การวิเคราะห์ความเค้นและออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่

นายพิตินันท์ วสันตเสนานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

STRESS ANALYSIS AND DESIGN OF THE SEAT BELT ANCHORAGE DOUBLE SEAT TYPE FOR LARGE PASSENGER VEHICLES

PitinunVasantasananont

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2015

การวิเคราะห์ความเค้นและออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(อ. ดร.วรรณวนัช บุ่งสุด)
ประธานกรรมการ

_____

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ผศ. ดร.สุภกิจ รูปขันธ์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

_____

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พิตินันท์วสันตเสนานนท์: การวิเคราะห์ความเค้นและออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่(STRESS ANALYSIS AND DESIGN OF THE SEAT BELT ANCHORAGE DOUBLE SEAT TYPE FOR LARGE PASSENGER VEHICLES) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, 122หน้า.

เข็มขัดนิรภัยเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ ที่ช่วยป้องกันผู้โดยสารไม่ให้กระเด็น หลุดออกจากที่นั่ง หรือออกนอกรถ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุทำให้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต ในปัจจุบันนี้ภาครัฐได้ออกระเบียบที่จะควบคุมสถานประกอบการให้ติดตั้งเข็มขัดนิรภัยที่เบาะที่นั่งผู้โดยสาร โดยการติดตั้งดังกล่าวจะถูกกำหนดโดยมาตรฐาน การทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัย มอก. 1467-2555 หรือข้อกำหนดของ ECE R 14 แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยนั้นยังไม่มีห้องปฏิบัติการที่จะทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและรับรองผลการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว จึงเป็นที่มาให้ผู้วิจัยได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างให้เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดของ UN ECE R 14 ผลการวิเคราะห์พบว่าจุดยึดเข็มขัดนิรภัยไม่เกิดความเสียหายและไม่ทำให้ชุดเข็มขัดนิรภัยหลุดออกจากโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารได้ แต่ตัวโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นเกิดการเสียหายเนื่องจากได้รับภาระโมเมนต์ดัดสูง ที่ชิ้นส่วน Chassis Profile จึงได้ปรับปรุงแก้ไขโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 24 โดยกำหนดปัจจัยเป็นค่าความหนาของชิ้นส่วนที่เกิดความเสียหายและบริเวณใกล้เคียง เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียหาย ซึ่งผลจากการออกแบบการทดลองพบว่าปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile นั้นมีอิทธิพลต่อความเสียหายของชิ้นส่วนดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ และค่าความหนาของชิ้นส่วน Support Center นั้นก็มีอิทธิพลต่อความเสียหายของชิ้นส่วน Chassis Profile และชิ้นส่วน Seat Anchorage อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการออกแบบรูปร่างไม่เหมาะสม จากผลการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและวิธีแก้ไข จึงได้ปรับปรุงชิ้นส่วนดังกล่าว และวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์ซึ่งผลการปรับปรุงแก้ไขพบว่าโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นมีความแข็งแรงตามเกณฑ์ข้อกำหนดของ UN ECE R 14

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

PITINUM VASANTASANANONT : STRESS ANALYSIS AND DESIGN OF THE SEAT BELT ANCHORAGE DOUBLE SEAT TYPE FOR LARGE PASSENGER VEHICLES. THESIS ADVISOR : SOMSAK SIWADAMRONGPONG, Ph.D., 122 PP.

SEAT BELT ANCHORS/PASSENGER SEAT STRUCTURE/FINITE ELEMENT METHOD

Seat belt is an important for safety in order to safe passenger from injury and deaths in accident. Department of Land Transport (DLT) has prescribed the law to control the bus manufacturing company for anchoring the seat belt into the passenger seat structure according to the standard TIS.1467-2555 or UN ECE Regulation 14. There are standard test for seat belt anchorage of automobile. However, in Thailand, there is no laboratory to test the seat belt anchorage and certify the testing according to those standards. This research was to analyze strength of the seat structure following to the requirements of the UN ECE Regulation 14 by using Finite Element Method. The analysis results showed that the seat belt anchors were slightly damaged (just above allowance stress) and seat belts did not slip out of the passenger seat structure. However, the passenger seats were damaged and tear due to maximum bending moment at the connection joint of Chassis Profile part. Factorial design technique, 24, was employed to determine factors such as the thickness of the parts that damaged and nearby. The results of the factorial design analysis showed that the thickness of Chassis Profile influence the overall damaged significantly. It was also found that the thickness of Support Center affected the damage of Chassis Profile and

Seat Anchorage significantly. It was implied that an improper shape of such parts was the main cause of damage. Some parts were redesigned and improved in both shape and thickness. The results showed that improved passenger seats are strong enough and conform to requirements on the basis of UN ECE Regulation 14.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Manufacturing Engineering . Student's Signature_____

Academic Year 2015 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล้วงไปได้ด้วยนี้เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูง จากท่าอาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้มอบโอกาสทางการศึกษา ให้ความช่วยเหลือและแนะนำเพื่อชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภกิจ รูปขันธ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรม เครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้ความรู้และความช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำการใช้โปรแกรมทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ในการทำวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จ

ขอขอบคุณ บริษัท อู่ เชิดชัย อุตสาหกรรม จำกัด และคุณประสิทธ์ ยางเกลือ ที่คอยให้ความอนุเคราะห์ในส่วนของข้อมูล วัสดุอุปกรณ์ รวมไปถึงแบบของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารซึ่งถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อไพจิตร – คุณแม่ไตรมาส วสันตเสนานนท์ นางเพียงตะวัน วสันตเสนานนท์ และเครือญาติทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอนเลี้ยงดูและส่งเสริมในการศึกษาเสมอมา รวมไปถึงคณาจารย์ผู้ประสาทความรู้ ตลอดจนทุกๆท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือจนกระทั้งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พิตินันท์ วสันตเสนานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฑ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
1.3 ขอบเขตการวิจัย 4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 5
1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย 5
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 กล่าวนำ 7
2.2 มาตรฐานการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE Regulation 14 7
2.3 ทฤษฎีของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ 10
2.4 ทฤษฎีความเสียหาย 20
2.4.1 ทฤษฎีความเสียหาย ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีพลังงานแปรรูป 24
2.4.2 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด 24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.3 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป 27
2.4.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ 32
2.4.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 37
3.1 แบบจำลองโครงสร้างที่นั่งและจุดยึดเข็มขัดนิรภัย 39
3.2 คุณสมบัติของวัสดุ 40
3.3 การกำหนดจุดรองรับและเชื่อมต่อ 46
3.4 การกำหนดภาระกระทำ 49
3.5 การกำหนดขนาดของโครงตาข่ายหรืออิลลิเมนต์ 54
3.5.1 การทดลองโดยการสร้างแบบจำลองอย่างง่าย 56
3.5.2 การทดสอบการลู่เข้าของผลการวิเคราะห์โดยวิธีการ Grid Independent 59
4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล 62
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ 63
4.2 การออกแบบการทดลอง 70
4.2.1 การเลือกปัจจัยในการออกแบบการทดลอง 70
4.2.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ 73
4.3 การปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างจากผลการออกแบบการทดลอง 84
4.3.1 การปรับปรุงและออกแบบชิ้นส่วน Chassis Profile 84
4.3.2 ผลการปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารจากผลการออกแบบการทดลองและการปรับปรุงรูปร่าง 85
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 107
5.1 สรุปผลการวิจัย 107
5.2 ข้อเสนอแนะ 109

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 110
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. รายงานผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ 113
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ 117
ประวัติผู้เขียน 128

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k 32

2.2 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณในการออกแบบ 2^2 33

3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 41

3.2 ระยะตำแหน่งของ Hip – Point ใช้ในการคำนวณแรงตึงของเข็มขัดนิรภัย 51

3.3 แรงF_{belt}ในแนวแกนx y และ z ของแรงดึงเข็มขัดนิรภัย 53

4.1 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความสูงสุดของวัสดุใน
โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารของรถโดยสารขนาดใหญ่ 66

4.2 แสดงถึงรายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้างฐานที่นั่งผู้โดยสารชิ้นที่ 1-5..... 69

4.3 แสดงถึงปัจจัยและระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบสองระดับ 70

4.4 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับและผลการทดลอง 71

4.5 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่จุด A..... 72

4.6 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่จุด B 76

4.7 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ที่จุด C 79

4.8 สรุปผลตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองโดยการออกแบบการทดลอง 82

4.9 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารก่อนและหลังปรับปรุง 89

4.10 ตารางรูปร่างหน้าตัดของชิ้นส่วน Chassis Profile..... 96

4.11 ตารางแสดงค่าความเค้นในแนวแกนของตำแหน่งที่เกิด
ค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด 100

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 จำนวนคดีเกิดอุบัติเหตุของรถโดยสารขนาดใหญ่ ในปี 2550-2557 1
2.1 ลักษณะของการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ 7
2.2 การทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบรัดหน้าตัก (lap belt) 8
2.3 การแบ่งรูปร่างของปัญหาทางด้านของแข็งออกเป็นอิลลิเมนต์ 9
2.4 ลักษณะของอิลลิเมนต์ชนิดต่างๆ 9
2.5 แผนภาพสมดุลตามตำแหน่งใดๆ ในของแข็งสามมิติ 11
2.6 พลังงานที่เกิดจากความเครียดในวัตถุ 12
2.7 อิลลิเมนต์ทรงหกหน้าสามมิติ 14
2.8 โลคัสการแตกหักในสภาวะความเค้นหลักสองมิติต่างๆ 20
2.9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีความเค้นเฉือนออคทะฮีดรัลหรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป 20
2.10 ผลการทดสอบแรงดึงในทิศทางเดียวที่ผลสอดคล้องกับวงกลมโมร์ 22
2.11 โลคัสการแตกหักของปัญหาสองมิติตามทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด 24
2.12 วัสดุชิ้นงานภารใต้ความเค้นหลักที่ทำให้เกิดพลังงานความเครียด 25
2.13 ขอบเขตการเสียหายของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและทฤษฎีพลังงานแปรรูป 28
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน 34
3.2 ลักษณะของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ 35
3.3 ลักษณะโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารไม่มีเบาะหุ้ม 36
3.4 การเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ 37
3.5 การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์ 38
3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น – ความเครียด เหล็กรูปพรรณแบบกลวง 39
3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น – ความเครียด เหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) 39
3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น – ความเครียด เหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน (P/O) 40
3.9 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรงและค่าความเครียดตามแนวแรงของเหล็กรูปพรรณแบบกลวง 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.10 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรง และค่าความเครียดตามแนวแรงของเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) 41

3.11 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรง และค่าความเครียดตามแนวแรงของเหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน (P/O) 42

3.12 การกำหนดจุดเชื่อมต่อของพนักพิงหลังกับฐานที่นั่งผู้โดยสาร 43

3.13 ลักษณะการกำหนดจุดรองรับ และการจัดวางที่นั่งของผู้โดยสาร 44

3.14 ภาระกระทำ (Load) กำหนดการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14 45

3.15 ภาพประกอบอุปกรณ์ดึงสำหรับการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14 และเข็มขัดนิรภัยเข้ากับโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ 46

3.16 จุดยึดเข็มขัดนิรภัยของแต่ละตำแหน่งขอบโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ 47

3.17 ตำแหน่งจุดเริ่มต้นให้ภาระแรงที่จุด Hip – Point 49

3.18 ตำแหน่งจุดยึดเข็มขัดนิรภัยที่ให้ภาระแรง F_{belt} และแรง F_{CG} 49

3.19 ลักษณะของโครงตาข่ายในแบบจำลองทางระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์ 51

3.20 แผนผังการดำเนินงานการทดลองเพื่อหาขนาดของอิลลิเมนต์ที่เหมาะสม 51

3.21 การทดสอบหาขนาดอิลลิเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อยืนยันผลการทดลอง 53

3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาในการทดสอบแรงดึงการทดสอบ 54

3.23 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบและแบบจำลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง 54

3.24 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบและแบบจำลอง ของขนาดอิลลิเมนต์1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร 55

3.25 ผลการลู่เข้าของค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่ได้ทำการทดสอบ 56

3.26 ผลการลู่เข้าของค่าการเสียรูปสูงสุดที่ได้ทำการทดสอบ 57

4.1 แผนภาพเปรียบเทียบขนาดอิลลิเมนต์และเวลาในการประมวลผล 59

4.2 ผลการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร 62

4.3 ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ 63

4.4 ตำแหน่งชิ้นของชิ้นส่วนโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารในการออกแบบการทดลอง 67

4.5 ตำแหน่งที่เกิดการเสียหายในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและกำหนดเป็น ตัวแปรตอบสนอง 68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.6 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง A 71
4.7 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง A 72
4.8 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง B 75
4.9 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง 76
4.10 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง C 78
4.11 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง C 78
4.12 ตำแหน่งที่พิจารณาความเค้นฟอนเมสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง 79
4.13 ความเสียหายของชิ้นส่วน Chassis Profile ที่ส่งผลต่อโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร 82
4.14 ลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วน Support Center ที่มีการออกแบบไม่เหมาะสม 83
4.15 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นส่วน Support Center 84
4.16 ชิ้นส่วน Support Centerและ ชิ้นส่วน Support Center ที่ได้ทำการปรับปรุง 85
4.17 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารได้ปรับปรุงจากผลการออกแบบการทดลอง 86
4.18 แผนภาพเปรียบเทียบค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนองก่อน
และหลังปรับปรุง 87
4.19 การกระจายตัวของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ชิ้นส่วน Seat Anchorgae 89
4.20 การกระจายตัวของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ชิ้นส่วนSeat Anchorgae
หลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง 89
4.21 การกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่ชิ้นส่วนSeat Anchorgae
หลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง 90
4.22 ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C ก่อนปรับปรุงรูปร่าง 91
4.23 การกระจายตัวของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ชิ้นส่วน Chassis Profile
ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C หลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง 93
4.24 ลักษณะของการเพิ่มแผ่นเสริมแรงที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C 93
4.25 การกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่ชิ้นส่วน Chassis Profile
ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C หลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง 94
4.26 ตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด 96
4.27 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นที่จุดที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด 96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.28 การปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนฐานที่นั่งผู้โดยสารเพื่อลดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด 98
4.29 ผลการวิเคราะห์ความเค้นฟอนมิสเซสหลังทำการออกแบบชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate)..... 98
4.30 เปรียบเทียบการกระจายตัวของความเค้นของชิ้นส่วนแผ่นรอง
ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง 99
4.31 แสดงถึงค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุง 99
4.32 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเค้นฟอนมิสเซสหลังจากการปรับปรุงรูปร่าง 101

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

σ = ความเค้น

σ_m = ความเค้นไฮดรอสแตติก, Hydrostatic stress

σ_0 = ความเค้นจุดคราก

τ = ความเค้นเฉือน

ε = ความเครียด

γ = ความเครียดเฉือน

UN = United Nations

ECE = Economic Commission for Europe

F = แรงในแนวแกน

F_1 =แรงกระทำที่อุปกรณ์ดึง

F_{CG} = แรงกระทำที่จุดศูนย์ถ่วงโครงสร้างที่นั่ง

J = พลังงานศักย์รวม

K = ค่าความแข็งเกร็ง

k = จำนวนปัจจัยการออกแบบการทดลอง

U = พลังงานความเครียดรวม

U_v = พลังงานความเครียดที่ทำให้ปริมาตรของวัสดุเปลี่ยน

U_d = พลังงานที่ทำให้วัสดุเปลี่ยนรูป

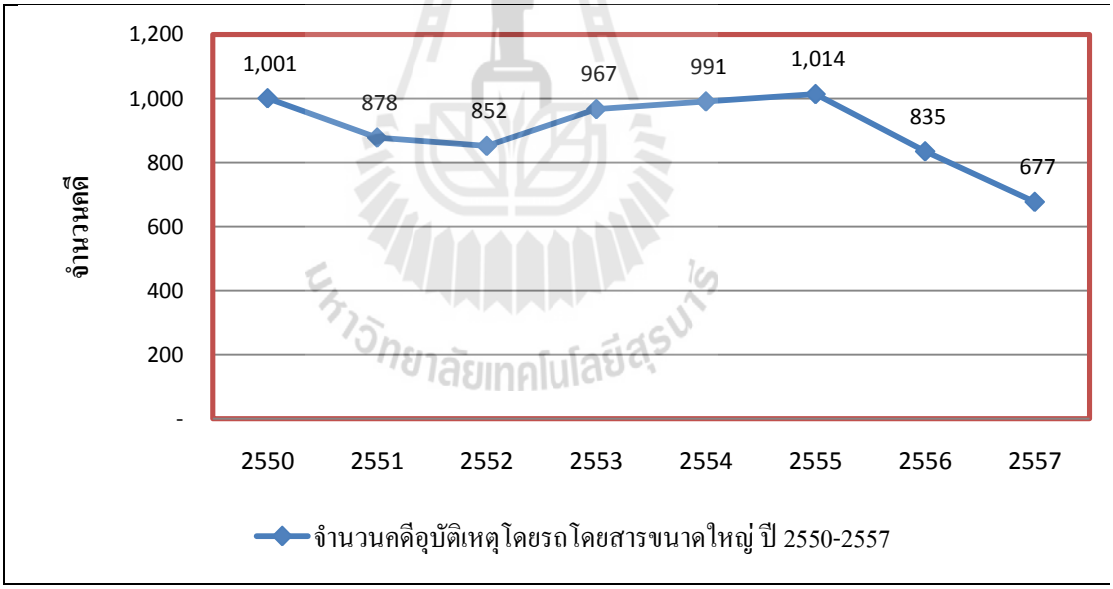
U^* = พลังงานที่เกิดขึ้นจากความเครียดในวัตถุ

V^* = พลังงานศักย์ที่เกิดจากแรงวัตถุ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเดินทางโดยรถโดยสารสาธารณะเป็นทางเลือกในการเดินทางที่ประชาชนนิยมใช้บริการมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางใกล้ หรือไกล เนื่องจากว่ามีความสะดวกสบายในการเดินทาง แต่ว่าในการเดินทางไม่ว่าจะเป็นทั้งทาง รถ ทางเรือ หรือทางเครื่องบินนั้นย่อมมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้น จากข้อมูล สถิติการรับแจ้งคดีอุบัติเหตุการจราจรทางบก (สำนักสถิติแห่งชาติ. 2557:ออนไลน์) เป็นข้อมูลพื้นที่ทั่วราชอาณาจักร ปี 2550 – 2557 ของรถโดยสารขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 จำนวนคดีเกิดอุบัติเหตุของรถโดยสารขนาดใหญ่ ในปี 2550-2557

พบว่าในปี พ.ศ. 2555 มีคดีการเกิดอุบัติเหตุของรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่มีจำนวนสูงที่สุด ซึ่งเป็นจำนวน 1,014 คดี และในปี พ.ศ. 2556 – 2557 นั้นมีจำนวนคดีการเกิดอุบัติเหตุของรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่มีจำนวนลดลง ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากในวันที่ 1 มกราคม 2556 กรมการขนส่งทางบกได้เริ่มใช้มาตรการตรวจเข้ม พฤติกรรมของผู้ขับรถโดยสารสาธารณะ ที่อยู่ในการกำกับดูแล

ของบริษัท ขนส่ง จำกัด (บขส) ด้วยการบังคับติดตั้งเครื่อง GPS Tracking เพื่อควบคุมทั้งความเร็วและชั่วโมงการทำงาน เพื่อหวังลดอุบัติเหตุบนท้องถนน (กรมการขนส่งทางบก . 2555:ข่าวที่ 40) จึงทำให้มีจำนวนคดีการเกิดอุบัติเหตุของรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ในปีดังกล่าวเริ่มมีจำนวนที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามในการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละครั้งนั้นย่อมก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก เนื่องจากรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่นั้นสามารถบรรทุกผู้โดยสารได้จำนวนมาก จากรายงานของสำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค ได้รายงานผลการสอบสวนการบาดเจ็บจากการจราจรทางถนน กรณีศึกษารถประจำทางและรถบัสเช่าเหมาลำ พบว่าเหตุที่ทำให้มีการบาดเจ็บและเสียชีวิตรุนแรงเกือบทุกครั้ง ของผู้โดยสารนั้นมีสาเหตุได้แก่ พฤติกรรมของผู้ขับขี่ ถนนและสิ่งแวดล้อม ยานพาหนะ และ พฤติกรรมของผู้โดยสาร ซึ่งปัจจัยพฤติกรรมของผู้โดยสาร ในระหว่างโดยสารนั้นผู้โดยสาร ไม่รัดเข็มขัดนิรภัย เมื่อเกิด อุบัติเหตุทำให้ผู้โดยสาร กระเด็นและหลุดจากเบาะที่นั่งออกมานอกรถ ทำให้ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิต (ณัฐกานต์ ไวยเนตร. 2551) จากปัญหาดังกล่าวภาครัฐได้มีมาตรการเพื่อที่จะควบคุมผู้โดยสารและผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ ให้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าวจึงได้ประกาศระเบียบกฎหมายของกรมการขนส่งทางบก เมื่อวันที่ 1 เมษายน 2555มีประกาศจากกรมการขนส่งทางบกได้มีระเบียบ กำหนดให้ รถโดยสารประจำทาง รวมทั้งรถโดยสารไม่ประจำทางทุกคัน ต้องติดตั้งเข็มขัดนิรภัยทุกที่นั่ง หากฝ่าฝืนปรับไม่เกิน 50,000 บาท (กรมการขนส่งทางบก . 2555:ข่าวที่ 57) และในวันที่ 11 พฤษภาคม 2557 เป็นต้นไปผู้โดยสารรถประเภทดังกล่าว ตามประกาศข่าว ที่ 57 วันที่ 2 มีนาคม 2555ทั้งหมดจะต้องคาดเข็มขัดนิรภัยตลอดเวลาที่อยู่ระหว่างการโดยสาร หากฝ่าฝืนมีความผิดต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 5,000 บาท (กรมการขนส่งทางบก . 2557:ข่าวที่ 89)จากระเบียบกฎหมายที่กรมการขนส่งทางบกได้กำหนดนั้นเพื่อเป็นการลดความเสี่ยงในการได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตของผู้โดยสารที่โดยสารกับรถโดยสารขนาดใหญ่

ในปัจจุบันนี้รถยนต์โดยสารขนาดใหญ่เป็นรถโดยสารประจำทาง และไม่ประจำทางในประเทศไทยนั้นล้วนแล้วแต่ถูกผลิตขึ้นมาจากสถานประกอบการภายในประเทศไทย ซึ่งเป็นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมต่อตัวถังและดัดแปลงรถยนต์โดยสาร โดยในประเทศไทยนั้นมีกลุ่มผู้ประกอบการในลักษณะดังกล่าว 2 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มต่อตัวถังรถยนต์โดยสารบ้านโป่ง และบริษัท อู่ เชิดชัย อุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดนครราชสีมา (สถาบันยานยนต์ . 2553: 13-17) โดยเฉพาะบริษัท อู่ เชิดชัย อุตสาหกรรม จำกัด ได้ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการต่อตัวถังรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ รวมไปถึงการผลิตและประกอบที่นั่งผู้โดยสารซึ่งเป็นยี่ห้อที่ได้ผลิตขึ้นเองภายในสถานประกอบการ โดยที่นั่งผู้โดยสารนั้นเป็นชิ้นส่วนหลักของรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับผู้โดยสารโดยตรงและมีอุปกรณ์ความปลอดภัยคือชุดเข็มขัดนิรภัยซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้

ผู้โดยสารกระเด็นและหลุดจากเบาะที่นั่งออกมานอกรถ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ โดยในการออกแบบโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นผู้ประกอบการได้คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้โดยสารเป็นหลักซึ่งได้ออกแบบโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารให้เป็นไปตามหลักทางวิศวกรรมและเป็นไปตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย มอก. 1467-2550 หรือข้อกำหนดของ ECE R 14 ที่ว่าด้วยการทดสอบและเกณฑ์การตัดสินการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัย แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูล รายงานศึกษาผลกระทบด้านการทดสอบตามมาตรฐานแนบท้าย ASEAN MRA ของคณะทำงานด้านผลิตภัณฑ์ยานยนต์ (Automotive Product Working Group-APWG) พบว่ามาตรฐานการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตาม ECER 14 เป็นหนึ่งใน 19 รายการมาตรฐานแนบท้าย ASEAN MRA (Mutual Recognition Agreement) และผลจากการศึกษา เปรียบเทียบมาตรฐานแนบท้าย MRA ที่เป็นมาตรฐานทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตาม ECE R 14 กับมาตรฐานของประเทศ ไทยนั้นพบว่า ในประเทศไทยได้มีมาตรฐานการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัย มอก. 1467-2550 ที่ได้จัดทำขึ้นโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ) ซึ่งได้กำหนดเป็นมาตรฐานทั่วไปยังไม่มีการบังคับใช้เนื่องจากทั้งในหน่วยงานของภาครัฐ และเอกชนในประเทศไทยนั้นยังไม่มีห้องปฏิบัติการเพื่อที่จะทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตาม มอก. 1467-2550 หรือ ข้อกำหนดของ ECE R 14 มีเพียงแค่เป็นแผนพัฒนาศูนย์ทดสอบที่ได้ระบุในรายงานเท่านั้น (สถาบันยานยนต์. 2547: 1-11)

จากงานวิจัยของ CelalettinYuce ได้ทำการศึกษาวิจัยกรณีศึกษาการออกแบบเพื่อพัฒนาโครงสร้างที่นั่งยานยนต์ ได้ทำการทดสอบโดยอ้างอิงการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ซึ่งได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างที่นั่งยานยนต์ พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นมีผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการ (CelalettinYuce. 2014: 4608-4631) และUkHeo ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของชิ้นส่วนที่นั่งยานยนต์โดยการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัย โดยได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ พบว่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่นั่งยานยนต์นั้นมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบจริงเช่นเดียวกัน (UkHeo. 2011: 1031-1034) และจากเหตุผลและงานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มีแนวความคิดที่จะทำการวิเคราะห์และออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารของ บริษัท อู่ เชิดชัย อุตสาหกรรม จำกัด ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ทั้งนี้เพื่อที่จะยกระดับการผลิต และรองรับมาตรฐาน กฎหมายที่จะบังคับใช้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาความเค้นของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและ จุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่ ตามข้อกำหนดของ ECE R14

2) เพื่อออกแบบและปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารหรือ จุดยึดเข็มขัดนิรภัยให้สามารถรับภาระกระทำตามเกณฑ์การทดสอบได้กำหนด

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1) ดำเนินการทำวิจัยโดยใช้ข้อมูล วัสดุ ของบริษัท อู่เชิดชัยอุตสาหกรรม จำกัด

2) วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่ตามข้อกำหนดการทดสอบความแข็งแรงจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบสองจุดสำหรับที่นั่งคู่โดยอ้างอิงจากข้อกำหนดของ ECE Regulation No.14 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

3) วิเคราะห์ความเสียหายที่จุดยึดเข็มขัดและความเสียหายที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ ตามข้อกำหนดของ ECE Regulation No.14 ได้กำหนด

4) การวิเคราะห์กำหนดให้การเชื่อมต่อของชิ้นส่วนในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ให้มีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์

5) ชุดเบาะหุ้ม, เบาะรองนั่ง และอุปกรณ์ปรับเอน จะไม่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์

6) ใช้โปรแกรม ANSYS 13 ในการวิเคราะห์ทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาปริทัศน์และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2) ศึกษารายละเอียดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องจุดยึดเข็มขัดนิรภัยในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ และรายเอียดต่างๆในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร รวมไปถึงการทดสอบวัสดุที่ใช้ในการผลิต

3) ศึกษาเกณฑ์การทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ และเกณฑ์การตัดสินหลังจากการทดสอบ ตามข้อกำหนดของ ECE Regulation No.14

4) สร้างแบบจำลองทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ด้วยโปรแกรมเชิงพานิช ANSYS 13 กำหนดเงื่อนไขขอบเขตและภาระตามข้อกำหนดของ ECE Regulation No.14 ได้กำหนด

5) ตรวจสอบความถูกต้องของผลเฉลยทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตและภาระตามข้อกำหนดของ ECE Regulation No.14 ด้วยวิธีการทดสอบการลู่เข้าของผลเฉลยและด้วยแบบจำลองอย่างง่าย

6) ทำการทดลองและวิเคราะห์รูปแบบความเสียหายของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ภายใต้เกณฑ์การตัดสินตามข้อกำหนดของ ECE Regulation No.14 จากผลเฉลยทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

7) ปรับปรุงและแก้ไขจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ ในกรณีที่เกิดความเสียหายเกิดขึ้นในจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่

8) สรุปผลการทดลอง

1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

1) ศูนย์เครื่องมือ 4 และ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) บริษัท อู่เชิดชัย อุตสาหกรรม จำกัด

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) คอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows 7

2) โปรแกรมช่วยในการออกแบบ Solid Work 2013

3) โปรแกรมทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ANSYS 13

4) โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ Minitab 16

5) เครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ ยี่ห้อ Lloyd 100LS Plus ขนาด 100 กิโลนิวตัน

6) เครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Agilent รุ่น 34972A

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่ โดยการทดสอบตามเกณฑ์การทดสอบของ ECE Regulation No.14 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

2) ได้มีแนวทางในการออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่ ที่มีความแข็งแรงและผ่านเกณฑ์การทดสอบตามของ ECE Regulation No.14

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงมาตรฐานในการทดสอบความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R14 ที่ได้ระบุไว้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักเกณฑ์การทดสอบเพื่อนำมากำหนดเป็นเงื่อนไขขอบเขตในการสร้างแบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ตามทฤษฎีของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ดังที่จะกล่าวถึงในบทนี้ อีกทั้งยังมีทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายซึ่งเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลของการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ และรวมไปถึงทฤษฎีของการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเป็นเครื่องมือช่วยในการกรองปัจจัยต่างๆที่จะส่งผลต่อความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร

2.2 มาตรฐานการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE Regulation 14

คณะกรรมาธิการเศรษฐกิจแห่งสหประชาชาติยุโรป (UN ECE: United Nation Economic Commission for Europe) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำหนดข้อกำหนดและมาตรฐานไม่ว่าจะเป็น ทางด้านสิ่งแวดล้อม พลังงานทดแทน สภาพสังคมการเป็นอยู่ของประชากร และโดยเฉพาะข้อกำหนดและมาตรฐานทางด้านยานพาหนะ เพื่อที่จะควบคุมให้ยานพาหนะมีความปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดย ECE Regulation 14 เป็นข้อกำหนดที่ว่าด้วยหลักเกณฑ์ข้อกำหนด วิธีการทดสอบ และเกณฑ์การตัดสินหลังการทดสอบของจุดยึดเข็มขัดนิรภัย ระบบยึดแบบไอโซฟิก และไอโซฟิกทอปเทเทอร์ ซึ่งในประเทศไทยนั้นก็ได้มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย (มอก.)ได้กำหนด มอก.1467-2550 ซึ่งเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจุดยึดเข็มขัดนิรภัย ระบบยึดแบบไอโซฟิก และไอโซฟิกทอปเทเทอร์โดยได้อ้างอิงข้อมูลมาตรฐานจาก ECE Regulation 14 ซึ่งได้จัดทำโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุ ตสาหกรรม (สมอ) เพื่อมีวัตถุประสงค์ที่จะ สร้างความเป็นธรรมในการซื้อขาย และขจัดปัญหา อุปสรรคทางการค้าที่เกิดจากมาตรการด้านมาตรฐานและคุ้มครองผู้บริโภค

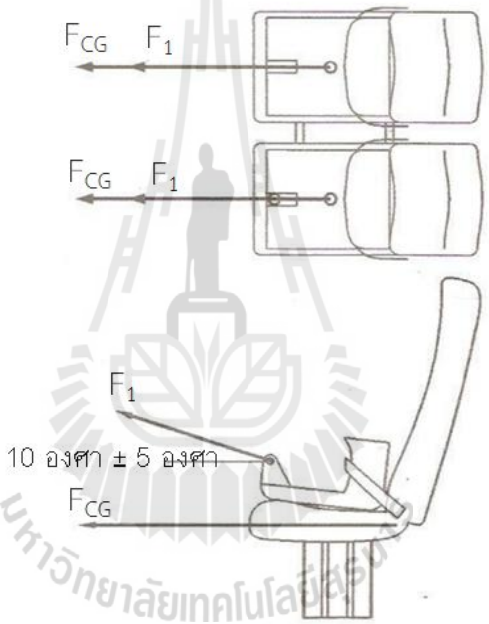
ECE R14 การทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบรัดหน้าตัก (Lab belt) และเกณฑ์การตัดสิน ซึ่งเป็นรถยนต์โดยสารประเภทที่มีน้ำหนักเกิน 5 ตัน ซึ่งในการทดสอบดังกล่าวจะทำการทดสอบแบบสถิตศาสตร์โดยได้มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) ปรับพนักพิงหลังให้ล็อคตามที่ผู้ผลิตกำหนดหรือหากไม่ได้คุณลักษณะดังกล่าวแล้ว ให้ปรับอยู่ในตำแหน่งที่มุมพนักพิงหลังใกล้เคียงกับ 15 องศา เมื่อวัดจากแนวดิ่ง

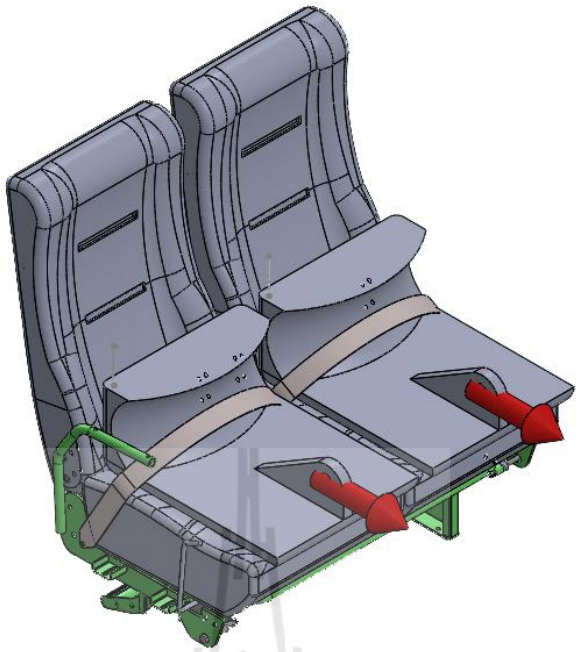
2) ให้แรง F_1 = 7400±200 นิวตันสำหรับรถโดยสารที่มีน้ำหนักเกิน 5 ตัน ที่กระทำผ่านอุปกรณ์ดึงด้านล่างที่มีมุมเอียงกับแนวนอนเท่ากับ 10 องศา ±5 องศา ดังรูปที่ 2.1

3) สำหรับรถที่มีน้ำหนักเกิน 5 ตันให้แรง F_{CG} = 6.6 เท่าของน้ำหนัก ของที่นั่งกระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงที่ขนานกับแนวนอน

4) ให้แรงดึง F_1และ F_{CG}พร้อมกันโดยเริ่มต้นร้อยละ 10 ของแรงดึงเป้าหมาย จากนั้นให้แรงดึงร้อยละ 100 ของแรงดึง ให้แรงดึงถึงแรงดึงเป้าหมายเร็วที่สุดโดยใช้เวลาไม่มากกว่า 60 วินาที



รูปที่ 2.1 ลักษณะของการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่



รูปที่ 2.2 การทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบรัดหน้าตัก (lap belt)

เกณฑ์การตัดสิน

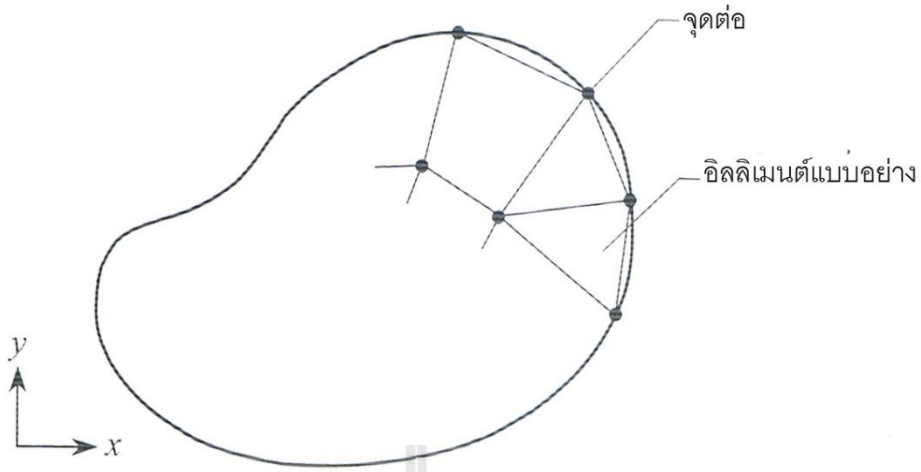
1) จุดยึดเข็มขัดนิรภัยต้องทนแรงได้ไม่น้อยกว่า 0.2 วินาทีต้องไม่เกิดความเสียหายใดๆ ปรากฏที่โครงสร้างที่นั่งหรือจุดยึดที่นั่ง

2) ระบบปรับตำแหน่ง และระบบเลื่อนหรืออุปกรณ์ล็อค ในหระหว่างการทดสอบ การเสียรูปถาวรใดๆ รวมถึงการแตกหักบางส่วน อาจเป็นที่ยอมรับได้ถ้าหากความเสียหายเหล่านี้ไม่เพิ่มความเสี่ยงของการบาดเจ็บในกรณีที่เกิดการชนและสามารถรองรับรองแรงตามที่กำหนดได้

2.3 ทฤษฎีของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

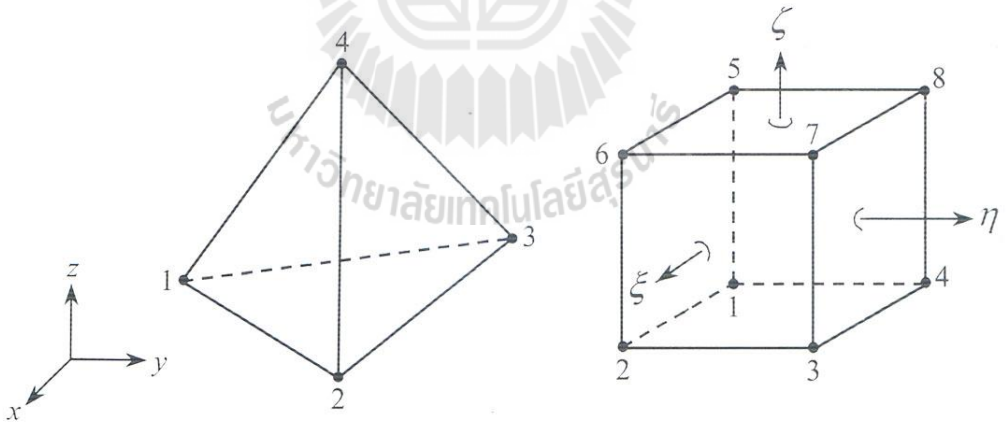
ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2550) ได้กล่าวไว้ว่า ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1การแบ่งขอบเขตรูปร่างของปัญหาออกเป็นอิลลิเมนต์ย่อยๆ แสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งขอบเขตดังกล่าวนั้นเป็นขอบเขตปัญหาทางด้านของแข็ง



รูปที่ 2.3 การแบ่งรูปร่างของปัญหาทางด้านของแข็งออกเป็นอิลลิเมนต์
(ที่มา : ปราโมทย์ เดชะอำไพ2550)

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การเลือกฟังก์ชันประมาณภายใน (Element interpolation function) เช่น อิลลิเมนต์สามเหลี่ยม อิลลิเมนต์สี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4ลักษณะของอิลลิเมนต์ชนิดต่าง(ที่มา : ปราโมทย์ เดชะอำไพ2550)

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> การสร้างสมการของอิลลิเมนต์ (element equations) ซึ่งขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ การสร้างสมการของอิลลิเมนต์ซึ่งอยู่ในรูปสมการที่ (2.1)

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}_e \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix}_e \tag{2.1}$$

ซึ่งสามารถทำได้โดย

ก. วิธีการโดยตรง (direct approach)

ข. วิธีการแปรผัน (variation approach)

ค. วิธีถ่วงน้ำหนักตกค้าง (method of weighted residuals)

ซึ่งขั้นตอนนี้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านของแข็ง จะเริ่มต้นจากการศึกษาสมการพื้นฐานทั่วไป ดังสมการความสมดุลของ ของแข็งที่มีการยืดหยุ่นในสามมิติดังแสดงในรูปที่ 2.5 สามารถเขียนเป็นสมการย่อยดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} + F_x &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial_y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_z} + F_y &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial_z} + F_z &= 0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

โดยที่ σ_x, σ_y, และ σ_z แทนความเค้นในระนาบแกน x, y และ z ตามลำดับ τ_{xy}, τ_{xz} และ τ_{yz} แทนค่าความเค้นเฉือน F_x, F_y และ F_z แทนแรงวัตถุ (body force) ในแนวแกน x, y และ z ตลอดผิวรอบนอกของของแข็งดังแสดงในรูป 2.5อาจประกอบด้วยเงื่อนไขขอบเขตหลายๆ ชนิดซึ่งอาจมีการกำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว (surface traction) ในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\overline{T} = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k} \tag{2.3}$$

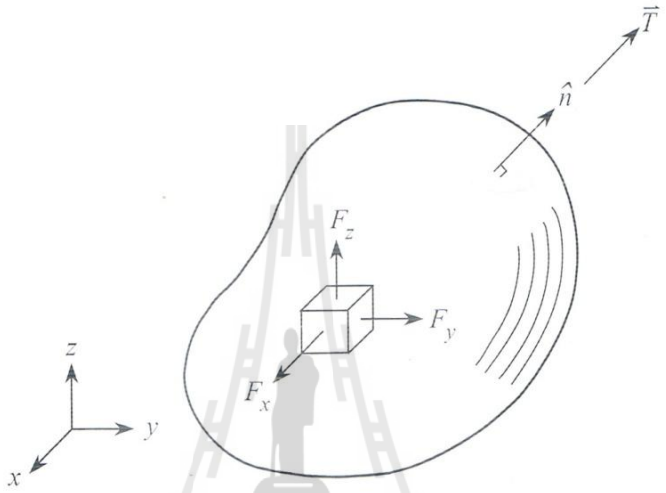
โดย T_x , T_y และ T_z แทนความเค้นที่ผิวในทิศทางแกน x, y และ z ตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของความเค้นย่อยต่างๆได้คือ

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix} \tag{2.4}$$

โดยที่ n_x , n_y และ n_z เป็นทิศทางโคไซน์ (direction cosines) ของเวกเตอร์

$$\hat{n}=n_x\hat{i}+n_y\hat{j}+n_z\hat{k} \tag{2.5}$$

ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิว ณ จุดที่กำลังพิจารณา



รูปที่ 2.5 แผนภาพสมดุลตามตำแหน่งใดๆ ในของแข็งสามมิติ
(ที่มา : ปราโมทย์ เดชะอำไพ2550)

นอกเหนือจากเงื่อนไขขอบเขตที่ผิงเหล่านี้แล้ว ของแข็งในสามมิติในรูปที่ 2.5 นั้นอาจจะมีความเครียดชั้นต้น (pre-strain) ที่เกิดขึ้นอยู่ก่อน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยทั่วไปคือ

$$\{\sigma\}=[C]\{\varepsilon-\varepsilon_0\} \tag{2.6}$$

โดย

$$\{\sigma\}^T=\lfloor \sigma_x\ \sigma_y\ \sigma_z\ \tau_{xy}\ \tau_{yz}\ \tau_{xz} \rfloor \tag{2.7}$$

$$\{\varepsilon\}^T=\lfloor \varepsilon_x\ \varepsilon_y\ \varepsilon_z\ \gamma_{xy}\ \gamma_{yz}\ \gamma_{xz} \rfloor \tag{2.8}$$

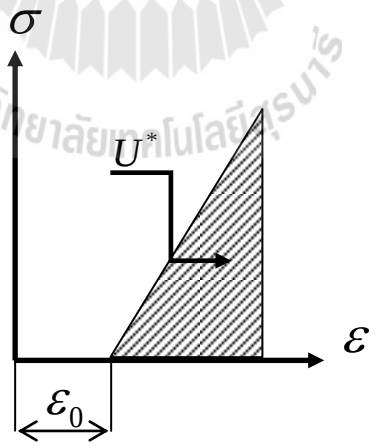
$$[C]=\frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\begin{bmatrix}1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0\\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0\\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)/2 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu)\end{bmatrix} \quad (2.9)$$

และ $\{\varepsilon_0\}$ แทนเวกเตอร์ของความเครียดขั้นต้น

ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2550) ได้กล่าวไว้ว่าในการสร้างสมการไฟไนต์อิลลิเมนต์สำหรับปัญหาทางด้านของแข็ง เราสามารถเริ่มจากสมการเชิงอนุพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (2.2) แล้วใช้ระเบียบวิธีแปรผัน ซึ่งจำเป็นต้องหาฟังก์ชันที่เมื่อทำการหาค่าแล้วจะก่อให้เกิดสมการเชิงอนุพันธ์ดังสมการที่ (2.2) ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวคือพลังงานศักย์รวมนั่นคือ

$$J=U^*+V^* \quad (2.10)$$

โดยที่ U^* คือพลังงานที่เกิดขึ้นจากความเครียดในวัตถุดังแสดงในรูป 2.6



รูปที่ 2.6 พลังงานที่เกิดจากความเครียดในวัตถุ
(ที่มา : ปราโมทย์ เดชะอำไพ2550)

$$U^* = \frac{1}{2}\int_V \lfloor \varepsilon - \varepsilon_0 \rfloor \{\sigma\}\, dv \tag{2.11}$$

เมื่อแทน $\{\sigma\}$ จากสมการที่ (2.6) ลงไปจะได้

$$U^* = \frac{1}{2}\int_V \lfloor \varepsilon - \varepsilon_0 \rfloor [C] \{\varepsilon - \varepsilon_0\}\, dv \tag{2.12}$$

หลังจากกระจายออกแล้วจัดพจน์ จะได้

$$U^* = \frac{1}{2}\int_V \lfloor \varepsilon \rfloor [C] \{\varepsilon\}\, dv - \int_V \lfloor \varepsilon \rfloor [C] \{\varepsilon_0\}\, dv + \int_V \lfloor \varepsilon_0 \rfloor [C] \{\varepsilon_0\}\, dv \tag{2.13}$$

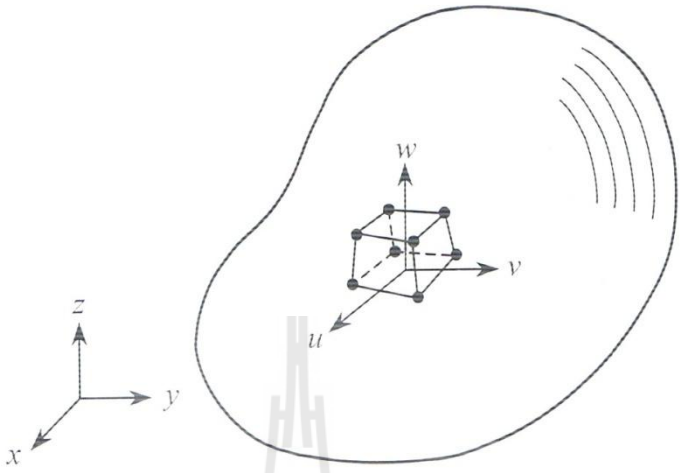
ในสมการที่ (2.10) V^* คือพลังงานศักย์ที่เกิดจากแรงวัตถุ (body force) ที่มีปริมาตร V และแรงที่ผิว (Surface Traction) บนผิวที่มีพื้นที่ S ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบคือ

$$\begin{aligned} V^* &= \int_V \left(F_x u + F_y v + F_z w\right) dV - \int_S \left(T_x u + T_y v + T_z w\right) dS \\ &= \int_V u \quad v \quad w \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_x \end{Bmatrix} dV - \int_S u \quad v \quad w \begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_x \end{Bmatrix} dS \\ &= \int_V \lfloor \bar{\delta} \rfloor \{F\}\, dV - \int_S \lfloor \bar{\delta} \rfloor \{T\}\, dS \end{aligned} \tag{2.14}$$

โดยที่ $\lfloor \bar{\delta} \rfloor$ แทนเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยค่าเคลื่อนตัว u, v และ w ในทิศทางแกน x, y และ z ตามลำดับ และ $[F]$ แทนเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยแรงวัตถุในทิศทางแกน x, y และ z ส่วน $\{T\}$ แทนเวกเตอร์ที่ประกอบด้วยแรงที่ผิวในทิศทางแกน x, y และ z จากนั้นทำการแทนสมการ (2.13)และ (2.14)ลงในสมการ (2.10)จึงก่อให้เกิดพลังงานศักย์รวมในรูปแบบดังนี้

$$\begin{aligned} J &= \frac{1}{2}\int_V \lfloor \varepsilon \rfloor [C] \{\varepsilon\}\, dV - \int_V \lfloor \varepsilon \rfloor [C] \{\varepsilon_0\}\, dV + \frac{1}{2}\int_V \lfloor \varepsilon_0 \rfloor [C] \{\varepsilon_0\}\, dV \\ &\quad - \int_V \lfloor \bar{\delta} \rfloor \{F\}\, dV - \int_S \lfloor \bar{\delta} \rfloor \{T\}\, dS \end{aligned} \tag{2.15}$$

ซึ่งสมการ (2.15)สามารถนำไปสร้างเป็นสมการไฟไนต์อิลลิเมนต์สำหรับอิลลิเมนต์ในสามมิติทั่วๆไปได้โดยใช้อิลลิเมนต์ทรงหกหน้าประกอบด้วย 8จุดต่อดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 อิลลิเมนต์ทรงหกหน้าสามมิติ
(ที่มา : ปราโมทย์ เดชะอำไพ2550)

สมมุติให้ลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัวในสามทิศทางโดยค่าเคลื่อนตัวในสามทิศทางโดยค่าเคลื่อนตัวในแต่ละทิศทางสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันการประมาณภายในอิลลิเมนต์และค่าการเคลื่อนตัว ณ ตำแหน่งจุดต่อทั้งแปดจุดต่อได้ดังนี้

$$u(x,y,z) = N(z,y,z)_{(1\times 8)} \{u\}_{(8\times 1)}$$

$$v(x,y,z) = N(z,y,z)_{(1\times 8)} \{v\}_{(8\times 1)} \qquad (2.16)$$

$$w(x,y,z) = N(z,y,z)_{(1\times 8)} \{w\}_{(8\times 1)}$$

หรือเขียนรวมกันได้ว่า

$$\lfloor \bar{\delta} \rfloor_{(3\times 1)} = \lfloor N(z,y,z) \rfloor_{(3\times 24)} \lfloor \delta \rfloor_{(24\times 1)} \qquad (2.17)$$

โดยที่

$$\lfloor \bar{\delta} \rfloor^T = \lfloor u \quad v \quad w \rfloor$$

$$\lfloor \delta^T \rfloor = \lfloor u_1 \quad v_1 \quad w_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad w_2 \ldots u_8 \quad v_8 \quad w_8 \rfloor \tag{2.18}$$

เวกเตอร์ของความเครียดดังสมการ (2.8)สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของค่าการเคลื่อนตัวได้คือ

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_x \\ \gamma_y \\ \gamma_x \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial u}{\partial x} \\ \dfrac{\partial v}{\partial y} \\ \dfrac{\partial w}{\partial z} \\ \dfrac{\partial u}{\partial y} + \dfrac{\partial v}{\partial x} \\ \dfrac{\partial v}{\partial z} + \dfrac{\partial w}{\partial y} \\ \dfrac{\partial u}{\partial z} + \dfrac{\partial w}{\partial x} \end{Bmatrix} = \left[B(x,y,z)\right]_{(6\times 24)} \{\delta\}_{(24\times 1)} \tag{2.19}$$

โดยที่ $\left[B(x,y,z)\right]$แทนเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและการเคลื่อนตัว หากเราแทนสมการ (2.17)และ (2.19)ลงในสมการของพลังงานศักย์รวม (2.15)จะได้

$$\begin{aligned} J \;=\; & \frac{1}{2}\int_V \lfloor \delta \rfloor_{(1\times 24)} \left\lfloor B^T \right\rfloor_{(24\times 6)} [C]_{(6\times 6)} [B]_{(6\times 24)} \{\delta\}_{(24\times 1)} \, dV \\ & - \int_V \lfloor \delta \rfloor_{(1\times 24)} \left\lfloor B^T \right\rfloor_{(24\times 6)} [C]_{(6\times 6)} \{\varepsilon_0\}_{(6\times 1)} \, dV \\ & + \frac{1}{2}\int_V \lfloor \varepsilon_0 \rfloor_{(1\times 6)} [C]_{(6\times 6)} \{\varepsilon_0\}_{(6\times 1)} \, dV - \int_V \lfloor \delta \rfloor_{(1\times 24)} \left\lfloor N^T \right\rfloor_{(24\times 3)} \{F\}_{(3\times 1)} \, dV \\ & - \int_S \lfloor \delta \rfloor_{(1\times 24)} \left\lfloor N^T \right\rfloor_{(24\times 3)} \{T\}_{(24\times 1)} \, dS \end{aligned}$$

หรือเขียนย่อได้เป็น

$$J = \frac{1}{2}\lfloor\delta\rfloor[K]\{\delta\} - \lfloor\delta\rfloor\{F_0\} + \frac{1}{2}\int_V \lfloor\varepsilon_0\rfloor[C]\{\varepsilon_0\}\,dV$$
$$-\lfloor\delta\rfloor\{F_B\} - \lfloor\delta\rfloor\{F_t\} \tag{2.20}$$

โดยที่

$$[K]_{(24\times24)} = \int_V \left\lfloor B^T \right\rfloor_{(24\times6)} [C]_{(6\times6)} [B]_{(6\times24)}\,dV \tag{2.21-1}$$

$$\{F_0\}_{(24\times1)} = \int_V \left\lfloor B^T \right\rfloor_{(24\times6)} [C]_{(6\times6)} [\varepsilon_0]_{(6\times1)}\,dV \tag{2.21-2}$$

$$\{F_B\}_{(24\times1)} = \int_V \left\lfloor N^T \right\rfloor_{(24\times3)} \{F\}_{(3\times1)}\,dV \tag{2.21-3}$$

$$\{F_T\}_{(24\times1)} = \int_V \left\lfloor N^T \right\rfloor_{(24\times3)} T_{(3\times1)}\,dS \tag{2.21-4}$$

ในที่นี้ $[K]$คืออิลลิเมนต์เมทริกซ์ของความแข็งเกร็ง $\{F_0\},\{F_B\},\{F_T\}$ คือโหลดเวกเตอร์เนื่องมาจากความเค้นต้น แรงวัตถุ และแรงที่ผิวตามลำดับ สมการไฟไนต์อิลลิเมนต์จากการหาค่าต่ำสุดของพลังงานศักย์รวมดังแสดงในสมการที่ (2.20)นั้นคือ

$$\frac{\partial J}{\partial\{\delta\}} = 0$$

ซึ่งจะก่อให้เกิดสมการไฟไนต์อิลลิเมนต์รวมทั้งสิ้น 24สมการย่อยสำหรับหนึ่งอิลลิเมสต์ทรงหกหน้าที่ประกอบด้วยแปดจุดต่อ ทั้ง *24* สมการย่อยนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[K]_{(24\times24)}[\delta]_{(24\times1)} = \{F_0\}_{(24\times1)} + \{F_B\}_{(24\times1)} + \{F_T\}_{(24\times1)} \tag{2.22}$$

หลังจากที่ประกอบสมการไฟไนต์อิลลิเมนต์จากทุกๆ อิลลิเมนต์ขึ้นเป็นระบบสมการรวมของวัตถุสามมิตินั้น แล้วทำการกำหนดเงื่อนไขของเขตและแก้ระบบสมการรวมเพื่อหาผลลัพธ์ของค่าเคลื่อนตัวที่ทุกๆจุดต่อได้แล้ว ค่าความเค้นในทิศทางต่างๆ สามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการ (2.6)และ (2.19)ได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$\{\sigma\}_{(6\times1)} = [C]_{(6\times6)}[B]_{(6\times24)}\{\delta\}_{(24\times1)} \ldots [C]_{(6\times6)}\{\varepsilon_0\}_{(6\times1)} \quad (2.23)$$

สมการไฟไนต์อิลลิเมนต์และอิลลิเมนต์เมทริกซ์ต่างๆ เหล่านี้ในสามมิติสามารถดัดแปลงเพื่อนำไปสร้างสมการไฟไนต์อิลลิเมนต์และอิลลิเมนต์เมทริกซ์ต่างๆ สำหรับอิลลิเมนต์ในหนึ่ง สอง และสามมิติชนิดอื่นๆได้

ขั้นตอนที่ 4การนำเสนอของแต่ละอิลลิเมนต์ที่ได้มาประกอบรวมกันเข้า ก่อนให้เกิดระบบสมการรวม (system of simultaneous equations)

$$\sum(element\ equations) \Rightarrow [K]_{sys}\{\phi\}_{sys} = \{F\}_{sys} \quad (2.24)$$

ขั้นตอนที่ 5ทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ลงในระบบสมการรวม (2.2) แล้วจึงแก้ระบบสมการรวมนี้เพื่อหา $\{\phi\}_{sys}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ (nodal unknowns) ซึ่งอาจจะเป็นค่าต่างๆขึ้นอยู่กับเงื่อนไขขอบเขตของปัญหาที่พิจารณา

ขั้นตอนที่ 6เมื่อคำนวณค่าต่างๆ ที่จุดต่อออกมาได้แล้วก็สามารถนำมาใช้เพื่อหาค่าอื่นๆ ที่ต้องการต่อไปได้ เช่น เมื่อรู้ค่าการเสียรูปตามจุดต่อต่างๆของโครงสร้างก็สามารถนำไปใช้หาค่าความเครียดและความเค้นได้ตามลำดับ

2.4 ทฤษฎีความเสียหาย

สุธีระ ประเสริฐสรรพ์ (2553) ได้กล่าวว่า การเสียหายของวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆด้วยกันคือ การเสียหายแบบคราก และการเสียหายแบบแตกหักหรือฉีกขาด (cleavage) ซึ่งการเสียหายทั้งประเภทนี้นั้นมีความแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งการครากนี้เป็นปรากฏการณ์ของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) นั้นก็คือโมเลกุลของวัสดุของวัสดุเกิดการเลื่อน (Slip) บนระนาบการเลื่อน (Slip Plane) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุแต่ไม่เปลี่ยนแปลงขนาด การครากนั้นเป็นการเสียหายที่ต้องอาศัยเวลาซึ่งจะสังเกตได้ล่วงหน้า คือ วัสดุเกิดการแอ่น การยืดออก การเกิดคอคอด (necking) แต่การเสียหายที่เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลถูกดึงแยกออกจากกันในแนวตั้งฉากกับทิศทางของแรงดึงนั้นสามารถเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค (Cohesive force) ของวัสดุเดียวกันได้นั้นจะเป็นการเสียหายอย่างกะทันหัน ซึ่งจะเป็นการแตกหักแบบเปราะ (Brittle Fracture) ซึ่งการเสียหายแบบนี้เราจะไม่สามารถมีโอกาสที่จะ

สังเกตได้ล่วงหน้า เพราะเป็นการเสียหายที่พฤติกรรมของวัสดุยังอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear elastic)

การเสียหายของชิ้นส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ล้วนแล้วเป็นสาเหตุของความล้มเหลวของงานทางด้านวิศวกรรม ซึ่งความเสียหายนั้นจะมีตั้งแต่ทำให้เครื่องจักรนั้นทำงานไม่เต็มกำลัง และมีประสิทธิภาพลดลง ซึ่งอาจจะถึงอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ ในงานออกแบบทางวิศวกรรมนั้นผู้ออกแบบต้องพยายามออกแบบเพื่อไม่ให้เกิดการเสียหาย

ในสภาวะความเค้นในชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในขณะที่ได้รับภาระกระทำแบบแกนเดี่ยว (Uniaxial force) นั้นเป็นสิ่งที่สามารถที่จะทำนายการเสียหายได้ง่าย แต่เมื่อชิ้นส่วนดังกล่าวนั้นมีลักษณะรูปร่างที่ซับซ้อน และมีทิศทางที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะทำให้การทำนายความเสียหายนั้นเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น เพราะในชิ้นส่วนดังกล่าวนั้นมีความเค้นที่เกิดขึ้นมากกว่าหนึ่งแกนหรืออาจจะอยู่ได้ในหลายสภาวะ ซึ่งอาจจะอยู่ในสภาวะความเค้นอัด ความเค้นดึง ความเค้นเฉือน ความเค้นดัด ความเค้นบิด รวมกันทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนดังกล่าว ซึ่งลักษณะความเค้นดังกล่าวนี้จะเรียกว่าความเค้นผสม (Combined Stress) ซึ่งถ้าหากว่า ” ความเค้นรวมหรือความเค้นผสมที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนนั้นมีค่าที่สูงกว่าหรือเท่ากับความเค้นครากของวัสดุ ชิ้นส่วนนั้นก็จะเริ่มการครากหรือการแตกหัก” โดยทฤษฎีการเสียหายที่นิยมใช้กันจะประกอบด้วย 6 ทฤษฎีคือ

1. ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด (maximum principal stress theory)
2. ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum shear stress theory หรือ Tresca yield theory)
3. ทฤษฎีความเครียดสูงสุด (maximum strain theory)
4. ทฤษฎีพลังงานความเครียดรวม (total strain energy theory)
5. ทฤษฎีพลังงานแปรรูป (distortion energy theory หรือ von Misses)
6. ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัล(Octahedral Shear Stress Criterion)

ทฤษฎีดังกล่าว เดช พุทธเจริญทอง (2548) ได้กล่าวไว้ว่า ได้มีสมมุติฐานของทฤษฎีความเสียหายนี้จะประกอบไปด้วย

(1) เนื้อของโลหะนั้นจะต้องมีความสม่ำเสมอและมีคุณสมบัติทางกลเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic material)

(2) ภาระที่กระทำต่อวัสดุนี้จะต้องเป็นภาระแบบสถิต

(3) วัสดุจะรับแรงดึงได้เช่นเดียวกับแรงอัด (ไม่มีผลของ Bauschingerเกิดขึ้น) ดังนั้นความเค้นครากดึงย่อมเท่ากับความเค้นครากอัด

(4) ปริมาตรของวัสดุมีค่าคงตัวตลอด และผลรวมของความเครียดที่เปลี่ยนไปในทิศทางต่างๆ รวมแล้วจะเท่ากับศูนย์

(5) ความเค้นอัดหรือความเค้นเฉลี่ยไม่มีผลต่อความเค้นคราก

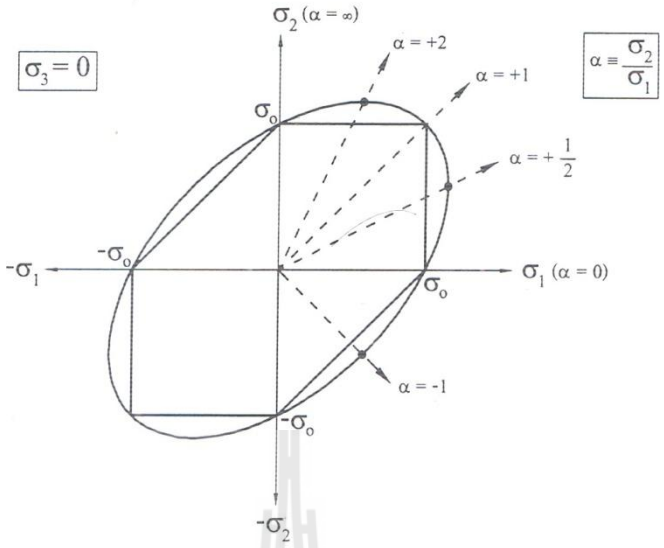
(6) ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิ

จากทฤษฎีความเสียหายทั้งหมดได้มีการเปรียบเทียบทฤษฎีการเสียหาย ซึ่งพบว่าทฤษฎีความเสียหายที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่โลหะที่เป็นโลหะเหนียวคือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัล หรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป ซึ่งกรอบการแตกหักของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดนั้นจะอยู่ภายในกรอบของทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัลหรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป ตามรูปที่ 2.8 และกรอบการแตกหักทั้งสองนั้นจะสัมผัสกันที่จุด $\sigma_1 = \pm\sigma_0$, $\sigma_2 = \pm\sigma_0$ และ $\sigma_3 = \pm\sigma_0$ ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัล จะให้ค่าแฟคเตอร์ความปลอดภัยสูงกว่าประมาณ 15% คือจากตามรูปที่ 2.8 สัดส่วนของระยะจากแกนของทรงกระบอกถึงกรอบการแตกหักของทั้งสองทฤษฎีคือ

$$\frac{\sigma_0\sqrt{2/3}}{\sigma_0/\sqrt{2}} = 1.15 \text{ หรือ } 15\%$$

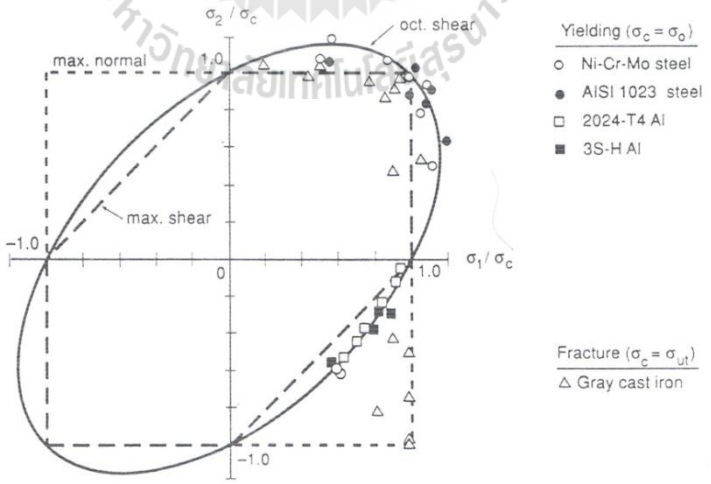
ส่วนกรณีของความเค้นระนาบ($\sigma_3 = 0$) ตามรูปที่ 2.8 แนวของความเค้นเฉือนล้วนจะอยู่ในแนวที่สัดส่วนของ $\sigma_2 / \sigma_1 = -1$ส่วนตำแหน่งที่ $\sigma_2 / \sigma_1 = 2$ ก็คือความเค้นเนื่องจากความดันภายในท่อผนังบางนั้นเอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.8 โลคัสการแตกหักในสภาวะความเค้นหลักสองมิติต่างๆ
(ที่มา : เดช พุทธเจริญทอง 2548)

อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบการแตกหักของวัสดุโลหะเหนียว เช่น เหล็ก และตามรูปที่ 2.9พบว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนออคทะฮีดรัลหรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Von mises) นั้นให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด



รูปที่ 2.9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีความเค้นเฉือนออคทะฮีดรัลหรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป
(ที่มา : เดช พุทธเจริญทอง 2548)

แต่การคำนวณตัวเลขต่างๆตามทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดนั้นทำได้สะดวกกว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัลหรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Von mises)แต่ถ้าต้องการวิเคราะห์ปัญหาอย่างละเอียดก็ควรจะใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัลหรือทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Von mises) ส่วนกรณีของโลหะเปราะ เช่น เหล็กหล่อสีเทาควรใช้ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดทำนายเป็นต้น

2.4.1 ทฤษฎีความเสียหาย ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และทฤษฎีพลังงานแปรรูป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นทฤษฎีความเสียหาย ในกรณีที่เป็นวัสดุเหนียว เช่น เหล็กกล้าเหนียว อลูมิเนียม ทฤษฎีที่นิยมใช้ทำนายการเสียหายคือ ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและทฤษฎีพลังงานแปรรูป ส่วนวัสดุที่เป็นวัสดุเปราะ เช่น เหล็กหล่อสีเทา เหล็กกล้าชุบแข็ง เหล็กกล้าเครื่องมือชุบแข็ง นั้นทฤษฎีที่นิยมใช้นำนายการเสียหายมากที่สุดคือ ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

จะเห็นได้ว่าทฤษฎีในแต่ละทฤษฎีนั้นให้ผลทำนายที่สอดคล้องกับผลการทดลองที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นเอง ในกรณีการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็น โครงสร้างตัวถังรถยนต์ โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร หรือแม้กระทั้งโครงสร้างทั่วไปล้วนแล้วแต่ใช้วัสดุที่เป็นเหล็กกล้าเหนียว หรืออะลูมิเนียม ซึ่งเป็นวัสดุเหนียว และมีการยืดตัวได้ดีเป็นต้น

2.4.2 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Trescayield theory)

ทฤษฎีความเสียหายโดยความเค้นเฉือนสูงสุดนี้ได้ถูกเสนอโดย Trescaในปี พ.ศ. 2408ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์โดย Guestในปี พ.ศ. 2443ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stress theory)หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Tresca yield theoryซึ่งเป็นทฤษฎีที่ง่ายและสะดวกที่จะใช้ในการตรวจสอบการแตกหักของโลหะเหนียว ทฤษฎีนี้ทำนายความเสียหายว่าความเสียหายในชิ้นงานที่รับความเค้นหลายแกน จะเกิดเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดในชิ้นงานนั้น เท่ากับหรือมากกว่าความเค้นเฉือนที่จุดเสียหาย เมื่อทดลองชิ้นทดสอบที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกันและรับความเค้นแกนเดี่ยว นั้นคือ

$$\tau_{max} = \tau_0 \tag{2.25}$$

โดยที่ τ_0 คือความเค้นเฉือนครากของวัสดุ ซึ่งหาได้จากชิ้นงานทดสอบแรงดึง และ τ_{max} เป็นความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน

ในกรณีของปัญหาการขึ้นรูปโลหะสามมิติ ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ระนาบ 45^0กับพิกัดหลัก ซึ่งขนาดของความเค้นเฉือนสูงสุดในแต่ละระนาบหาได้จาก (2.26)

$$\tau_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2},\ \tau_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2},\ \tau_3 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \tag{2.26}$$

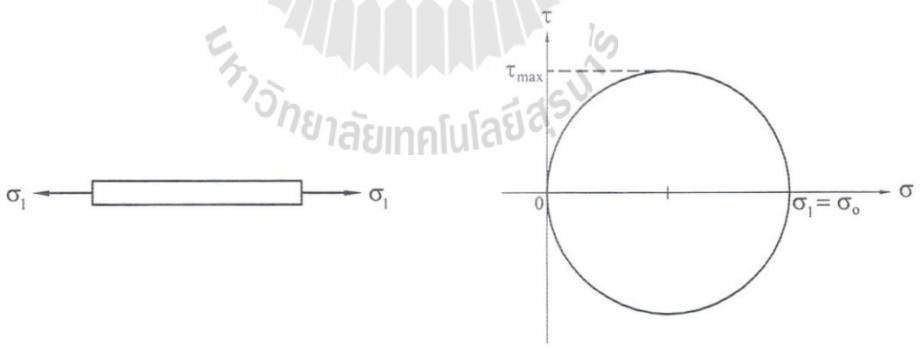
จากสมการ (2.25)

$$\tau_0 = MAX\left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right) \tag{2.27}$$

ในการทดสองแรงดึงทิศทางเดียว ถ้าให้ $\sigma_1 = \sigma_0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ แทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (2.27) ดังนั้น

$$\tau_0 = \frac{\sigma_0}{2} \tag{2.28}$$

ผลจากสมการ (2.28)จะสอดคล้องกับวงกลมโมร์ในรูป 2.10



(ก) (ข)

รูปที่ 2.10 ผลการทดสอบแรงดึงในทิศทางเดียวที่ผลสอดคล้องกับวงกลมโมร์
(ก) ชิ้นส่วนทดสอบแรงดึง (ข) วงกลมโมร์
(ที่มา : เดช พุทธเจริญทอง 2548)

ถ้าแทน τ_0 ในสมการที่ (2.28) ลงในสมการที่ (2.27) จะได้รับสมการแตกหักในเทอมของ คือ σ_0

$$\frac{\sigma_0}{2} = MAX\left(\frac{\sigma_2-\sigma_3}{2},\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2},\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\right) \tag{2.29}$$

หรือ

$$\sigma_0 = MAX\left(\frac{\sigma_2-\sigma_3}{2},\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2},\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\right) \tag{2.30}$$

เพื่อความสะดวก จะให้ความเค้นประสิทธิผล (Equivalent Stress)ในเทอมของความเค้ นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะเท่ากับ $\bar{\sigma}_S$ หรือ

$$\overline{\sigma_s} = MAX\left(\left|\frac{\sigma_2-\sigma_3}{2}\right|,\left|\frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\right|,\left|\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}\right|\right) \tag{2.31}$$

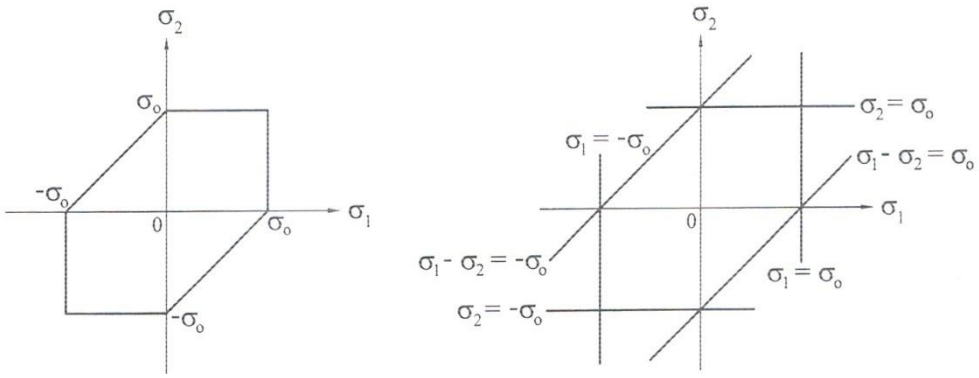
จากสมการ (2.30)และ (2.31) แฟกเตอร์ความปลอดภัย N ก็คือ

$$N=\frac{\sigma_0}{\bar{\sigma}_S} \tag{2.32}$$

ในกรณีของความเค้นระนาบ $\sigma_3 = 0$ จากสมการ (2.30)

$$\sigma_0 = MAX\left(|\sigma_1-\sigma_2|,|\sigma_2|,|\sigma_1|\right) \tag{2.33}$$

โดยอาศัยสมการ (2.33) เราสามารถจะแสดงความสัมพันธ์ของ σ_1 และ σ_2 ตามทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดได้ เช่นในรูปที่ 2.11(ก)ซึ่งเป็นโลคัสการแตกหัก และถ้าจุดพิกัดของ σ_1 , σ_2 อยู่ในกรอบหกเหลี่ยม



(ก) (ข)

รูปที่ 2.11 โลคัสการแตกหักของปัญหาสองมิติตามทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด
(ที่มา : เดช พุทธเจริญทอง 2548)

ก็จะไม่เกิดการแตกหักเกิดขึ้นในโลหะ $(\bar{\sigma}_s < \sigma_0)$ และกรอบหกเหลี่ยมจะล้อมรอบด้วยเส้น

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm\sigma_0,\ \sigma_2 = \pm\sigma_0,\ \sigma_1 = \pm\sigma_0 \tag{2.34}$$

ซึ่งดูได้จากรูป 2.11(ข) เป็นที่น่าสังเกตว่า สมการชุดแรกจะให้กรอบเส้นตรงที่มีความลาดเท่ากับหนึ่งหน่วย ส่วนสมการชุดสองและสามจะให้กรอบที่ขนานกับแกน σ_1 และ σ_2 ตามลำดับ

2.4.3 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion energy theory)

ทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion energy theory) หรือเรียกว่า “ทฤษฎีของฟอนมิสเซส” (Von Misses หรือ Von Misses – Hencky) เป็นทฤษฎีที่ใช้ทำนายการแตกหักของโลหะเหนียวอีกทฤษฎีหนึ่งผลของการทำงานจะเหมือนกับทฤษฎีความเค้นเฉือนออกทะฮีดรัล และสอดคล้องกับผลการทดลองมากกว่า ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

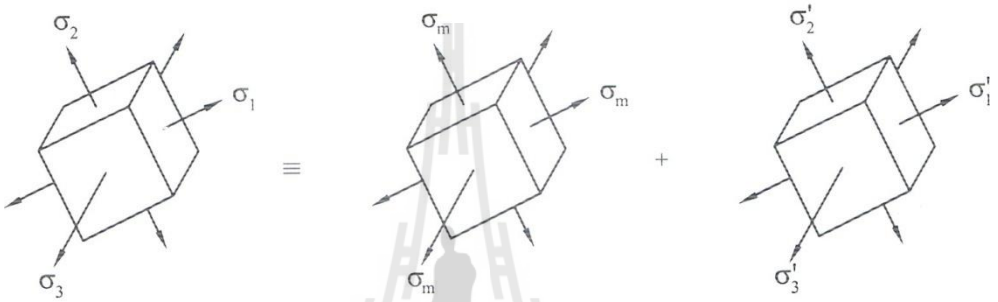
ที่มาของทฤษฎีนี้ก็คือ ใช้ชิ้นทดสอบซึ่งเป็นวัสดุที่ยืดหยุ่นภายใต้ความดันที่กระจายสม่ำเสมอดังนั้นวัสดุสามารถจะรับแรงได้มากกว่าชิ้นทดสอบที่มีแรงดึงหรือแรงอัดกระทำตามวิธีทดสอบทั่วๆไป ความสามารถรับแรงได้มาขึ้นของวัสดุนั้น อาจจะเนื่องมาจากพลังงานแปรรูปที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุซึ่งทฤษฎีกล่าวว่า “วัสดุจะเริ่มแตกหักถ้าพลังงานแปรรูปภายในวัสดุภายใต้โหลดทั่วๆไปเท่ากับพลังงานแปรรูปจากการทดสอบแรงดึงของวัสดุเดียวกัน”

ถ้าพิจารณาชิ้นส่วน ซึ่งมีความเค้นหลัก σ_1, σ_2 และ σ_3 กระทำดังรูป 2.12 (ก)เราสามารถหาพลังงานความเครียด U ต่อหน่วยปริมาตรได้จากสมการ (2.35) คือ

$$U = \frac{1}{2}\sigma_1\varepsilon_1 + \frac{1}{2}\sigma_2\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\sigma_3\varepsilon_3 \tag{2.35}$$

เนื่องจากวัสดุอยู่ในช่วงยืดหยุ่น เราสามารถจะเขียนสมการ (2.35) ใหม่ในเทอมของความเค้นหลักได้ดังนี้

$$U = \frac{1}{2E}\left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1\right] \tag{2.36}$$



รูปที่ 2.12 วัสดุชิ้นงานภารใต้ความเค้นหลักที่ทำให้เกิดพลังงานความเครียด
(ก) วัสดุชิ้นงานภายใต้ความเค้นหลัก (ข) ภายใต้ความดันที่ทำให้เกิด U_v
(ค) ความเค้นส่วนที่เหลือที่ทำให้เกิด U_d
(ที่มา : เดช พุทธเจริญทอง 2548)

เนื่องจากพลังงานความเครียดในสมการ (2.36)ประกอบพลังงาน *2* ส่วนคือ พลังงานความเครียดที่ทำให้ปริมาตรของวัสดุเปลี่ยน U_v และอีกส่วนหนึ่งก็คือ พลังงานที่ทำให้วัสดุเปลี่ยนรูป U_d หรือ

$$U = U_v - U_d \tag{2.37}$$

เพื่อหา U_d ในเทอมของความเค้นหลัก เราจำเป็นต้องหา U_v ก่อนแล้วลบออกจาก U ในสมการ (2.36)หรือ (2.37)

เนื่องจากความเค้นหลักเฉลี่ยหรือความเค้นไฮดรอสแตติก (Hydrostatic stress) σ_m คือ

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \tag{3.38}$$

ดังนั้นความเค้นหลักเดิม จะเท่ากับความเค้นเฉลี่ยบวกด้วยความเค้นที่เหลือ หรือความเค้นเบี่ยงเบนคือ

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_m + \sigma_1' \\ \sigma_2 &= \sigma_m + \sigma_2' \\ \sigma_3 &= \sigma_m + \sigma_3'\end{aligned} \tag{2.39}$$

แทนสมการ (2.39)ลงในสมการ (2.38)ผลที่ได้รับคือ

$$0 = \sigma_1' + \sigma_2' + \sigma_3' \tag{2.40}$$

ซึ่งหมายความว่า ความเค้นหลักตัวใดตัวหนึ่งหรือสองตัว ในสมการที่ (2.40)จะต้องมีค่าเป็นลบจึงจะทำให้สมการ (2.40)เป็นจริง ความเค้นเหล่านั้นจะทำให้วัสดุชิ้นงานเปลี่ยนรูป เมื่อแทนสมการ (2.39)ลงในสมการ (2.36)ดังนั้นพลังงานความเครียด U_v ในเทอมของ σ_m คือ

$$U_v = \frac{1}{2E}\left[3\sigma_m^2 - 2v\left(2\sigma_m^2\right)\right]$$

หรือ

$$U_v = \frac{3}{2E}\sigma_m^2\left(1-2v\right) \tag{2.41}$$

และถ้าแทนสมการ(2.38)ลงในสมการที่ (2.41)

$$U_v = \frac{1-2v}{2E}\left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3\right)^2 \tag{2.42}$$

เนื่องจากทราบค่า U จากสมการ (2.36)และ U_v จากสมการ (2.42)ดังนั้นจึงหาค่า U_d ได้คือ

$$U_d = \frac{1+v}{6E}\left[\left(\sigma_1-\sigma_2\right)^2 + \left(\sigma_2-\sigma_3\right)^2 + \left(\sigma_3-\sigma_1\right)^2\right] \tag{2.43}$$

ซึ่งเป็นพลังงานแปรรูปที่เกิดขึ้นบนวัสดุชิ้นงาน ในกรณีของความเค้นระนาบ ถ้าให้ $\sigma_3 = 0$

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E}\left[\sigma_1^{\,2} - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^{\,2}\right] \tag{2.44}$$

สำหรับการทดสอบโลหะด้วยแรงดึง ถ้าให้ σ_1 เท่ากับความเค้นคราก σ_0 ส่วน $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และแทนค่าลงไปในสมการ (2.43)จะได้

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E}\sigma_0^{\,2} \tag{2.45}$$

ตามทฤษฎีพลังงานแปรรูป “การแตกหักจะเกิดขึ้นถ้าพลังงานแปรรูปจากสมการ (2.44) เท่ากับพลังงานแปรรูปจากสมการ (2.45)” นั้นคือ

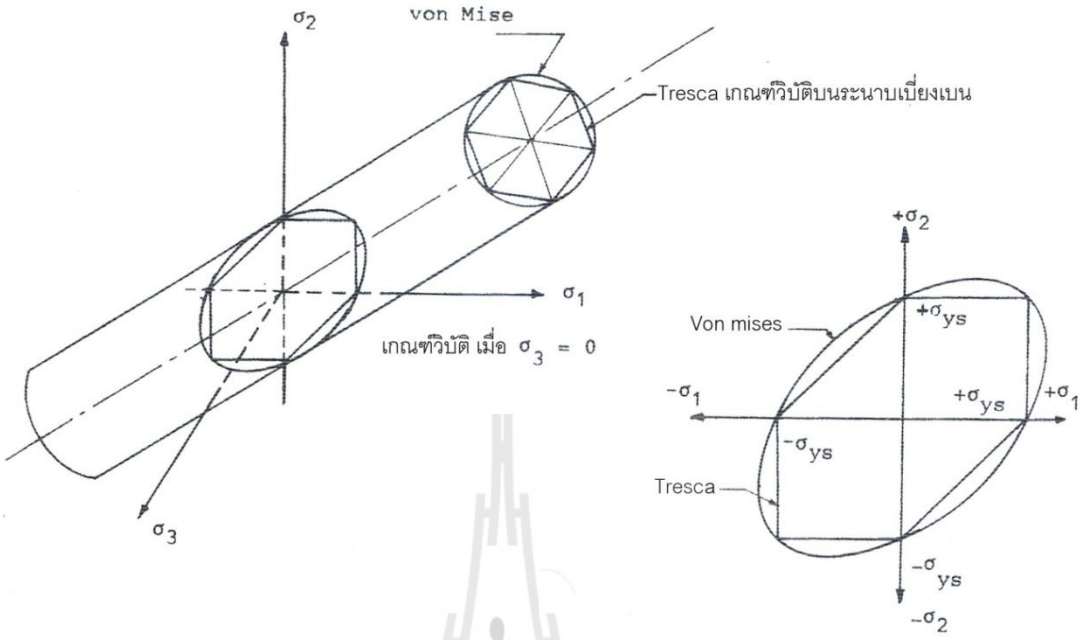
$$\sigma_1^{\,2} - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^{\,2} = \sigma_0^{\,2} \tag{2.46}$$

สมการ (2.46) จะเป็นสมการรูปวงรี การแตกหักจะเกิดขึ้นถ้าสภาวะของความเค้นในชิ้นส่วนอยู่นอกกรอบวงรี

สรุปทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและทฤษฎีพลังงานแปรรูป เกณฑ์การแตกหักหรือกรอบการแตกหักของทฤษฎีพลังงานแปรรูปนั้นมีความคล้ายกับทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และแสดงรวมกันได้ดังรูป 2.13จะเห็นได้ว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดนอกจากจะคำนวณได้ง่ายแล้วยังทำนายได้ปลอดภัยกว่าทฤษฎีพลังงานแปรรูป รวมทั้งสามารถครอบคลุมในกรณีที่คุณสมบัติไม่เท่ากันของวัสดุด้วย เมื่อรับแรงดึงและแรงกดอีกด้วย

รูปแบบของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด เรียบง่ายในการประยุกต์ใช้งานเหมาะสำหรับเขียนลงในวงกลมโมร์ 3 มิติ ทำให้สามารถใช้ร่วมกับขอบเขตการเสียหายแบบแตกหักหรือฉีกขาดได้และการโก่งงอได้ด้วย แต่ข้อเสียของทฤษฎีนี้ก็คือของเขตการเสียหายจะไม่ต่อเนื่อง (มีมุม) อย่างที่ควรจะเป็นดังเช่นกรณีของทฤษฎีพลังงานแปรรูป ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

อย่างไรก็ตาม การทดลองกับวัสดุเหนียวให้ผลสอดคล้องกับทฤษฎีพลังงานแปรรูปมากกว่าซึ่งเป็นผลจากสมมุติฐานในการวิเคราะห์สมการของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดไม่ได้เป็นจริงทั้งหมด อย่างเช่น การสมมุติว่าในกรณี 2มิติ σ_1, σ_2 จะไม่มีผลต่อพฤติกรรมของวัสดุบนระนาบ 2-3 และ 1-3 นั้นเป็นการสมมุติฐานไม่เป็นจริงในกรณีของดิสโลเคชัน (Dislocation) และการเคลื่อนที่ของ ดิสโลเคชัน (Dislocation) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ใน 3 มิติ ดังนั้นความเค้นจริงจึงมีผลต่อพฤติกรรมของวัสดุในระนาบที่ตั้งฉากกับมันด้วยซึ่งความแตกต่างของทฤษฎีทั้งสองนี้มีประมาณ 15% ดังที่ได้กล่าวในตอนต้น



รูปที่ 2.13 ขอบเขตการเสียหายของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและทฤษฎีพลังงานแปรรูป (ที่มา : Collins 1981)

ถึงแม้ทฤษฎีทั้ง 2 นี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกันแต่มีประวัติความเป็นมาที่แตกต่างกัน ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดมีที่มาจากการสังเกตเห็นวัสดุเหนียวเกิดการครากบนระนาบวิกฤตของความเค้นเฉือน จึงทำให้ได้ข้อยุติว่าความเค้นเฉือนสูงสุดนั้นมีบทบาทต่อการเสียหาย (คราก) ของวัสดุ ทฤษฎีนี้ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกจากการทดลองเกี่ยวกับดินของ Coulomb ในปี พ.ศ. 2316 ก่อนที่ Trescaจะนำมาใช้กับวัสดุวิศวกรรมในอีกหนึ่งร้อยปีต่อมา ส่วนทฤษฎีพลังงานแปรรูปนั้นมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ล้วนของ Maxwell ในปี พ.ศ. 2408 การที่ทฤษฎีทั้งสองให้ผลใกล้เคียงกันและสอดคล้องกับผลการทดลองกับวัสดุเหนียว โดยเฉพาะในประเด็นของผลความเค้นไฮดรอสแตติก (Hydrostatic stress) σ_m จึงทำให้เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้จนถึงทุกวันนี้

2.5 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

ปารเมศ (2545) ได้กล่าวไว้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งเราต้องการที่จะศึกษาถึงผลรวมที่มีผลต่อผลตอบซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านั้น

กรณีพิเศษของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 2 ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น แรง ความหนาของวัสดุ หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้เช่น เครื่องจักร หรือ คนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2x2x2\ldots x2 = 2^k$ ข้อมูล และเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบการทดลองแบบ 2^k

การออกแบบการทดลองแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะทำการตรวจสอบ การออกแบบการทดลองเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนที่น้อยลงที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัย k ชนิดได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบ 2^k จึงถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อการกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเพื่อให้เหลือน้อยที่สุด แต่เนื่องจากแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบ 2^k ประกอบด้วย 2 ระดับ เราขอสมมุติว่าผลตอบสนองที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ซึ่งสมมุติฐานเช่นนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อการกรองปัจจัยในเบื้องต้น

ปารเมศ (2545) ได้กล่าวไว้ว่า วิธีการวิเคราะห์นั้นจะถูกทำให้อยู่ในรูปทั่วไปของการออกแบบการทดลองแบบ 2^k ได้ นั้นคือ การออกแบบที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบด้วยผลหลัก k ชนิด, $\binom{k}{2}$ ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย , $\binom{k}{2}$ ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย และ 1 ปัจจัยร่วมของ k ปัจจัย นั้นคือแบบจำลองบริบูรณ์สำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบไปด้วยผลทั้งสิ้น 2^{k-1} ชนิด เครื่องหมายสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยที่กำหนดให้ก่อนหน้านี้ยังใช้ในรูปแบบทั่วไปได้เช่นกัน ซึ่งวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติของการออกแบบ 2^k ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ 2^k

1. Estimate Factor Effect
2. Form Initial Model
3. Perform Statistical Testing
4. Refine Model
5. Analyze Residual
6. Interpret Result

*ที่มา: ปารเมศ, 2545

จากตารางที่ 2.1 ในขั้นตอนแรกจะต้องประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ และตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้น ข้อมูลเช่นนี้ทำให้ผู้ทดลองทราบได้โดยเบื้องต้นว่า ปัจจัยและปัจจัยร่วมตัวในที่มีความสำคัญ และปัจจัยเหล่านั้นควรจะถูกปรับให้อยู่ในทิศทางใดเพื่อที่จะปรับปรุงผลตอบสนองในการสร้างแบบจำลองเริ่มต้น ควรที่จะเลือกแบบจำลองเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยผลหลักและปัจจัยร่วมทั้งหมด ในขั้นตอนที่สาม จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและปัจจัยร่วม ขั้นตอนที่สี่จะเป็นการขัดเกลาแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกี่ยวกับการดึงเอาตัวแปรที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ ขั้นตอนที่ห้าจะเป็นการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของสมมุติฐานที่สร้างขึ้น มีบางครั้งเช่นกันที่การขัดเกลาแบบจำลองเกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ทั้งนี้ เนื่องมากจากพบว่าแบบจำลองเกิดความไม่เพียงพอ หรือสมมุติฐานที่กำหนดนั้นไม่ถูกต้องอย่างรุนแรง ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ โดยจะสร้างกราฟของผลหลักและปัจจัยร่วมขึ้น เพื่อที่จะประมาณค่าของผลหรือค่าของผลรวมของกำลังสองของผล จะต้องคำนวณหาค่าคอนเทรสต์ที่เกี่ยวข้องกับผลตัวนั้นก่อน ซึ่งทำได้โดยการใช้ตารางของเครื่องหมายบวกและลบดังตาราง ตารางที่ 2.2 เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณในการออกแบบ 2^2

Treatment Combination	Factorial Effect			
	(1)	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
A	+	+	-	-
B	+	-	+	-
AB	+	+	+	+

ที่มา: ปารเมศ, 2545

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yongsheng Li., et al. (2013) ได้วิเคราะห์และปรับปรุงสำหรับการเสียหายของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของรถยนต์โดยใช้แบบจำลองและการทดลอง ซึ่งพบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเชิงตัวเลขนั้นมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14 ซึ่งเกิดการเสียรูปแบบถาวรเป็นบริเวณกว้างของหลังคารถ และความเสียหายจากผลจากแบบจำลองเชิงตัวเลขนั้นได้ทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มความแข็งแรงของประตูหลังของรถยนต์และเพิ่มความแข็งแรงของน็อตยึดจุดยึดเข็มขัดนิรภัยซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อกับตัวถังรถโดยการเพิ่มแผ่นเสริมแรง จากผลการปรับปรุงดังกล่าวนั้นพบว่าจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของรถยนต์และหลังคารถยนต์ที่เกิดการเสียหายนั้นมีความแข็งแรงและทำให้ผ่านเกณฑ์ ECE R 14 ได้กำหนดไว้ ซึ่งในการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขช่วยในการวิเคราะห์นั้นให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริงและยังสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและบริเวณที่เสียหายได้อย่างมีนัยสำคัญ

UkHeo., et al (2011) ได้ประเมินประสิทธิผลของชิ้นส่วนที่นั่งผู้โดยสารโดยการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ โดยในการวิเคราะห์ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการทดสอบของข้อกำหนดในแต่ละมาตรฐานการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยได้กำหนดขึ้นได้แก่ ECE R14, FMVSS571.210, ADR 5/05 และ Automobile safety regulation Code 13 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์โดยโปแกรม LS-DYNA โดยเปรียบเทียบในข้อกำหนดในแต่ละตัวพบว่า ส่วนใหญ่แล้วรางเลื่อนปรับตำแหน่งของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นเกิดการเสียรูป และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองแล้วพบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบจริง จึงสรุปได้ว่าระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ปรับปรุงชิ้นส่วนดังกล่าวนี้ให้มีความแข็งแรงและทำให้ที่นั่งผู้โดยสารมีความแข็งแรงและผ่านการทดสอบตามเกณฑ์ข้อกำหนดดังกล่าว

CelalettinYuce ., et al (2014) กรณีศึกษา การออกแบบโครงสร้างที่นั่งยานยนต์ ซึ่งในการออกแบบนี้จะออกแบบภายใต้ข้อกำหนดของ ECE R 14 ทั้งนี้เพื่อทำการวิเคราะห์และปรับปรุงให้โครงสร้างที่นั่งยานยนต์นั้นมีความแข็งแรงและมีน้ำหนักที่เบาลงเพื่อประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงของยานยนต์อีกทั้งจะส่งผลไปถึงการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันด้วย ซึ่งในการวิเคราะห์และปรับปรุงโครงสร้างที่นั่นยานยนต์นั้นได้เปลี่ยนวัสดุที่เป็นโครงสร้างหลักจากเดิม เป็นเหล็กกล้าทดแรงดึงสูง (High Strength Steel) และลดความหนาของชิ้นส่วนดังกล่าวเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมกับน้ำหนักที่ลดลงเปรียบเทียบกับความเค้นที่เกิดขึ้น พบว่าจากการทดลองดังกล่าวนั้นสามารถลดน้ำหนักของโครงสร้างที่นั่งยานยนต์ลงได้จากเดิม 20 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อได้นำผลการปรับปรุงดังกล่าวมาสร้างเป็นโครงสร้างที่นั่งต้นแบบและทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 14 เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ พบว่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นนั้นมีความสอดคล้องกัน

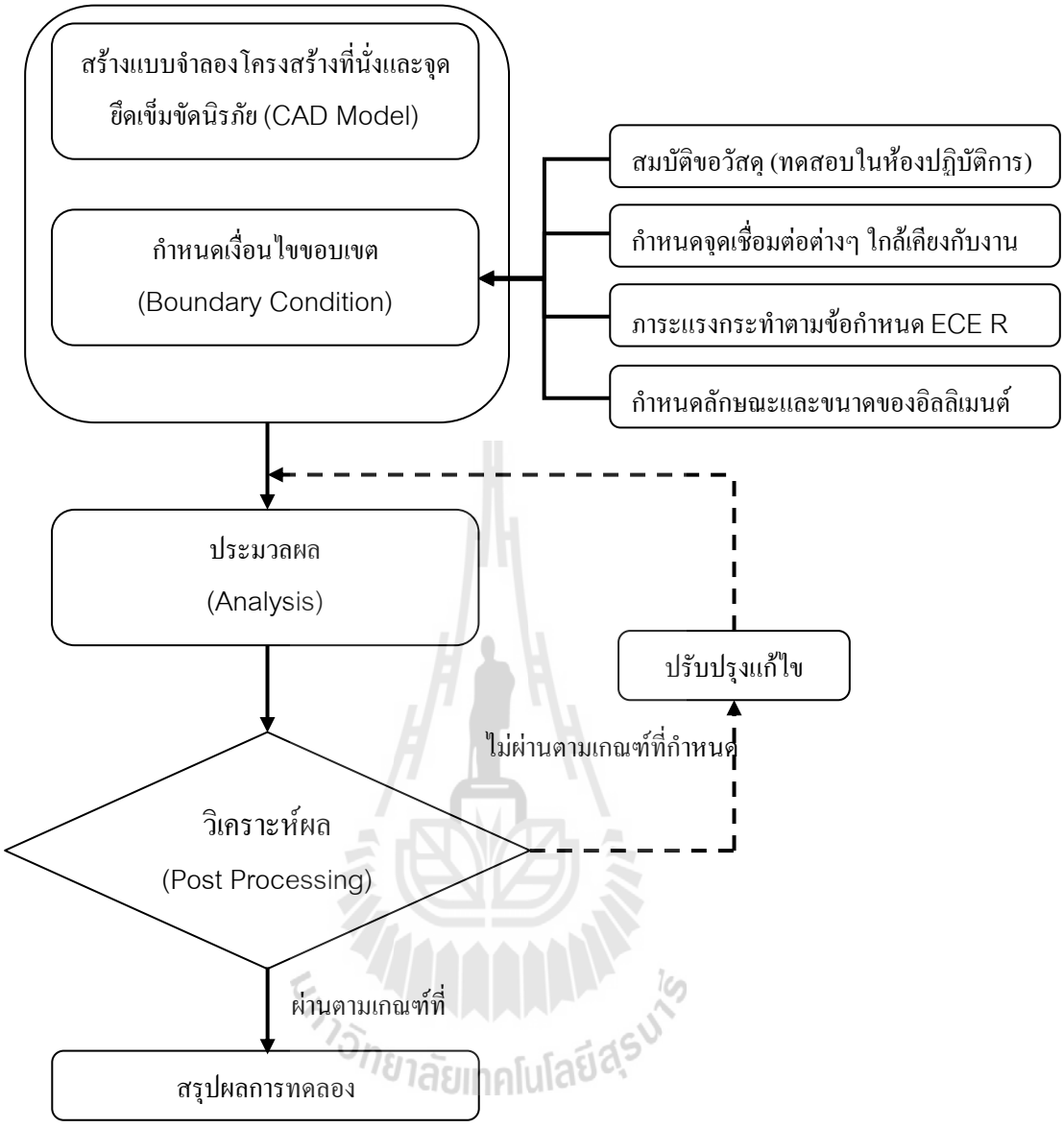
Sung Jong Kang ., and B.K. Chun (2000) ได้ศึกษาแนวทางการทำนายการเสียหายที่เกิดขึ้นในที่นั่งยานยนต์โดยโครงสร้างที่นั่งนั้นจะได้รับภาระการทดสอบที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัย ซึ่งในการทดสอบนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 แบบการทดสอบด้วยกัน คือ โครงสร้างที่นั่งเต็ม โครงสร้างที่นั่งไม่มีพนักพิงหลัง และ ทดสอบเฉพาะรางเลื่อน ผลการทดสอบนั้นพบว่าทั้ง 3 แบบการทดสอบนั้นจะเกิดความเสียหายที่รางเลื่อนปรับตำแหน่งของโครงสร้างที่นั่ง จากนั้นได้สร้างแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS เฉพาะชิ้นส่วนรางเลื่อนปรับและได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่าผลการแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นมีผลที่สอดคล้องกับผลการทดสอบจริงแต่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่นาน จึงได้สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขอย่างง่ายนั้นพบว่าผลที่ได้ใกล้เคียงกับแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์และผลการทำสอบจริง และสามารถลดเวลาในการประมวลผลได้ 1000 เท่าของเวลาที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์ จากผลของแบบจำลองเชิงตัวเลขอย่างง่ายนั้นสามารถนำมาทำนายความเสียหายของรางเลื่อนที่นั่งยานยนต์ได้และสามารถนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ไปปรับปรุงแก้ไขรางเลื่อนที่นั่งยานยนต์ให้มีความแข็งแรงได้

SandorVincze-Papand ZolthnTatai (2005) ได้ทำการจำลองการชนของรถยนต์โดยสารเพื่อดูพฤติกรรมของที่นั่งรถยนต์โดยสารตามข้อกำหนดของ ECE โดยในการทดลองได้ทำการทดลองภายใต้ข้อกำหนดของ ECE R14 และ ECE R 80 โดยการทดสอบจริงและการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS ซึ่งผลที่ได้พบว่าในการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 14 และ ECE R 80 นั้นพบว่าเกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นที่จุดยึดที่นั่งผู้โดยสารเหมือนกัน ซึ่งไม่ว่าจะทำการทดลองตามข้อกำหนด ของ ECE R 14 สามารถยืนยันการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 80 ได้ซึ่งจะทำให้ลดขั้นตอนการทดสอบลง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์ ได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและจุดยึดเข็มขัดนิรภัยจากแบบของสถานประกอบการ กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่เป็นคุณสมบัติของวัสดุโดยได้ทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ ทำการเลือกลักษณะอิลลิเมนต์ทดสอบเพื่อหาขนาดอิลลิเมนต์ที่เหมาะสมและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์กับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ และได้กำหนดภาระกระทำตามข้อกำหนดของ ECE R14 จากนั้นทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โดยได้ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลลิเมนต์เชิงพานิชชื่อว่า ANSYS 13 ในการวิเคราะห์นี้จะทำการวิเคราะห์เป็นแบบสถิตศาสตร์ซึ่งจะเป็นไปตามข้อกำหนดของ ECE R14 หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลตามหลักการของทฤษฎีความเสียหาย และสรุปเปรียบเทียบผลตามเกณฑ์ของ ECE R14 โดยที่รูปที่ 3.1 นั้นได้แสดงถึงแผนผังการดำเนินงานวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร และการวิเคราะห์ผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นได้กำหนดสมมุติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้

1. กำหนดภาระกระทำตามเกณฑ์ข้อกำหนดการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R 14
2. การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นวิเคราะห์เป็นแบบสถิตศาสตร์
3. วัสดุของชิ้นส่วนโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง
4. ในการวิเคราะห์นั้นจะไม่พิจารณาความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นหลังจากการผลิต
5. กำหนดคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นแบบ Bilinear Isotropic Hardening



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

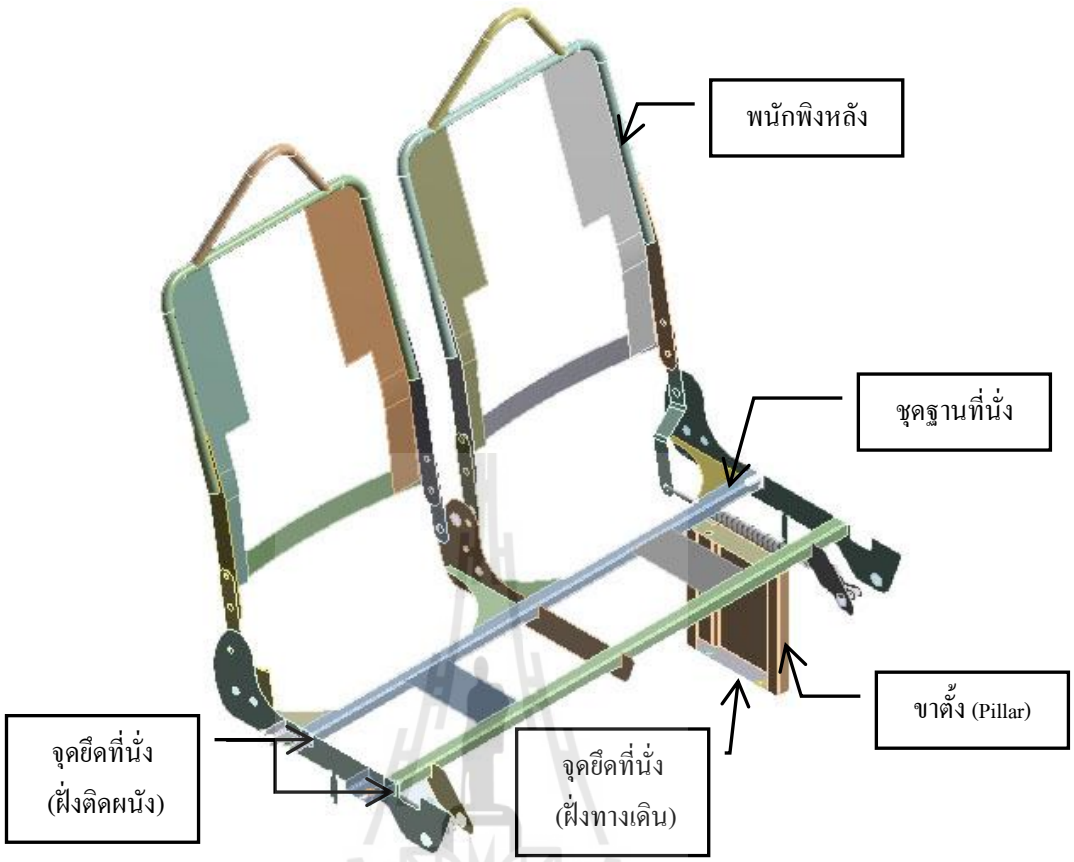
3.1 แบบจำลองโครงสร้างที่นั่งและจุดยึดเข็มขัดนิรภัย (CAD Model)

โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและจุดยึดเข็มขัดนิรภัย ดังรูปที่ 3.2 เป็นโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ที่สถานประกอบการได้ทำการออกแบบเพื่อที่จะผลิตและนำไปประกอบเป็นที่นั่งผู้โดยสารสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ โดยการออกแบบนั้นได้ทำการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์

(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 ลักษณะของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่

จากรูปที่ 3.2 นั้นเป็นโครงสร้างที่นั่งแบบที่นั่งคู่ซึ่งส่วนใหญ่แล้วสถานประกอบการได้ออกแบบโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารเพื่อที่จะสามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ตรงตามขนาดของรถโดยสารและตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางบกได้กำหนดเอาไว้ และในการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นไม่พิจารณาเบาะหุ้มที่นั่งผู้โดยสาร เนื่องจากในการสร้างโครงตาข่ายจะทำให้มีจำนวนของอิลลิเมนต์หรือโครงตาข่ายมีจำนวนมากขึ้นและมีจำนวนจุดต่อที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.3 ลักษณะ โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร ไม่มีเบาะหุ้ม

รูปที่ 3.3 แสดงถึงลักษณะของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่ไม่มีเบาะหุ้ม และได้แสดงถึงส่วนประกอบหลักของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร คือ ชุดพนักพิงหลัง ชุดฐานที่นั่ง ขาตั้ง และ จุดยึดที่นั่ง (ฝั่งทางเดิน, ฝั่งติดผนัง)

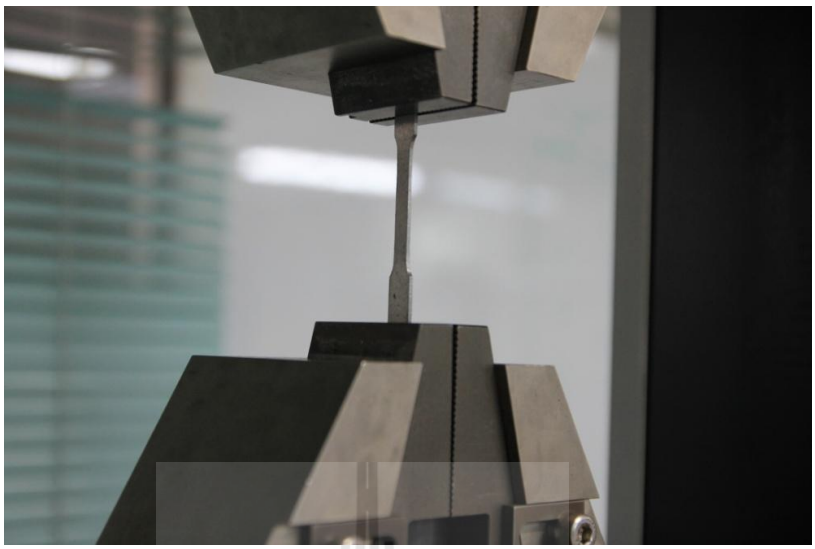
3.2 คุณสมบัติของวัสดุ (Material Properties)

รูปที่ 3.3 ได้แสดงถึงลักษณะของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่มีส่วนประกอบที่หลากหลาย และมีวัสดุที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบของสถานประกอบการนั้นได้กำหนดออกเป็น 3 ชนิดหลักๆ

ด้วยกันคือ เหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) เหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน (P/O) และเหล็กรูปพรรณแบบกลวง และได้เลือกวัสดุทั้ง 3 ชนิดในคลังวัสดุของสถานประกอบการเพื่อทำการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุเพื่อ นำมาเป็นข้อมูลของคุณสมบัติวัสดุในโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลลิเมนต์

ชิ้นงานตัวอย่างนั้นได้ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 ได้ทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้การขึ้นรูปทางกล ดังรูปที่ 3.4 และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลตามมาตรฐาน ASTM E8 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Lloyd LS100 ขนาดโหลดเซล 100 กิโลนิวตัน วัดการยืดตัวโดยใช้ Extensometer ยี่ห้อ Epsilon มีความยาวเกจ (Gauge Length) 50 มิลลิเมตร และทำการวัดค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson Ratio) ตามมาตรฐาน ASTM E132 โดยชิ้นงานถูกให้ภาระโดยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Lloyd LS100 ขนาดโหลดเซล 100 กิโลนิวตัน ติดเซนเซอร์วัดความเครียด (Strain Gauge) ตามแนวแรง และแนวขวางทิศทางของแรง ด้วยเซนเซอร์วัดความเครียดยี่ห้อ TML ชนิด FLA-2-11-1L มีค่าคงที่เกจ (Gague Factor) 2.11 ±1% และมีค่าความต้านทานเกจ (Gauge Resistance) 119.8 ± 0.5 Ω ซึ่งมีเครื่องขยายสัญญาณและบันทึกข้อมูลและแปรผลยี่ห้อ Agilent รุ่น 34972A ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 3.1

รูปที่ 3.4การเตรียมชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ



รูปที่ 3.5การทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์

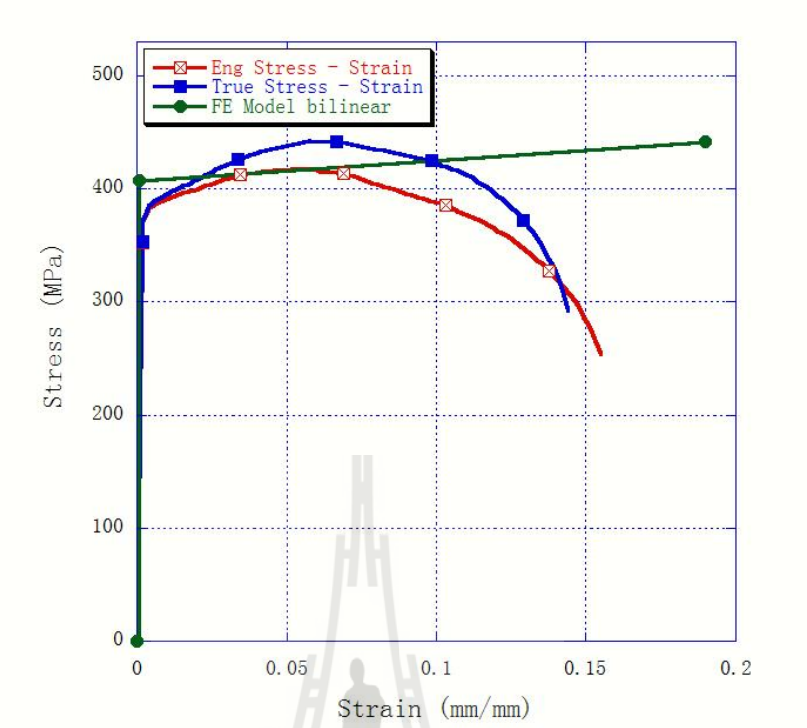
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

วัสดุ	ความเค้นคราก (σ_y)	ความเค้นสูงสุด (σ_u)	มอดูลัสยืดหยุ่น (E)	Tangent modulus	อัตราส่วนปัวซอง (ν)
เหล็กรูปพรรณแบบกลวง	407 MPa	414.7 MPa	197.41 GPa	627.12 MPa	0.27
เหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400)	384.5 MPa	447.25 MPa	185.05 GPa	1714.3 MPa	0.284
เหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน	457.8 MPa	481.19 MPa	173.67 GPa	627.05 MPa	0.33

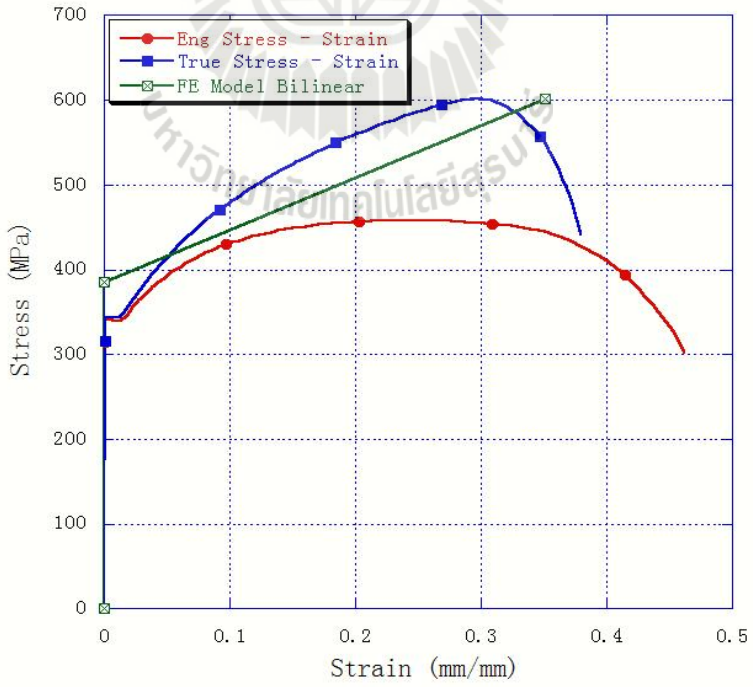
จากตารางที่ 3.1 ซึ่งเป็นผลการทดสอบวัสดุภายในห้องปฏิบัติการซึ่งค่าที่ได้นั้นมีค่าความเค้นทางวิศวกรรมซึ่งยังไม่ใช้ความเค้นจริง โดยในการวิเคราะห์ทางระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์ดังกล่าวนี้จะเป็นการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ของแข็ง ซึ่งในบางพฤติกรรมของวัสดุนั้นจะมีการเสียรูปอย่างถาวรดังนั้นจึงได้กำหนดค่าความเค้นจริง – ความเครียดจริง สามารถหาได้โดยสมการที่ (3.1) และ (3.2) และกราฟความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดดังรูปที่ 3.6 ถึง 3.8

$$\sigma_T = \sigma_E(1+\varepsilon_E) \tag{3.1}$$

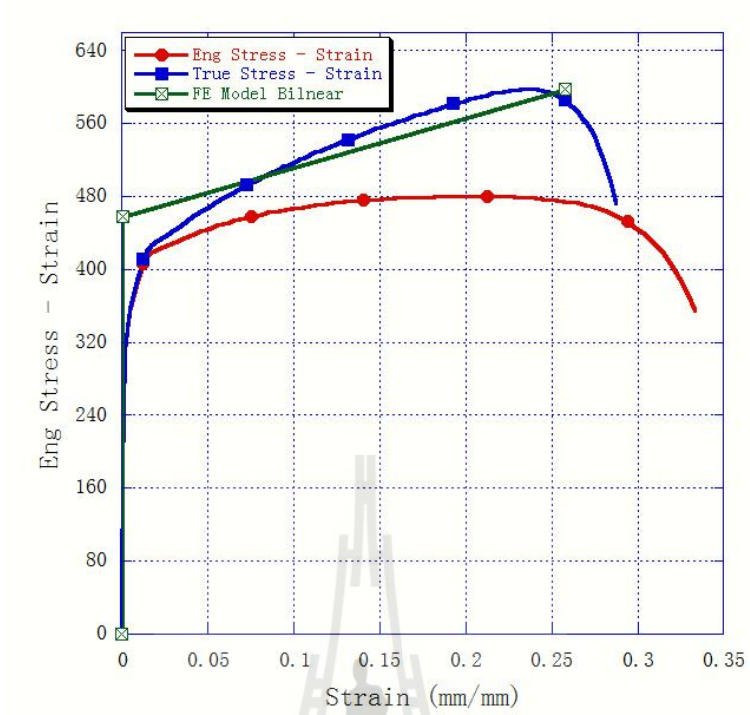
$$\varepsilon_T = ln(1+\varepsilon_E) \tag{3.2}$$



รูปที่3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น – ความเครียด เหล็กรูปพรรณแบบกลวง

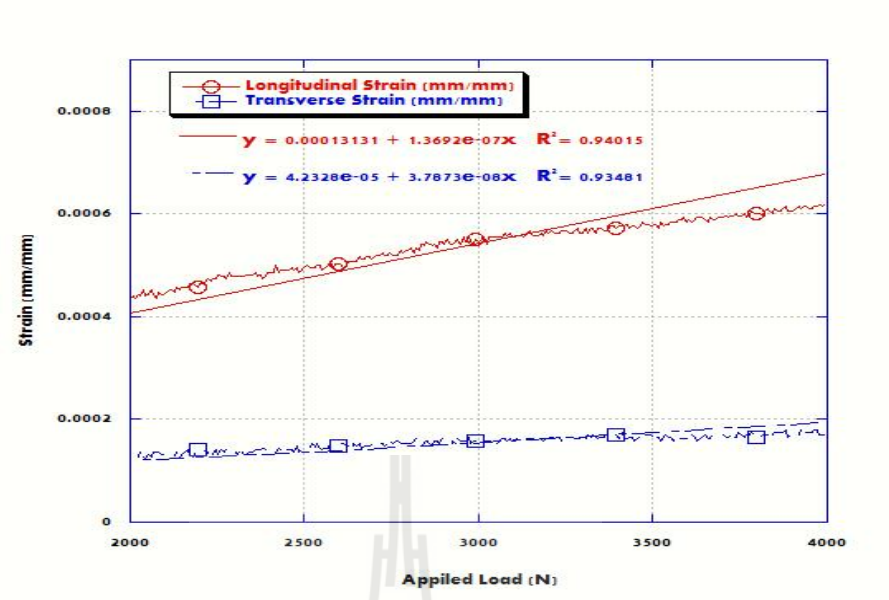


รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น – ความเครียด เหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400)

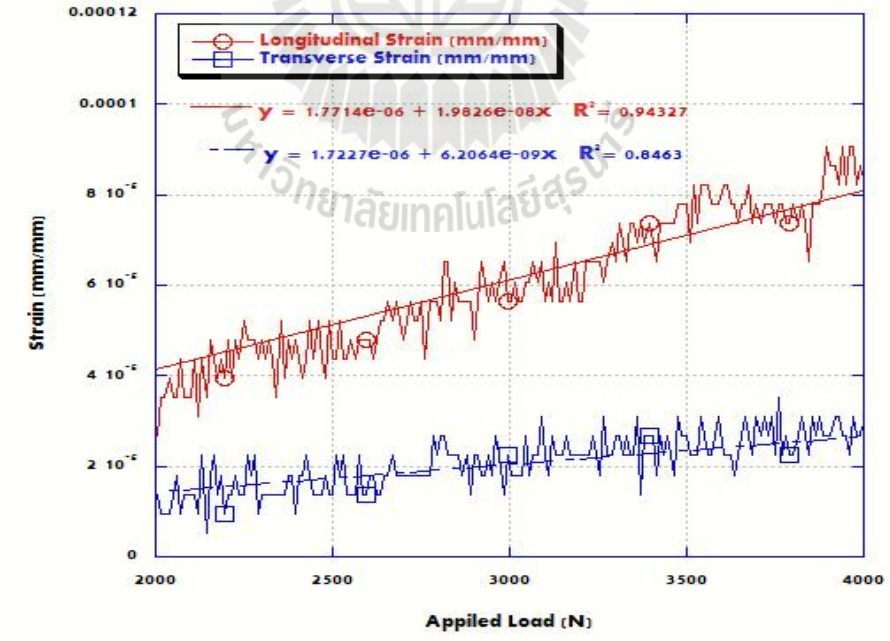


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น – ความเครียด เหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน (P/O)

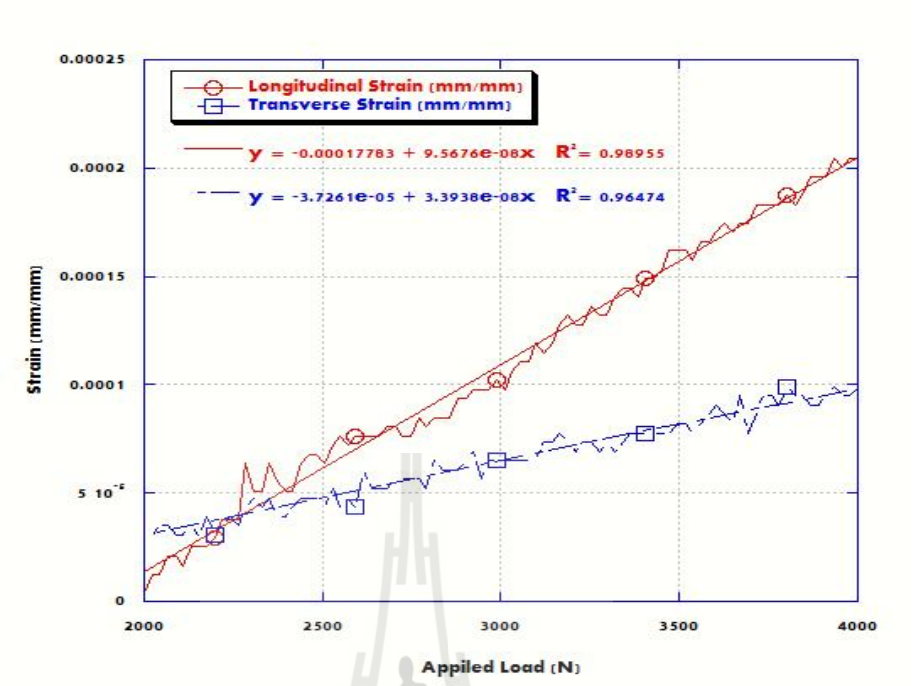
การวิเคราะห์ปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นทราบกันดีอยู่แล้วว่าเป็นการวิเคราะห์ความเค้นความ – ความเครียดของวัสดุ อยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic) ซึ่งเป็นตามกฎของฮุก (Hook's Law) เดช พุชเจริญทอง (2548) ได้กล่าวไว้ว่า กรณีที่ดึงวัสดุในทิศทางเดียว เช่นในทิศทางแกน x สัดส่วนของความเค้นต่อความเครียดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับมอดูลัสความยืดหยุ่น (E) และสัดส่วนการหดตัวในทิศทางตั้งฉากกับแนวแรงต่อการยืดตัวในแนวแรงจะมีค่า เท่ากับค่าอัตราส่วนปัวซอง (v ; Poisson Ratio) ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการคำนวณค่าความเค้นความเครียด โดยเฉพาะค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson Ratio) เป็นค่าที่จำเป็นในสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดและความเค้นฉากของปัญหา 2 มิติ และปัญหา 3 มิติ และจากการทดสอบวัสดุนั้นจะได้ค่าดังตารางที่ 3.1 เป็นค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (E) และค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson Ratio) จากรูปที่ 3.9 ถึงรูปที่ 3.11 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรงและค่าความเครียดตามแนวแรง ซึ่งทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM E132



รูปที่ 3.9 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรงและค่าความเครียดตามแนวแรงของเหล็กรูปพรรณแบบกลวง



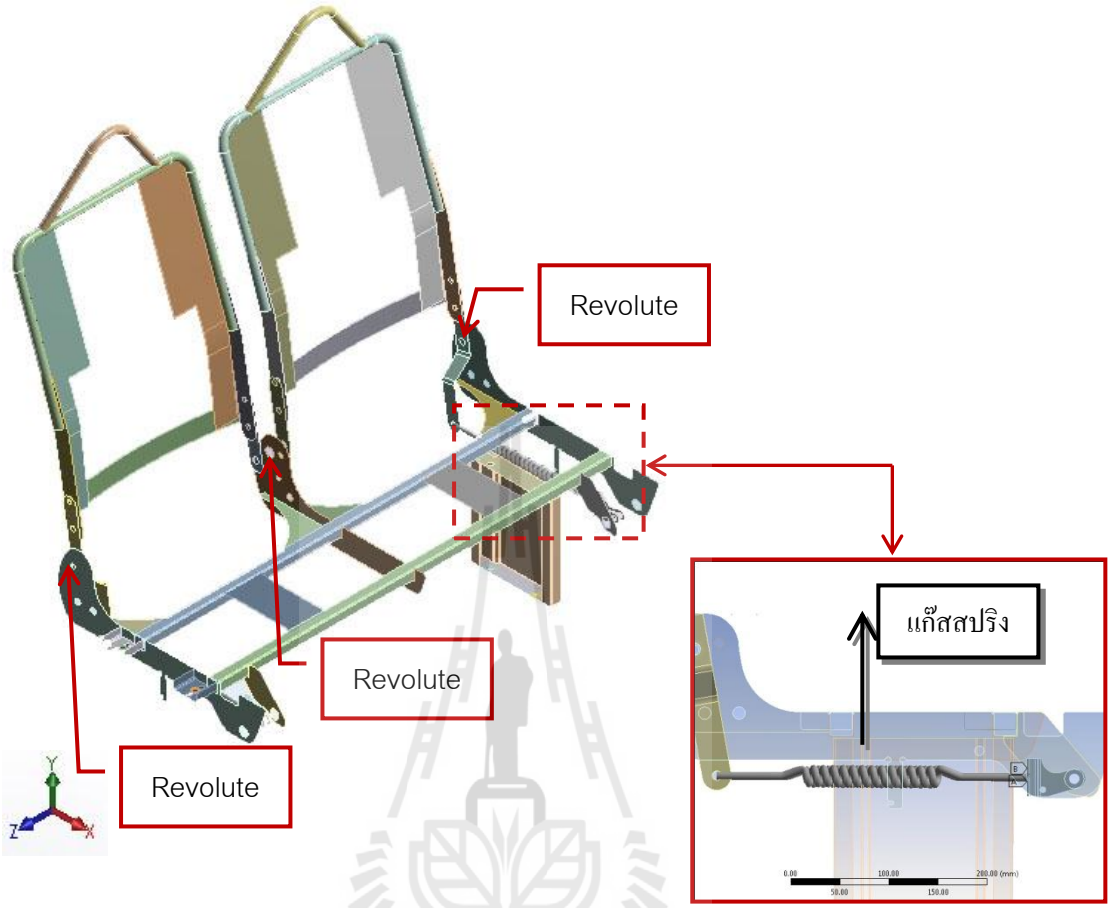
รูปที่ 3.10 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรงและค่าความเครียดตามแนวแรงของเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400)



รูปที่ 3.11 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในแนวขวางทิศทางของแรง และค่าความเครียดตามแนวแรงของเหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน (P/O)

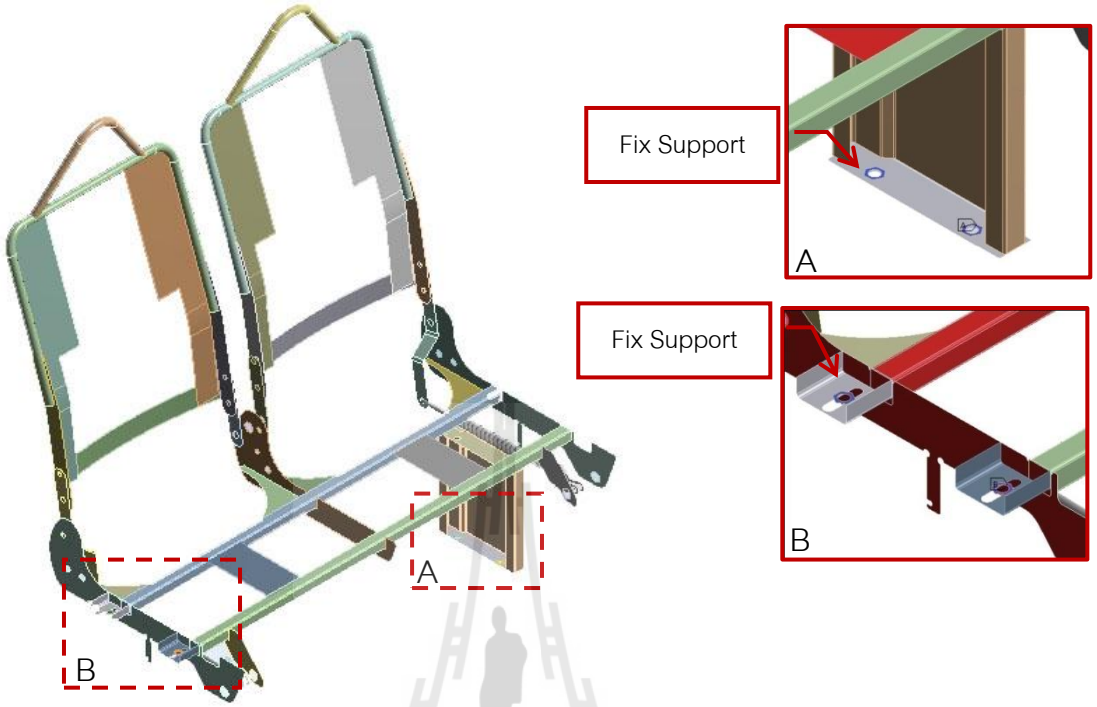
3.3 การกำหนดจุดรองรับและเชื่อมต่อ (Joint and Support)

การกำหนดจุดรองรับและจุดเชื่อมต่อ (Joint and Support) ได้กำหนดให้มีความใกล้เคียงกับการทดสอบจริงให้มากที่สุด เพื่อให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริง ดังรูปที่ 3.12 เป็นการกำหนดจุดเชื่อมต่อของพนักพิงหลังกับฐานที่นั่งผู้โดยสาร ซึ่งจะถูกยึดไว้ด้วยน๊ อตขนาด 10 มิลลิเมตร และสามารถปรับเอนได้โดยได้กำหนดจุดเชื่อมต่อดังกล่าวเป็นแบบ Revolute รอบแกน z และได้กำหนดจุดเชื่อมต่อเป็นแบบ Joint Spring ซึ่งเป็นระบบดีดตัวกลับโดยทางสถานประกอบการได้ใช้แก๊สสปริงยี่ห้อ STABILUS มีค่า Stiffness เท่ากับ 5.71 N/mm การกำหนดจุดเชื่อมต่อในแต่ละชิ้นส่วนในโครงสร้างนั้นจะกำหนดเป็นแบบยึดติดแน่น (Bond Contact) และสมมุติให้รอยเชื่อมต่อในแต่ละจุดต่อนั้นเป็นรอยเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ (Prefect Weld)

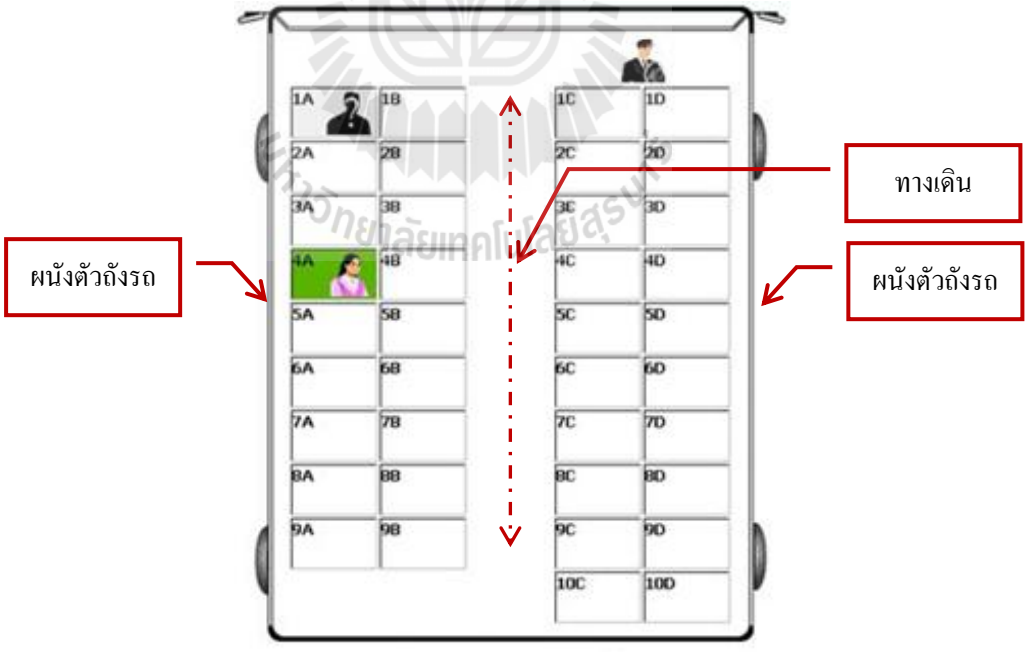


รูปที่ 3.12การกำหนดจุดเชื่อมต่อของพนักพิงหลังกับฐานที่นั่งผู้โดยสาร

การกำหนดจุดรองรับนั้นจะกำหนดเป็นแบบตรึงแน่น (Fix Support) ดังรูปที่ 3.13 (ก)ซึ่งเป็นบริเวณตำแหน่งของจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารโดยใช้น๊อตขนาด 10 มิลลิเมตร เป็นตัวยึดโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารให้ติดกับตัวถังของรถยนต์โดยสาร ซึ่งจะมีด้วยกัน 2 ตำแหน่งด้วยกันคือ ตำแหน่งที่ยึดติดกับผนังของตัวถังรถยนต์โดยสาร และตำแหน่งที่ยึดติดกับพื้นของตัวถังรถยนต์โดยสารบริเวณริมทางเดินของรถยนต์โดยสาร ตามรูปที่ 3.13 (ก) และ รูปที่ 3.13 (ข) และในการกำหนดจุดรองรับดังกล่าว นั้นการกำหนดจุดรองรับเป็นแบบตรึงแน่นบริเวณพื้นที่ของหัวน๊อต6 เหลี่ยม ดังที่ได้สร้างแบบจำลองพื้นที่ 6 เหลี่ยมไว้เนื่องจากว่าในการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้จะไม่พิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นและไม่ให้น๊อตเกิดการเสียรูป



(ก)



(ข)

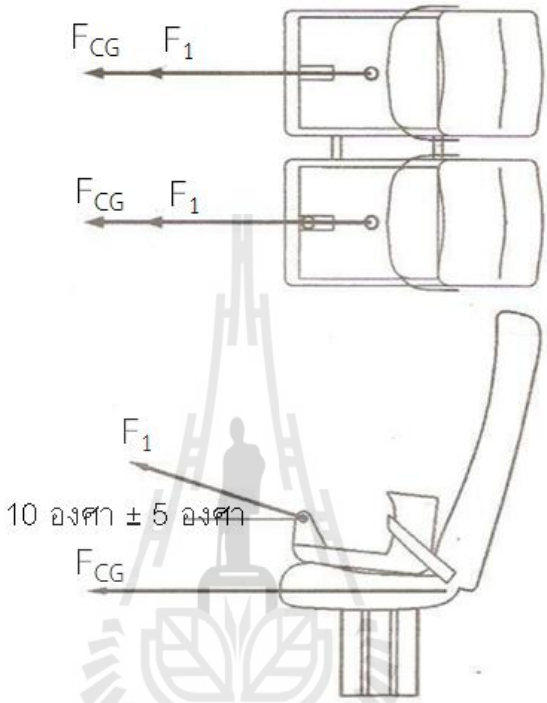
รูปที่ 3.13 ลักษณะการกำหนดจุดรองรับ และการจัดวางที่นั่งของผู้โดยสาร

(ก) ตำแหน่งการกำหนดจุดรองรับนั้นจะกำหนดเป็นแบบตรึงแน่น (Fix Support)

(ข) ตำแหน่งการจัดวางที่นั่งผู้โดยสารภายในรถโดยสารขนาดใหญ่

3.4 การกำหนดภาระกระทำ (Load)

การกำหนดภาระกระทำ (Load) นั้นได้กำหนดตามข้อกำหนดของ ECE R14 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2 ดังรูปที่ 3.14

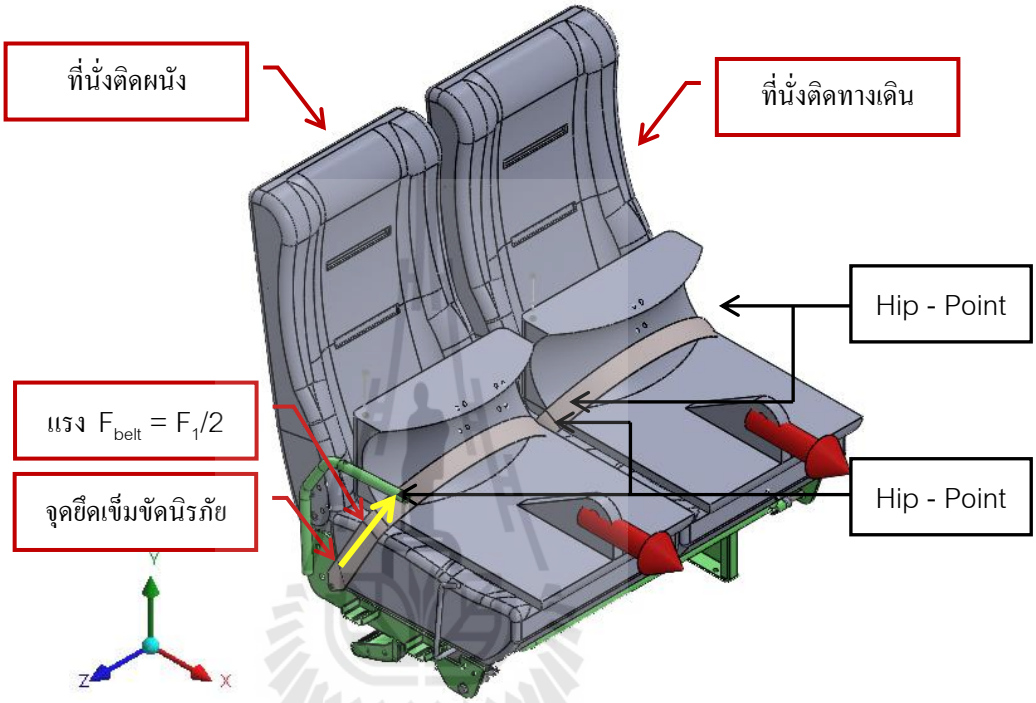


รูปที่ 3.14ภาระกระทำ (Load) กำหนดการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14

ซึ่งจากข้อกำหนดได้กล่าวไว้ว่า ต้องให้แรง $F_1 = 7400 \pm 200$ นิวตัน และแรง $F_{CG} = 6.6$ เท่าของน้ำหนักของที่นั่งและกระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงขนาดกับแนวนอน ในการกำหนดภาระกระทำในแบบจำลองทางระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นได้ตั้งสมมุติฐานว่า “แรงดึงของเข็มขัดนิรภัยระหว่างอุปกรณ์ดึงกับจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้น เป็นแรงที่กระทำต่อจุดยึดเข็มขัดนิรภัยโดยตรง” ดังนั้นแล้วแรงที่กระทำต่อจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารในแต่ละจุดของโครงสร้างที่นั่งคู่นั้นมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรง F_1ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3700 นิวตัน ดังรูปที่ 3.15 จากเหตุผลดังกล่าวแรงที่ได้นั้นเป็นแรงรวมที่กระทำต่อจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารในแต่ละจุด ซึ่งยังไม่ได้ระบุทิศทางของแรงดังกล่าว

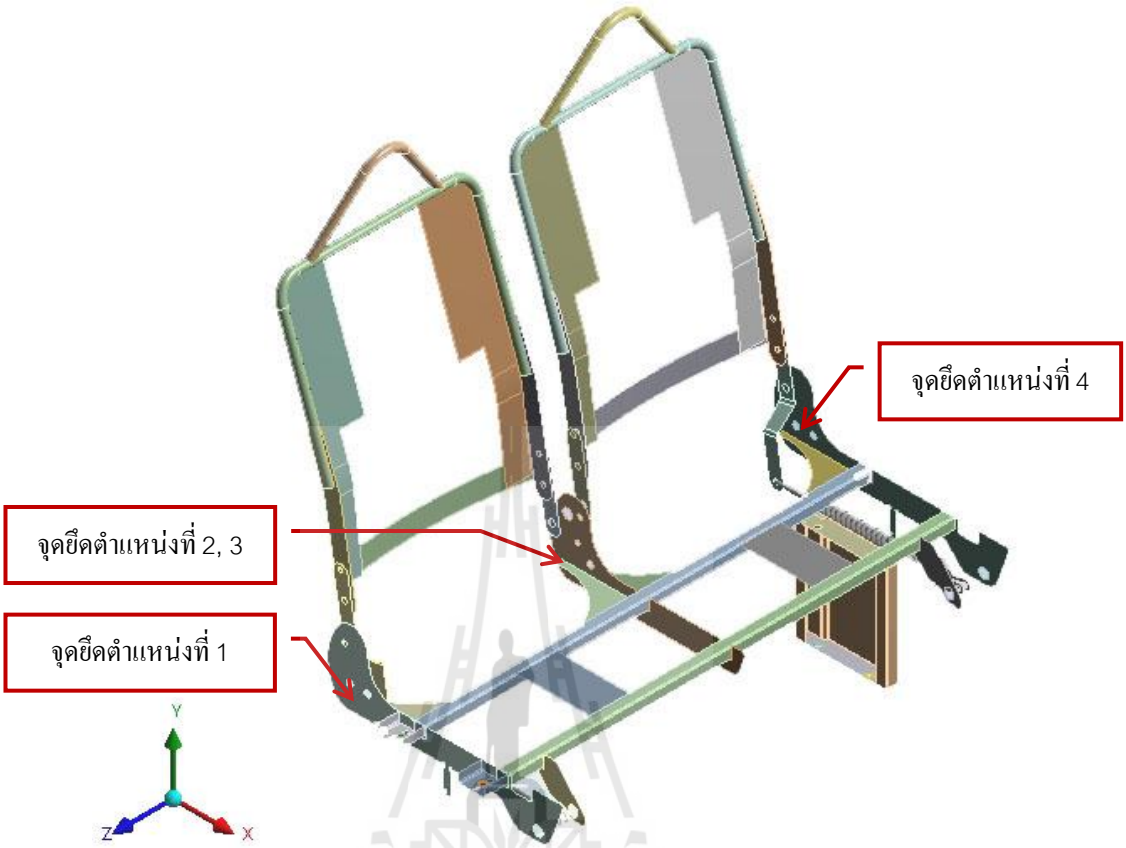
Matthew Reed(2013) ได้กล่าวไว้ว่า มุมของเข็มขัดนิรภัยจากจุด H Point ที่หมุนรอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและทำมุมกับพื้นของตัวถังยานยนต์ เมื่อมองทางด้านข้างนั้นพบว่าตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่อมุมดังกล่าวนั้นคือรูปร่างและความสูงของเบาะที่นั่งยานยนต์ ซึ่งจะทำให้ขนาดและทิศทางของ

แรงในแนวแกนเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะและรูปร่างของเบาะที่นั่งยานยนต์ในแต่ละรุ่นนั้นๆ และจากรูปที่ 3.15 ได้ประกอบอุปกรณ์ดึงสำหรับการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14 และเข็มขัดนิรภัยเข้ากับโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ โดยการประกอบนั้นจะวางอุปกรณ์ดึงให้แนบชิดกับเบาะที่นั่งทั้งด้านล่างและด้านหลังของอุปกรณ์ดึง



รูปที่ 3.15 ภาพประกอบอุปกรณ์ดึงสำหรับการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14 และเข็มขัดนิรภัยเข้ากับโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่

รูปที่ 3.15 ตามข้อกำหนดของ ECE R 14 นั้นได้ออกแบบอุปกรณ์ดึง ซึ่งส่วนที่รั้งเข็มขัดนิรภัยของอุปกรณ์ดึงนั้นได้จำลองให้เป็นหน้าตักของผู้โดยสารและตำแหน่ง Hip – Point คือส่วนสะโพกด้านข้างของผู้โดยสารนั้นเป็นส่วนดึงเข็มขัดนิรภัยที่ยึดติดกับจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารโดยแรงดังกล่าวได้กำหนดให้เป็นแรง F_{belt}



รูปที่ 3.16จุดยึดเข็มขัดนิรภัยของแต่ละตำแหน่งขอบโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่

ทำการวัดตำแหน่งของ Hip – Point ของแต่ละด้านตามรูป 3.15 โดยแต่ละจุดนั้นจะอ้างอิงจุดกำเนิด (Coordinate) ที่ตำแหน่งจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของแต่ละตำแหน่งตามรูป 3.16 เพื่อที่จะนำค่าของตำแหน่ง Hip – Point ของแต่ละจุดนำไปคำนวณหาแรงในแนวแกนเพื่อที่จะนำไปกำหนดเป็นภาระในแบบจำลองไฟไนต์อิลเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Solid work ผลที่ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระยะตำแหน่งของ Hip – Point ใช้ในการคำนวณแรงตึงของเข็มขัดนิรภัย

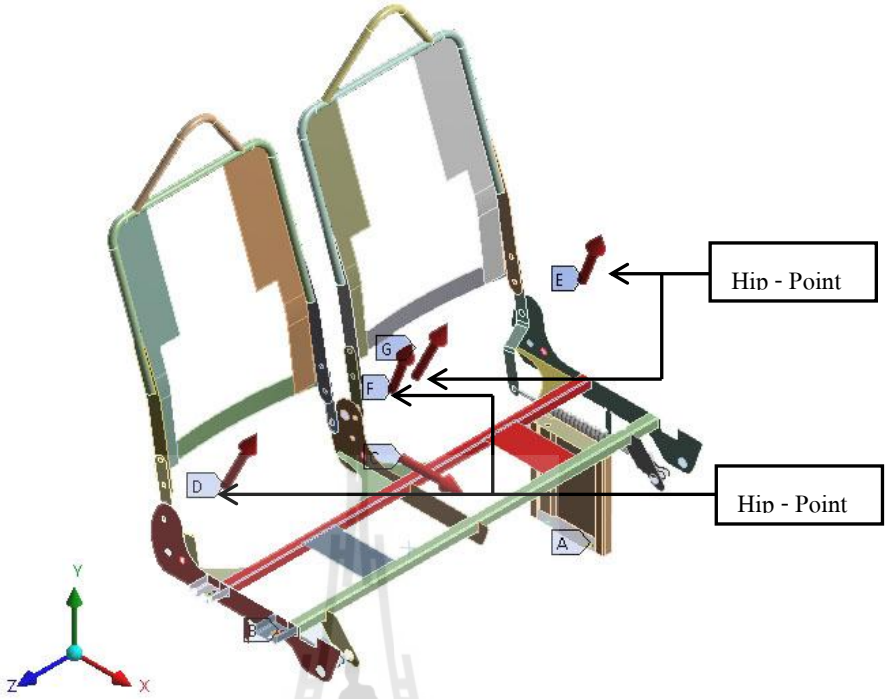
ตำแหน่ง Hip - Point	**ระยะแกน x (มม)**	**ระยะแกน y (มม)**	**ระยะแกน z (มม)**
จุดยึดตำแหน่งที่ 1	100.638	205.93	-5.81
จุดยึดตำแหน่งที่ 2	100.638	205.93	5.81
จุดยึดตำแหน่งที่ 3	100.638	205.93	-5.81
จุดยึดตำแหน่งที่ 4	100.638	205.93	5.81

จากตารางที่ 3.2 สังเกตได้ว่าระยะของตำแหน่งของ Hip – Point จากจุดกำเนิดที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัยที่ตำแหน่ง 1-4 นั้นมีค่าที่เท่ากันแต่มีความแตกต่างที่ทิศทางของระยะแกน z เท่านั้น เนื่องจากเป็นทิศทางตามแนวของเข็มขัดนิรภัยจากจุดยึดเข็มขัดนิรภัยถึงอุปกรณ์ดึง และได้ทำการคำนวณโดยใช้วิธีการเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ซึ่งในการคำนวณแรงนั้นได้ตั้งสมมุติฐานในการคำนวณคือ ไม่พิจารณาการยุบตัวของเบาะที่นั่งที่จะทำให้ระยะของ Hip – Point นั้นเปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้จากการคำนวณดังตารางที่ 3.3

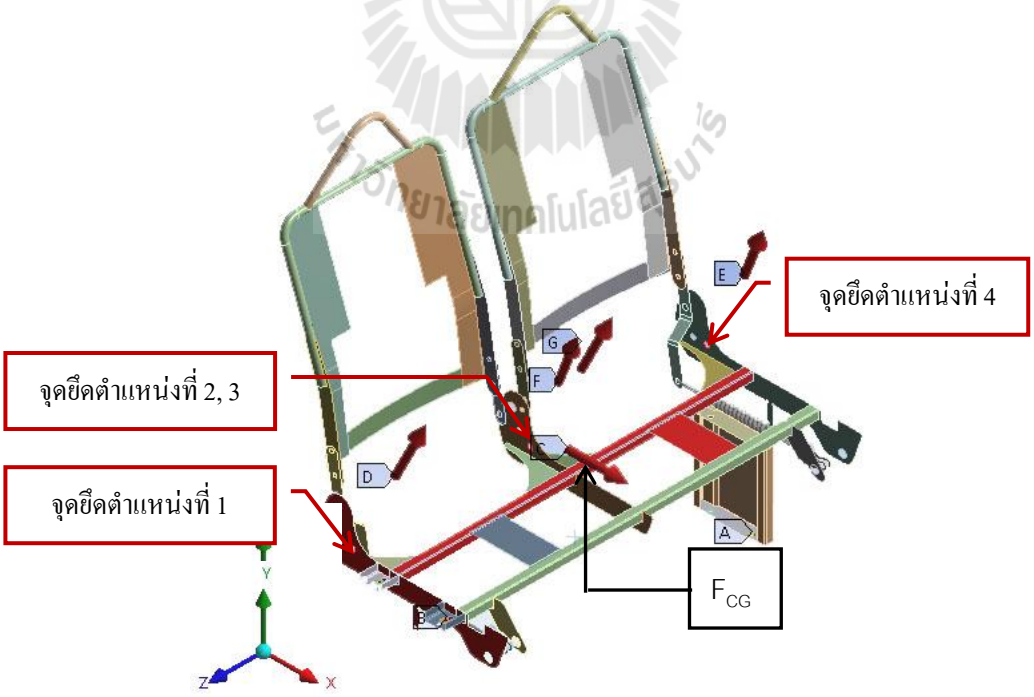
ตารางที่ 3.3 แรง F_{belt} ในแนวแกน x y และ z ของแรงดึงเข็มขัดนิรภัย

แรง F_{belt}	แรงในแนวแกน x (N)	แรงในแนวแกน y (N)	แรงในแนวแกน z (N)
จุดยึดตำแหน่งที่ 1	1624.3	3322.6	-92.5
จุดยึดตำแหน่งที่ 2	1624.3	3322.6	92.5
จุดยึดตำแหน่งที่ 3	1624.3	3322.6	-92.5
จุดยึดตำแหน่งที่ 4	1624.3	3322.6	92.5

เมื่อได้แรงในแนวแกนของแรง ดึงของเข็มขัดนิรภัย F_{belt}ดังตารางที่ 3.3 แล้วนำค่าแรงดึงดังกล่าวไปกำหนดในแบบจำลองทางไฟไนต์อิลลิเมนต์โดยแรง F_{belt}ในแต่ละตำแหน่งนั้นได้กำหนดแรงเป็นแบบ Remote Force มีจุดเริ่มต้นที่จุด Hip – Point กระทำที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัยที่ตำแหน่งที่ 1-4 ดังรูปที่ 3.17 และได้กำหนดแรง F_{CG} กระทำที่จุดศูนย์ถ่วงของโครงสร้าง มีค่า 6.6 เท่าของน้ำหนักที่นั่งผู้โดยสาร ซึ่งที่นั่งผู้โดยสารนั้นมีน้ำหนักเท่ากับ 25กิโลกรัม จะทำให้แรง F_{CG} นั้นมีค่าเท่ากับ 1618.7 นิวตัน ในแนวทิศทางแกน x ดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.17ตำแหน่งจุดเริ่มต้นให้ภาระแรงที่จุด Hip – Point



รูปที่ 3.18 ตำแหน่งจุดยึดเข็มขัดนิรภัยที่ให้ภาระแรง F_{belt} และแรง F_{CG}

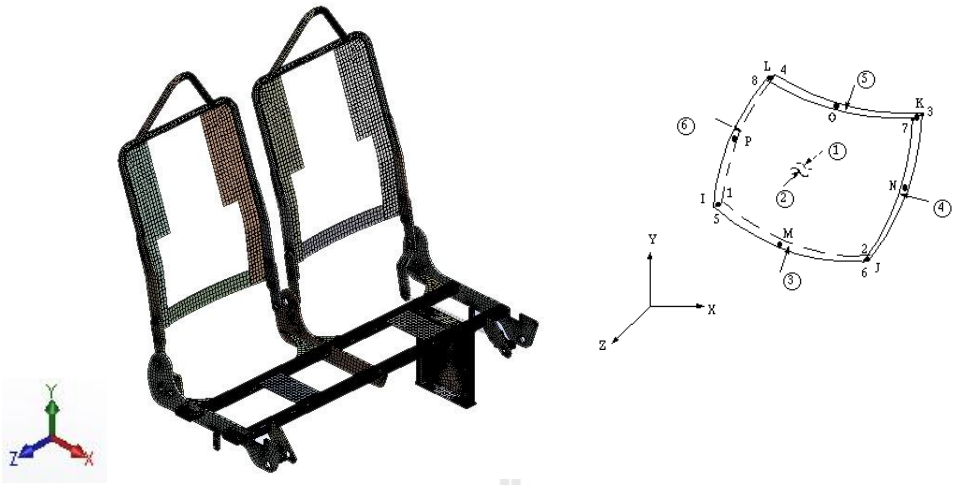
ตารางที่ 3.4 ภาระแรงกระทำที่กำหนดในแบบจำลองทางไฟไนต์อิลลิเมนต์

ตำแหน่ง	แรงในแนวแกน x (N)	แรงในแนวแกน y (N)	แรงในแนวแกน z (N)
แรงกระทำจุดยึดตำแหน่งที่ 1	1624.3	3322.6	-92.5
แรงกระทำจุดยึดตำแหน่งที่ 2	1624.3	3322.6	92.5
แรงกระทำจุดยึดตำแหน่งที่ 3	1624.3	3322.6	-92.5
แรงกระทำจุดยึดตำแหน่งที่ 4	1624.3	3322.6	92.5
แรง F_{CG}	1618.7	0	0

3.5 การกำหนดขนาดของโครงตาข่ายหรืออิลลิเมนต์ (Element size)

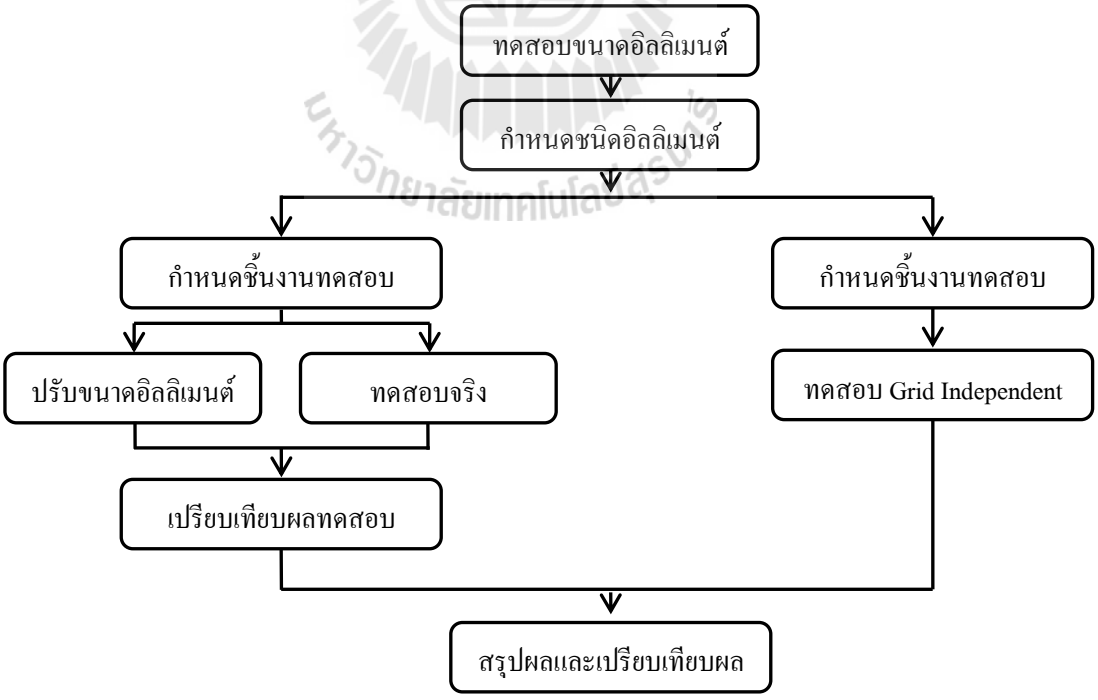
การวิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanic) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ลักษณะของแบบจำลองนั้นเป็นโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และเป็นลักษณะที่ไม่ซับซ้อน สามารถสร้างแบบจำลองเป็นแบบโครงสร้างผนังบาง (Thin-Wall Structure) การเลือกชนิดของอิลลิเมนต์มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อความถูกต้องของผลเฉลยของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ Erke Wang (2006) ได้กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์ปัญหาแบบเชิงเส้นอิลลิเมนต์ชนิด SOLSH190 และ SHELL181 ให้ผลที่มีประสิทธิภาพมากกว่าอิลลิเมนต์ชนิด SOLID186 และ SOLID187 เช่นเดียวกัน อิลลิเมนต์ชนิด SOLID186 และ SOLID187 ไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์สำหรับงานปัญหาแบบไม่เชิงเส้น อีกทั้งยังใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าอิลลิเมนต์ชนิด SOLSH190 และ SHELL181

Jingmin Liu, LuFeng Yang, Jin Zhang and Wei Zhang (2012) ได้กล่าวไว้ว่า อิลลิเมนต์แบบแผ่นบาง (Flat Shell Element) ในงานวิเคราะห์เหล็กท่อซึ่งเป็นโครงสร้างผนังบางขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการทดสอบจริง ในการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตามข้อกำหนดของ ECE R14 นั้นได้สร้างแบบจำลองเป็นแบบโครงสร้างผนังบาง (Thin-Wall Structure) โดยได้กำหนดชนิดของอิลลิเมนต์เป็นแบบอิลลิเมนต์สี่เหลี่ยมแผ่นบาง 8 จุดต่อ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ลักษณะของโครงตาข่ายในแบบจำลองทางระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์

จากทฤษฎีของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นถ้าขนาดของอิลลิเมนต์มีขนาดเล็กลง ก็จะทำให้ผลเฉลยลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งหมายความว่าถ้าขนาดของอิลลิเมนต์มีขนาดที่เล็กลงก็จะส่งผลให้ผลเฉลยมีค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.20 แผนผังการดำเนินงานการทดลองเพื่อหาขนาดของอิลลิเมนต์ทีเหมาะสมและเปรียบเทียบผลกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ



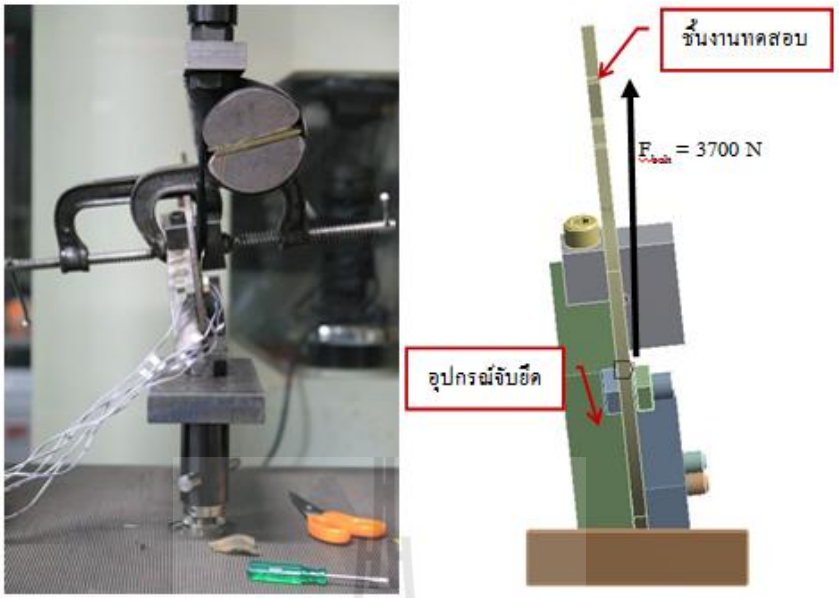
รูปที่ 3.20แผนผังการดำเนินงานการทดลองเพื่อหาขนาดของอิลลิเมนต์ที่เหมาะสม

การทดสอบเพื่อหาขนาดอิลลิเมนต์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตามข้อกำหนดของ ECE R 14 โดยได้กำหนดการทดลองออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองอย่างง่ายและเปรียบเทียบผลกับผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ และการทดลองการทดสอบการลู่เข้าของผลการวิเคราะห์โดยวิธีการ Grid Independent

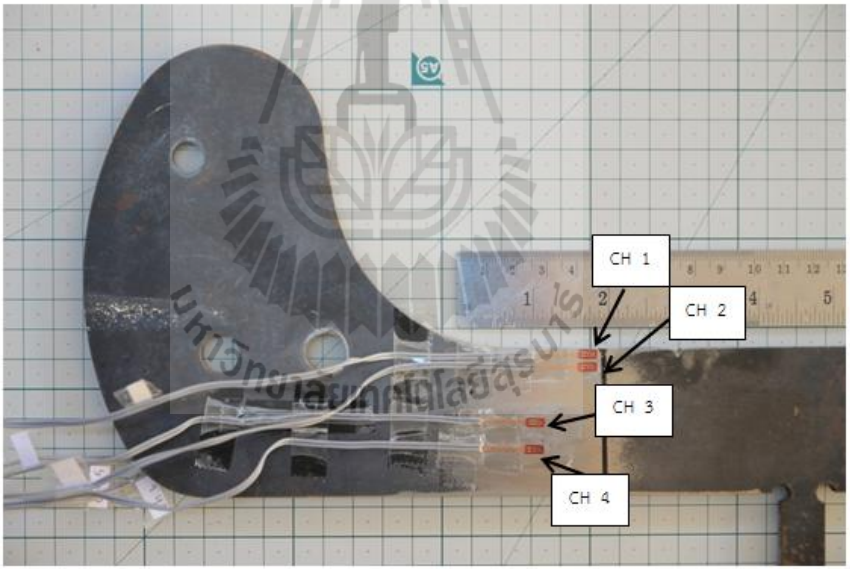
3.5.1 การทดลองโดยการสร้างแบบจำลองอย่างง่าย

การทดลองอย่างง่ายนั้นเป็นการเลือกชิ้นงานทดสอบจากโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร ซึ่งชิ้นงานดังกล่าวนั้นต้องเป็นชิ้นงานที่มีจุดยึดเข็มขัดนิรภัย ทั้งนี้เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยเมื่อได้รับแรงดึงทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ในการทดลองชิ้นงานดังกล่าวจะถูกยึดติดกับอุปกรณ์ยึดจับ ตามที่ได้ออกแบบให้มีทิศทางและมุมเท่ากับมุมของเข็มขัดนิรภัยเมื่อประกอบเข้ากับอุปกรณ์ดึง ดังรูปที่ 3.21 (ก)และชิ้นงานดังกล่าวนั้นจะถูกติดเซนเซอร์วัดความเครียด (Strain Gauge) เพื่อที่จะวัดค่าความเครียดและเปรียบเทียบผลการทดลอง รูปที่ 3.21 (ข)

เซนเซอร์วัดความเครียด (Strain Gauge) ใช้ในการวัดนั้นเป็นเซนเซอร์วัดความเครียดยี่ห้อยี่ห้อ TML ชนิด FLA-2-11-1L มีค่าคงที่เกจ (Gague Factor) 2.11 ±1% และมีค่าความต้านทานเกจ (Gauge Resistance) 119.8 ± 0.5 Ωซึ่งมีเครื่องขยายสัญญาณและบันทึกข้อมูลและแปรผลยี่ห้อ Agilent รุ่น 34972A ชิ้นงานถูกให้ภาระด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Lloyd LS100 ขนาดโหลดเซล 100 กิโลนิวตันโดยแรงดังกล่าวนั้นเป็นแรง F_{belt} = 3700 นิวตัน โดยให้อัตราแรงดึงเท่ากับ 61.66 นิวตัน/วินาที โดยข้อกำหนดของ ECE R 14 ได้กำหนดการให้ภาระโดยได้กำหนดว่าต้องให้ภาระแรงกระทำจนถึงแรงเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ภายใน 60 วินาที ดังรูปที่ 3.22 และผลที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 3.23

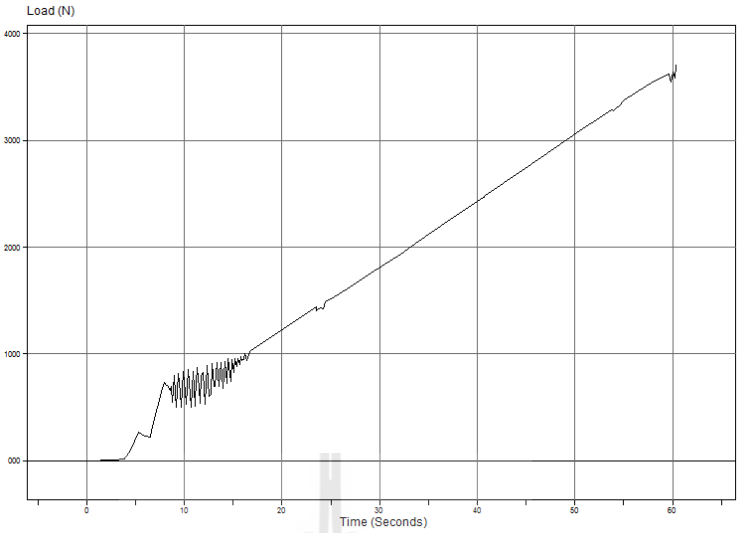


(ก)

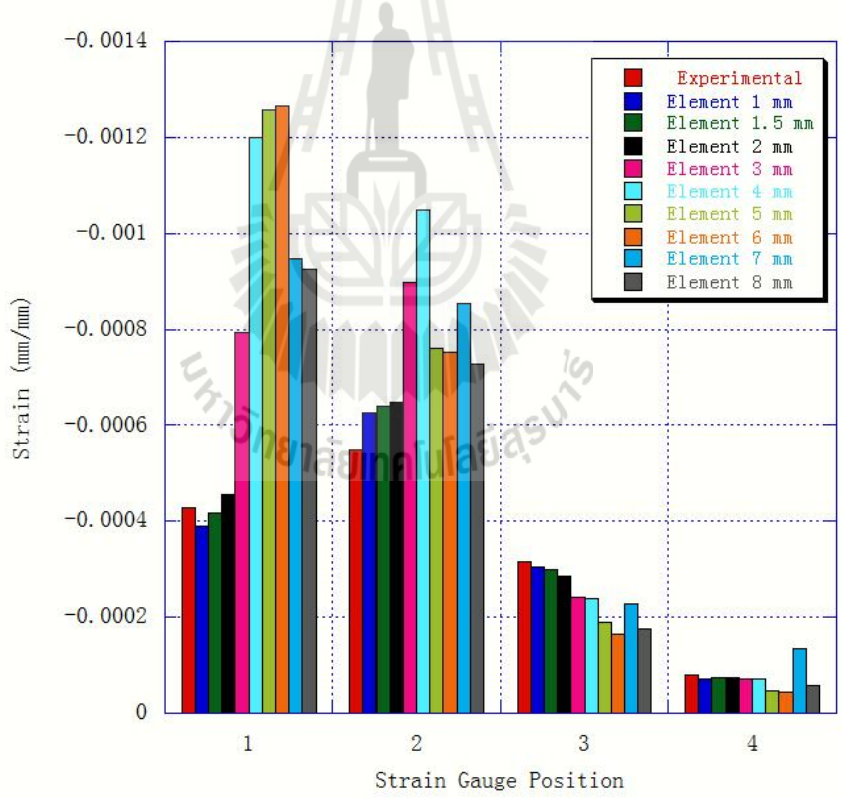


(ข)

รูปที่ 3.21 การทดสอบหาขนาดอิลลิเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อยืนยันผลการทดลอง
(ก) การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองและแบบจำลองอย่างง่าย
(ข) ตำแหน่งที่ติดเซนเซอร์วัดความเครียดเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง

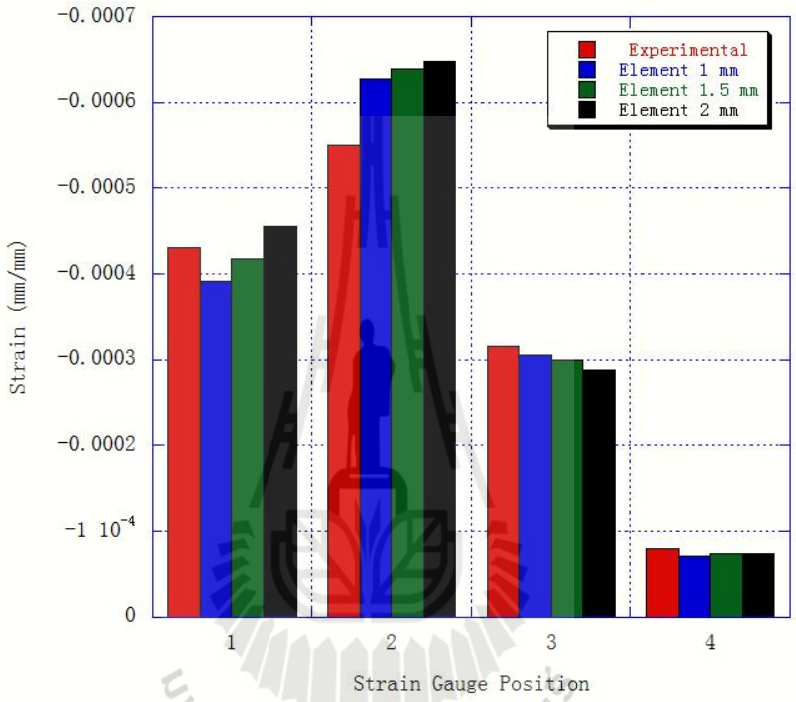


รูปที่ 3.22กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงและเวลาในการทดสอบแรงดึงการทดสอบ



รูปที่ 3.23 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบและแบบจำลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง

รูปที่ 3.23ผลเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์กับผลการทดสอบ พบว่าขนาดของอิลลิเมนต์ 3 – 8 มิลลิเมตร นั้นมีค่าความเครียดที่ตำแหน่ง CH1 – CH4 นั้นมีความแตกต่างจากผลการทดสอบอย่างเห็นได้ชัด และรูปที่ 3.24ขนาดของอิลลิเมนต์ 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าความเครียดที่ตำแหน่ง CH1 – CH4 มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ



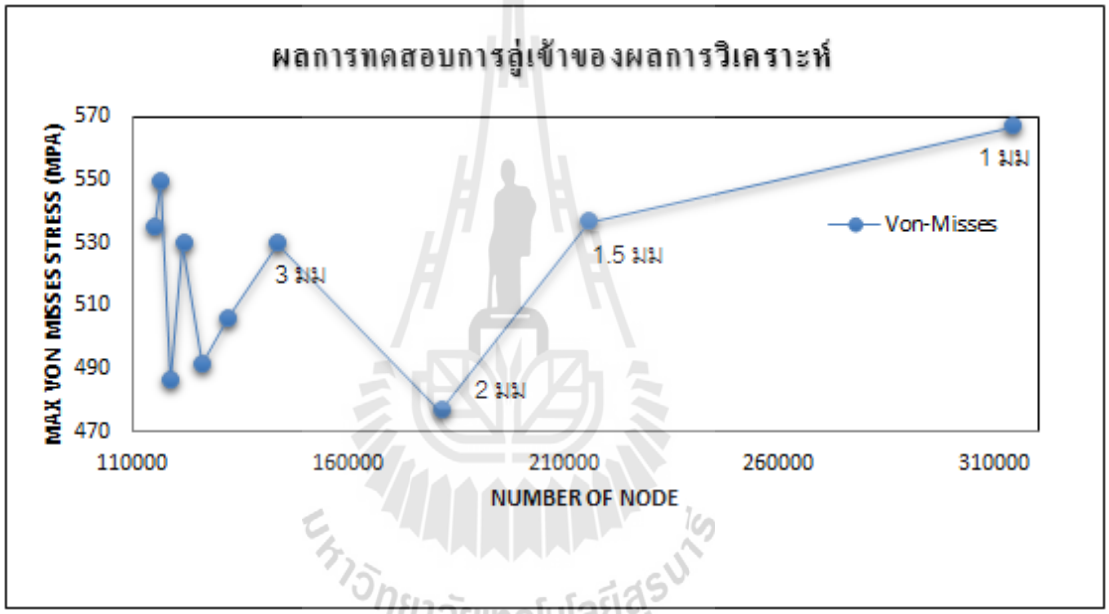
รูปที่ 3.24 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบและแบบจำลองของขนาดอิลลิเมนต์ 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร

3.5.2 การทดสอบการลู่เข้าของผลการวิเคราะห์โดยวิธีการ Grid Independent

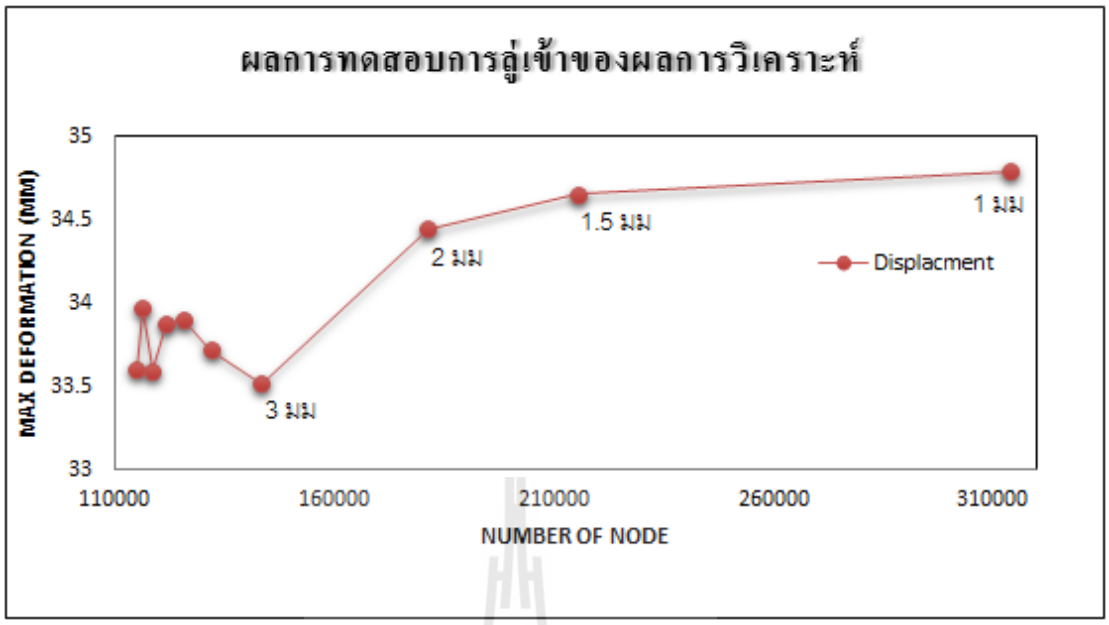
ทฤษฎีทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นหากขนาดของอิลลิเมนต์มีขนาดที่เล็กลงก็จะทำให้ผลเฉลยของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งหากปรับลดขนาดของอิลลิเมนต์ให้เล็กลงเรื่อยๆจนผลเฉลยนั้นไม่มีความแตกต่างหรือมีความแตกต่างในแต่ละช่วงอิลลิเมนต์ที่น้อยมาก ซึ่งหมายความว่าผลเฉลยของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรง ในการทดลองนั้นได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ตามหัวข้อ 3.1-3.4และทำการลดขนาดของอิลลิเมนต์ลงเรื่อยๆจนกว่าผลเฉลยของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นจะมีแนวโน้มคงที่และเริ่มเป็นเส้นตรง ในการทดสอบดังกล่าว

จะพิจารณาค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด (maximum Von mises stress) และค่าการเสียรูปสูงสุด (maximum Displacement) ดังรูปที่ 3.25

จากผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.25และ 3.26นั้นพบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดและค่าการเสียรูปสูงสุดนั้นเริ่มลู่เข้าที่ขนาดอิลลิเมนต์ 2, 1.5 และ 1 มิลลเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองดังหัวข้อ 3.5.1 แล้วพบว่าขนาดอิลลิเมนต์ 2, 1.5 และ 1 มิลลเมตร นั้นก็มีค่าความเครียดที่ตำแหน่ง CH1-CH4 ใกล้เคียงกับผลการทดลอง ดังนั้นการทดลองทั้งสองการทดลองนี้พบว่าขนาดอิลลิเมนต์ 2, 1.5 และ 1มิลลเมตรมีความเหมาะสมที่จะนำไปทำการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตามข้อกำหนด ECE R 14



รูปที่ 3.25 ผลการลู่เข้าของค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่ได้ทำการทดสอบ



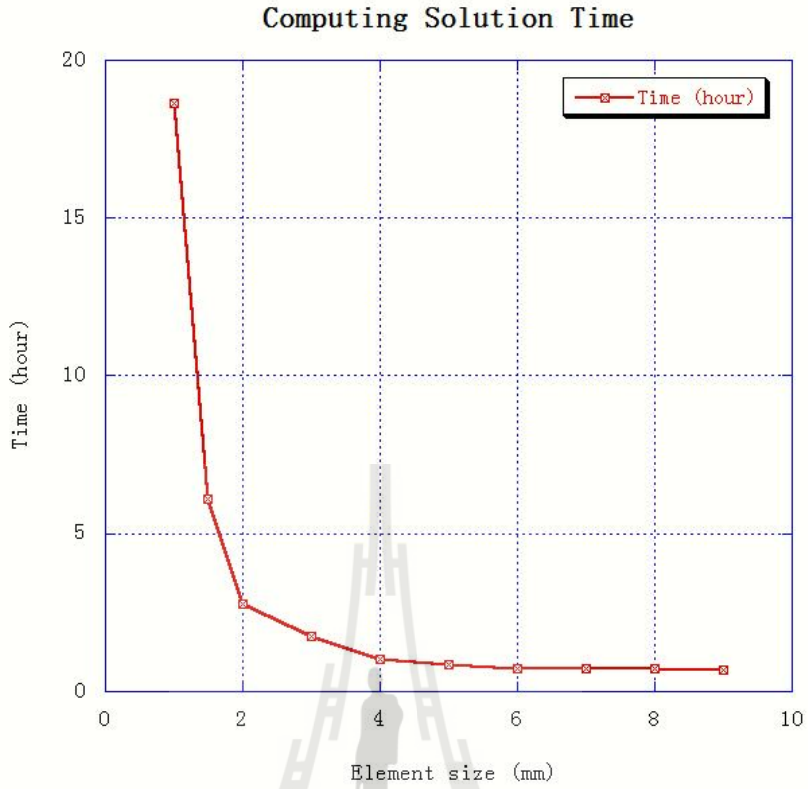
รูปที่ 3.26ผลการลู่เข้าของค่าการเสียรูปสูงสุดที่ได้ทำการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ และทำการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์โดยการทดสอบแรงดึงของชิ้นส่วนโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ และเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลองทำการทดลองการลู่เข้าของผลเฉลยทางระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ผลจากการทดลองทั้งสองการทดลองนั้นทำให้พบว่าที่ขนาดอิลลิเมนต์ 1, 1.5 และ 2 มิลลิเมตร นั้นมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร เนื่องจากขนาดอิลลิเมนต์ดังกล่าวนั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการและผลเฉลยนั้นเริ่มลู่เข้าสู่ผลเฉ ลยแม่นตรงของปัญหาดังกล่าว แต่เมื่อเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลของขนาดอิลลิเมนต์ทั้ง 3 ขนาดแล้วพบว่าอิลลิเมนต์ขนาด 2 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.1 และให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับขนาดอิลลิเมนต์ 1 และ 1.5 มิลลิเมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.1 แผนภาพเปรียบเทียบขนาดอิลลิเมนต์และเวลาในการประมวลผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

การทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารของรถโดยสารขนาดตามข้อกำหนดของ ECE R 14 นั้นมีเกณฑ์การยอมรับผลการทดสอบได้ระบุไว้ดังนี้

1. จุดยึดเข็มขัดนิรภัยต้องทนแรงได้ไม่น้อยกว่า 0.2 วินาทีต้องไม่เกิดความเสียหายใดๆ ปรากฏที่โครงสร้างที่นั่งหรือจุดยึดที่นั่ง

2. ระบบปรับตำแหน่ง และระบบเลื่อนหรืออุปกรณ์ล็อ ค ในระหว่างการทดสอบ การเสียรูปถาวร รวมถึงการแตกหักบางส่วน อาจเป็นที่ยอมรับได้ถ้าหากความเสียหายเหล่านี้ไม่เพิ่มความเสี่ยงของการบาดเจ็บในกรณีที่เกิดการชนและสามารถรองรับรองแรงตามที่กำหนดได้

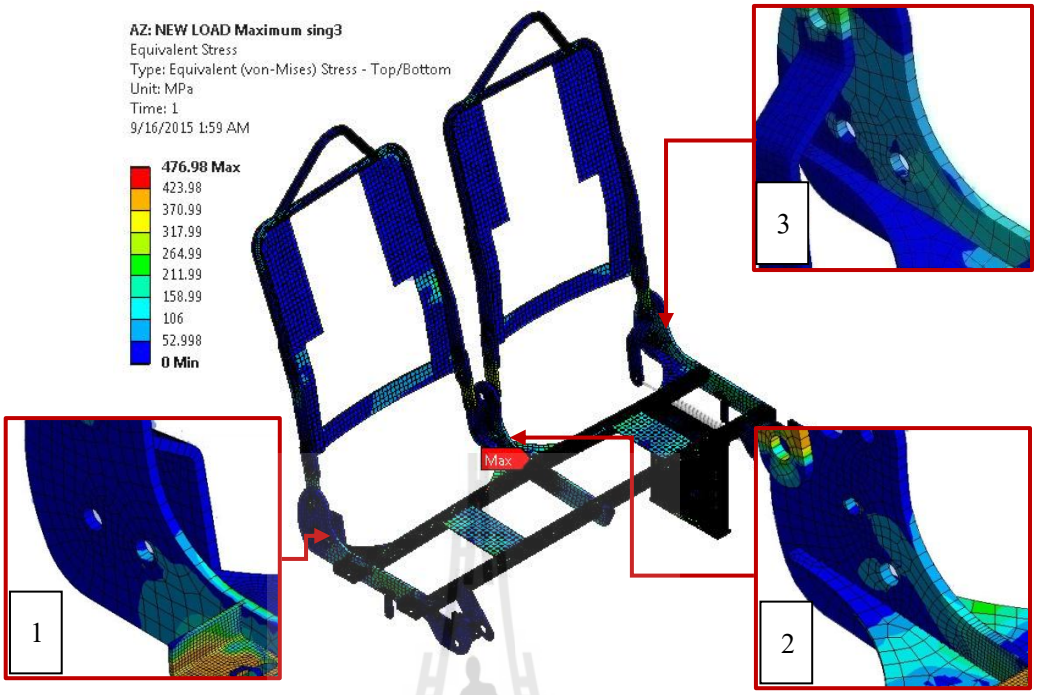
จากเกณฑ์การยอมรับผลการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 14 นั้นจะพิจารณาเพียงแค่ความเสียหายที่เกิดขึ้นในจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร การเสียรูปใดๆ รวมไปถึงการเสียรูปอย่างถาวร ซึ่งเรียกได้ว่าการเสียหายแบบคราก นั้นเป็นที่ยอมรับได้ ถ้าหากว่าจุดยึดเข็มขัดนิรภัยหรือชิ้นส่วนใดๆ ในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารเกิดความเสียหายแบบฉีกขาดแล้วผลการ

ทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยหรือโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นก็ไม่ผ่านตามข้อกำหนดของ ECE R 14 และการวิเคราะห์ความเสียหายของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นจะพิจารณาตามทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion Energy) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ค่าความเค้นฟอนมิสเซส (von mises Stress) ที่เกิดขึ้นบนจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร โดยจะเปรียบเทียบค่าความเค้นฟอนมิสเซส (von mises Stress) ที่เกิดขึ้นค่าความเค้นคราก (σ_y) และค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ (σ_U) โดยเกณฑ์ในการพิจารณาความเสียหายของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ดังนี้

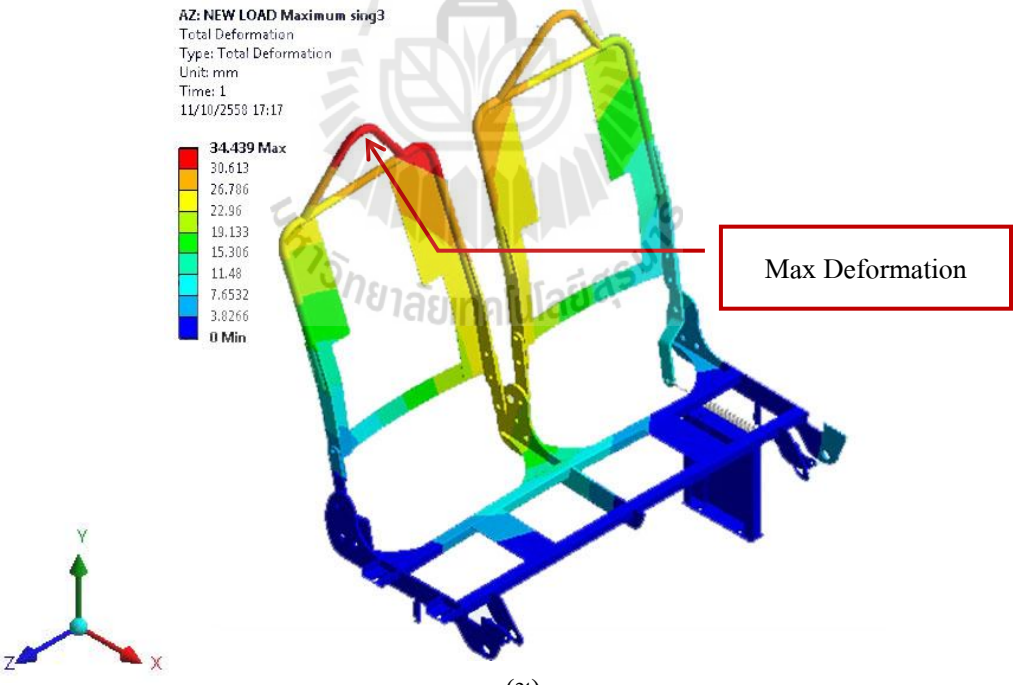
1. ค่าความเค้นฟอนมิสเซส (von mises Stress) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่บริเวณตำแหน่งใดๆ นั้นมีค่ามากกว่าค่าความเค้นคราก (σ_y) แต่ยังน้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ (σ_U) นั้นจะนิยามความเสียหายได้ว่า “เกิดการเสียหายแบบคราก แต่ยังไม่เกิดการเสียหายแบบฉีกขาด” ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้

2. ค่าความเค้นฟอนมิสเซส (von mises Stress) ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่บริเวณตำแหน่งใดๆ นั้นมีค่ามากกว่าค่าความเค้นคราก (σ_y) และมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ (σ_U) นั้นจะนิยามความเสียหายได้ว่า “เกิดการเสียหายแบบคราก และมีโอกาสที่จะเกิดการเสียหายแบบฉีกขาด” ในการวิเคราะห์นั้นไม่สามารถยอมรับได้

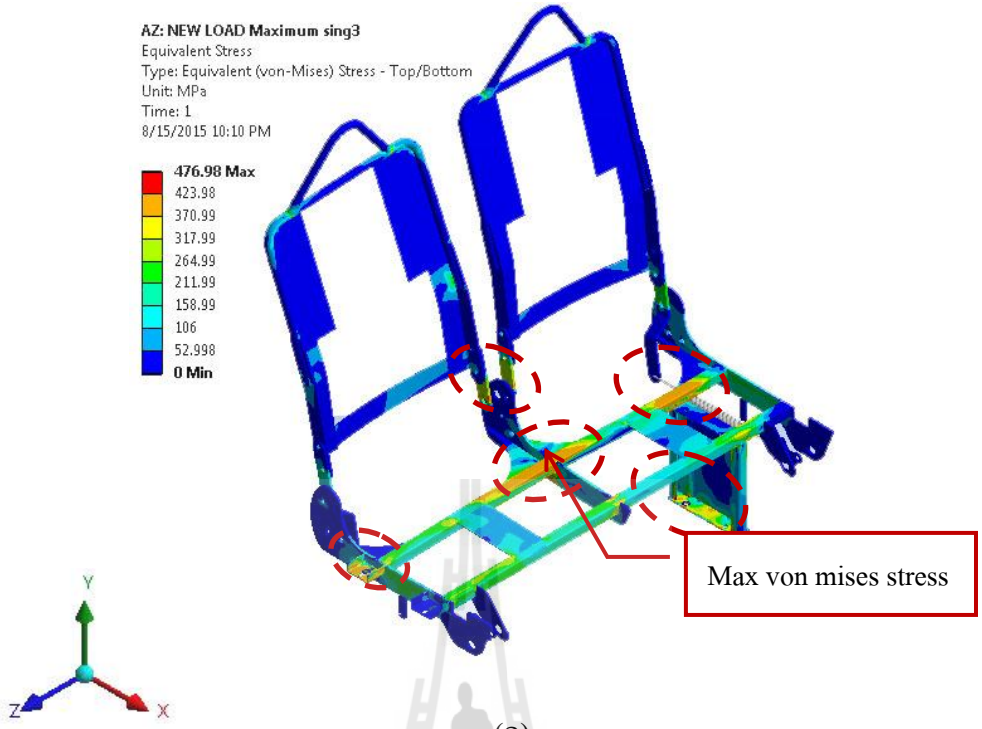
การพิจารณาความเสียหายในการวิเคราะห์โดยจะพิจารณาที่ค่าความเค้นฟอนมิสเซส (von mises Stress) ที่เกิดขึ้นบนจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร ตามหลักเกณฑ์ของ UN ECE R14 โดยใช้ซอฟแวร์เชิงพานิชที่มีชื่อว่า ANSYS 13 ที่ช่วยในงานระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์


AZ: NEW LOAD Maximum sing3
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1
9/16/2015 1:59 AM
476.98 Max
423.98
370.99
317.99
264.99
211.99
158.99
106
52.998
0 Min
Max
1
2
3

(ก)


AZ: NEW LOAD Maximum sing3
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
11/10/2558 17:17
34.439 Max
30.613
26.786
22.96
19.133
15.306
11.48
7.6532
3.8266
0 Min
Max Deformation
Y
Z
X

(ข)

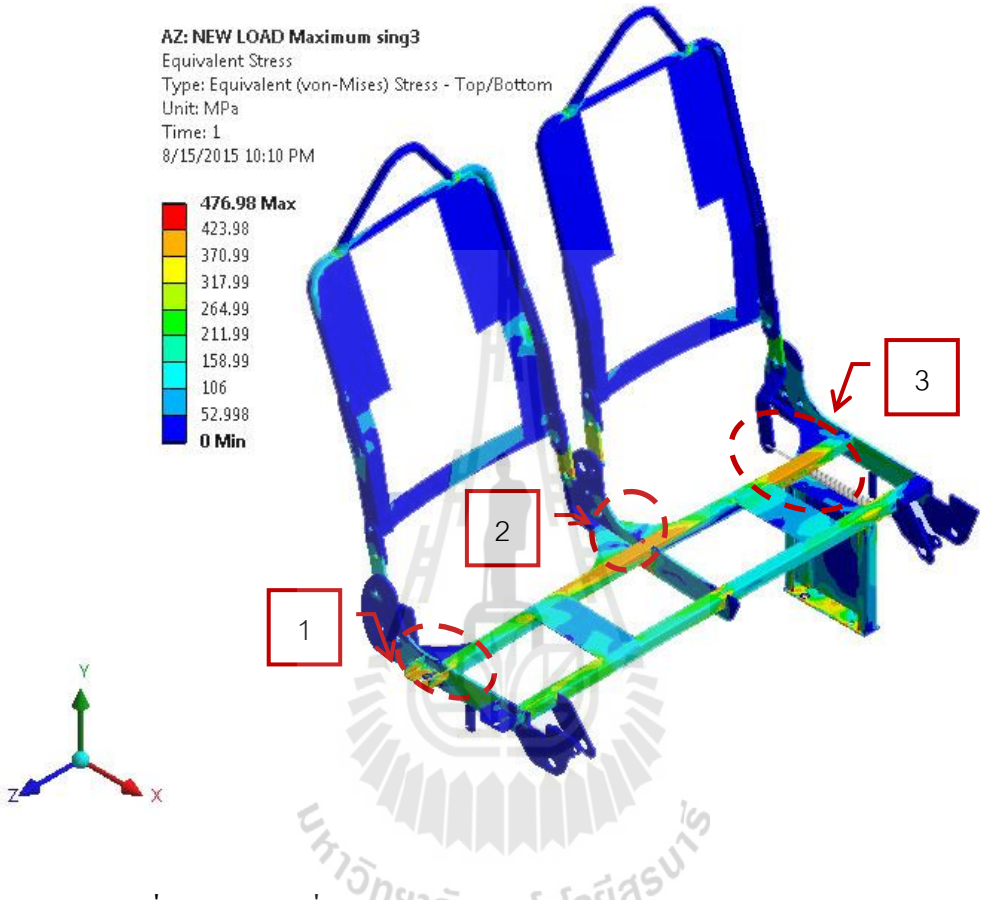


(ค)

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร
(ก) ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัย
(ข) การเสียรูปของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร
(ค) ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่อยู่ในช่วงที่สูงกว่าค่าความเค้นคราก

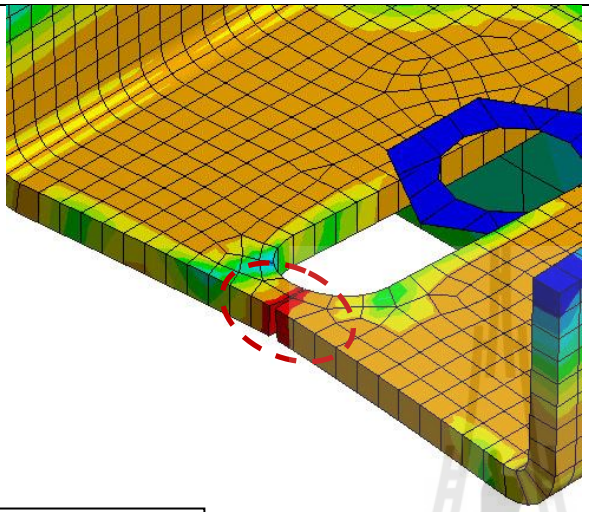
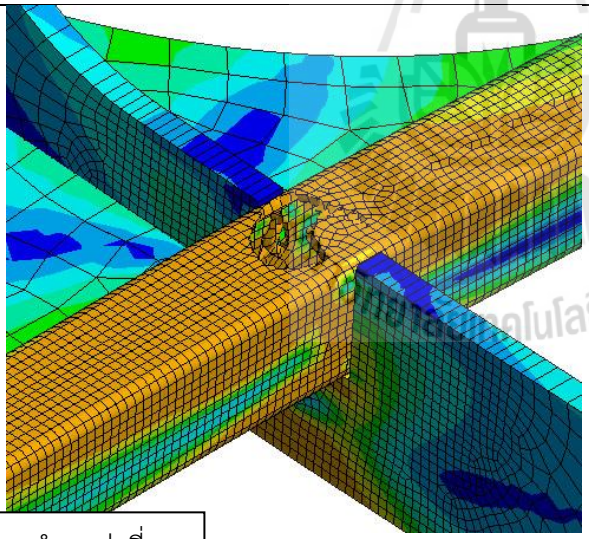
จากรูปที่ 4.2 (ก) ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นพบว่าตำแหน่งของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยนั้นมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่มีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุที่เป็นเหล็ก SS400 นั้นคือจุดยึดเข็มขัดนิรภัยไม่เกิดความเสียหายเกิดขึ้นทั้ง 3 จุด ดังตำแหน่งหมายเลข 1-3 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การตัดสินตามข้อกำหนดของ UN ECE R14 นั้นการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นผ่านเกณฑ์การตัดสินตามข้อกำหนดดังกล่าว และมีค่าการเสียรูปสูงสุดเท่ากับ 34.439 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 (ข) แต่เมื่อพิจารณาโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารจากผลที่ได้ทำการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.2 (ค)พบว่ามีบริเวณที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสอยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งอยู่ในบริเวณวงกลมสีน้ำตาล ในการวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างได้เลือกใช้เครื่องมือ Capped Iso surface ที่มีอยู่ในโปรแกรม ANSYS 13 เพื่อทำการซ่อนอิลลิเมนต์ที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่มีค่าที่มากกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าที่

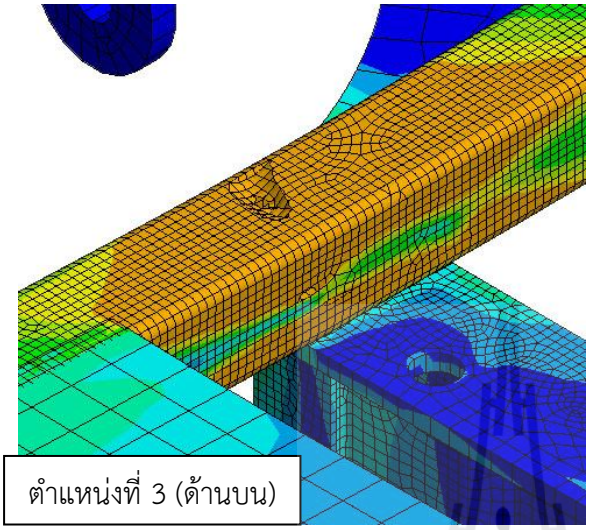
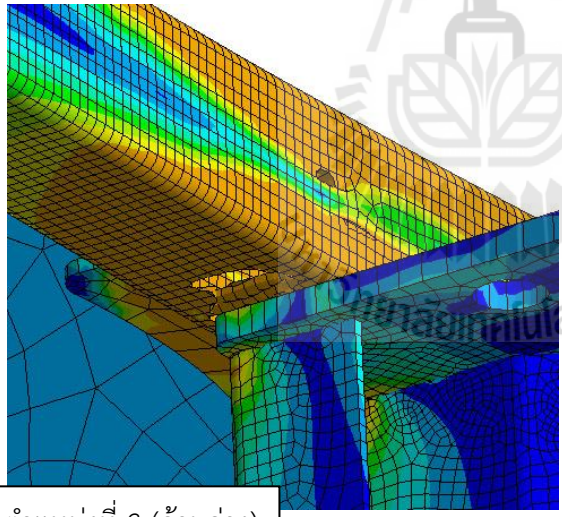
ตำแหน่งที่ 1-3 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 นั้นมีตำแหน่งที่อิลลิเมนต์ที่ถูกซ่อนไป เนื่องจากว่าที่ตำแหน่งดังกล่าวนี้มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าที่มากกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ซึ่งหมายความว่าบริเวณดังกล่าวนี้มีโอกาสที่จะเกิดการเสียหายแบบฉีดขาดได้



รูปที่ 4.3ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความสูงสุดของวัสดุในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารของรถโดยสารขนาดใหญ่

ภาพผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ	**คำอธิบาย**
 ตำแหน่งที่ 1	จากรูปด้า นซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าวนั้นมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่สูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุซึ่งเป็นเหล็ก SS400 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 447.25 MPaดังนั้นชิ้นส่วนดังกล่าวซึ่งเป็นชิ้นส่วนจุดยึดโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตำแหน่งผนังของตัวถังรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ นั้นเกิดการเสียหายแบบครากแล้วมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายแบบฉีกขาดได้
 ตำแหน่งที่ 2	จากรูปด้า นซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าวนั้นมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่สูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุซึ่งเป็นเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 1"x 1" ซึ่งมีค่าเท่ากับ 414.66 MPaซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสาร นั้นได้เกิดความเสียหายแบบครากและมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายแบบฉีกขาดได้

ภาพผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ	คำอธิบาย
 ตำแหน่งที่ 3 (ด้านบน)	ผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าวนั้นมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่สูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุซึ่งเป็นเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 1"x 1" ซึ่งมีค่าเท่ากับ 414.66 MPaซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสาร ซึ่งบริเวณดังกล่าวนั้นเป็นบริเวณที่เชื่อมติดกับขาตั้งและจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารทางด้านฝั่งติดทางเดินของรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ นั้นได้เกิดความเสียหายแบบครากและมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายแบบฉีกขาดได้
 ตำแหน่งที่ 3 (ด้านล่าง)	จากรูปด้า นซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าวนั้นมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่สูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุซึ่งเป็นเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 1"x 1" ซึ่งมีค่าเท่ากับ 414.66 MPaซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสาร เป็นบริเวณเชื่อมติดกับขาตั้งและจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารทางด้านฝั่งติดทางเดินของรถยนต์โด ยสารขนาดใหญ่ นั้นได้เกิดความเสียหายแบบครากและมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายแบบฉีกขาดได้

จากตารางที่ 4.1 ได้แสดงถึงตำแหน่งที่มีความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุและมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายแบบฉีกขาดได้ และชิ้นส่วนขาตั้งและจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารซึ่งเป็นเหล็กที่เรียกในท้องตลาดว่าเหล็กปี๊กเกอร์ (P/O) มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 481.19 MPaซึ่งผลจากการวิเคราะห์นั้นพบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่ได้จากการวิเคราะห์

นั้นมีค่าเท่ากับ 476.98 MPaซึ่งเกิดขึ้นที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสารดังรูปที่ 4.3 ตำแหน่งพิจารณาที่ 2 ดังนั้นค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนขาตั้งและจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารในชิ้นส่วนดังกล่าวนี้ก็ไม่เกิดความเสียหายเกิดขึ้น

แต่ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่ามีตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่มีค่ามากกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ อยู่ 3 ตำแหน่งด้วยกัน ซึ่งจำเป็นต้องทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสียหายของตำแหน่งดังกล่าว

4.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างฐานที่นั่งผู้โดยสารและนำไปปรับปรุงให้มีความแข็งแรงภายใต้มาตรฐาน ECE R14 และมีการออกแบบที่เหมาะสม

4.2.1 การเลือกปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

การเลือกปัจจัยในการออกแบบการทดลองความแข็งแรงของโครงสร้างฐานที่นั่งและจุดยึดเข็มขัดนิรภัยภายใต้ภาระการทดสอบตามมาตรฐาน ECE R14 ในเบื้องต้นจะเลือกปัจจัยความหนาของชิ้นส่วนโครงสร้างที่นั่งในแต่ละชิ้นส่วนเพื่อที่จะวิเคราะห์ความหนาที่เหมาะสม ซึ่งในโครงสร้างฐานที่นั่งดังกล่าวนี้จะมีวัสดุอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ เหล็ก SS400 ซึ่งเป็นเหล็กแผ่นตามมาตรฐาน มอก. 1479-2540 และเหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง ตามมาตรฐาน มอก .107-2533 โดยจะทำการทดลองกับชิ้นส่วนของโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.4ตำแหน่งชิ้นของชิ้นส่วนโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารในการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงรายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้างฐานที่นั่งผู้โดยสารชิ้นที่ 1-5

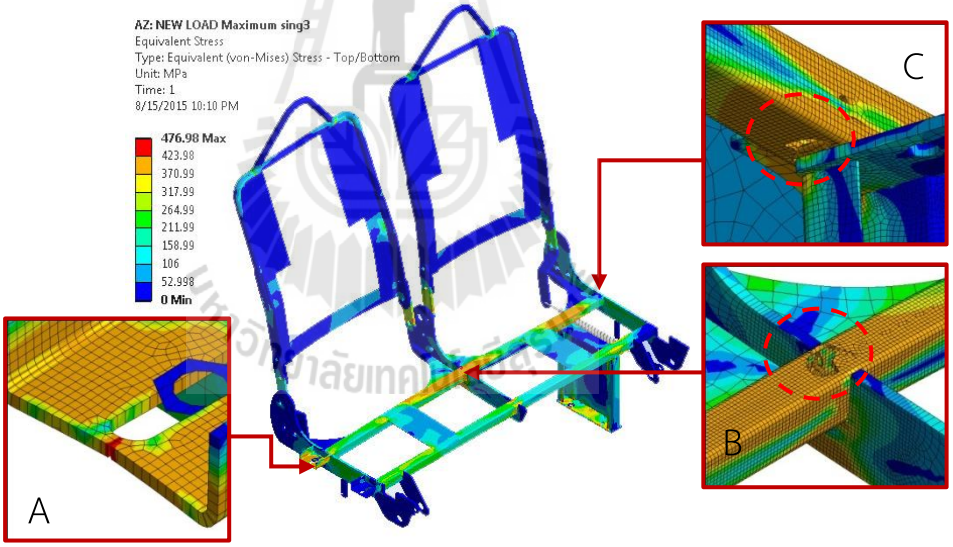
ชิ้นส่วนโครงสร้าง	**ชนิดวัสดุ**	**ความหนา (มม)**	**ความเค้นดราก (MPa)**	**ความเค้นสูงสุด (MPa)**
ชิ้นที่ 1	SS400	6	384.51	447.25
ชิ้นที่ 2	HS41	1.8	406.99	414.66
ชิ้นที่ 3	SS400	6	384.51	447.25
ชิ้นที่ 4	SS400	2.5	384.51	447.25
ชิ้นที่ 5	SS400	6	384.51	447.25

การกำหนดระดับของปัจจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^4โดยชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 3 จะกำหนดเป็นปัจจัยเดียวกัน และได้กำหนดระดับปัจจัยความหนาต่ำสุดและความหนาสูงสุดตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ระบุไว้ในแต่ละชนิดของวัสดุ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงปัจจัยและระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบสองระดับ

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		Low (-)	High (+)	
ชิ้นที่ 1 และชิ้นที่ 3	Bracket Side	3.15	6	มิลลิเมตร
ชิ้นที่ 2	Chassis Profile	2	2.3	มิลลิเมตร
ชิ้นที่ 4	Seat Anchorage	2.5	4	มิลลิเมตร
ชิ้นที่ 5	Support Center	3.15	6	มิลลิเมตร

ในการเลือกตัวแปรตอบสนองนั้นได้เลือกพิจารณาบริเวณที่มีค่าความสูงฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุดังที่ได้วิเคราะห์ดังหัวข้อที่ 1 ซึ่งในการออกแบบการทดลองนั้นจะทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^4(Full Factorial Design) ซึ่งจะได้ทั้งหมด 16 การทดลองดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.5ตำแหน่งที่เกิดการเสียหายในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและกำหนดเป็นตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับและผลการทดลอง

Run	ปัจจัย				ตัวแปรตอบสนอง		
	Bracket Side	Chassis Profile	Seat Anchorage	Support Center	A	B	C
1	6.00	2.3	4.0	3.15	431.385	430.770	426.610
2	6.00	2.0	4.0	3.15	440.525	447.355	435.360
3	3.15	2.3	4.0	6.00	403.190	419.080	419.870
4	3.15	2.0	4.0	6.00	407.075	431.870	429.420
5	3.15	2.3	2.5	6.00	427.205	420.785	420.530
6	6.00	2.3	2.5	3.15	430.295	430.160	425.730
7	6.00	2.0	2.5	3.15	443.355	448.595	435.735
8	3.15	2.0	4.0	3.15	406.410	450.690	429.230
9	6.00	2.0	2.5	6.00	438.510	432.085	435.235
10	3.15	2.3	2.5	3.15	431.110	432.205	422.395
11	6.00	2.0	4.0	6.00	411.985	430.915	430.035
12	3.15	2.0	2.5	6.00	441.065	433.415	435.965
13	3.15	2.3	4.0	3.15	403.620	430.530	424.685
14	3.15	2.0	2.5	3.15	449.535	456.280	441.630
15	6.00	2.3	4.0	6.00	406.110	418.645	422.125
16	6	2.3	2.5	6	423.425	432.33	423.54

4.2.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

การวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับที่จุด A

ผลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบรองระดับพิจารณาความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ดังตารางผลการทดลองที่ 4.5 ซึ่งเป็นตารางการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อศึกษาอิทธิพลทั้งหมด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่จุด A

Factorial Fit: A versus Bracket Side, Chassis Profile , ...

Estimated Effects and Coefficients for A (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		424.68	1.599	265.54	0.000
Bracket Side	7.05	3.52	1.599	2.20	0.079
Chassis Profile	-10.26	-5.13	1.599	-3.21	0.024
Seat Anchorage	-21.78	-10.89	1.599	-6.81	0.001
Support Center	-9.71	-4.85	1.599	-3.04	0.029
Bracket Side*Chassis Profile	-0.53	-0.26	1.599	-0.16	0.876
Bracket Side*Seat Anchorage	10.38	5.19	1.599	3.25	0.023
Bracket Side*Support Center	-6.67	-3.34	1.599	-2.09	0.091
Chassis Profile *Seat Anchorage	4.84	2.42	1.599	1.51	0.190
Chassis Profile *Support Center	0.59	0.29	1.599	0.18	0.861
Seat Anchorage *Support Center	-3.69	-1.84	1.599	-1.15	0.301

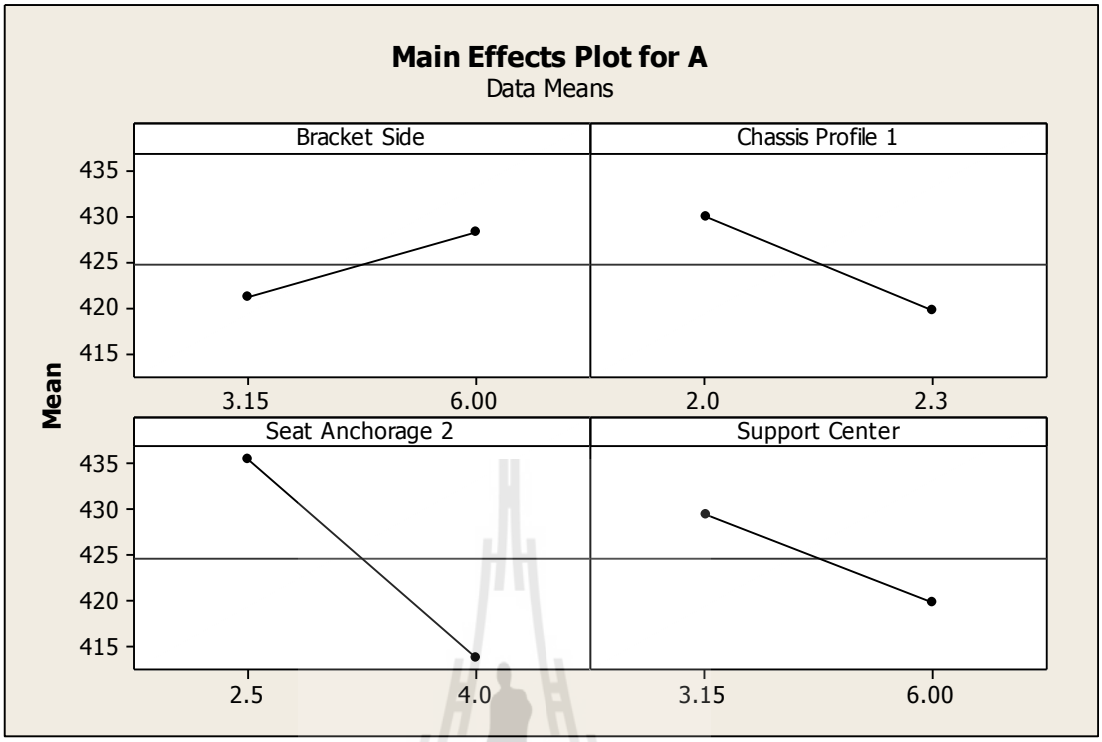
S = 6.39721 PRESS = 2095.33

R-Sq = 94.70% R-Sq(pred) = 45.69% R-Sq(adj) = 84.09%

Analysis of Variance for A (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	4	2893.79	2893.79	723.45	17.68
Bracket Side	1	198.67	198.67	198.67	4.85
Chassis Profile	1	421.48	421.48	421.48	10.30
Seat Anchorage	1	1896.60	1896.60	1896.60	46.34
Support Center	1	377.04	377.04	377.04	9.21
2-Way Interactions	6	759.78	759.78	126.63	3.09
Bracket Side*Chassis Profile	1	1.10	1.10	1.10	0.03
Bracket Side*Seat Anchorage	1	430.98	430.98	430.98	10.53
Bracket Side*Support Center	1	178.16	178.16	178.16	4.35
Chassis Profile *Seat Anchorage	1	93.80	93.80	93.80	2.29
Chassis Profile *Support Center	1	1.39	1.39	1.39	0.03
Seat Anchorage *Support Center	1	54.35	54.35	54.35	1.33
Residual Error	5	204.62	204.62	40.92	
Total	15	3858.19			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

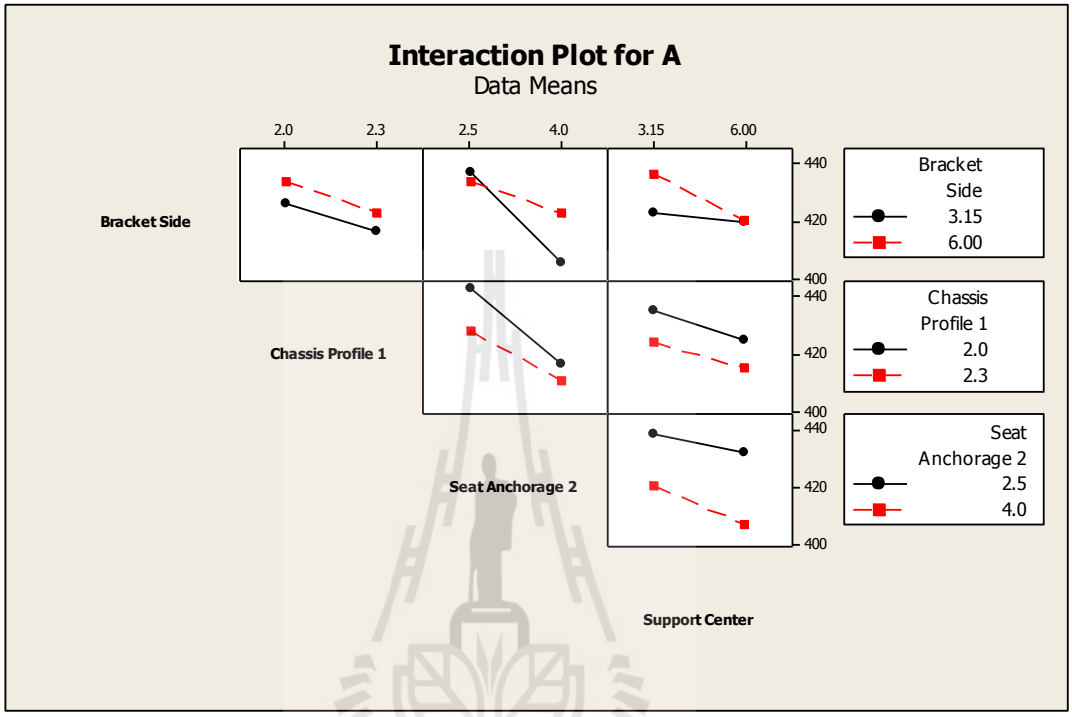


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง A

จากตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ซึ่งเป็นชิ้นส่วนจุดยึดโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตำแหน่งผนังของตัวถังรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ (Seat Anchorage 2) พบว่ามีปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A อย่างมีนัยสำคัญ คือ Seat Anchorage, Support Center และChassis Profile ที่ระดับนัยสำคัญ α=0.05 และจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นเพื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ Bracket Side และปัจจัยของ Seat Anchorage 2 นั้นมีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ

และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 กราฟแสดงอิทธิพล 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Aที่เป็นชิ้นส่วนจุดยึดโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตำแหน่งผนังของตัวถังรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่ (Seat Anchorage) พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะที่ชันลง หมายความว่าเมื่อเพิ่มค่าความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage จะส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A น้อยลง และเมื่อลดค่าความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage นั้นจะส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A นั้นเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปัจจัยของ Chassis Profile และ Support Center นั้นก็มีลักษณะพฤติกรรมที่เหมือนกันกับปัจจัยของ Seat Anchorage แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มค่าความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side

เพิ่มขึ้นกลับทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage นั้นเพิ่มขึ้น และเมื่อลดความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side ก็จะทำให้ค่าความเค้น ฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage นั้นลดลง



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง A

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 พิจารณาปัจจัยร่วมอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ Bracket Side และปัจจัยของ Seat Anchorage นั้นมีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อพิจารณารูปที่ 4.7 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง A ระหว่างปัจจัยของ Bracket Side และ Seat Anchorage พบว่าเมื่อปรับความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side ให้อยู่ในระดับสูง และปรับความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage ให้อยู่ในระดับสูง นั้นจะทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage มีค่าที่อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อปรับความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side ให้อยู่ในระดับสูง และปรับความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage ให้อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งมีผลที่ให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage มีค่าที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้น เมื่อปรับความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side ให้อยู่ในระดับต่ำและปรับความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage ให้อยู่ในระดับสูง พบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage มีค่าที่อยู่ในระดับที่ต่ำลง และเมื่อความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side ให้อยู่ใน

ระดับต่ำ และปรับความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage ให้อยู่ในระดับต่ำ พบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage มีค่าที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์สรุปว่าเมื่อความแข็งแรงของชิ้นส่วน Chassis Profile , Seat Anchorage และ Support Center นั้นมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage มีค่าลดลง ในทางกลับกันเมื่อชิ้นส่วน Bracket Side มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A ของชิ้นส่วน Seat Anchorage มีค่าที่เพิ่มขึ้น และจากการวิเคราะห์นั้นพบว่าปัจจัยความหนาของ ชิ้นส่วน Seat Anchorage นั้นเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A เพิ่มขึ้นซึ่งอันเนื่องมาจากปัจจัยรูปร่างของชิ้นส่วน Seat Anchorage ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้นำปัจจัยรูปร่างของชิ้นส่วน Seat Anchorage มาพิจารณาอันเนื่องมาจากเกิดความยุ่งยากและซับซ้อนในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์ แต่จากผลการวิเคราะห์ก็สามารถทำให้ทราบได้ว่าความแข็งแรงของ Seat Anchorage นั้นเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด A

<u>การวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับที่จุด B</u>

ผลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบรองระดับพิจารณาความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B ดังตารางผลการทดลองที่ 4.6 ซึ่งเป็นตารางการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อศึกษาอิทธิพลทั้งหมด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B ซึ่งเป็นเป็นชิ้นส่วนที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสาร (Chassis Profile) พบว่ามีปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B อย่างมีนัยสำคัญ คือ Chassis Profile, และ Support Center ที่ระดับนัยสำคัญ α=0.05 และจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นเพื่อพิจารณาอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ Chassis Profile และปัจจัยของ Support Center นั้นมีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่จุด B

Factorial Fit: B versus Bracket Side, Chassis Profile , ...

Estimated Effects and Coefficients for B (coded units)

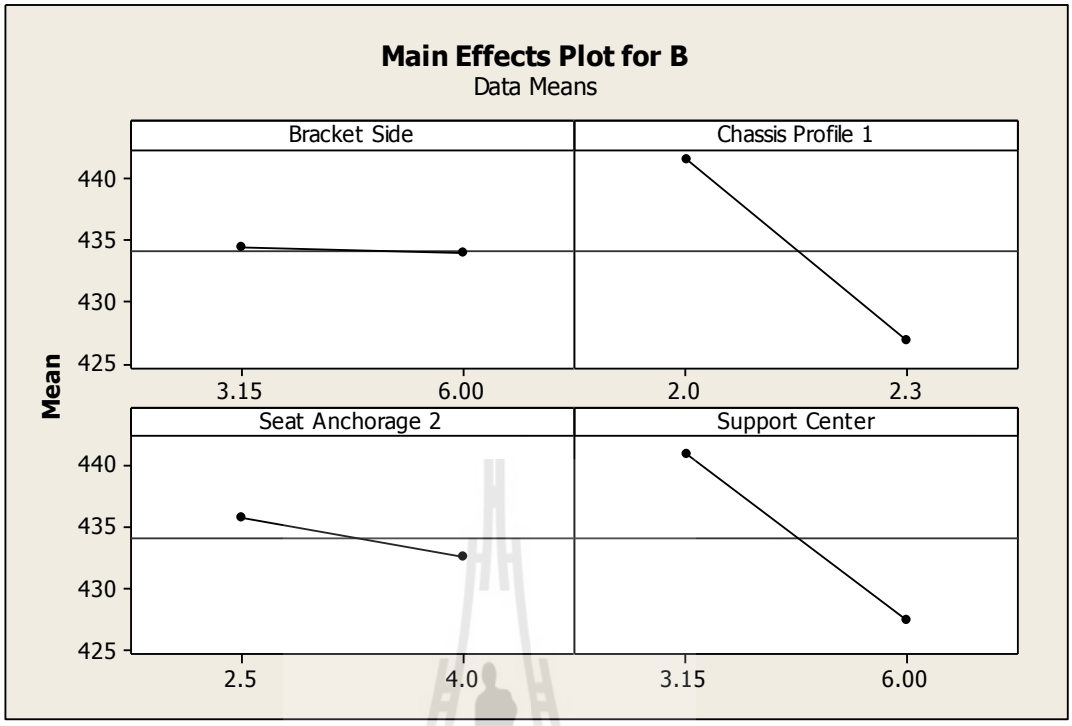
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		434.107	0.8857	490.15	0.000
Bracket Side	-0.500	-0.250	0.8857	-0.28	0.789
Chassis Profile	-14.588	-7.294	0.8857	-8.24	0.000
Seat Anchorage	-3.250	-1.625	0.8857	-1.83	0.126
Support Center	-13.432	-6.716	0.8857	-7.58	0.001
Bracket Side*Chassis Profile	2.826	1.413	0.8857	1.60	0.171
Bracket Side*Seat Anchorage	-0.621	-0.311	0.8857	-0.35	0.740
Bracket Side*Support Center	2.706	1.353	0.8857	1.53	0.187
Chassis Profile *Seat Anchorage	-0.864	-0.432	0.8857	-0.49	0.646
Chassis Profile *Support Center	5.226	2.613	0.8857	2.95	0.032
Seat Anchorage *Support Center	-1.276	-0.638	0.8857	-0.72	0.503

S = 3.54264 PRESS = 642.575
R-Sq = 96.63% R-Sq(pred) = 65.46% R-Sq(adj) = 89.88%

Analysis of Variance for B (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	4	1616.16	1616.16	404.040	32.19
Bracket Side	1	1.00	1.00	1.000	0.08
Chassis Profile	1	851.18	851.18	851.181	67.82
Seat Anchorage	1	42.25	42.25	42.250	3.37
Support Center	1	721.73	721.73	721.728	57.51
2-Way Interactions	6	181.54	181.54	30.257	2.41
Bracket Side*Chassis Profile	1	31.95	31.95	31.951	2.55
Bracket Side*Seat Anchorage	1	1.54	1.54	1.544	0.12
Bracket Side*Support Center	1	29.30	29.30	29.295	2.33
Chassis Profile *Seat Anchorage	1	2.98	2.98	2.984	0.24
Chassis Profile *Support Center	1	109.25	109.25	109.255	8.71
Seat Anchorage *Support Center	1	6.52	6.52	6.515	0.52
Residual Error	5	62.75	62.75	12.550	
Total	15	1860.45			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

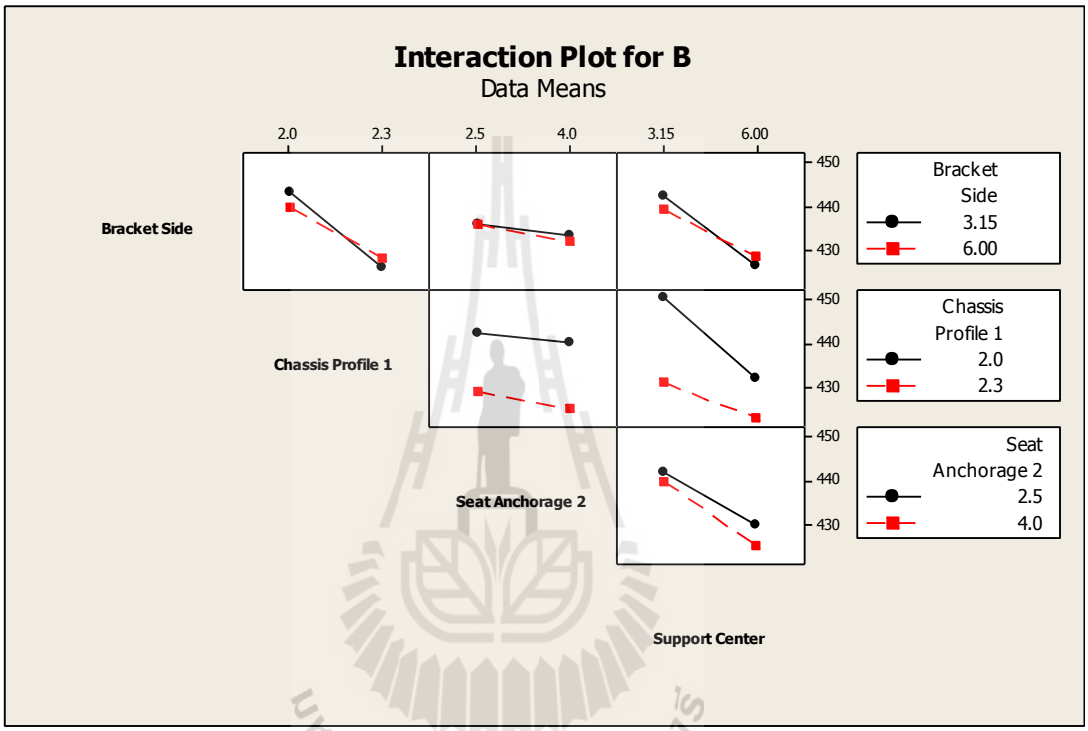


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง B

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.8 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง B พบว่าปัจจัยของ Chassis Profile นั้นเป็นปัจจัยหลักต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B เมื่อปรับค่าระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B นั้นลดลง ในทางกลับกันเมื่อปรับค่าระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile ลดลงก็จะส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B นั้นเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Support Center นั้นก็มีพฤติกรรมที่เหมือนกัน และเมื่อพิจารณาปัจจัยของ Bracket Side และ Seat Anchorage พบว่ามีความชันของกราฟมีค่าที่น้อยนั้นหมายความว่าค่าปัจจัยของชิ้นส่วนดังกล่าวนี้มีอิทธิพลต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B อย่างไม่มีนัยสำคัญ

แต่เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง B ซึ่งเป็นกราฟแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยของ Chassis Profile และปัจจัยของ Support Center นั้นมีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าเมื่อปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile มีระดับที่สูงและ ปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Support Center มีระดับต่ำ ซึ่งมีผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่จุด B นั้นอยู่ในระดับที่ต่ำ เมื่อปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile มีระดับที่สูงและ ปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Support Center มีระดับสูง มีผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่จุด B นั้นอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นเดียวกัน เมื่อ

ปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile มีระดับที่ต่ำ และ ปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Support Center มีระดับสูง มีผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่จุด B นั้นอยู่ในระดับที่ต่ำ และเมื่อปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile มีระดับที่ต่ำ และ ปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Support Center มีระดับที่ต่ำ ผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่จุด B นั้นอยู่ในระดับที่สูง



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับที่จุด C

ผลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สองระดับพิจารณาความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด C ดังตารางผลการทดลองที่ 4.7 ซึ่งเป็นตารางการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อศึกษาอิทธิพลทั้งหมด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่จุด C

Factorial Fit: C versus Bracket Side, Chassis Profile 1, ...

Estimated Effects and Coefficients for C (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		428.676	0.6511	658.35	0.000
Bracket Side	1.421	0.711	0.6511	1.09	0.325
Chassis Profile	-10.800	-5.400	0.6511	-8.29	0.000
Seat Anchorage	-3.019	-1.509	0.6511	-2.32	0.068
Support Center	-2.991	-1.496	0.6511	-2.30	0.070
Bracket Side*Chassis Profile	1.391	0.696	0.6511	1.07	0.334
Bracket Side*Seat Anchorage	1.310	0.655	0.6511	1.01	0.361
Bracket Side*Support Center	0.047	0.024	0.6511	0.04	0.972
Chassis Profile *Seat Anchorage	3.111	1.556	0.6511	2.39	0.062
Chassis Profile *Support Center	-0.166	-0.083	0.6511	-0.13	0.903
Seat Anchorage *Support Center	-0.618	-0.309	0.6511	-0.47	0.655

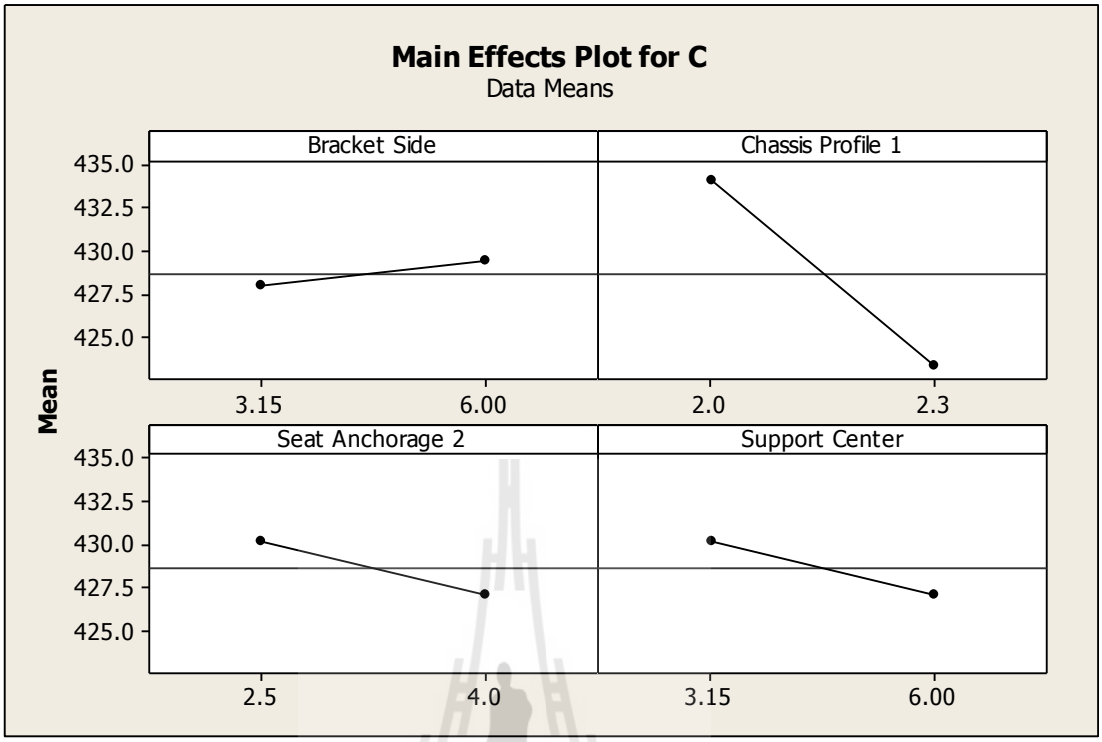
S = 2.60454 PRESS = 347.321

R-Sq = 94.67% R-Sq(pred) = 45.37% R-Sq(adj) = 84.00%

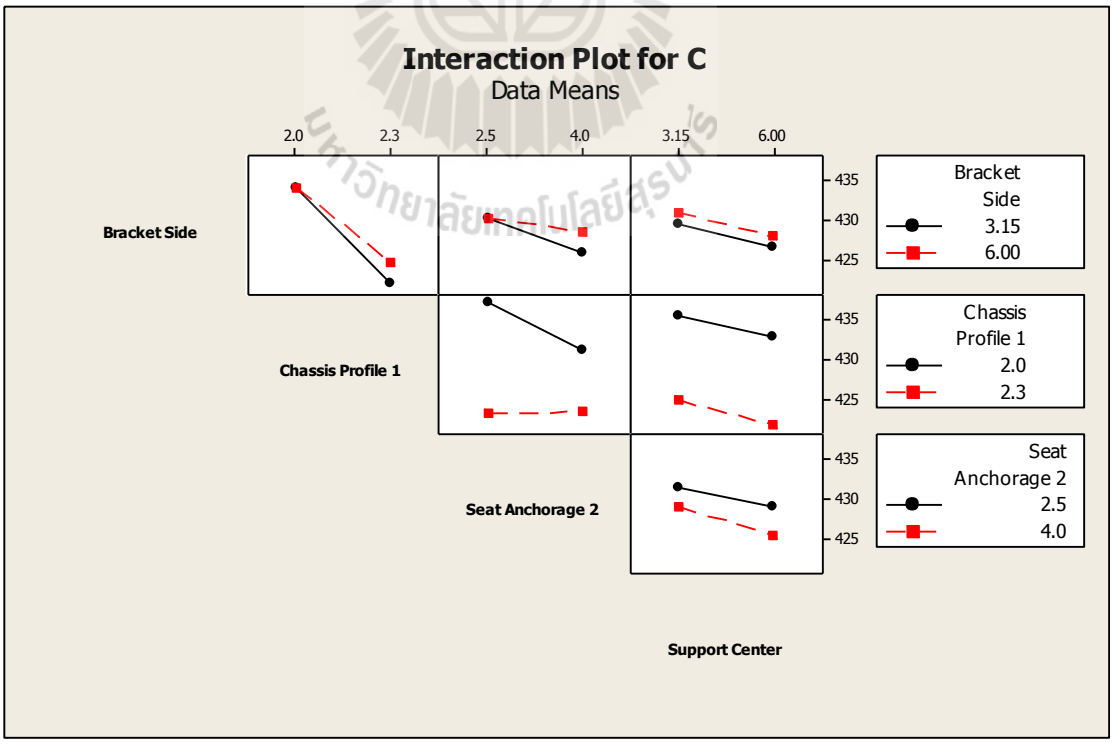
Analysis of Variance for D (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	4	546.882	546.882	136.720	20.15
Bracket Side	1	8.080	8.080	8.080	1.19
Chassis Profile	1	466.560	466.560	466.560	68.78
Seat Anchorage	1	36.451	36.451	36.451	5.37
Support Center	1	35.790	35.790	35.790	5.28
2-Way Interactions	6	54.971	54.971	9.162	1.35
Bracket Side*Chassis Profile	1	7.742	7.742	7.742	1.14
Bracket Side*Seat Anchorage	1	6.864	6.864	6.864	1.01
Bracket Side*Support Center	1	0.009	0.009	0.009	0.00
Chassis Profile *Seat Anchorage	1	38.720	38.720	38.720	5.71
Chassis Profile *Support Center	1	0.111	0.111	0.111	0.02
Seat Anchorage *Support Center	1	1.525	1.525	1.525	0.22
Residual Error	5	33.918	33.918	6.784	
Total	15	635.771			

จากตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด C ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสาร (Chassis Profile) พบว่ามีปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด B อย่างมีนัยสำคัญ คือ Chassis Profile ที่ระดับนัยสำคัญ α=0.05 และจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นไม่พบว่ามีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลร่วม



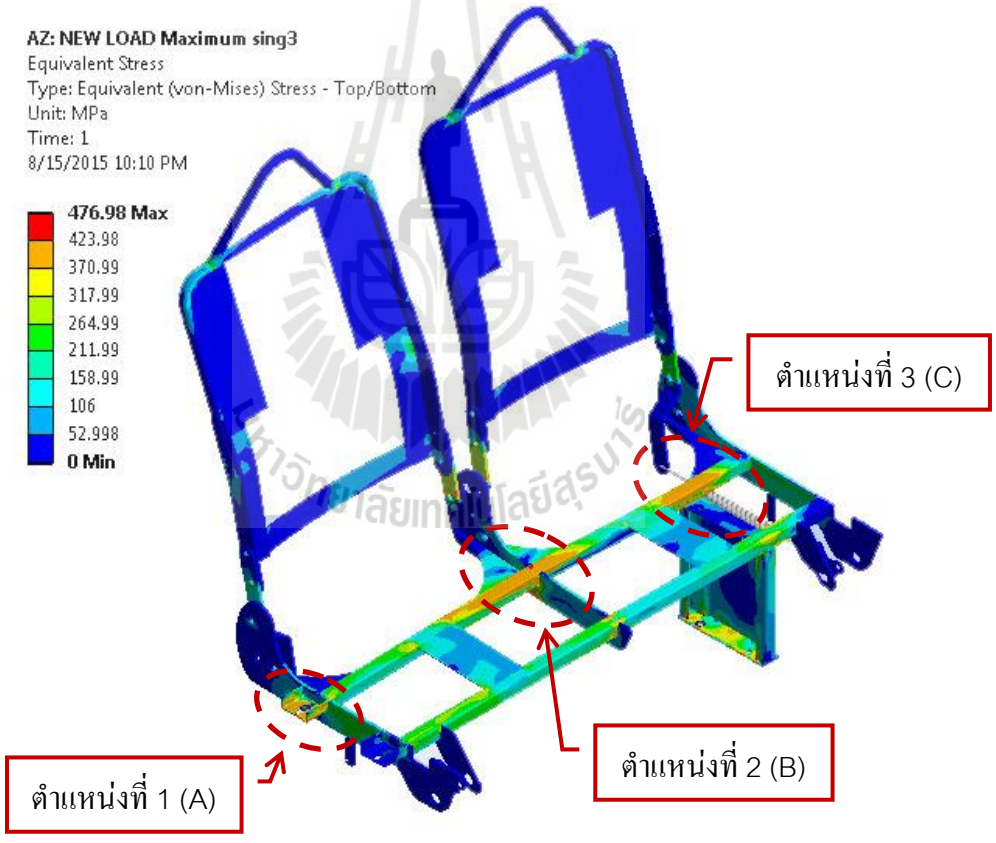
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง C



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง C

จากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10 แสดงถึงอิทธิพลของปัจจัยหลัก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่จุด C ซึ่งเป็นเป็นชิ้นส่วนที่เป็นคานรองนั่งของที่นั่งผู้โดยสาร (Chassis Profile)เมื่อปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile ให้มีค่าสูงขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด C มีค่าที่ลดลง และเมื่อปรับระดับความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile ให้มีค่าที่ต่ำลง จะส่งผลทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่จุด C มีค่าเพิ่มขึ้น

ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) โดยได้กำหนดปัจจัยของความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side, Chassis Profile, Seat Anchorage และ Support Center โดยได้กำหนดตัวแปรตอบสนอง ซึ่งเป็นค่าความเค้นฟอนมิซเซส (von mises Stress) ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่มีค่าความเค้นอยู่ในระดับที่สูง กว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ดังรูปที่ 4.12 จากผลการออกแบบการทดลองได้สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าของตัวแปรตอบสนองดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งที่พิจารณาความเค้นฟอนเมสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ 4.8 สรุปผลตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองโดยการออกแบบการทดลอง

ตัวแปรตอบสนอง	ปัจจัยการทดลอง			
	Bracket Side	Chassis Profile	Seat Anchorage	Support Center
จุด A	เป็นปัจจัยร่วม	มีอิทธิพล	มีอิทธิพลและปัจจัยร่วม	มีอิทธิพล
จุด B	–	มีอิทธิพลและปัจจัยร่วม	–	มีอิทธิพลและปัจจัยร่วม
จุด C	–	มีอิทธิพล	–	–

ตารางที่ 4.8 ตัวแปรตอบสนอง A จากผลการออกแบบการทดลอง พบว่าปัจจัยความหนาของชิ้นส่วนChassis Profile, Seat Anchorage และ Support Center นั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง A อย่างมีนัยสำคัญ และ ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage กับ Bracket Side นั้นก็มีอิทธิพลร่วมกัน ที่ส่งผลต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง A อย่างมีนัยสำคัญ ตัวแปรตอบสนอง B ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile และ Support Center มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง B อย่างมีนัยสำคัญ และปัจจัยทั้งสองก็มีอิทธิพลร่วมกัน ที่ส่งผลต่อค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง B อย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรตอบสนอง C ผลการวิเคราะห์พบว่า Chassis Profile นั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง C อย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน และจากตารางดังกล่าวนั้นสังเกตได้ว่า Chassis Profile นั้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัว อย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรตอบสนอง B และ C นั้นปัจจัยของ Chassis Profile นั้นเป็นปัจจัยหลักต่อตัวแปรตอบสนอง B และ C ดังนั้นแล้วความแข็งแรงของ Chassis Profile นั้นมีอิทธิพลต่อความเสียหายของชิ้นส่วนในตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ดังรูปที่ 4.12

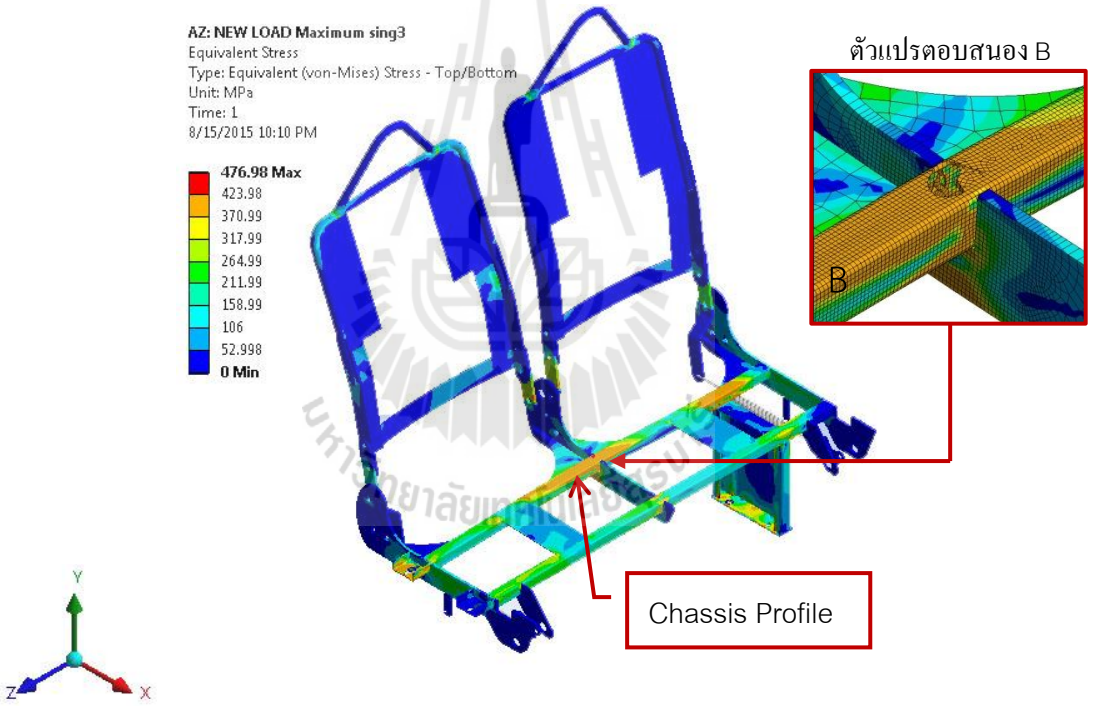
4.3 การปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างจากผลการออกแบบการทดลอง

ผลการออกแบบการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียหายของชิ้นส่วน Chassis Profileและชิ้นส่วน Seat Anchorage ที่ตัวแปรตอบสนอง A, B และ C นั้นคือ ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile ที่ลดลงทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง A, B และ C เพิ่มขึ้น ดังนั้นแล้วความแข็งแรงของชิ้นส่วน Chassis Profileนั้นมีอิทธิพลหลักต่อความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง A, B และ C หรือความเสียหายที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A, B และ C จากผลการออกแบบการทดลองที่ได้วิเคราะห์นั้นพบว่าความเสียหายของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ที่ได้ผ่านการวิเคราะห์และทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ นั้นเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile และความเสียหายของชิ้นส่วนดังกล่าวยังส่งผลความเสียหายที่ชิ้นส่วนอื่นๆในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารดังที่ได้สรุปไว้ใน

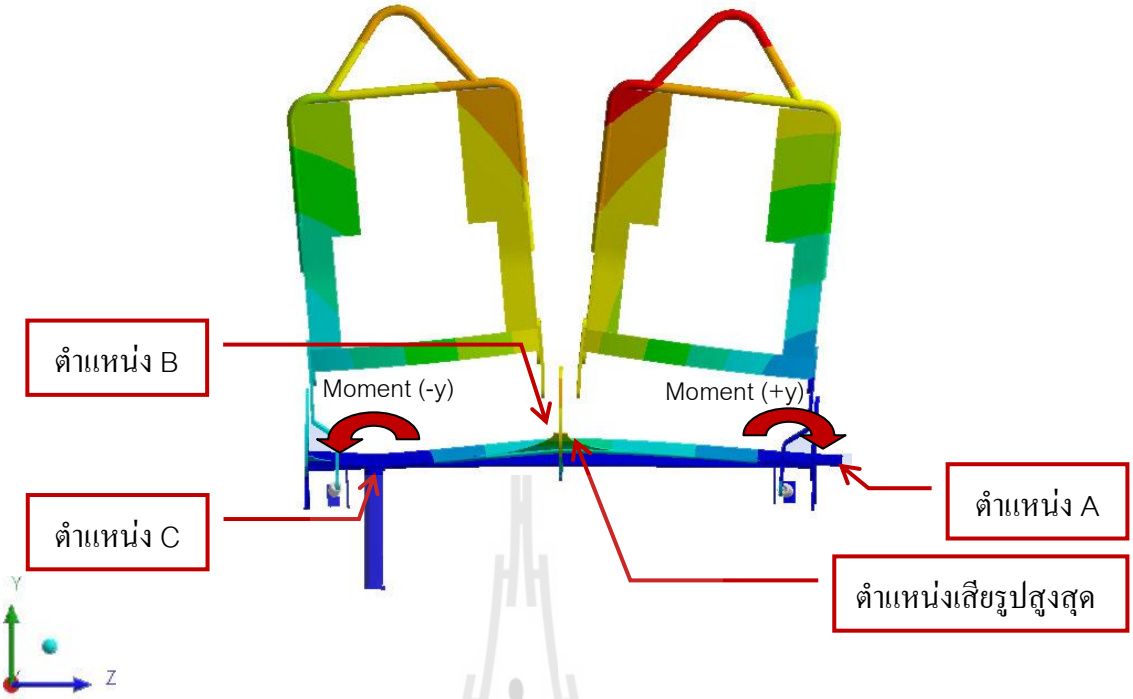
ตารางที่ 4.1 หรือตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A, B และ C ซึ่งเป็นเหตุผลที่จะต้องทำการปรับปรุงชิ้นส่วน Chassis Profile ให้มีความแข็งแรงทนต่อภาระกระทำตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ได้ และไม่ส่งผลต่อความเสียหายของชิ้นอื่นๆในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารด้วย

4.3.1 การปรับปรุงและออกแบบชิ้นส่วน Chassis Profile

ความแข็งแรงของชิ้นส่วน Chassis Profile นั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง A, B และ C ซึ่งเกิดจากการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profileที่เปรียบเสมือน เป็นคานรองรับที่นั่งผู้โดยสารโดยมีการเสียรูปในทิศทางแกน y ดังรูปที่ 4.13 (ก) และรูปที่ 4.13 (ข) ที่ตำแหน่งที่เกิดการเสียรูปสูงสุดนั้นคือตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง B บนชิ้นส่วน Chassis Profile ซึ่งมีค่าเท่ากับ 12.57 มิลลิเมตร และมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสเท่ากับ 476.98 MPa



(ก)

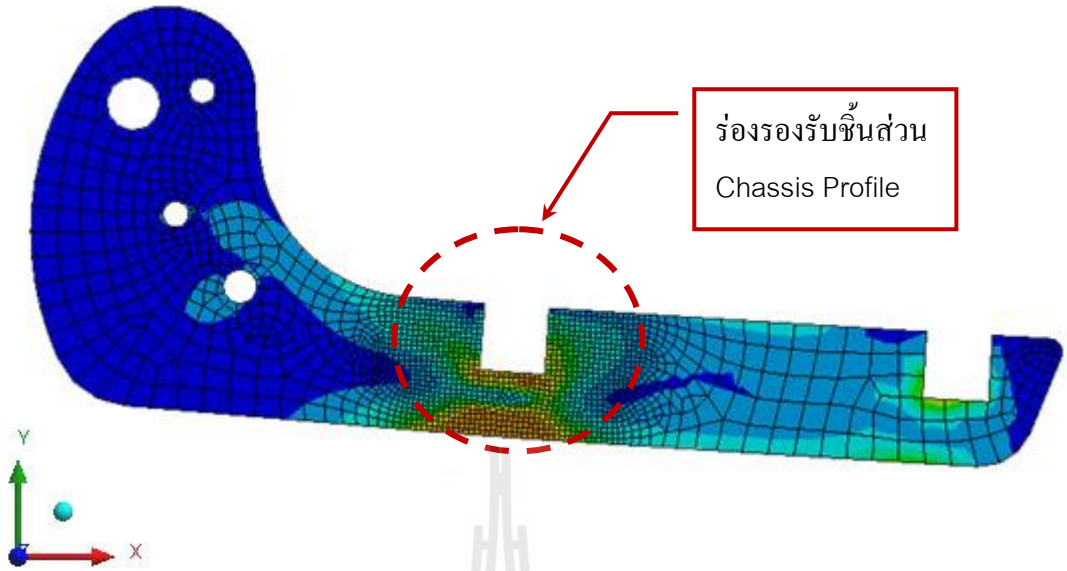


(ข)

รูปที่ 4.13 ความเสียหายของชิ้นส่วน Chassis Profile ที่ส่งผลต่อโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร
(ก) ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดและตำแหน่งเสียรูปสูงสุด
(ข) ลักษณะการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profile

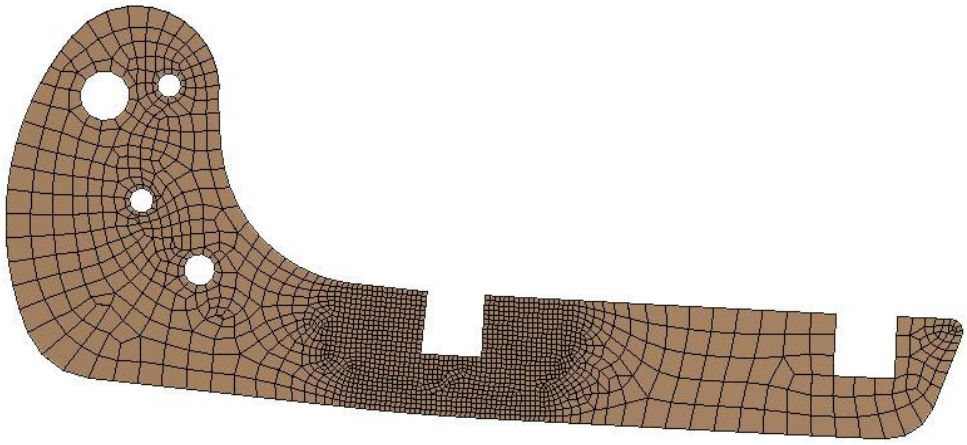
เมื่อพิจารณาความเค้นในแนวแกนที่ตำแหน่งที่เกิดการเสียรูปสูงสุดของชิ้นส่วน Chassis Profile ตัวแปรตอบสนอง B มีค่าความเค้นในแนวแกน x = 207.13 MPaค่าความเค้นในแนวแกน y = 2.35 MPa และค่าความเค้นในแนวแกน z = 506.96 MPa ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวแกน z นั้นเป็นความเค้นดึงในแนวแกน z และมีค่าความเค้นที่มากกว่าค่าความเค้นดึงสูงสุดของชิ้นส่วนของเหล็กรูปพรรณแบบกลวงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่าเท่ากับ 414.7 MPaดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ตัวแปรตอบสนอง A, B และ C เกิดขึ้นมาจากสาเหตุเนื่องมาจากการโก่งตัวของชิ้นส่วน Chassis Profile ทำให้ตัวแปรตอบสนอง B และ C เกิดความเสียหายเนื่องมาจากได้รับโมเมนต์ดัด และที่ตัวแปรตอบสนอง A นั้นเกิดความเสียหายจากการเสียรูปของชิ้นส่วน Seat Anchorage เนื่องจากความแข็งแรงของชิ้นส่วน Seat Anchorage เป็นปัจจัยหลัก แต่ชิ้นส่วนดังกล่าวนั้นได้รับภาระโมเมนต์ดัดที่เกิดจากการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profile

จากผลการออกแบบการทดลองที่ตัวแปรตอบสนอง A และ B นั้นยังพบว่าความแข็งแรงของชิ้นส่วน Support Center ที่เพิ่มขึ้นนั้นยังส่งผลต่อความความเสียหายของตัวแปรตอบสนอง A และ B ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบชิ้นส่วน Support Center ไม่มีความเหมาะสมดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14ลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วน Support Center ที่มีการออกแบบไม่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.14 บริเวณร่องรองรับชิ้นส่วน Chassis Profileเป็นบริเวณที่ได้รับโมเมนต์ดัดจากภาระของแรงดึงของเข็มขัดนิรภัยที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัยทำให้เกิดการเสียรูปเกิดขึ้นและยังส่งผลต่อการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profile และรูปที่ 4.15กการเสียรูปของชิ้นส่วน Support Center ที่มีความหนาเท่ากับ 3.15 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงที่น้อย และรูปที่ 4.15ข การเสียรูปของชิ้นส่วน Support Center ที่มีความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร โดยมีความแข็งแรงมาก ซึ่งการเสียรูปดังกล่าวนี้ทำให้ร่องรองรับชิ้นส่วน Chassis Profile บิบตัวในทิศทางแกน x ทำให้ชิ้นส่วน Chassis Profile บริเวณตัวแปรตอบสนอง B มีค่าความเค้นดึงในแนวแกน x = 207.13 MPaดังผลการออกแบบการทดลองที่ตัวแปรตอบสนอง B เมื่อพิจารณาตัวแปรร่วม ชิ้นส่วน Chassis Profile และชิ้นส่วน Support Center มีปัจจัยร่วมต่อกันอย่างมีนัยสำคัญ



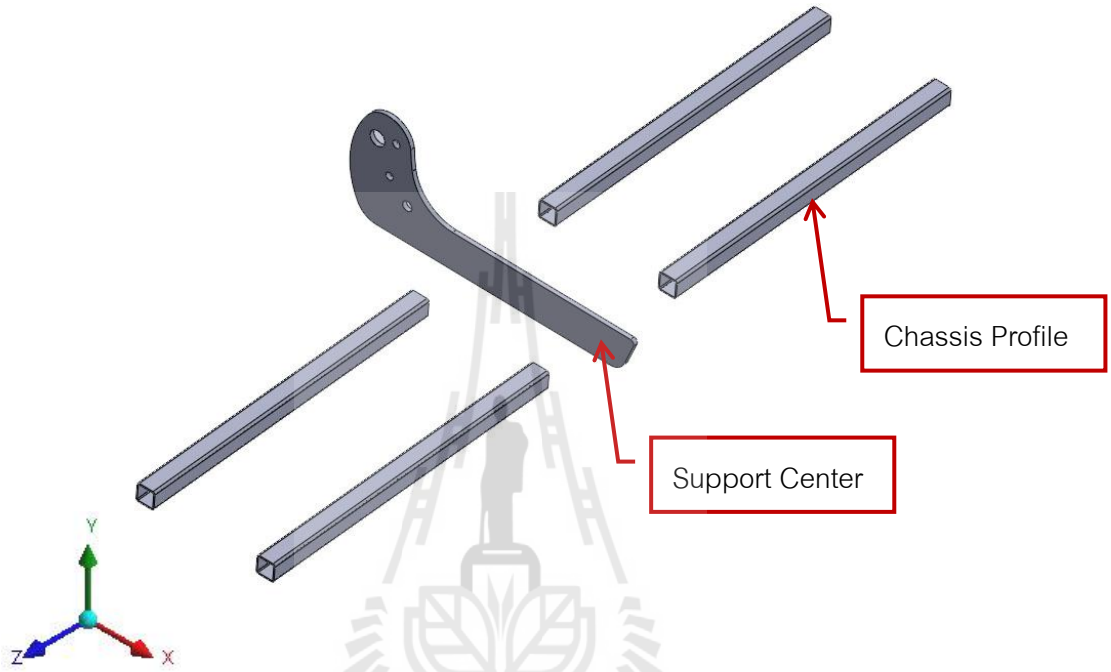
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.15 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นส่วน Support Center
(ก) ชิ้นส่วน Support Center ที่มีความหนา 3.15 มิลลิเมตร
(ข) ชิ้นส่วน Support Center ที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร

จากสาเหตุดังกว่านั้นได้ออกแบบชิ้นส่วน Support Center ให้มีความแข็งแรงและไม่ส่งผลต่อความเสียหายของชิ้นส่วน Chassis Profile โดยไม่ทำร่องรองรับชิ้นส่วน Chassis Profile ดังรูปที่ 4.14 และยังคงความหนาของชิ้นส่วน Support Center เท่ากับ 6 มิลลิเมตร ส่วนชิ้นส่วน Chassis Profile นั้นได้เพิ่มความหนาให้มีค่าเท่ากับ 2.3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดตามมาตรฐาน มอก .

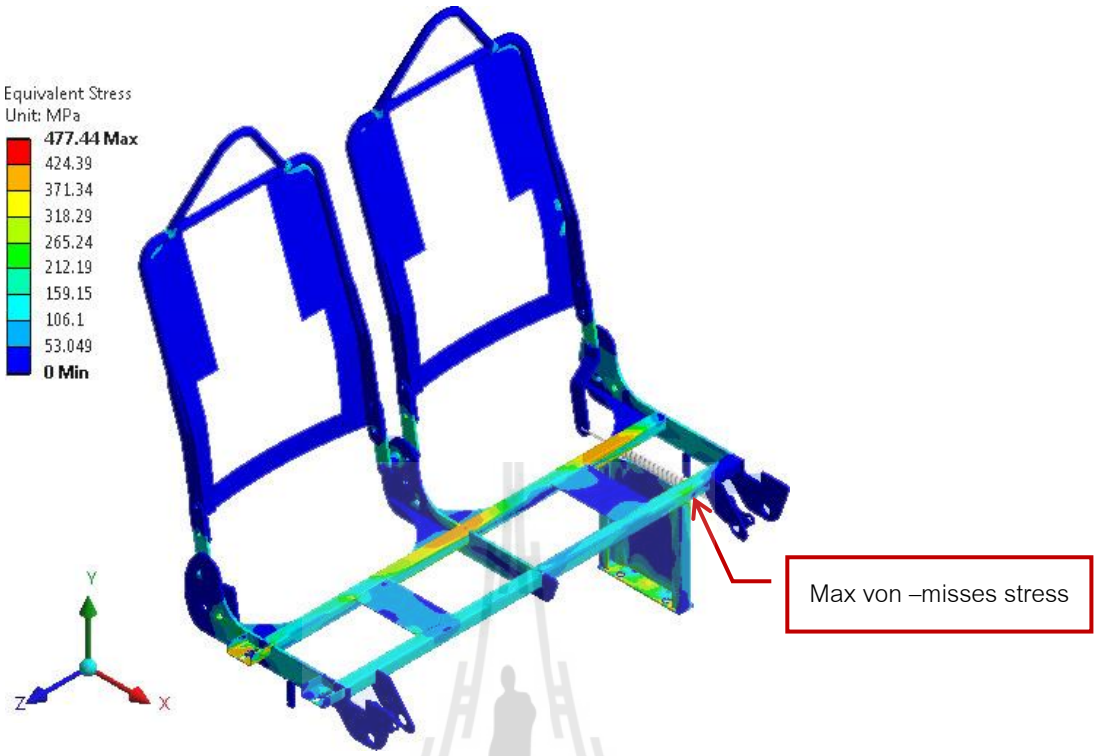
107-2533 โดยมีค่าที่มากจากเดิม ที่ได้ออกแบบไว้มี ค่าเท่ากับ 1.8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.16 ชิ้นส่วน Chassis Profileนั้นได้แยกออกเป็น 4 ชิ้นเชื่อมติดกับชิ้นส่วน Support Centerเนื่องจากชิ้นส่วน Support Centerนั้นได้ปรับปรุงให้ไม่มีร่องรองรับ Chassis Profile เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นส่วนดังกล่าว



รูปที่ 4.16 ชิ้นส่วน Support Centerและ ชิ้นส่วน Support Center ที่ได้ทำการปรับปรุง

4.3.2 ผลการปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารจากผลการออกแบบการทดลอง

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารดังรูปที่ 4.17ที่ได้จากผลการออกแบบการทดลองพบว่ามีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดเท่ากับ 477.44MPaโดยเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนขาตั้งที่นั่งผู้โดยสารที่เชื่อมติดกับเหล็กแผ่นรีดร้อน ขัดน้ำมัน บริเวณด้านบนเชื่อมติดกับชิ้นส่วน Chassis Profile ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนขาตั้งที่นั่งผู้โดยสารซึ่งมีค่าเท่ากับ 481.19 MPaโดยค่าความเค้นฟอนมิสเซสดังกล่าวนั้นกล่าวได้ว่าบริเวณที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดนั้นยังเกิดความเสียหายแบบคราก เพราะยังไม่เกิดความเสียหายแบบฉีกขาดเนื่องจากค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นน้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุชิ้นส่วนขาตั้งที่นั่งผู้โดยสาร

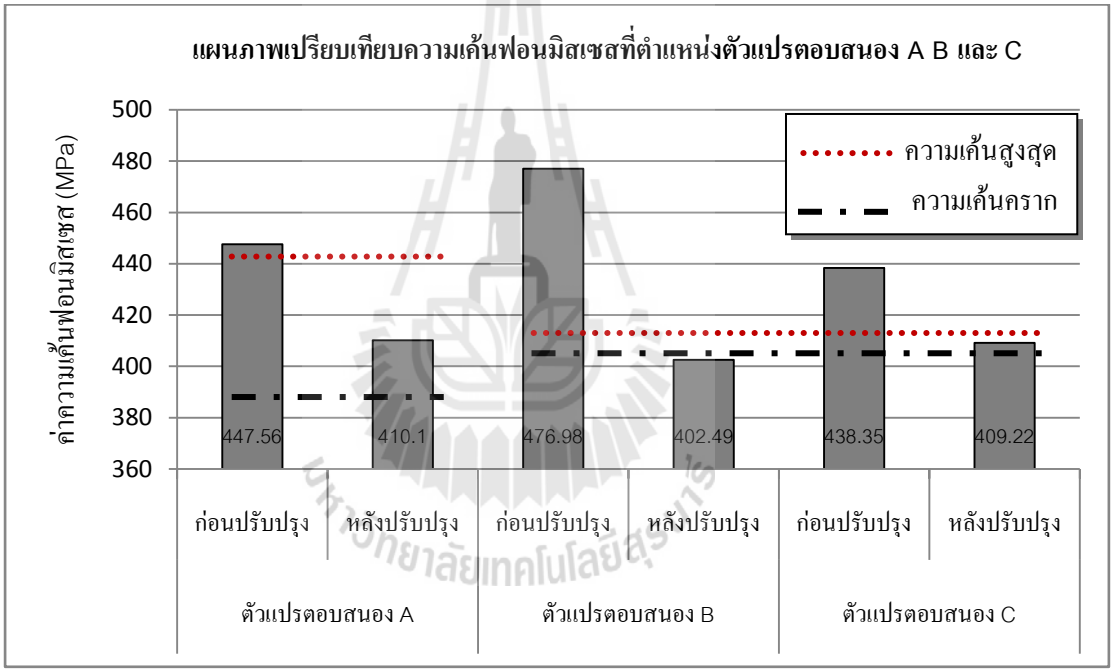


รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารได้ปรับปรุงจากผลการออกแบบการทดลอง

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นในตัวแปรตอบสนอง A, B และ C นั้นพบว่าที่ตัวแปรตอบสนองดังกล่าวก่อนการปรับปรุงและแก้ไขนั้นมีค่าที่สูงโดยตัวแปรตอบสนอง A มีค่าเท่ากับ 447.56 MPa ตัวแปรตอบสนอง B มีค่าเท่ากับ 476.98 MPa และ ตัวแปรตอบสนอง C มีค่าเท่ากับ 438.35 MPa เมื่อทำการปรับปรุงโดยเพิ่มความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile และปรับปรุงรูปร่างของชิ้นส่วน Support Center ทำให้ตัวแปรตอบสนอง A มีค่าที่ลดลงเท่ากับ 410.10MPa ตัวแปรตอบสนอง B มีค่าเท่ากับ 402.49MPa และ ตัวแปรตอบสนอง C มีค่าเท่ากับ 409.22 MPa โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างนั้นที่ตัวแปรตอบสนอง A ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 4.36 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างนั้นที่ตัวแปรตอบสนอง B ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 15.65 เปอร์เซ็นต์ และความแตกต่างนั้นที่ตัวแปรตอบสนอง C ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 6.45 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.18 ถึง รูปที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบชิ้นส่วนที่กำหนดตัวแปรตอบสนอง A, B และ C ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารก่อนและหลังปรับปรุง

ตัวแปรตอบสนอง	ตัวแปรตอบสนอง A		ตัวแปรตอบสนอง B		ตัวแปรตอบสนอง C	
	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง	ก่อน ปรับปรุง	หลัง ปรับปรุง
ความเค้นฟอน-มิสเซสสูงสุด (MPa)	447.56	410.10	476.98	402.49	438.35	409.22
ความเครียด (Equivalent Strain)	0.00244	0.00223	0.00230	0.00204	0.00229	0.00210
พลังงานความเครียด (mJ)	80.83	45.67	262.21	11.67	64.95	21.05



รูปที่ 4.18 แผนภาพเปรียบเทียบค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนองก่อนและหลังปรับปรุง

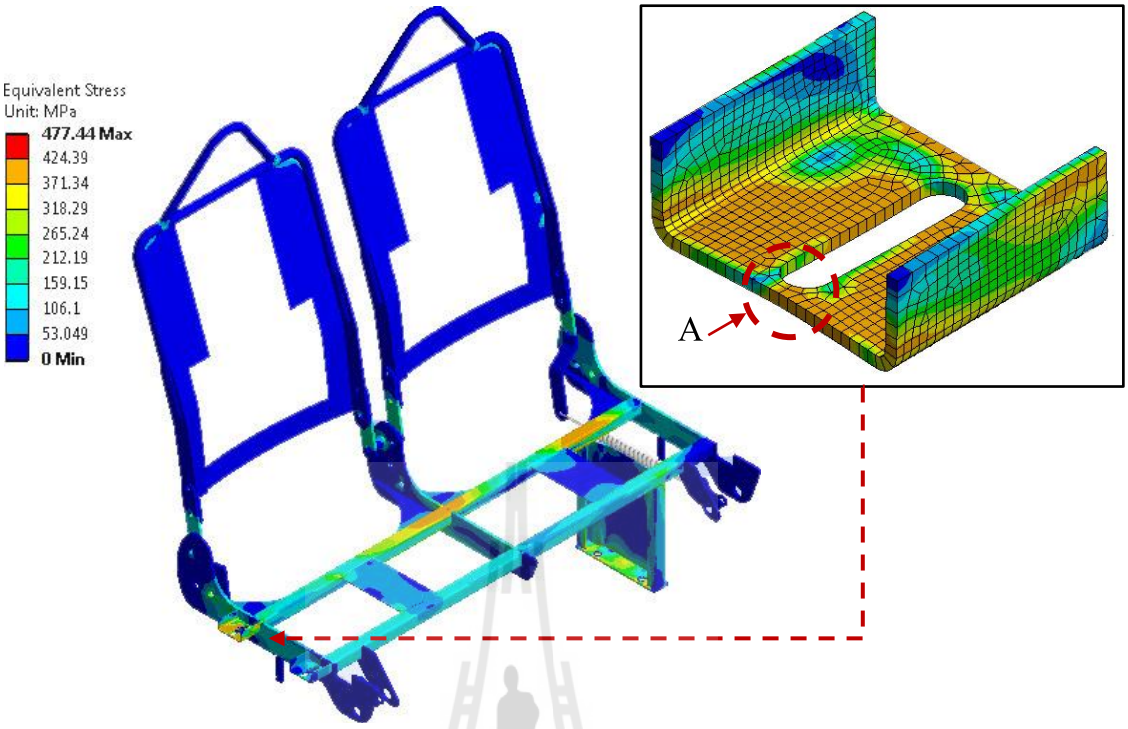
จากรูปที่ 4.18 แผนภาพการเปรียบเทียบค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตัวแปรตอบสนอง A, B และ C ก่อนที่ทำการปรับปรุง และหลังจากการปรับปรุง นั้นพบว่าที่ตัวแปรตองสนอง B หลังจากการปรับปรุงมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสเท่ากับ 402.49 MPaซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นคราก และค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุที่เป็นเหล็กรูปพรรณแบบกลวง ทำให้ที่ตำแหน่งดังกล่าวนั้นไม่เกิดความเสียหายแต่เมื่อพิจารณาที่ตัวแปรตอบสนอง A และ C นั้นพบว่ามีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นนั้นสูงกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ ทำให้ในบริเวณดังกล่าวนั้นเกิดการเสียหายแบบ

คราหรือเกิดการเสียรูปแบบถาวร และจากผลการวิเคราะห์นั้นยังพบว่ามีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดมีค่าเท่ากับ 477.44 MPaซึ่งเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนโครงสร้างฐานที่นั่งผู้โดยสาร โดยค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดนั้นมีค่าที่มากกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุและยังมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ จากผลการปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารจากการออกแบบการทดลองนั้นยังไม่สามารถที่จะลดความเค้นที่เกิดขึ้นในจุดที่เกิดความเสียหายให้มีค่าที่น้อยลงกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุได้จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขตรงจุดตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A, C และ ตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด

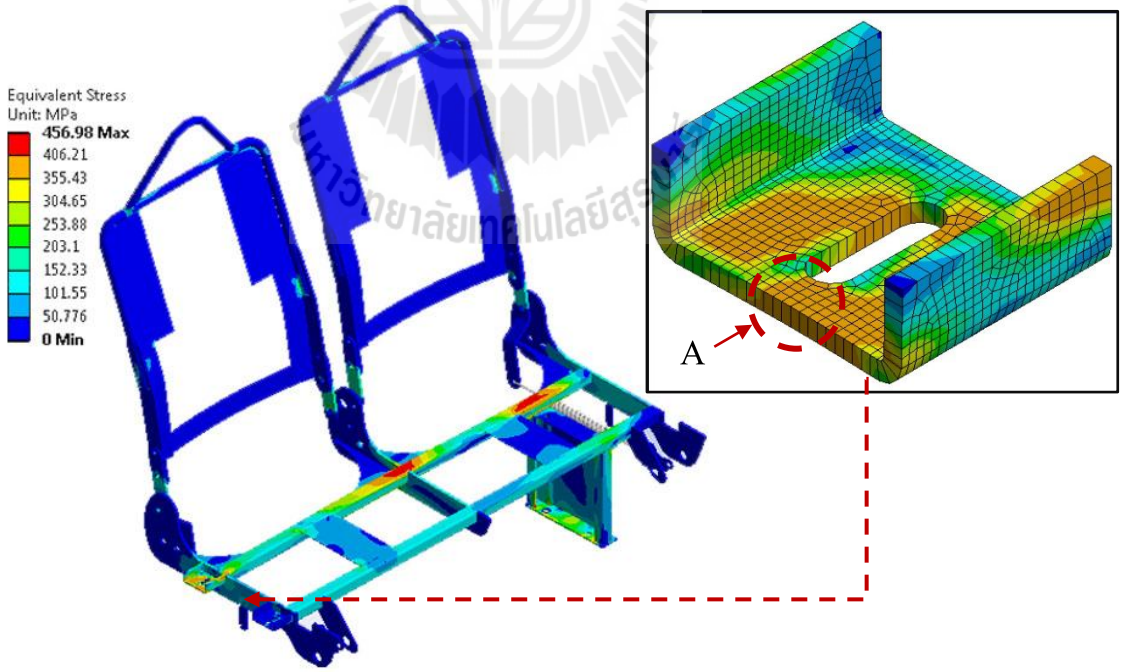
4.3.2.1 การปรับปรุงแก้ไขตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A

ในการปรับปรุงจากผลการออกแบบการทดลองนั้นเป็นเพียงแค่การเลือกปัจจัยความหนาของชิ้นส่วนที่ได้ทำการพิจารณาเพื่อปรับปรุงเท่านั้น และในการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นไม่ได้วิเคราะห์ปัจจัยรูปร่างของชิ้นส่วนที่ได้รับการพิจารณา ดังเช่นความเสียหายที่เกิดขึ้นที่ชิ้นส่วน Seat Anchorage ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A ถึงแม้ว่าจะเพิ่มปัจจัยความหนาขึ้นแต่ก็ไม่สามารถทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสลดลงให้น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุได้ ทั้งนี้เป็นปัญหาอันเนื่องมาจากปัจจัยรูปร่างของชิ้นส่วน Seat Anchorage ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นการกระจายตัวของความเค้นฟอนมิซเสซในชิ้นส่วน Seat Anchorage ที่ยังไม่ได้ปรับปรุงรูปร่างเพื่อลดค่าความเค้นฟอนมิสเซส และจากรูปที่ 4.20 ได้ทำการปรับปรุงรูปร่างของชิ้นส่วน Seat Anchorage เพื่อลดความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนดังกล่าวโดยเฉพาะบริเวณตัวแปรตอบสนอง A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย

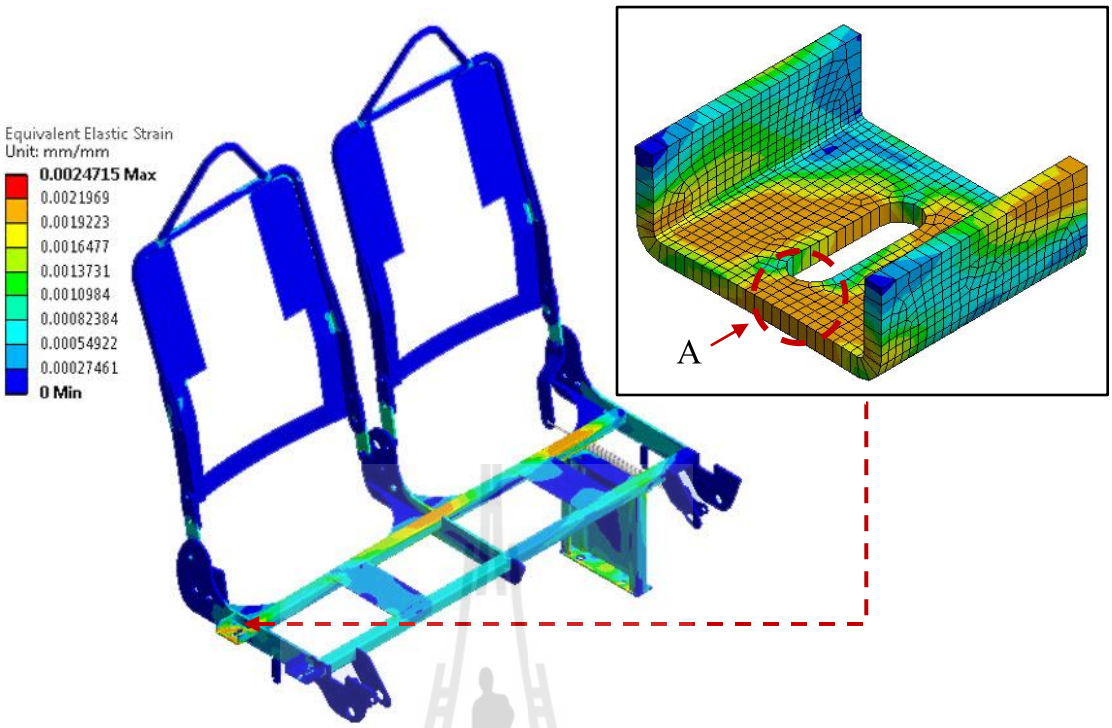
ผลจากการปรับปรุงแก้ไขนั้นพบว่ามีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A นั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 382.52 MPaและมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) ดังรูปที่ 4.20 และมีค่าความเครียด (Equivalent Strain) เฉลี่ยเท่ากับ 0.002075 มม/มม หรือมีค่าเท่ากับ 0.2075 เปอร์เซ็นต์ความเครียด (Percentage Strain) และจากผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเท่ากับ 46.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการปรับปรุงเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าที่น้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และประกอบกับค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นนั้นยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุด้วย จึงสรุปได้ว่าชิ้นส่วน Seat Anchorage ที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A มีความแข็งแรงและไม่เกิดความเสียหาย และเมื่อพิจารณาค่าการเสียรูปสูงสุดที่ชิ้นส่วนดังกล่าวนั้นมีค่าการเสียรูปในแนวแกน x = 0.43 มิลลิเมตร แกน y = 0.26 มิลลิเมตรและ z = 0.21 มิลลิเมตรซึ่งการเสียรูปดังกล่าวนั้นไม่ก่อให้เกิดความเสียหายที่จะเกิดความเสียงใดๆ ที่จะทำให้ผู้โดยสารได้รับบาดเจ็บได้



รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ชิ้นส่วน Seat Anchorgae



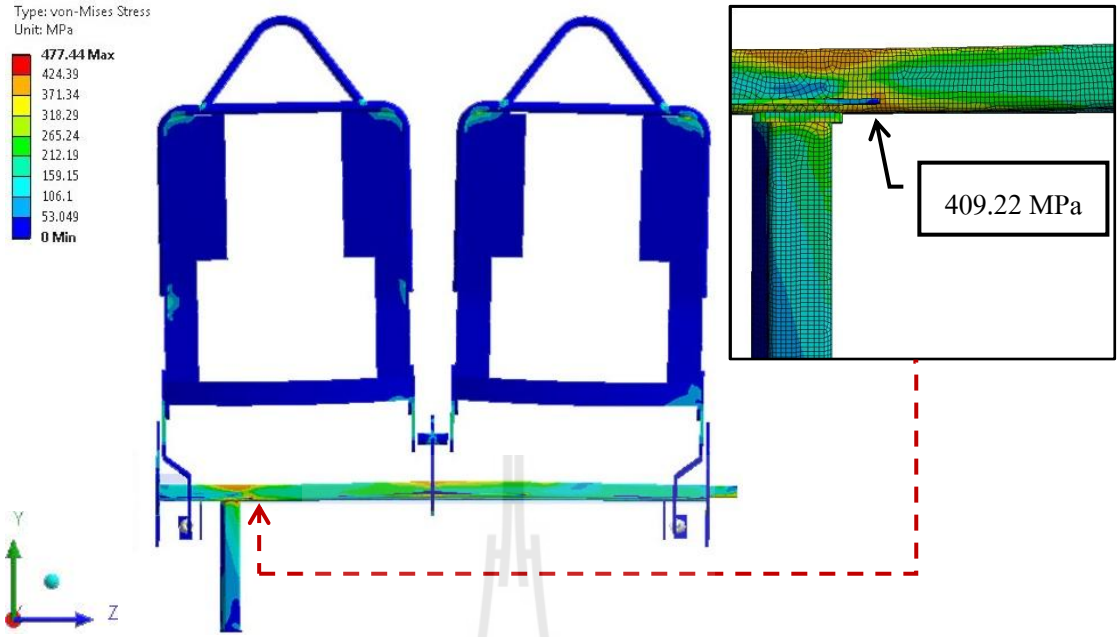
รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ชิ้นส่วน Seat Anchorgaeหลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่ชิ้นส่วน Seat Anchorgaeหลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง

4.3.2.2 การปรับปรุงแก้ไขตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C

ที่ตัวแปรตอบสนอง C ซึ่งเป็นชิ้นส่วน Cassis Profile ซึ่งก่อนที่ได้ทำการปรับปรุงตามการออกแบบการทดลองพบว่ามีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงกว่าค่าความเค้นครากและความเค้นสูงสุดของวัสดุเหล็กรูปพรรณแบบกลวงซึ่งเท่ากับ 438.35 MPaและทำการปรับปรุงจากผลการออกแบบการทดลองพบว่ามีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นเท่ากับ 409.22 MPaซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุแต่ยังมีค่าที่สูงกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ ทั้งนี้ในการปรับปรุงจากผลการออกแบบการทดลองนั้นเป็นเพียงแค่เพิ่มปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile ซึ่งจากเดิมนั้นมีค่าเท่ากับ 1.8 มิลลิเมตร โดยเพิ่มเป็น 2.3 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรม มอก. 107-2533 ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวนั้นได้รับภาระโมเมนต์ดัดรอบแกน x ซึ่งทำให้เกิดแรงดึงสูงสุดในทิศทางแกน z ของตำแหน่งดังกล่าว ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C ก่อนปรับปรุงรูปร่าง

แต่อย่างไรก็ตามในการปรับปรุงแก้ไขนั้นก็ยังไม่สามารถลดค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C ให้มีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุนั้นได้ เนื่องจากปัจจัยความหนาที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้บริเวณดังกล่าวมีความแข็งแรง ในการปรับปรุงแก้ไขนั้นได้ทำการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x โดยก่อนทำการปรับปรุงนั้นมีค่าเท่ากับ 1.6 ซม^{4}และหลังจากการปรับปรุงมีค่าโมนเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 2.33 ซม^{4}ในบริเวณดังกล่าวซึ่งเป็นการเพิ่มแผ่นเสริมแรงดังรูปที่ 4.23 ในการปรับปรุงโดยการเพิ่มแผ่นเสริมแรงหรือการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x นั้นจากสมการที่ 4.1 นั้นเป็นสมการหาค่าความเค้นในแนวแกน z ที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดรอบแกน x จากสมการที่ 4.1 นั้นหากค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยเพิ่มขึ้น และค่าMกับ c นั้นเป็นค่าคงที่ จะทำให้ค่าความเค้น σ_zมีค่าที่ลดลง

$$\sigma_z = \frac{Mc}{I} \tag{4.1}$$

โดย

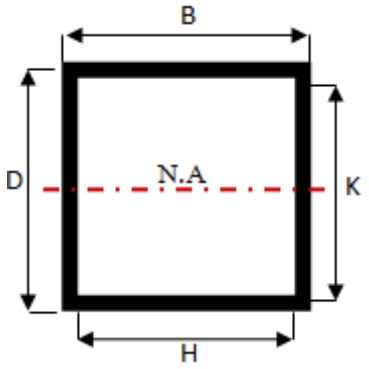
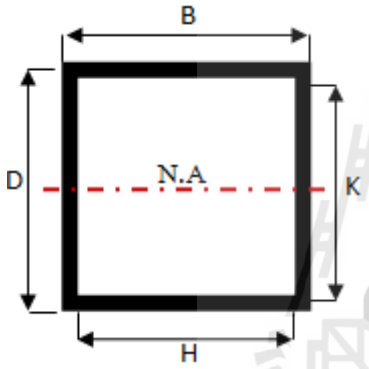
σ_zคือ ความเค้นในแนวแกน z

Mคือ โมเมนต์ดัดรอบแกน x

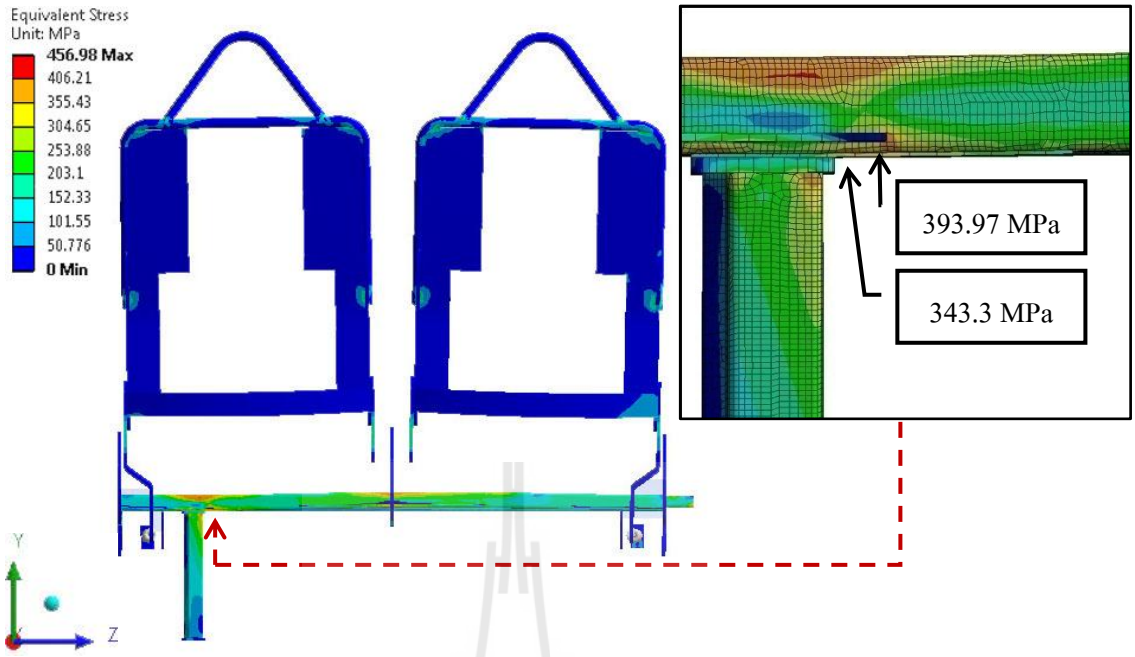
c คือ ระยะห่างจากจุดพิจารณากับ N.A

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

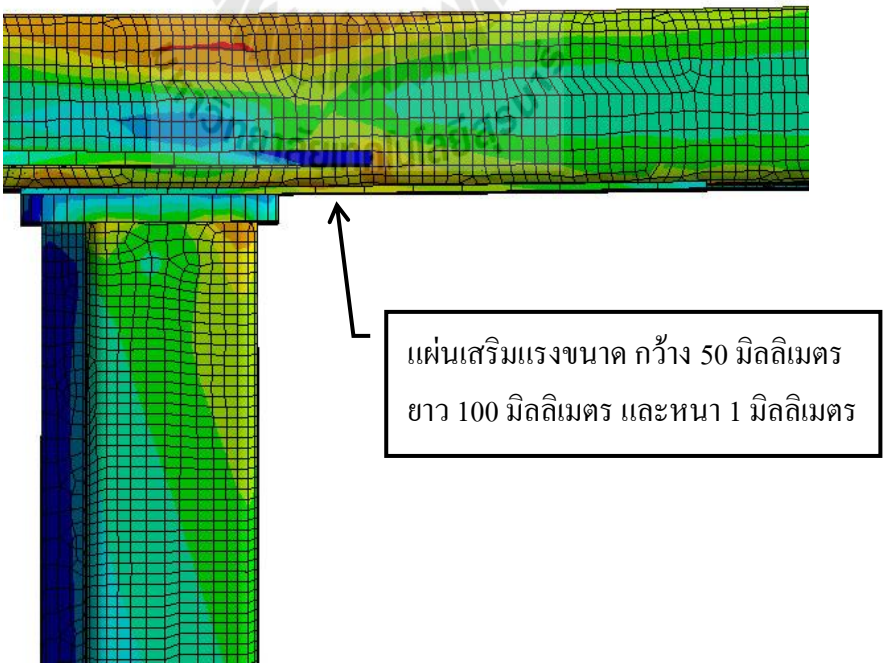
ตารางที่ 4.10 ตารางรูปร่างหน้าตัดของชิ้นส่วน Chassis Profile

โมเมนต์ความเฉื่อยก่อนเพิ่มแผ่นเสริมแรง	
	D = 25.4 มิลลิเมตร B = 25.4 มิลลิเมตร K = 20.8 มิลลิเมตร H = 20.8 มิลลิเมตร I = 1.6 ซม^4
โมเมนต์ความเฉื่อยหลังเพิ่มแผ่นเสริมแรง	
	D = 26.4 มิลลิเมตร(เพิ่มแผ่นเสริมแรง) B = 25.4 มิลลิเมตร K = 20.8 มิลลิเมตร H = 20.8 มิลลิเมตร I = 2.33 ซม^4

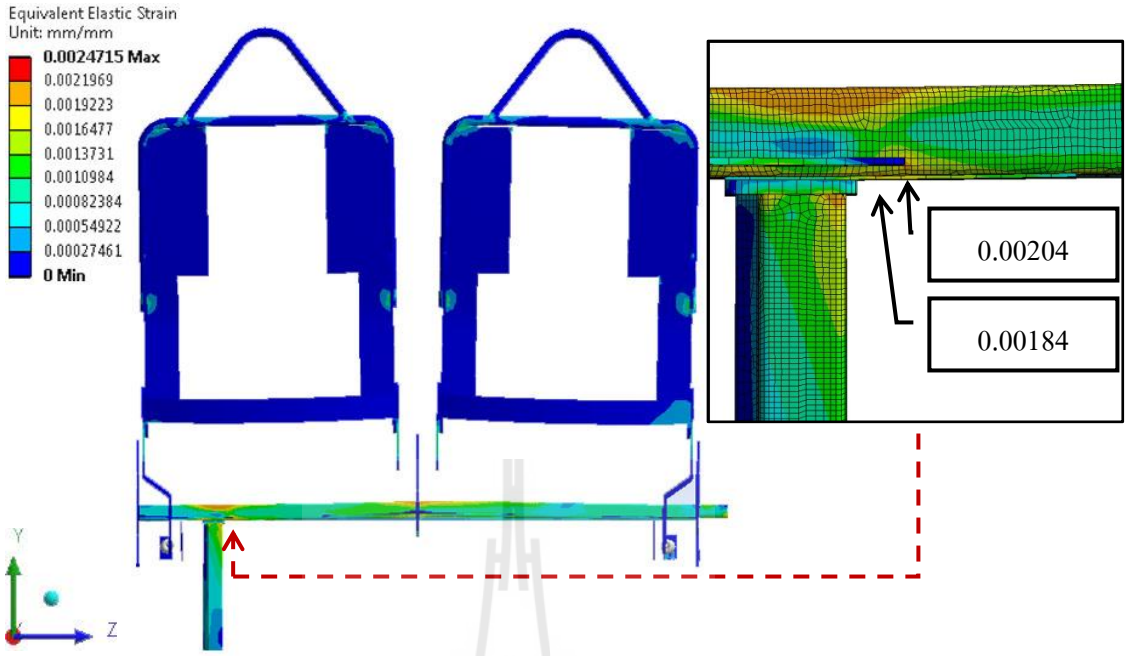
จากผลการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองนั้นค่าความเค้นฟอนมิซเซสที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C นั้นมีค่าที่สูงกว่าค่าความเค้นคราก เท่ากับ 2.22 MPaเท่านั้นซึ่งจึงได้กำหนดขนาดของแผ่นเสริมแรงเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความ กว้าง 25มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร และหนา 1 มิลลิเมตร เนื่องจากว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความเค้นครากของวัสดุมาก เมื่อความหนาของแผ่นเสริมแรงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C ลดลงเท่ากับ 343.3 MPaซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) ของแผ่นเสริมแรง และค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C ของเหล็กรูปพรรณแบบกลวงมีค่าเท่ากับ 393.97 MPaซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.23 การกระจายตัวของค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ชิ้นส่วน Chassis Profile ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C หลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง



รูปที่ 4.24 ลักษณะของการเพิ่มแผ่นเสริมแรงที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C



รูปที่ 4.25 การกระจายตัวของค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่ชิ้นส่วน Chassis Profile ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C หลังจากได้ทำการปรับปรุงรูปร่าง

และเมื่อพิจารณาค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่เกิดขึ้นจากผลการวิเคราะห์ปรับปรุงที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C นั้นพบว่าที่แผ่นเสริมแรงนั้นมีค่าความเครียดเฉลี่ยเท่ากับ 0.00184 มม/มม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียดเท่ากับ 0.184 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 46.2 เปอร์เซ็นต์ และความเครียด (Equivalent Strain) ที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C ของชิ้นส่วน Chassis Profile นั้นมีค่าเท่ากับ 0.00204 มม/มมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียดเท่ากับ 0.204 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็ยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุเหล็กรูปพรรณแบบกลวงซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.49 เปอร์เซ็นต์ จากผลการปรับปรุงออกแบบนั้นพบว่าที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C นั้นค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นหลังจากเพิ่มแผ่นเสริมแรงแล้วมีค่าที่ลดลงน้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่น้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และเมื่อพิจารณาค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นที่จุดดังกล่าวแล้วมีค่าการเสียรูปในทิศทางแกน x = 0.44 มิลลิเมตร ทิศทางแกน y = 0.28 มิลลิเมตรและ ทิศทางแกน z = 0.11 มิลลิเมตร โดยการเสียรูปดังกล่าวนั้นไม่ก่อให้เกิดความเสียหายที่จะเกิดความเสียงใดๆ ที่จะทำให้ผู้โดยสารได้รับบาดเจ็บได้

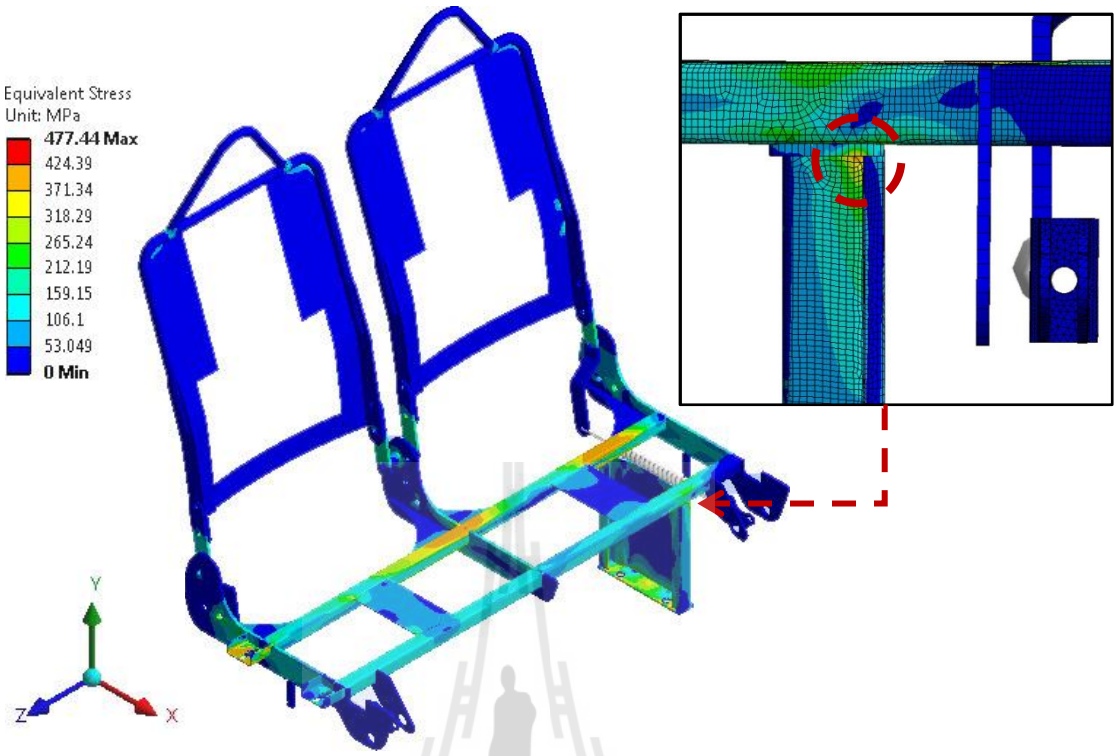
4.3.2.1 การปรับปรุงแก้ไขตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด

จากรูปที่ 4.17 ผลการปรับปรุงจากกการออกแบบการทดลองนั้นค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนฐานที่นั่งผู้โดยสารและยังมีค่าที่สูงกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุซึ่งเป็นเหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน และมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ทั้งนี้จากรูปที่ 4.25 บริเวณที่เกิดมีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดนั้นเกิดจากการได้รับภาระการอัดจากชิ้นส่วน Chassis Profile เนื่องจางบริเวณดังกล่าวนั้นเป็นจุดรองรับจึงทำให้มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นสูงสุดที่จุดดังกล่าวซึ่งมีค่าเท่ากับ 477.44 MPaและยังมีค่าที่สูงกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุเหล็กแผ่นรีดร้อนขัดน้ำมัน และเมื่อพิจารณาความเค้นในแนวแกนแล้วพบว่ามีค่าความเค้นในแนวแกนแล้วจะเป็นดังตารางที่ 4.11

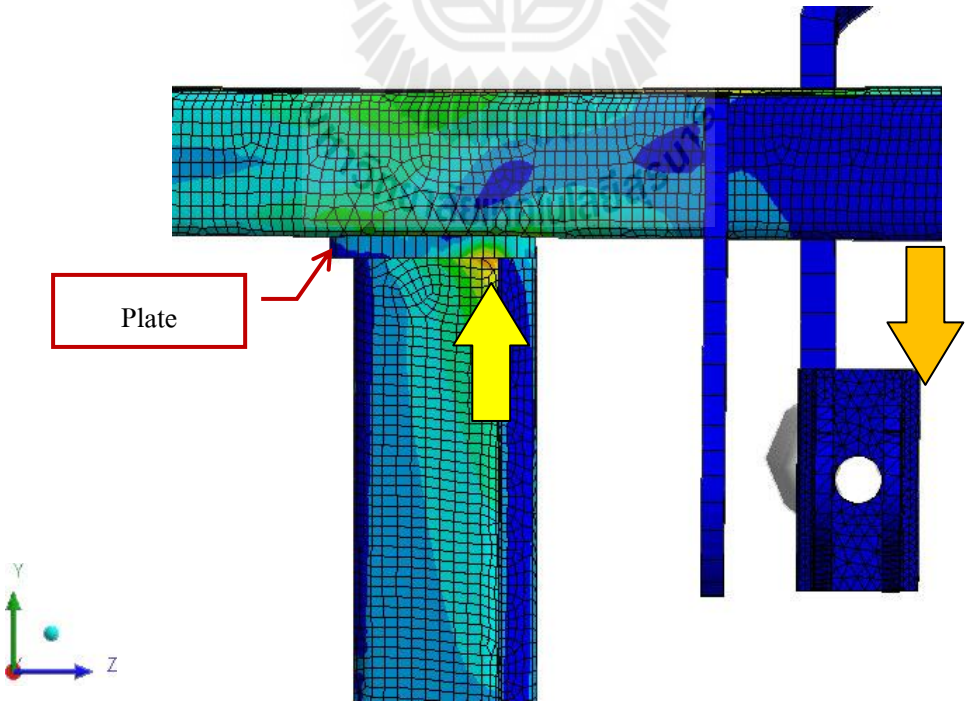
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าความเค้นในแนวแกนของตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด

	ความเค้นในแนวแกน (MPa)			ความเค้นฟอนมิสเซส (MPa)	ความเครียด (Equivalent Strain)
	X	Y	Z		
ตำแหน่งค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด	-77.05	-488.98	-140.16	477.44	0.00258

จากตารางที่ 4.11 พบว่าจุดที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดนั้นเกิดจากจุดดังกล่าวมีค่าความเค้นอัดในแนวแกน y สูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ -488.98 MPaทั่งนี้ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นมาแล้วว่าจุดดังกล่าวนั้นเป็นจุดรองรับของชิ้นส่วน Chassis Profile และชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) ดังรูปที่ 4.27

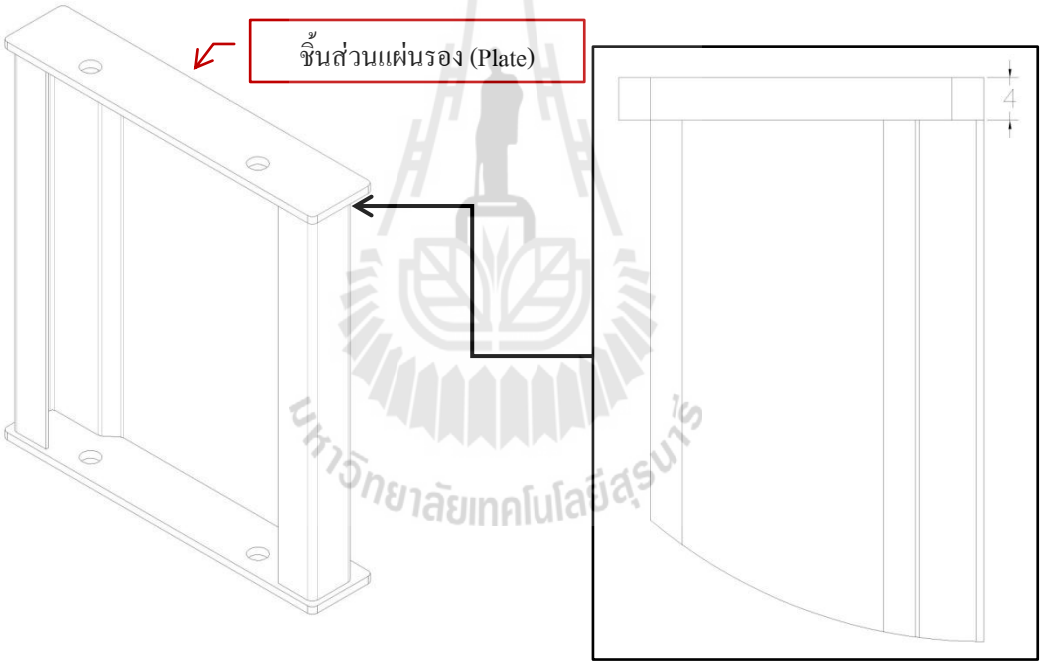


รูปที่ 4.26 ตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด

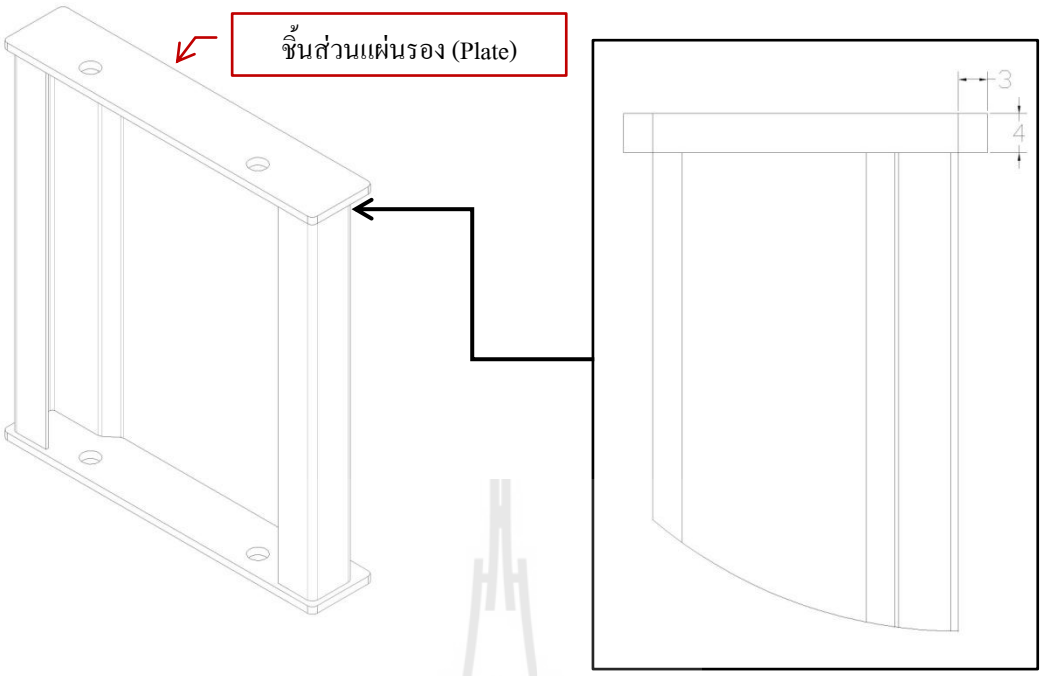


รูปที่ 4.27 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นที่จุดที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด

จุดตำแหน่งลูกศรสีเหลืองนั้นเป็นจุดที่ได้เกิดค่าความเค้นฟอนมิเซสสูงสุด และได้รับแรงอัดในแนวแกน y สูงสุดทั้งนี้เนื่องมาจากการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profile มีการเสียรูปในทิศทาง –y ตามลูกศรสีน้ำตาล ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดรอบแกน x ในทิศทางติดลบที่จุดตำแหน่งลูกศรสีเหลือง และส่งผลทำให้จุดดังกล่าวมีแรงอัดเพิ่มขึ้นในทิศทางแกน y ซึ่งหมายความว่าที่จุดดังกล่าวเกิดการเสียหายแบบครากเนื่องจากการได้รับภาระแรงอัดในทิศทางแกน y ในการปรับปรุงจุดดังกล่าวให้มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่ลดลง หรือไม่เกิดความเสียหายที่จุดดังกล่าวนั้น ได้ทำการเพิ่มขนาดของรูปร่างของชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) เพื่อให้ชิ้นส่วนแผ่นรองมีความแข็งแรงขึ้นทำให้แรงกระทำไปยังจุดที่พิจารณาและทำให้ค่าความเค้นในจุดดังกล่าวมีค่าที่น้อยลง ดังรูปที่ 4.28ก เป็นส่วนที่ยังไม่ได้ปรับปรุงเพื่อลดความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่จุดที่พิจารณา รูปที่ 4.28ข เป็นชิ้นส่วนที่ได้ทำการปรับปรุง และผลการปรับปรุงจะเป็นไปตามรูปที่ 4.28

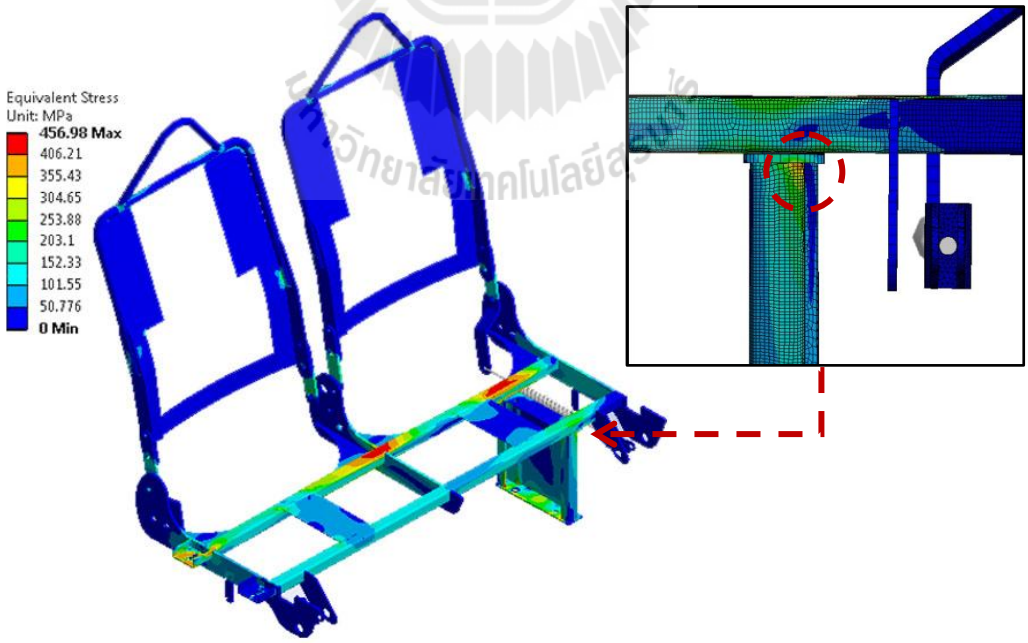


(ก)

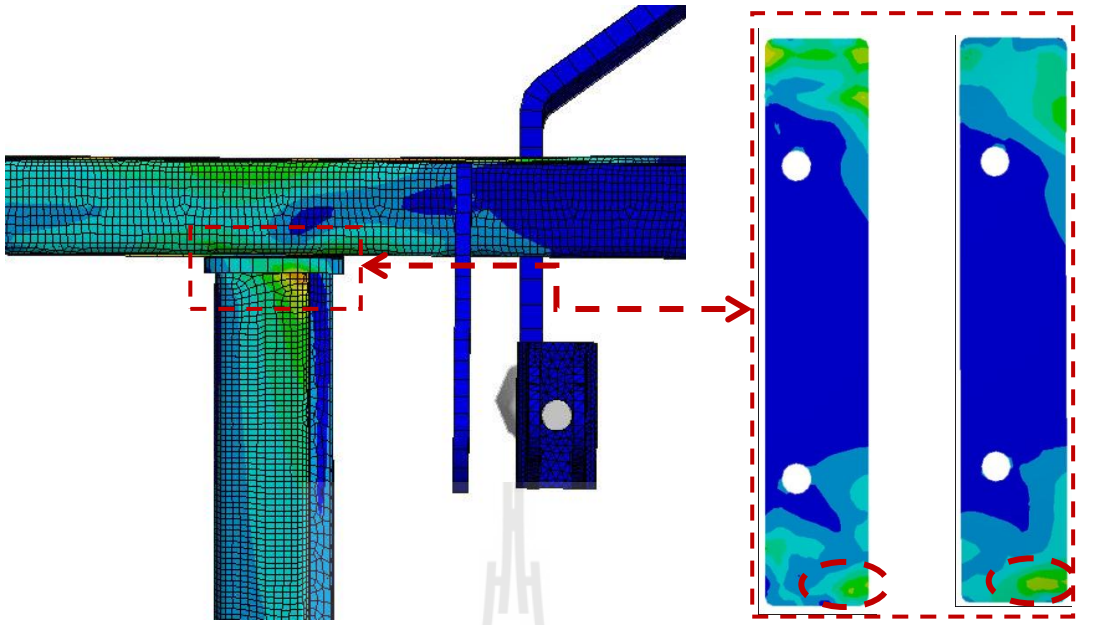


(ข)

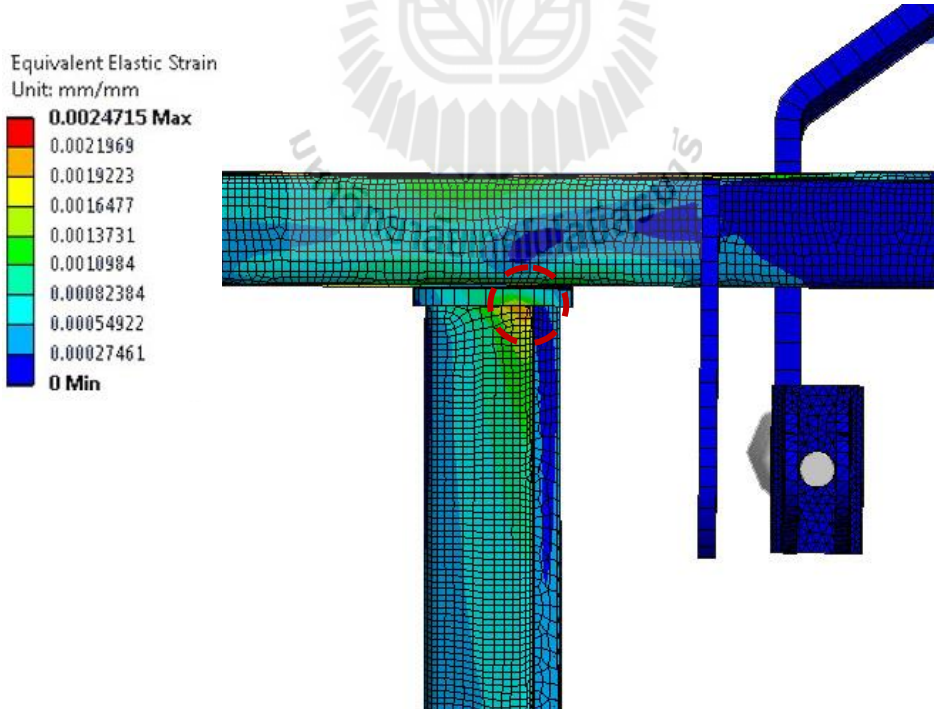
รูปที่ 4.28การปรับปรุงแก้ไขชิ้นส่วนฐานที่นั่งผู้โดยสารเพื่อลดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด
(ก) ก่อนปรับปรุงชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) (ข) หลังปรับปรุงชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate)



รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ความเค้นฟอนมิสเซสหลังทำการออกแบบชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate)



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการกระจายตัวของความเค้นของชิ้นส่วนแผ่นรอง
ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง

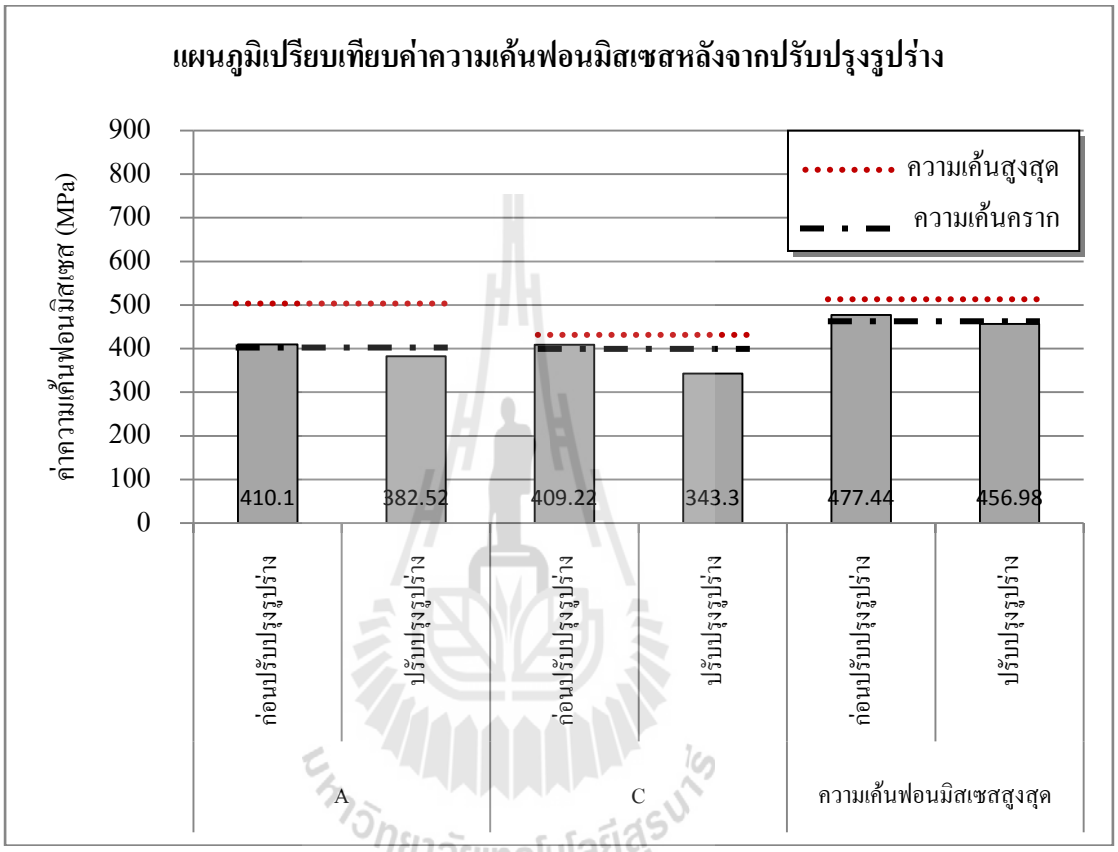


รูปที่ 4.31 แสดงถึงค่าความเครียด (Equivalent Strain) ที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุง

รูปที่ 4.29 ผลการปรับปรุงรูปร่างของชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) ทำให้มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดมีค่าเท่ากับ 456.98 MPaซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุเหล็กรีดร้อนขัดน้ำมัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) ที่มีขนาดความกว้างที่เพิ่มขึ้นนั้นช่วยดูดซับแรงกดที่เกิดจากการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profile จึงทำให้มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดนั้นลดลง และมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ จากรูปที่ 2.30 เปรียบเทียบการกระจายตัวของความเค้นของชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) ก่อนทำการปรับปรุง และหลังจากการปรับปรุง ซึ่งชิ้นส่วนที่ก่อนจะทำการปรับปรุงนั้นมีค่าการกระจายตัวของความเค้นฟอนมิสเซสที่จุดที่เป็นบริเวณเชื่อมต่อกันกับชิ้นส่วนฐานที่นั่งผู้โดยสารและเป็นบริเวณที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด มีการกระจายของแถบสีเขียวและสีเหลืองซึ่งเป็นช่วงความเค้นที่สูง มีการกระจายตัวน้อย และเมื่อหลังจากการปรับปรุงแล้วพบว่ามีการกระจายตัวของช่วงแถบสีเขียวและสีเหลืองซึ่งเป็นช่วงความเค้นที่สูง มีการกระจายตัวมากขึ้น เนื่องจากว่าชิ้นส่วนแผ่นรอง (Plate) หลังจากการปรับปรุงนั้นมีพื้นที่ดูดซับแรงกดที่เกิดจากการเสียรูปของชิ้นส่วน Chassis Profile เพิ่มมากขึ้นทำให้แรงกดถูกส่งผ่านไปยังชิ้นส่วนฐานที่นั่งผู้โดยสารบริเวณที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดนั้นมีค่าที่น้อยลง และทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดมีค่าที่น้อยลง เมื่อพิจารณาที่ความเครียดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.00247 มม/มม หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียดมีค่าเท่ากับ 0.247 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.31 และเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเหล็กแผ่นรีดร้อน (SS400) มีค่าเท่ากับ 46.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ผลหลังจากการปรับปรุงนั้นก็ยังมีค่าที่น้อยกว่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และเมื่อพิจารณาการเสียรูปที่ตำแหน่งดังกล่าวแล้วพบว่ามีค่าการเสียรูปในแนวแกน x = -0.409 มิลลิเมตร แนวแกน y = -0.23 มิลลิเมตรและแนวแกน z = 0.05 มิลลิเมตร จากผลการวิเคราะห์นั้นทราบได้ว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าที่น้อยกว่าความเค้นครากของวัสดุ และค่าความเครียดที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียดแล้วพบว่ายังมีค่าที่น้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และการเสียรูปที่ตำแหน่งดังกล่าวยังมีการเสียรูปที่น้อย ตำแหน่งดังกล่าวจึงไม่เกิดความเสียหายเกิดขึ้น

ผลการวิเคราะห์ภายหลังการปรับปรุงรูปร่างของชิ้นส่วนที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสมากกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ ผลจากการปรับปรุงนั้นค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A, C และตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด นั้นมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ เมื่อพิจารณาค่าความเครียด (Equivalent Strain) หากเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความเครียดที่เกิดขึ้นแล้วนั้นก็มีค่าที่น้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และการเสียรูปที่เกิดขึ้นนั้นก็ยังมีการเสียรูปที่น้อยซึ่งไม่ทำให้โครงสร้างเกิดการเสียหายหรือเพิ่มความเสี่ยงที่จะทำให้ผู้โดยสารได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิตได้ในขณะที่เกิดการชน ดังรูปที่ 4.32ที่

แสดงผลการเปรียบเทียบ และจากผลการปรับปรุงดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารหลังจากการปรับปรุงจากการออกแบบการทดลอง และการปรับปรุงรูปร่างของชิ้นส่วน Seat Anchorage, Chassis Profile และชิ้นส่วนฐานที่นั่งผู้โดยสาร นั้นมีความแข็งแรงสามารถทนต่อภาระการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ได้ตามที่เกณฑ์ข้อกำหนดได้ระบุเอาไว้



รูปที่ 4.32 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเค้นฟอนมิสเซสหลังจากการปรับปรุงรูปร่าง

บทที่ 5
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยได้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ซึ่งได้ทดสอบภายใต้เกณฑ์ข้อกำหนดของ ECE R 14 ผลการวิจัยพบว่า

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยของที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ นั้นจุดยึดเข็มขัดนิรภัยไม่เกิดความเสียหายและเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดของ ECE R 14 แต่พบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสเกิดขึ้นที่โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นมีค่าที่สูงกว่าค่าความเค้นครากและค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ทำให้โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นไม่ผ่านตามเกณฑ์การทดสอบของ ECE R 14

5.1.2 การปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารจากผลที่ได้วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ โดยได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสองระดับสี่ปัจจัย (Factorial Design 2^4) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ โดยปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาคือ

- ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage
- ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile
- ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Support Center
- ปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Bracket Side

โดยได้กำหนดตัวแปรตอบสนองคือ ตำแหน่งที่เกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วน Seat Anchorage เป็นตัวแปรตอบสนอง A ตำแหน่งที่เกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile เป็นตัวแปรตอบสนอง B และตำแหน่งที่เกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile บริเวณเชื่อมต่อกับขาตั้งที่นั่งผู้โดยสารเป็นตัวแปรตอบสนอง C ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Seat Anchorage, Chassis Profile และ Support Center มีอิทธิพลต่อความเสียหายที่ชิ้นส่วน Seat Anchorage เป็นตัวแปรตอบสนอง A อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile และ Support Center มีอิทธิพลต่อความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile เป็นตัวแปรตอบสนอง B อย่างมีนัยสำคัญ และ ผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยความหนาของชิ้นส่วน Chassis Profile มีอิทธิพล

ต่อความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile บริเวณเชื่อมต่อกับขาตั้งที่นั่งผู้โดยสาร เป็นตัวแปรตอบสนอง C อย่างมีนัยสำคัญ

5.1.3 การปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ของรถโดยสารขนาดใหญ่จากผลการออกแบบการทดลอง โดยได้ปรับปรุงชิ้นส่วน Chassis Profile ซึ่งความแข็งแรงของชิ้นส่วนดังกล่าวนี้มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของตัวแปรตอบสนอง A, B และ C และได้ปรับปรุงออกแบบชิ้นส่วน Support Center ซึ่งความแข็งแรงของชิ้นส่วนดังกล่าวนี้มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของตัวแปรตอบสนอง A และ B จากผลการปรับปรุงพบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นสูงสุดที่ชิ้นส่วน Seat Anchorage เป็นตัวแปรตอบสนอง A และตำแหน่งที่เกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile บริเวณเชื่อมต่อกับขาตั้งที่นั่งผู้โดยสาร เป็นตัวแปรตอบสนอง C นั้นมีค่าที่มากกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ แต่ก็ยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ส่วน ตำแหน่งที่เกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วน Chassis Profile เป็นตัวแปรตอบสนอง B นั้นมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ และค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดที่เกิดในโครงสร้างมีค่าเท่ากับ 477.44 MPa เกิดขึ้นที่ขาตั้งฐานที่นั่งผู้โดยสารซึ่งมีค่าที่มากกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ และมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ

จากผลการปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองโดยการเพิ่มปัจจัยความหนาของชิ้นส่วนที่ได้รับการศึกษานั้นยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A, C และ ตำแหน่งค่าความเค้นสูงสุด มีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุได้ ในการปรับปรุงเพื่อที่จะลดความเค้นที่เกิดขึ้นให้มีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุนั้นได้ทำการปรับปรุงรูปร่างชิ้นส่วน Seat Anchorage ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง A ชิ้นส่วน Chassis Profile ตำแหน่งตัวแปรตอบสนอง C และ ชิ้นส่วนแผ่นรองขาตั้งฐานที่นั่งผู้โดยสาร จากผลการปรับปรุงพบว่าค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นในจุดที่ได้รับการปรับปรุงนั้นมีค่าที่น้อยลงและมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารและจุดยึดเข็มขัดนิรภัยที่ได้ทำการวิเคราะห์และปรับปรุงนั้นมีความแข็งแรงสามารถรับภาระการทดสอบตามข้อกำหนดของ ECE R14 ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ผลการวิเคราะห์จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นั้นเป็นการทำนายรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจริงเท่านั้น เพื่อให้ผลเฉลยจากระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์มีความถูกต้องและแม่นยำควรเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์กับการทดสอบจริง

5.2.2 จากผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นฟอนมิสเซสที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่แล้วค่าความเค้นจะกระจายตัวอยู่ที่บริเวณจุดต่อของชิ้นส่วนในโครงสร้างซึ่งเป็นรอยเชื่อม ควรที่จะศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อมและออกแบบรอยเชื่อมให้มีขนาดที่เหมาะสม

5.2.3 การวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นเป็นการวิเคราะห์จากการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE R 14 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์เพียงแค่ข้อกำหนดเดียวเพียงเท่านั้นซึ่งยังไม่ครอบคลุมเกณฑ์การทดสอบเกี่ยวกับความแข็งแรงของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตามที่ UN ECE ได้กำหนดไว้คือ ECE R 17 และ ECE R 80 ควรที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตามข้อกำหนดของ ECE R 17 และ ECE R 80 ให้โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารผ่านมาตรฐานการทดสอบตามหลักเกณฑ์ของ UN ECE ได้กำหนดไว้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

เดช พุทธเจริญทอง (2548). **ทฤษฎีพลาสติกซิตีและการเปลี่ยนรูปถาวร.** ศูนย์ส่งเสริมกรุงเทพ. กรุงเทพฯ. 432 หน้า

ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2555). **ไฟไนต์อิลลิเมนต์ในงานวิศวกรรม** . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 613 หน้า

ณัฐกานต์ไวยเนตร. (2551). **รายงานผลการสอบสวนการบาดเจ็บจากการจราจรบนถนนกรณีศึกษารถประจำทางและรถบัสเช่าเหมาลาระหว่างเดือนมกราคม 2549- มกราคม 2551**. กลุ่มงานระบาดวิทยาโรคไม่ติดต่อสานักระบาดวิทยากรมควบคุมโรค

ธารทิพย์. (2555). **ประกาศจากกรมการขนส่งทางบกได้มีระเบียบ กำหนดให้ รถโดยสารประจำทางรวมทั้งรถโดยสารไม่ประจำทางทุกคัน ต้องติดตั้งเข็มขัดนิรภัยทุกที่นั่ง** . เข้าถึงได้จาก : http://www.dlt.go.th/th/attachments/plan48-51/3179 (วันที่สืบค้นข้อมูล : 8 ตุลาคม 2558)

ธารทิพย์. (2557). **ประกาศจากกรมการขนส่งทางบกได้มีระเบียบกำหนดให้ผู้โดยสาร คาดเข็มขัดนิรภัยตลอดเวลาที่อยู่ระหว่างการโดยสาร หากฝ่าฝืนมีความผิดต้องระวางโทษปรับไม่เกิน 5,000 บาท**.เข้าถึงได้จาก : http://phichit.dlt.go.th/kow%2055/p7.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล : 8 ตุลาคม 2558)

ไพโรจน์ สิงหฉนัดกิจ (2555). **กลศาสตร์ของวัสดุวิศวกรรม** . สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 539 หน้า

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม . (2552). **มอก.721-2551 เข็มขัดนิรภัยสำหรับรถยนต์** . สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม . (2533). **มอก. 107-2533 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณกลวง สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2541). **มอก.1479-2540 เข็มขัดนิรภัย เหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อน แผ่นม้วน แผ่นแถบ แผ่นหน้า และแผ่นบาง สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป** . สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สุธีระ ประเสริฐสรรพ์ (2553). กลศาสตร์การแตกหัก. เทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา. 273 หน้า

รายการอ้างอิง (ต่อ)

สถาบันยานยนต์. (2547). **รายงานศึกษาผลกระทบด้านการทดสอบตามมาตรฐานแนบท้าย ASEAN MRA**. เข้าถึงได้จาก :http://www.thaiauto.or.th/2012/ th/research/research-detail.asp?rsh_id=11 (วันที่สืบค้นข้อมูล : 7 ตุลาคม 2558)

สถาบันยานยนต์. (2553). **ข้อมูลสนับสนุนแก่สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม เรื่อง อุตสาหกรรมรถบรรทุกของประเทศไทย** . เข้าถึงได้จาก : http://www.siblor.com/image/02-25-14.pdf(วันที่สืบค้นข้อมูล : 7 ตุลาคม 2558)

สถิติการรับแจ้งคดีอุบัติเหตุการจราจรทางบก จำแนกตามประเภทรถ ความเสียหาย และผู้ต้องหาทั่วราชอาณาจักร ปีงบประมาณ 2550 – 2557 . (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก: http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/tables/00000_Whole_Kingdom/14.16.2-50-57.xls (วันที่สืบค้นข้อมูล : 8 ตุลาคม 2558)

อุตสาหกรรมรถบรรทุกของประเทศไทย. (2553). **ข้อมูลสนับสนุนแก่สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม**, 13-17

Annual book of ASTM standard, (2004). **Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials.** ASTM E8, Vol.03.01.pp.62-85

Annual book of ASTM standard, (2004). **Standard Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature. ASTM E132, Vol.03.01.pp.293-295**

Celalettin Yuce, Fatih Karpat, Nurettin Yavuz and Gokhan sendeniz. (2014). **A Case Study: Designing for Sustainability and Reliability in an Automotive Seat Structure. Sustainability 2014**, 6,4608-4631; doi:10.3390/su6074608

ภาคผนวก ก

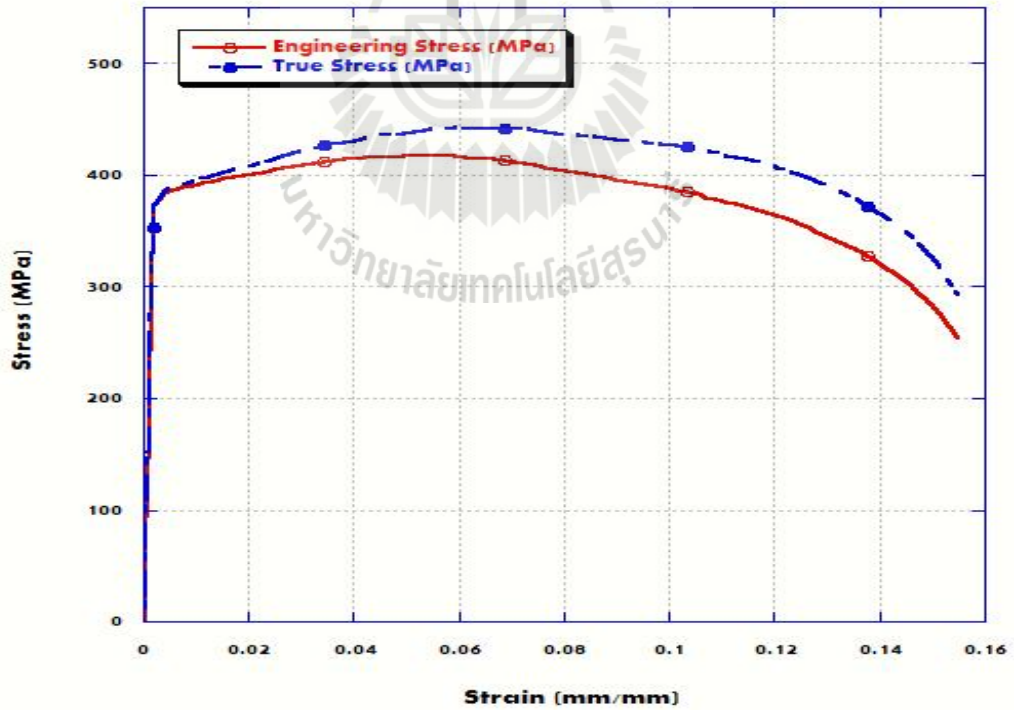
รายงานผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดสอบ	การทดสอบแรงดึง

วัสดุ	เหล็กกล่อง 1 นิ้ว	มาตรฐานชิ้นงานทดสอบ	ASTM E8
ผู้ทดสอบ	พิตินันท์	เครื่องทดสอบ	UTM (Lloyd LS100)
ชิ้นงาน	เหล็กกล่อง 1 นิ้ว		Part Number: 01/3174
วันที่	26-เม.ย.-57		Serial Number: 108797
เวลา	18.50 น		Load cell: Serial No. 100KN0042
อุณหภูมิ	25.2 องศาเซลเซียส		Load Cell Capacity: 100 kN
ความเร็วทดสอบ	0.75 มม/นาที	อุปกรณ์วัดระยะยืด	Extensometer: ยี่ห้อ Epsilon
ลักษณะการทดสอบ	ทดสอบแรงดึง		Model: 3542-050M-050-ST
มาตรฐาน	ASTM E8, ASTM E111		Gage Length: 50.00 mm

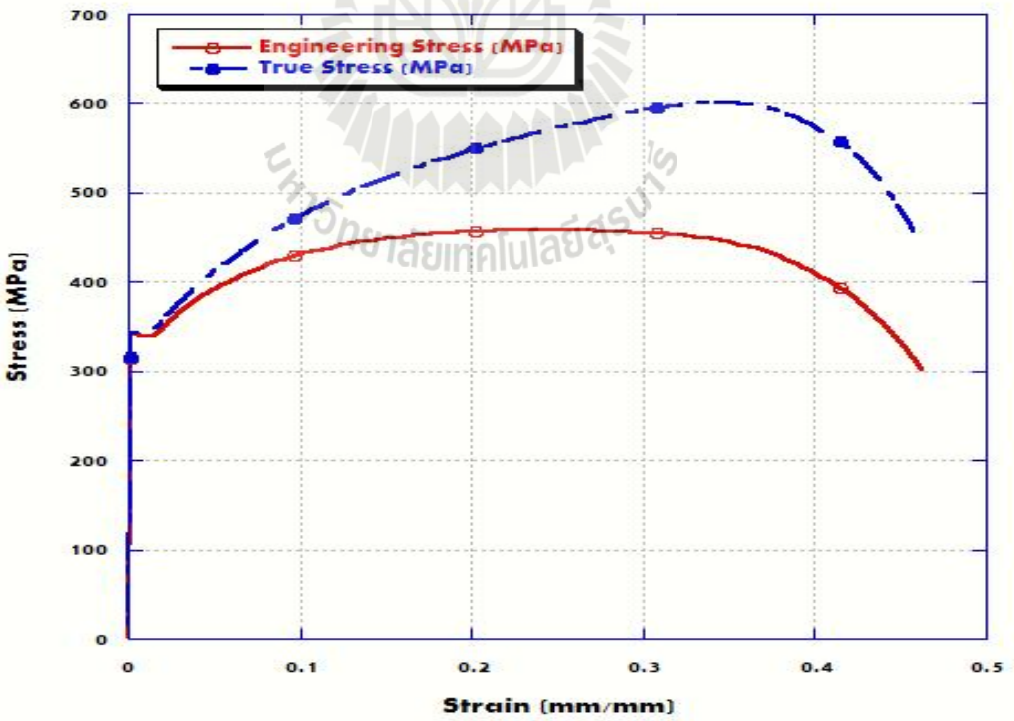
คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	ผลการทดสอบเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าความเค้นคราก (Mpa)	407	5.3
ค่าความเค้นสูงสุด (Mpa)	414.7	4.6
เปอร์เซ็นการยืดตัว (%)	15.49	0.3
มอดูลัสความยืดหยุ่น (Gpa)	197.41	4.208



ผลการทดสอบ	การทดสอบแรงดึง

วัสดุ	SS400	มาตรฐานชิ้นงานทดสอบ	ASTM E8
ผู้ทดสอบ	พิตินันท์	เครื่องทดสอบ	UTM (Lloyd LS100)
ชิ้นงาน	เหล็กแผ่น หนา 6 มม		Part Number: 01/3174
วันที่	22-มี.ค.-57		Serial Number: 108797
เวลา	13.22 น		Load cell: Serial No. 100KN0042
อุณหภูมิ	25.6 องศาเซลเซียส		Load Cell Capacity: 100 kN
ความเร็วทดสอบ	0.75 มม/นาที	อุปกรณ์วัดระยะยืด	Extensometer: ยี่ห้อ Epsilon
ลักษณะการทดสอบ	ทดสอบแรงดึง		Model: 3542-050M-050-ST
มาตรฐาน	ASTM E8, ASTM E111		Gage Length: 50.00 mm

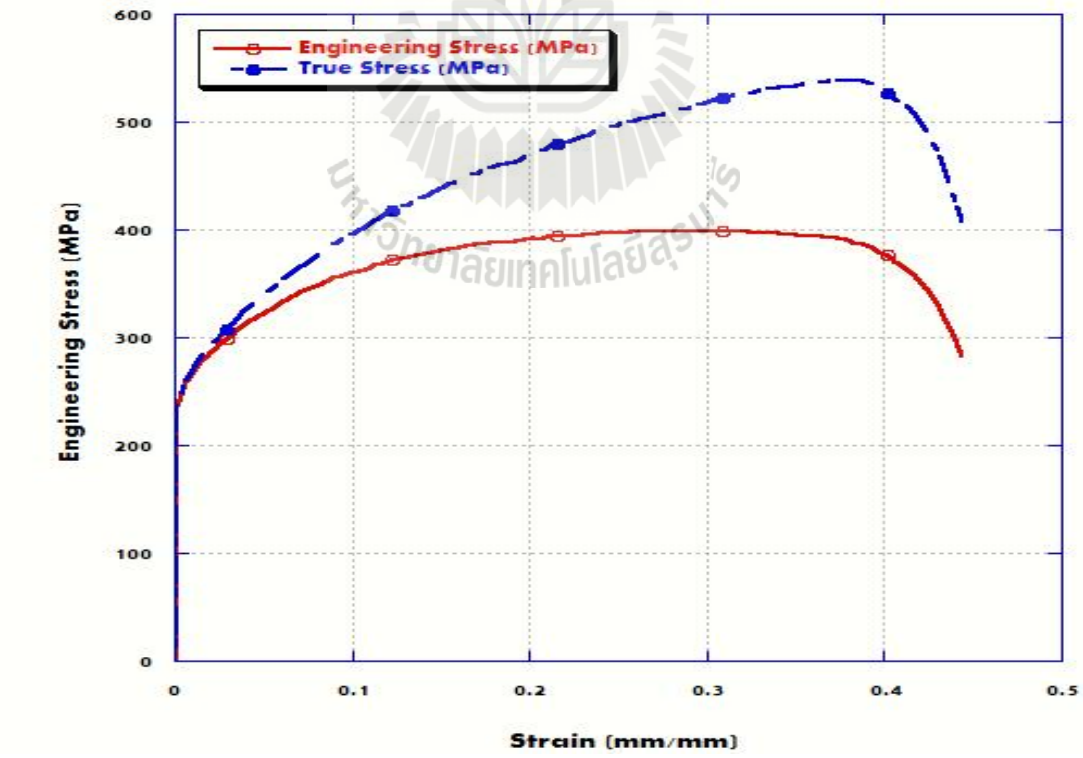
คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	ผลการทดสอบเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าความเค้นคราก (Mpa)	384.509	38.61
ค่าความเค้นสูงสุด (Mpa)	447.25	27.48
เปอร์เซ็นการยืดตัว (%)	46.21	1.37
มอดูลัสความยืดหยุ่น (Gpa)	185.05	5.383



ผลการทดสอบ	การทดสอบแรงดึง

วัสดุ	รหัสโรงงาน NO.17	มาตรฐานชิ้นงานทดสอบ	ASTM E8
ผู้ทดสอบ	พิตินันท์	เครื่องทดสอบ	UTM (Lloyd LS100)
ชิ้นงาน	เหล็กแผ่น หนา 2 มม		Part Number: 01/3174
วันที่	27-พ.ค.-57		Serial Number: 108797
เวลา	20.09 น		Load cell: Serial No. 100KN0042
อุณหภูมิ	23.9 องศาเซลเซียส		Load Cell Capacity: 100 kN
ความเร็วทดสอบ	0.75 มม/นาที	อุปกรณ์วัดระยะยืด	Extensometer: ยี่ห้อ Epsilon
ลักษณะการทดสอบ	ทดสอบแรงดึง		Model: 3542-050M-050-ST
มาตรฐาน	ASTM E8, ASTM E111		Gage Length: 50.00 mm

คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	ผลการทดสอบเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ค่าความเค้นคราก (Mpa)	457.8	25.91
ค่าความเค้นสูงสุด (Mpa)	481.19	0.68
เปอร์เซ็นการยืดตัว (%)	44.4	0.31
มอดูลัสความยืดหยุ่น (Gpa)	173.67	5.058



ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

พิตินันท์ วสันตเสนานนท์ , สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2558). **การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารภายใต้ภาระการทดสอบตามข้อกำหนดของ UN ECE R14 ด้วยระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์** . การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 (AMM-34)., หน้า 446-455

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29
1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา
ME-NETT2015

AMM-34

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารภายใต้ภาระการทดสอบตามข้อกำหนดของ UN ECE R14 ด้วยระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์

Strength Analysis of Seat Structure by Requirements of UN ECE Regulation 14 Using Finite Element Method

พิตินันท์ วสันตเสนานนท์ และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์
สาขาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
อีเมล์: pitinun_mc@hotmail.com อีเมล์: somsaksi@sut.ac.th

บทคัดย่อ

เข็มขัดนิรภัยคือชุดอุปกรณ์ประกอบด้วยสายคาดที่มีหัวเข็มขัด อุปกรณ์ปรับความยาว และอุปกรณ์ที่สามารถยึดติดกับโครงสร้างที่อยู่ด้านในของรถยนต์ และได้รับการออกแบบเพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับบาดเจ็บของผู้ใช้ ในกรณีรถยนต์เกิดการชน และจุดยึดเข็มขัดนิรภัยเป็นจุดยึดชุดเข็มขัดนิรภัยให้ยึดติดกับโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสาร ต้องมีความแข็งแรงและไม่เกิดความเสียหายที่จะส่งผลทำให้ชุดผู้โดยสารเกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต โดย UN ECE Regulation 14 ได้กำหนดวิธีการทดสอบและเงื่อนไขการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัย เพื่อให้ผู้ออกแบบได้ออกแบบโครงสร้างและออกแบบการจัดวางตำแหน่งจุดยึดเข็มขัดนิรภัยให้มีความแข็งแรงโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร โดยการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยในที่นั่งผู้โดยสาร ตามข้อกำหนดของ UN ECE Regulation 14 จึงเป็นที่มาให้ผู้วิจัยได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างให้เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดของ UN ECE Regulation 14 ผลการวิเคราะห์พบว่าจุดยึดเข็มขัดนิรภัยนั้นเกิดความเสียหายเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งไม่ทำให้ชุดเข็มขัดนิรภัยหลุดออกจากโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารได้ แต่ตัวโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารนั้นเกิดการเสียหายแบบฉีกขาดเนื่องจากได้รับภาระโมเมนต์ดัดสูงที่จุดเชื่อมต่อ ซึ่งในการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นเป็นเพียงแค่การทำนายการทดสอบโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารโดยให้ภาระกระทำตามข้อกำหนดของ UN ECE Regulation 14 เพื่อได้ทราบถึงพฤติกรรมและการเสียหายของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารเพียงเท่านั้น เพื่อที่จะนำข้อมูลดังกล่าวไปปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างเบาะที่ให้ผู้โดยสารให้มีความแข็งแรงตามเกณฑ์การทดสอบ UN ECE Regulation 14 ได้กำหนดไว้ให้มีความเหมาะสมในการผลิตในสถานประกอบการเพื่อให้มีศักยภาพในการแข่งขันในธุรกิจต่อไป

คำหลัก: จุดยึดเข็มขัดนิรภัย, โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร, ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29
1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา
ME-NETT2015

AMM-34

Abstract

The safety belt consists of a seat belt (belt with a buckle), inertia reel, locking retractors, and seat belt anchorage attached to the passenger vehicles structure. Seat belts are designed to reduce the risk of injuries to the passengers when the accident occurred. The seat belt anchorage is functioned to secure the safety belt attached to the passenger seat must be strong and do not damage that will result in passenger injury or death. The UN ECE Regulation 14 has defined the test methods and test conditions of on the seat belt anchorage. To design the structure and design of positioning the seat belt anchor strength without causing damage to the passenger seat and seat belt anchors. The testing of the seat belt anchor in the passenger seat is a according to the UN ECE Regulation 14. The research was to analysis the strength of the seat structure to conform to the requirements of the UN ECE Regulation 14 by using Finite Element Method. The analysis shows that the seat belt anchors were slightly were slightly damaged (just above allowance stress) seat belts do not slipped out of the passenger seat structure. But the passenger seats were damaged and tear, due to the maximum bending moment at the connection joint. These results was used to predicted the passenger seat structure accordance with the UN ECE Regulation 14 in order to understand the behavior and the damage of the seat belt anchor and the passenger seat structure. These information will be used to improve the passenger seat structure that conform to the test criteria UN ECE Regulation 14.

Keywords: seat belt anchorage, passenger seat structure, Finite Element Method

1. บทนำ

เข็มขัดนิรภัยคือชุดอุปกรณ์ประกอบด้วยสายคาดที่มีหัวเข็มขัด อุปกรณ์ปรับความยาว และอุปกรณ์ที่สามารถยึดติดกับโครงสร้างที่อยู่ด้านในของรถยนต์ และได้รับการออกแบบเพื่อลดความเสี่ยงต่อการได้รับบาดเจ็บของผู้ใช้ในกรณีรถยนต์เกิดการชน หรือลดความเร็วลงอย่างกะทันหัน โดยการจำกัดการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ [1] ในการออกแบบระบบความปลอดภัยเฉพาะบริเวณที่นั่งผู้โดยสารนั้น จุดยึดเข็มขัดนิรภัยเป็นจุดยึดชุดเข็มขัดนิรภัยให้ยึดติดกับโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสาร ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงและไม่เกิดความเสียหายที่จะส่งผลทำให้ชุดเข็มขัดนิรภัยหลุดออกไปจากโครงสร้างเบาะที่นั่งและทำให้ผู้โดยสารเกิดการบาดเจ็บหรือเสียชีวิต ในกรณีที่เกิดการชน หรือลดความเร็วลงอย่างกะทันหัน ในมาตรฐานการควบคุมการออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยซึ่ง UN ECE Regulation 14 ได้กำหนดวิธีการทดสอบและเงื่อนไขการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัย เพื่อให้ผู้ออกแบบได้ออกแบบโครงสร้างและออกแบบการจัดวางตำแหน่งจุดยึดเข็มขัดนิรภัยให้มีความแข็งแรงโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร

ผู้ประกอบการต่อตัวถังและดัดแปลงรถโดยสารโดยผู้ประกอบการซื้อชิ้นส่วนรถยนต์ใช้แล้ว อันได้แก่ Chassis / Engine / ชุดบังคับซึ่ง เป็นอะไหล่เก่าจากประเทศญี่ปุ่นที่ยังสามารถใช้งานได้นำมาประกอบรถ [2] ซึ่งในการผลิตดังกล่าวนั้นสถานประกอบการต้องทำการผลิตภายใต้ข้อกำหนดของกฎหมายของกรมการขนส่งทางบกได้กำหนด และจะต้องผ่านการทดสอบในด้านต่างๆและตรวจสภาพตามที่กรมการขนส่งทางบกได้กำหนด จึงจะสามารถขึ้นทะเบียนรถโดยสารได้ ซึ่งการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยในที่นั่งผู้โดยสาร ตามข้อกำหนดของ ECE R14 ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้มีกฎหมายควบคุมสถานประกอบการให้ออกแบบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดดังกล่าว ซึ่งหมายความว่าในประเทศไทยนั้นยังไม่มีเครื่องมือทดสอบและหน่วยงานที่รับรองการผลิตที่ผู้ประกอบการได้ผลิตที่นั่งผู้โดยสารออกมาได้

นั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารภายใต้ภาระการทดสอบตามหลักเกณฑ์ตามข้อกำหนดของ ECE R14 หรือ มอก.1467-2550 ด้วยระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์วิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารมีความแข็งแรงตาม

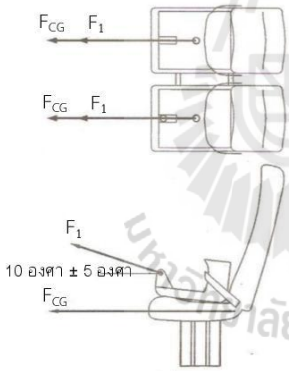
AMM-34

ข้อกำหนด และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของสถานประกอบการที่มีการแข่งขันทางธุรกิจที่สูงขึ้นได้ และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ ซึ่งใช้โปรแกรมเชิงพานิชชื่อว่า ANSYS 13 ช่วยในการวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ตามข้อกำหนด ECE Regulation 80 ซึ่งพบว่าระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์สามารถช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสารที่มีความแม่นยำ ยังช่วยลดเวลา ลดขั้นตอน และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์และออกแบบจุดยึดโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสาร [3]

2. ระเบียบวิธีดำเนินงาน

2.1 เกณฑ์การทดสอบและข้อกำหนดการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัย ECE Regulation 14 [4]

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยได้ทดสอบตามหลักเกณฑ์และข้อกำหนดการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบสายรัดหน้าตักแบบ 2 จุด ของที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงถึงการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยแบบสองจุดสำหรับที่นั่งคู่

2.1.1 วิธีการทดสอบ

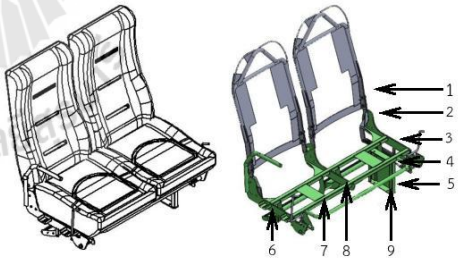
- ปรับพนักพิงหลังให้ล็อคตามที่ผู้ผลิตกำหนด
- ให้แรง F_1 = 7400±200 นิวตัน
- ให้แรง F_{CG} = 6.6 เท่าของน้ำหนัก ของที่นั่ง กระทำผ่านจุดศูนย์ถ่วงที่ขนาดกับแนวนอน
- ให้แรงดึง F_1 และ F_{CG} พร้อมกันโดยเริ่มต้นร้อยละ 10 ของแรงดึงเป้าหมาย จากนั้นให้แรงดึงร้อยละ 100 ของแรงดึง ให้แรงดึงถึงแรงดึงเป้าหมายเร็วที่สุดโดยใช้เวลาไม่มากกว่า 60 วินาที

2.1.2 เกณฑ์การตัดสิน

- จุดยึดเข็มขัดนิรภัยต้องทนแรงได้ไม่น้อยกว่า 0.2 วินาทีต้องไม่เกิดความเสียหายใด ๆปรากฏที่โครงสร้างที่นั่งหรือจุดยึดที่นั่ง
- ระบบปรับตำแหน่ง และระบบเลื่อนหรืออุปกรณ์ล็อก ในหระหว่างการทดสอบการเสียรูปถาวร รวมถึงการแตกหักบางส่วน อาจเป็นที่ยอมรับได้ ถ้าหากความเสียหายเหล่านี้ไม่เพิ่มความเสี่ยงของการบาดเจ็บในกรณีที่เกิดการชนและสามารถรองรับรองแรงตามที่กำหนดได้

2.2 โครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสารและส่วนประกอบ

ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสารด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์นี้ได้ใช้โมเดลโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสาร ซึ่งในแผนกผลิตโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสารนั้นได้ผลิตเพียงรูปแบบโครงสร้างเบาะเพียบรูปแบบเดียว ดังรูปที่ 2

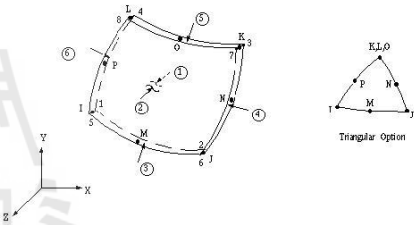


รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของเบาะที่นั่งผู้โดยสารและโครงสร้างที่นั่งเบาะ

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของโครงสร้างเบาะที่นั่ง

NO	ชื่อชิ้นส่วน	วัสดุ	ความหนา(มม)
1	Steel PIPE Ø1"	Tube	1.8
2	STEEL PLATE	SS400	4
3	SUPPORT SIDE	SS400	6.3
4	Steel PIPE 1"× 1"	Tube	1.8
5	LOCK STRUCTURE	P/O	2
6	BRACKET SIDE	SS400	4
7	STEEL PLATE	SS400	4
8	SUPPORT CETER	SS400	6.3
9	STEEL PLATE	SS400	4

(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ลักษณะรูปร่างของแบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์ของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร

2.3 ขอบเขตการทดลอง

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างฐานที่นั่งผู้โดยสารด้วยระเบียบไฟไนต์อิลลิเมนต์ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมเชิงพานิชซึ่งมีชื่อว่า ANSYS 13 โดยได้กำหนดขอบเขตการทดลองและสมมุติฐานในการทดลองไว้ดังนี้

- กำหนดภาระกระทำตามเกณฑ์ข้อกำหนดทดสอบจุดยึด เข็มขัดนิรภัยตามมาตรฐาน ECE Regulation 14 ดังหัวข้อที่ 2.1
- การวิเคราะห์เป็นแบบสถิตศาสตร์
- วัสดุในแต่ละชิ้นของโครงสร้างฐานที่นั่งผู้โดยสารนั้นเป็นเนื้อเดียวกันและมีคุณสมบัติที่เหมือนกันทุกทิศทาง
- ไม่พิจารณาความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นหลังจากการผลิต
- กำหนดคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นแบบ Bilinear Isotropic Hardening

2.3.1 เงื่อนไขขอบเขตการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์

2.3.1.1 แบบจำลองไฟไนต์อิลลิเมนต์

ในการสร้างแบบจำลองจะเป็นการทดสอบทั้งโครงสร้างที่นั่งดังรูปที่ 3ก และได้กำหนดโครงตาข่ายเป็นแบบ Shell 150 ซึ่งเป็นอิลลิเมนต์แผ่นบาง 8 จุดต่อดังรูปที่ 3ข

การกำหนดจุดเชื่อมต่อของแต่ละชิ้นส่วนในโครงสร้างที่นั่งจะกำหนดเป็นแบบตรึงแน่น (Bonded Contact) และดังรูปที่ 4ก ตำแหน่งที่ 1-3 ซึ่งเป็นจุดต่อและจุดหมุนของโครงสร้างพนักพิงยึดติดกับโครงสร้างฐานนั่งนั้นได้ซึ่งสามารถทำให้หมุนให้พนักพิงปรับเอนนอนได้ ซึ่งได้กำหนดจุดต่อดังกล่าวเป็นแบบ Revolute รอบแกน z รูปที่ 4ข ได้กำหนดจุดต่อเป็นแบบสปริงซึ่งโครงสร้างจริงนั้นผู้ประกอบการได้ติดตั้งเป็นแบบแก๊สสปริง ยี่ห้อ STABILUS ซึ่งมีค่า Stiffness เท่ากับ 5.71 N/mm

AMM-34

2.3.1.3 คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติทางกลของวัสดุนั้นได้ทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นเหล็กภายในโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารของสถานประกอบการ ซึ่งจะมีเหล็กอยู่ 3 ชนิดด้วยกันคือ เหล็กแผ่นเกรด SS400 เหล็กรูปพรรณแบบกลวง (tube) และเหล็กปิ๊กเกอร์ (P/O) ซึ่งทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์ยี่ห้อ Lloyd ขนาด 100 kN ใช้ Extensometer ยี่ห้อ Epsilon ทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM E8 และได้ทดสอบหาค่าอัตราส่วนปัวซองโดยตามมาตรฐาน ASTM E132 โดยให้ภาระโดยเครื่องทดสอบแรงดึงเอนกประสงค์ และติดเซนเซอร์วัดความเครียด (Strain Gauge) ที่ชิ้นงานยี่ห้อ TML โดยมีค่า Gauge Resistance เท่ากับ 119.8±0.5Ω และค่า Gage Factor เท่ากับ 2.11 ± 1% บันทึกข้อมูลโดยเครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Agilence รุ่น 34972A ซึ่งทดสอบภายในห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ ได้ค่าดังตารางที่ 3

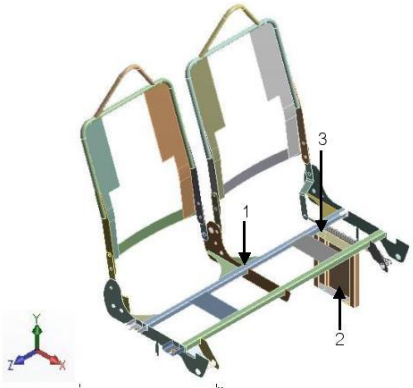
ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	ชื่อวัสดุ		
	SS400	Tube	P/O
Young modulus (GPa)	184.56	194.44	184.9
Tangent modulus (MPa)	1714.3	627.12	627.05
Yield Strength (MPa)	384.51	406.99	441
Tensile Strength (MPa)	447.25	414.66	481.19
Poisson Ratio	0.284	0.27	0.33

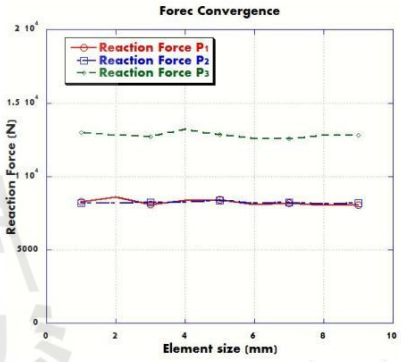
3. ผลการวิเคราะห์

3.1 การวิเคราะห์ขนาดอิลลิเมนต์ที่เหมาะสม

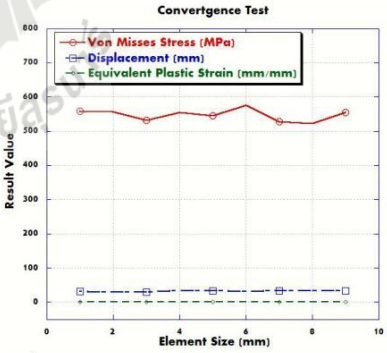
ในการวิเคราะห์ได้ทำการทดสอบเพื่อหาขนาดของอิลลิมเมนต์ที่เหมาะสมโดยใช้การลู่เข้าของข้อมูลได้กำหนดขนาดอิลลิเมนต์ จากขนาดเริ่มต้นที่โปรแกรมกำหนดคือ 9 มิลลิเมตร และได้กำหนดลดขนาดลงเป็นลำดับคือ 8 7 6 5 4 3 2 และ 1 มิลลิเมตร โดยจะพิจารณาที่ค่าความเค้น Max von misses ระยะการเสียรูปสูงสุด Equivalent plastic strain และค่าแรงปฏิกิริยาที่ตำแหน่งจุดต่อดังรูปที่ 6 จากการทดสอบนั้นจะได้ค่าดังรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 9



รูปที่ 6 ตำแหน่งจุดต่อที่ได้วัดค่าแรงปฏิกิริยา

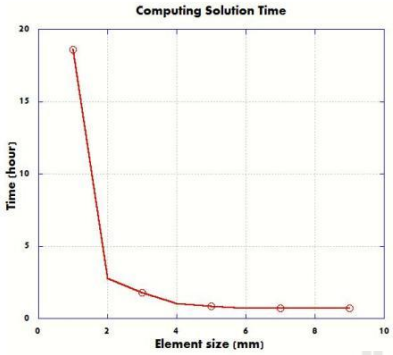


รูปที่ 7 แสดงถึงการลู่เข้าของแรงปฏิกิริยาที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 3 ตามรูปที่ 5



รูปที่ 8 กราฟการลู่เข้าของค่าความเค้น Von-misses ค่า Displacement และ Equivalent Plastic Strain

AMM-34

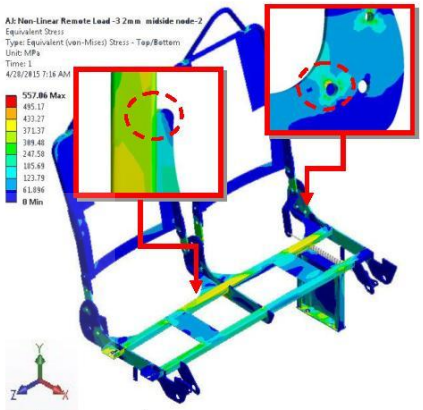


รูปที่ 9 แสดงถึงเวลาที่ใช้การการประมวลผลของข้อมูลในแต่ละขนาดของอิลลิเมนต์ในการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเมื่อพิจารณารูปที่ 7 พบว่าผลของแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อลดขนาดอิลลิเมนต์ลงนั้นมีความแตกต่างน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอิลลิเมนต์เริ่มต้น เมื่อพิจารณา Displacement และ Equivalent plastic strain ดังรูปที่ 8 พบว่ามีความแตกต่างในแต่ละช่วงของการปรับลดขนาดอิลลิเมนต์ที่น้อยเหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความเค้น Von Misses stress นั้นจะมีค่าเริ่มลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรงที่ขนาดอิลลิเมนต์ที่ 6 มิลลิเมตร และจะไปคงที่อยู่ที่ ขนาดอิลลิเมนตที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่าขนาดของอิลลิเมนต์ที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร มีค่าที่ลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรง แต่เมื่อมาพิจารณาที่เวลาในการประมวลผลที่ขนาดอิลลิเมนต์ 2 มิลลิเมตรใช้เวลาในการประมวลผล 2.76 ชั่วโมง และขนาดอิลลิเมนต์ 1 มิลลิเมตรใช้เวลาในการประมวลผล 18.62 ชั่วโมง ซึ่งมีความแตงต่างกันถึง 85.17 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันมากแต่ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน

3.2 การวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากเกณฑ์การตัดสินของ ECE Regulation 14 ได้กำหนดว่า จุดยึดเข็มขัดนิรภัยต้องทนแรงและต้องไม่เกิดความเสียหายใดๆปรากฏที่โครงสร้างที่นั่งหรือจุดยึดที่นั่ง จากผลการทดสอบดังหัวข้อที่ 3.1 จึงได้เลือกวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างที่นั่งเบาะผู้โดยสารตามเงื่อนไขขนาดอิลลิเมนต์ 2 มิลลิเมตร ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าความเค้น Von misses สูงสุดเท่ากับ 557.06 MPa ซึ่งเกิดขึ้นตรงบริเวณจุดยึดเข็มขัดนิรภัยดังรูปที่ 10 ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งมีค่าความเค้นที่เกินค่าความเค้นคราก และค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ โดยชิ้นงานดังกล่าวนั้นเป็นเหล็กเกรด SS400



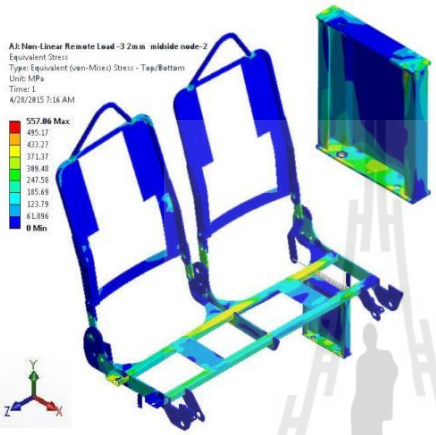
รูปที่ 10 ตำแหน่งที่เกิดความเค้น Von-misses สูงสุด

จากรูปที่ 10 นั้นบริเวณที่เกิดค่าความเค้น Von misses สูงสุดนั้นเกิดเพียงแค่บริเวณเล็กๆตรงขอบของรูที่เป็นจุดยึดเข็มขัดนิรภัยเพียงเท่านั้นซึ่งเกิดความเสียหายเป็นจุด และเมื่อเปรียบเทียบความเค้น Von misses ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ใกล้เคียงนั้นมีค่าที่น้อยไม่เกิดความเสียหายแบบคราก และไม่ส่งผลต่อความเสียหายของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสาร ในตำแหน่งที่เกิดความเสียหายตำแหน่งที่ 2 นั้นมีค่าความเค้น Von misses เท่ากับ 509.99 MPa ซึ่งเกิดขึ้นที่ Bracket Support มีค่ามากกว่าความเค้นครากและความเค้นสูงสุดของชิ้นงานดังกล่าวที่เป็นเหล็ก SS400 ซึ่งเกิดขึ้นสูงสุดเป็นจุดเล็กๆซึ่งไม่ส่งผลต่อความเสียหายของโครงสร้างเบาะที่นั่งผู้โดยสาร

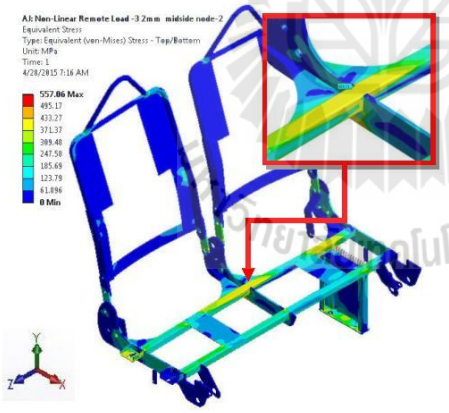
เมื่อพิจารณาชิ้นส่วน LOCK STRUCTURE ซึ่งเป็นขาตั้งโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารเป็นเหล็ก P/O ดังรูปที่ 11 พบว่ามีค่าความเค้น Von misses อยู่ในช่วง 400.34 – 499.75 MPa ซึ่งมีค่าที่มากกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุ แต่ยังมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ ดังนั้นชิ้นส่วนดังกล่าวเกิดความเสียหายแบบครากหรือเกิดการยืดตัวแบบถาวรแต่ยังไม่เกิดความเสียหายแบบฉีกขาด และจากรูปที่ 11 เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่พนัก

AMM-34

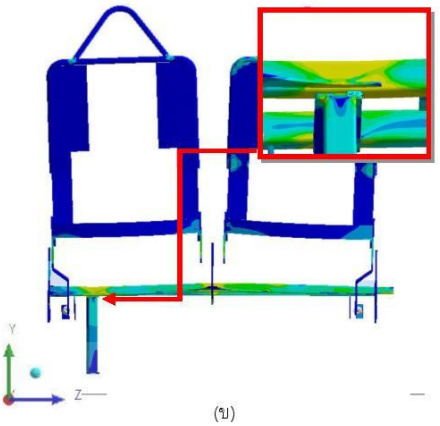
พิงหลังพบว่ามีค่าสูงสุดอยู่ที่ 313.13 MPa ซึ่งมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเค้นครากของวัสดุที่เป็นเหล็กรูปพรรณแบบกลวง Tube ดังตารางที่ 3 และชิ้นส่วนประกอบพนักพิงที่เป็นเหล็ก SS400 มีค่าเท่ากับ 339.49 MPa ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าความเค้นครากของวัสดุเช่นเดียวกัน ดังนั้นพนักพิงหลังจึงไม่เกิดความเสียหายใดๆเกิดขึ้นภายหลังการทดสอบ



รูปที่ 11 ชิ้นส่วน LOCK STRUCTURE ที่เกิดการเสียรูปถาวรซึ่งยังไม่เกิดการเสียหายแบบฉีกขาด



(ก)



(ข)

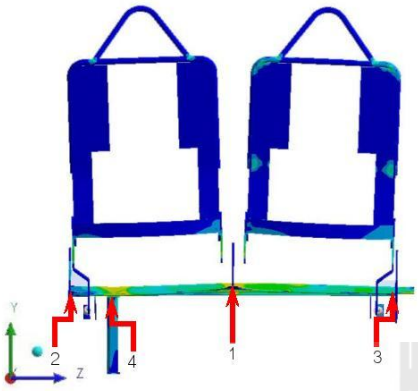
รูปที่ 12 แสดงถึงบริเวณที่เกิดความเสียหายในชิ้นส่วนชิ้นงาน Steel PIPE 1"× 1"

จากรูปที่ 12 ชิ้นส่วน Steel PIPE 1"× 1" ซึ่งเป็นเหล็กกล่องนั้นมีค่าความเค้น Von misses ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 439.71 MPa ดังรูปที่ 12ก และความเค้น Von misses เกิดขึ้นเท่ากับ 445.27 MPa ดังรูปที่ 12ข ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวนั้นเกิดความเสียหายแบบฉีกขาด และเมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวแกนของบริเวณที่เกิดความเสียหายแบบฉีกขาดดังรูปที่ 12ก และ รูปที่ 12ข พบว่าส่วนใหญ่แล้วบริเวณที่เกิดการเสียหายนั้นเกิดความเสียหายเนื่องจากความเค้นดึงในแนวแกน Z ดังตารางที่ 4 และตำแหน่งดังรูปที่ 13

ตารางที่ 4 ค่าความเค้นแนวแกนบริเวณที่เกิดความเสียหายแบบฉีกขาด

ตำแหน่งพิจารณา	Normal Stress (MPa)		
	X	Y	Z
ตำแหน่งที่ 1	182.27	0.34	556.29
ตำแหน่งที่ 2	213.56	1.1e-19	444.15

AMM-34



รูปที่ 13 ตำแหน่งที่พิจารณาแรงปฏิกิริยาของชิ้นส่วน Steel PIPE 1"× 1"

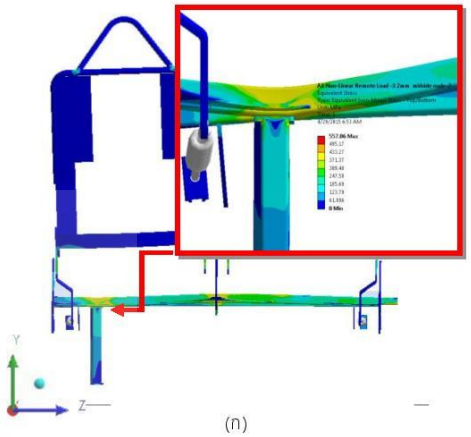
ตารางที่ 5 แรงปฏิกิริยาโมเมนต์เกิดขึ้นในคานดังรูปที่ 13

ตำแหน่ง	แรงปฏิกิริยาโมเมนต์ (N.mm)			
	X	Y	Z	Total
1	-42391	-1431	3.59×10^{5}	3.61×10^{5}
2	-4847	13483	22985	55929
3	-1.55×10^{5}	81985	1.68×10^{5}	2.44×10^{5}
4	-3.22×10^{6}	1.44×10^{6}	72378	3.53×10^{6}

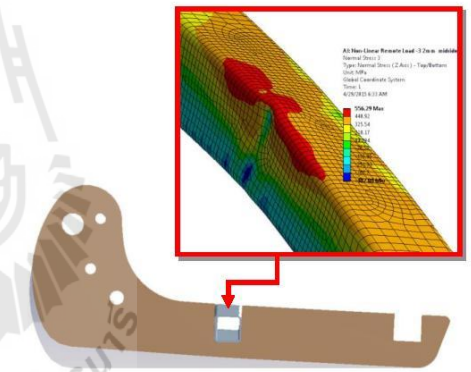
ตารางที่ 6 แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในคานดังรูปที่ 13

ตำแหน่ง	แรงปฏิกิริยา (N)			
	X	Y	Z	Total
1	6876.8	-5001	-8.38	8430.3
2	531.78	5994.1	622.52	6049.8
3	-1724.4	-1383.2	-1104.9	2471.4
4	-9707	-7379.5	4007.5	12836

รูปที่ 13 และตารางที่ 5 พบว่าที่ตำแหน่งที่ 1 นั้นมีแรงปฏิกิริยาโมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 3.59×105 N.mm ซึ่งเกิดรอบแกน Z และตำแหน่งที่ 4 มีค่าแรงปฏิกิริยาโมเมนต์สูงสุดเท่ากับ -3.22×106 N.mm เกิดขึ้นรอบแกน X ดังรูปที่ 14ก ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นที่จุดต่อตำแหน่งที่ 4 นั้นเกิดจากจุดต่อดังกล่าวได้รับโมเมนต์ดัดสูงสุดรอบแกน X ทำให้เกิดค่าความเค้นดึงตามแนวแกน Z เท่ากับ 441.15 MPa และตำแหน่งที่ 1 นั้นเกิดความเสียหายเนื่องจากเกิดการบิบตัวของชิ้นส่วน SUPPORT CETER บริเวณจุดเชื่อมต่อกับชิ้นส่วน Steel PIPE 1"× 1" โดยมีแรงปฏิกิริยาโมเมนต์สูงสุดเท่ากับ 3.59×105 N.mm ซึ่งเกิดรอบแกน Z ดังรูปที่ 14ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 14 ลักษณะการเสียหายที่จุดต่อตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4

เมื่อพิจารณาที่จุดยึดที่นั่งผู้โดยสารพบว่าจุดยึดที่นั่งผู้โดยสารนั้นมีการเสียหายแบบคราและยังไม่เกิดการเสียหายแบบฉีกขาดดังนั้นจุดยึดโครงสร้างที่นั่งนั้นผ่านตามเกณฑ์ที่ ECE Regulation 14 ได้กำหนดไว้แต่ในการวิเคราะห์ดังกล่าวนั้นได้ปรากฏว่าโครงสร้างบางส่วนได้

AMM-34

เกิดการเสียหายเกิดขึ้นซึ่งส่งผลให้โครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่ได้ทำการทดสอบตามหลักเกณฑ์ของ ECE Regulation 14 นั้นไม่ผ่านตามข้อกำหนดที่ได้กำหนดไว้

4. สรุปผลและอภิปรายผล

จากที่ได้ทำวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารแบบที่นั่งคู่ด้วยการทดสอบจุดยึดเข็มขัดนิรภัยตามข้อกำหนดของ ECE Regulation 14 ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลลิเมนต์ในการวิเคราะห์ได้เลือกใช้อิลลิเมนต์แผ่นบางรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า 8 จุดต่อ (Shell 150) ได้ทำการทดสอบการลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรงของข้อมูล ซึ่งได้แก่ ค่าความเค้น Von-misses ค่าระยะการเสียรูป Equivalent Plastic Strain และแรงปฏิกิริยาที่จุดต่อ ซึ่งผลที่ได้พบว่าขนาดของอิลลิเมนต์ 2 มิลลิเมตรนั้นมีค่าที่ลู่เข้าสู่ผลเฉลยแม่นตรงและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขนาดอิลลิเมนต์ 1 มิลลิเมตร 85.17 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองดังกล่าวจึงได้วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารตามเงื่อนไขขอบเขตขนาดอิลลิเมนต์ที่ 2 มิลลิเมตร โดยจะพิจารณาความเสียหายด้วยผลของค่าความเค้น Von-misses พบว่ามีค่าความเค้น Von-misses เกิดขึ้นสูงสุดที่จุดยึดเข็มขัดนิรภัยแต่เกิดขึ้นในบริเวณที่เล็กเท่านั้นยังไม่ส่งผลความเสียหายใดๆต่อโครงสร้างได้ และเมื่อพิจารณาที่โครงสร้างอื่นๆ พบว่าโครงสร้างคานฐานนั่ง Steel PIPE 1"× 1" ซึ่งเป็นเหล็กรูปพรรณแบบกลวงหน้าตัดสี่เหลี่ยม นั้นมีความเสียหายเกิดขึ้น 2 จุดเนื่องจากเกิดค่าโมเมนต์ดัดเกิดขึ้นที่จุดต่อทำให้พื้นที่ผิวของชิ้นงานได้รับความเค้นดึงในแนวแกน Z และเกิดการฉีกขาดเสียหายเกิดขึ้น

ในการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้เป็นเพียงแค่การทำนายรูปแบบพฤติกรรมการและเสียหายของจุดยึดเข็มขัดนิรภัยและโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารภายใต้ภาระการทดสอบตามเกณฑ์ ECE Regulation 14 ได้กำหนดไว้ เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าโครงสร้างที่นั่งผู้โดยสารที่ได้ออกแบบมามีความแข็งแรงตามเกณฑ์ที่กำหนดได้หรือไม่ และเพื่อที่จะนำข้อมูลการวิเคราะห์ทำนายพฤติกรรมและความเสียหายดังกล่าวไปทำการปรับปรุงแก้ไขให้มีความแข็งแรงและมีความเหมาะสมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท อู่ เชิดชัย อุตสาหกรรม จำกัด ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณสำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 721-2551 เข็มขัดนิรภัยสำหรับรถยนต์ (2552). Annual Report 2552.

[2] ข้อมูลสนับสนุนแก่สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม: อุตสาหกรรมรถบรรทุกของประเทศไทย, 2553: 13-17

[3] Somsak Siwadamrongpong, Supakit Rooppakhun, Natchaya Murachai and Pakorn Burakorn (2013). Strength Analysis of the Seat Anchorages for Large Passenger Vehicles Using Finite Element Method, Advanced Materials Research Vol. 658 (2013) pp 340- 344

[4] Proposal for amendments to ECE Regulation No. 14, 2011: 30-35

ประวัติผู้เขียน

นายพิตินัน วสันตเสนานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ที่บ้านเมืองบัว ตำบลเมืองบัว อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด เริ่มเข้ารับการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านเมืองบัว ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนจันทรุเบกษาอนุสรณ์ อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด เข้าศึกษาต่อในระดับประกาศณียบัตรวิชาชีพ (ปวช) แผนกช่างกลโรงงานและซ่อมบำรุง ที่วิทยาลัยการอาชีพร้อยเอ็ด ระดับประกาศณียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส) แผนกช่างกลโรงงาน ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา และสำเร็จในระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องมือ) ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร เมื่อปีการศึกษา 2553 จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2555 และมีผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ 1 บทความมีรายละเอียดดังปรากฏในภาคผนวกข.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี