

การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงในการชนของโครงสร้างรถบัสโมบาย ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Design and Analysis of Crashworthiness of Bus Structure Using Finite Element Methods

วีรพงศ์ จุลศรี^{1*}, สุรังสี เดชเจริญ²

^{1, 2} ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

E-mail: weerapong_ju@hotmail.com¹, surang@kmutnb.ac.th²

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานความปลอดภัยของโครงสร้างรถบัสโมบาย ในขณะที่การเกิดอุบัติเหตุจากการชนและอันตรายต่อผู้โดยสารมีจำนวนมาก ในการผลิตโครงสร้างรถบัสโมบายหรือการประกอบใช้เพียงความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของช่าง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างรถบัสตาม Federal Motor Vehicle Safety Standards (USA) และข้อบังคับกรมการขนส่งทางบก โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ โครงสร้างรถบัสถูกทดสอบตามมาตรฐาน 214 Side Impact Protection ผลการทดสอบแนวเชื่อมที่ทดสอบทั้งหมด 22 จุด มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด 225.3 MPa และมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด 39 % เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานการเชื่อม ในการจำลองการชนด้านข้างจะจำลองทั้งหมด 3 จุด ด้านหน้า ตรงกลาง และด้านท้าย แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบไปด้วย 36,298 3-D เอลิเมนต์และวัสดุที่ใช้เป็นแบบพลาสติกเกิดการเสียรูปอย่างถาวร ผลจำลองถูกเปรียบเทียบกับความเค้นที่รับได้สูงสุดของรอยเชื่อม ในการชนของรถบัสตรงกลางจะเกิดการเสียหายของจำนวนรอยเชื่อมสูงสุด แต่การเสียรูปและความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณการชนด้านหน้า

คำสำคัญ: ไฟไนต์เอลิเมนต์, โครงสร้างรถบัส, มาตรฐานความปลอดภัยของรถบัส

Abstract

Currently there are no safety standards for bus body structure, while lot of accident involves bus crashing and passengers' injury. Buses are assembled by bus manufacturers using only technicians' expertise and experience. This research aims to design and analysis the mobile bus structural strength according to the Federal Motor Vehicle Safety Standards and Regulation, U.S. Department of Transportation using finite element and experiments. The bus body was tested under standard no. 214 - Side Impact Protection for its crashworthiness. Reverse engineering process was used to acquire the bus

geometric data and to indentify all type of welding joints used in the mobile bus body. The experiments were carried out to evaluate the strength of 22 types of welding joints. The highest ultimate stress of welded joint was found to be 225.3 MPa. Due to the lack of standard for bus body welding procedure, the inconsistencies in welding strength were found. The finite element models of the bus side impact crash were developed for three areas of collision, namely front, middle and rear. The FE model consists of 36,298 3-D finite elements and elastic non-linear plastic with isotropic hardening material models. Finite element results were validated. The predicted stresses were compared with the ultimate stress of bus welded joints. The collision in the middle of the bus caused the highest number of welded joint breakage, while the highest deformation and stress occurred at the front collision.

Keywords: Finite Element, Bus Structure, Bus Safety Standards

1. บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมการต่อรถบัสโมบายอเนกประสงค์ในประเทศไทยเริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมการต่อรถ จึงได้คิดค้นสร้างนวัตกรรมเพื่อให้มีความแตกต่างโดยสร้างรถบัสโมบายที่โดดเด่นทั้งรูปร่างรูปทรงที่ทันสมัยและมีการใช้งานอย่างเหมาะสมเพื่อช่วยให้ธุรกิจก้าวสู่ผู้ผลิตแถวหน้าของประเทศ รถบัสโมบายอเนกประสงค์ที่ผลิตมาในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่ใช้ในออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน รวมถึงความสามารถในการรับภาระของรถบัสโมบายซึ่งในปัจจุบันใช้เพียงความชำนาญของช่างผู้ผลิตที่ใช้ประสบการณ์แต่ยังขาดความรู้ที่แท้จริง ซึ่งจะนำมาสู่ความไม่ปลอดภัยในการใช้งานในสภาพต่างๆ ส่งผลต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภคและเป็นส่งผลเสียต่ออุตสาหกรรมประเภทดังกล่าว ในปัจจุบันการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของคัสซีและโครงสร้างรถบัสช่วยให้สามารถระบุจุดวิกฤตที่มีความเค้นความเครียดเกิดขึ้นสูง ช่วยให้นำผลคำนวณไปช่วยในการเลือกขนาดหน้าตัดของโครงสร้างให้เหมาะสมและทำให้รับแรงได้มากกว่าเดิม [1, 2]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาสู่อุตสาหกรรมที่มีมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบและการผลิตให้เป็นที่ยอมรับในการใช้งานซึ่งจะเป็นการก้าวสู่อุตสาหกรรมที่พึ่งตนเองและ

ส่งออกได้ในอนาคต โดยจึงทำให้โครงสร้างรถบัสที่ออกแบบและพัฒนาามีความปลอดภัยในการใช้งาน งานวิจัยนี้จะใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดสอบรอยเชื่อมในรถบัสเข้ามาช่วยในออกแบบและทดสอบความปลอดภัยของโครงสร้างรถบัสตามมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ Federal Motor Vehicle Safety Standards And Regulation U.S. Department Of Transportation. มาตรฐานหมายเลข Standard No. 214 Side Impact Protection เป็นการป้องกันจากการชนด้านข้าง

2. การเก็บข้อมูลและการทดสอบรอยเชื่อม

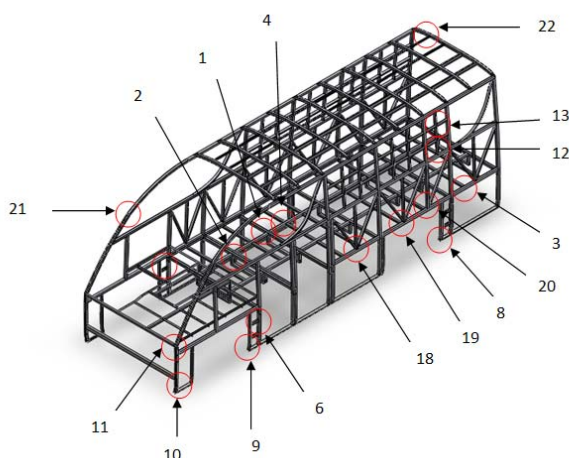
2.1 โครงสร้างรถบัสโมบาย

รถบัสโมบายต้นแบบที่โรงงานออกแบบไว้ขนาดโดยประมาณ กว้าง 2.5 เมตร ยาว 9.3 เมตร สูง 3.4 เมตร จำนวนชิ้นส่วนของโครงสร้างและวัสดุที่ใช้กับรถบัสโมบายและทำการแยกชิ้นส่วนของโครงสร้างทั้งหมด ทำการแบ่งเป็นชิ้นส่วน โดยแยกชิ้นส่วนเป็นพื้น 73 ชิ้น พื้นหน้า 19 ชิ้น หลังคา 46 ชิ้น แฉกด้านข้างขวา 35 ชิ้น และแฉกด้านข้างซ้าย 37 ชิ้น โดยหน้าตัดของชิ้นงานที่ใช้ทั้งหมดสามารถแบ่งได้เป็น 8 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีรูปแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมอยู่ 4 แบบ ขนาด 50x50x3.2 mm ใช้ในบริเวณของพื้น ขนาด 50x50x1.8 mm ใช้ในบริเวณของแฉกด้านข้างในส่วนของเขา ขนาด 25x50x1.8 mm ใช้ในบริเวณของแฉกด้านข้างในส่วนของเขาเสริมแรงและในส่วนของหลังคา ขนาด 25x50x1.8 mm ใช้ในบริเวณของ

แผงด้านข้างในส่วนของเสาเสริมแรง เหล็กฉากขนาด 40x40x3 mm ใช้ในบริเวณพื้นหน้า เหล็กตัวซีขนาด 25x50x3 mm และ 25x50x1.8 mm ใช้ในบริเวณของแผงด้านข้างเพื่อรองรับแผงกระจกหน้าต่าง เหล็กตัวซีขนาด 25x50x1.8 mm ใช้เสริมในส่วนของหลังคา

ตารางที่ 1 ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้างรถบัส

ชิ้นส่วน	จำนวนชิ้น	วัสดุ
พื้น	73	AISI 1020
พื้นหน้า	19	AISI 1020
หลังคา	46	AISI 1020
แผงด้านข้างขวา	35	AISI 1020
แผงด้านข้างซ้าย	37	AISI 1020
จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด	210	



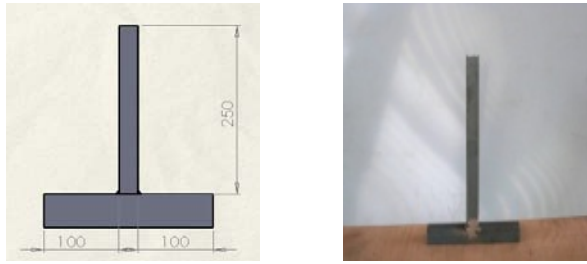
รูปที่ 1 ตัวอย่างจุดที่ทำการทดสอบในโครงสร้างรถบัส
โมบาย CAD Model ต้นแบบ

ตารางที่ 2 ขนาดของหน้าตัดต่างๆที่ใช้ทดสอบ

ลำดับที่	รูปหน้าตัด	ขนาด (มม.)
1		50x50
		ความหนา = 3.2
2		50x50
		ความหนา = 1.8
3		25x25
		ความหนา = 1.8
4		25x50
		ความหนา = 1.8
5		40x40
		ความหนา = 3
6		25x50
		ความหนา = 5
7		25x50
		ความหนา = 1.8
8		25x50
		ความหนา = 1.8

2.2 การทดสอบรอยเชื่อม

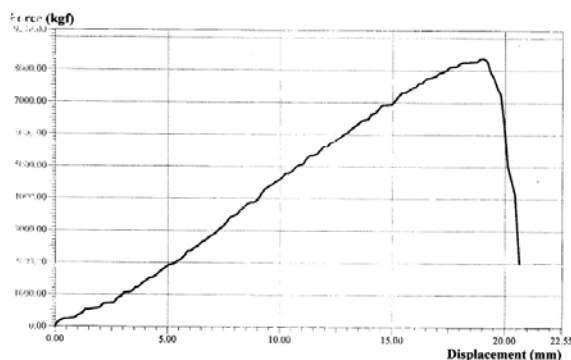
โครงสร้าง CAD Model ของรถบัสโมบาย ต้นแบบ ได้สร้างขึ้นตามขนาดของโครงสร้างที่โรงงาน ออกแบบไว้ จากนั้นได้เลือกรอยเชื่อมที่จะทำการ ทดสอบ จากโครงสร้างรถบัสโมบายที่มีรอยเชื่อมที่ ติดกัน จากรอยเชื่อมที่มีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึง เลือกจุดที่มีขนาดและหน้าตัดของชิ้นงานที่ต้อง แตกต่างกันมาเชื่อมต่อกัน ซึ่งมีทั้งหมด 22 จุด ดัง แสดงในรูปที่ 1 และสรุปไว้ในตารางที่ 3 เพื่อนำไป ทดสอบหาแรงและความเค้นที่รอยเชื่อมรับได้โดยใช้ เครื่องทดสอบ Tensile Test การทำชิ้นงานทดสอบ ทำตามแบบชิ้นงานทดสอบในรูปที่ 2 ความยาวเท่ากับ 250 mm ระยะห่างระหว่างขอบกับแนวเชื่อมเท่ากับ 100 mm จะทำชิ้นงานทดสอบจำนวน จุดละ 3 ชิ้นรวม เป็น 66 ชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 2 รูปร่างและขนาดของชิ้นงานทดสอบรอยเชื่อม
ที่ใช้ทดสอบ Tensile Test

2.3 ผลการทดสอบแนวเชื่อมด้วยเครื่อง Tensile Test

ผลการทดสอบรอยเชื่อมทั้ง 22 จุด รอยเชื่อมแต่ละจุดสามารถรับความเค้นได้ไม่เท่ากัน โดยในช่วงแรก แรงกับระยะยืดเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง จนถึงจุดแรงถึงสูงสุดก่อนที่รอยเชื่อมจะฉีกขาด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของแรงกับระยะยืด

ในตารางที่ 4 จะเห็นค่าความเค้นแรงถึงสูงสุด 225.3 MPa อยู่ในจุดที่ 10 (หน้าตัด 6-6) เป็นรอยเชื่อมของเหล็กยึดระหว่างเสาหน้ากับเสาLOY และค่าความเค้นแรงถึงต่ำสุด 51.8 MPa อยู่ในจุดที่ 5 (หน้าตัด 7-4) ซึ่งเป็นรอยเชื่อมของเหล็กยึดระหว่างเสาข้างกับเสาLOY เมื่อแยกจุดที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัย จะได้ จุดที่ 1 (หน้าตัด 1-1) เสาตั้งเชื่อมกับคานพื้น จุดที่ 2 (หน้าตัด 2-1) คานพื้นกับเสาแฉ่งข้าง จุดที่ 4 (หน้าตัด 5-2) คานพื้นเสริมแรงกับเหล็กเชื่อมคานพื้น จุดที่ 11 (หน้าตัด 2-2) เหล็กยึดระหว่างเสากับเสา จุดที่ 13 (หน้าตัด 3-3) เหล็กยึดระหว่างเสาเสริมแรง จุดที่ 21 (หน้าตัด 2-7) อาเสบนเชื่อมกับอาเสบน จุดที่ 22 (หน้าตัด 2-8) เหล็กเชื่อมคานหลังคา

ตารางที่ 3 ขนาดของหน้าตัดต่างๆที่ใช้

จุด	หน้าตัด	การประกอบ (องศา)	รายละเอียดการใช้งาน
พื้น			
1	1-1	90	เสาตั้งเชื่อมกับคานพื้น
2	2-1	90	คานพื้นกับเสาแฉ่งข้าง
3	5-5	90	เหล็กปิดท้ายคานพื้นเสริมแรง
4	5-2	90	คานพื้นเสริมแรงกับเหล็กเชื่อมคานพื้น
แฉ่งด้านข้าง			
5	7-4	90	เหล็กยึดระหว่างเสาข้างกับเสาLOY
6	7-2	90	เหล็กยึดระหว่างเสาข้างกับเสาLOY
7	7-6	90	เหล็กยึดระหว่างเสาหน้ากับเสาLOY
8	2-6	90	เหล็กรองรับเสาด้านข้าง
9	2-6	90	เหล็กรองรับเสาด้านข้าง
10	6-6	90	เหล็กยึดระหว่างเสาหน้ากับเสาLOY
11	2-2	90	เหล็กยึดระหว่างเสากับเสา
12	3-2	90	เหล็กยึดระหว่างเท้าแขนกับอาเสบน
13	3-3	90	เหล็กยึดระหว่างเสาเสริมแรง
14	4-4	60	เหล็กทแยงเสริมแรง
15	4-4	65	เหล็กทแยงเสริมแรง
16	4-4	68	เหล็กทแยงเสริมแรง
17	2-4	60	เหล็กทแยงเสริมแรง
18	2-4	65	เหล็กทแยงเสริมแรง
19	2-4	68	เหล็กทแยงเสริมแรง
20	2-4	90	เหล็กยึดระหว่างเสาหน้ากับเสาLOY
21	2-7	180	อาเสบนเชื่อมกับอาเสบน
หลังคา			
22	2-8	90	เหล็กเชื่อมคานหลังคา

เมื่อพิจารณาการรับแรงของชิ้นงานแต่ละจุดที่สามารถรับความเค้นได้สูงหรือต่ำ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงที่รับได้แตกต่างกันมาก เป็นรอยเชื่อมที่มีเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง เนื่องจากรอยเชื่อมในชิ้นงานบางชิ้นมีการซึมลึกที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้สามารถรับแรง

ได้น้อยกว่าที่ควรรับได้ ส่งผลทำให้มีเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีความคลาดเคลื่อนที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 4 ทำให้การจับยึดและการรับแรงที่ไม่เท่ากันเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบ การรับแรงของทั้งหน้าตัดไม่เท่ากัน ทำให้รอยเชื่อมมีการรับแรงที่ต่ำ การเชื่อมลึกลงที่ไม่สมบูรณ์อาจเกิดจากความบกพร่องในการเตรียมชิ้นงานหรือความสามารถของช่างเชื่อมที่ไม่ได้มาตรฐาน ปัญหาที่เกิดจากรอยเชื่อมอาจแก้ไขได้โดยมีการตรวจสอบแนวเชื่อมหรือปรับปรุงข้อบกพร่องต่างที่มีอิทธิพลต่อแนวเชื่อมต่างๆ เพื่อให้ได้แนวเชื่อมที่มีความแข็งแรงและรับภาระเหมาะสมต่อการใช้งานกับโครงสร้างรถบัสโมบาย ในรูปที่ 5 เป็นรอยเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงเนื่องจากเกิดการเชื่อมลึกลงที่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม ทำให้มีความสามารถแรงตลอดทั้งหน้าตัดได้ดี



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมเชื่อมลึกลงไม่สมบูรณ์



รูปที่ 5 ชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมเชื่อมลึกลงสมบูรณ์

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการทดสอบรอยเชื่อมชิ้นงานด้วยเครื่อง Tensile Test

จุด	หน้าตัดกับหน้าตัด	Ultimate Stress (MPa)	เปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พื้น			
1	1-1	122.5	6
2	2-1	71.5	3
3	5-5	77.6	30
4	5-2	121.4	5
แผงด้านข้าง			
5	7-4	51.8	12
6	7-2	80.1	4
7	7-6	67.8	39
8	2-6	69.6	28
9	4-6	84.5	5
10	6-6	225.3	26
11	2-2	88.1	8
12	3-2	58.2	6
13	3-3	62.4	26
14	4-4	79.0	17
15	4-4	108.0	11
16	4-4	78.5	18
17	2-4	97.4	6
18	2-4	85.2	23
19	2-4	62.4	17
20	2-4	127.5	10
21	2-7	65.3	17
หลังคา			
22	2-8	79.6	16

3.การจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ทดสอบความแข็งแรงของรถบัสโมบาย

3.1 แบบจำลองการชนเพื่อทดสอบโครงสร้างของรถบัสโมบาย

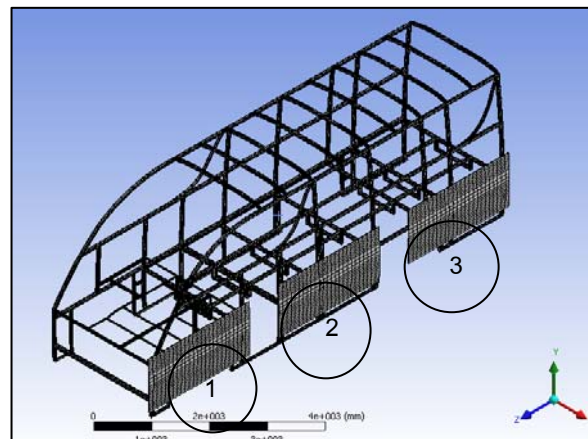
การสร้างแบบจำลองการชนจะประกอบไปด้วยโครงสร้างของรถบัสโมบายซึ่งนำมาจาก CAD

Model ที่สร้างตามแบบโรงงานนำหนักรวมประมาณ 3,000 กิโลกรัม โดยแบบจำลองโครงสร้างของรถบัสโมบายทั้งหมดแบ่งเอลิเมนต์ได้ 36,298 Element เป็น Solid Element และเป็นวัสดุ AISI 1020

แผ่นจำลองการชนหน้ารถที่เข้ามาชนด้านข้าง มีขนาด กว้าง 2450 mm. สูง 1120 mm. เป็น Rigid Body วัสดุแข็งไม่เกิดการเสียหาย ได้ทำการจำลองทั้งหมด 3 แบบจำลองเพื่อศึกษาการชนด้านข้าง 3 ครั้งใน 3 บริเวณ โดยแบบจำลองที่ 1 ทำการจำลองการชนด้านข้างส่วนหน้าห่างออกจากเสาหน้ารถ 100 mm แบบจำลองที่ 2 ทำการจำลองการชนด้านข้างส่วนกลางห่างจากขอบแผ่นจำลองหน้ารถของจุดที่ 1 715 mm. และแบบจำลองที่ 3 ทำการจำลองการชนด้านข้างส่วนท้ายห่างจากขอบแผ่นจำลองหน้ารถของจุดที่ 2 715 mm แผ่นจำลองการชนหน้ารถที่เข้ามาชนด้านข้างมีขนาด กว้าง 2450 mm. สูง 1120 mm. และสูงจากชายล่าง 160 mm. เป็นไปตามความสูงของหน้ารถบัสโมบาย (รูปที่ 6) แผ่นจำลองการชนหน้ารถจำลองเป็น Rigid Body ไม่เกิดการเสียหาย

การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขเพื่อจำลองการชนด้านข้างนั้น กำหนดให้โครงสร้างรถบัส Fix ในบริเวณที่ยึดติดกับคัตซี ไม่ให้เคลื่อนที่ในแนวแกน Y และ Z แต่เคลื่อนที่ได้ในแนวแกน X ในส่วนของแผ่นจำลองการชนนั้น Fix ในแนวแกน Y และ Z และในแนวแกน X โดยให้ความเร็วในการชน 54 km/h ตามมาตรฐานการทดสอบความปลอดภัย [1]

โครงสร้างรถบัสโมบายกำหนดเป็นแบบ Bonded โดยที่จะไม่มีการฉีกขาดบริเวณแนวเชื่อม กำหนดการป้องกันของวัสดุใช้แบบ Penalty และส่วนแผ่นจำลองการชนสัมผัสกับโครงสร้างรถบัสแบบไม่มี Friction



รูปที่ 6 การจำลองชนด้านข้างโครงสร้างรถโมบายทั้ง 3 จุด

คุณสมบัติวัสดุโครงสร้างรถบัสกำหนดชนิดของวัสดุและคุณสมบัติทางกลเป็นเหล็กโครงสร้าง (AISI 1020) [6] และมีคุณสมบัติดังแสดงตามตารางที่ 5 พฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบ elastic non-linear plastic with isotropic hardening ตามสมการด้านล่าง

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (1)$$

โดย σ คือ ค่าความเค้นที่แท้จริง
 ε คือ ค่าความเครียดที่แท้จริง
 n คือ Strain-hardening exponent
 K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรง
 (Strength coefficient)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติวัสดุโครงสร้างรถบัสโมบายสำหรับการคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์

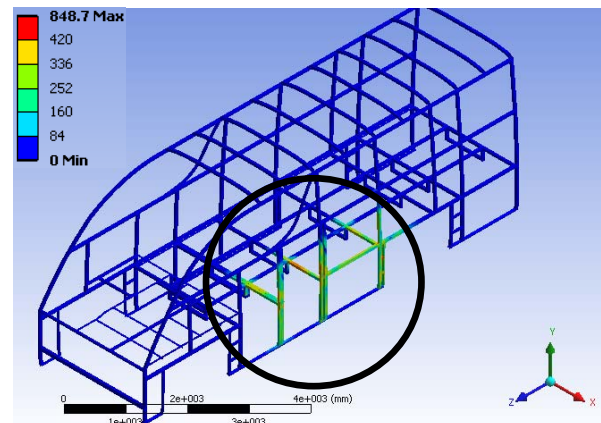
คุณสมบัติวัสดุ	
ความหนาแน่นเชิงน้ำหนัก (Weight Density)	7860kg/m ³
อัตราส่วนพัวซอง (Poisson's Ratio)	0.25
โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	200 GPa
ความเค้นคราก (Yield Stress)	350 MPa
ความเค้นแรงดึงสูงสุด (Tensile Stress)	420 MPa
Strain-hardening exponent (n)	0.2
ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรง (Strength coefficient) (K)	626 MPa

3.2 ผลการจำลองการชน

ผลการจำลองการชนที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของรถบัสโมบาย แสดงในรูปที่ 7 จะเห็นการกระจายตัวของ Equivalent Stress บริเวณโครงสร้างรถบัสโมบายจากการชนด้านข้างบริเวณที่เป็นสีแดง คือบริเวณที่เกิด Equivalent Stress เกิน 420 MPa จะเกิดการเสียหายเนื่องจากมีค่าความเค้นสูงกว่าค่าของ Ultimate Stress ของวัสดุ ซึ่งเกิดบริเวณโครงสร้างในเหล็กชิ้นที่อยู่บริเวณการชน ซึ่งเป็นเหล็กที่เป็นส่วนเสา, คานพื้น, เหล็กยึดเสา, เหล็กเชื่อมคานพื้น, เสารอย, เหล็กยึดเสารอย, เสาตั้งและเหล็กรองรับเสาด้านข้าง

ในขณะที่ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 1 (เสาตั้งเชื่อมกับคานพื้น) มีค่าประมาณ 150 MPa เมื่อนำค่า ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 1 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอยเชื่อมรับได้ซึ่งเป็นรอยเชื่อมที่มีความสำคัญกับความปลอดภัย แสดงว่ารอยเชื่อมเกิดการฉีกขาด ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 2 (คานพื้นกับเสาแผงข้าง) มีค่าประมาณ 250 MPa เมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 2 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอยเชื่อมรับได้ซึ่งเป็นรอยเชื่อมที่มีความสำคัญกับความปลอดภัย แสดงว่ารอยเชื่อมเกิดการฉีกขาด ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 5 (เหล็กยึดระหว่างเสาข้างกับเสาหลัง) มีค่าประมาณ 350 MPa เมื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 5 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอยเชื่อมรับได้คือรอยเชื่อมเกิดการฉีกขาดได้ ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 6 (เหล็กยึดระหว่างเสาข้างกับเสาหลัง) มีค่าประมาณ 320 MPa เมื่อนำค่า ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 6 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอยเชื่อมรับได้คือรอยเชื่อมเกิดการฉีกขาดได้ ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 8 (เหล็กรองรับเสาด้านข้าง) มีค่าประมาณ 300 MPa เมื่อนำค่า ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 8 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอย

เชื่อมรับได้คือรอยเชื่อมเกิดการฉีกขาดได้ ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 9 (เหล็กรองรับเสาด้านข้าง) มีค่าประมาณ 210 MPa เมื่อนำค่า ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 9 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอยเชื่อมรับได้คือรอยเชื่อมเกิดการฉีกขาดได้ ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมแบบที่ 11 (เหล็กยึดระหว่างเสากับเสา) มีค่าประมาณ 380 MPa เมื่อนำค่า ไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบรอยเชื่อม ในตารางที่ 4 จุดที่ 11 พบว่าความเค้นสูงกว่าที่รอยเชื่อมรับได้ซึ่งเป็นรอยเชื่อมที่มีความสำคัญกับความปลอดภัย แสดงว่ารอยเชื่อมเกิดการฉีกขาด



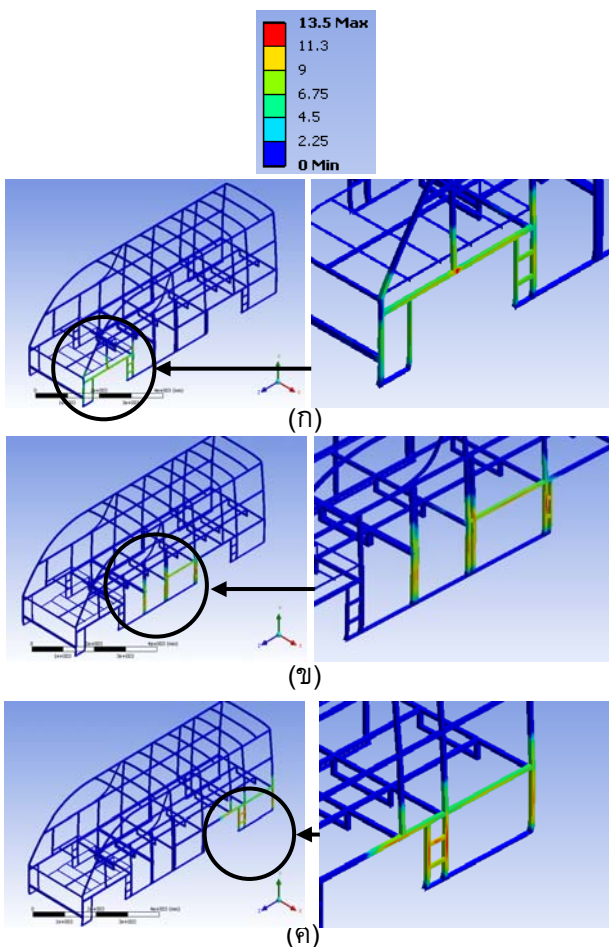
รูปที่ 7 Equivalent Stress ที่เกิดกับโครงสร้างรถบัสโมบายหลังจากการชนด้านข้างส่วนกลาง

3.3 อิทธิพลของตำแหน่งในการชนกับความเสียหายที่เกิดขึ้น

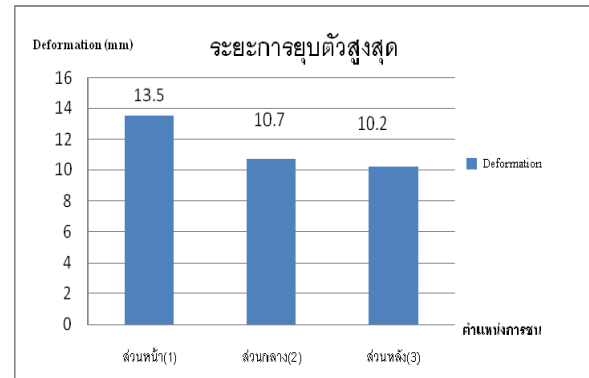
การกระจายตัวของการเสียรูปที่เกิดจากการจำลองการชนด้านข้างของหน้ารถทั้ง 3 แบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 8 การเสียรูปที่เกิดขึ้นสูงสุด ของบริเวณการจำลองการชนด้านข้างส่วนหน้า (8ก) เท่ากับ 13.5 mm ซึ่งอยู่ตรงบริเวณจุดที่ 11 (หน้าตัด 2-2) เหล็กยึดระหว่างเสากับเสา เนื่องจากตรงบริเวณนั้นไม่มีคานพื้นมารองรับจึงเกิดการเสียรูปมากที่สุด บริเวณการจำลองการชนด้านข้างส่วนกลาง (8ข) เท่ากับ 10.7 mm และการเสียรูปสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณการจำลองการชนด้านข้างส่วนท้าย (8ค) เท่ากับ 10.2 mm รูปที่

9 แสดงกราฟเปรียบเทียบการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากการจำลองการชนของหน้ารถทั้ง 3 ตำแหน่งการเสียรูปสูงสุดเกิดที่บริเวณการจำลองการชนด้านข้างส่วนหน้าเท่ากับ 13.5 mm เนื่องจากบริเวณด้านหน้ามีโครงสร้างที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่นๆ

Directional Deformation (mm)

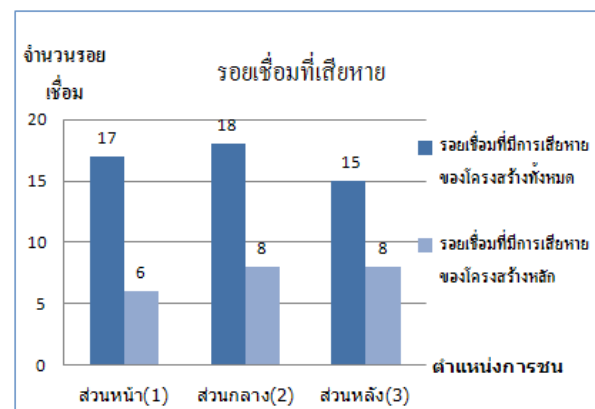


รูปที่ 8 Directional Deformation การจำลองการชนด้านข้าง (ก) ส่วนหน้า, (ข) ส่วนกลาง และ (ค) ส่วนท้าย



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากการจำลองการชนของหน้ารถทั้ง 3 จุด

การศึกษาว่ารอยเชื่อมเกิดความเสียหายหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรอยเชื่อมจากผลการจำลองการชนกับความเค้นสูงสุดที่รอยเชื่อมรับได้จากการทดสอบ Tensile ในการศึกษาการเชื่อมที่เกิดความเสียหายในแต่ละตำแหน่งการชนนั้น แบ่งเป็นรอยเชื่อมที่มีการเสียหายทั้งหมดและรอยเชื่อมของโครงสร้างหลักคือโครงสร้างที่มีความสำคัญกับความปลอดภัยได้แก่ จุดที่1 (เสาตั้งเชื่อมกับคานพื้น) จุดที่2 (คานพื้นกับเสาแผงข้าง) และจุดที่11 (เหล็กยึดระหว่างเสากับเสา) รูปที่ 10 แสดงกราฟเปรียบเทียบจำนวนรอยเชื่อมที่เกิดความเสียหายในการชนด้านข้างทั้ง 3 ตำแหน่ง จากกราฟจะเห็นรอยเชื่อมที่มีการเสียหายทั้งหมด จากการจำลองการจำลองการชนด้านข้าง(ก) ส่วนหน้า 17 จุด, (ข) ส่วนกลาง 18 จุด และ (ค) ส่วนท้าย 15 จุด



รูปที่ 10 กราฟแสดงรอยเชื่อมที่มีการเสียหายจากการจำลองการชนของหน้ารถทั้ง 3 จุด

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบแนวเชื่อมที่ทดสอบทั้งหมด 22 จุด ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด 225.3 MPa และค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด 51.8 MPa มีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด 39 % และต่ำสุด 3 % ในส่วนของการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากการจำลองการชนของหนักรถทั้ง 3 จุด การเสียรูปที่เกิดขึ้นสูงสุดเกิดขึ้นบริเวณ การจำลองการชนด้านข้างส่วนหน้าเท่ากับ 13.5 mm เพราะมีโครงสร้างบริเวณหนักรถ มีความแข็งแรงน้อยที่สุด รอยเชื่อมเกิดความเสียหายขึ้นหากความเค้นในการจำลองการชนมีค่าสูงกว่าความเค้นที่รอยเชื่อมรับได้จากการทดสอบ พบว่ารอยเชื่อมเกิดความเสียหายสูงสุดในการชนบริเวณด้านข้างตรงกลางคันรถบัส

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอกวัตร (1994) และทุนสนับสนุนการวิจัยซึ่งทำให้การวิจัยโครงการ U-IRC ของสวทช.

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Leslaw Kwasniewski, Hongyi Li, Ravi Nimbalkar, Jerry Wekezer. (2006). *Short communication Crashworthiness assessment of a paratransit bus*. International Journal of Impact Engineering 32 (2006), 883–888.
- [2] F Lan, J Chen, J Lin. 2004. *Comparative analysis for bus side structures and lightweight optimization*. D21103 © IMechE 2004 Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part D: J. Automobile Engineering
- [3] Xintao Cui, Shuxin Wang, S. Jack Hu. (2008) . *A method for optimal design of automotive body assembly using multi-material construction*. Materials and Design 29 (2008),381–387
- [4] อิศรา โรจนะ (2551). *การออกแบบและพัฒนาโครงสร้างรถโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4) วิทยานิพนธ์บัณฑิต วิทยาลัยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

- [5] ศักรินทร์ ชูดวง(2549). *การออกแบบและพัฒนามาตรฐาน การผลิตรถโดยสาร 2 ชั้น (มาตรฐาน 4)*. สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

- [6] Matweb-Online Material Data Sheet.

Steel General Properties,

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb&ckck>, access on 30/04/2011.

- [7] *Federal Motor Vehicle Safety Standards And Regulation U.S. Department Of Transportation.*

<http://www.nhtsa.gov/cars/rules/import/fmvss/index.html>, access on 30/04/2011.