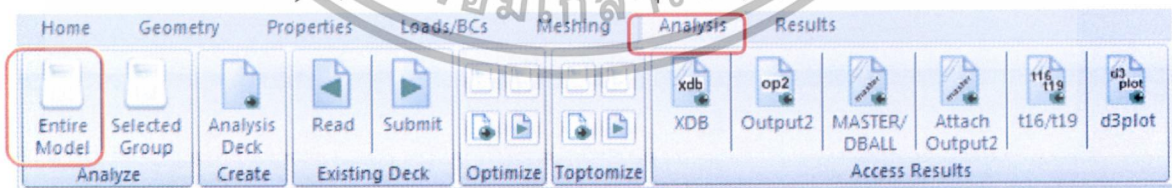
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- f. เลือก select application region
- g. เลือก solid
- h. เลือก Add
- i. เลือก OK
- j. เลือก Apply



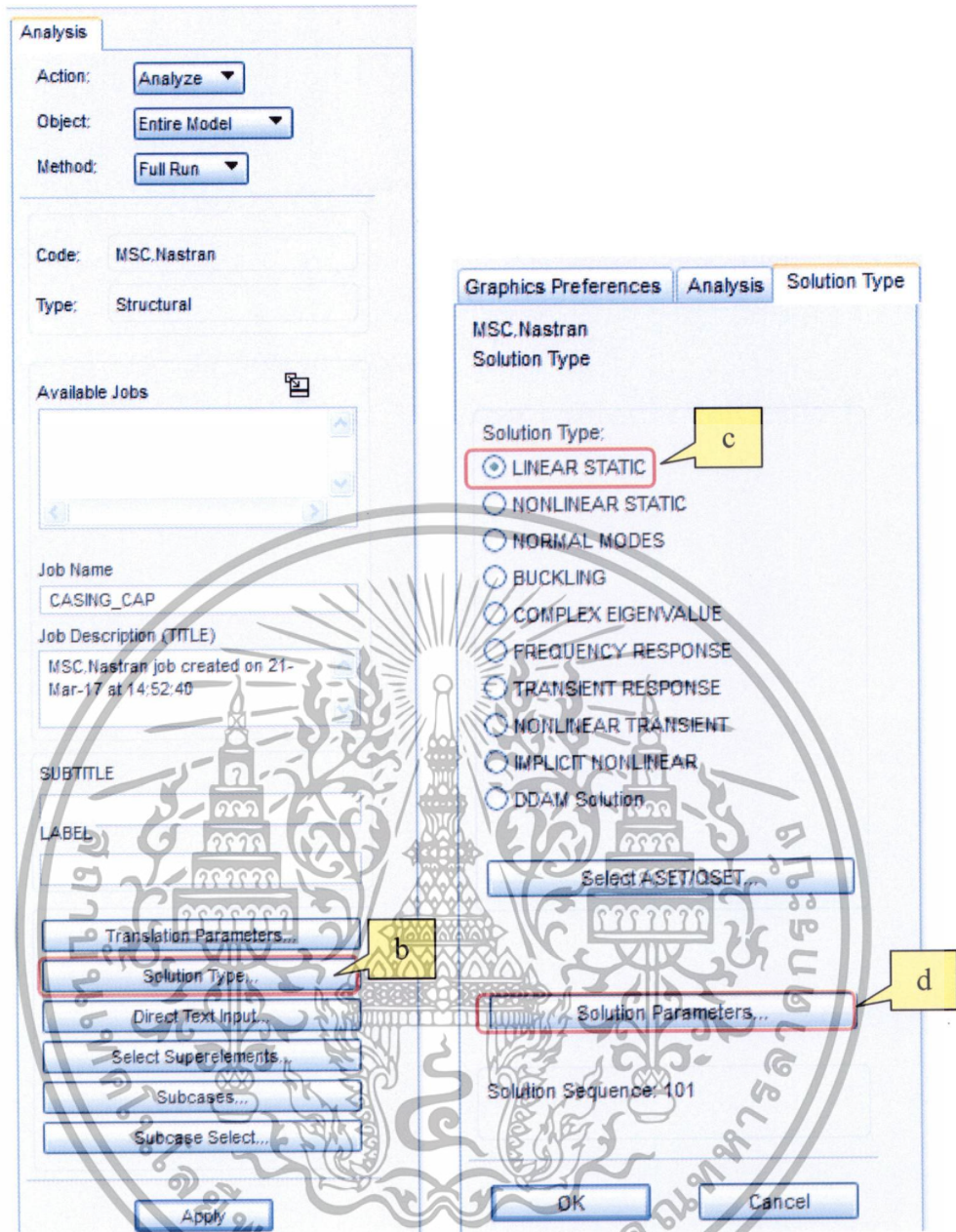
ขั้นตอนที่ 8 ทำการวิเคราะห์

- a. หน้าต่าง analysis, เลือก entire model ในกลุ่ม analysis



- b. เลือก Solution type...
- c. เลือก Linear static for solution type.
- d. เลือก solution parameters..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



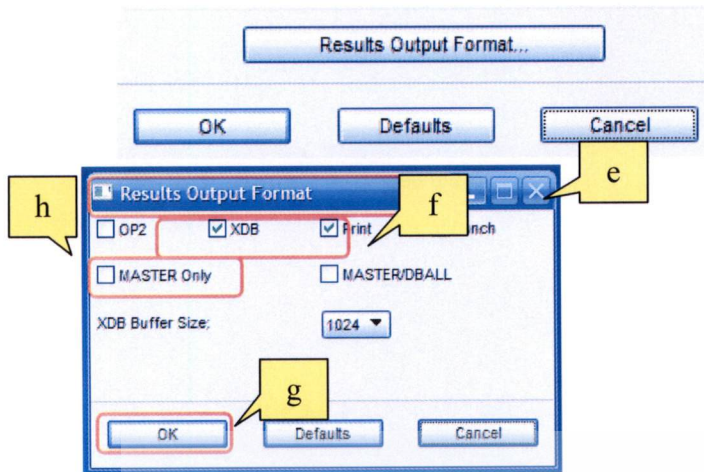
e. เลือก result output format...

f. เลือก XDB and Print.

g. เลือก OK

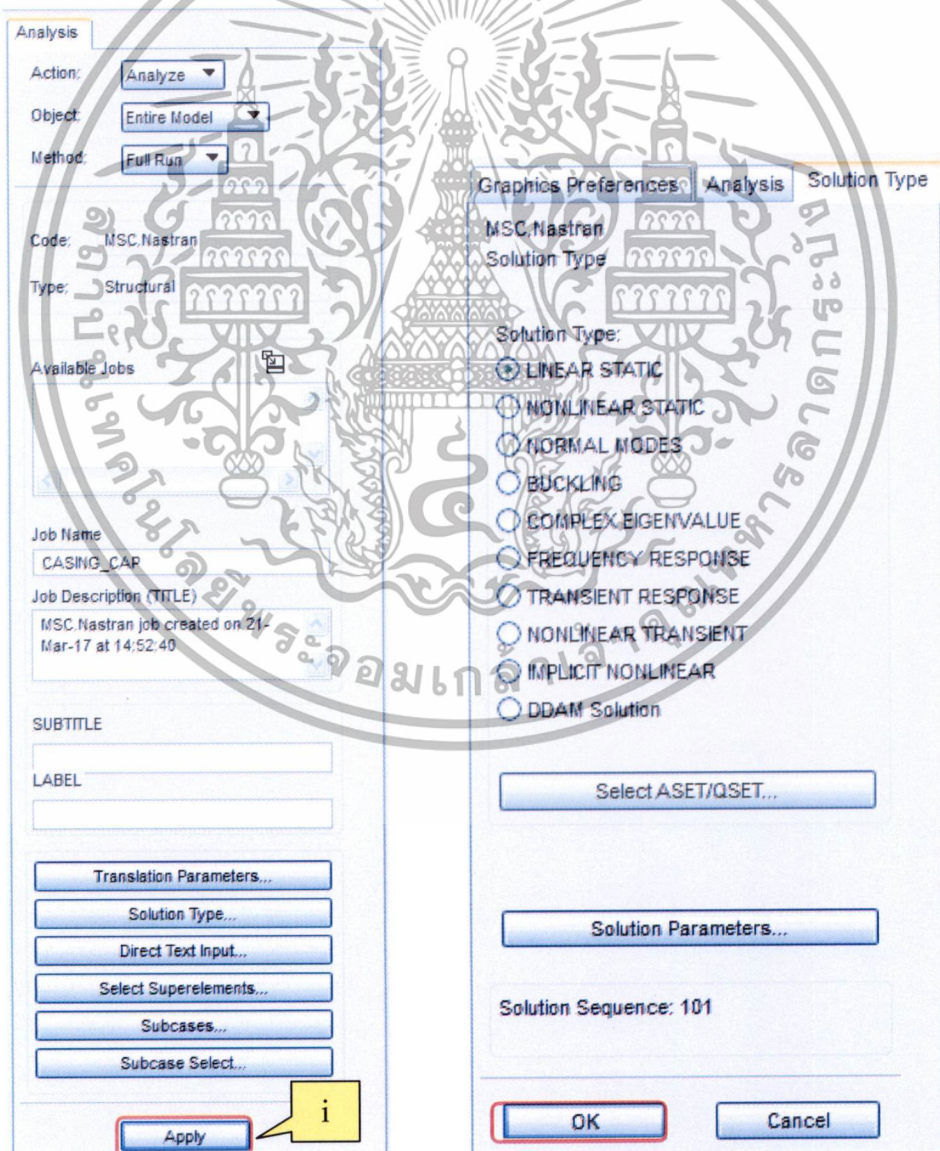
h. เลือก OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



i. เลือก OK

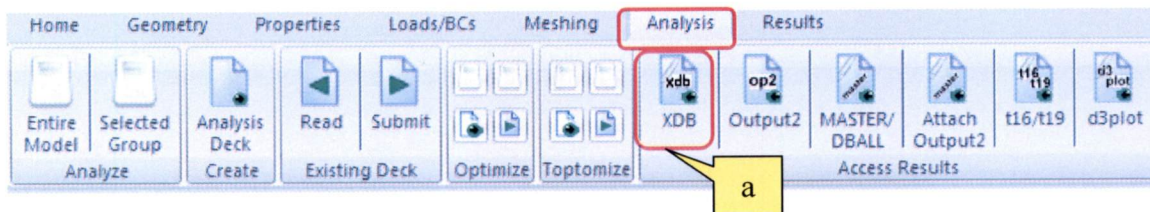
j. เลือก Apply.



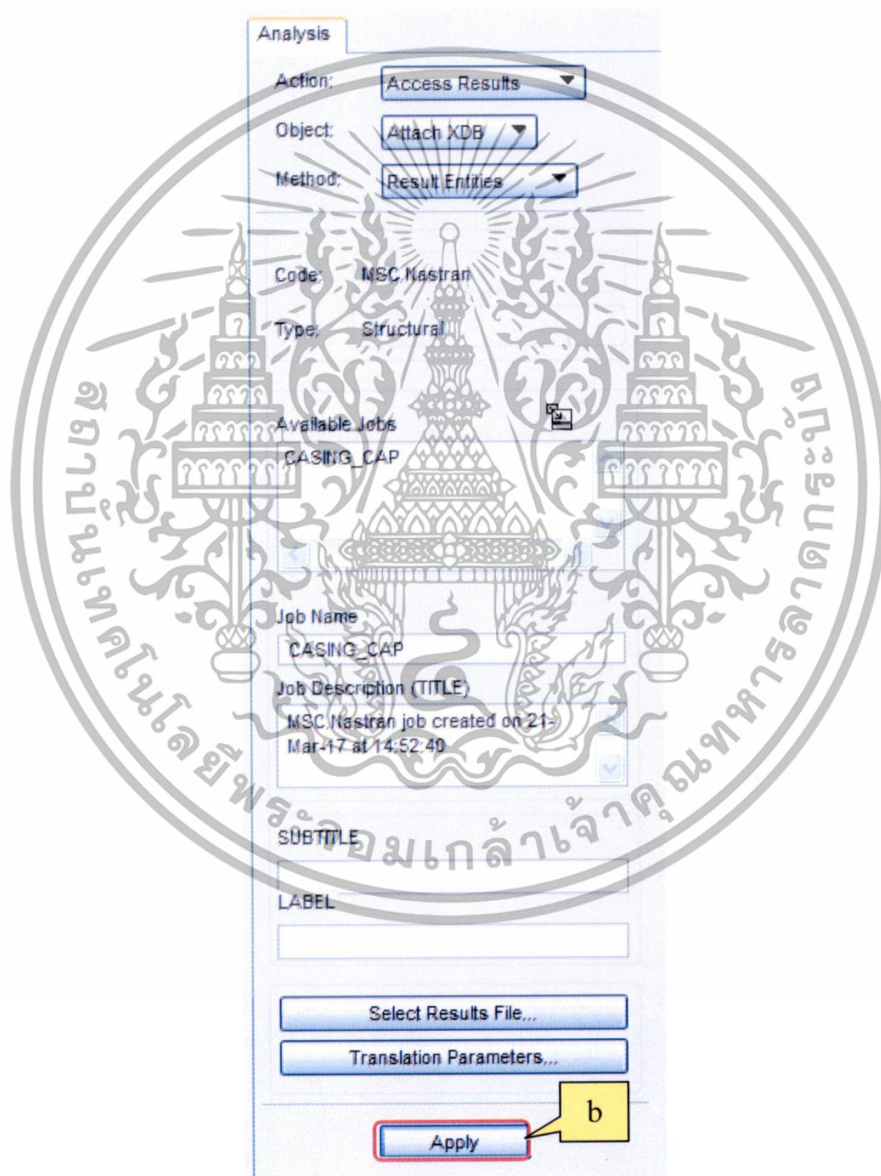
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9 Post-Process the model

a. เลือก XDB in the access result group.

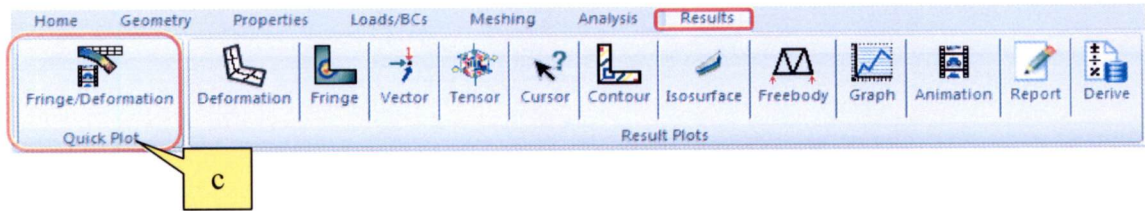


b. เลือก Apply.



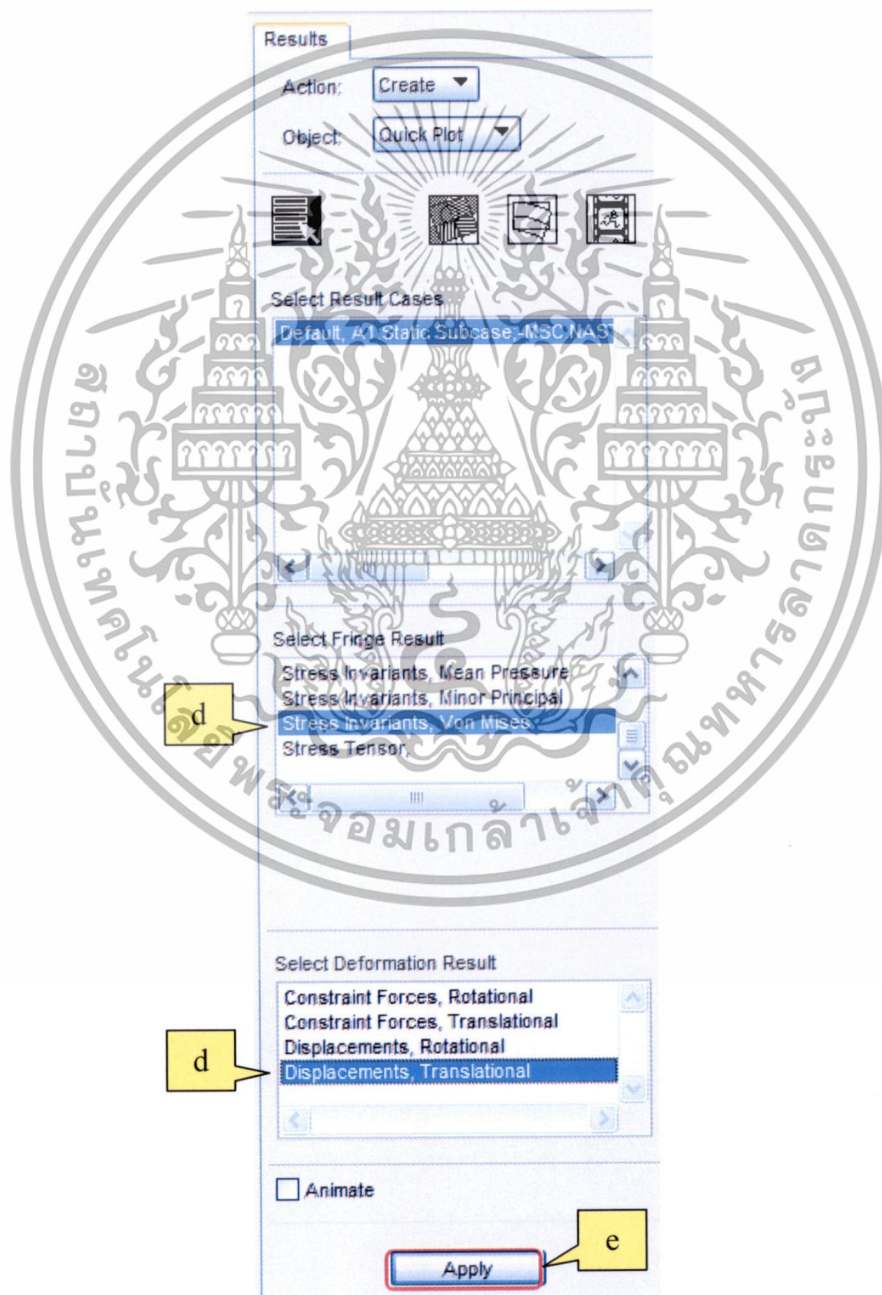
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c. หน้าต่าง Results , เลือก Fringe/deformation ในกลุ่ม Quick Plot

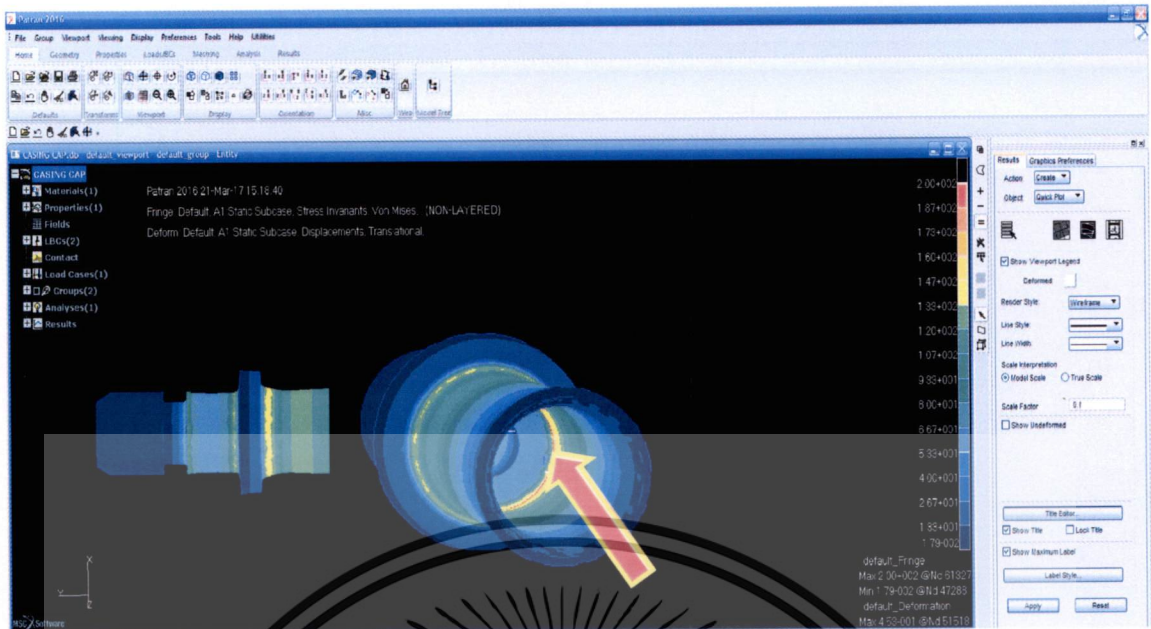


d. เลือก Stress invariants , Von Mises และ Displacements, Translational

e. เลือก Apply.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

มาตรฐานรถยนต์ของประเทศญี่ปุ่น JASO F 903-75

JAPANESE AUTOMOBILE STANDARD

JASO F 903-75

Control Cables for Automobiles

1. Scope

This standard covers control cables (hereinafter called cables) used mainly for the purpose of pulling in automobiles.

2. Purpose

This standard covers control cables (hereinafter called cables) used mainly for the purpose of pulling in automobiles.

3. Names of Main Components

Names of cable main components are as indicated in Table 1.

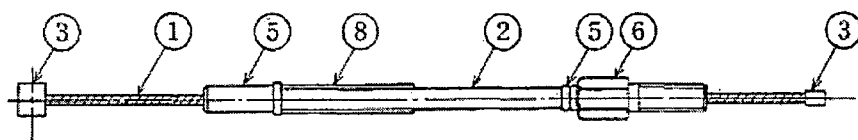
Table 1

No.	Component Name	Typical Assemblies (Reference)	No.	Component Name	Typical Assemblies (Reference)
1	Inner cable	Reference Fig. 1 ~ 4	6	Adjust bolt	Reference Fig. 1 ~ 4
2	Outer casing		7	Adjust nut	
3	Cable end		8	Casing protector	
4	Connector		9	Dust cover	
5	Casing cap				

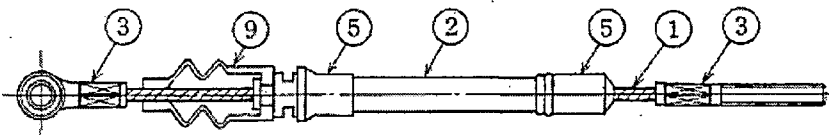
Remark: Number indicates the parts in typical assemblies in Reference Fig. 1 ~ 4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

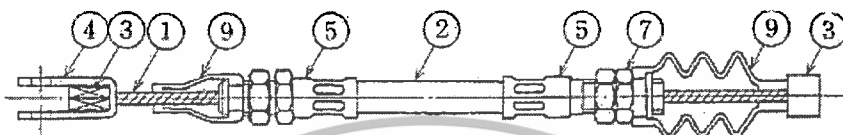
Reference Fig. 1



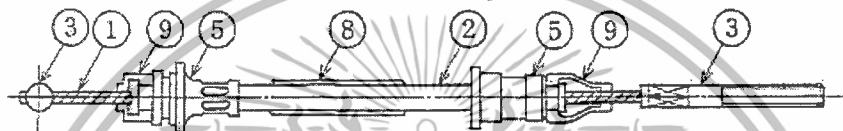
Reference Fig. 2



Reference Fig. 3



Reference Fig. 4



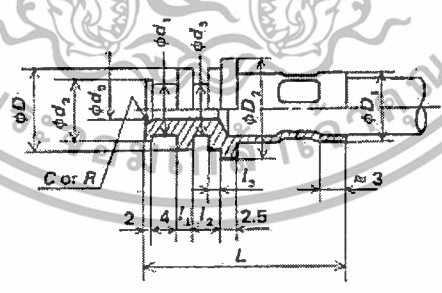
Applicable Standards: Refer to page 7.
Old standard number: JASO 6818

1

JASO F 903-75

Attached Table 17 Casing Cap Type D2

Unit: mm



Unit: mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unit: mm

Applicable outer casing outer diameter	d_0		D		D_1 (Reference)	D_2	d_1		d_2	d_3	L (Reference)	l_2		l_3	Pull off Load (kgf Min.)
	Size	Tolerance	Size	Tolerance			Size	Tolerance				Size	Tolerance		
5	2.5				8 (* 7)						25	2.8 3.2 3.6		8	
6	3.0		10		9 (* 8)	14	6		8	8	28	2.8 3.2 3.6	1.0	10	
7	3.5				10 (* 9)							3.2 3.6 3.9 4.2	2.0	12	
8	4.0	+0.3 -0.2		0 -0.2	11 (* 10)			+0.3 0			31	3.2 3.6 3.9 4.2	+0.2 -0.1	1.0 2.0	14
9	4.5		16		12 (* 11)	20	7.5		10	12	34	3.6 3.9 4.2 4.8	1.0 2.0	16	
10	4.5 5.0				13 (* 12)						36	3.6 3.9 4.2 4.8	1.0 2.0	18	

Remarks 1: Dimension D_1 in the Table indicates the case of die cast part or machined part (with * mark).
2: Caulking shall, as general rule, be hexagon caulking.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Siwawong Buthgate, Anakkapon Saenthon and Somyot Kaitwanidvilai, “Development of a new part of ปลอกครอบปลายfor the parking brake cable using finite element analysis”, 2017 International Journal of Innovative Computing Information and Control (ICIC International), pp. 659-670, volume 13,number 2, April 2017.
2. Siwawong Buthgate, Anakkapon Saenthon and Somyot Kaitwanidvilai, “Reliability Design Optimization of ปลอกครอบปลายby Sample Test and FEA”, the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2017), pp. 879 -883, Hong Kong, March 15-17,2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A NEW PART OF CASING CAP FOR THE PARKING BRAKE CABLE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS

SIWAWONG BUTHGATE¹, ANAKKAPON SAENTHON¹ AND SOMYOT KAITWANIDVILAI²

¹College of Advanced Manufacturing Innovation

²Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
drsomyotk@gmail.com

Received October 2016; revised January 2017

ABSTRACT. *The brake system is an important safety system in every vehicle. This system is utilized for controlling of the vehicle movement. This paper proposes a new design and development of casing cap for the parking brake cable by applying the finite element technique to analyzing and evaluating the feasibility of the material and the design of the product. The study and analysis of influential factors affecting the parts of casing cap by JASO standard F903-75 control cable for automobiles are described. The results show that the plastic PA GF15 can be used to replace the conventional material that is steel casing cap, and will then be able to reduce the overall cost material by 2.5%. In addition, the results of the analysis illustrate that all features of the new product are complied with JASO F903-75, the control cable standard for vehicles.*

Keywords: Casing cap of the parking brake cable, Finite element method, JASO F903-75 control cable for automobiles, Plastic PA GF15

1. Introduction. Presently, the automotive industry is focusing on the trend of research and development in various research areas including the material engineering to improve both the productivity and cost. One of the most important parts in the vehicle is the brake system which is the safety system for all types of motor vehicles, e.g., cars and motorcycles. The parking brake is one of the important parts in the brake system; this part acts to make the car unmovable by pulling the lever on the hand brake up. When the users pull the lever of the hand brake, the exerted force will be transferred from the lever into the drum brake via the parking brake cable to the brake device reaching the enough friction which the wheel cannot move and the car is exactly stopped [1]. In [2], the lightweight design of the car using thermoplastic is an efficient method to reduce the CO₂ emission and fuel. The using of plastic presents an important role in the green concept for the design process by replacing the steel with the plastic material. The weight of the plastic car fender is 41% compared with the steel fender. Moreover, the production cost of plastic fender is cheaper than that of the steel [2]. In [3], the conventional metal tanks of the public buses were replaced by the plastic fuel tanks where the design and development of plastic fuel tanks was based on the static and dynamic analysis using finite element analysis. The samples were tested to meet the required properties of material with load test as the applied static and dynamic requirement. Results of static and dynamic analyses were performed using finite element method. The aim of the research work was to present the analytic methodology to prevent the damages [3]. In [4], Tube Hydro-Forming (THF) was known in the automotive and aerospace industry, where there is the more complex geometry of the tube and extrusions. The benefit of THF, for instance, is the using of the high strength material as the structure of automotive components which

results in lower weight and improved performance. The simulation model was analyzed by the FEM tool deform-3D [4]. In [5], the measurement of the temporal and true strain of polymer material was applied to the simulation of the plastic parts. The objective of the simulation was to simulate the behavior of the plastic strain rate which depended on the polymer. The results of the new approach based on time and relation methods were completely performed using FEA based optimization procedures which are similar to the inverse analysis. Thus, it only used the measured data in the mechanical testing to generate the true stress/strain-curves at different constant strain rates [5]. In [6], the polymer composites were shown that they had many efforts to explain the mechanical properties of the regions at the nanoscale. Thus, the increasing of resolution in nano-indentation and atomic force microscopy techniques was achieved; however, it is not always possible to identify thin inter-phases when the dimensions are similar to those in the indenter surface contact area. The results of demonstration by both experimentally and through finite element analysis were described, a method of quickly identifying indentations that are restricted by the reinforcement [6]. In [7], the taper roller bearings were applied to reducing the important gears. The influence was analyzed by finite element method in this work. Firstly, a finite element model of roller bearings was established by using the Reynolds equation and considering the surface roughness. Then, the stress fields in the roller and the raceway were calculated by adding load and solving, obtaining the maximum stress and strain of the bearings. Finally, the effects of the work property of the bearings were analyzed by the obtained maximum stress and strain. The results of this research work from the finite element analysis not only gave the maximum and a minimum shear stress in rolling bearings, but also showed the positions where the stress concentration is high [7]. In this paper, the static analysis of linear-elastic structures with uncertain parameters subjected to the deterministic loads was addressed. The uncertain structural properties were modeled as interval variables with assigned lower and upper bounds. The key idea of the novel method is to associate an extra unit interval to each uncertain parameter in order to keep physical properties linked to the finite elements in both the assembly and solution phases. This allows one to reduce overestimation and performs the standard assembly of the interval elementary matrices. In [8], a novel interval finite element method (IFEM) for the static analysis of linear structures with uncertain parameters has been presented. The key idea of the method is to model the uncertain parameters as interval variables handled by means of the improved interval analysis via extra unitary interval (IIA via EUI), recently introduced in the literature to reduce the overestimation affecting the classical interval analysis [8]. Coupling two different computational approaches, namely the finite element method (FEM) and meshless finite difference method (MFDM), in one domain was applied in solving thermomechanical initial-boundary value problem where the heat transport in the domain is non-stationary. In this method, the domain is divided into two subdomains for FEM and MFDM, respectively. Contrary to the other coupling techniques, the approach presented in [8] is defined in terms of mathematical problem formulation rather than at the approximation level. The scale parameter, depends neither on the type of the considered problem, nor on the applied approximation schemes. It depends on the discretization density only, and may be determined without any difficulties. It should be noted at this point that this scalar parameter is a common parameter for the mechanical and thermal parts and appears in the mixed problem formulation [9,10] including the movement of heat through the material shapes. As seen in many research works, the using of the finite element method (FEM) is a powerful tool for the analysis of material properties. The results of the hot air flow using FEM and conventional method were compared and applied to various fields [11,12]. Peri-dynamics is a new nonlocal theory that provides the ability to represent displacement discontinuities

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

in a continuum body without explicitly modeling the crack surface. An explicit dynamics implementation of the bond-based peri-dynamics formulation is presented to simulate the dynamic fracture process in 3D elastic solid. The discontinuous Galerkin (DG) approach [13] was utilized to formulate the classical peri-dynamics governing equation. As the result, the spatial integration can be carried out through finite element approach to enforce the boundary conditions, constraints, contacts as well as to handle the non-uniform mesh in the engineering practices. The conclusion of the explicit dynamic formulas and numerical algorithms of bond-based peridynamics model is to predict the damage of 3D brittle material. In contrast to the mesh free version of peri-dynamics, the discontinuous Galerkin weak form of the peri-dynamics governing equations was considered [13]. Moreover, several papers suggested the parameter selection in FEM [14,15] and modified technique in FEM [16]. As seen in all documents reviewed, the FEM is a powerful technique to analyze the material properties.

The highlight of this research differed from the other articles is the development of a new parking brake cable which replaces the traditional steel with the plastic, which is lighter and lower cost. This part is an innovative part of the security of control cable according to the Japanese Standard, JASO standard F903-73 [1]. The development provides maximum efficiency with satisfactory specification; and the stress of the material must not exceed the yield point of the materials used in the design. The location and the stress can be calculated from theoretical mechanics; however, the mechanical calculation theory has several limitations in the calculation of the objects with complex shapes. In some cases, it is not possible to calculate by the analytical method. Thus, bringing the finite element analysis (FEA) to calculate the deformation behavior of the designed part is necessary.

This will reassure customers in the quality of the product and lower the cost in terms of lower weight, and lower cost of material and still retains the satisfactory mechanical properties. This solves the problem of production cost in material and leads to the future car components.

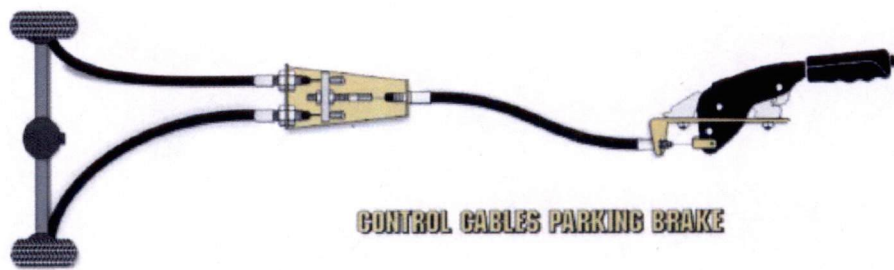
The parking brake cable is the important part in the brake system and this research work attempts to improve the casing cap for this cable. Figure 1 shows the diagram and photos of the main components in the parking brake cable, which are:

- The parking brake cable, the front end point is connected to the hand brake or lever and the other endpoint is connected to the left and right drum brakes.
- Fitting point is the point of connecting which composes of the casing cap assembling with a plate of the car body and the components are locked by the metal clip.
- Casing cap is a part of the fitting point which is the interesting part in our research study. This research focuses on the using of the plastic composite, glass fiber instead of steel in the casing cap.

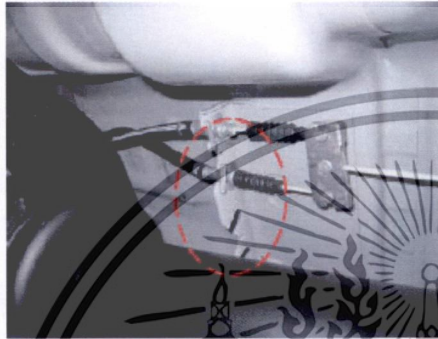
As shown in Table 1 and Figure 2, there are 9 component parts of the parking brake cables.

This paper proposes the study of the material analysis for the replacement of casing cap of the parking brake cable. The analysis of the proposed material is based on the finite element analysis and the results of mechanical properties of the new casing cap were investigated in comparison with the conventional material, steel casing cap. In addition, various types of material are studied to show the effectiveness of the proposed material for reducing the production cost and achieving the effectiveness of the proposed cable design. This paper is organized as follows. Section 2 presents the material and FEM analysis. The basic design of casing cap and its material are illustrated in Section 3. Simulation results and discussion are described in this section. Finally, Section 4 summarizes the research work and paper.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) The parking brake cable



(b) Assembly point



(c) Casing cap

FIGURE 1. The parking brake cable

TABLE 1. Details of the component on the parking brake cable

No	Components	Function
1	Inner cable	Loading capacity and passing it driven
2	Outer casing	Reflecting the strong support for protecting and maintaining the inner cable routing
3	Inner ends	Supporting the loading and connecting the related parts
4	Boot	Protecting dust and water
5	Casing caps	Reflecting the strong support and connecting related parts
6	Protector	Protecting the outer casing
7	Clamp	Keeping the routing of cables
8	Casing caps	Reflecting the strong support and connecting related parts
9	Inner ends	Supporting the loading and connecting related parts

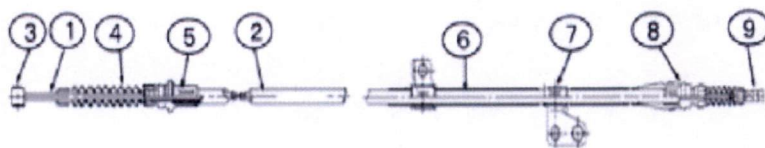


FIGURE 2. Parts on the parking brake cable

2. Material and Finite Element Analysis. At present, the casting cap is made of several materials; those are SS400 steel, ADC6 aluminum, and ZDC2 zinc which cause heavy weight of car body and high material cost. One of the most interesting materials

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

attempted to be studied in this research work is PA GF15 plastic which is light weight and low cost material.

2.1. Material properties. The casing cap is currently made of several different types of materials, which are shown in Table 2.

TABLE 2. Details of the material

Materials	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Yield strength (MPa)
Steel – SS400	207	0.3	230
Aluminum – ADC6	71	0.33	159
Zinc – ZDC2	85.5	0.27	221

This paper focuses on the using of the following material instead of the original material mentioned above. Plastic: PA GF15, elastic 5.8 GPA, Poisson's ratio 0.42 and yield strength 200 MPa [17].

Generally, the important material properties, e.g., elastic limit, yield point, yield strength of the material can be specified by the stress-strain curve as shown in Figure 3. Stress is the force per unit area and is usually expressed in the unit of newton per square meter. Table 3 shows the examples of simple stresses and their definitions. When applying force to the material, the length or dimension of the material is normally changed. The ratio of the change in length of the material when applying force to the original length is called as strain. As seen in Figure 3, the characteristic curves of steel (1), plastic (2) and other material (3) are illustrated. Clearly, the characteristic curves of steel and plastic are different; however, the mechanical properties in terms of Poisson's ratio and yield strength are similar.



FIGURE 3. Stress-strain curves: (1) steel, (2) plastic, (3) other material

TABLE 3. The examples of stress and their definitions

Case	Type of Loading	Illustration	Stress Distribution	Stress Equations
1	Direct tension		Uniform	$\sigma = \frac{F}{A}$
2	Direct compression		Uniform	$\sigma = -\frac{F}{A}$
3	Bending			$\sigma = \pm M/Z$ $= \pm My/I$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. Finite element and boundary conditions. To analyze the mechanical properties and the specification of the designed parts, especially in the complex shape, the finite element method based on the boundary and partial differential equations on the balance solids with the flexibility in three dimensions shown in (1) is utilized.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + F_y &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + F_z &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ are axial stress on the $x, y,$ and z surfaces, respectively. $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ are the shear stress on the $x, y,$ and z surfaces, respectively. F_x, F_y, F_z are the forces (body force) on the $x, y,$ and z directions, respectively. The outer surface of the solid, as shown in Figure 3, contains various boundary conditions such as the set moves on the skin, subjected to the conditions of the stress on the surface (surface traction):

$$\vec{T} = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k} \quad (2)$$

where T_x, T_y, T_z are the axial stress on the $x, y,$ and z surfaces respectively. Generally, Equation (2) can be written in the general form of the stress subsidiaries as follows:

$$\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{pmatrix} \quad (3)$$

where n_x, n_y, n_z are the directional cosine vectors on the $x, y,$ and z surfaces, respectively.

$$\hat{n} = n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k} \quad (4)$$

To illustrate the relationship on the boundary condition, Figure 4 shows the normal vectors and the forces exerted on the surfaces at the considering point.

In addition to these conditions, the extension of the conditions when the dimension of the object is changed, can be analyzed by considering the stress and strain. In the three-dimensional solid, the initial stress (prestrain) normally is applied first and then the relationship between stress and strain is typical as:

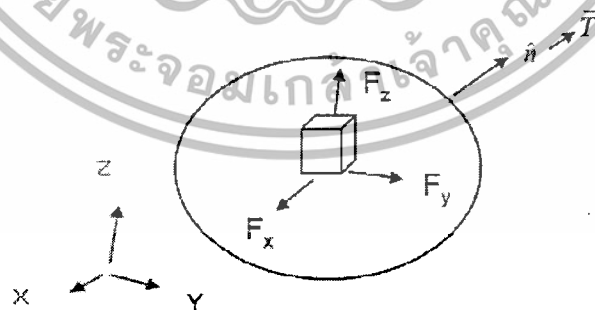


FIGURE 4. The balance on any position in the three-dimensional solid

so

$$\begin{aligned} \{\sigma\} &= [c]\{\varepsilon - \varepsilon_0\} \\ \{\sigma\}^T &= [\sigma_x \quad \sigma_y \quad \sigma_z \quad \tau_{xy} \quad \tau_{yz} \quad \tau_{xz}] \\ \{\varepsilon\}^T &= [\varepsilon_x \quad \varepsilon_y \quad \varepsilon_z \quad \gamma_{xy} \quad \gamma_{yz} \quad \gamma_{xz}] \end{aligned} \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[C] = \frac{E}{(1+v)(1-2v)} \begin{pmatrix} 1-v & v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & 1-v & v & 0 & 0 & 0 \\ v & v & 1-v & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2v)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2v)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2v)}{2} \end{pmatrix}$$

where v is the Poisson's ratio, and E is the Elastic modulus.

The most important tool to analyze the above mentioned boundary conditions is the finite element analysis in which the solid object needs to be firstly constructed. The complex shape object, in this case is the casing cap, which was designed and developed for the parking brake cable, is created by the CAD using CATIA software and is analyzed by the FEM software, Nastran. Firstly, the mesh on the designed CAD file is constructed by assigning the meshing value. The shape of casing cap model is similar to the cylindrical shape with several dimensions and diameters; the curve shape is designed to withstand the echo tension or force that has normally occurred in the brake system. The output of the analysis is the maximum pull load force exerted on the designed casing caps with different materials. The force must be within the value illustrated in the standard [1]. Figure 5 shows the example of mesh applied to a simple solid object. There are 4 materials needed to be analyzed in this research study [18].



FIGURE 5. The mesh on the solid object and points for considering the boundary conditions with 10 node tetrahedron

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Casing Cap Design and Results. In the design, the parameters of analysis in finite element analysis tool are shown in Tables 4 and 5 which are the properties and meshing conditions used in the finite element program: MSC Nastran software. All parameters of materials used in the simulation are from the material specification (material data sheet) and the conditions of FEM parameters are selected properly.

The materials adopted in this simulation study are shown in Table 6.

Objective: The specification of the designed parts, casing cap, must be complied with the maximum pull load force described in the standard JASO. As declared in the JASO F903-75, the standard of cable for automotive industry, the minimum value of the pull load for casing cap is 18 kgf (Refer to the Jason standard table 17 casing cap type D2).

By using the CAD files and assigned material properties, the analysis of the designed casing cap can be achieved. Figure 6 shows the FEM analysis on the 4 different casing caps.

As seen in Figure 7, the similar strain values, safety factor and maximum pull of the load can be analyzed. According to the specification in this industry, the safety factor

666

S. BUTHGATE, A. SAENTHON AND S. KATTWANIDVILAI

TABLE 4. Properties condition

No	Parameters	Meaning
1	Action: Create	Create the properties
2	Object: Isotropic	Select the 3-axis mechanical properties by Isotropic
3	Method: Manual	Select material method by Manual
4	Constitutive model: Linear elastic	Select analysis model by linear elastic
5	Elastic modulus	Input elastic modulus of material
6	Poisson ratio	Input Poisson ratio of material

TABLE 5. Meshing condition

No	Parameters	Meaning
1	Action: Create	Create meshing
2	Object: Mesh	Select mesh for analyzing force of area sample part
3	Type: Solid	Select type of sample part of solid
4	Element shape: Tet	Select shape of element by Tetrahedron
5	Meshes: Tetmesh	Select mesh type by Tetmesh
6	Topology: Tet 10	Select topology node 10 points by tetra 10
7	Value: 0.8	Input element size

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 6. Mechanical and material properties applied to the simulation

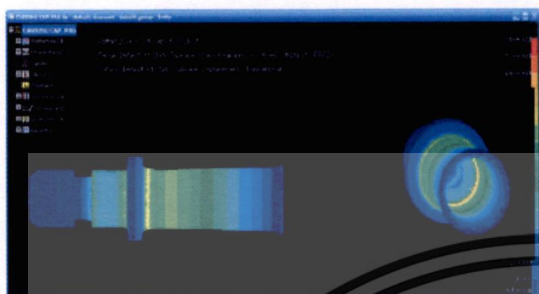
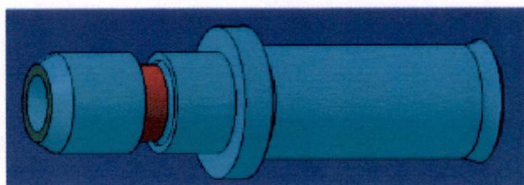
Material/Mechanical properties	PA GF15	SS400	ADC6	ZDC2
Elastic	5.8 GPA	207 GPA	71 GPA	85.5 GPA
Poisson's ratio	0.42	0.3	0.33	0.27
Yield strength	200 MPa	230 MPa	159 MPa	221 MPa

TABLE 7. Results of the stress on each material with different pull of load

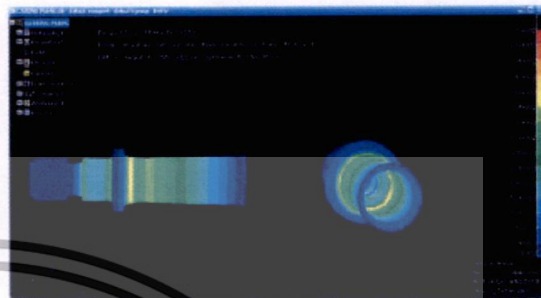
	Material	Pull of load				
		18 kgf	50 kgf	100 kgf	150 kgf	Maximum
Stress max (MPa)	PA GF15	7.65	21.20	42.50	63.70	200
	Steel	8.22	22.80	45.60	68.50	230
	Al	8.07	22.40	44.80	67.30	159
	Zn	8.36	23.20	46.40	69.70	221

is defined as the ratio of yield strength and the stress of the analyzed object. However, according to the JASO F903-75 standard, the minimum of the pull of the load for casing cap is 18 kgf min. As seen in the following results, the pull of load of each material has complied with the standard, and the high values of the safety factors are achieved. The FEA result shows that the maximum stress is 200 MPa and is not more than the value of the material yield point of PA6. Thus, according to the maximum stress, the gain traction of 471 kgf without incident can be determined. Next, the simulation result of the steel SS400 shows the maximum stress of 230 MPa which is not more than the value of the material steel yield. The maximum load at 505 kgf can be determined. The maximum stresses of Aluminum die-casting ADC6 and Zinc die-casting ZDC2 are 159 and 221 MPa. The maximum load of ADC6 and ZDC6 of 505 and 475 kgf can be determined. The following are the simulation results of all materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



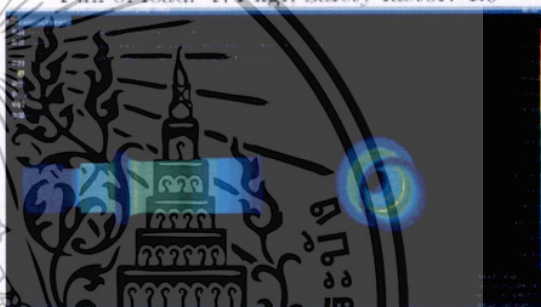
Material: PA GF15 %
Pull of load: 18 kgf, Safety factor: 26.14



Material: PA GF15 %
Pull of load: 471 kgf, Safety factor: 1.0



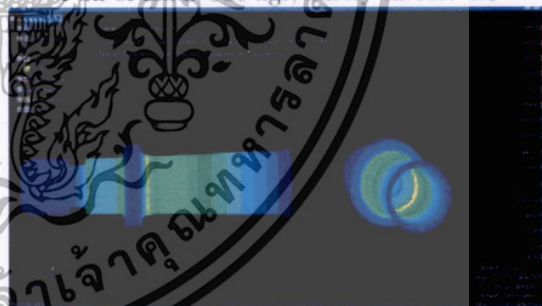
Material: steel SS400
Pull of load: 18 kgf, Safety factor: 27.98



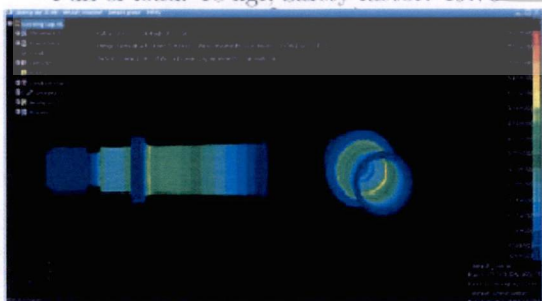
Material: steel SS400
Pull of load: 505 kgf, Safety factor: 1.0



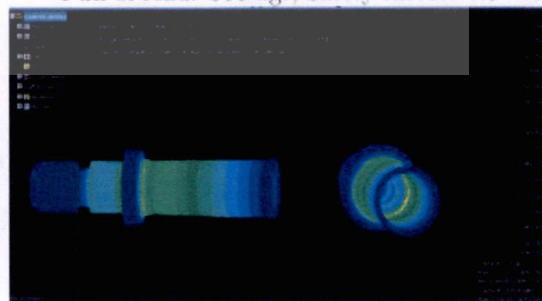
Material: Aluminium ADC6
Pull of load: 18 kgf, Safety factor: 19.70



Material: Aluminium ADC6
Pull of load: 355 kgf, Safety factor: 1.0



Material: Zinc ZDC2
Pull of load: 18 kgf, Safety factor: 26.43



Material: Zinc ZDC2
Pull of load: 475 kgf, Safety factor: 1.0

FIGURE 6. Finite element analysis on the 4 different casing caps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

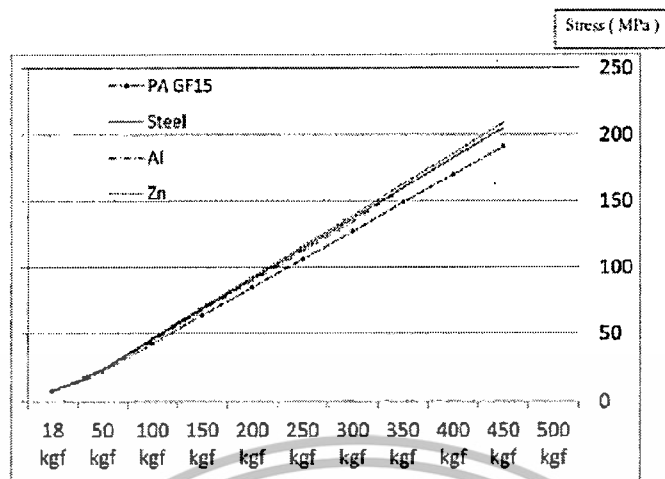


FIGURE 7. Estimated curves of stress of each casing cap

- Nylon6 Glass fiber 15

FEA analyze:

- Safety factor = yield strength 200 MPa/stress 7.05 MPa = 26.14
- Maximum pull of load 471 kgf

- Steel SS400

- Safety factor = yield strength 230 MPa/stress 8.22 MPa = 27.98
- Maximum pull of load 505 kgf

- Aluminum die-casting ADC6

- Safety factor = yield strength 159 MPa/stress 8.07 MPa = 19.70
- Maximum pull of load 355 kgf

- Zinc die-casting ZDC2

- Safety factor = yield strength 221 MPa/stress 8.36 MPa = 26.14
- Maximum pull of load 475 kgf

As the results indicated, the stress and maximum pull of load of each material analyzed from the finite element were found as the following.

Maximum pull of load of the

- Steel with the stress of 230 MPa load: 505 kgf;
- Zinc with the stress of 221 MPa load: 475 kgf;
- Plastic with the stress of 200 MPa load: 471 kgf;
- Aluminum with the stress of 159 MPa load: 355 kgf.

The important factors for the design engineer to decide the using of the plastic material instead of the conventional materials are the following.

- The maximum pull of load,
- Safety factor,
- The yield stress of casing cap.

In the engineering viewpoints and the results from FEM, the steel is the best material for casing cap because of the maximum pull of the load and safety factor; however, by considering the weight and cost, the composite plastic is an attractive material for casing cap due to its lower weight and cost as compared to the conventional steel, while the maximum pull of load and safety factor are not much different. The weight of the plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

is approximately 21% of the weight of steel and the cost is about 40% of the cost of steel. Thus, this factor affects the decision of applying the composite plastic material for the casing cap.

4. Conclusion. From the results and analysis, this research work can be summarized below.

The results of the FEA model showed that the steel is the best material for casing cap to withstand the maximum pull of the load. However, the mechanical property of the plastic casing cap is not much different to that of the steel.

Considering the cost and weight, the composite plastic is an attractive material for the future casing cap. In addition, the eco-car for saving fuel is a new trend of the automotive industry, which requires the light weight of the automotive parts. The composite plastic helps to achieve this objective.

The results of the analysis in this research work suggest that based on the simulated values of tensile strength and maximum pull of load, all casing caps with 4 different materials comply with the standard of the control cable, JASO F903-75 standard.

Acknowledgements. This work was supported by the AMI (DSTAR), KMITL under the research grant no. DSTAR-RESEARCH-01-58-02M. This work was also partially supported by Thai Steel Cable PCL for the case study of "casing cap", and the Sigma Solution Company for the Finite Element Analysis software.

REFERENCES

- [1] JASO F903-75, *Japanese Automobile Standard Organization*, 1975.
- [2] H. S. Park, X. P. Dang, A. Roderburg and B. Nui, Development of plastic front side panels for green cars, *CIIP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol.6, pp.44-52, 2012.
- [3] H. B. Ustaoglu, S. Ayhan, G. Simitcioglu, S. Susler, E. Akag, V. Z. Dogan, Z. Mecitoğlu, H. S. Turkmen and S. Atamer, Static and dynamic analysis of plastic fuel tanks used in buses, *International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading*, vol.3, pp.509-517, 2015.
- [4] B. arceenivasulu and G. Prasanthi, FEA simulation analysis of tube hydroforming process using DEFORM-3D, *Global Congress on Manufacturing and Management*, vol.12, pp.1187-1197, 2014.
- [5] V. A. Buryachenko and M. Brun, FEA in elasticity of random structure composites reinforced by heterogeneities of non canonical shape, *International Journal of Solids and Structures*, vol.48, pp.719-728, 2011.
- [6] T. J. Young, L. E. Crocker, W. R. Broughton, S. L. Ogin and P. A. Smith, Observations on interphase characterization in polymer composites by nano-scale indentation using AFM and FEA, *Composites: Part A*, vol.50, pp.39-43, 2013.
- [7] Y. Zhang, Q. Tan, K. Zhang and J. Li, Analysis of stress and strain of the rolling bearing by FEA method, *International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering*, vol.24, pp.19-24, 2012.
- [8] A. Sofi and E. Romeo, A novel interval finite element method based on the improved interval analysis, *Computer Methods in Applied Mechanics & Engineering*, vol.311, pp.671-697, 2016.
- [9] J. Jaowiec and S. Milewski, Coupling finite element method with meshless finite difference method in thermomechanical problems, *Computers and Mathematics with Applications*, vol.72, pp.2259-2279, 2016.
- [10] Y. Cao, Y. Chu, X. Zhang and X. Zhang, Immersed finite element methods for unbounded interface problems with periodic structures, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol.307, pp.72-81, 2016.
- [11] W. Sittiwong, Study of hot air flow behavior using easy FEM simulation and shadow graph techniques, *Journal of Thonburi university*, vol.8, pp.1-14, 2015.
- [12] A. Chaimanatsakul, A study of stress in a horizontal pressure vessel and the saddle support using finite element method, *Journal of Thonburi university*, vol.8, pp.1-9, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] B. Ren, C. T. Wu and E. Askari, A 3D discontinuous Galerkin finite element method with the bond-based peridynamics model for dynamic brittle failure analysis, *International Journal of Impact Engineering*, vol.99, pp.14-25, 2016.
- [14] L. Zhou and J. Ou, Study of parameters selection in finite element model updating based on parameter correction, *ICIC Express letters*, vol.4, no.5(B), pp.1831-1837, 2010.
- [15] H. Ahmadian, G. M. L. Gladwell and F. Ismail, Parameter selection strategies in finite element model updating, *Journal of Vibration and Acoustics*, vol.119, pp.37-45, 1997.
- [16] H.-C. Yang, A modified iteration technique in nonlinear finite element analysis with unloading, *ICIC Express letters, Part B: Applications*, vol.6, no.4, pp.1075-1082, 2015.
- [17] N. Thanchot, *Engineering Material*, 2nd Edition, Se-education, Bangkok, 2006.
- [18] P. Dechaumpai, *Finite Element Method in Engineering*, 2nd Edition, Chulalongkorn center, Bangkok, 2012.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



International Association of Engineers

International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017



Hong Kong, 15-17 March, 2017

[Conferences](#) [Publications](#) [Membership](#) [About IAENG](#) [FAQ](#) [Contact Us](#)

The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017 will take place in Hong Kong, 15-17 March, 2017.

The 25th International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2017) is organized by the International Association of Engineers (IAENG), a non-profit international association for the engineers and the computer scientists. The conference has the focus on the frontier topics in the theoretical and applied engineering and computer science subjects. The IMECS conferences serve as good platforms for our members and the entire engineering community to meet with each other and to exchange ideas. Our IMECS committees have been formed with over three hundred conference committees members who are mainly research center heads, faculty deans, department heads, professors, and research scientists from over 30 countries. The last IAENG conference has attracted more than eight hundred participants from over 50 countries.

All submitted papers will be under peer review and accepted papers will be published in the conference proceeding (ISBN: 978-988-14047-3-2). The abstracts will be indexed and available at major academic databases. The accepted papers will also be considered for publication in the special issues of the journal *Engineering Letters*, in IAENG journals and in edited books.

[Calls for Manuscript Submissions](#)

Important Dates:

Draft Manuscript Submission Deadline (extended): 3 January, 2017

Camera-Ready Papers Due & Registration Deadline (extended): 11 February, 2017

IMECS 2017: 15-17 March, 2017



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reliability Design Optimization of Casing Cap by Sample Test and FEA

Siwawong Buthgate, Anakapon Saenthon and Somyot Kaitwanidvilai

Abstract— The parking brake cable in the brake system of a vehicle is an important part in the car. A new material needs to be studied; thus, this paper proposes the analysis and comparison of the results between real testing data and the simulation analysis using a Finite Element model of the part, new casing cap in parking brake cable. To validate and compare the results that can be used practically according to the qualifications and standards, the properties of the new product design, casing cap made from polyamide fiberglass composite, are investigated. By analyzing and comparing these results with the FEA design, the advantages of reduction of the weight and cost in the design process can be achieved. As shown in the experimental and simulation results, the error less than 30% of the maximum pull load can be achieved.

Index Terms— Plastic casing cap, Finite Element Analysis (FEA), JASO F903-75, tensile tester

I. INTRODUCTION

TODAY'S automotive industry has continued to grow and compete rapidly, which has been influenced from the consumers. In the vehicle system, the most important systems to carry out the safety function is the brake system which acts to slow down the speed of the vehicle and stop it from moving. When the vehicle is stopped, the parking brake cable can be pulled to ensure the brake action and the vehicle stopping. While the hand-brake tensile strength is being handed over to the cable, the generated braking power will be assigned to the wheel hub and the brake pressure. This mechanism generates the proper friction at the disc brake or drum brakes and then the wheels are locked. There are several standards to ensure the quality of the brake cable such as JASO F903-75 in [1].

In the analysis technique in material design, peridynamics is a new nonlocal theory that provides the ability to represent displacement discontinuities in a continuum body without explicitly modeling the crack surface. An explicit dynamics implementation of the bond-based peridynamics formulation was presented to simulate the dynamic fracture process in 3D elastic solid [2-3]. The discontinuous Galerkin (DG) approach is utilized to formulate the classical peri-

dynamics governing equation. As the results indicated in [2], the spatial integration can be carried out through finite element approach to enforce the boundary conditions, constraints, contacts as well as to handle the non-uniform mesh in the engineering practices [2]. The conclusion of the explicit dynamic formulas and numerical algorithms of bond-based peridynamics model to predict the damage of 3D brittle material has been shown in [3]. In contrast to the mesh free version of peridynamics, the discontinuous Galerkin weak form of the peridynamics governing equations is considered [2-3]. The transfer of heat through the material shapes was analyzed using Finite Element software and be compared with the shadow graph technique, the technique that can be applied to a movement of hot air as transparent media. This paper stated that the simulation results were differed from those of the experiments because some factors such as friction loss, the density of the air with during the entrance temperature of the hot air flowing, the heat loss change, etc. were not taken into consideration [3-4]. The effects of various factors on stress in a horizontal pressure vessel and the saddle supports using finite element method in the 3D form and a quarter finite element model were presented [4-5]. The ratio of the distances between the support from the end of the vessel and the length of the vessel, and the ratio of the length of the vessel to the radius of the vessel were used as the important variables in the design.

In addition, the effects of stress on the variation in the pressure tank horizontal support and stand by Finite Element was studied in [5]. This work demonstrated the techniques to improve the elements to simulate the stress on the tank and the pressure; the supporting platform has been decreased [5]. The fracture criteria for ductile materials have been developed in numerous researches; however, there are several huge differences among them. In the simulation, it is necessary to find a way to select or determine a ductile fracture criterion and identify its applicability and reliability. In the study in [6], a finite element aided testing (FAT) method was proposed to obtain the uniaxial full-range constitutive relationship up to the failure of A508-3 steel and SS316L. The fracture stress and strain are obtained based on finite element analysis. Summary of the FAT method for acquiring the full range constitutive relationship up to the failure of ductile material has been developed. The validity of FAT method was verified by the use of different ways of loading (tensile and compression) and different types of specimen configurations. By applying the full-range constitutive relationships obtained by the FAT method and the fracture criteria considering the stress tri-axiality, the ductile fracture toughness of A508-3 steel and SS316L was possible to be predicted without the ductile crack growth test

Manuscript received October 10, 2016; revised November 25, 2016. (This work was supported by the AMI (DSTAR), KMIL under the research grant no. DSTAR-RESEARCH-01-58-02M.)

Siwawong Buthgate is with the college of advanced manufacturing innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (e-mail: buthgate@gmail.com).

Anakapon Saenthon is with the college of advanced manufacturing innovation, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (e-mail: sanakapon@gmail.com).

Somyot Kaitwanidvilai is with Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. e-mail: drsomyotk@gmail.com).

ISBN: 978-988-14047-7-0

ISSN: 2078-0958 (Print); ISSN: 2078-0966 (Online)

IMECS 2017

[6]. Multi-chamber perforated resonator (MCPR) is a kind of typical silencer element which can both attenuate the broadband noise and gain the specific installation requirements. The one-dimensional transfer matrix method (TMM) and finite element method (FEM) were widely used to predict the transmission loss of the resonators [7]. This approach is very applicable to non-uniformly distributed perforations with large diameter and high perforation rate. Obviously, FEM can reproduce the test results within the entire frequency range. Such method can be used to verify the TMM results and compensate the TMM's inaccuracy before prototyping [7]. Two different computational approaches, namely the finite element method (FEM) and meshless finite difference method (MFD), in one domain were proposed to solve the thermomechanical initial-boundary value problem where the heat transfer of the domain is non-stationary. In this method, the domain was divided into two subdomains, those are FEM and MFD. Contrary to the other coupling techniques, the approach presented in this paper [7] was defined in terms of mathematical problem formulation rather than the approximation level. The thermomechanical initial-boundary value problem has been solved by means of the computational method that couples the two well-known discrete solution approaches, the finite element method and meshless finite element method (FEM/MFD). Immersed finite element (IFE) method are an efficient tool to solve the interface problems on a Cartesian mesh, which is desirable used in many applications to cope with the periodic boundary condition [8]. The new matrix is used to maintain the symmetric positive definite so that the linear system can be solved efficiently. The results of the IFE method for an unbounded elliptic interface problem with periodic structure were shown in this paper [8]. The periodic boundary conditions can be accommodated by modifying the stiffness matrix [9] using the two-step implicit-explicit (IMEX) time discretization coupled with finite element methods for solving the delayed predator-prey and reaction-diffusion systems. Finite element methods were used to discretize the space variables, both IMEX two-step one-leg and IMEX linear two-step methods were considered in the time domain discretization, where the nonlinear reaction part is discretized explicitly and the diffusion part is discretized implicitly. Finite element methods are used to discretize the space variables, and it is shown that the error estimate with handling the breaking points can be evaluated. Numerical experiments in [9-10] confirmed the theoretical results. In [10], the static analysis of linear-elastic structures with uncertain parameters subjected to deterministic loads was addressed. The uncertain structural properties are modeled as interval variables with assigned lower bound and upper bound. The key idea of the novel method is to associate an extra unit interval to each uncertain parameter in order to keep physical properties linked to the finite elements in both the assembly and solution phases. This allows one to reduce overestimation and perform the standard assembly of the interval elementary matrices. The key idea of the method is to model the uncertain parameters as interval variables handled by means of the improved interval analysis via extra unitary

interval (IIA via EUI), recently introduced in the literature to reduce the overestimation affecting the classical interval analysis [10].

This article aims to compare the results of analysis of the strength of casing cap using Finite Element (finite element method) and the test results. The material design used is plastic composite which is aimed to be used instead of steel to gain the advantages of lower weight and cost. Fig. 1 shows the parking brake cable connecting with the rear wheels and the operation lever brake system of the driver's seat. Pull the hand brake by the driver will send the force passing to the brake system control which is used for parking.

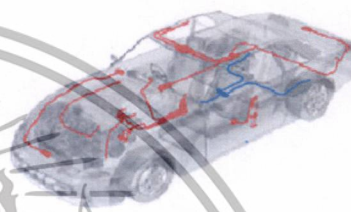


Fig. 1 layout of the parking brake cable in the car



Fig. 2 Function of the parking brake cable

Fig. 2 shows the location and function of the parking brake cable and the piece of casing cap, which is used as a sheet plate of the car and lock the clip to be put together. As shown in Fig. 2, there are 9 components of the parking brake cable which are detailed in Table I.

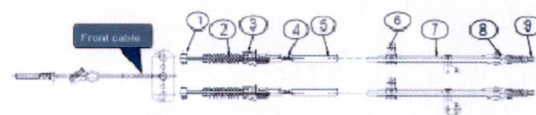


Fig. 3 Parts on the parking brake cable

TABLE I
DETAILS OF THE COMPONENT ON THE PARKING BRAKE CABLE.

No	Components	Function
1	Inner ends	Supporting the loading and connecting the related parts
2	Boot	Protecting dust and water
3	Casing caps	Reflecting the strong support and connect related parts
4	Inner cable	Loading capacity and pass it driven
5	Outer casing	Reflecting the strong support for protecting and maintaining the inner cable routing
6	Clamp	Keeping the routing of cables
7	Protector	Protecting the outer casing
8	Casing caps	Reflecting the strong support and connect related parts
9	Inner ends	Supporting the loading and connect related parts

Fig 3 shows the photos of the component of the parking brake cable.

II. THE PROPOSED DESIGN AND FEM

The design of new parking brake is based on the value engineering (VE), which is a method that has been used for a long time to split the costs, which are in various functions, whether the assembly or parts production. This technique allows the designers to design with fewer mistakes by analysis. This paper focuses on the reduction of the product cost and maintaining the quality of the casing cap part which is one of the techniques in VE [11].

Finite Element Method. The analysis by finite element used in this design can be divided into 6 steps as follows:

Step 1 Break the problem into the domain of small elements which the element is connected with the others by a point called node.

Step 2 Select the functional model which are mainly selected as a polynomial equation in this design.

Step 3 Create a physical equation for each element and form all equations as the matrix below.

Step 4 Select the boundary conditions suitable for the system.

Step 5 solving the system of equations to determine the value of the possible solutions.

Step 6 Calculate the amount of any other interests.

The shape of any object in three dimensions tons x-y-z coordinates on a thin part of this material may be clamped firmly fixed (Fixed) while the skin may be an external force acts. The thin part may be released independently by the (Free Boundary) domain of the object shape tones which can be divided into elements 3D tetrahedron (Tetrahedral Element) subsidiary [12].

$$\{\sigma\} = [c]\{\varepsilon - \varepsilon_0\} \quad (1)$$

Vector equations contain

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix}, \quad \{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ is the stress on the axes x, y, z, respectively.
 $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ is the shear strain on the axes x, y, z, respectively

$[c]$ is the flexibility of the matrix material

The constraint equation is

$$[c] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Where

E = the modulus of elasticity

ν = the Poisson's ratio

III. CASING CAP DESIGN AND RESULTS

At present, the casing cap is made from the steel material (SS400) which causes the heavy weight of car body and high material cost. One of the most interesting materials attempted to be studied in this research work is PA+GF15 plastic which is more lightweight and low cost material [13]. Table II shows the properties of both materials, SS400 and PA+GF15.

TABLE II
MATERIAL PROPERTIES

Material	Modulus of elasticity	Yield strength	Poisson's Ratio
Steel SS400	207 GPa	230 MPa	0.30
Plastic PA6 GF15	5.8 GPa	200 MPa	0.42

The objective of the designed parts, casing cap, is to replace the steel SS400 with the plastic PA6 GF15. The new design part must be complied with the maximum pull load force described in the standard JASO F903-75, the standard of cable for the automotive industry. In addition, the maximum value of the pull load for casing cap is 18 kgf (Refer to the Jason standard table 17 casing cap type D2). To ensure and confirm the specification of the new design, the FEM with the parameters in Table III was applied to simulate the stress, stain and max. pull load force on the new part.

TABLE III
PARAMETERS IN THE FEM

Finite Element Program	Element shape	Topology	Meshing value
MSC Nastran software	Tetrahedron	Tetrahedron 10 nodes	0.8

By using the CAD files and assigned material properties, the analysis of the designed casing cap can be achieved. Fig. 5 shows the FEM analysis on the two simulations of casing caps.

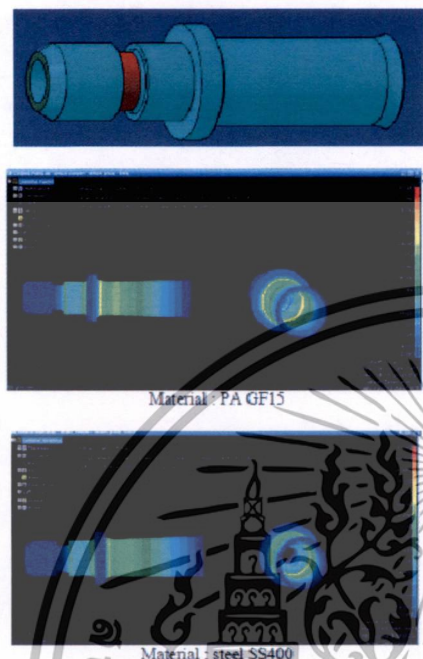


Fig. 4 Finite Element Analysis on the 2 different casing caps.

As seen in Fig. 4, the similar strain values, safety factor and maximum pull of the load can be analyzed.

PA GF15 Maximum pull of load : 471 kgf, Safety factor = 1.0

Steel SS400 Maximum pull of load : 505 kgf, Safety factor = 1.0

The testing was carried out by the tensile testing machine 2000 kgf, Hungta instrument, maximum speed 20 m/s. To ensure the stability of the developed parts, 100 samples of each type of casing cap were tested and compared with the simulation results. Figs. 5 and 6 show the maximum pull load from FEM and real experiments. As seen in the figures, the real pull of load is differed from the simulation. The mean values of the difference can be calculated as: 146.46 kgf for Steel SS400, and 132.12 kgf for the plastic PA GF15.

As seen in the figures, the maximum pull of load values of the casing cap made from both materials are nearly the same values. However, almost of the real pull load values from the experiments is higher than those of the FEM. As seen in the calculation, the difference values between the simulation and experimental results are 22.48% for the plastic casing cap and 28.05 % for the steel casing cap. As seen in the results, the steel casing cap still retains the best

pull load values; however, considering the weight and cost of the steel, the plastic is an attractive material for the casing cap. The weight of the plastic is approximately 30% of the weight of steel and the cost is about 50% of the cost of steel. Thus, based on these factors and the enough pull load values, the plastic casing cap can be applied instead of the steel casing cap.

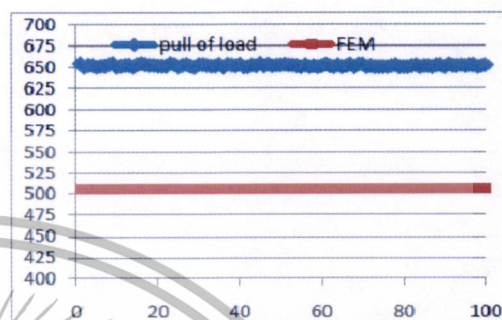


Fig. 5 Results of the real pull of load of the Steel SS400 casing cap: from the experiments and the FEM.

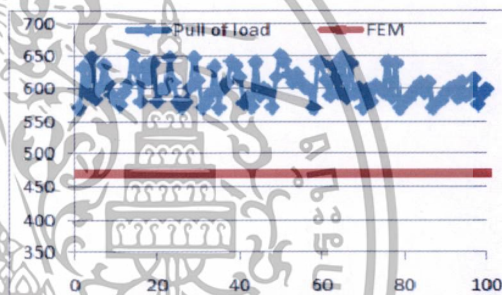


Fig. 6 Results of the real pull of load of the plastic PA GF15 casing cap: from the experiments and the FEM.

IV. CONCLUSION

From the results and analysis, this research work can be summarized as follows:

- The results of the FEA model and the sampled test model of the tensile test machine are different; however, considering the natural error of the material and the complex shape of the object, the magnitude of the difference is acceptable, and the FEA model can be used to design and improve the new casing cap.
- The results of the analysis in this research work suggest that based on the simulated values of the pull of load from finite element method and pull of load from sample tests, all casing caps with 2 type different materials comply with the standard of the control cable, JASO F903-75 standard.

Considering the cost and weight, the composite plastic Pa6 GF15 is an attractive material for the future casing cap. In addition, the new trend of the eco-car aims to save the energy when operating. This requires lighter weight of the automotive parts and the composite plastic helps to achieve this objective.

REFERENCES

- [1] Japanese Automobile Standard, *JASO F903-73*, 1975.
- [2] Bo Ren , C.T.Wu, E. Askari. "A 3D discontinuous Galerkin finite element method with the bond-based peridynamics model for dynamic brittle failure analysis." *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 99, pp. 14–25, 2016.
- [3] Wuttichai Sittiwong. "Study of Hot Air Flow Behavior using EasyFEM Simulation and Shadow graph Techniques." *Journal of Thonburi university*, Vol. 8, pp. 1-14, 2015.
- [4] Attaphon Chaimanutsakul. "A study of stress in a horizontal pressure vessel and the saddle support using finite element method." *Journal of Thonburi university*, Vol. 8, pp. 1-9, 2013.
- [5] Di Yao, Lixun Cai , Chen Bao. "A new fracture criterion for ductile materials based on a finite element aided testing method." *Materials Science & Engineering*, Vol. A673, pp. 633–647, 2016.
- [6] Rong Guo , Wen-bo Tang, Wei-wei Zhu. "Comparison of 1D transfer matrix method and finite element method with tests for an acoustic performance of multi-chamber perforated resonator." *Applied Acoustics*, Vol. 112, pp. 140–146, 2016.
- [7] J. Jaśkowiec, S. Milewski. "Coupling finite element method with meshless finite difference method in thermomechanical problems." *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 72, pp. 2259–2279, 2016.
- [8] Yong Cao, Yuckuan Chu, Xiaoshi Zhang, Xu Zhang. "Immersed finite element methods for unbounded interface problems with periodic structures." *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 307, pp. 72–81, 2016.
- [9] Aiguo Xiao, Gengen Zhang, Jie Zhou. "Implicit-explicit time discretization coupled with finite element methods for delayed predator-prey competition reaction-diffusion system." *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 71, pp. 2106–2123, 2016.
- [10] Alba Sofi, Eugenia Romeo. "A novel Interval Finite Element Method based on the improved interval analysis." *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* Vol. 311, pp. 671–697, 2016.
- [11] Ampika Kauri. *Value Engineering VE*, Bangkok, Se-education, 4th edition, 2556.
- [12] Pramote Dechaumpai. *Finite Element Method in Engineering*, Bangkok, Chulalongkorn center, 2nd edition, 2012.
- [13] Narongsak Thanchot. *Engineering Materials*, Bangkok, Se-education, 2nd edition, 2006.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล : นายศิววงศ์ บุษเกตุ
วันเดือนปีเกิด : 20 มิถุนายน พ.ศ. 2517
ที่อยู่ปัจจุบัน : 1/116 หมู่บ้านสุขุมวิท 1 หมู่ 1 ตำบลบางสมัคร
อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24180

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2541

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

พ.ศ. 2560

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถานที่ทำงาน

บริษัท ไทยสตีลเคเบิล จำกัด (มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้