

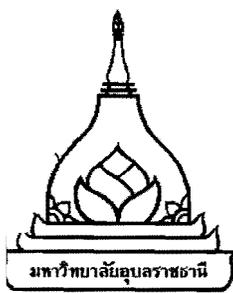
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างรถยนต์โดยสาร
ที่ผลิตภายในประเทศ ภายใต้แรงกระแทก

โดย

ผศ.ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และคณะ

กรกฎาคม 2555



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาการเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างรถยนต์โดยสาร
ที่ผลิตภายในประเทศ ภายใต้แรงกระแทก

(The Study on the Crashworthiness of an Auto-Body Structure
Manufactured in Thailand)

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. ผศ.ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| 2. นายชาคริต โพธิ์งาม | ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประจำปีงบประมาณ 2548-2549

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยการให้ความร่วมมือ การสนับสนุน และความอนุเคราะห์จากบุคลากรหลายฝ่าย และหน่วยงานหลายองค์กร ซึ่งคณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ดังนี้

ขอขอบคุณผู้ต่อรถยนต์โดยสารต่างๆที่เปิดโอกาสให้คณะวิจัยเข้าพบและเก็บข้อมูล ซึ่งจะขอกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่ สมาคมผู้ต่อรถบ้านโป่ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บ.อู๋มีแสง จก. บ.สหกิจยนต์ (1986) จก. (อุวิกิจศิลป์) หจก.บ้านโป่งเล่าจงเฮง บ.แก้วหน้าแอร์บัส จก. หจก. เอกวัตร (1994) เป็นต้น นอกจากนี้ยังขอขอบคุณ อู๋สามัคคี จ. อุบลราชธานี และผู้ต่อรถบัสอื่นๆ ซึ่งไม่มีชื่ออย่างเป็นทางการ ตลอดจนขอขอบคุณสถาบันยานยนต์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุริยา โชคสวัสดิ์ Mr.Lee Meng Fuk ที่อำนวยความสะดวกในการทดสอบและช่วยเหลือในการปรับปรุงเครื่องทดสอบ Universal Testing Machine จนสำเร็จ และขอขอบคุณบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนการทำงานตลอดการวิจัย อีกทั้งขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบเพิ่มเติม

ขอขอบคุณทีมงานผู้วิจัยทุกท่านที่ทุ่มเททำงานวิจัยอย่างเต็มที่ แม้ว่าบางท่านไม่ได้มีชื่อในข้อเสนอก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายนิรุฒ อ่อนสรวง ที่ได้ทำงานในรายละเอียดจำนวนมาก และท้ายที่สุดขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุนในการศึกษาวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ด

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	3
1.6 โครงสร้างของรายงาน	4

บทที่ 2 ข้อมูลพื้นฐาน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและข้อมูลของรถยนต์โดยสาร	6
2.1.1 มาตรฐานที่ 1 รถปรับอากาศพิเศษ	6
2.1.2 มาตรฐานที่ 2 รถปรับอากาศทั่วไป	6
2.1.3 มาตรฐานที่ 3 รถยนต์โดยสารที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ	7
2.1.4 มาตรฐานที่ 4 รถยนต์โดยสารสองชั้น	7
2.1.5 มาตรฐานที่ 5 รถยนต์โดยสารแบบพ่วง	7
2.1.6 มาตรฐานที่ 6 รถยนต์โดยสารแบบกึ่งพ่วง	8
2.1.7 มาตรฐานที่ 7 รถยนต์โดยสารแบบเฉพาะกิจ	8
2.2 มาตรฐานสากลในการทดสอบรถยนต์	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 มาตรฐานความปลอดภัยของสหพันธ์ยานยนต์ (FMVSS)	13
2.2.2 มาตรฐานการประเมินและการทดสอบรถยนต์ใหม่ (NCAP)	13
2.2.3 มาตรฐานความปลอดภัยบนทางด่วน (IIHS)	15
2.3 การศึกษาชิ้นส่วนรับแรงกระแทก	15
2.3.1 ภาวะวิกฤติหรือภาวะเสียหาย	15
2.3.2 ภาวะสูงสุด	16
2.3.3 ภาวะเฉลี่ย	16
2.3.4 พลังงานดูดซับ	16
2.3.5 พลังงานดูดซับจำเพาะ	17
2.3.6 ประสิทธิภาพการยุบตัว	18
2.3.7 ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ	19
2.3.8 ประสิทธิภาพของภาวะ	20
2.4 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา	20
2.4.1 ความเค้นทางวิศวกรรม	20
2.4.2 ความเครียดทางวิศวกรรม	21
2.4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น	22
2.4.4 ความเค้นที่เกิดขึ้นจริง	22
2.4.5 ความเครียดที่เกิดขึ้นจริง	22
2.4.6 Plastic Strain	23
2.5 ระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์	23
2.5.1 พื้นฐานทางไฟไนท์เอลิเมนต์	23
2.5.2 วิธีการคำนวณในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาการชนของชิ้นส่วน โครงสร้างรถยนต์	27
2.6.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบาดเจ็บจากการกระแทก	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การสำรวจข้อมูลและข้อมูลโครงสร้างรถยนต์โดยสาร	
3.1 วิธีการเก็บข้อมูล	37
3.2 การบริหารการผลิตรถยนต์โดยสารในประเทศไทย	37
3.3 ข้อมูลโครงสร้างรถยนต์โดยสาร	38
3.3.1 โครงสร้างด้านข้างลำตัวรถยนต์โดยสาร	38
3.3.2 โครงสร้างหลังคาของรถยนต์โดยสาร	43
3.3.3 โครงสร้างคานหน้ารถยนต์โดยสาร	44
3.3.4 โครงสร้างคานหลังรถยนต์โดยสาร	45
บทที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและรายละเอียดวิธีการศึกษา	
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	46
4.1.1 เครื่องทดสอบการกดและการดึง	46
4.1.2 เครื่องทดสอบการกระแทก	47
4.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์	49
4.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ	49
4.2 คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างรถยนต์โดยสาร	49
4.3 โปรแกรม FEA ที่ใช้ในการศึกษา (ABAQUS)	52
4.3.1 ส่วนของการสร้างแบบจำลอง	52
4.3.2 ส่วนของการคำนวณผล	53
4.3.3 ส่วนของการแสดงผลของโปรแกรม	53
4.4 การสอบเทียบโปรแกรม FEA กับการทดลอง	54
4.4.1 รายละเอียดของการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ	55
4.4.2 รายละเอียดของการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง	59
4.5 การหาจำนวนเอลิเมนต์อิสระ (Mesh Independence)	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การทดสอบการชนของ โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร	62
4.6.1 โครงสร้างและส่วนประกอบรถยนต์โดยสาร	62
4.6.2 ลักษณะแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างที่ใช้ในการศึกษา	63
4.6.3 การทดสอบ โครงสร้างด้านข้างแบบเต็ม โครงสร้าง	64
4.7 การทดสอบการชนของ โครงสร้างหลังการชนรถยนต์โดยสาร	65
4.7.1 การทดสอบ โครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้ในปัจจุบัน	66
4.7.2 การทดสอบ โครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรง ด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ	66
4.8 การทดสอบการชนในแนวแกนของ โครงสร้างประกอบที่ ต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง	67
4.9 การทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ แผง โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร	68
บทที่ 5 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล	
5.1 ผลการสอบเทียบระหว่างการทดลองกับการทดสอบด้วย โปรแกรม FEA	70
5.1.1 ผลการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ	70
5.1.2 ผลการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง	78
5.2 ผลการทดสอบการชนของ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร แบบเต็มแผง	83
5.2.1 การตอบสนองของ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร ภายใต้การชนในแนวตั้งฉาก	84
5.2.2 การตอบสนองของ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร ภายใต้การชนในแนวแกน	86
5.2.3 ค่าการดูดซับพลังงานที่ได้จากการทดสอบ โครงสร้าง ด้านข้างทั้ง 3 แบบ	87
5.3 ผลการทดสอบการชนของ โครงสร้างหลังการชนรถยนต์โดยสาร	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.1 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้ในปัจจุบัน	89
5.3.2 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริม ความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ	94
5.4 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง	98
5.4.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง	98
5.4.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างประกอบ ที่ต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง	100
5.5 ผลการทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ แผง โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร	101
5.5.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างประกอบที่ยึดต่อกับ ชิ้นส่วนยึดต่อลักษณะต่างๆ	101
5.5.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างประกอบ ที่ต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง	104
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา	105
6.1.1 ผลการสอบเทียบโปรแกรม FEA กับการทดลอง	105
6.1.2 การทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร แบบเต็มแผง	106
6.1.3 การทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร	106
6.1.4 การทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างแบบต่างๆ	107
6.1.5 การทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร	107
6.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.1 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต	108
6.2.2 เกี่ยวกับมาตรฐานความปลอดภัยของรถยนต์โดยสาร ในประเทศ	108
6.2.3 เกี่ยวกับการศึกษาโครงสร้างรถยนต์โดยสารเพิ่มเติม	108
เอกสารอ้างอิง	109
ภาคผนวก	
ก ตัวอย่างการคำนวณจากการทดสอบ	116
ข รายการผลงานตีพิมพ์เนื่องจากงานวิจัยนี้	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อมูลและรายละเอียดของรถยนต์โดยสารแต่ละมาตรฐาน	8
2.1 (ต่อ) ข้อมูลและรายละเอียดของรถยนต์โดยสารแต่ละมาตรฐาน	9
2.2 ข้อมูลจำเพาะของขนาดรถยนต์โดยสารตามมาตรฐาน	10
2.3 พิกัดน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาตามกรมทางหลวงกำหนด	11
2.4 สถิติจำนวนรถยนต์โดยสารที่จดทะเบียนใหม่ระหว่างปี 2534-2548	12
2.5 แสดงค่าร้อยละส่วนโค้งของมุมชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่องอลูมิเนียม	28
2.6 แสดงระยะเซาะร่องและพลังงานดูดซับที่ได้เมื่อเปลี่ยนระยะการเซาะร่องชิ้นงาน	29
3.1 ความหนาและขนาดของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร	39
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นจากการทดสอบวัสดุ	51
4.2 แสดงตัวอย่างค่าความเค้นจริง (True Stress) และความเคี้ยวจริง (True Strain) และค่า Plastic Strain ที่ได้จากการทดสอบวัสดุ	51
5.1 ผลการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานที่ได้จากการทดสอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ภายใต้ภาระความเร็วต่ำที่กระทำแบบคดในแนวแกน แบบดัดและแบบบิด	77
5.2 ผลการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานที่ได้จากการทดสอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ภายใต้ภาระความเร็วสูง	82
5.3 แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบ	88
5.4 ค่าพลังงานดูดซับ (E_o) และค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระแบบต่างๆ	93
5.5 ค่าพลังงานดูดซับ (E_o) และค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างหลังคาที่ใช้ชิ้นส่วนต่อเสริมหน้าตัดที่ต่างกัน	97
5.6 ผลการคำนวณของการทดสอบการชนในแนวแกนของการต่อสลักระหว่างโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร	100
5.7 ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	แสดงลักษณะการทดสอบการชนด้านหน้าตามมาตรฐานการทดสอบรถยนต์ใหม่	14
2.2	แสดงมาตรฐานการทดสอบการชนคนเดินเท้าของการทดสอบรถยนต์ใหม่	14
2.3	แสดงมาตรฐานการทดสอบการชนด้านข้างของการทดสอบรถยนต์ใหม่	15
2.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและระยะยุบตัว (Load - Displacement Curve)	16
2.5	แสดงระยะยุบตัวของชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันอยู่ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเดียวกัน	18
2.6	แสดงเส้นกราฟของการยุบตัวภายใต้ภาระการชนกระแทก	19
2.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด	21
2.8	แสดงกราฟของพลังงานภายในเทียบกับระยะยุบตัวเมื่อเกิดการชน	27
2.9	แสดงชิ้นส่วนที่ทดสอบและบริเวณจุดที่พิจารณา	28
2.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของภาระและระยะยุบตัว	29
2.11	แสดงรูปลักษณะของการเซาะร่องชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	29
2.12	แสดงเส้นรอยพับของชิ้นงาน โลหะรูปสี่เหลี่ยมตามทฤษฎีของ Kecman's	30
2.13	กราฟแสดงความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการรองรับแรงกระแทกจากเหตุการณ์ที่ต่างกัน เมื่อเกิดอัตราเร่ง	33
2.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน (a/g) กับเวลาในการรับแรงกระแทก	34
2.15	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบาดเจ็บของศีรษะ HIC กับความเร็วในการชนกระแทก v_2 และอัตราส่วนความเร่งกับแรงดึงดูดของโลก (a/g)	36
3.1	แสดงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารจริง และภาพจำลอง	38
3.2	แสดงชิ้นส่วน โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร	39
3.3	แสดงลักษณะการเชื่อมต่อโครงสร้างด้านข้างกับแชสซี	40
3.4	แสดงชิ้นส่วน โครงสร้างด้านข้างบริเวณที่เสริมความแข็งแรง	41
3.5	แสดงการเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงสร้างบริเวณด้านล่างเพื่อเสริมความแข็งแรง	41
3.6	แสดงการต่อแบบเว้นช่องว่างของชิ้นส่วน โครงสร้างด้านข้างเพื่อเสริมรอยเชื่อม	42
3.7	แสดงการต่อ โครงสร้างด้านข้างกับชิ้นส่วน โครงสร้างแนวตั้งและแนวนอน	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
3.8	แสดงการต่อโครงสร้างด้านข้างกับชิ้นส่วนที่เสริมความแข็งแรงแบบชนมุม	43
3.9	แสดงโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร	44
3.10	แสดงการเชื่อมต่อ โครงสร้างด้านข้างกับ โครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร	44
3.11	แสดงโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์โดยสาร	45
3.12	แสดงโครงสร้างด้านหลังรถยนต์โดยสาร	45
4.1	เครื่องทดสอบ Compressive & Tensile Test Machine และชุดคอมพิวเตอร์ควบคุม	47
4.2	เครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Drop Hammer Tower ที่ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการวิจัย	48
4.3	ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ	50
4.4	แสดงกราฟของระยะยืด (Extension) และภาระ (Load) ที่ได้จากการทดสอบวัสดุ	50
4.5	แสดงลักษณะหน้าจอของ โปรแกรม ABAQUS\CAE	53
4.6	แสดงตัวอย่างของ Input Files ที่ใช้ในโปรแกรม ABAQUS	54
4.7	แสดงชิ้นส่วนของ โครงสร้างที่สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบ	55
4.8	แสดงเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อจับยึด โครงสร้างและการทดสอบที่ใช้ทั้ง 3 แบบ	56
4.9	แสดงชิ้นส่วนของ โครงสร้างที่สร้างขึ้นในคอมพิวเตอร์	58
4.10	แสดงลักษณะการจับยึด โครงสร้างที่ใช้ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์	58
4.11	แสดงการจัดวางชิ้นงานทดสอบในเครื่องทดสอบการกระแทก	59
4.12	แสดงตัวอย่างแบบจำลองทาง FEA ของ โครงสร้างภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูง	60
4.13	แสดงกราฟการหาค่าจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม โดยใช้พลังงานคูลชับเป็นตัวชี้วัด	61
4.14	แสดงรูปแบบจำลองทาง FEA ของส่วนประกอบ โครงสร้างรถยนต์โดยสาร	63
4.15	แสดงรูปแบบจำลอง โครงสร้างแผงด้านข้างรถยนต์โดยสาร ที่มีการต่อชิ้นส่วนเสริม ความแข็งแรงแบบต่างๆ	64
4.16	แสดงวิธีเตรียมการก่อนทดสอบในโปรแกรมไฟไนเอลิเมนต์	65
4.17	แสดงรูปแบบการต่อ โครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร	66
4.18	แสดงลักษณะหน้าตัดของชิ้นส่วนเสริม โครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.19 แสดงรูปแบบการต่อประกอบกันของ โครงสร้างด้านข้างกับ โครงสร้างหลังคาของ รถยนต์โดยสาร	68
4.20 แสดงรูปแบบการต่อเสริมความแข็งแรงของการยึดต่อ โครงสร้างหลังคา กับแผง โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร	69
5.1 แสดงรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้างจากการทดลองภายใต้ภาระแบบกด ในแนวแกน	71
5.2 แสดงกราฟค่าภาระที่กระทำกับระยะยุบตัวจากการทดลองของ โครงสร้าง ที่ต่อทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน	72
5.3 แสดงรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้างจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ ภาระการกดในแนวแกน	73
5.4 แสดงกราฟค่าภาระที่กระทำกับระยะยุบตัวจากการทดสอบด้วย FEA ของ โครงสร้างทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน	73
5.5 แสดงรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้างจากการทดลอง ภายใต้ภาระแบบคัต	74
5.6 แสดงรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระการคัต โดยการทดสอบด้วยวิธี FEA	75
5.7 แสดงรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้างที่ได้จากการทดลองภายใต้ภาระ กระทำแบบบิด	75
5.8 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระที่กระทำแบบบิด	76
5.9 ลักษณะการเสียหายของ โครงสร้างทั้ง 3 แบบจากการทดลองกระแทกด้วยความเร็วสูง	79
5.10 กราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของ โครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการทดลองกระแทก ด้วยความเร็วสูง	80
5.11 ลักษณะการเสียหายของ โครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการจำลองด้วย FEA ภายใต้ การกระแทกด้วยความเร็วสูง	80
5.12 กราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของ โครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการจำลองด้วย FEA ภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูง	81
5.13 แสดงรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชน ในแนวตั้งฉาก	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.14 กราฟภาระและระยะขยุบตัวที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวตั้งฉาก	85
5.15 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวแกน	86
5.16 กราฟภาระและระยะขยุบตัวที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวแกน	87
5.17 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียงภายใต้ภาระการชน 3 แบบ	89
5.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะขยุบตัวของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้การชนในแนวแกน	90
5.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะขยุบตัวของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระการตัด	91
5.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะขยุบตัวของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระการบิด	92
5.21 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่เสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัด 4 แบบ ทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกน	95
5.22 แสดงผลการทดสอบการชนในแนวแกนของโครงสร้างหลังคาแบบขนานที่ติดตั้งส่วนเสริมความแข็งแรงแบบหน้าตัดต่างๆ	96
5.23 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากแผงโครงสร้างด้านข้างและโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ	98
5.24 แสดงกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะขยุบตัวของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากโครงสร้างด้านข้างกับโครงหลังคาแบบต่างๆ	99
5.25 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ	102
5.26 กราฟแรงปฏิกิริยาและระยะขยุบตัวของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ	103

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
P_{cr}	ภาวะวิกฤติ (Collapse load or Critical load)	[N], [N.m]
P_{min}	ภาว่น้อยที่สุด (Minimum Load)	[N], [N.m]
P_{max}	ภาวะสูงสุด (Maximum Load)	[N], [N.m]
P_{mean}	ภาวะเฉลี่ย (Mean Crushing Load)	[N], [N.m]
P_c	ประสิทธิภาพเชิงภาระ (Load Efficiency)	[%]
E_{max}	พลังงานสูงสุด (Maximum Energy)	[N.m]
E_u	พลังงานดูดซับเฉลี่ย (Average Energy Absorption)	[N.m]
E_s	พลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific Energy Absorption)	[N.m/kg]
E_c	ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Energy Efficiency)	[%]
SE	ประสิทธิภาพการยุบตัว (Stroke Efficiency)	[%]
Rad	มุม	[Radian]
$Stroke$	ระยะยุบตัว (Displacement)	[mm]
v	ความเร็ว (Velocity)	[m/s]
a	ความเร่ง (acceleration)	[m/s ²]
FEA	Finite Element Analysis	-
$Mass$	มวล	[kg]
A	พื้นที่ (Area)	[m ²]
σ	ความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering Stress)	[N/m ²]
F	ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกน	[N]
ϵ	ค่าความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Strain)	-
l	ความยาวสุดท้าย	[m]
l_0	ความยาวเดิมของชิ้นทดสอบ	[m]
Δl	การเปลี่ยนแปลงความยาวจากการยืดตัว	[m]
E	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	[GN/m ²]
σ'	ค่าความเค้นจริง (True Stress)	[N/m ²]
ϵ'	ความเครียดจริง (True Strain)	-

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

ϵ^{pl}	การเปลี่ยนแปลงความเครียด (Plastic Strain)	-
HIC	ค่าการบาดเจ็บของศีรษะและคอ (Head Injury Criterion)	-
(a/g)	อัตราส่วนความเร่งต่อค่าแรงดึงดูด	-

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงกระแทกจากการชนของ โครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ต่อขึ้นในประเทศไทย โดยมุ่งทำการศึกษาชิ้นส่วนหลักของโครงสร้าง ได้แก่แผงด้านข้างลำตัว โครงสร้างหลังคา โครงสร้างประกอบและรูปแบบการยึดต่อต่างๆ การศึกษาเริ่มตั้งแต่การเก็บข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง จากนั้นมีการทำการทดลองเพื่อการสอบเทียบ โปรแกรมและยืนยันผล ซึ่งโปรแกรมที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยนี้คือ โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ชื่อ ABAQUS แล้วจึงได้นำโปรแกรมสำเร็จรูปดังกล่าวซึ่งยืนยันผลแล้วมาใช้ ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างหลัก เพื่อขยายขอบเขตการศึกษาให้สามารถทำการศึกษา โครงสร้างขนาดเท่าจริง และมีความซับซ้อนขึ้นได้

การเก็บข้อมูลจากอยู่ต่อรถยนต์โดยสารต่างๆ และพบว่าลักษณะแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่นิยมใช้งานมี 3 รูปแบบ คือ 1) การต่อโครงสร้างแบบขนาน 2) การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมและ 3) การต่อโครงสร้างแบบสลับฟันปลา ส่วนโครงสร้างหลังคาพบว่ามักนิยมต่อใน 2 ลักษณะ คือการต่อแบบขนานและการต่อแบบเฉียง คณะวิจัยได้ทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA โดยใช้สร้างแผงด้านข้างทั้ง 3 แบบ แต่ในขนาดเพียง 1 ช่อง ไปทำการทดลองรับภาระแบบกดในแนวแกน ภาระดัด และภาระบิด ด้วยความเร็วต่ำ และนำไปทดลองรับแรงกระแทกด้วยความเร็วสูงในแนวแกน แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม FEA ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่าโปรแกรมที่ใช้งานสามารถให้ผลการทำนายได้ใกล้เคียงกับการทดลอง จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองโครงสร้างขนาดจริงได้ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีแนวโน้มรับภาระจากการกดในแนวแกนและการดัดได้ดีที่สุด แต่โครงสร้างแบบทแยงมุมและสลับฟันปลากลับสามารถดูดซับพลังงานจากการบิดได้ดีกว่าโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบขนาน

ในการจำลองการชนของ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ต่อแบบเต็มแผงด้วยวิธี FEA สำหรับการชนในแนวแกนและการชนในแนวตั้งฉากนั้น พบว่าโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลา ผลการทดสอบ โครงสร้างหลังคาแบบเต็มแผงภายใต้ภาระการชนในแนวแกน พบว่าภายใต้การทดสอบด้วยภาระการชนในแนวแกนและภาระการชนแบบดัด การต่อเสริมโครงสร้างหลังคาแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียง แต่การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด พบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่า จากนั้นได้ทำการทดสอบ โครงสร้างหลังคาที่มีชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงหน้าตัดต่างๆด้วยภาระการชนในแนวแกน โดย

เปลี่ยนหน้าตัดของชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรง 4 แบบ คือหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยู หน้าตัดรูปวงกลมและหน้าตัดรูปตัวแอล ผลการศึกษาพบว่า โครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลม สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าการต่อเสริมด้วยหน้าตัดแบบอื่นๆ สำหรับการทดสอบ โครงสร้างประกอบที่ประกอบจากโครงสร้างหลังคา กับแผงด้านข้างของรถยนต์โดยสาร แบบต่างๆกัน 6 แบบ พบว่า โครงสร้างประกอบที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้มากกว่าการต่อสลักคู่กันของโครงสร้างแบบอื่นๆ นอกจากนี้ในการทดสอบลักษณะของชิ้นส่วนยึดต่อ โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร พบว่าการต่อ โครงสร้างแบบที่ 3 สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าการยึดต่อแบบอื่นๆ รายละเอียดของความสามารถในการดูดซับพลังงาน ลักษณะกราฟภาระ-ระยะยุบตัว และลักษณะการเสียหายของชิ้นส่วน โครงสร้างรถยนต์โดยสารแต่ละชิ้นส่วน ได้แสดงและอภิปรายโดยรายละเอียดในรายงาน

ABSTRACT

This research was aimed to study the crashworthiness of Thai-manufactured bus body and its energy absorption capacity. The study focused on only main components of the body i.e. the bus side wall, roof structure, assembled body and some joint patterns. The study was begun by surveying for data from Thai bus manufacturers. Then, experimental work was conducted in order to verify the commercial computer package (Finite Element Analysis, namely ABAQUS). Then, the verified FEA program was used to model the actual size structures in order to investigate their behaviors subjected to various crashing loads.

According to the survey, it was found that there are three patterns of the side wall generally used in Thailand, which are the horizontally-parallel pattern, the diagonally-parallel pattern and the head-to-tail diagonal pattern. For the roof structure, two patterns were generally used i.e. the horizontally-parallel and the diagonally-parallel patterns. The three patterns of side wall were manufactured and tested under quasi-static axial crushed, bending load and twisting load, as well as under dynamic impact axial crush. The results revealed that the horizontally-parallel pattern tends to absorb more crush energy than other two patterns. However, in case of twisting load, the diagonally-parallel and the head-to-tail diagonal patterns seem to absorb more energy. The experimental result was also compared with the simulation result by FEA program. Good agreement with acceptable error was achieved. Therefore, the program was used for investigating further on the behavior of actual size and more complex components.

Considering the actual size and whole bus side frame under axial and side impact, it was revealed that the horizontally-parallel pattern provides higher energy absorption than that of the diagonally-parallel and head-to-tail diagonal patterns. In cases of the bus roof frame, the result suggested that under axial and bending loads the parallel pattern provides more energy absorption than that of the diagonal one. In contrast, for the twisting load, the diagonal pattern has more energy absorption. This study also investigated the crush capacity of the roof with various sections of supplementary elements. These sections were circular, square, L-shape and U-shape. The results revealed that the roof with circular supplementary elements provides highest energy absorption and highest specific energy absorption. The assembled bus bodies, which were composed of different patterns of bus side frames and roof frames, were tested under axial crush

in order to investigate their crush characteristic. It was found that the parallel side wall pattern combined with the parallel roof pattern gives higher energy absorption than that of other combinations. In addition, the different types of joint elements between the roof and side wall were also tested. It was found that the joint type 3 provides highest energy absorption. Detail of energy absorption capacity, load-displacement curve and deformation mode of each element of the bus body were reported and discussed in the report.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบชิ้นส่วนของยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงนั้น ความรู้ทางด้านการเสียหายของโครงสร้างและการดูดซับพลังงานจากการชนหรือการกระแทกนั้นมีความสำคัญอย่างมาก การศึกษาในด้านนี้ถูกเรียกรวมๆ ว่า การศึกษาโครงสร้างภายใต้การกระแทก (Structural Crashworthiness) อันเป็นสาขาที่ได้รับการศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องและยาวนาน โดยเฉพาะในประเทศที่มีอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ต่างๆ เช่น สหรัฐอเมริกา อังกฤษ เยอรมนี ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกแบบตัวถังรถยนต์นั้นจะต้องคำนึงถึงหลักการและทฤษฎีของโครงสร้างภายใต้การกระแทกอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากรถยนต์มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการสัญจรไปมาจนแทบเรียกได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของการดำรงชีวิตประจำวัน

ในโครงสร้างของรถยนต์นั้น ตัวถังนับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดต่อผู้ขับขี่และผู้โดยสาร เนื่องจากเป็นส่วนที่ป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในห้องผู้โดยสารเมื่อรถประสบอุบัติเหตุ โดยทั่วไปแล้วตัวถังรถยนต์มักประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายๆชิ้นประกอบกัน และมักมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปมักประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นลักษณะแผ่น (Plates) และลักษณะเปลือก (Shells) เนื่องจากโครงสร้างทั้งสองชนิดเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนได้ดี ความหมายของการดูดซับพลังงานจากการชนได้ตีความถึงความสามารถของโครงสร้างในการยุบตัวที่เหมาะสมเมื่อเกิดการกระแทกหรือการชน โดยในการยุบตัวนั้นโครงสร้างควรจะดูดซับแรงกระแทกได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของตัวมันเอง อย่างไรก็ตามในดูดซับแรงกระแทกนั้นไม่ควรก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว (Deceleration หรือ Acceleration) ของโครงสร้างมากเกินไป เนื่องการเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ได้

การศึกษาความสามารถในการรับแรงกระแทกของตัวถังรถยนต์นั้นมักใช้การแยกพิจารณาโครงสร้างเป็นชิ้นๆไป เช่น ศึกษาการเสียหายเฉพาะ โครงรถด้านหน้า การศึกษาการเสียหายจากการชนของคานกลางผนังบางแบบต่างๆ การศึกษาโครงสร้างกลวงแบบ Double-hat และ Top-hat และ การศึกษาการเสียหายของแกน โครงรถยนต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นๆอีกมากที่มีผลต่อคุณสมบัติของโครงสร้างภายใต้แรงกระแทก เช่น ผลของแรงเฉื่อย (Inertia Effect) ผลของ

คุณสมบัติของวัสดุ ผลของการยึดต่อปลายหรือเงื่อนไขขอบเขต และผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังโครงสร้างเป็นต้น

จะเห็นว่าในการออกแบบโครงสร้างยานพาหนะนั้นมีข้อควรคำนึงถึงมากมายดังกล่าว สำหรับในประเทศไทยนั้น ยังมีการให้ความสนใจศึกษาวิจัยในด้านนี้น้อยมาก ทั้งๆที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่สำคัญของภูมิภาค และยังมีแผนที่จะขยายฐานการผลิตออกไปอีก นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีผู้ต่อรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่อีกเป็นจำนวนมาก โดยผู้ต่อรถเหล่านี้ นอกจากต่อรถจำหน่ายในประเทศแล้วยังมีการส่งจากประเทศอื่นๆ ในภูมิภาคอีกด้วย และเป็นที่น่าสังเกตว่าแม้ว่ารถยนต์โดยสารที่ได้รับการต่อจากผู้เหล่านี้จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตผู้โดยสารเป็นจำนวนมากมาย แต่ยังไม่มีการศึกษาใดๆที่ขึ้นันถึงข้อมูล และวิธีการ รวมถึงข้อควรพิจารณาที่ใช้ในการออกแบบ และประกอบรถยนต์โดยสารเหล่านี้ ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติการรับแรงกระแทกของชิ้นส่วน โครงสร้างรถที่ต่อจากผู้ทั่วไปเหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น ทั้งในแง่ของการเพิ่มคุณภาพเชิงความปลอดภัยให้แก่โครงสร้าง และเพิ่มความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยให้แก่ผู้โดยสาร อีกทั้งยังเป็นการสร้างมาตรฐานการผลิตและออกแบบ โครงสร้างยานพาหนะของประเทศเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านนี้ต่อไปในอนาคตอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบ รูปทรง และวิธีการประกอบ โดยทั่วไป ของชิ้นส่วนของโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ผลิตโดยผู้ต่อรถภายในประเทศ

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการเสียหาย และความสามารถในการรับแรงกระแทกของชิ้นส่วนแบบต่างๆในโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่สร้างในประเทศ

1.2.3 เพื่อหารูปแบบของชิ้นส่วนและวิธีการเชื่อมต่อที่เหมาะสม อันจะทำให้ชิ้นส่วนสามารถรับแรงกระแทกได้มากขึ้น

1.2.4 เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยของชิ้นส่วน โครงสร้างรถยนต์โดยสาร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง โดยเน้นเฉพาะข้อมูลที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงกระแทกเท่านั้น ไม่รวมไปถึงข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น การตลาด หรือกระบวนการผลิตเป็นต้น โดยตัวแปรสำคัญของโครงสร้างที่สนใจได้แก่

- ความหนา และการกระจายตัวของความหนาของ โครงสร้างหลัก
- รูปร่างของ โครงสร้างหลัก
- รูปแบบการยึดต่อ โครงสร้าง

1.3.2 การทดลอง

ทำการทดลองเฉพาะชิ้นส่วนหลักๆ ของ โครงสร้างที่มีผลต่อความสามารถ โดยรวมของ โครงสร้างรับแรงกระแทกเท่านั้น โดยมุ่งเน้นที่ตัวแปรหลักๆตามข้อ 1.3.1 ทั้งนี้จะไม่คำนึงถึงผล ของรายละเอียดย่อยอื่นๆ เช่น ช่องสกรู หรือน็อต เป็นต้น

1.3.3 การจำลองทางคอมพิวเตอร์

ทำการทดลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง Finite Element Analysis (FEA) ชื่อว่า ABAQUS โดยเบื้องต้นจะทำการจำลองชิ้นส่วนที่ทำการทดลองในข้อ 1.3.1 เพื่อทำการ สอบเทียบ (Verification) จากนั้นจะทำการขยายการศึกษาโดยเปลี่ยนแปลงขนาดของตัวแปรให้ หลากหลายค่าขึ้น

1.3.4 การเผยแพร่ผลการศึกษา

ทำการเผยแพร่ผลการศึกษาให้แก่ผู้ประกอบการผู้ต่อรถโดยสารและผู้สนใจทั่วไป โดยการ พิมพ์รายงานข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากการวิจัยเพื่อเผยแพร่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบข้อมูลเฉพาะด้านของ โครงสร้างรถยนต์โดยสารทั่วไปที่ผลิตและประกอบขึ้น ภายในประเทศ

1.4.2 ทราบคุณสมบัติด้านความสามารถในการต้านทานการเสียหายและการเสีรูปร่างจาก การชนของชิ้นส่วนหลักต่างๆ ใน โครงสร้าง อันจะนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนาให้ได้ โครงสร้างที่มี ความสามารถในการรับแรงกระแทกได้ดีขึ้น

1.4.3 ได้สร้างและพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับ โครงสร้างการป้องกันการกระแทกและการชน อันจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของประเทศต่อไป

1.4.4 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้ไปเผยแพร่ให้แก่ผู้ประกอบการผู้ต่อรถยนต์ โดยสารทั่วไปและเป็นการพัฒนาศักยภาพของผู้ผลิตอีกด้านหนึ่ง

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้สามารถแยกการศึกษาออกได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

(1) การเก็บข้อมูล

เป็นขั้นตอนแรกของการศึกษา โดยคณะวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากคู่มือรถยนต์โดยสาร เพื่อหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย โดยเน้นไปที่ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างหลักของรถยนต์โดยสารและวิธีการต่อโครงสร้างนั้นๆ

(2) การทำการทดลองและสอบเทียบโปรแกรม

ในขั้นตอนนี้คณะวิจัยได้ทำการทดลอง โดยได้พัฒนาและสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการทดลอง และใช้ชิ้นงานทดลองให้มีลักษณะจริงตามที่เก็บข้อมูลมา ผลการทดลองที่ได้จะนำไปใช้สอบเทียบโปรแกรม FEA ที่ใช้ในงานวิจัย

(3) การนำโปรแกรมไปใช้ศึกษาโครงสร้างขนาดจริง

หลังจากที่โปรแกรมได้รับการสอบเทียบ และยืนยันว่าสามารถให้คำตอบได้ถูกต้องกับผลการทดลองในระดับที่ยอมรับได้แล้ว จะนำโปรแกรม FEA ดังกล่าวไปขยายผลในการศึกษาโครงสร้างหลักขนาดจริง ทั้งในรูปแบบของโครงสร้างเดี่ยว และโครงสร้างประกอบ เนื่องจากโครงสร้างจริงเหล่านั้นมีขนาดใหญ่และไม่สามารถนำมาใช้ทำการทดลองจริงได้

1.6 โครงสร้างของรายงาน

รายงานฉบับนี้ได้เขียนขึ้นโดยแยกเนื้อหาออกเป็นบทหลักต่างๆ จำนวน 6 บท และภาคผนวก โดยเนื้อหาในแต่ละบทมีดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นบทที่กล่าวถึงความสำคัญ ที่มาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ของงานวิจัย และขั้นตอนในการศึกษาโดยย่อ โดยเนื้อหาในบทนี้เน้นแสดงถึงความสำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้

บทที่ 2 ข้อมูลพื้นฐาน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นบทที่กล่าวถึงข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์โดยสารที่ประกอบและใช้งานในประเทศไทย เช่นมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้อง และกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นการปูความรู้พื้นฐานให้แก่ผู้อ่าน อีกทั้งยังได้แสดงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องไว้ในส่วนท้ายของบทนี้ เพื่อแสดงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่กำลังศึกษา

บทที่ 3 การเก็บข้อมูล และข้อมูลโครงสร้างรถยนต์โดยสาร ในบทนี้จะแสดงวิธีการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ตลอดจนแสดงข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลดังกล่าว โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะเน้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของรถยนต์โดยสาร เนื่องจากเป็นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษา

บทที่ 4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและรายละเอียดวิธีการทดลอง เนื้อหาในบทนี้จะบรรยายรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ วิธีการในการศึกษาวิจัย และเงื่อนไขในการทดสอบโครงสร้าง

ตลอดจนบรรยายถึงรายละเอียดการใช้งานโปรแกรม FEA และการสอบเทียบโปรแกรม FEA กับ การทดลอง

บทที่ 5 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล บทนี้เป็นบทที่แสดงผลการศึกษาที่ได้จากการทดลองจริงและจากการทดลองด้วยโปรแกรม FEA ตลอดจนจะได้ทำการอภิปรายผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการศึกษาทั้งหมดด้วย

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ ในบทนี้ได้ทำการสรุปผลการศึกษาทั้งหมดอย่างกระชับ ตลอดจนแสดงข้อเสนอแนะที่อาจนำไปพัฒนาการศึกษาในขั้นต่อไป

นอกจากนี้ในภาคผนวกยังได้นำเสนอตัวอย่างการคำนวณค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการทดลองแบบต่างๆ และแสดงรายการผลงานทางวิชาการจากงานวิจัยนี้ ซึ่งได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่แล้วด้วย

บทที่ 2

ข้อมูลพื้นฐาน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและข้อมูลของรถยนต์โดยสาร

กรมการขนส่งทางบกได้แบ่งรถยนต์โดยสาร ที่ใช้ขนส่งผู้โดยสารออกเป็นหลายลักษณะ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 7 มาตรฐานตามขนาดและการใช้งาน โดยมาตรฐานทั้ง 7 มาตรฐานตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2524) ออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 มีดังนี้

มาตรฐานที่ 1 คือ รถปรับอากาศพิเศษ

มาตรฐานที่ 2 คือ รถปรับอากาศ

มาตรฐานที่ 3 คือ รถที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

มาตรฐานที่ 4 คือ รถสองชั้น

มาตรฐานที่ 5 คือ รถพ่วง

มาตรฐานที่ 6 คือ รถกึ่งพ่วง

มาตรฐานที่ 7 คือ รถโดยสารเฉพาะกิจ

โดยรายละเอียดของลักษณะรถยนต์โดยสารในแต่ละมาตรฐานมีดังนี้

2.1.1 มาตรฐานที่ 1 รถปรับอากาศพิเศษ

2.1.1.1 มาตรฐาน 1 ก เป็นรถปรับอากาศพิเศษจะไม่มีที่ยืน ห้องผู้โดยสารแยกจากห้องคนขับ โดยจัดวางที่นั่งผู้โดยสารขนานกับความกว้างของตัวรถไม่เกินแถวละ 3 ที่นั่ง มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม มีอุปกรณ์ให้เสียงและประชาสัมพันธ์ มีห้องสุขภัณฑ์และที่เก็บสัมภาระ

2.1.1.2 มาตรฐาน 1 ข เป็นรถปรับอากาศคล้ายกับมาตรฐานที่ 1 ก แต่จะต่างกับที่มาตรฐานที่ 1 ข ห้องผู้โดยสารจะไม่แยกออกจากห้องคนขับ ที่นั่งต่อแถวไม่ได้จำกัด

2.1.2 มาตรฐานที่ 2 รถปรับอากาศทั่วไป

2.1.2.1 มาตรฐาน 2 ก เป็นรถปรับอากาศที่มีที่นั่งผู้โดยสารเกิน 30 ที่นั่ง ไม่มีที่ยืนที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม ที่เก็บสัมภาระ อุปกรณ์ให้เสียงและประชาสัมพันธ์หรือไม่มีก็ได้แต่ไม่มีห้องสุขภัณฑ์

2.1.2.2 มาตรฐาน 2 ข มีลักษณะที่คล้ายกับมาตรฐาน 2 ก แต่มาตรฐานนี้จะไม่มีที่ยืนแต่จะไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม

2.1.2.3 มาตรฐาน 2 ค เป็นรถปรับอากาศที่มีที่นั่งผู้โดยสาร 21-30 ที่นั่ง จะไม่มีที่ยืน ห้องสุขภัณฑ์ ที่เก็บสัมภาระและอุปกรณ์ให้เสียง ส่วนที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่มมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.2.4 มาตรฐาน 2 ง มีลักษณะที่คล้ายกับมาตรฐานที่ 2 ค มีที่ยืนแต่ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม

2.1.2.5 มาตรฐาน 2 จ เป็นรถปรับอากาศซึ่งมีที่นั่งผู้โดยสารไม่เกิน 20 ที่นั่ง ไม่มีที่ยืน ส่วนที่เก็บสัมภาระจะมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.3 มาตรฐานที่ 3 รถยนต์โดยสารที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.3.1 มาตรฐาน 3 ก เป็นรถโดยสารที่มีที่นั่งผู้โดยสารเกิน 30 ที่นั่ง มีที่ยืนแต่ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม ไม่มีห้องสุขภัณฑ์และที่เก็บสัมภาระ

2.1.3.2 มาตรฐาน 3 ข มีลักษณะคล้ายกับมาตรฐาน 3 ก จะต่างกันที่ไม่มีที่ยืนแต่มีที่เก็บสัมภาระ

2.1.3.3 มาตรฐาน 3 ค เป็นรถโดยสาร 21-30 ที่นั่งและมีที่ยืน ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม ไม่มีห้องสุขภัณฑ์และที่เก็บสัมภาระ

2.1.3.4 มาตรฐาน 3 ง มีลักษณะที่คล้ายกับมาตรฐาน 3 ค มีที่เก็บสัมภาระแต่ไม่มีที่ยืน

2.1.3.5 มาตรฐาน 3 จ มีที่นั่งผู้โดยสาร 13-24 ที่นั่ง ส่วนที่ยืนของผู้โดยสารและที่เก็บสัมภาระมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.3.6 มาตรฐาน 3 ฉ มีที่นั่งผู้โดยสารไม่เกิน 12 ที่นั่ง ไม่มีที่ยืนที่เก็บสัมภาระมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.4 มาตรฐานที่ 4 รถยนต์โดยสารสองชั้น

2.1.4.1 มาตรฐาน 4 ก เป็นรถสองชั้นปรับอากาศ ชั้นล่างมีผู้โดยสารยืนไม่มีที่เก็บสัมภาระและห้องสุขภัณฑ์ ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม

2.1.4.2 มาตรฐาน 4 ข เป็นรถยนต์โดยสารลักษณะเช่นเดียวกับมาตรฐาน 4 ก แต่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.5 มาตรฐานที่ 5 รถยนต์โดยสารแบบพ่วง

2.1.5.1 มาตรฐาน 5 ก เป็นรถพ่วงปรับอากาศจะมีที่ยืนหรือไม่มีก็ได้ที่เก็บสัมภาระและห้องสุขภัณฑ์ ที่เตรียมอาหารและอุปกรณ์ให้เสียง จะมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.5.2 มาตรฐาน 5 ข ลักษณะคล้ายกับมาตรฐาน 5 ก แต่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.6 มาตรฐานที่ 6 รถยนต์โดยสารแบบกึ่งพ่วง

2.1.6.1 มาตรฐาน 6 ก เป็นรถพ่วงปรับอากาศ มีที่ขึ้นหรือไม่มีก็ได้ ที่เตรียมอาหารและอุปกรณ์ให้เสียง ที่เก็บสัมภาระและห้องสุขภัณฑ์ จะมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.6.2 มาตรฐาน 6 ข เช่นเดียวกับมาตรฐาน 6 ก แต่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.7 มาตรฐานที่ 7 รถยนต์โดยสารแบบเฉพาะกิจ

2.1.7.1 เป็นรถพิเศษเพื่อใช้ในกิจการใดกิจการหนึ่งโดยเฉพาะเช่น รถถ่ายทอดวิทยุหรือโทรทัศน์ รถพยาบาล รถบริการไปรษณีย์และรถบริการธนาคาร เป็นต้น ซึ่งในแต่ละมาตรฐานได้นำมาแสดงรายละเอียดเชิงเปรียบเทียบเป็นตาราง สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลและรายละเอียดของรถยนต์โดยสารแต่ละมาตรฐาน [1]

มาตรฐาน	เครื่องปรับอากาศ	จำนวนที่นั่ง	ที่ขึ้นบนรถ	ที่เตรียมอาหารเครื่องดื่ม	ที่เก็บสัมภาระ	อุปกรณ์ให้เสียง	ห้องสุขภัณฑ์
1 ก	มี	24- 32	ไม่มี	มี	มี	มี	มี
1 ข	มี	24- 32	ไม่มี	มี	มี	มี	มี
2 ก	มี	เกิน 30	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 ข	มี	เกิน 30	มี	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 ค	มี	21-30	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 ง	มี	21-30	มี	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 จ	มี	ไม่เกิน 20	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
3 ก	ไม่มี	เกิน 30	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
3 ข	ไม่มี	เกิน 30	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
3 ค	ไม่มี	21-30	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
3 ง	ไม่มี	21-30	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่กำหนด	ไม่มี

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลและรายละเอียดของรถยนต์โดยสารแต่ละมาตรฐาน (ต่อ)

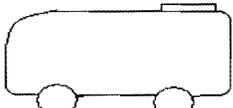
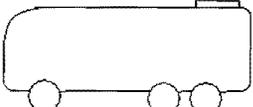
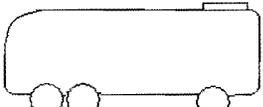
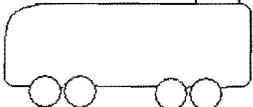
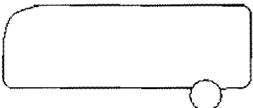
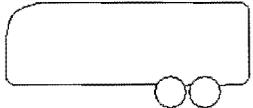
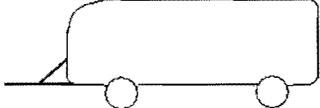
มาตรฐาน	เครื่องปรับอากาศ	จำนวนที่นั่ง	ที่ยืนบนรถ	ที่เตรียมอาหารเครื่องดื่ม	ที่เก็บสัมภาระ	อุปกรณ์ให้เสียง	ห้องสุขภัณฑ์
3 จ	ไม่มี	13-24	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
3 ฉ	ไม่มี	ไม่เกิน 12	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
4 ก	มี	ไม่กำหนด	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
4 ข	ไม่มี	ไม่กำหนด	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
5 ก	มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
5 ข	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
6 ก	มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
6 ข	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
7	เป็นรถที่ใช้เฉพาะกิจ เช่น รถพยาบาล รถบริการธนาคาร ฯลฯ						

จากตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงประเภทรถยนต์โดยสารที่แบ่งตามมาตรฐานแต่ละชนิด ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางบกกำหนดไว้ในแต่ละประเภท และนอกจากนี้ทั้งขนาดและสัดส่วนของรถยนต์โดยสารยังได้ถูกกำหนดให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 9, 31 และ 40 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นการแสดงขนาดและสัดส่วนของรถยนต์โดยสารแต่ละประเภทดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำเพาะของขนาดรถยนต์โดยสารตามมาตรฐาน [1]

สัดส่วนของรถยนต์โดยสาร	มาตรฐานรถยนต์โดยสารตามกรมการขนส่งทางบก	ขนาดที่กำหนด
ความกว้าง	ทุกมาตรฐาน และรถขนาดเล็ก	ไม่เกิน 2.5 เมตร
ความยาว	มาตรฐาน 1, 2ก, 2ข, 3ก, 3ข, 4 และ 7	ไม่เกิน 12 เมตร
	มาตรฐาน 1, 2ค, 2ง, 2จ, 3ค, 3ง, 3จ, 5 และรถขนาดเล็ก	ไม่เกิน 10 เมตร
	มาตรฐาน 6	ไม่เกิน 18 เมตร
ส่วนยื่นหน้า	ทุกมาตรฐาน (ยกเว้นมาตรฐาน 6)	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อ
	มาตรฐาน 6	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อหน้า
ส่วนยื่นท้าย	รถมาตรฐานต่างๆ โดยทั่วไป	ไม่เกิน 2/3 ของช่วงล้อ
	มาตรฐาน 6	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อตอนท้าย
	รถที่มีประตูขึ้นลงด้านท้าย	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อ
ความสูงภายใน	มาตรฐาน 2ข, 2ง, 3ก, 3ค, 4ง และ 4จ	ไม่น้อยกว่า 1.75 เมตร
	มาตรฐาน 5 และ 6	ไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร
	มาตรฐาน 1ก, 1ข, 2ก, 2ค และ 2จ	ไม่เกิน 1.6 เมตร
	มาตรฐาน 3ข, 3ง, 3จ, 3ค, 4ก และ 4ข	ไม่น้อยกว่า 1.2
ความสูงภายนอก	มาตรฐาน 1ก, 1ข, 2ก, 2ข, 3ก, 3ข, 5 และ 6	ไม่เกิน 3 เมตร
	มาตรฐาน 2ค, 2ง, 2จ, 3ค, 3ง, 3จ, 3ค และรถขนาดเล็ก	ไม่เกิน 3.2 เมตร
	มาตรฐาน 4ก, 4ข, 4ค, 4ง, 4จ, 4ค, และ 7	ไม่เกิน 4.5 เมตร

ตารางที่ 2.3 พิกัดน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาตามกรมทางหลวงกำหนด [2]

ภาพลักษณะรถโดยสาร	การวางเพลาท้าย และยาง	พิกัดน้ำหนักสูงสุด (kg)	
		น้ำหนักลง เพลาท้าย	น้ำหนักรวม สูงสุด
 2 เพลา 4 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6,800	8,500
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	-
 3 เพลา 6 ล้อ	เพลาคู่+ยางเดี่ยว	12,200	15,300
	เพลาคู่+ยางคู่	16,400	21,000
 3 เพลา 6 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6800	10,500
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	14,000
 4 เพลา 8 ล้อ	เพลาคู่+ยางคู่	16,400	25,200
	เพลาคู่+ยางเดี่ยว	12,200	18,800
 รถกึ่งพ่วง เพลาเดี่ยว 2 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6800	10,500
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	14,000
 รถกึ่งพ่วง เพลาคู่ 4 ล้อ	เพลาคู่+ยางเดี่ยว	12,200	-
	เพลาคู่+ยางคู่	16,400	-
 รถพ่วง 2 เพลา 4 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6,800	13,600
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	18,200

จากตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลจำเพาะของขนาดน้ำหนักรถและลักษณะการวางเพลลาและล้อของรถยนต์โดยสาร ซึ่งจะแบ่งตามขนาดและลักษณะที่กรมการขนส่งทางบกกำหนดไว้

นอกจากนี้ในแต่ละปีประเทศไทยยังได้มีการผลิตรถโดยสารเป็นจำนวนมาก ซึ่งประเภทของรถยนต์โดยสารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของธุรกิจที่ประกอบการ ได้แก่ 1) รถยนต์โดยสารประจำทาง 2) รถยนต์โดยสารไม่ประจำทางและ 3) รถยนต์โดยสารส่วนบุคคล โดยแต่ละประเภทยังได้มีสถิติในการจดทะเบียนรถใหม่กับกรมการขนส่งทางบก ดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สถิติจำนวนรถยนต์โดยสารที่จดทะเบียนใหม่ระหว่างปี 2534-2548 [3]

ปี พ.ศ.	รถโดยสารประจำทาง	รถโดยสารไม่ประจำทาง	รถโดยสารส่วนบุคคล	รวมรถยนต์โดยสาร (คัน)
2534	4,006	1,525	536	6,067
2535	4,644	1,750	606	7,000
2536	3,296	1,140	565	5,001
2537	3,646	1,381	656	5,683
2538	4,014	1,463	558	6,035
2539	3,065	1,496	493	5,054
2540	2,921	1,375	553	4,849
2541	2,325	733	190	3,248
2542	1,111	387	162	1,660
2543	1,154	376	398	1,928
2544	1,568	837	406	2,811
2545	2,446	1,007	507	3,960
2546	4,993	2,178	556	7,727
2547	3,945	2,773	648	7,366
ม.ค. - มิ.ย. 2548	1,394	958	290	2,642

จากข้อมูลในตารางที่ 2.4 พบว่า มีจำนวนรถยนต์โดยสารประเภทต่างๆ จดทะเบียนในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยหลังจากปี พ.ศ.2542 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ล่าสุดในปี พ.ศ. 2546-2547 พบว่า มีรถโดยสารจดทะเบียนมากถึงประมาณกว่า 7,000 คันในแต่ละปี

2.2 มาตรฐานสากลในการทดสอบรถยนต์

ในการศึกษาการเสียหายของโครงสร้างยานยนต์นั้น ได้มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังและแพร่หลายในต่างประเทศ โดยมีมาตรฐานการทดสอบการชนแบบต่างๆ หรือแม้แต่ในการทดสอบการชนจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ในประเทศอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังได้มีการกำหนดมาตรฐานในการทดสอบรถยนต์ไว้หลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐานด้านความปลอดภัยของสหพันธ์ยานยนต์ (Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS) มาตรฐานการประเมินและการทดสอบรถยนต์ใหม่ (New Car Assessment Program, NCAP) และมาตรฐานด้านความปลอดภัยบนทางด่วน (Insurance Institute for Highway Safety, IIHS) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างยานยนต์ภายใต้การชนกระแทกนั้นมีความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน ดังจะได้อธิบายในรายละเอียดแต่ละมาตรฐานดังนี้

2.2.1 มาตรฐานความปลอดภัยของสหพันธ์ยานยนต์ (FMVSS)

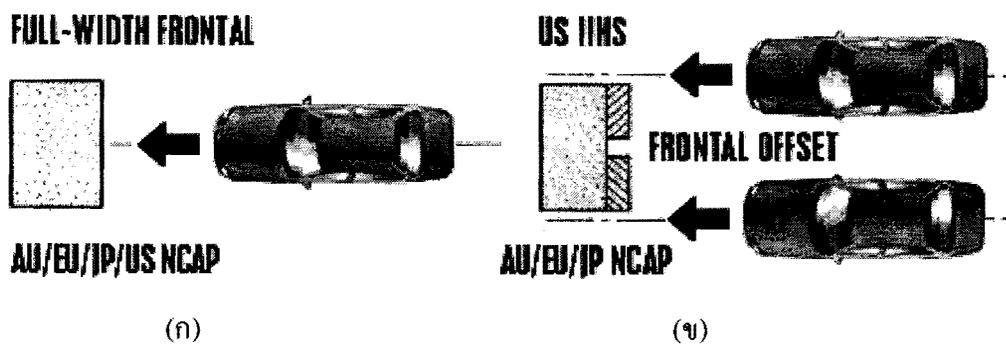
เป็นมาตรฐานด้านความปลอดภัยทางรถยนต์และเริ่มมีใช้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบระบบต่างๆ ของรถยนต์และเริ่มใช้ครั้งแรกในปี 1968 โดยมาตรฐานที่ใช้มีหลายประเภท ตัวอย่างเช่น มาตรฐานที่ 116 (Motor Vehicle Brake Fluids) ซึ่งเป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบเบรกในรถยนต์ โดยมาตรฐานที่มีการใช้ครั้งแรกคือ มาตรฐานที่ 209 ซึ่งกล่าวถึงความปลอดภัยในการใช้เข็มขัดนิรภัยกับผู้โดยสารทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก และรถยนต์โดยสาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานการทดสอบแบบอื่นๆ อีกหลายข้อที่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งเน้นเรื่องความปลอดภัย เป็นหลัก

2.2.2 มาตรฐานการประเมินและการทดสอบรถยนต์ใหม่ (NCAP)

มาตรฐานการประเมินและทดสอบรถยนต์ใหม่นี้มีใช้หลายประเทศ ในหลายทวีป เช่น ทวีปอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่นและออสเตรเลีย โดยมีวิธีการทดสอบการชนในหลายลักษณะดังนี้

2.2.2.1 การทดสอบโดยการชนด้านหน้าแบบชนเต็ม (Full frontal crash) ในการทดสอบนี้จะใช้ความเร็วในการชน 64 km/h (40 mph) โดยให้รถยนต์พุ่งเข้าชนกำแพงแบบเต็มหน้าด้วยความเร็วที่กำหนดเพื่อดูความสามารถในการต้านทานความเสียหายและลักษณะของการเสียหายเพื่อวิเคราะห์ดูความแข็งแรงและเป็นข้อมูลในการผลิตต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ก)

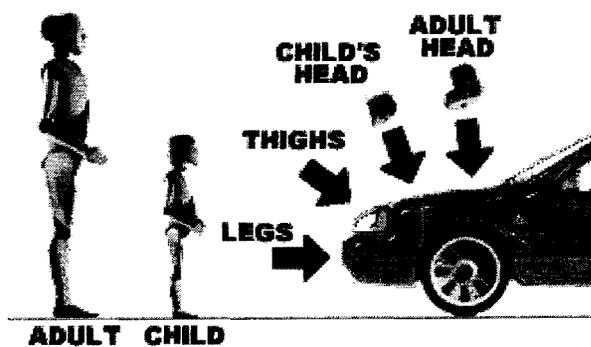
2.2.2.2 การทดสอบโดยการชนด้านหน้าแบบครึ่งหนึ่ง (Offset frontal crash) การทดสอบการชนแบบนี้จะใช้ความเร็วในการชน 56 km/h (35 mph) มีวิธีการทดสอบคือ ให้รถวิ่งชนกำแพงด้วยความเร็วตามกำหนดโดยจะชนเพียงซีกเดียวเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ข)



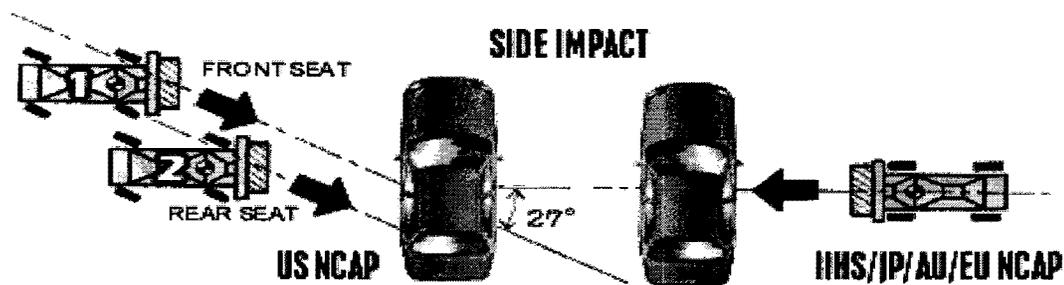
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการทดสอบการชนด้านหน้าตามมาตรฐานการทดสอบรถยนต์ใหม่ (ก) การทดสอบการชนแบบเต็มและ (ข) การทดสอบการชนแบบครึ่ง [4]

2.2.2.3 การทดสอบโดยการชนคนเดินเท้า ในการทดสอบนี้ความเร็วที่ใช้ประมาณ 40 km/h (25 mph) เป็นการทดสอบการชนคนเดินเท้าโดยสร้างหุ่นจำลองจากนั้นให้รถวิ่งเข้าชนตามความเร็วที่กำหนดเพื่อสังเกตจุดที่จะเกิดอันตรายกับร่างกายในส่วนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

2.2.2.4 การทดสอบโดยการชนด้านข้าง มีวิธีการทดสอบคือ ให้รถวิ่งเข้าชนรถยนต์อีกคันหนึ่งด้วยความเร็ว 50 km/h (30 mph) ไปในทิศทางด้านข้างของรถทดสอบและในทิศทางมุมที่ต่างกัน โดยรถคันที่ชนจะใช้เป็นลักษณะ Rigid Body ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 แสดงมาตรฐานการทดสอบการชนคนเดินเท้าของการทดสอบรถยนต์ใหม่ [4]



ภาพที่ 2.3 แสดงมาตรฐานการทดสอบการชนด้านข้างของการทดสอบรถยนต์ใหม่ [4]

2.2.3 มาตรฐานความปลอดภัยบนทางด่วน (IIHS)

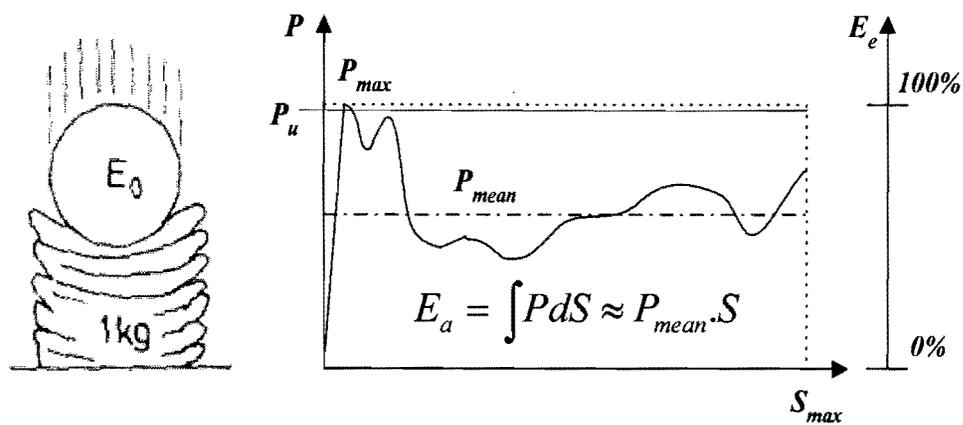
การทดสอบแบบนี้มีวิธีการทดสอบที่คล้ายกับการทดสอบรถยนต์ใหม่ ในหัวข้อที่ 2.2.2 ได้แก่ การทดสอบการชนด้านข้างแนวตั้งฉากและแนวทแยงมุม การทดสอบการชนด้านหน้าแบบเต็มและแบบครึ่งหน้ารถ โดยใช้ความเร็วที่ต่างกัน

2.3 การศึกษาชิ้นส่วนรับแรงกระแทก

การศึกษาโครงสร้างที่รับการชนแรงกระแทก (Crashworthiness) มีทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวด้วยกัน ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้มักอ้างอิงมาจากกราฟของภาระที่กระทำและระยะยุบตัว (Load-Displacement Curve) ที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยค่าตัวแปรต่างๆ ของโครงสร้างภายใต้การรับแรงกระแทกจะได้ออกจากการคำนวณเช่น ค่าภาระเฉลี่ยและค่าพลังงานดูดซับ ซึ่งได้มาจากการทดสอบหรือจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงต้องทราบถึงรายละเอียดและคุณสมบัติของตัวแปรที่ใช้แต่ละตัวก่อน โดยตัวแปรสำคัญที่นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างภายใต้การชน มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ภาวะวิกฤติหรือภาระเสียหาย

ภาวะวิกฤติ (Critical load or Collapse load), P_c หมายถึง ภาระครั้งแรกที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายอย่างสังเกตเห็นได้ ณ จุดนี้เป็นตำแหน่งที่เส้นกราฟในภาพที่ 2.4 เริ่มตกลงหลังจากที่กราฟขึ้นสูงสุดในช่วงแรก ซึ่งภาวะวิกฤตินี้มีความสำคัญมากกับการออกแบบเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายก่อนช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่ในบางครั้งภาวะวิกฤติอาจจะมีค่าเท่ากับภาระสูงสุด (P_{max}) ก็ได้ ในกรณีของภาพที่ 2.4 นี้จะเห็นว่าภาระสูงสุดมีค่าเท่ากับภาวะวิกฤติหรืออาจกล่าวได้ว่าค่าภาวะวิกฤติก็คือ ค่าภาระที่สูงที่สุดครั้งแรกก่อนที่เส้นกราฟจะตกลงและหลังจากช่วงนี้อาจมีค่าภาระสูงสุดที่สูงกว่าจุดนี้ก็ได้



ภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและระยะยุบตัว (Load - Displacement Curve) [5]

2.3.2 ภาระสูงสุด

ภาระสูงสุด (Maximum load), P_{max} หมายถึง ภาระสูงสุดที่เกิดขึ้นในกราฟของค่าภาระและระยะยุบตัวตลอดช่วงเวลาที่การเสียหายของชิ้นงาน ซึ่งค่าของภาระสูงสุดควรจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและไม่ต้องสูงมากจนเกินไปเพราะจะทำให้อัตราเร่งไม่คงที่ เช่น การลดความเร็วอย่างทันทีทันใด อาจทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ด้วย

2.3.3 ภาระเฉลี่ย

ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load), P_{mean} หมายถึง ค่าของภาระเฉลี่ยตลอดการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชนกระแทกจนสิ้นสุดการยุบตัว โดยมักเปรียบเทียบกับระยะยุบตัวของชิ้นงาน ซึ่งค่าภาระเฉลี่ยนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ โดยทั่วไปแล้ว ค่าภาระเฉลี่ยควรมีค่าสูงเพื่อให้ได้ค่าพลังงานดูดซับที่สูงตามไปด้วย

2.3.4 พลังงานดูดซับ

พลังงานดูดซับ (Energy absorption), E_a หมายถึง ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทกหรือการยุบตัว ซึ่งหาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟระหว่างภาระที่ใช้กับระยะยุบตัวที่ได้จากการชนกระแทกของชิ้นงานหรือโครงสร้าง จากภาพที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงค่าภาระที่ใช้และระยะยุบตัวจากตัวอย่างการทดสอบการชนของเหล็กชนิดหนึ่ง จากกราฟแสดงค่าตัวแปรที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ คือ ค่าการดูดซับพลังงานจากการชนของชิ้นงาน สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$E_a = \int PdS \quad (2.1)$$

โดยที่ E_a = พลังงานที่ชิ้นงานดูดซับไว้ได้
 P = ภาระที่กระทำกับวัสดุชิ้นงาน
 dS = การเปลี่ยนแปลงระยะยวบตัวของชิ้นงาน

จากภาพที่ 2.4 เนื่องจากเส้นกราฟของภาระและระยะการยวบตัวไม่คงที่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่เกิดการชนกระแทก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงแนะนำให้ใช้การประมาณจากค่าภาระเฉลี่ยตามหลักของ mean - value theorem ในการหาค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุ [6] จากการชนกระแทก ซึ่งหาค่าได้โดยใช้สมการที่ (2.2)

$$E_a = P_{mean} \cdot S \quad (2.2)$$

2.3.5 พลังงานดูดซับจำเพาะ

พลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption), E_s หมายถึง ค่าการดูดซับพลังงานของโครงสร้างหนึ่งๆ เทียบกับน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง ในการหาค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะที่เกิดจากการชนกระแทกนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการชน ปกติทั่วไปชิ้นงานจะสามารถดูดซับพลังงานได้ตามความสามารถของตัวเอง เมื่อชิ้นงานเริ่มดูดซับพลังงานจากการชนกระแทก ตัวมันเองจะเริ่มยวบตัวหรือพับตัวจนกระทั่งไม่สามารถยวบตัวต่อได้อีก ลักษณะเช่นนี้หมายถึง วัสดุชิ้นงานนั้นได้ดูดซับพลังงานได้เต็มที่แล้ว ดังนั้นแรงที่เหลืออยู่ก็จะถูกส่งไปยังชิ้นส่วนที่เราต้องการปกป้องให้ความปลอดภัย เช่นร่างกายของมนุษย์ในห้องผู้โดยสาร ปกติแล้วเรามักพิจารณาการดูดซับพลังงาน โดยเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างเอง เพื่อไม่ให้ชิ้นงานมีมวลมากเกินไปกล่าวคือ แม้ว่าชิ้นงานจะสามารถดูดซับพลังงานได้มาก แต่ถ้าชิ้นงานมีมวลที่มากเกินไปก็อาจไม่เหมาะสมกับโครงสร้างบางชนิด ตัวอย่างเช่น โครงสร้างของรถยนต์หรือยานพาหนะอื่นๆ ซึ่งค่าพลังงานดูดซับจำเพาะสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$E_s = \frac{\int PdS}{mass} \approx \frac{P_{mean} \cdot S}{mass} \quad (2.3)$$

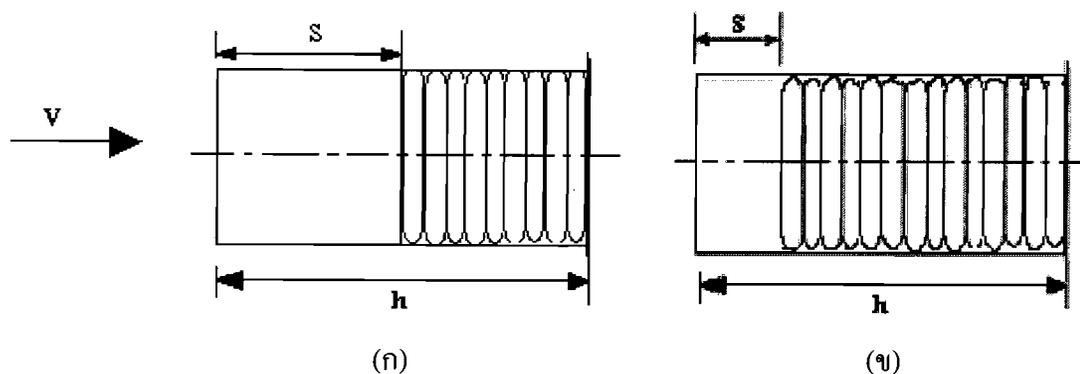
โดยที่ E_s = การดูดซับพลังงานจำเพาะ
 P_{mean} = ภาระเฉลี่ย
 S = ระยะที่วัสดุชิ้นงานยวบตัวได้จากเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย

2.3.6 ประสิทธิภาพการยุบตัว

ประสิทธิภาพของการยุบตัว (Stroke efficiency), S_e หมายถึง ความสามารถในการยุบตัวของชิ้นงานจากการชนกระแทกจนชิ้นงานไม่สามารถยุบตัวได้อีก ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของระยะยุบตัวของชิ้นงานกับความยาวเดิมของชิ้นงาน ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$S_e = \frac{S}{h} \quad (2.4)$$

โดยที่ S_e = ประสิทธิภาพของการยุบตัวของชิ้นงาน
 S = ระยะยุบตัวของโครงสร้างตั้งแต่เริ่มจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว
 h = ความยาวเดิมของชิ้นงาน



ภาพที่ 2.5 แสดงระยะยุบตัวของชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันอยู่ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเดียวกัน
 (ก) ชิ้นงานที่มีความหนาน้อย (ข) ชิ้นงานที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น

ประสิทธิภาพการยุบตัวของโครงสร้างนั้น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยุบตัวได้ของโครงสร้างโดยที่ยังคงสามารถรับพลังงานจากการชนกระแทกได้ โดยทั่วไปขนาดและรูปร่างมักเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติในข้อนี้ เช่น ชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตตัวแปรเดียวกันหรือมีความยาวเริ่มต้นเท่ากัน ชิ้นงานที่มีค่าความหนามากย่อมจะทนแรงกระแทกได้ดีแต่จะยุบตัวได้น้อย ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการยุบตัวของชิ้นงานน้อยลงด้วย สำหรับด้านความปลอดภัยแล้ว เมื่อชิ้นงานสิ้นสุดการยุบตัวที่เร็วเกินไปอาจมีผลให้เกิดอันตรายกับชิ้นส่วนที่ต้องการปกป้องได้หากชิ้นงานนั้นยังดูดซับพลังงานการกระแทกได้ไม่หมด ดังนั้นจึงต้องหาความเหมาะสมที่สุดในการเลือกใช้วัสดุ โดยปกติแล้วถ้าระยะยุบตัวของชิ้นงานมีค่ามากจะส่งผล

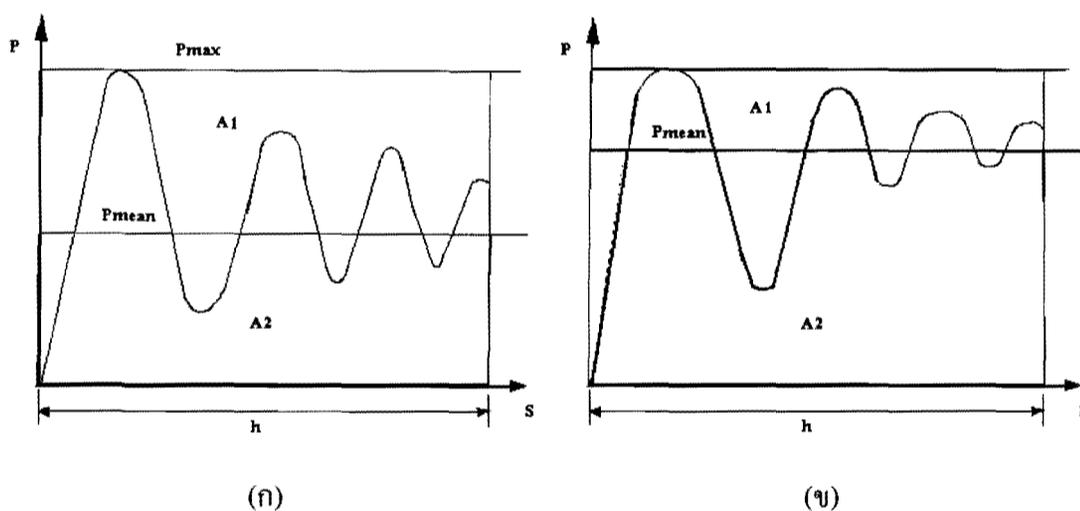
ให้ค่าประสิทธิภาพของการยุบตัวมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากภาพที่ 2.5 แสดงชิ้นงานที่มีความหนาน้อย ซึ่งสามารถยุบตัวได้มากกว่าชิ้นงานที่มีความหนาและถ้าชิ้นงานยุบตัวได้มาก ค่าประสิทธิภาพของการยุบตัวก็จะมีค่าสูงด้วย

2.3.7 ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ

ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ (Energy efficiency), E_e หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของพลังงานที่โครงสร้างดูดซับได้จริงเทียบกับพลังงานที่โครงสร้างควรดูดซับได้ จากการเกิดภาระสูงสุด สามารถหาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัว โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2.5) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$E_e = \frac{A}{P_{\max} h} = \frac{E_a}{P_{\max} h} \quad (2.5)$$

- เมื่อ E_e = ประสิทธิภาพของพลังงาน
 E_a = พลังงานที่ดูดซับได้
 A = พื้นที่ใต้กราฟของภาระการชน
 P_{\max} = ภาระสูงสุด
 h = ระยะยุบตัวของชิ้นงานจากภาระการกระแทก



ภาพที่ 2.6 แสดงเส้นกราฟของการยุบตัวภายใต้ภาระการชนกระแทก (ก) กราฟภาระสูงสุดและภาระเฉลี่ยที่มีช่วงห่างกันมาก (ข) กราฟของภาระสูงสุดและภาระเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 2.6 แสดงประสิทธิภาพพลังงานคูดซับซึ่งหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของเส้นภาระเฉื่อย (A_2) หารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของภาระสูงสุด ($A_1 + A_2$) ภาพที่ 2.6 (ก) เป็นเส้นกราฟที่เกิดจากภาระการชนกระแทกที่มีความแตกต่างกันมากระหว่างภาระสูงสุดและภาระเฉื่อย การแกว่งของเส้นกราฟลักษณะนี้มีช่วงกว้างมากเมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.5) จะทำให้ประสิทธิภาพของพลังงานลดลงเมื่อเทียบกับกราฟในภาพที่ 2.6 (ข) โดยจากภาพสามารถหาค่าประสิทธิภาพของพลังงานได้จากสมการที่ (2.5) เช่นเดียวกันและเมื่อเปรียบเทียบกัน 2 กรณีพบว่า ในสภาวะที่เกิดการชนและมีค่าภาระเฉื่อยกับภาระสูงสุดห่างกันมากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพพลังงานลดลงด้วย

2.3.8 ประสิทธิภาพของภาระ

ประสิทธิภาพของภาระ (Load efficiency), P_e หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่าภาระเฉื่อยกับค่าภาระสูงสุด ซึ่งมีวิธีการหาได้ในลักษณะเดียวกันกับค่าประสิทธิภาพของพลังงาน

2.4 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

ในการทดสอบวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างในการศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบดึงชิ้นงาน โดยให้ชิ้นทดสอบถูกดึงจนขาดจากกันในเวลาอันสั้นด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งผลจากการทดสอบจะเก็บข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่จำเป็น เพื่อใช้ในโปรแกรม FEA โดยค่าตัวแปรต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้ตัวแปรที่สำคัญดังนี้

2.4.1 ความเค้นทางวิศวกรรม

ค่าความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering Stress) คือ ความเค้นที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างวัสดุ ซึ่งสามารถหาได้จากการนำค่าภาระที่ได้จากการทดสอบดึงชิ้นงานในแต่ละช่วงมาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงานก่อนทำการทดสอบ โดยผลที่ได้จากการทดสอบจะนำมาคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น โดยใช้สมการที่ (2.6) ในการคำนวณ

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.6)$$

โดยที่ σ = ความเค้นทางวิศวกรรม

F = ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกน

A_0 = พื้นที่หน้าตัดขวางเริ่มต้น

2.4.2 ความเครียดทางวิศวกรรม

ความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิมของชิ้นทดสอบที่ได้จากการทดสอบดึง สามารถคำนวณได้จากการนำระยะที่เปลี่ยนแปลงหารด้วยความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบ ค่าความเครียดทางวิศวกรรมหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.7)$$

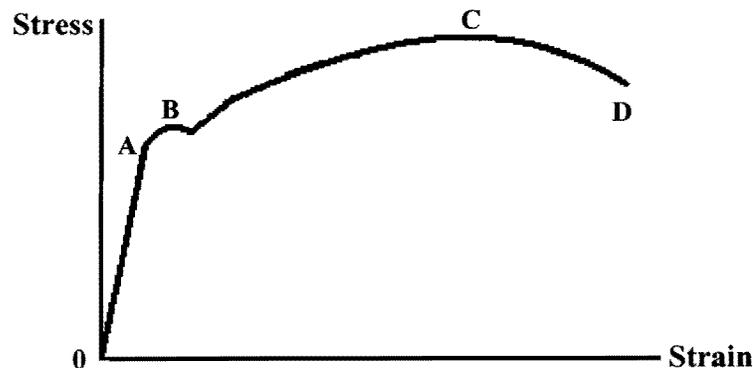
โดยที่ ε = ค่าความเครียดทางวิศวกรรม

l = ความยาวสุดท้าย

l_0 = ความยาวเดิมของชิ้นทดสอบ

Δl = การเปลี่ยนแปลงความยาวจากการยืดตัว

จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7) จะได้ค่าความเค้นและค่าความเครียดจากการทดสอบ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเขียนเป็นกราฟจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดตามภาพที่ 2.7 ซึ่งจุดต่างๆ มีความสำคัญที่ใช้ในการทดสอบการชนต่อไป



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด

โดยที่ จุด A คือ ขีดจำกัดการแปรผันตรง (Proportional limit)

จุด B คือ ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (Elastic limit)

จุด C คือ จุดสูงสุดความเค้น (Ultimate Strength)

จุด D คือ จุดแตกหัก (Breaking point) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุขาดจากกัน

2.4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น

ค่าความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) คือ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นระหว่างสัดส่วนความเค้นและความเครียดเมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาว โดยโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าต่างกันและจากภาพที่ 2.7 สามารถหาค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ (E) ซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วง 0 ถึง A และเป็นช่วงที่ความเค้นและความเครียดเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.8)$$

โดยที่ σ = ค่าความเค้นทางวิศวกรรม
 E = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น
 ε = ค่าความเครียดทางวิศวกรรม

2.4.4 ความเค้นที่เกิดขึ้นจริง

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (True Stress) เป็นค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงในขณะช่วงเวลาที่ทำการทดสอบนั้น โดยขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นพื้นที่ ณ ช่วงเวลาที่ภาระขณะนั้นกระทำอยู่ ดังนั้นจึงนิยามความเค้นแบบนี้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง สามารถหาได้จากสมการที่ (2.9)

$$\sigma' = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

โดยที่ σ' = ค่าความเค้นจริง
 F = ค่าภาระที่กระทำ
 A = พื้นที่จริงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ตลอดการทดสอบ

2.4.5 ความเครียดที่เกิดขึ้นจริง

ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจริง (True Strain) เป็นค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจริงจากการทดสอบวัสดุและในการคำนวณจะมีความสัมพันธ์กับความเครียดทางวิศวกรรมดังแสดงในสมการที่ (2.10) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\varepsilon' = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (2.10)$$

โดยที่ ε' = ความเครียดจริง
 l = ความยาวที่เพิ่มขึ้น
 l_0 = ความยาวก่อนการทดสอบ

2.4.6 Plastic Strain

เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของความเครียด ซึ่งเกิดขึ้นจากช่วงจุดล้าของวัสดุ (yield point) ไปจนถึงช่วงความเค้นสูงสุด (maximum stress) ที่ได้จากการทดสอบ สำหรับในโปรแกรม FEA (ABAQUS) จำเป็นต้องใส่ค่าคุณสมบัตินี้ เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้อย่างถูกต้อง ซึ่งหาโดยการกำหนดจุดต่างๆ บนกราฟของความเค้นและความเครียด โดยกำหนดจากจุดล้าตัวจนถึงจุดภาวะสูงสุด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2.11) โดยได้แสดงวิธีการหาอย่างละเอียดไว้ในบทที่ 3

$$\varepsilon^{pl} = \left(\varepsilon' - \frac{\sigma'}{E} \right) \quad (2.11)$$

โดยที่ ε^{pl} = การเปลี่ยนแปลงของความเครียด
 ε' = ความเครียดจริง
 σ' = ความเค้นจริง
 E = ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ

2.5 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.5.1 พื้นฐานทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ที่ใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหา โดยทำการแบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ซึ่งเรียกว่าเอลิเมนต์ (element) จากนั้นสร้างสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้น โดยเอลิเมนต์เหล่านี้จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้คำนวณหาค่าของตัวแปรตามที่ต้องการ [7] สำหรับตัวอย่างของสมการเช่น เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมในสองมิติที่อยู่บนระนาบ x-y เป็นเอลิเมนต์ที่มีจุดต่อ 3 จุดต่อ โดยที่จุดต่อเหล่านี้เป็นตำแหน่งของตัวที่ไม่ทราบค่า

(nodal unknowns) สมมติให้เป็นค่าการเคลื่อนตัวเนื่องจากการเสียรูป (ϕ) ซึ่งประกอบไปด้วย ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3 ซึ่งเป็นตัวแปรที่จุดต่อที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่านี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (2.12)$$

โดยที่ $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์
 ϕ = ค่าการเคลื่อนตัวของจุดต่อ

จากสมการที่ (2.12) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = [N_1 N_2 N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

$$\phi(x, y) = [N] \{\phi\} \quad (2.14)$$

โดยที่ $[N]$ แทนเมทริกซ์แถวอนของฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์
 $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์เมทริกซ์แถวตั้งที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

จากสมการที่ (2.12) และ (2.13) เมื่อทำการสร้างสมการจากเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

สามารถเขียนย่อได้เป็น

$$[K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (2.16)$$

โดยที่ ตัวห้อย sys หมายถึง เมทริกซ์นั้นๆ เป็นเมทริกซ์ของระบบสมการรวม

จากสมการที่ 2.16 จะทำการประยุกต์เงื่อนไขและขอบเขต (boundary conditions) ลงในระบบสมการจากนั้นทำการแก้ระบบสมการเพื่อหาตัวแปรที่ไม่รู้ค่าต่อไป ตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อในที่นี้หมายถึงค่าการเคลื่อนที่จากการเสีรูปในของแข็ง และเมื่อได้ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าครบแล้วก็จะคำนวณหาค่าอื่นๆ ต่อไปได้เช่น การคำนวณค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น เป็นต้น

2.5.2 วิธีการคำนวณในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

ในการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์ในรูปแบบของวิธีการเชิงตัวเลขนั้นมี 2 วิธี คือ ระเบียบวิธีแบบชัดแจ้ง (explicit method) และระเบียบวิธีแบบปริยาย (implicit method) ความแตกต่างของวิธีทั้งสองคือ การสร้างสมการเชิงตัวเลขที่เป็นเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างโหนดหรือเอลิเมนต์เพื่อแทนความสัมพันธ์ของสมการเชิงอนุพันธ์ กล่าวคือระเบียบวิธีแบบชัดแจ้งตัวผู้ค่าถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เพื่อหาตัวไม่รู้ค่าหนึ่งตัวของเอลิเมนต์ต่อไป แต่ในระเบียบวิธีแบบปริยายสมการหนึ่งสมการจะประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าในเอลิเมนต์ต่อไปมากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งในการศึกษาและทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการคำนวณแบบชัดแจ้ง เป็นหลัก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนท์เอลิเมนต์ชื่อ ABAQUS โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ explicit กระบวนการทำงานของโปรแกรมมีระเบียบวิธีการทำงาน 3 ขั้นตอน ซึ่งการทำงานของโปรแกรมในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดดังนี้

(1) ขั้นตอนการประมวลผล (pre-processor) เป็นขั้นตอนของการกำหนดรูปร่างลักษณะรวมถึงเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหาที่พิจารณาและในขั้นตอนนี้เป็นการแบ่งปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นช่องตาข่ายเล็กๆ เพื่อสร้างเอลิเมนต์สำหรับทดสอบ

(2) ขั้นตอนการคำนวณ (simulation ABAQUS/Explicit) ในขั้นตอนนี้หลังจากที่ทำการประมวลผลตามข้อ (1) เสร็จแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณผลตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขต่างๆ ไว้ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

(3) ขั้นตอนการแสดงผล (post-processor) เป็นขั้นตอนการแสดงผลเฉลยหรือแสดงการจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของปัญหาซึ่งอยู่ในรูปแบบของระดับแถบสี (contour) หรืออาจแสดงในลักษณะของเวกเตอร์ก็ได้ โดยในกระบวนการนี้เป็นการเก็บข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดไว้เพื่อนำมาใช้ในการหาผลที่ต้องการต่อไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าโครงสร้างหลักของยานพาหนะต่างๆ นั้นโดยส่วนมากมักประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นลักษณะแผ่นและเปลือก ที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน เนื่องจากโครงสร้างลักษณะดังกล่าวมีคุณสมบัติของการเป็นโครงสร้างกันการชนที่ดี ความหมายของการดูดซับพลังงาน

จากการชนกระแทกที่คือนั้นหมายถึง ความสามารถในการยุบตัวของ โครงสร้างที่เหมาะสมเมื่อเกิด การชนกระแทก โดยในการยุบตัวนั้น โครงสร้างที่ดีควรจะ สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ในปริมาณ มากเมื่อเทียบกับมวลของตัวเอง [8], [9], [10] ทั้งนี้เนื่องจากยานพาหนะนั้นมักไม่ต้องการให้ โครงสร้างมีมวลมากจนเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของ โครงสร้างป้องกันการชนที่ดี ควรที่จะมีอัตราส่วนการยุบตัว (Stroke Ratio) จากการชนที่สูงด้วย อันหมายถึง ความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนที่ดี นั้นเอง แต่อย่างไรก็ตามในการดูดซับภาระการกระแทกจากการชนของ โครงสร้างต่างๆ นั้น ไม่ควร ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร่งหรือความหน่วง (Acceleration or Deceleration) ของ โครงสร้างมากเกินไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเร่งที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อ ร่างกายมนุษย์ (Body -Tolerance) ได้ [11], [12], [13]

ความสามารถในการรับแรงกระแทกของตัวถังรถยนต์นั้นมักแยกการพิจารณาโครงสร้าง เป็นชิ้นๆ ไป เช่น ศึกษาการเสียหายเฉพาะ โครงค้ำหน้า [14] การศึกษาการเสียหายจากการชนของ คานกลางผนังบางแบบต่างๆ [15], [16], [17], [18] การศึกษาโครงสร้างกลวงแบบ Double - Hat และ Top - Hat [19] การศึกษาการเสียหายของแกน โครงรถยนต์ [20] เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดียังมี ปัจจัยอื่นๆ อีกมากที่มีผลต่อคุณสมบัติของ โครงสร้างภายใต้แรงกระแทก อย่างเช่น ผลของแรงเฉื่อย (Inertia Effect) [21] ผลของคุณสมบัติของวัสดุ [22] ผลของการยึดต่อปลายหรือเงื่อนไขขอบเขต [23], [24], [25], [26], [27], [28] และผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนัง โครงสร้าง [29], [30], [31] รวมถึงการเลือกชิ้นงานที่มีหน้าตัดแตกต่างกันไป ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงหน้าตัด หรือมุมของชิ้นงานสามารถทำให้ความหนาของชิ้นงานลดลงได้โดยที่ความแข็งแรงยังคงเท่าเดิม [32], [33]

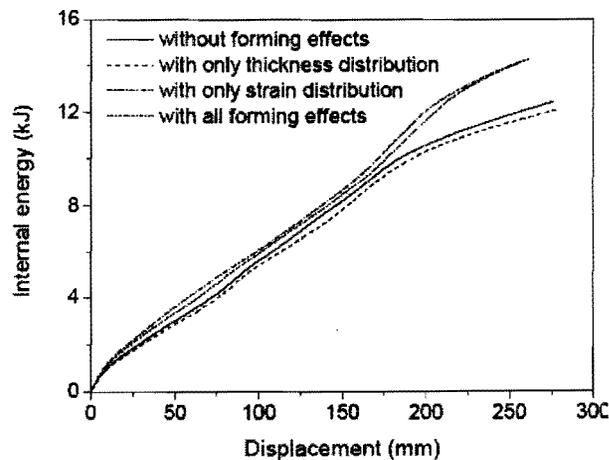
ในการออกแบบชิ้นส่วน โครงสร้างของยานพาหนะนั้น นอกจากต้องคำนึงถึงคุณสมบัติ ที่สำคัญแล้ว ยังต้องพิจารณาระยะเวลาที่ โครงสร้างใช้ในการหยุดการเคลื่อนที่หลังจากการชนด้วย ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณหนึ่งที่เราเรียกว่าค่าความหน่วง โดยค่าความหน่วงนี้จะต้องมีค่าไม่สูงเกินกว่า ที่ร่างกายมนุษย์สามารถรับ ได้ (Body Tolerance of Impact) โดยผลการศึกษาที่เกี่ยวกับความสามารถ ในการต้านทานค่าอัตราเร่งและอัตราหน่วงของอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายนั้น อาจหาได้จากผล การศึกษาก่อนหน้านี้ [11], [12]

จะเห็นว่าในการออกแบบชิ้นส่วน โครงสร้างหลักของยานพาหนะต่างๆ นั้นต้องพิจารณา คุณสมบัติหลายประการประกอบกันด้วย โดยสำหรับค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะ (E_v) และค่าอัตราส่วนการยุบตัว (Stroke Ratio) นั้นมีปัจจัยที่สำคัญอีกหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ตัวมันเองเช่น รูปทรงของ โครงสร้าง (Geometry) รูปแบบการยึดประกอบ โครงสร้าง ได้แก่ การเชื่อม

แบบต่างๆ (Butt Welding, Spot Welding) การยึดหมุด (Pinning, Bolted) และการเข้าตะเข็บ (Seam) สำหรับตัวอย่างคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ เช่นการผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatments) รูปแบบการกระจายตัวของความหนาของผนัง (Wall Thickness Profile) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนแฝงอยู่ในขั้นตอนของรูปแบบและวิธีการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างทั้งสิ้น ดังนั้นหากสามารถศึกษาหาข้อสรุปให้ได้ว่า ปัจจัยและคุณสมบัติแต่ละตัวมีผลต่อการป้องกันการเสียหายจากการชนมากน้อยอย่างไรก็จะทำให้สามารถคัดเลือกวิธี รวมถึงปรับปรุงพัฒนาเทคนิคในการประกอบผลิตสร้างโครงสร้างรถยนต์โดยสารในประเทศให้เหมาะสมขึ้นได้ ทั้งนี้อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่มีการศึกษามาแล้วรวมทั้งต้องมีการพัฒนาแนวคิดทฤษฎีและวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวัตถุคืบและความต้องการของประเทศให้มากที่สุด สำหรับตัวอย่างการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้าน การชนของโครงสร้าง ได้มีผู้ทำการศึกษา ดังนี้

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาการชนของชิ้นส่วนโครงสร้างรถยนต์

H. Huh และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับชิ้นส่วนโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์โดยพิจารณาถึงกระบวนการผลิตขึ้นรูปชิ้นงาน โดยพิจารณาผลของความหนาที่ไม่คงที่และผลของการเปลี่ยนแปลงความเครียดที่เกิดขึ้น โดยเรียกรวมๆ ว่ากรรมวิธีการผลิต เพื่อศึกษาว่าในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผ่านมาได้คำนึงถึงผลปัจจัยเหล่านี้เพียงใด และจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ด้วยหรือไม่ วิธีทดสอบทำโดยการใส่ค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างชิ้นงานของโครงสร้างลงในโปรแกรมการวิเคราะห์ทาง FEA (LS-DYNA 3D) จากนั้นทำการเคลื่อนผนังมวล 200 kg ชนด้วยความเร็วเริ่มต้น 48 km/hr แล้วทำการวิเคราะห์ผลของรูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการชน โดยเปรียบเทียบกับทดสอบที่ไม่คิดคำนึงถึงกรรมวิธีการผลิตและปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมา



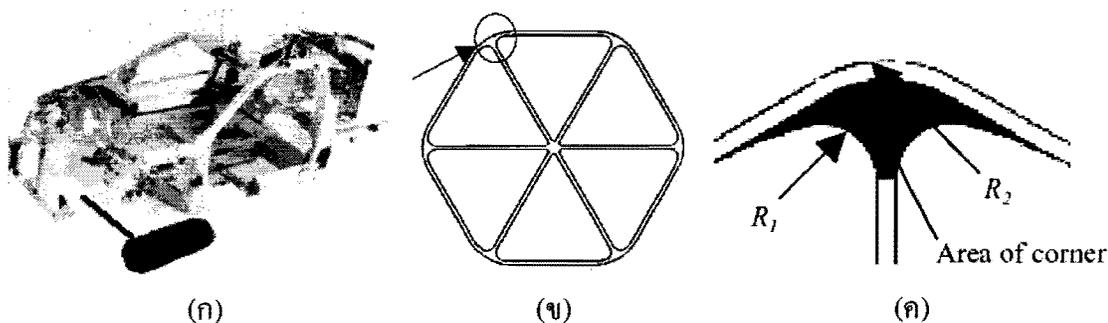
ภาพที่ 2.8 แสดงกราฟของพลังงานภายในเทียบกับระยะยุบตัวเมื่อเกิดการชน [34]

ผลจากการทดสอบกับโปรแกรม FEA ของชิ้นส่วนด้านหน้าของรถยนต์ที่รับภาระแรงกระแทก ตามภาพที่ 2.8 จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ได้จากการชนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงความเครียด และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อพิจารณาเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานและเมื่อพิจารณาตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ของกระบวนการผลิตแล้ว ผลการศึกษาสรุปได้ว่าควรต้องพิจารณาผลของตัวแปรเหล่านี้ในกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนด้วย

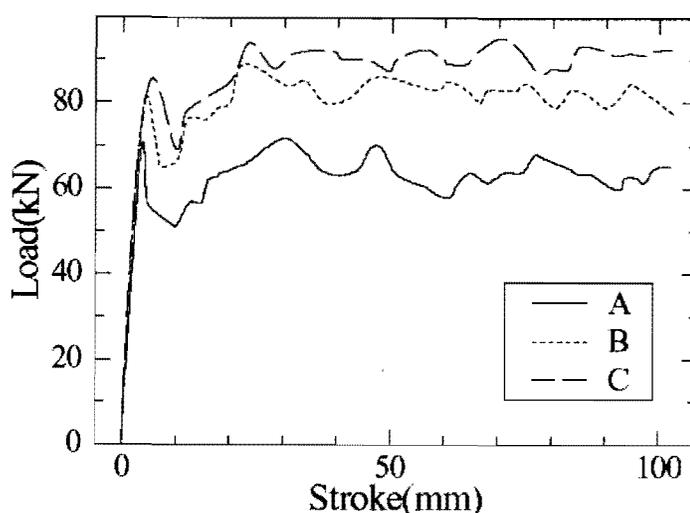
Toru Kawano และ Yuta Urushiyama [35] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเสียหายของโครงสร้างรถยนต์ ซึ่งทำจากกล่องอลูมิเนียมรูปทรงหกเหลี่ยม เพื่อหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชน โดยทดสอบจากเครื่องทดสอบการกระแทก ลักษณะชิ้นงานได้แสดงในภาพที่ 2.9 โดยชิ้นงานมีรัศมีความโค้งที่แตกต่างกันในแต่ละอันดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งทำการทดสอบภายใต้ภาระ 2 แบบคือ ภาระการดัด (Bending load) และภาระการกด (Crushing load) ผลการศึกษาสรุปได้ว่า บริเวณมุมของชิ้นงานที่มีรัศมีมากจะทำให้รับภาระได้มาก จากภาพที่ 2.10 เป็นการแสดงเส้นกราฟของผลที่ได้จากการทดสอบ โดยชิ้นทดสอบชนิด C มีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับชิ้นทดสอบ A และ B

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ารัศมีส่วน โค้งของมุมชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่องอลูมิเนียม

ชิ้นทดสอบ	รัศมีภายใน (R_1 , mm)	รัศมีภายนอก (R_2 , mm)	พื้นที่ของมุม (mm^2)
A	2	11	894
B	3	18	907
C	4.5	30	914



ภาพที่ 2.9 แสดงชิ้นส่วนที่ทดสอบและบริเวณจุดที่พิจารณา (ก) ชิ้นส่วนที่พิจารณาจากโครงสร้างของรถยนต์ (ข) มุมของชิ้นงานที่พิจารณาและ (ค) รัศมีส่วน โค้งที่เปลี่ยนแปลง [34]

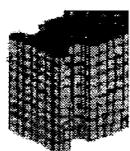


ภาพที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของภาระและระยะขูดตัว [34]

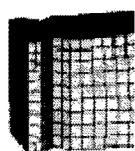
Wang Hongyan และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาวิจัยชิ้นส่วนโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์ที่มีการเจาะร่องที่ปลายของชิ้นงานในลักษณะที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.11 เพื่อหาค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ โดยสังเกตดูผลการทดลองและรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของการเจาะร่องโดยมีระยะที่ห่างจากปลายแตกต่างกัน ตามตารางที่ 2.6 จากการศึกษาพบว่าผลของการเจาะร่องชิ้นงานมีผลกับความสามารถในการดูดซับพลังงานน้อยมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา

ตารางที่ 2.6 แสดงระยะเจาะร่องและพลังงานดูดซับที่ได้เมื่อเปลี่ยนระยะการเจาะร่องชิ้นงาน

ระยะห่างของร่องที่เจาะวัดจากปลาย (mm)	พลังงานที่ดูดซับได้ (%)
25	45.56
36	56.29
50	56.32



(ก) Square



(ข) V-shape

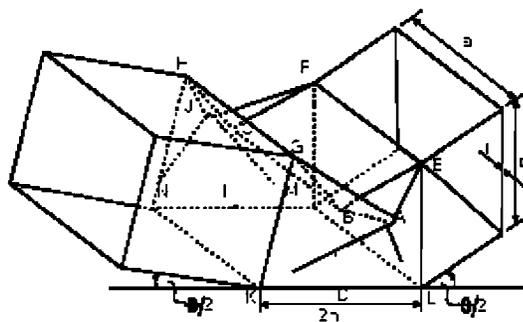


(ค) Semicircle

ภาพที่ 2.11 แสดงรูปลักษณะของการเจาะร่องชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ [35]

Wang Hongyan และ Xiao Fan [37] ได้ทำการศึกษาการชนด้านหน้าของรถยนต์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารขณะเกิดการชน และผลจากอันตรายที่จะเกิดขึ้นในห้องผู้โดยสารด้วยวิธีการจำลองทาง FEA เพื่อดูการเคลื่อนที่และอันตรายที่เกิดกับศีรษะและคอของหุ่นจำลองโดยใช้เข็มขัดนิรภัยแบบ 3 จุด โดยทดลองให้รถยนต์วิ่งชนกำแพงด้วยความเร็ว 50 km/hr ผลการศึกษาพบว่า ห้องผู้โดยสารสามารถปกป้องผู้โดยสารได้ดีเมื่อเกิดการชน และผลที่ได้จากการทดลอง คือ $HIC = 783.73$ (HIC คือค่าการบาดเจ็บของหัวหุ่นภายในห้องโดยสารซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดอีกครั้งในหัวข้อถัดไป) ซึ่งค่ามาตรฐานความปลอดภัยกำหนดให้ไม่เกิน 800 ซึ่งถือว่าผลการทดสอบอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

Kum Cheol และ Jung Ju Lee [38] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการชนและการตัดของท่ออลูมิเนียมรูปทรงจตุรัส เพื่อหาค่าพลังงานที่วัสดุจะสามารถดูดซับได้ภายใต้แรงกระแทกโดยการใช้ทฤษฎีของ Kecman's [39] โดยผู้วิจัยได้เสนอกฎในการพับตัวของท่ออลูมิเนียมรูปทรงจตุรัสดังภาพที่ 2.24 และใช้หลักทางพลังงานในการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ



ภาพที่ 2.12 แสดงเส้นรอยพับของชิ้นงานโลหะรูปสี่เหลี่ยมตามทฤษฎีของ Kecman's [38]

ในสมการที่ (2.17) และสมการที่ (2.18) ใช้หาค่าของพลังงานดูดซับและโมเมนต์คดบนเส้นจุดหมุนรอบรอยพับ

$$w(\theta) = \sum_1^9 w_i(\theta) \quad (2.17)$$

$w(\theta)$ = ค่าผลรวมพลังงานที่ได้จากการคดที่องศาการพับรอบเส้นจุดหมุนต่างๆ

$w_i(\theta)$ = พลังงานที่ได้จากแต่ละเส้นองศาการคด

$$M(\theta) = \frac{M(\theta + \Delta\theta) - M(\theta)}{\Delta\theta} \quad (2.18)$$

โดยที่ $M(\theta)$ = ค่าโมเมนต์ค้ำคร่อมเมื่อมุมเปลี่ยนไป
 $\Delta\theta$ = การเปลี่ยนแปลงของมุมค้ำ

Tae Seong Lim และ Dai Gil Lee [40] ศึกษาการเสียหายของวัสดุที่ใช้ผลิตประตูด้านข้างของห้องโดยสารรถยนต์ส่วนที่ใช้เป็นคานป้องกันการชนด้านข้าง โดยใช้วัสดุผสมมีน้ำหนักเบาเปรียบ เทียบกับเหล็กที่ใช้อยู่แบบเดิม โดยการทดสอบการค้ำของชิ้นส่วนด้านข้างประตูรถยนต์โดยสารภายใต้มาตรฐาน ASTM D3039 ชิ้นงานมีความยาว 540 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้ค้ำชิ้นงานเป็นทรงรีวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 305 มิลลิเมตร ทดลองโดยวิธี FEA ผลจากการศึกษาพบว่าวัสดุผสมที่สร้างขึ้น สามารถลดน้ำหนักของชิ้นส่วนลงได้เมื่อเทียบกับเหล็กที่เคยใช้แบบเดิมและผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการทดสอบด้วยวิธี FEA โดยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 20%

Dong-Kuk Kim และคณะ [41] ศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปและพลังงานที่ชิ้นงานดูดซับได้ภายใต้แรงกระแทก วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมอัลลอยมีส่วนผสมทางเคมีดังนี้ 1.12 Mg, 0.65 Si, 0.23 Fe, 0.015 Mn, 0.19 Cu, 0.09 Cr, 0.023 Ti, 0.18 Zn, 0.014Ca. โดยมีการสร้างชิ้นงานด้วยการค้ำขึ้นรูป ซึ่งชิ้นงานมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมและวงกลมโดยมีความหนา 3 ขนาดคือ 1.2, 2.0 และ 3.0 มิลลิเมตร โดยใช้อุณหภูมิ 480-500 °C ด้วยความเร็วในการค้ำขึ้นรูปชิ้นงาน 30 ชม/วินาที โดยใช้ Servo – Hydraulic machine มีค่าความเค้นสูงสุด = 226 MPa และความเค้นที่จุดคราก = 186 MPa เปอร์เซนต์การยืดตัว = 11.7% โดยในการทดสอบจะดูที่อัตราส่วนระหว่าง (T/W) และ (T/D) ว่ามีผลอย่างไรกับชิ้นงาน ผลการศึกษาพบว่า ถ้าจะให้ชิ้นงานยุบตัวเป็นแบบสมมาตร (Symmetric folds) จะต้องเพิ่มอัตราส่วน (T/W) สำหรับชิ้นงานทอสี่เหลี่ยม และจะต้องลดอัตราส่วน (T/D) ลงในชิ้นงานที่เป็นท่อกลม

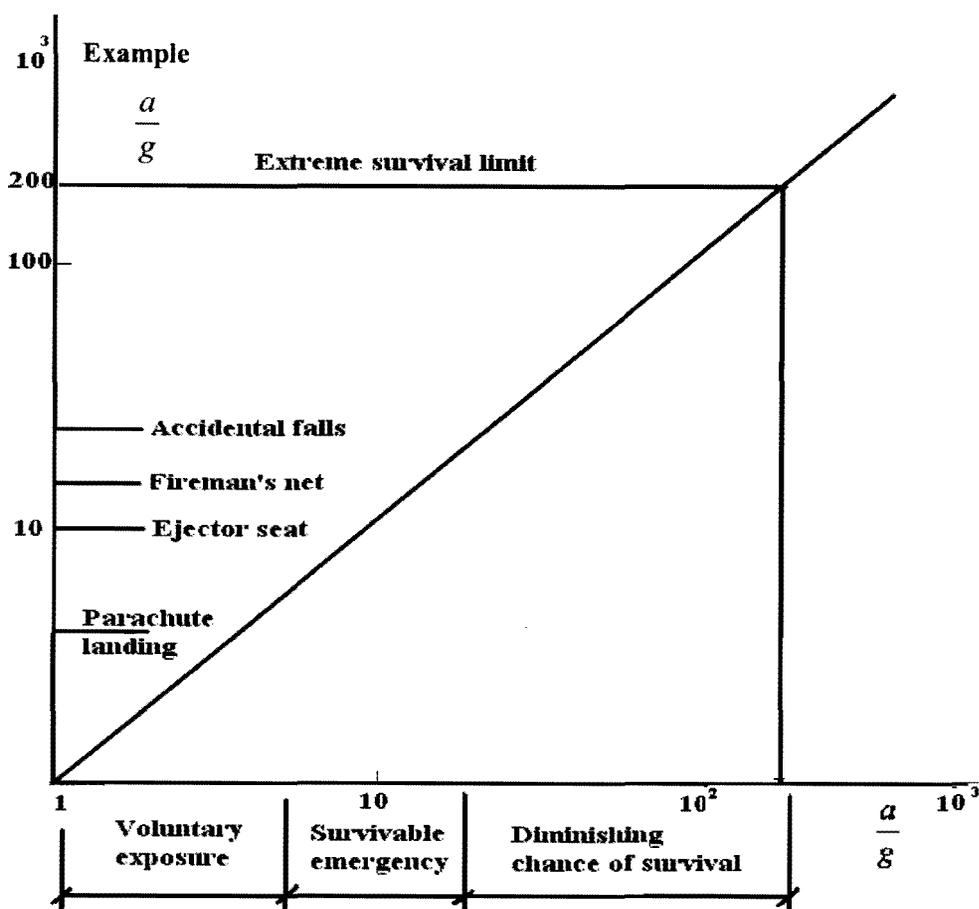
Dong-Kuk Kim และ Sunghak Lee [42] ได้ศึกษาและทำการทดลองโดยใช้วัสดุอลูมิเนียมเบอร์ 6061 ที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งหมด 8 ชิ้นงานและหน้าตัดวงกลม 6 ชิ้นงาน เพื่อหาพลังงานที่วัสดุสามารถดูดซับไว้ได้เมื่อเกิดการกระแทก จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมเพิ่มขึ้นความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความหนาค่อความกว้าง (T/W) คือ แม้ว่าอัตราส่วน (T/W) จะเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่ได้ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและภายใต้เงื่อนไข (T/W) และ (T/D) ที่มีค่าเท่ากันพบว่า ท่อทรงกระบอกสามารถดูดซับพลังงานต่อตารางมิลลิเมตรได้มากกว่าท่อน้ำตัดสี่เหลี่ยม แต่ท่อรูปสี่เหลี่ยมสามารถรับแรงได้มากกว่าท่อกลมเมื่อรัศมีที่ขอบของชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดเล็กเป็นผลให้มีการฉีกขาดตามแนวตะเข็บของชิ้นงาน

เมื่อเกิดการกระแทก ชิ้นงานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีรูปแบบการพับเกิดขึ้นตรงข้ามกับฐานที่เชื่อมยึด ส่วนชิ้นงานหน้าตัดวงกลมจะมีรูปแบบการพับบริเวณที่ฐานและด้านบนเป็นแบบสมมาตร

D.Mohan และคณะ [43] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการชนของรถโดยสารสามล้อโดยการจำลองด้วยวิธี FEA เพื่อศึกษาอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับคนขับและผู้โดยสาร ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาเกี่ยวกับความปลอดภัย โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ ชื่อ Madymo 5.1 3D เป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยให้รถโดยสารสามล้อพุ่งเข้าชนกับรถบัส ซึ่งได้แบ่งวิธีการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ 1) แบบโครงสร้างมาตรฐานเดิม 2) แบบโครงสร้างปรับปรุงออกแบบใหม่ ผลจากการศึกษาพบว่า การชนของโครงสร้างแบบเดิมใช้ความเร็วที่ 20 km/h จะให้ค่า $HIC = 800$ สำหรับคนขับและ 985 สำหรับผู้โดยสาร ส่วนการชนของโครงสร้างที่ปรับปรุงโครงสร้างใหม่จะให้ค่า $HIC = 512$ สำหรับคนขับและ 904 สำหรับผู้โดยสาร ซึ่งจะเห็นว่าโครงสร้างที่ออกแบบใหม่สามารถลดค่า HIC ของทั้งผู้โดยสารและคนขับได้

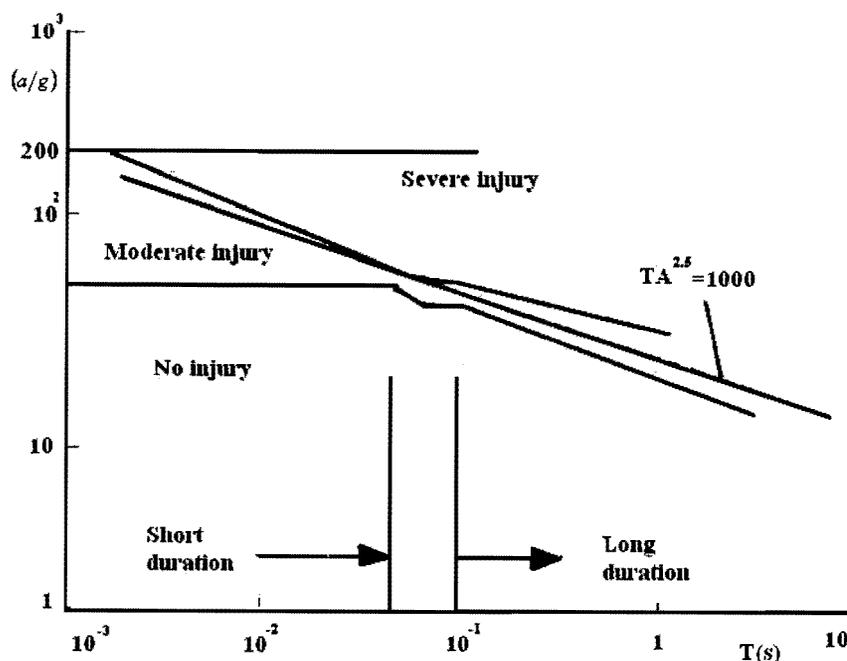
2.6.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบาดเจ็บจากแรงกระแทก

Jones, N. [44] ได้ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของร่างกายมนุษย์ภายใต้สภาวะการกระแทก ซึ่งมีผู้ศึกษาและวิจัยทางด้านนี้มากมาย และได้มีนักวิจัยพยายามหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของร่างกายมนุษย์เมื่ออยู่ภายใต้แรงกระแทกหรือเมื่อรถยนต์เกิดอุบัติเหตุตัวอย่างเช่น ห้องผู้โดยสารของรถยนต์ต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากที่ต้องทราบความสามารถในการรับแรงกระแทกของโครงสร้าง เพราะเมื่อเกิดการชนอาจมีอันตรายที่เกิดกับร่างกายมนุษย์ภายในห้องโดยสารได้ แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะกำหนดให้แน่ชัดว่าที่ความเร็วเท่าใดจึงจะปลอดภัยจากภาพที่ 2.13 แสดงค่าความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการรองรับแรงกระแทกที่อัตราเร่งต่างๆ กัน



ภาพที่ 2.13 กราฟแสดงความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการรองรับแรงกระแทกจากเหตุการณ์ที่ต่างกัน เมื่อเกิดอัตราเร่ง [44]

จากภาพที่ 2.13 เป็นกราฟแสดงความสามารถการทนของร่างกายมนุษย์ในการรับแรงกระแทก โดยแสดงออกมาในลักษณะความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเร่งต่อแรงดึงดูดของโลก (a/g) จากกราฟจะสามารถแบ่งกราฟออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงอันตรายเล็กน้อย (Voluntary exposure) เป็นช่วงที่มีค่า (a/g) ประมาณ 1 ถึง 7 ตัวอย่างของช่วงนี้ ได้แก่ การลงจอดของร่มชูชีพเป็นต้น ในช่วงนี้ถือเป็นช่วงที่ยังมีอันตรายน้อยร่างกายสามารถรองรับได้โดยไม่บาดเจ็บมาก ช่วงที่สองเป็นช่วงอันตรายมาก (Survivable emergency) เป็นช่วงที่มีอัตราความเร่งสูงขึ้นไปอีกกล่าวคือ มีค่า (a/g) ประมาณ 7 ถึง 25 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากพอที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายมนุษย์ได้ ตัวอย่างของช่วงนี้เช่น การติดตัวของเก้าอี้นิรภัย การกระโดดลงมายังตาข่ายหนิไฟ และการตกจากที่สูงเป็นต้น ช่วงที่สามเป็นช่วงเสี่ยงชีวิต (Diminishing chance of survival) เป็นช่วงที่มีอัตราส่วนความเร่งต่อแรงดึงดูดของโลกสูงสุด คือ ประมาณ 25 ถึง 250 ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีอัตราและมีความเสี่ยงชีวิตสูงที่สุด



ภาพที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน (a/g) กับเวลาในการรับแรงกระแทก

นอกจากค่า (a/g) ที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์แล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ระยะเวลาของการชนกระแทก (Pulse duration) ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการบาดเจ็บอีกด้วย จากภาพที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน (a/g) กับเวลาในการรับแรงกระแทกของร่างกายมนุษย์โดยแบ่งช่วงกราฟออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนที่มีระยะเวลาการชนกระแทกสั้นๆ (Short Duration) เวลาของการกระแทกมีค่าประมาณ 0.001 วินาทีจนถึงประมาณ 0.04 วินาที เมื่อลากเส้นขึ้นไปในแกนตั้งและขนานกับเส้นของอัตราส่วน (a/g) ประมาณ 80 จะพบเส้นกราฟในแนวนอนเส้นแรก ซึ่งหากต่ำจากเส้นนี้ลงมาเป็นช่วงที่ไม่มีอาการบาดเจ็บ (No injury) และถัดจากเส้นนี้สูงขึ้นไปเป็นช่วงบาดเจ็บปานกลาง (Moderate Injury) และหากสูงขึ้นไปอีกผ่านเส้นสุดท้ายจะเป็นช่วงที่เกิดการบาดเจ็บมาก (Severe Injury) โดยเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบช่วงสั้นๆ

ส่วนที่สองคือ ส่วนที่มีเวลาในการกระแทกนาน (Long Duration) ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.1 วินาทีถึงประมาณ 10 วินาที เมื่อลากเส้นตรงขึ้นไปขนานกับเส้นอัตราส่วน (a/g) จะเห็นว่าเส้นที่ลากขึ้นไปจะตัดกับเส้นกราฟทั้ง 3 เส้นดังได้กล่าวมาแล้วในส่วนแรกและผลที่ได้ก็คือจะอยู่ในส่วนของกราฟที่บ่งบอกถึงช่วงของการบาดเจ็บมาก ในการหาค่าการบาดเจ็บเนื่องจากผลของระยะเวลาที่ร่างกายรับแรงกระแทกนั้นจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเร่งและแรงดึงดูดของโลก (a/g) ด้วย จากกราฟจะเห็นว่า ถึงแม้เวลาที่เกิดการชนกระแทกจะมีช่วงเวลาที่ยาวนานแต่ถ้าอัตราส่วน (a/g)

มีค่าไม่มาก ซึ่งค่าการบาดเจ็บที่ได้จะอยู่ในช่วงปลอดภัยเช่นกันและได้แบ่งช่วงของกราฟใหม่ คือ ช่วงบาดเจ็บปานกลางกับช่วงที่บาดเจ็บมาก โดยเส้นตรงที่ลากเฉลี่ยแบ่งช่วงทั้งสองนี้สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.19)

$$TA^{2.5} = 1000 \quad (2.19)$$

โดยที่ T = ช่วงเวลาของการกระแทก (Pulse duration)

A = อัตราส่วนของ (a/g) เมื่อ a คือ ความเร่งหรือความหน่วงของร่างกายมนุษย์ และค่า g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ในขณะที่เกิดการชนกระแทกกับร่างกายนั้นส่วนของร่างกายที่เสี่ยงต่ออันตรายมากที่สุดคือ บริเวณศีรษะและคอเนื่องจากเป็นจุดที่มีข้อต่อประมาทจึงมีการคิดค้นตัวชี้วัดที่ใช้บ่งบอกการบาดเจ็บของศีรษะและคอ (Head Injury Criterion, *HIC*) ซึ่งหมายถึง ค่าการทนต่อการบาดเจ็บที่เกิดกับศีรษะ โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.20)

$$HIC = (T_2 - T_1) \left[\int_{T_1}^{T_2} A \cdot dt \right]^{2.5} (T_2 - T_1) \quad (2.20)$$

โดยที่ HIC = ค่าการบาดเจ็บของศีรษะมนุษย์เมื่อเกิดการชนกระแทก

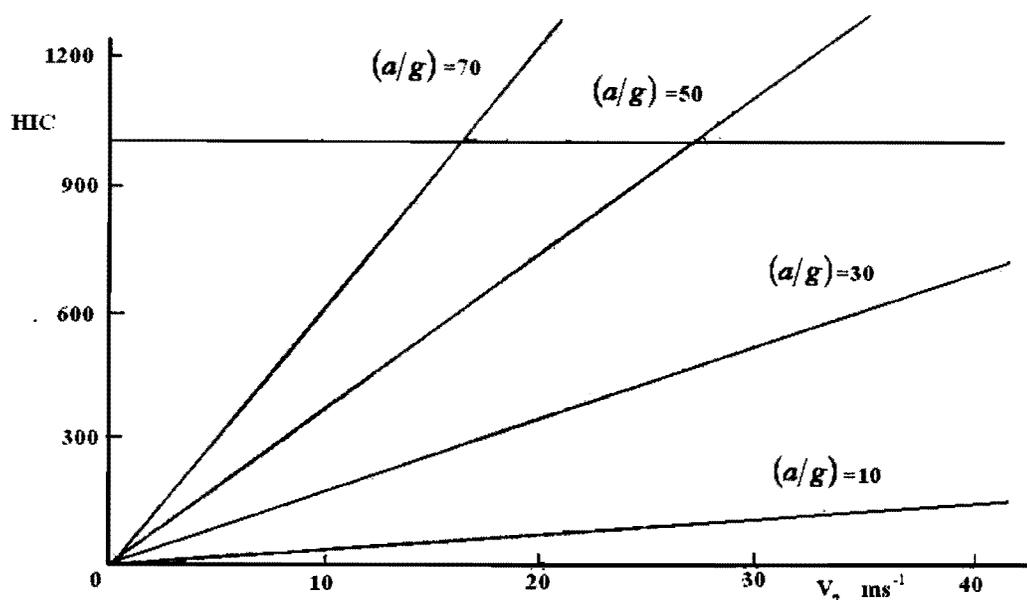
A = อัตราส่วนความเร่งและแรงดึงดูดของโลก (a/g)

$T_2 - T_1$ = ผลต่างเวลาที่ใช้ในการชนกระแทก

จากภาพที่ 2.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบาดเจ็บของศีรษะกับความเร่งในการชนกระแทกซึ่งมีผลต่ออัตราส่วน (a/g) จากกราฟในแกนตั้งเป็นค่าของ HIC โดยมีเส้นประลากผ่านที่ค่า $HIC = 1000$ ซึ่งถ้ามีค่ามากกว่าแนวเส้นประนี้แล้วจะเป็นช่วงที่เกิดอันตรายกับศีรษะถ้าค่าลงมาความปลอดภัยก็จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ (a/g) ด้วยเมื่อความเร่งหรือความหน่วงและแรงที่ชนกระแทกอยู่ในสภาวะคงที่ โดยทำการแก้สมการที่ (2.20) แล้วแทนค่าต่างๆ จะได้เป็นสมการที่ (2.21) ซึ่งสามารถหาค่าของ HIC ได้จากสมการนี้

$$HIC = \frac{V_2 a^{1.5}}{g^{2.5}} \quad (2.21)$$

โดยที่ HIC = ค่าความปลอดภัยของศีรษะมนุษย์
 v_2 = ความเร็วในการชน
 g = ความเร่งจากแรงดึงดูดของโลก
 a = ความเร่งของร่างกายมนุษย์



ภาพที่ 2.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบาดเจ็บของศีรษะ HIC กับความเร็วในการชน กระแทก V_2 และอัตราส่วนความเร่งกับแรงดึงดูดของโลก (a/g)

Kathleen M. Smith และ Peter Cummings [45] ได้ทำการศึกษาวิจัยความสัมพันธ์ของตำแหน่งเบาะนั่งผู้โดยสารกับการเสี่ยงต่อการตายหรือบาดเจ็บเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางจราจรโดยใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 1993-2000 จากระบบข้อมูลการเสียหายของการจัดการความปลอดภัยการจราจรทางด่วนแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา โดยการเปรียบเทียบระหว่างที่นั่งผู้โดยสารเบาะหลังกับที่นั่งผู้โดยสารเบาะหน้าของรถยนต์ต่ออัตราการเสี่ยงจากการตายหรือการบาดเจ็บจากการจราจรผลการศึกษาพบว่า อัตราการเสี่ยงต่อการตายของผู้โดยสารที่นั่งด้านหลังเมื่อเกิดการชนมีค่าเท่ากับ 0.61 (95% ช่วงความเชื่อมั่น 0.46-0.81) โดยอัตราการเสียชีวิตของผู้โดยสารที่นั่งด้านหลังมีโอกาสน้อยกว่าผู้โดยสารที่นั่งด้านหน้า โดยมีอัตราเสี่ยงเท่ากับ 0.67 (95% ช่วงความเชื่อมั่น 0.57-0.78) ผลการศึกษาที่ได้จะช่วยลดความเสี่ยงของการเสียชีวิตลงประมาณ 39% หรือลดการบาดเจ็บลงประมาณ 33% เมื่อเปรียบเทียบกับผู้โดยสารที่นั่งด้านหน้า

บทที่ 3

การเก็บข้อมูลและข้อมูลโครงสร้างรถยนต์โดยสาร

3.1 วิธีการเก็บข้อมูล

คณะนักวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการสร้าง และส่วนประกอบโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ผลิตในประเทศไทย โดยข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการเก็บข้อมูลจากผู้ต่อรถโดยสารในเขตอำเภอบ้านโป่ง จ.ราชบุรี ซึ่งมีจำนวนผู้ต่อรถยนต์โดยสารมากที่สุดในประเทศไทย นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากผู้ต่อรถอื่นๆ ในพื้นที่ภาคอีสานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่กว้างขึ้น

โดยวิธีการเก็บข้อมูลนั้นใช้วิธีการเข้าไปชมวิธีการผลิตที่ผู้ต่อรถต่างๆ มีการสัมภาษณ์ช่างต่อรถจากผู้ต่อรถต่างๆ และมีการวัดขนาดของชิ้นส่วน โครงสร้างรถโดยสารจริงที่ต่อในบางตู้ ทั้งนี้การวัดขนาดจริงนั้นไม่สามารถกระทำได้ทุกตู้ เนื่องจากบางตู้เห็นว่าเป็นความลับของบริษัท อย่างไรก็ตามพบว่าขนาด และลักษณะของชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบรถยนต์โดยสารนั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก นอกจากนี้คณะวิจัยยังได้มีโอกาสเข้าร่วมประชุม และร่วมอบรมกับชมรมผู้ต่อรถบ้านโป่งอีกด้วย

3.2 การบริหารการผลิตรถยนต์โดยสารในประเทศไทย

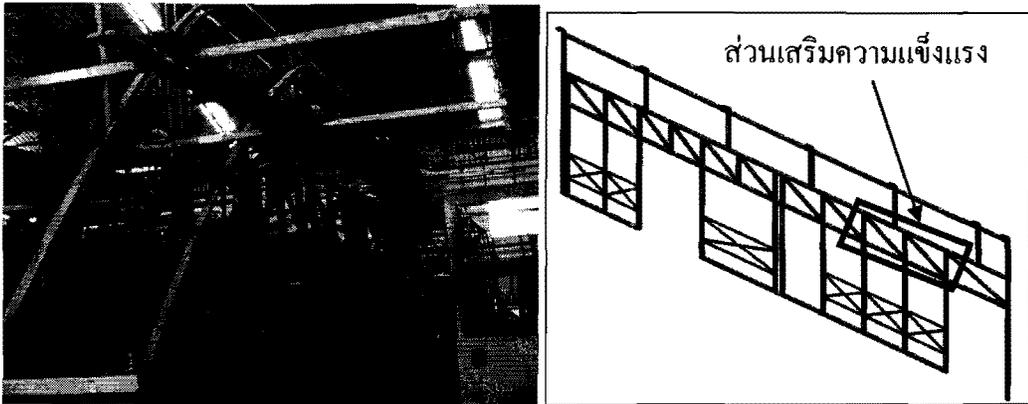
จากการเก็บข้อมูลพบว่า การต่อรถยนต์โดยสารในประเทศไทย โดยเฉพาะผู้ขนาดเล็ก และขนาดกลาง มักใช้ระบบการต่อแบบเหมาช่วง โดยให้ช่างหรือกลุ่มช่างเป็นผู้รับเหมาต่อ โครงสร้างรถโดยสารคันนั้นๆ ทั้งคัน ส่วนเจ้าของผู้ทำหน้าที่เพียงจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ อำนาจความสะดวกในการดำเนินงาน และทำหน้าที่ทางการตลาดเท่านั้น ทั้งนี้แบบของรถโดยสารแต่ละคันจะเป็นไปตามคำสั่งหรือความต้องการของผู้ซื้อ ดังนั้นแม้ลักษณะโครงสร้างในภาพรวมของรถยนต์โดยสารแต่ละคันจะคล้ายกัน แต่รายละเอียดของรถแต่ละคันนั้นจะแตกต่างกัน ขึ้นกับความชำนาญ และลักษณะเฉพาะของช่างแต่ละชุด

การดำเนินงานในลักษณะนี้ ในแง่หนึ่งอาจง่ายต่อการบริหารจัดการ แต่ก็ทำให้การดูแลรักษาคุณภาพเชิงความปลอดภัยเป็นไปได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างรถแต่ละคันมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากประเด็นนี้ไม่อยู่ในขอบเขตของการศึกษานี้ คณะนักวิจัยจึงไม่ได้ลงรายละเอียดไปกว่านี้

3.3 ข้อมูลโครงสร้างรถยนต์โดยสาร

แม้ว่าโครงสร้างของรถยนต์โดยสารจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียด แต่โครงสร้างหลักๆ ก็ยังมีความเหมือนกัน ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลสามารถแบ่งโครงสร้างของรถยนต์โดยสารออกได้เป็น 4 ส่วนหลักดังนี้ คือ 1) โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร 2) โครงสร้างหลังคา 3) โครงสร้างด้านหน้าและ 4) โครงสร้างด้านหลัง ซึ่งรายละเอียดในแต่ละส่วนของโครงสร้าง ดังจะอธิบายต่อไป

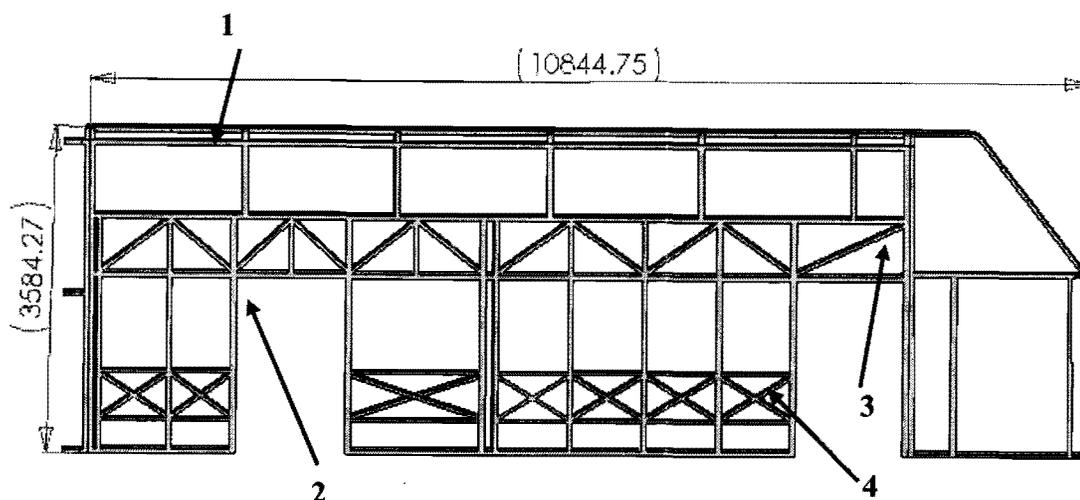
3.3.1 โครงสร้างด้านข้างลำตัวรถยนต์โดยสาร



ภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารจริง และภาพจำลอง

โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร นับว่าเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากเป็นส่วนที่ช่วยทำให้รถยนต์โดยสารมีความแข็งแรงขึ้น อีกทั้งยังเป็นส่วนที่ช่วยปกป้องผู้โดยสารเมื่อเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาโครงสร้างนี้อย่างละเอียด เพื่อให้สามารถเข้าใจ และพัฒนาโครงสร้างให้แข็งแรงขึ้นได้ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลที่พบว่า โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารนั้นมักมีรูปแบบการต่อกันแบบโครงถัก ดังแสดงในภาพที่ 3.1 โครงสร้างด้านข้างนี้ต่อขึ้นมาจากแชสซีโดยมีเสาตั้งขึ้นก่อนเป็นระยะตามขนาดความยาวของรถแต่ละแบบ แล้วทำการเชื่อมเหล็กขวางในแนวนอน โดยมีจุดสำหรับติดตั้งโครงสร้างเพื่อเสริมความแข็งแรง ซึ่งจะอยู่บริเวณกึ่งกลางของโครงสร้างในแนวตั้งและอยู่ตรงตำแหน่งที่นั่งของผู้โดยสารพอดี (ดูจากภาพที่ 3.1 รูปด้านขวา) จากการสำรวจพบว่า การต่อโครงสร้างส่วนเสริมนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ 1.การต่อแบบขนาน 2.การต่อแบบทแยงมุมและ 3.การต่อแบบสลับพื้นปลา (แสดงโดยละเอียดในรูปที่ 3.4) โดยโครงสร้างเหล่านี้ทำจากเหล็กและเชื่อมต่อกันจนเป็นโครงสร้าง ภาพที่ 3.1 เป็นตัวอย่างโครงสร้างด้านข้างที่มีส่วนเสริมความแข็งแรงแบบสลับพื้นปลาและภาพที่ 3.2 เป็นการแสดงตัวอย่างแบบของโครงสร้างด้านข้างที่ได้จากการเก็บข้อมูล

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างรถยนต์โดยสารนั้น ส่วนใหญ่เป็นเหล็กกล่องหน้าตัดสี่เหลี่ยมมีขนาดแตกต่างกันไปตามการใช้งาน ดังข้อมูลขนาดของแต่ละชิ้นส่วนแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งได้แสดงความหนาและขนาดของเหล็กที่ใช้ในการผลิตโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ส่วนคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้นจะแสดงในบทที่ 4

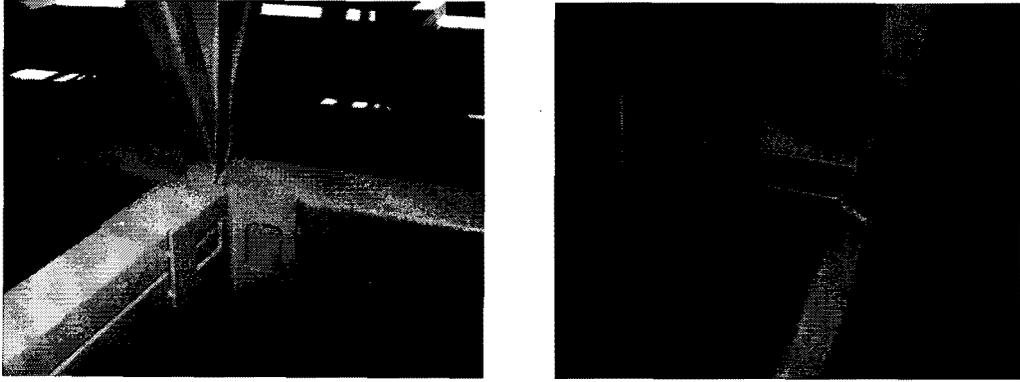


ภาพที่ 3.2 แสดงชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร (หน่วย mm.)

ภาพที่ 3.2 ได้แสดงชิ้นส่วนที่สำคัญของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร ซึ่งวัสดุแต่ละชิ้นส่วนนั้นเป็นเหล็กกล่องหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาดแตกต่างกันไป มีเพียงชิ้นส่วนหมายเลข 4 เท่านั้นที่เป็นเหล็กทรงรูปตัว U จากการเก็บข้อมูลพบว่าขนาดและมาตรฐานที่ผลิตยังไม่มี ความสม่ำเสมอกันในหลายๆ ด้าน เช่นขนาดความกว้างในแต่ละช่อง ทั้งนี้ขึ้นกับทักษะ ความชำนาญของช่างที่ต่อ

ตารางที่ 3.1 ความหนาและขนาดของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

หมายเลขชิ้นส่วน (ตามแสดงในภาพที่ 3.2)	ความหนา (mm)	ขนาดหน้าตัดเหล็กกล่อง (mm ²)
1	2	50×50
2	2	60×40
3	2	37×37
4	1 (เหล็กตัว U)	40×20



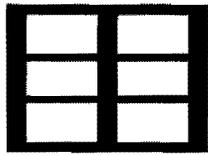
ภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อ โครงสร้างด้านข้างกับแชสซี

ในการประกอบโครงสร้างด้านข้างนั้นมีวิธีการดำเนินงานโดยย่อดังนี้ ในขั้นแรกจะต่อโครงสร้างหลักออกมาจากแชสซีของโครงรถ เพื่อให้รับน้ำหนักของโครงสร้างด้านข้างและส่วนอื่นๆ ดังมีจุดเชื่อมต่อติดกันแสดงในภาพที่ 3.3 ซึ่งแสดงชิ้นส่วนที่ยึดต่ออยู่ระหว่างโครงสร้างด้านข้างกับแชสซีของรถ โดยวิธีการต่อจะต่อด้วยการเชื่อมเป็นหลัก และอาจมีการเจาะรูชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมต่อทาบ เพื่อเพิ่มเนื้อที่ในการเชื่อมให้มากขึ้นเพื่อให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากนั้นจะเชื่อมต่อชิ้นงานส่วนอื่นๆ และประกอบกันจนเป็น โครงสร้างแผงด้านข้างของรถยนต์โดยสารดังแสดงในภาพที่ 3.1 และ 3.2

เมื่อเชื่อมต่อกันจนเป็นแผงโครงสร้างด้านข้างแล้ว จะมีการเสริมความแข็งแรงให้โครงสร้างบริเวณตรงกลางและด้านล่างของโครงสร้างด้านข้าง ซึ่งจะมีรูปแบบลักษณะการต่ออยู่ 3 แบบ ดังได้กล่าวมาแล้ว ภาพที่ 3.4 (ก) แสดงบริเวณที่เสริมความแข็งแรงของโครงสร้างด้านข้างบริเวณตำแหน่งใต้ที่ติดกระจกด้านข้างของลำตัวรถ ซึ่งจากภาพดังกล่าวเป็นลักษณะการต่อแบบสลับฟันปลา ส่วนภาพที่ 3.4 (ข) แสดงลักษณะ โครงสร้างเสริมความแข็งแรงทั้งสามแบบ ภาพที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อเสริม โครงสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงบริเวณตำแหน่งด้านล่างของโครงสร้าง แต่ในบริเวณนี้นิยมใช้เหล็กที่มีขนาดเล็กกว่าและไม่ต้องการความแข็งแรงเท่ากับบริเวณตรงกลาง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นตัวยึดแผ่นผนังตัวถังด้านข้างของรถเท่านั้น



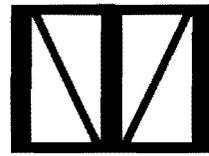
(ก) โครงสร้างเสริมความแข็งแรงบริเวณแผงค้ำข้าง



แบบต่อขนาในแนวนอน



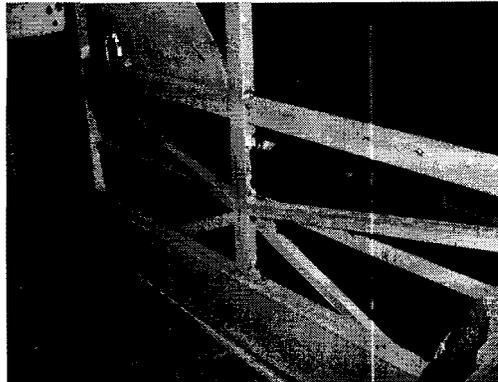
แบบต่อทแยงมุม



แบบต่อสลับพื้นปลา

(ข) ลักษณะการต่อ โครงสร้างเสริมความแข็งแรงแบบต่างๆ

ภาพที่ 3.4 แสดงชิ้นส่วน โครงสร้างค้ำข้างบริเวณที่เสริมความแข็งแรง

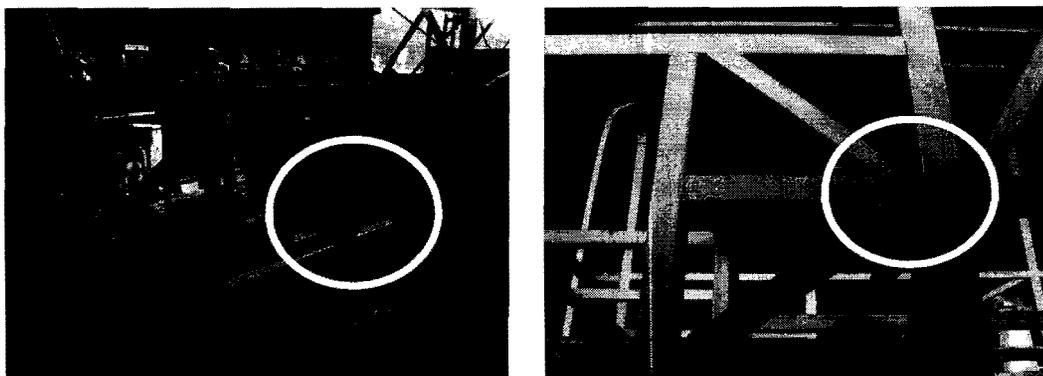


ภาพที่ 3.5 แสดงการเชื่อมต่อชิ้นส่วน โครงสร้างบริเวณค้ำข้างเพื่อเสริมความแข็งแรง

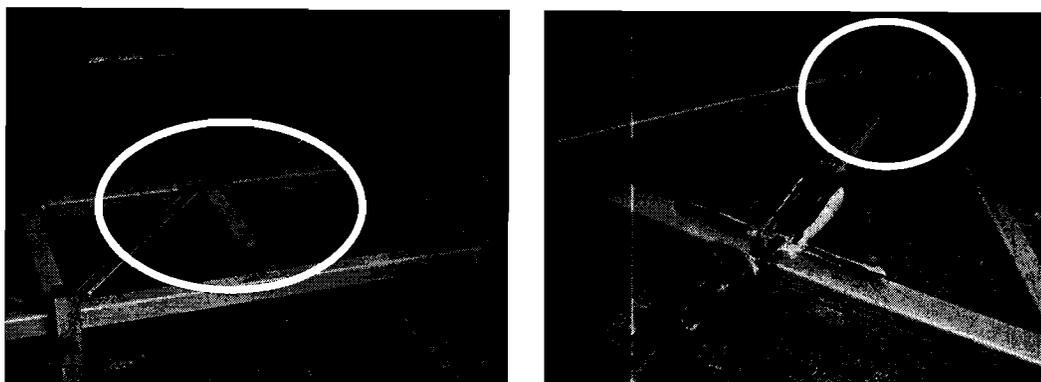


ภาพที่ 3.6 แสดงการต่อแบบเว้นช่องว่างของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างเพื่อเสริมรอยเชื่อม

ในขั้นตอนการผลิตจะมีวิธีการเชื่อมต่อชิ้นส่วนเสริม โดยการเว้นระยะในการเข้ามุมประมาณ 10 mm ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ซึ่งเป็นการต่อแบบเว้นช่องว่างบริเวณมุมของโครงสร้างเพื่อเพิ่มแนวเชื่อมให้กับชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อที่จะให้สามารถทำการเชื่อมได้รอบแนวโดยไม่ทับกับรอยเชื่อมเดิม และในการเสริมโครงสร้างรถยนต์โดยสารให้มีความแข็งแรงนั้นก็มีวิธีวางชิ้นส่วนเสริม 3 รูปแบบคือ แบบที่หนึ่งการต่อโดยให้ปลายของเหล็กส่วนเสริมยึดติดกับชิ้นส่วนตามแนวยาวของโครงสร้างโดยจะเชื่อมถัดออกมาจากมุมเล็กน้อย แบบที่สองเป็นการต่อโดยให้ปลายของเหล็กที่ใช้เสริมความแข็งแรงของโครงสร้างยึดติดกับชิ้นส่วนในแนวตั้งหรือโครงสร้างของเสาข้างโดยมีวิธีการเชื่อมเช่นเดียวกับแบบแรก ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงการต่อโครงสร้างด้านข้างกับชิ้นส่วน โครงสร้างแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ

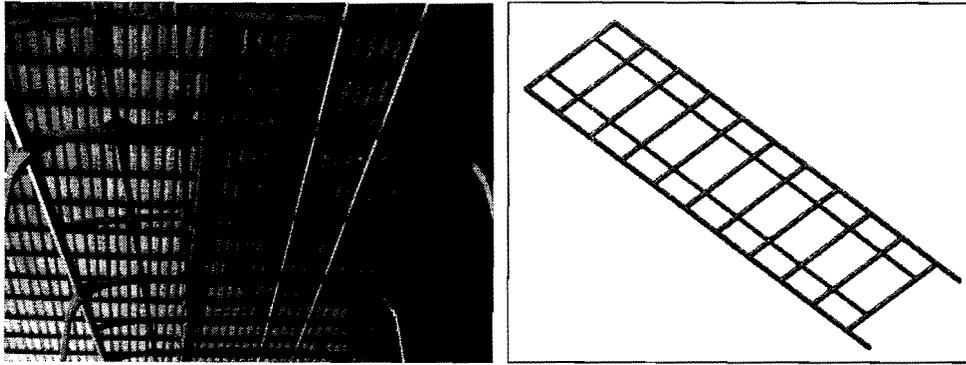


ภาพที่ 3.8 แสดงการต่อโครงสร้างด้านข้างกับชิ้นส่วนที่เสริมความแข็งแรงแบบชนมุม

ในแบบที่สาม มีลักษณะการต่อให้ปลายของเหล็กเข้ามุมพอดีกับบริเวณจุดต่อของโครงสร้าง แต่การเชื่อมต่อแบบนี้ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากในการเชื่อมชิ้นส่วนที่ใช้เสริมความแข็งแรงนี้รอยเชื่อมจะไปทับกับรอยเชื่อมเดิมและยังมีขั้นตอนในการตัดปลายชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของรอยเชื่อมลดลงและเสียเวลาเพิ่มมากขึ้นอันจะส่งผลต่อความแข็งแรงกับโครงสร้างรูปแบบการต่อลักษณะนี้ดูได้จากภาพที่ 3.8

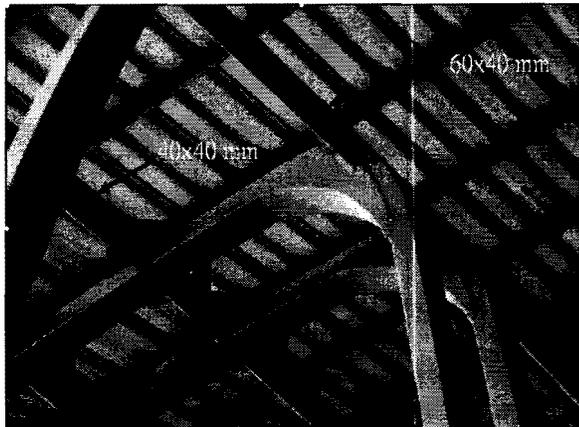
3.3.2 โครงสร้างหลังคาของรถยนต์โดยสาร

นอกจากโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังมีโครงสร้างอีกส่วนที่สำคัญ คือ โครงสร้างหลังคาของรถยนต์โดยสาร ดังแสดงในภาพที่ 3.9 โครงสร้างส่วนนี้จะรับภาระการชนกระแทกเช่นเดียวกับโครงสร้างด้านข้าง โดยโครงสร้างหลังคานั้นเป็นส่วนที่ยึดแผงโครงสร้างด้านข้างทั้งสองข้างให้ติดกันต่อเชื่อมกันเป็นโครงรถยนต์โดยสาร ด้วยเหตุนี้เมื่อเกิดการชนกระแทก ชิ้นส่วนหลังคาจึงต้องรับแรงกระแทกจากโครงสร้างด้านข้างที่ส่งผ่านมาด้วย ดังนั้นถ้าทราบความสามารถในการรับแรงกระแทกของโครงสร้างหลังคาได้ ก็สามารถออกแบบโครงสร้างให้เหมาะสมที่สุดในการรับแรงกระแทกได้ โดยบริเวณที่ต้องพิจารณาอย่างมากคือบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับโครงสร้างเสาข้างของลำตัวรถยนต์โดยสาร ซึ่งบริเวณนี้มักจะเกิดการเสียหายอย่างมากเมื่อเกิดอุบัติเหตุการชนหรือพลิกคว่ำ ดังนั้นการเชื่อมต่อโครงสร้างหลังคาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาเพื่อหารูปแบบการต่อที่เหมาะสมต่อไป



ภาพที่ 3.9 แสดงโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร

เนื่องจากโครงสร้างหลังคานั้นมีความสำคัญมากจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงวิธีการต่อ
ณ บริเวณตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างด้วย ซึ่งในปัจจุบันผู้ต่อรถยนต์โดยสารได้มีวิธีการเชื่อมต่อ
โครงสร้างหลังคา กับโครงสร้างด้านข้างตามภาพที่ 3.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเชื่อมต่อโครงสร้าง
นั้นจะใช้เหล็กกล่องวางตามแนวยาวกั้นอยู่ระหว่างโครงสร้างทั้งสอง เมื่อเสร็จแล้วจึงเชื่อมยึดสอง
ด้านประกอประกกันจนเป็นโครงสร้าง จากนั้นใช้เหล็กเชื่อมต่อประกบบริเวณมุมของรอยต่อในลักษณะ
โค้งเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากบริเวณนี้เป็นจุดต่อที่สำคัญที่จะรับแรงกระแทกหรือ
แรงบิดของโครงสร้างเมื่อเกิดการพลิกคว่ำ

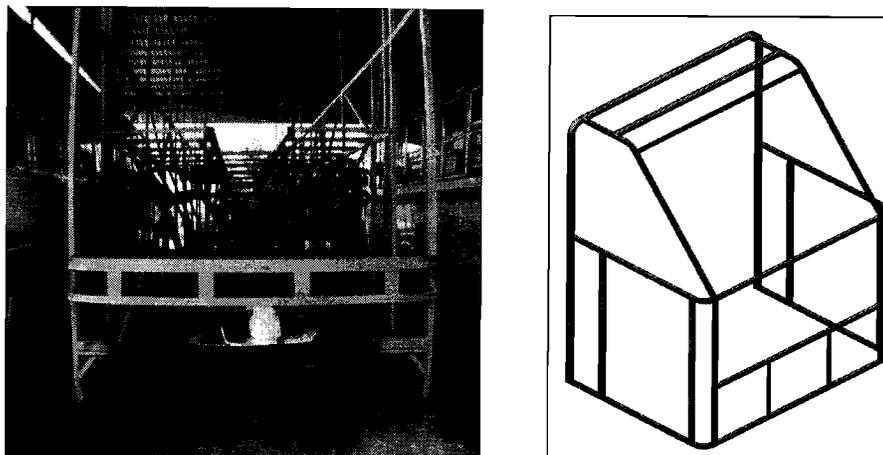


ภาพที่ 3.10 แสดงการเชื่อมต่อโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร

3.3.3 โครงสร้างด้านหน้ารถยนต์โดยสาร

ชิ้นส่วนโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์โดยสารนั้น มีชิ้นส่วนของโครงสร้างไม่
มาก โดยมีเฉพาะส่วนขอบที่ใช้สำหรับติดตั้งกระจกหน้าของรถและชิ้นส่วนที่เสริมเพื่อความ
สวยงาม ในปลายสุดของด้านหน้าโครงสร้างจะอยู่ที่ตอนปลายของแชสซีพอดี้ ฉะนั้นหากเกิดการ

ชนในแนวแกนขึ้นโครงสร้างที่รับแรงกระแทกโดยตรงได้แก่ แซสซี โครงสร้างด้านข้างและ โครงสร้างหลังคา จากภาพที่ 3.11 แสดงโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์โดยสาร



ภาพที่ 3.11 แสดงโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์โดยสาร

3.3.4 โครงสร้างด้านหลังรถยนต์โดยสาร

โครงสร้างด้านหลังรถยนต์โดยสารมีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างด้านหน้าคือ ไม่มีการเสริมโครงสร้างมากนักมีเพียงชิ้นส่วนและพื้นที่ไว้สำหรับติดกระจกหลัง ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แสดงโครงสร้างด้านหลังรถยนต์โดยสาร

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างของรถยนต์โดยสาร และวิธีการ ต่อโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ต่อในประเทศไทยดังกล่าวมาแล้ว จากนั้นคณะนักวิจัยได้นำ โครงสร้างหลักที่รับแรงกระแทกโดยตรง ได้แก่โครงสร้างด้านข้าง และโครงสร้างหลังคามา ทำการศึกษาต่อ โดยในการศึกษาจะทำการศึกษาทั้งแบบการทดลองและโดยการสร้างแบบจำลอง ทางคอมพิวเตอร์ ดังจะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 4

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและรายละเอียดวิธีการศึกษา

บทนี้จะนำเสนอรายละเอียดของเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งมีทั้งเครื่องมือเดิมที่มีอยู่แล้ว และเครื่องมือที่สร้างหรือพัฒนาขึ้นมาใหม่ และจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม FEA ที่ใช้งาน ตลอดจนนำเสนอข้อมูล ขั้นตอนและวิธีการในการศึกษาความสามารถในการรับภาระของโครงสร้างรถยนต์โดยสารขนาดจริง โดยบทนี้จะมุ่งนำเสนอเพียงรายละเอียดของเครื่องมือและวิธีการเท่านั้น ส่วนผลที่ได้จะนำเสนอในบทต่อไป

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

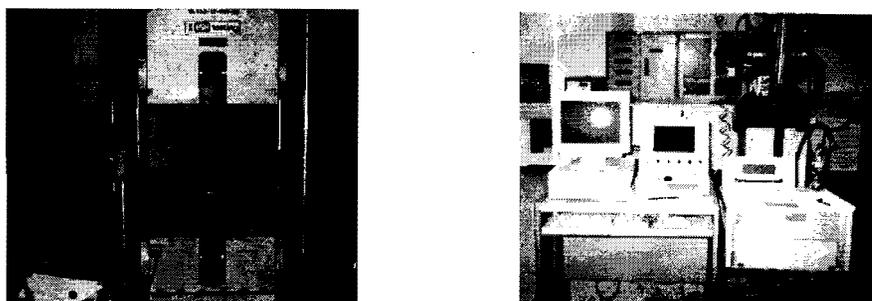
ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือหลักในการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1.1 เครื่องทดสอบการกดและการดึง

เครื่องทดสอบการกดและการดึงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีชื่อว่า ESH Testing Limited ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งเครื่องดังกล่าวเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับระบบ Hydraulic ในการควบคุมการทำงาน เครื่องทดสอบนี้สามารถทำการทดสอบได้ทั้งการดึง (Tensile Test) และการกด (Compressive Test) พร้อมอุปกรณ์วิเคราะห์ผลและเก็บข้อมูล ซึ่งมีความสามารถทำงานได้ถึง 2,000 kN และมีระยะกดได้สูงสุด 200 mm สามารถบันทึกผลการทดลองเป็นภาระ (Load) และระยะกด/ดึง (Displacement) ได้อย่างละเอียดถึงทุกๆ 0.04 mm ซึ่งถือว่าเป็นความละเอียดที่เพียงพอสำหรับการศึกษาการเสียหายแบบแรงกระทำช้าๆ (Quasi-Static) พร้อมทั้งแสดงผลเป็นตัวเลขและเขียนกราฟได้ทันที นอกจากนี้หากต้องการทำการทดสอบโดยควบคุมด้วยแรงกระทำเป็นหลักก็สามารถทำได้โดยปรับระดับการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ ซึ่งปรับได้ละเอียดถึง 0.1 kN

เครื่องทดสอบการดึงและกดเครื่องนี้มีอยู่แล้วที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อย่างไรก็ตามเนื่องจากเครื่องทดสอบดังกล่าวผ่านการใช้งานมานาน จึงเกิดการชำรุดในระหว่างใช้งาน ทำให้คณบดีนักวิจัยต้องทำการปรับปรุงใหม่ โดยการจัดซื้อชุดโปรแกรมควบคุม และแผงควบคุมการทำงานใหม่ ตลอดจนทำการสอบเทียบเครื่องอีกหลายครั้ง ส่งผลให้ต้องใช้งบประมาณบางส่วนนอกเหนือจากแผนที่กำหนดไว้เดิม และใช้เวลาในการดำเนินงานนานขึ้น

เครื่องทดสอบการกดและการดึงนี้จะใช้ในการทดสอบ โครงสร้างเพื่อทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA ในกรณีการกดแบบความเร็วต่ำ ก่อนที่จะนำโปรแกรมไปใช้งานในงานขนาดใหญ่ขึ้น โดยใช้ในการทดสอบโครงสร้างจากการกดในแนวแกน (Axial Crush) การดัด (Bending Moment) และการบิด (Twisting) ในส่วนของการบิดนั้นคณะนักวิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างหัวจับแบบพิเศษเพื่อทำการบิด โครงสร้างอีกด้วย



ภาพที่ 4.1 เครื่องทดสอบ Compressive & Tensile Test Machine และชุดคอมพิวเตอร์ควบคุม

4.1.2 เครื่องทดสอบการกระแทก

เครื่องทดสอบการกระแทกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นห้องสูง ทำงานโดยการปล่อยให้ก้อนมวลหรือตุ้มน้ำหนักตกลงกระทบกับชิ้นงานด้วยการตกแบบอิสระ ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้งานกัน โดยทั่วไป

เครื่องทดสอบการกระแทกนี้คณะวิจัยได้ทำการออกแบบ และสร้างขึ้น โดยมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4.2 เครื่องนี้ประกอบด้วยเสาสูง 4 m ด้านล่างมีแท่นกว้าง $1 \times 1 \text{ m}^2$ สูง 4 m ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ก) ด้านบนของเครื่องมีคานเพื่อแขวนก้อนมวลก่อนที่จะปล่อยให้ตกกระทบ ชิ้นงานทดสอบด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ข) ก้อนมวลนี้สามารถเปลี่ยนขนาดได้ตามความต้องการ และมีขนาดสูงสุด 25 กิโลกรัม ในการดึงก้อนมวลขึ้นด้านบนใช้มอเตอร์ขนาด 1 Hp ในการยกก้อนมวลขึ้นไป ที่ฐานด้านล่างของเครื่องติดตั้งเครื่องวัดแรง (Load Cell) ชนิด Dynamic Load Cell ไว้ด้านบนแท่นเพื่อวัดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณและเก็บข้อมูล เพื่อบันทึกค่าแรงกระแทกที่เกิดขึ้น เครื่องแปลงสัญญาณนี้เป็นยี่ห้อ KYOWA รุ่น DSC 100A สามารถบันทึกข้อมูลได้ละเอียดสูงสุดถึง 50,000 ค่าต่อวินาที (5 kHz)

เนื่องจากเครื่องทดสอบการกระแทกนี้มีข้อจำกัดคือมีฐานที่แคบ จึงสามารถทดสอบได้เพียงการกระแทกในแนวแกน (Axial Impact) เท่านั้น ผลการทดสอบที่ได้จะนำไปสอบ

เทียบกับโปรแกรม FEA ในกรณีการกระแทกด้วยความเร็วสูง เพื่อใช้ในการขยายผลการศึกษาในการจำลองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.2 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Drop Hammer Tower ที่ออกแบบ และสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัย (ก) ภาพลักษณะห่อที่เป็นชุดปล่อยค้อนน้ำหนักรถเพื่อสร้างแรงกระแทก (ข) ภาพส่วนบนของชุดทดลอง แสดงลักษณะการติดตั้งค้อนน้ำหนักรถก่อนปล่อยตก

4.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูง เนื่องจากในการทดสอบแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการประมวลผลนานหลายชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและขอบเขตที่ใส่ให้กับโปรแกรม เช่น จำนวน Element คุณสมบัติของวัสดุ โดยในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่สามารถจัดหาได้ในช่วงเวลานั้น ได้แก่ CPU Intel Pentium 4 3.2 GHz หน่วยความจำ (RAM) 2 GB ซึ่งสามารถใช้งานได้สำหรับงานวิจัยนี้

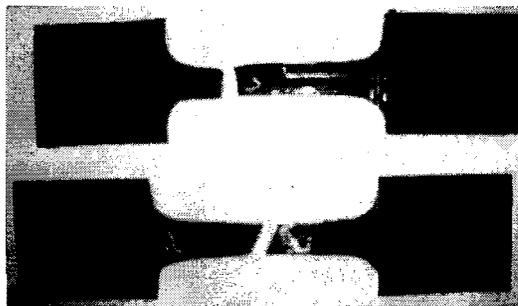
4.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

นอกจากเครื่องมือหลักดังได้กล่าวมาแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ เช่นเครื่องจักรขึ้นรูปโลหะ ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องเชื่อม เครื่องพับโลหะและเครื่อง CNC เป็นต้น ซึ่งมีอยู่แล้วที่ฝ่ายโรงงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และที่ศูนย์ CNC คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี นอกจากนี้ยังใช้เครื่องมือวัดต่างๆ และเครื่องบันทึกภาพ เป็นต้น

4.2 คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างรถยนต์โดยสาร

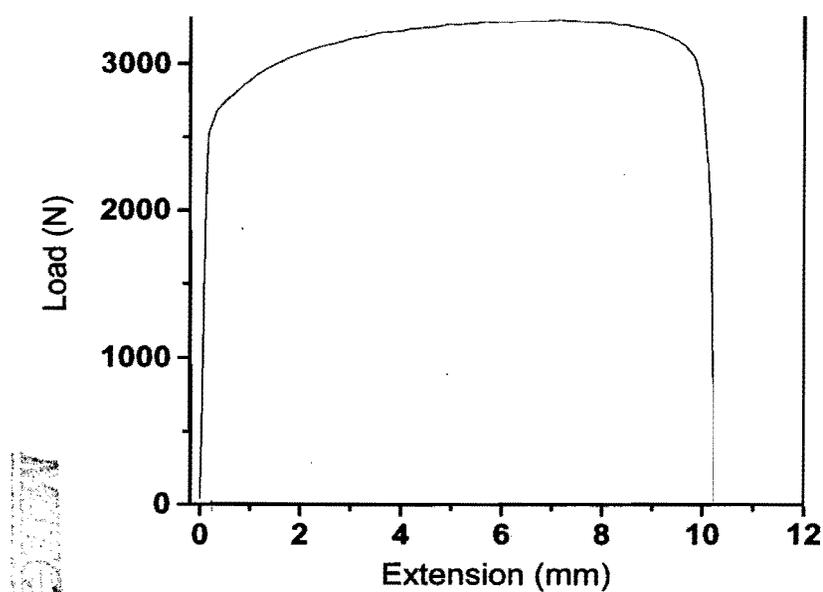
ในงานวิจัยนี้จะต้องทำการทดลองด้วยวิธีการทดลองจริง และทำการทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง FEA ชื่อ ABAQUS ดังนั้นจึงต้องทราบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างเสียก่อน เพื่อป้อนให้แก่โปรแกรม

ในการหาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้นใช้วิธีการดึงมาตรฐาน (Standard Tensile Test) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไป คณะนักวิจัยได้เก็บตัวอย่างเหล็กที่ใช้ในการทำโครงสร้างรถยนต์โดยสารจากอยู่ต่างๆ จากนั้นนำไปขึ้นรูปชิ้นงานให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ โดยการศึกษานี้ได้ส่งชิ้นงานไปทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จากนั้นจะนำคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์และนำมาใช้ในโปรแกรม FEA เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่แท้จริงของโครงสร้างและความแม่นยำของผลที่ได้จากการทดสอบด้วยโปรแกรม FEA ภาพที่ 4.3 แสดงชิ้นงานทดสอบ (Specimen) ที่ได้จากการทดสอบดึง



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ภาพที่ 4.3 เป็นชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบดึง (Tensile Test) โดยเป็นตัวอย่างที่ได้กลับคืนจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) และจากการทดสอบได้ค่าของภาระที่ใช้และระยะยืดตัวของชิ้นงาน ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟได้ตามภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงกราฟของระยะยืด (Extension) และภาระ (Load) ที่ได้จากการทดสอบวัสดุ

ภาพที่ 4.4 เป็นกราฟที่ได้จากการทดสอบวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างโครงสร้างรถยนต์โดยสาร ซึ่งจากกราฟจะนำไปสู่การหาค่าคุณสมบัติต่างๆ เช่น ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic) ของวัสดุ และค่าภาระสูงสุด เป็นต้น คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่ได้ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นจากการทดสอบวัสดุ

Specimen No.	Width (mm)	Thickness (mm)	Area (mm ²)	Maximum Load (N)	Gage length (mm)
N1	13.49	0.79	10.657	3305.01	65
N2	12.2	0.88	10.736	3560.54	65
N3	12.9	1.02	13.158	4124.7	65
N4	14.13	0.94	13.282	3850.75	65
N5	14.37	0.84	12.708	4047.37	65

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างค่าความเค้นจริง (True Stress) ความเครียดจริง (True Strain) และค่า Plastic Strain ที่ได้จากการทดสอบวัสดุ

Engineering Stress (kN/mm ²)	Engineering Strain	True Stress (MN/m ²)	True Strain	Plastic Strain
$\sigma = \frac{F}{A}$	$\epsilon_{nom} = \frac{l}{l_0} - 1$	$\sigma = \sigma_{nom}(1 + \epsilon_{nom})$	$\epsilon^t = \ln(1 + \epsilon_{nom})$	$\epsilon^{pl} = \epsilon^t - \frac{\sigma}{E}$
112.9331	0.0032	113.2950	0.0032	0.0015
118.5798	0.0058	119.2636	0.0058	0.0040
124.2264	0.0103	125.5000	0.0102	0.0084
131.7553	0.0231	134.7958	0.0228	0.0208
138.6566	0.0519	145.8561	0.0506	0.0485
141.7939	0.0872	154.1562	0.0836	0.0813
144.3033	0.1256	162.4344	0.1184	0.1160
144.9590	0.1385	165.0303	0.1297	0.1273

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาตรฐานจะให้ค่าของภาระและระยะยวบตัว ซึ่งสัมพันธ์กันดังแสดงเป็นกราฟในภาพที่ 4.4 จากนั้นจะต้องนำค่าภาระที่ได้ในแต่ละช่วงมาแปลงเป็นความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering Stress) และความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Strain) แล้วคำนวณต่อไปเป็นความเค้นจริง (True stress) ความเครียดจริง (True Strain) และค่า Plastic strain โดย

ตัวอย่างค่าที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.2 ค่าที่คำนวณได้นี้จะถูกนำไปใช้ในแบบจำลองวัสดุของโครงสร้างในส่วนของการทดลองด้วย FEA ต่อไป

4.3 โปรแกรม FEA ที่ใช้ในการศึกษา (ABAQUS)

คงได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าโครงการวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง FEA ชื่อ ABAQUS เป็นเครื่องมือหลักในการวิจัย ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจกับการใช้งานโปรแกรมนี้เสียก่อน

โปรแกรม ABAQUS เป็นโปรแกรมคำนวณที่อาศัยหลักการของ FEA ในการคำนวณและวิเคราะห์ผล เป็นหนึ่งในโปรแกรมด้าน FEA ที่นิยมใช้งานทั้งในส่วนของงานวิจัย และภาคอุตสาหกรรม สามารถวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมได้อย่างหลากหลาย เช่น ปัญหาด้านการชน การสั่นสะเทือน ความร้อน ของไหล และการเสียหายแบบต่างๆ เป็นต้น โปรแกรมนี้ประกอบไปด้วยส่วนหลักของโปรแกรมที่สำคัญดังนี้

4.3.1 ส่วนของการสร้างแบบจำลอง

ในส่วนนี้เป็นการสร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อเตรียมการทดสอบ โดยสามารถทำได้ 2 แบบ คือ แบบแรกโดยการใช้ ABAQUS\CAE ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับการเขียนรูปในโปรแกรมเขียนแบบหรืออาจจะเขียนจากโปรแกรมที่เกี่ยวกับทางด้านเขียนแบบ (CAD) เช่น Solid Work ก็ได้ แล้วจึงดึงเข้ามาใช้ในโปรแกรม ABAQUS\CAE แบบที่สองเขียนโดยการใช้คำสั่งในภาษาของโปรแกรม ABAQUS โดยจะเขียนในลักษณะเป็น Text File Format หรือเรียกว่า Input File ซึ่งไฟล์ที่ได้จะมีนามสกุลเป็น *.inp ตัวอย่างหน้าจอของ ABAQUS\CAE แสดงในภาพที่ 4.5 ส่วนตัวอย่างลักษณะของการเขียนโปรแกรมด้วยวิธี Text File Format แสดงในภาพที่ 4.6

ในส่วนนี้นอกจากจะต้องสร้างภาพของโครงสร้างให้มีขนาดและลักษณะเหมือนจริงแล้ว ยังต้องทำการใส่เงื่อนไขอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น คุณสมบัติของวัสดุ เงื่อนไขขอบเขต ลักษณะของภาระที่กระทำ เงื่อนไขของผิวสัมผัส ชนิดของเอลิเมนต์ จำนวนของเอลิเมนต์ ชนิดของการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ต้องการเก็บ เป็นต้น ซึ่งเงื่อนไขทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรมจะมีผลต่อการคำนวณและผลที่ได้จากการคำนวณ ดังนั้นคณะวิจัยจึงได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆที่จำเป็น และทำการสอบเทียบโปรแกรมกับผลการทดลองเพื่อให้มั่นใจว่าผลการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถใช้งานได้จริง (เรื่องการสอบเทียบ โปรแกรมจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป)



ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะหน้าจอของโปรแกรม ABAQUS/CAE

4.3.2 ส่วนของการคำนวณผล

ส่วนนี้คือขั้นตอนการประมวลผล โดยโปรแกรมจะนำข้อมูลและเงื่อนไขที่สร้างไว้ในแบบจำลองมาทำการคำนวณและประมวลผลตามวิธีการที่ได้เขียนไว้ในโปรแกรมส่วนแรก ในส่วนนี้สามารถทำได้สองวิธี คือ วิธีแรกโดยใช้ ABAQUS/CAE วิธีที่สองโดยการใช้ ABAQUS/Command ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขและขอบเขตของตัวแปรต่างๆ

4.3.3 ส่วนของการแสดงผลของโปรแกรม

ส่วนของการแสดงผลคือส่วนที่โปรแกรมแสดงผลการคำนวณที่ได้ออกมา โดยอาจแสดงผลในรูปแบบของภาพขึ้นงานในลักษณะต่างๆ การกระจายตัวของตัวแปรที่ต้องการ หรือกราฟ เป็นต้น ในโปรแกรมนี้ส่วนที่ใช้แสดงผล คือ ABAQUS/Viewer โดยจะนำข้อมูลหรือผลที่ได้จากการประมวลผลในส่วน 2 เรียกว่าไฟล์ ODB มาเปิดแสดงผล เพื่อทำการบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ รวมถึงข้อมูลที่โปรแกรมทำบันทึกไว้ขณะทำการทดสอบ จากนั้นจะนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานคูคซ์ต่อไป

```

cylinder2
*HEADING
Aluminum truncated cone with the thickness varies as X, subjectec
axial compression.
**
**The geometry of cylinder
**
*PREPRINT, CONTACT=NO, ECHO=NO, HISTORY=NO, MODEL=NO
**
**Model Definition
**Conical Shell: cone number 2
**Top diameter 27.5 mm.
**Base diameter 68.0 mm.
**Height 85.0 mm.
**Non-uniform thickness
**Node 32X19 = 608 nodes
**Element 32X18 = 576 elements
**Explicit analysis
**
*NODE
1, 25.0E-3, 0., 0.
20, -24.6922E-3, 0., -3.9108E-3
21, -25.0E-3, 0., 0.
40, 24.6922E-3, 0., 3.9108E-3
**
3001, 25.0E-3, -120.0E-3, 0.
3020, -24.6922E-3, -120.0E-3, -3.9108E-3
3021, -25.0E-3, -120.0E-3, 0.
3040, 24.6922E-3, -120.0E-3, 3.9108E-3
**
*NGEN, NSET=TOPN
1, 20, 1, , 0., 0., 0.
21, 40, 1, , 0., 0., 0.
*NGEN, NSET=BASEN
3001, 3020, 1, , 0., -120.0E-3, 0.
3021, 3040, 1, , 0., -120.0E-3, 0.
*NFill, NSET=ALLN
TOPN, BASEN, 30, 100
**
**Element
**
*ELEMENT, TYPE=S4R
1, 1, 101, 102, 2
*ELGEN, ELSET=ELSA
1, 39, 1, 1, 30, 100, 100
*ELEMENT, TYPE=S4R
40, 40, 140, 101, 1
*ELGEN, ELSET=ELSB
40, 1, 1, 1, 30, 100, 100
*ELSET, ELSET=ALLE1
ELSA, ELSB
**
**Axis Property and Material
**
*ORIENTATION, NAME=CONE, SYSTEM=CYLINDRICAL
0., -5.0E-3, 0., 0, -120.0E-3, 0.
**

```

ภาพที่ 4.6 แสดงตัวอย่างของ Input Files ที่ใช้ในโปรแกรม ABAQUS

4.4 การสอบเทียบโปรแกรม FEA กับวิธีการทดลอง

เพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรม FEA ที่ใช้งานสามารถให้คำตอบที่ถูกต้อง สอดคล้องกับผลการทดลอง จึงได้ทำการสอบเทียบแบบจำลองทาง FEA กับการทดลองจริง โดยในการสอบเทียบจะทำการสอบเทียบกับการชั่งน้ำหนักด้วยความเร็วต่ำ (Quasi-Static Loading) และการชนด้วยความเร็ว

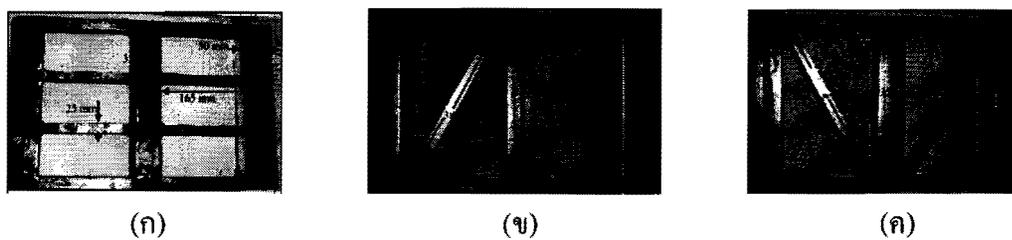
สูง (Impact Loading) ทั้งนี้เงื่อนไขของแบบจำลองทาง FEA จะสร้างให้เหมือนกับการทดลองจริง แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการและผลการสอบเทียบดังนี้

4.4.1 รายละเอียดของการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ

ในส่วนของ การสอบเทียบกับภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ จะทำการทดสอบ ชิ้นงานหลักภายใต้ภาระการกดในแนวแกน ภาระการค้ำ และภาระการบิด โดยชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดลองเป็นชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างด้านข้างทั้ง 3 แบบ ดังได้อธิบายมาแล้ว

4.4.1.1 การทดลองจริง

การทดลองส่วนนี้ได้ใช้เครื่องทดสอบการดึงและการกดตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1 เป็นเครื่องทดสอบ ในการทดลองนี้ใช้ภาระการกดด้วยความเร็วแบบช้าๆ โครงสร้างที่ใช้ทำการทดสอบเป็นโครงสร้างเสริมความแข็งแรงทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากการเก็บข้อมูล จากผู้ต่อรถยนต์โดยสารต่างๆ ได้แก่ 1) การต่อแบบขนานในแนวนอน 2) การต่อแบบทแยงมุมและ 3) การต่อแบบสลับฟันปลา ซึ่งชิ้นงานที่ใช้เป็นชิ้นงานที่สร้างจากวัสดุจริง และมีขนาดเท่ากับขนาดของโครงสร้างเสริมความแข็งแรงของรถบัส 1 ช่อง ลักษณะของชิ้นงานแบบต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แสดงชิ้นส่วนของโครงสร้างที่สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบ (ก) การต่อแบบขนานในแนวนอน (ข) การต่อแบบทแยงมุม (ค) การต่อแบบสลับฟันปลา

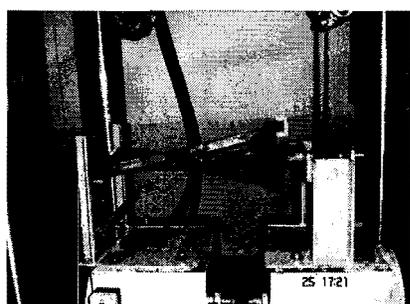
จากภาพที่ 4.7 แสดงโครงสร้างส่วนเสริมความแข็งแรงด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ใช้ในการทดสอบ ในการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยภาระ 3 แบบที่กระทำต่างกัน คือ 1) การทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกน 2) ภายใต้ภาระการค้ำ 3) ภายใต้ภาระการบิด โดยในแต่ละภาระการทดสอบจะใช้โครงสร้างที่ต่อทั้ง 3 แบบดังกล่าวมาแล้ว ลักษณะการจัดวางและการทดสอบกับเครื่องทดสอบ แสดงในภาพที่ 4.8



(ก) ภาระแบบกดในแนวแกน



(ข) ภาระแบบคด



(ค) ภาระแบบบิด



(ง) เครื่องทดสอบการบิด

ภาพที่ 4.8 แสดงเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อจับยึด โครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบด้วยภาระทั้ง 3 แบบ

จากภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะการติดตั้งและการทดลอง โครงสร้าง ภายใต้ภาระแบบต่างๆ โดยภาพที่ 4.8 (ก) แสดงลักษณะการจับยึด โครงสร้างที่รับภาระด้วยแรงกด ในแนวแกน ภาพที่ 4.8 (ข) แสดงลักษณะการจับยึด โครงสร้างภายใต้การทดสอบด้วยภาระแบบคด ส่วนภาพที่ 4.8 (ค) และ (ง) แสดงลักษณะการจับยึดชิ้นงานที่รับภาระแบบบิด ทั้งนี้คณะนักวิจัยได้ พัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการสร้างภาระต่างให้แก่วิจัยงานเพิ่มเติมด้วย เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จะขอแยกอธิบายรายละเอียดของวิธีการทดลองแบบต่างๆดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบภาระการชนในแนวแกน (Axial load)

ในการทดสอบจะใช้เครื่องทดสอบโดยใช้ภาระแบบกดกระทำกับชิ้นงาน อย่างช้าๆ ซึ่งได้มีการออกแบบตัวจับยึดเพื่อรองรับ โครงสร้างที่ใช้ทดสอบเพิ่มเติมเล็กน้อย ดังแสดง ในภาพที่ 4.8 (ก) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบนั้นมีมวลที่ใกล้เคียงกัน คือ ชิ้นงานที่ต่อแบบขนานมี น้ำหนัก 1.7 kg ชิ้นงานที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับพื้นปลาติน้ำหนัก 1.65 kg ชิ้นงานที่ใช้ ในการทดสอบมีขนาดความกว้าง 250 mm และยาว 480 mm เหล็กแต่ละชิ้นมีความหนาประมาณ 1 mm ในการทดสอบได้ทำการทดสอบ โครงสร้างแต่ละแบบจำนวน 3 ครั้ง เพื่อลดความผิดพลาดจาก การทดลอง ใช้ความเร็วในการกด 10 mm/min และระยะการกดที่กระทำต่อชิ้นงาน 60 mm ผลที่ได้

จากเครื่องทดสอบ คือค่าระยะขยุบตัว (Stroke) กับภาระที่ใช้ (Load) จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าการดัดรับพลังงานต่อไป

(2) การทดสอบภาระการชนด้านข้างแบบดัด (Bending load)

เนื่องจากเครื่องทดสอบโดยหัวทดสอบการดัด (Bending Test Jig) ที่มีอยู่เดิมมีความกว้างประมาณ 150 mm แต่ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบนั้นมีความกว้าง 250 mm และยาว 480 mm ซึ่งกว้างกว่าความกว้างของหัวทดสอบเดิม จึงต้องมีการปรับปรุงหัวทดสอบการดัดใหม่ให้มีความกว้าง 500 mm เพื่อรองรับกับชิ้นงานได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 (ข) การทดสอบจะทำ 3 ครั้ง เช่นเดียวกับการทดสอบการชนด้วยภาระกดในแนวแกน ความเร็วในการกดชิ้นงาน 10 mm/min และระยะของการกดกระทำต่อชิ้นงาน 30 mm ในแนวตั้งฉาก ข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบจะเก็บผลเป็นระยะขยุบตัว (Stroke) กับภาระ (Load) ที่ใช้ เมื่อได้ค่าแล้วทำการเปลี่ยนค่าให้เป็นมุมดัด (Radian) กับโมเมนต์ดัด (Bending Moment) แล้วนำค่าไปสร้างกราฟเพื่อหาค่าการดัดรับพลังงานต่อไป

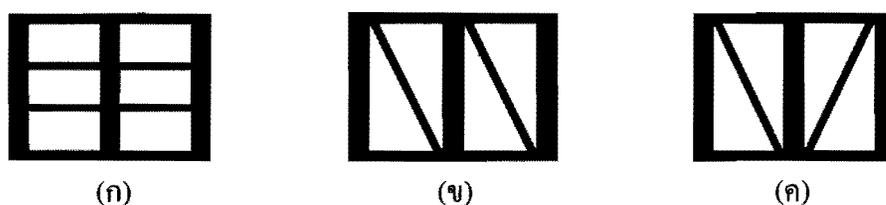
(3) การทดสอบการรับภาระแบบบิด (Twisting load)

ในการทดสอบการบิดได้ทำการออกแบบหัวทดสอบใหม่ ประกอบด้วยหัวยึดซึ่งยึดติดอยู่กับที่ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งออกแบบให้หมุนได้เพื่อบิดชิ้นงาน โดยอาศัยแรงที่ดึงผ่านพูลส์ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 (ค) ส่วนภาพที่ 4.8 (ง) แสดงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการบิด (Twisting Jig) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบ ซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 ครั้งเช่นกัน ในการทดสอบใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกับการทดสอบด้วยภาระการชนในแนวแกนและการทดสอบแบบดัด คือใช้ความเร็วในการกดชิ้นงาน 10 mm/min และระยะของการดึงกระทำต่อเส้นลวดสลิง 90 mm ผลที่ได้จากเครื่องทดสอบจะเก็บค่าเป็นค่าระยะขยุบตัวกับภาระที่กระทำ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าระยะขยุบตัวให้เป็นมุมบิด (Radian) กับแรงบิด (Torque) แล้วนำค่าไปสร้างกราฟเพื่อหาค่าการดัดรับพลังงาน

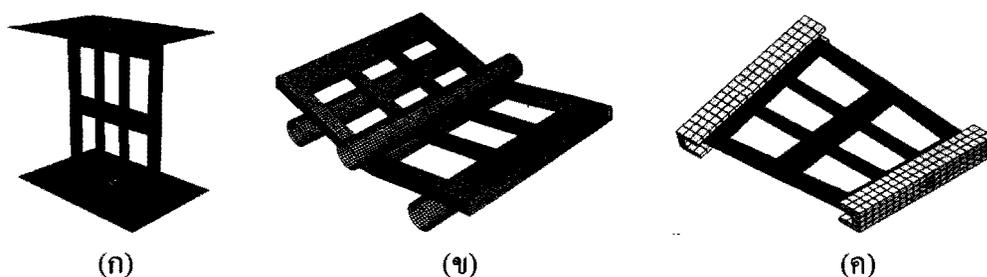
4.4.1.2 การทดสอบด้วยวิธี FEA

เพื่อทำการสอบเทียบโปรแกรมที่การชนแบบความเร็วต่ำ จึงได้สร้างแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างแต่ละแบบ โดยเลือกใช้เอลิเมนต์แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 จุดต่อ (S4R) โครงสร้างที่ทดสอบในโปรแกรมจะสร้างให้มีลักษณะต่างๆ ตามในภาพที่ 4.9 ซึ่งเหมือนกับชิ้นงานในการทดลองจริง ในการทดลองทางคอมพิวเตอร์นี้ได้สมมุติให้โครงสร้างทั้งหมดเป็นแบบเนื้อเดียวกัน มีคุณสมบัติของวัสดุเป็นแบบ Elastic Plastic Strain Hardening โดยใช้ค่าตามที่ได้จากการทดสอบดึงมาตรฐาน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากับการทดลอง คือ 10 mm/min มีระยะกดในแนวแกน 60 mm ระยะมุมดัด 0.17 เรเดียน สำหรับการ

ทดสอบการคัด และมุมบิด 0.28 เรเดียน สำหรับการทดสอบการบิด จำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในแต่ละกรณีประมาณ 30,000 เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมและได้จากการทดสอบและวิเคราะห์ Mesh Independence ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่อไปในหัวข้อ 4.5 โดยรูปแบบและลักษณะของโครงสร้างที่ใช้ทดสอบในโปรแกรม FEA ดูได้จากภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.9 แสดงชิ้นส่วนของโครงสร้างที่สร้างขึ้นในคอมพิวเตอร์ (ก) การต่อแบบขนานในแนวนอน (ข) การต่อแบบทแยงมุม (ค) การต่อแบบสลับฟันปลา



ภาพที่ 4.10 แสดงลักษณะการจับยึด โครงสร้างที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ก) การทดสอบด้วยภาระแบบกด (ข) การทดสอบด้วยภาระแบบคัด (ค) การทดสอบด้วยภาระแบบบิด

ภาพที่ 4.10 (ก) แสดงรูปแบบโครงสร้างที่รับภาระแบบกดในแนวแกน โดยให้โครงสร้างที่ทำการทดสอบวางอยู่ระหว่างแผ่นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) สองแผ่นแล้ว กำหนดจุดอ้างอิง (Reference Node) ที่แผ่น Rigid body ทั้งสอง และกำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสเท่ากันทั้งหมดคือ 0.3 โดยกำหนดให้แผ่นแข็งเกร็งด้านล่างยึดติดกับที่ ส่วนแผ่นแข็งเกร็งด้านบนสามารถกลดลงในแนวตั้งและทำหน้าที่วัดระยะขยับตัวของโครงสร้างจากเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดระยะขยับตัว ส่วนจุดอ้างอิงด้านล่างทำหน้าที่วัดแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการกด

ภาพที่ 4.10 (ข) เป็นการแสดงรูปแบบโครงสร้างที่ทดสอบด้วยภาระแบบคัด โดยมีจุดรองรับสองจุดบริเวณด้านปลายของโครงสร้างและมีท่อนเหล็กทรงกระบอกกอดอยู่ตรงกลางด้านบนหนึ่งตัว โดยกำหนดคุณสมบัติของตัวรองรับและตัวกอดให้เป็น Rigid Body จุดอ้างอิงด้านบนได้กำหนดให้วัดระยะขยับตัวและวัดค่าแรงกด ส่วนด้านล่างกำหนดให้ยึดแน่นไม่ให้เคลื่อนที่

คุณสมบัติอื่นๆเหมือนกับการทดสอบแบบกดในแนวแกน

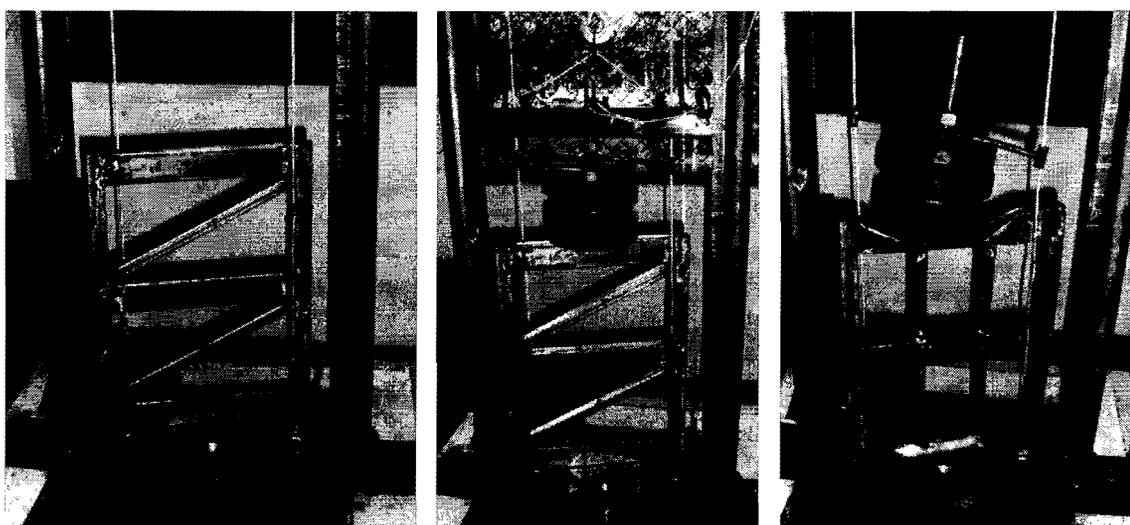
ภาพที่ 4.10 (ค) เป็นรูปแบบโครงสร้างที่รับภาระแบบบิด มีอุปกรณ์จับยึดที่ปลายทั้งสองเพื่อใช้ในการบิดชิ้นงาน ซึ่งกำหนดคุณสมบัติของตัวบิดทั้งสองให้เป็นแบบ Rigid Body และมีจุดอ้างอิงที่ตรงกลางของอุปกรณ์ยึดต่อทั้งสองข้าง เพื่อวัดระยะการบิดและวัดโมเมนต์ที่เกิดจากการบิดและเก็บผลมาทำการคำนวณต่อไป คุณสมบัติอื่นๆเหมือนกับการทดสอบแบบกดในแนวแกนเช่นกัน

4.4.2 รายละเอียดของการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง

การสอบเทียบโปรแกรมภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูงนั้นมีวิธีการดำเนินงานคล้ายกับการทดสอบที่ความเร็วต่ำ ดังนี้

4.4.2.1 การทดลองจริง

การทดลองจริงทำโดยการนำชิ้นส่วนแผงข้างแบบเดียวกับที่ทดลองด้วยความเร็วต่ำ คือชิ้นงานที่ต่อแบบขนาน แบบทแยงมุม และแบบสลับพื้นปลา มีทำการทดสอบรับแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Drop Hammer Tower โดยชิ้นงานจะถูกวางไว้ที่ฐานของเครื่องในลักษณะไม่มีการยึดฐาน (Simply Supported) ดังแสดงในภาพที่ 4.11 (ก)



(ก)

(ข)

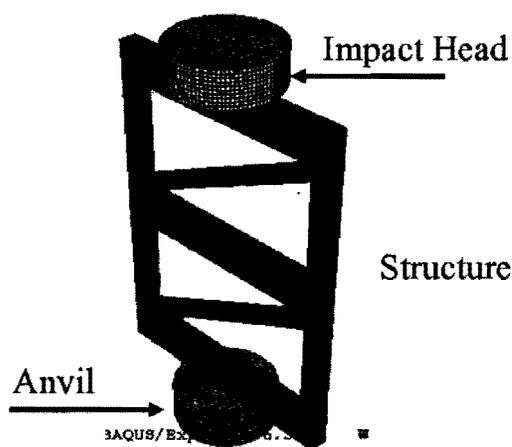
(ค)

ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะการจัดวางชิ้นงานทดสอบในเครื่องทดสอบการกระแทก (ก) ตัวอย่างการจัดวางชิ้นงานบนแท่นวัดแรงปฏิกิริยาก่อนการทดสอบ (ข) ลักษณะของชิ้นงานก่อนดุ่มน้ำหนักกระทบ (ค) ตัวอย่างลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการกระแทก

การสร้างแรงกระแทกทำได้โดยการปล่อยค้อนน้ำหนักลงมาจากกระยะความสูง 2.5 m ค้อนน้ำหนักจะตกอย่างอิสระลงกระทบชิ้นงานด้วยความเร็วก่อนกระทบประมาณ 7 m/s (ประมาณ 25 km/h) ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานยุบตัวไปประมาณ 105 mm ดังแสดงในภาพที่ 4.11 (ข) และ (ค) จากนั้นทำการบันทึกแรงปฏิกิริยาในช่วงเวลาต่างๆ ตลอดจนการเสียรูปเพื่อใช้ในการคำนวณค่าพลังงานดูดซับต่อไป

4.4.2.2 การทดสอบด้วยวิธี FEA

เพื่อทำการสอบเทียบโปรแกรมที่การชนแบบความเร็วสูง จึงได้สร้างแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างแต่ละแบบ โดยเลือกใช้เอลิเมนต์แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 จุดต่อ (S4R) โครงสร้างที่ทดสอบในโปรแกรมจะสร้างให้มีลักษณะต่างๆ คล้ายกับตัวอย่างในภาพที่ 4.9 ซึ่งเหมือนกับชิ้นงานในการทดลองจริง ในการทดลองทางคอมพิวเตอร์นี้ได้สมมุติให้โครงสร้างทั้งหมดเป็นแบบเนื้อเดียวกัน มีคุณสมบัติของวัสดุเป็นแบบ Elastic Plastic Strain Hardening โดยใช้ค่าตามที่ได้จากการทดสอบดึงมาตรฐาน จากนั้นได้จำลองค้อนน้ำหนัก (Impact Head) และฐานรอง (Anvil) ให้เป็น Rigid Element โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของค้อนน้ำหนักคือให้เคลื่อนที่ในแนวแกนลงมาด้านล่างด้วยความเร็ว 7 m/s ซึ่งเหมือนการทดลองจริง และกำหนดเวลาในการเคลื่อนที่ 0.015 sec ซึ่งจะทำให้มีระยะกดในแนวแกนประมาณ 105 mm เหมือนการทดลอง ลักษณะของแบบจำลองทาง FEA ที่ใช้ในการจำลองการกระแทกแสดงในภาพที่ 4.12



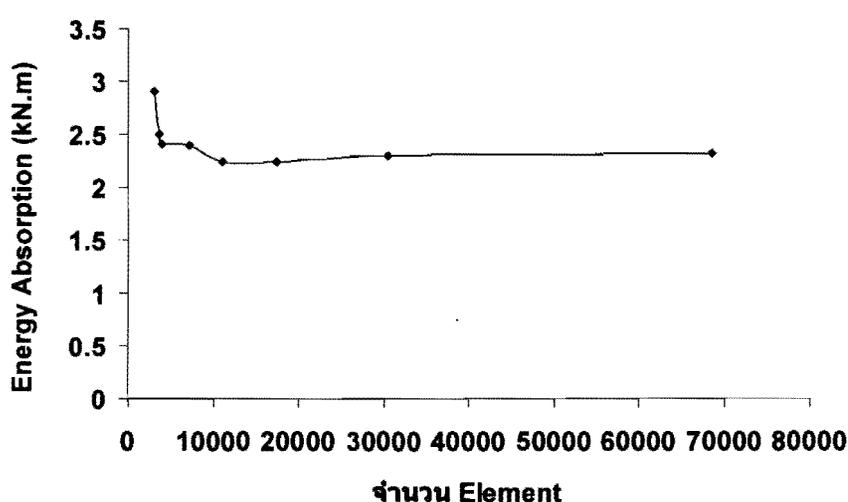
ภาพที่ 4.12 แสดงตัวอย่างแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูง

คุณสมบัติที่สำคัญอื่นๆที่กำหนดในแบบจำลองได้แก่ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสกำหนดให้เท่ากันทั้งหมดคือ 0.3 ส่วนคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สมมุติให้อยู่ในช่วงความยืดหยุ่นและช่วงการเปลี่ยนแปลงความเครียด ใช้เอลิเมนต์แบบเปลือกบางมี 4 จุดต่อเอลิเมนต์ที่ใช้ประมาณ 30,000 เอลิเมนต์ โดยกำหนดให้ฐานด้านล่างยึดติดกับที่ ส่วนก้อนมวลด้านบนที่วิ่งกระทบด้วยความเร็ว 7 m/s นั้นสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งเท่านั้น และทำหน้าที่วัดระยะยุบตัวของโครงสร้างจากเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดระยะยุบตัว ส่วนจุดอ้างอิงด้านล่างทำหน้าที่วัดแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการกด

4.5 การหาจำนวนเอลิเมนต์อิสระ (Mesh Independence)

การหาจำนวนเอลิเมนต์อิสระเป็นการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อจะใช้ในการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างในโปรแกรม FEA ซึ่งมีวิธีการหาโดยเพิ่มจำนวนของเอลิเมนต์ขึ้นเรื่อยๆ (หรือคือการลดขนาดของเอลิเมนต์ลงเรื่อยๆ) ในการทดสอบแต่ละครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับโดยยึดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเป็นตัวชี้วัด จนกระทั่งค่าของตัวแปรที่พิจารณานั้นมีค่าคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ในการศึกษานี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองแบบค้อนขวานในแนวนอน แล้วกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและเงื่อนไขของโปรแกรมดังได้อธิบายมาแล้ว ทำการเพิ่มจำนวนของเอลิเมนต์จากจำนวน 2,000 เอลิเมนต์ ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งมีจำนวนสูงสุด 70,000 เอลิเมนต์ จากนั้นให้โปรแกรมคำนวณ และประมวลผลโดยเลือกใช้ค่าพลังงานดูดซับเป็นตัวชี้วัด ผลที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างๆแสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แสดงกราฟการหาค่าจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม โดยใช้พลังงานดูดซับเป็นตัวชี้วัด

จากภาพที่ 4.13 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบการหาจำนวนอิเล็กเมนต์ที่เหมาะสมครั้งนี้ ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนอิเล็กเมนต์ประมาณ 30,000 อิเล็กเมนต์ขึ้นไปจะให้คำตอบที่คงที่ เมื่อคิดเป็นค่าความหนาแน่นของอิเล็กเมนต์ต่อพื้นที่จะได้จำนวนอิเล็กเมนต์ประมาณ 102,000 อิเล็กเมนต์/m² ขึ้นไป ดังนั้นในการศึกษานี้จะใช้อิเล็กเมนต์ขนาด 30,000 อิเล็กเมนต์ในการศึกษาตลอดทั้งโครงการวิจัย เนื่องจากเป็นจำนวนอิเล็กเมนต์ที่น้อยที่สุดที่ให้คำตอบใกล้เคียงกับจำนวนอิเล็กเมนต์ที่สูงกว่า

หลังจากได้ทำการสอบเทียบ โปรแกรม FEA ที่ใช้งานกับการทดลอง ซึ่งพบว่าโปรแกรมสามารถทำนายผลได้ถูกต้องตรงกับการทดลอง ทั้งในส่วนของความเร็วต่ำและความเร็วสูง (รายละเอียดเกี่ยวกับผลการสอบเทียบจะกล่าวถึงในบทถัดไป) ในลำดับต่อไปจะได้นำโปรแกรมนี้ไปขยายผลใช้ในการศึกษาโครงสร้างรถบัสส่วนต่างๆ แบบเต็มรูปแบบ โดยใช้ขนาดของโครงสร้างจริง ซึ่งรายละเอียดของการทดสอบนี้จะบรรยายในหัวข้อต่อไป

4.6 การทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

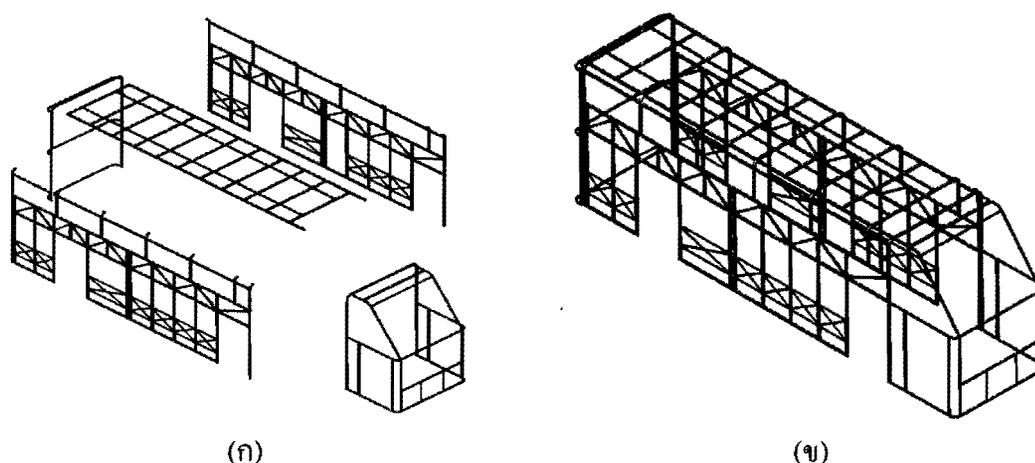
ในส่วนนี้จะอธิบายการทดสอบการชนของแผงโครงสร้างด้านข้างแบบเต็มแผง โดยใช้วิธี FEA เพื่อทำการหาค่าพลังงานดูดซับของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร โดยที่โครงสร้างจะมีส่วนเสริมความแข็งแรงที่มีการต่อ 3 แบบ ดังได้กล่าวผ่านมาแล้วในบทที่ 3 ภาพที่ 3.4 ในการทดสอบกำหนดให้โครงสร้างรับภาระการชนในแนวแกนและรับภาระการชนด้านข้างในแนวตั้งฉาก ซึ่งเป็นลักษณะการชนที่มักเกิดขึ้นได้ทั่วไป การชนรูปแบบดังกล่าวจะส่งผลให้โครงสร้างเสียรูปด้วยการกดอัด การคด หรือการบิดตัวรวมๆ กัน ซึ่งจะให้ผลคล้ายกับกระบวนการที่ได้ทำการสอบเทียบโปรแกรมมาแล้ว ในการทดสอบได้กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ให้กับโครงสร้างเช่นเดียวกับที่กำหนดให้ในตอนการสอบเทียบโปรแกรม ยกเว้นขนาดและรูปทรงของโครงสร้างที่จะสร้างเป็นขนาดเท่าจริง จากนั้นกำหนดให้โปรแกรมทำการบันทึกผลของตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้คำนวณหาค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้าง เมื่อได้ผลจากการคำนวณแล้วจะทำการวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของโครงสร้างแต่ละแบบที่สามารถดูดซับพลังงานได้แตกต่างกัน

ต่อไปนี้จะเป็นการอธิบายลักษณะของแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม FEA

4.6.1 แบบจำลองโครงสร้างและส่วนประกอบรถยนต์โดยสาร

โครงสร้างและส่วนประกอบของรถยนต์โดยสารนั้น โดยทั่วไปแล้วจะประกอบขึ้นจากส่วนสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างหลังคา โครงสร้างด้านหน้า โครงสร้างด้านข้างและโครงสร้างด้านหลัง โดยรายละเอียดการต่อโครงสร้างได้บรรยายไว้แล้วในบทที่ 3 โดยในที่นี้ได้ทำ

การจำลองส่วนประกอบหลักของโครงสร้างรถยนต์โดยสารเท่าขนาดจริงเพื่อทำการทดสอบ โดย ลักษณะแบบจำลองรถยนต์โดยสารแบบเต็มคันนั้นแสดงในภาพที่ 4.14



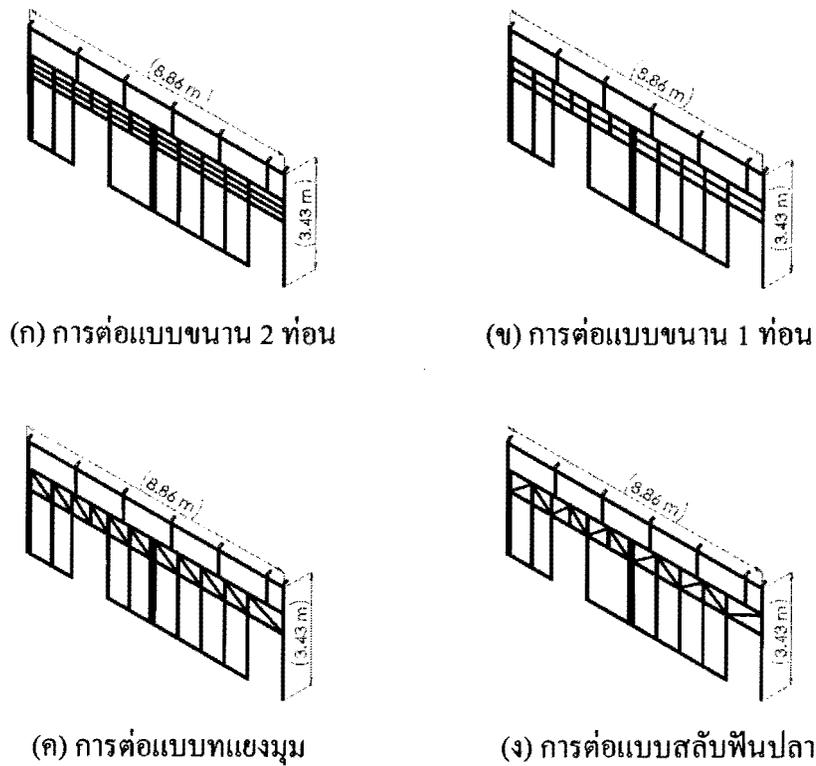
ภาพที่ 4.14 แสดงรูปแบบจำลองทาง FEA ของส่วนประกอบโครงสร้างรถยนต์โดยสาร (ก) แสดง โครงสร้างรถยนต์โดยสารแบบแยกส่วน (ข) แสดงโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ ประกอบเสร็จแล้ว

4.6.2 ลักษณะแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างที่ใช้ในการศึกษา

จากการเก็บข้อมูลจากคู่มือรถยนต์โดยสาร ณ สถานที่ต่างๆภายในประเทศ พบว่า แผลงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารมักประกอบขึ้นรูปโดยใช้เหล็กกล่องและนิยมต่อใน 3 ลักษณะดังกล่าวมาแล้ว ได้แก่ 1) การต่อโครงสร้างแบบขนาน 2) การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุม และ 3) การต่อโครงสร้างแบบสลัฟพื้นปลา โดยลักษณะการต่อแบบขนานจะมีการต่อได้ 2 แบบ โดยแบบแรกจะต่อเสริมด้วยเหล็กเสริม 2 ท่อน ส่วนแบบที่สองจะต่อเสริมด้วยเหล็ก 1 ท่อน ดังนั้น จึงทำการสร้างแบบจำลองแผลงด้านข้างที่ประกอบด้วยส่วนเสริมความแข็งแรงแบบต่างๆ ตาม ลักษณะของโครงสร้างจริง ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองแผลงด้านข้างที่ใช้ในการทดสอบทาง คอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 4.15 (ก) และ 4.15 (ข) สำหรับแผลงด้านข้างที่มีการต่อแบบขนาน โดยใช้เหล็ก 2 และ 1 ท่อนตามลำดับ ส่วนภาพที่ 4.15 (ค) เป็นโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรงแบบทแยงมุม และภาพที่ 4.15 (ง) เป็นโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรงแบบสลัฟพื้นปลา

โครงสร้างทั้งหมดเป็นลักษณะการต่อที่มีใช้อยู่ในคู่มือรถยนต์โดยสารทั่วไป โดย กำหนดให้มีขนาดเท่ากับขนาดของชิ้นส่วนจริง และประกอบขึ้นรูปด้วยเหล็กกล่องที่มีลักษณะของ หน้าตัดที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.1 และใช้เงื่อนไข

รวมทั้งคุณสมบัติใน โปรแกรมเหมือนกับที่ใช้ในการสอบเทียบโปรแกรม เมื่อสร้างแบบจำลองของ โครงสร้างด้านข้างเสร็จแล้วจะนำโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ทำการทดสอบและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEA ต่อไป

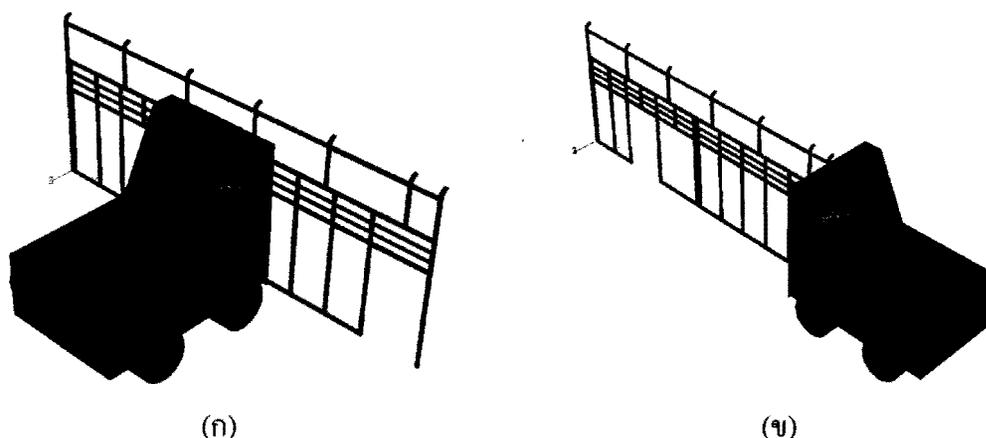


ภาพที่ 4.15 แสดงรูปแบบจำลองโครงสร้างแผงด้านข้างรถยนต์โดยสาร ที่มีการต่อชิ้นส่วนเสริม ความแข็งแรงแบบต่างๆ

4.6.3 การทดสอบโครงสร้างด้านข้างแบบเต็มโครงสร้าง

การทดสอบแผงด้านข้างจะใช้วิธี FEA (ABAQUS/Explicit) โดยจำลอง โครงสร้างแต่ละแบบด้วยเอลิเมนต์แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 จุดต่อ (S4R) มีเงื่อนไข ภาระในโปรแกรมคือ กำหนดให้รถยนต์อีกคันหนึ่งที่มีสมมุติให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ซึ่ง สมมุติให้แข็งแรงมากและไม่เกิดการเสียหายใดๆ พุ่งเข้าชนโครงสร้างแผงในทิศทาง 90 องศา กับ แผงโครงสร้างที่ทดสอบและชนทางด้านหน้าในแนวแกนของโครงสร้างด้วยความเร็ว 64 km/h ดัง ภาพที่ 4.16 (ก) และ 4.16 (ข) ตามลำดับ โดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สมมุติให้เป็นแบบ Elastic Plastic Strain Hardening ซึ่งได้มาจากการทดสอบดึงวัสดุ ในโปรแกรมจะกำหนดจุดอ้างอิง (Reference Node) ไว้ตรงด้านหน้ารถเพื่อวัดระยะยุบตัว (Displacement) และแรงปฏิกิริยา (Reaction Force) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง ซึ่งข้อมูลทั้งสองจะถูกบันทึกผลไว้ในขณะที่การทดสอบกำลังดำเนิน

ไป ส่วนบริเวณด้านปลายของโครงสร้างทั้งสองจะทำการจับยึดแน่น สำหรับผลการทดสอบที่ได้สามารถนำไปคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานดูดซับต่อไป



ภาพที่ 4.16 แสดงวิธีเตรียมการก่อนทดสอบในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (ก) แสดงลักษณะการชนแบบ 90 องศาหรือชนด้านข้าง (ข) แสดงลักษณะการชนในแนวแกน หรือชนด้านหน้า

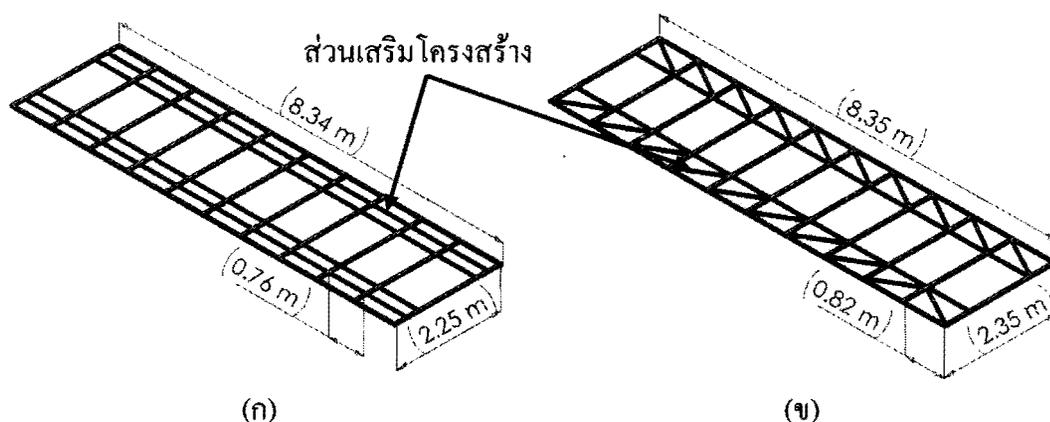
จากภาพที่ 4.16 (ก) แสดงตัวอย่างการเตรียมโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ต่อแบบขนานภายใต้ภาระการชนด้านข้าง ซึ่งเป็นการเตรียมการในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ก่อนเริ่มการทดสอบ ส่วนภาพที่ 4.16 (ข) แสดงตัวอย่างการเตรียมโปรแกรมก่อนการทดสอบของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานภายใต้ภาระการชนในแนวแกน ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลาที่มีลักษณะวิธีการเตรียมการก่อนทดสอบเช่นเดียวกัน จากนั้นจะใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบให้กับ โปรแกรม แล้วทำการประมวลผลด้วย FEA

4.7 การทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร

ในการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคา จะใช้ท่อเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดหน้าตัด 40 mm x 20 mm เป็นชิ้นส่วนเสริมหลักในการประกอบโครงสร้าง วิธีการทดสอบนั้นจะใช้การทดสอบด้วย FEA โดยกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขตามคุณสมบัติของวัสดุที่จำเป็นกับโปรแกรม และกำหนดให้โปรแกรมทำการบันทึกผลที่ได้ระหว่างทำการทดสอบ ได้แก่ ค่าแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวของโครงสร้าง ซึ่งค่าที่ได้จะนำไปหาค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะของโครงสร้างต่อไป โดยการทดสอบโครงสร้างหลังคาได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

4.7.1 การทดสอบโครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้ในปัจจุบัน

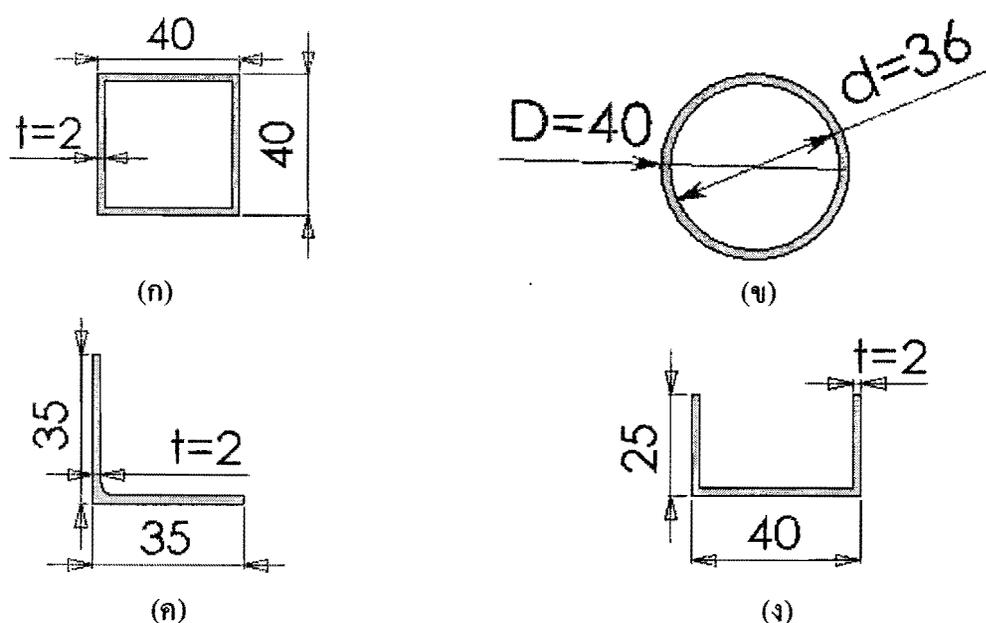
ในการทดสอบโครงสร้างหลังคาโดยวิธีโดยสารแบบที่ใช้งานในปัจจุบัน ได้ใช้ ภาระทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่การในแนวแกน การค้ำ และการบิด โดยเงื่อนไขในการทดสอบอื่นๆ เช่นเดียวกับการทดสอบแผงด้านข้าง ในการทดสอบได้ทำการทดสอบกับโครงสร้างหลังคาที่มีรูปแบบการต่อแบบในปัจจุบัน ซึ่งมีลักษณะการต่อ 2 แบบ ได้แก่ การต่อแบบขนานและการต่อแบบเฉียง ดังแสดงในภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 แสดงรูปแบบการต่อโครงสร้างหลังคาโดยวิธีโดยสารในปัจจุบัน (ก) ลักษณะการต่อโครงสร้างแบบขนาน (ข) ลักษณะการต่อโครงสร้างแบบเฉียง

4.7.2 การทดสอบโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ

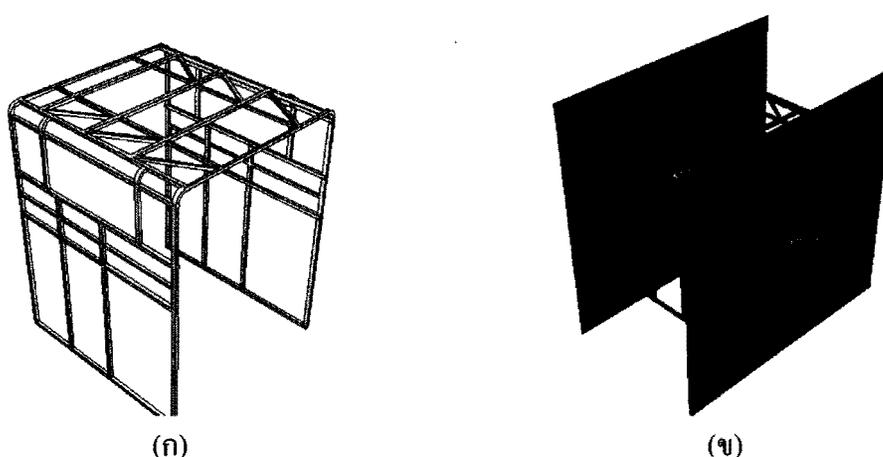
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนลักษณะของชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา ที่มักใช้ติดตั้งในบริเวณที่ต่อเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา ดังภาพที่ 4.17 ทั้งนี้ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นท่อเหล็กที่หน้าตัดแตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลม หน้าตัดสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยูและหน้าตัดรูปตัวแอล มีขนาดและลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.18 ทั้งนี้ได้ทำการจำลองโครงสร้างหลังคาที่ติดตั้งชิ้นส่วนเสริมแต่ละแบบ แล้วให้รับภาระการชนในแนวแกนเท่านั้น จากนั้นจะนำผลจากการทดสอบไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างที่ใช้เหล็กหน้าตัดแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.18 แสดงลักษณะหน้าตัดของชิ้นส่วนเสริมโครงสร้างหลังการย่นดัดโดยสาร (ก) หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม (ข) หน้าตัดรูปวงกลม (ค) หน้าตัดรูปตัวแอลและ (ง) หน้าตัดรูปตัวยู

4.8 การทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่างโครงสร้างหลังคากับโครงสร้างด้านข้าง

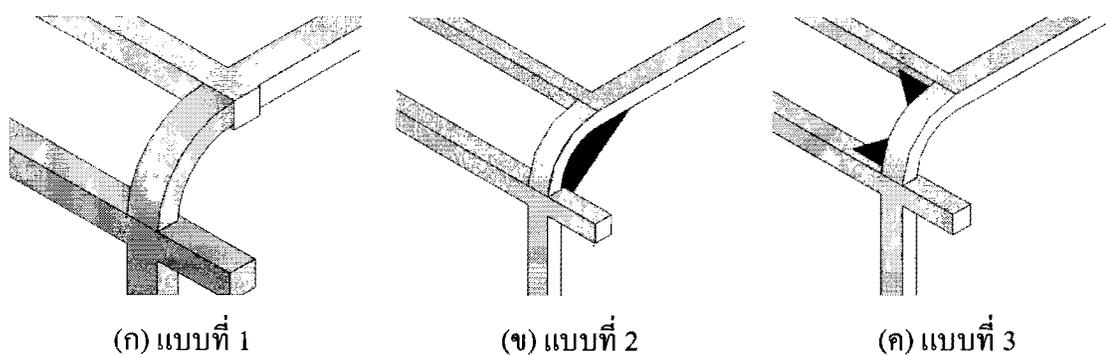
ในส่วนนี้เป็นการทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อขึ้นจากโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ และโครงสร้างด้านข้างแบบต่างๆ โดยทำการต่อสลับนกกันระหว่างโครงสร้างหลังคากับโครงสร้างด้านข้างแต่ละแบบ ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยใช้วิธี FEA เป็นหลัก และทดสอบกับภาระกระทำในแนวแกนจากด้านหน้าเท่านั้น เนื่องจากเป็นรูปแบบการชนที่พบมากที่สุด ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบนี้ประกอบด้วยโครงสร้างด้านข้างย่นดัดโดยสาร 3 แบบ และโครงสร้างหลังการย่นดัดโดยสาร 2 แบบ เมื่อนำมาต่อประกอบสลับกกันจะได้รูปแบบโครงสร้างที่ใช้ทั้งหมด 6 แบบ สำหรับการทดสอบนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาว่าในการใช้โครงสร้างแต่ละแบบเมื่อประกอบกันเป็นโครงสร้างจริงแล้ว การจับคู่แบบใดจะมีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้มากที่สุด เพื่อที่จะเป็นข้อมูลในการเลือกใช้ต่อไปในการผลิต ภาพที่ 4.19 (ก) แสดงตัวอย่างของการต่อกันระหว่างโครงด้านข้างแบบขนานกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ส่วนภาพที่ 4.19 (ข) เป็นลักษณะของการเตรียมโครงสร้างเพื่อใช้ทดสอบในโปรแกรม FEA จากภาพจะเห็นว่า มีผนังกำแพง 2 แผ่นที่อยู่ด้านหน้ากับด้านหลังของโครงสร้าง โดยแผ่นหลังจะยึดอยู่กับที่ ทำหน้าที่วัดค่าภาระที่ได้จากการทดสอบ ส่วนแผ่นหน้าจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 64 km/h พุ่งเข้าชนกับโครงสร้างในแนวแกนโดยกำหนดให้กำแพงทั้ง 2 มีคุณสมบัติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง



ภาพที่ 4.19 แสดงตัวอย่างลักษณะการต่อประกอบกันของโครงสร้างด้านข้างกับ โครงสร้างหลังคาของรถยนต์โดยสาร (ก) การต่อ โครงสร้างด้านข้างแบบขนานกับ โครงหลังคาแบบเฉียง (ข) การเตรียม โครงสร้างใน โปรแกรม FEA

4.9 การทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

การศึกษาส่วนนี้มุ่งศึกษาลักษณะการยึดต่อ โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ทั้งนี้ใน โครงสร้างของรถยนต์โดยสารนั้น บริเวณจุดที่มีความเสี่ยงหรือเป็นจุดวิกฤติที่สำคัญอีกจุดหนึ่ง ได้แก่ บริเวณการยึดต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคาและ โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ซึ่งเมื่อเกิดอุบัติเหตุแล้วบริเวณจุดนี้มักจะเป็นจุดที่เกิดการเสียหายบ่อยครั้ง โดยจากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมามีพบว่าในปัจจุบันผู้ต่อรถยนต์โดยสารส่วนใหญ่มักนิยมเชื่อมต่อบริเวณนี้ให้มีลักษณะต่อทาบบริเวณส่วนโค้งระหว่าง โครงสร้างหลังคาและ โครงสร้างแผงด้านข้างของรถยนต์โดยสาร แต่ผู้ต่อรถยนต์โดยสารบางทีก็ไม่ได้เสริมในส่วนนี้ โดยในการศึกษาส่วนนี้จะทำการทดสอบและวิเคราะห์ด้วย FEA เพื่อหาค่าพลังงานดูดซับเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการต่อแต่ละแบบ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกดที่เกิดขึ้นกับการยึดต่อแต่ละรูปแบบ ทั้งนี้รูปแบบการยึดต่อที่ศึกษาจะพิจารณาจากรูปแบบการต่อที่มีใช้อยู่เดิมเป็นหลักและเพิ่มลักษณะการต่อแบบอื่นๆ ซึ่งลักษณะ โครงสร้างที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงไว้ในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แสดงรูปแบบการต่อเสริมความแข็งแรงของการยึดต่อโครงสร้างหลังคา กับแผง
โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

จากภาพที่ 4.20 (ก) แสดงการต่อแบบที่ 1 ซึ่งเป็นลักษณะการต่อ โดยไม่มีส่วนเสริมยึดติดกับโครงสร้างเลย การต่อแบบที่ 2 ตามภาพที่ 4.20 (ข) ได้ออกแบบให้มีเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความหนา 2 mm ต่อเสริมในลักษณะทแยงมุมกับจุดต่อที่พิจารณา และสุดท้ายการต่อเสริมแบบที่ 3 ตามภาพที่ 4.20 (ค) เป็นการใส่เหล็กแผ่นขนาดหนา 2 mm ตัดให้มีรูปร่างสามเหลี่ยมมุมฉาก เพื่อเชื่อมเสริมบริเวณมุมของบริเวณรอยต่อของโครงสร้าง โดยด้านหนึ่งเชื่อมติดกับส่วนของโครงสร้างหลังคา และอีกด้านหนึ่งเชื่อมยึดติดกับโครงสร้างแผงด้านข้างลำตัวรถ โดยโครงสร้างทั้งหมดจะทำการทดสอบด้วย FEA ให้มีภาระกระทำในแนวแกน และใช้โครงสร้างหลังคาแบบขนานและโครงสร้างด้านข้างแบบขนาน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถในการรับแรงกดสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ ในงานวิจัยนี้

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบของโครงสร้างรถยนต์โดยสารส่วนต่างๆ รวมถึงผลการสอบเทียบผลการทดลองกับการจำลองด้วยโปรแกรม FEA เพื่อนำโปรแกรมดังกล่าวไปขยายผลให้กับโครงสร้างส่วนอื่นๆ ที่ไม่สามารถทำการทดลองจริงได้ โดยจะได้ทำการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบเป็นส่วนๆ ตามหัวข้อที่กล่าวผ่านมาในบทที่ 4

5.1 ผลการสอบเทียบระหว่างการทดลองกับการทดสอบด้วยโปรแกรม FEA

ในหัวข้อนี้เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบโปรแกรม FEA (ABAQUS) ที่ใช้งาน กับผลการทดลอง เพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและขยายผลการทดสอบไปยังส่วนอื่นๆ ที่ไม่สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดใหญ่และใช้ต้นทุนสูง ในการสอบเทียบจะใช้ส่วนของโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารที่มีการต่อ 3 แบบดังรายละเอียดการทดลองและแบบจำลองที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 เป็นโครงสร้างหลักในการสอบเทียบ ทั้งนี้การสอบเทียบได้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่หนึ่งเป็นการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ ใช้การทดสอบภายใต้ภาระที่กระทำ 3 แบบคือ 1 ภาระแบบกดในแนวแกน 2 ภาระแบบดัด 3 ภาระแบบบิด และส่วนที่สองเป็นการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง ใช้เพียงการกระแทกในแนวแกนเท่านั้น ผลการสอบเทียบทั้งสองส่วนมีดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ

ในการสอบเทียบด้วยการชนแบบความเร็วต่ำของชิ้นส่วน โครงสร้างแผงด้านข้างของรถยนต์โดยสารนี้ ได้ทำการสอบเทียบความแม่นยำของโปรแกรม โดยพิจารณาจากผลของรูปแบบการเสียหายของโครงสร้าง และลักษณะกราฟการตอบสนองของโครงสร้างที่ได้จากโปรแกรม FEA เปรียบเทียบกับผลจากการทดลองจริง นอกจากนี้ยังทำการคำนวณค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างที่ได้จากการทดลองเทียบกับจากแบบจำลองทาง FEA เพื่อเปรียบเทียบกันอีกด้วย และเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงขอทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบการเสียหายของโครงสร้าง และลักษณะกราฟการตอบสนองของโครงสร้าง ภายใต้ภาระกระทำแบบต่างๆ ในหัวข้อต่อไปนี้ ส่วนการเปรียบเทียบค่าพลังงานดูดซับที่ได้จะทำการอภิปรายโดยรวมในหัวข้อถัดไปอีก

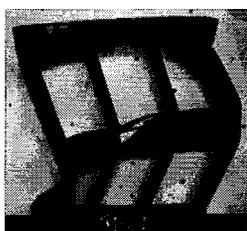
5.1.1.1 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาการตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้าง

โครงสร้างใดก็ตามเมื่อถูกแรงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างจะตอบสนองด้วยการเสียรูป โดยขยับตัวในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งออกมา โดยรูปแบบการเสียหายนั้นๆ มักมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งโดยปกติขึ้นกับลักษณะการต่อ รูปทรงของโครงสร้าง และคุณสมบัติของวัสดุ นอกจากนี้ในระหว่างการเสียรูปของโครงสร้าง โครงสร้างจะดูดซับแรงกระทำและปลดปล่อยแรงปฏิกิริยาออกมาตลอดเวลา โดยแรงปฏิกิริยาที่ปล่อยออกมานั้นสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์กับระยะขยับตัวได้ เรียกว่ากราฟของภาระและระยะขยับตัว (Load Displacement Curve) หรือกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะขยับตัว ซึ่งนับเป็นการตอบสนองของ โครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่ง

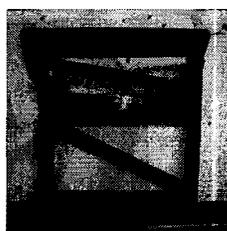
(1) การตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างภายใต้ภาระกดในแนวแกน

(1.1) ผลการทดสอบด้วยการทดลองจริง

รูปแบบการเสียหายของชิ้นส่วน โครงสร้างภายใต้ภาระการกดในแนวแกน แสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งสังเกตได้ว่าลักษณะการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบ สลับฟันปลาส่วนใหญ่จะเสียหายบริเวณส่วนเสริม โครงสร้างเป็นหลัก ดังแสดงภาพที่ 5.1 (ข) และ 5.1 (ค) ส่วนการต่อแบบขนานพบว่ามี การเสียหายเกิดขึ้นบริเวณคานเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพที่ 5.1 (ก)



(ก)

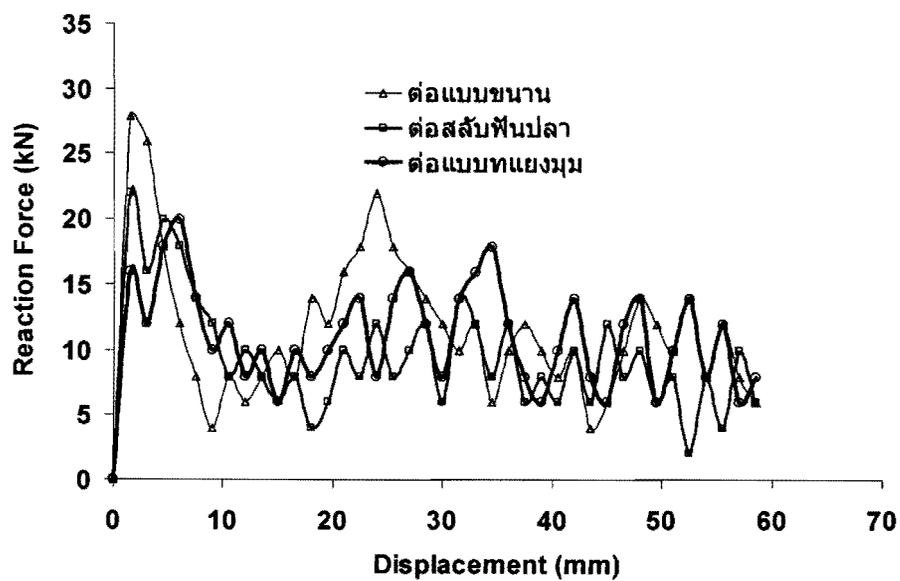


(ข)



(ค)

ภาพที่ 5.1 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดลองภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน
(ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

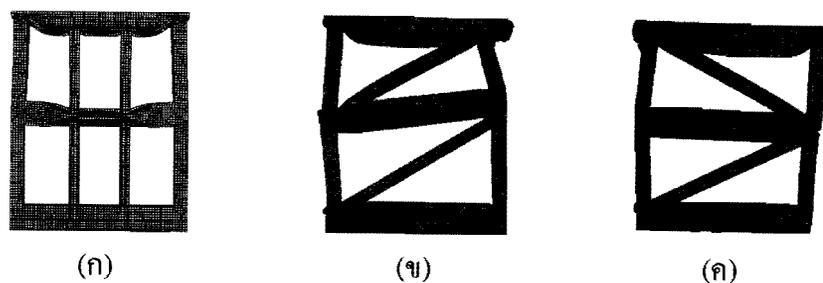


ภาพที่ 5.2 แสดงกราฟค่าภาระที่กระทำกับระยะขยับตัวจากการทดลองของโครงสร้างที่ต่อทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน

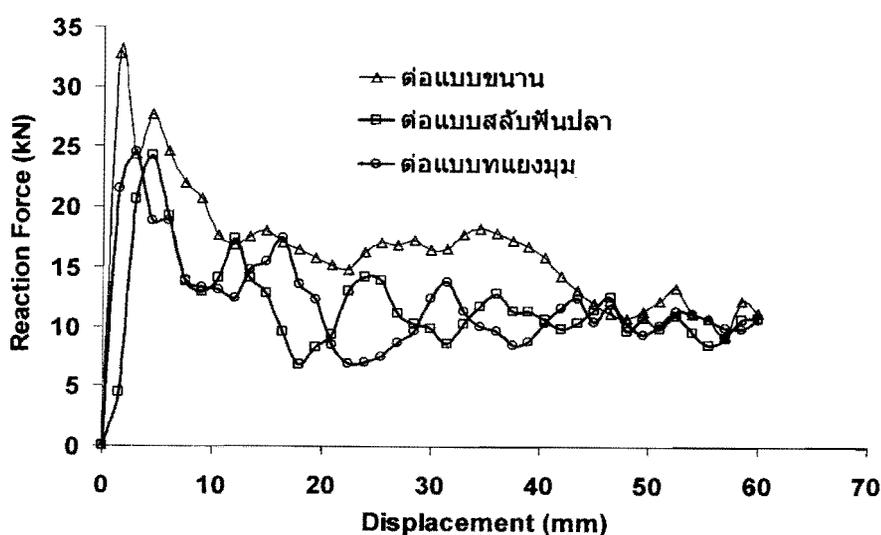
จากกราฟในภาพที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาและระยะขยับตัวของโครงสร้างที่ทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกน โดยในแกนนอนแสดงระยะขยับตัวของโครงสร้างตลอดการทดสอบและแกนตั้งแสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการทดสอบ จากกราฟของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างที่ต่อแบบขนานจะมีค่าแรงปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างที่ต่ออีก 2 แบบที่เหลือ โดยจุดสูงสุดของกราฟในช่วงแรกของโครงสร้างแต่ละแบบนั้นแสดงถึงค่าภาระวิกฤติที่เกิดขึ้น โดยพบว่าค่าภาระวิกฤติของโครงสร้างแบบขนานมีค่าสูงสุด คือ 28 kN รองลงมาเป็นค่าภาระวิกฤติของโครงสร้างแบบสลัฟพื้นปลาและแบบทแยงมุม ซึ่งมีค่า 22 kN และ 16 kN ตามลำดับ หลังจากนั้นกราฟทุกเส้นจะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของกราฟที่ได้จากการทดสอบภายใต้การชน ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างก็คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟนี้ และได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

(1.2) ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง FEA

ผลการจำลองด้วย FEA แสดงในภาพที่ 5.3 ซึ่งเป็นรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน โดยในภาพที่ 5.3 (ก) เป็นผลการทดสอบของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานซึ่งจะมีลักษณะการเสียหายบริเวณส่วนคาน โครงสร้างหลักเป็นส่วนใหญ่ ส่วนภาพที่ 5.3 (ข) และภาพที่ 5.3 (ค) เป็นรูปแบบการขยับตัวของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลัฟพื้นปลา ตามลำดับ โดยลักษณะการเสียหายที่ได้จากแบบจำลองด้วย FEA นั้นมีลักษณะคล้ายกับผลที่ได้จากการทดลองมาก



ภาพที่ 5.3 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน (ก) โครงสร้างแบบขนาบ (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลัฟพื้นปลา



ภาพที่ 5.4 แสดงกราฟค่าภาระที่กระทำกับระยะขยุบตัวจากการทดสอบด้วย FEA ของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน

ภาพที่ 5.4 เป็นกราฟค่าภาระและระยะขยุบตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่เกิดภาระวิกฤติ โครงสร้างที่ต่อแบบขนาบ มีค่ามากกว่าอีก 2 แบบ คือประมาณ 34 kN หลังจากนั้นจะลดลงแต่เส้นกราฟก็ยังคงมีค่าสูงกว่าเส้นกราฟของอีก 2 แบบ ตลอดการทดสอบ ส่วนการต่อแบบทแยงมุม และต่อแบบสลัฟพื้นปลามีค่าภาระวิกฤติใกล้เคียงกัน คือประมาณ 24 kN จากลักษณะกราฟดังกล่าวสรุปได้ว่าทั้งผลการทดลองและผลการทดสอบด้วยวิธี FEA โครงสร้างที่ต่อแบบขนาบจะมีการรับภาระได้มากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลัฟพื้นปลา

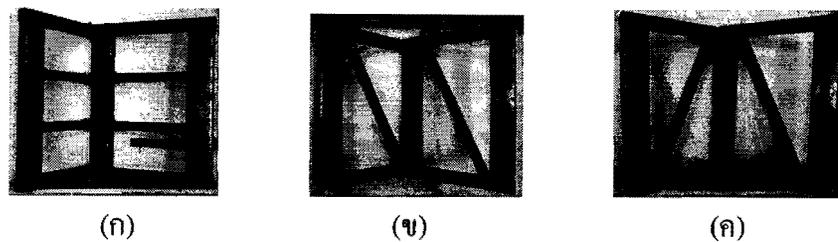
(2) การตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างภายใต้ภาระแบบคัต

การทดสอบการชนภายใต้ภาระแบบคัตจะเก็บผลของค่าภาระที่ใช้คัต ในรูปของโมเมนต์คัต และมุมคัตที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ โดยมุมคัตที่เกิดขึ้นวัดเป็นมุมเรเดียน (*Rad*) ทำการทดสอบ 2 วิธีเปรียบเทียบกัน ได้แก่การทดลองจริงเทียบกับการทดลองด้วยแบบจำลอง FEA

(2.1) ผลการทดสอบด้วยการทดลองจริง

รูปแบบการเสียหายของชิ้นส่วน โครงสร้างภายใต้ภาระการคัตแสดงใน

ภาพที่ 5.5



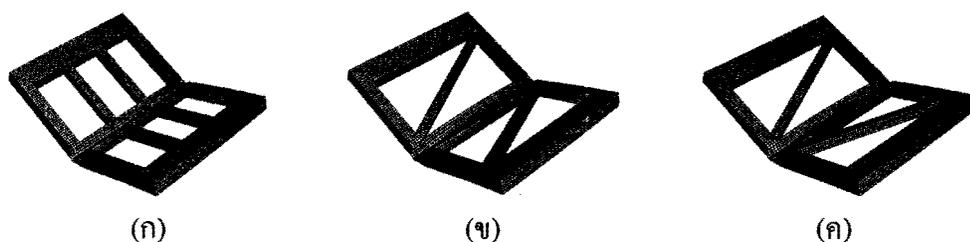
ภาพที่ 5.5 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดสอบจริง ภายใต้ภาระกระทำแบบคัต
(ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับพื้นปลา

ภาพที่ 5.5 เป็นรูปแบบการเสียหายที่ได้จากการทดลองจริงภายใต้ภาระแบบคัตของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ โดยภาพที่ 5.5 (ก) เป็นโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีลักษณะการเสียหายตรงกึ่งกลางของโครงสร้าง เนื่องจากในจุดนี้เป็นแนวที่หัวคัตของเครื่องทดสอบสัมผัสกับชิ้นส่วน ซึ่งการเสียหายมักเกิดขึ้นตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนเสริมกับชิ้นส่วนหลักของโครงสร้าง ในภาพที่ 5.5 (ข) เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุม พบว่ามีการยุบตัวบริเวณตรงกลางของโครงสร้างระหว่างชิ้นส่วนคานหลักกับชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเสริมเช่นเดียวกับการต่อแบบขนาน และภาพที่ 5.5 (ค) เป็นลักษณะการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบสลับพื้นปลา ซึ่งมีลักษณะการเสียหายที่คล้ายกับสองแบบแรกที่ผ่านมาแล้ว

(2.2) ผลการทดสอบด้วยวิธี FEA

ภาพที่ 5.6 เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการคัต จากภาพสังเกตเห็นว่าการเสียหายจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนกลางโครงสร้างเป็นหลัก ซึ่งโครงสร้างทั้ง 3 แบบมีลักษณะการเสียหายที่คล้ายกัน และเหมือนกับรูปแบบการ

เสียหายที่ได้จากการทดลองจริง แต่หากพิจารณาในแง่ของพลังงานดูดซับของแต่ละ โครงสร้างแล้ว ผลที่ได้มีความแตกต่างกันบ้าง ดังจะได้อภิปรายในหัวข้อต่อไป

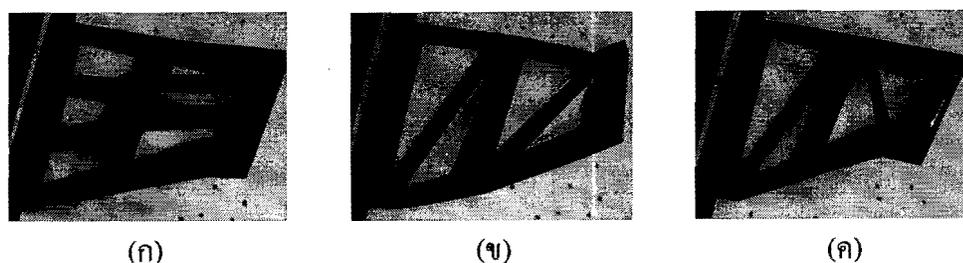


ภาพที่ 5.6 แสดงรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระการตัดโดยการทดสอบด้วยวิธี FEA (ก) โครงสร้าง ต่อแบบขนาน (ข) โครงสร้างต่อแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างต่อแบบสลับฟันปลา

(3) การตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างภายใต้ภาระแบบบิด

การทดสอบการชนภายใต้ภาระแบบบิดนี้จะเก็บผลที่ได้จากการทดสอบ เช่น เดียว กับผลการทดสอบแบบตัด คือจะเก็บผลของค่าภาระที่ใช้บิดและมุมบิดที่เกิดขึ้นตลอดการ ทดสอบ โดยมุมบิดที่เกิดขึ้นวัดเป็นมุมเรเดียน (*Rad*) ทำการทดสอบ 2 วิธีเปรียบเทียบกัน ได้แก่การ ทดลองจริงเทียบกับการทดลองด้วยแบบจำลอง FEA

(3.1) ผลการทดสอบด้วยการทดลองจริง



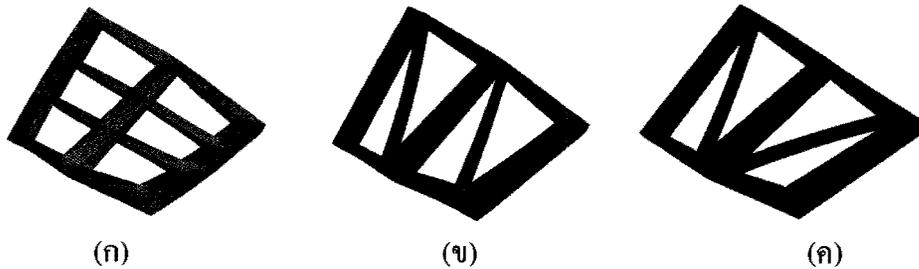
ภาพที่ 5.7 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ได้จากการทดลองภายใต้ภาระกระทำแบบบิด (ก) โครงสร้าง แบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

ภาพที่ 5.7 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างภายใต้ภาระการบิดที่ ได้จากการทดลอง ในภาพที่ 5.7 (ก) แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน โดยจะ สังเกตเห็นการเสียหายที่บริเวณส่วนขอบและส่วนเสริมของโครงสร้าง ส่วนภาพที่ 5.7 (ข) และ 5.7 (ค) แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา ซึ่งมีการ

เสียหายบริเวณส่วนขอบเป็นหลักและชิ้นส่วนที่เสริมความแข็งแรงจะเกิดการเสียหายเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการต่อแบบขนาน

(3.2) ผลการทดสอบด้วยวิธี FEA

ภาพที่ 5.8 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นส่วน โครงสร้างจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการบิด



ภาพที่ 5.8 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระที่กระทำแบบบิด (ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

จากภาพที่ 5.8 จะเห็นว่ารูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นของโครงสร้างทั้ง 3 แบบนั้นจะเสียหายที่ตรงบริเวณส่วนขอบและบริเวณมุมตรงจุดต่อเป็นหลัก ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับผลของการทดลองจริง ส่วนค่าของพลังงานดูดซับของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

5.1.1.2 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้าง

จากการศึกษาครั้งนี้ ได้คำนวณผลของการดูดซับพลังงานและการดูดซับพลังงานจำเพาะของชิ้นส่วน โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร ซึ่งได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 5.1 และจะได้อภิปรายผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้องภายใต้ภาวะที่กระทำแบบกดในแนวแกน ภาวะแบบคดและภาวะแบบบิด

ชนิดการต่อ	น้ำหนักชิ้นงาน (kg)	Stroke (mm)	องศาการบิด/คด (Rad.)	Experiments				Simulation (FEA)			
				P_{mean} (kN)	Moment (N.m)	Ea (N.m)	Es (N.m/kg)	P_{mean} (kN)	Moment (N.m)	Ea (N.m)	Es (N.m/kg)
Axial load											
ขนาน	1.67	60	-	11.47	-	688.2	412.1	16.06	-	963.78	577.11
ทแยงมุม	1.65	60	-	10.84	-	650.4	394.18	11.79	-	707.4	428.73
สลับฟันปลา	1.65	60	-	9.18	-	588.6	356.73	11.48	-	688.8	417.45
Bending load											
ขนาน	1.67	-	0.17	3.01	526.75	89.55	53.62	4.17	729.75	124.1	74.31
ทแยงมุม	1.65	-	0.17	2.64	462	78.54	47.6	3.83	670.25	113.94	69.05
สลับฟันปลา	1.65	-	0.17	2.78	486.5	82.71	50.13	3.98	696.5	118.41	71.76
Twisting load											
ขนาน	1.67	-	0.28	2.13	148.92	41.67	24.95	2.33	163.2	45.69	27.35
ทแยงมุม	1.65	-	0.28	2.38	166.79	46.7	27.96	3.43	240.21	67.26	40.76
สลับฟันปลา	1.65	-	0.28	2.39	167.02	46.76	28.34	3.39	237.49	66.5	40.3

(1) ผลการทดสอบภายใต้ภาวะแบบกดในแนวแกน

ผลการทดลองจริงภายใต้ภาวะแบบกดในแนวแกน พบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานให้ค่าการดูดซับพลังงานมากที่สุด โดยสามารถดูดซับพลังงานได้ 688.2 N.m ซึ่งมากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลา โดยทั้งสองสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 650.4 N.m และ 588.6 N.m ตามลำดับ สำหรับการทดสอบด้วยวิธี FEA การต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ 963.78 N.m ส่วนการต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลาโครงสร้างสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 707.4 N.m และ 688.8 N.m ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่มีลักษณะการต่อแบบขนาน สามารถที่จะดูดซับพลังงานได้มากกว่าการต่ออีกสองแบบ ซึ่งผลของ FEA มีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริง

(2) การทดสอบภายใต้ภาระแบบคัต

ผลการทดลองจริงภายใต้ภาระแบบคัต กรณีโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน สามารถดูดซับพลังงานจากการคัตเท่ากับ 89.55 N.m ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมดูดซับพลังงานได้ 78.54 N.m และโครงสร้างที่ต่อแบบสลักพื้นปลาดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 82.71 N.m จากผลการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าการต่อโครงสร้างแบบขนานจะให้ค่าการดูดซับพลังงานจากการคัตมากกว่าการต่อแบบอื่นๆ สำหรับผลจากการทดสอบด้วยโปรแกรม FEA คือ การต่อโครงสร้างแบบขนาน สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 124.1 N.m การต่อแบบทแยงมุมให้ค่าการดูดซับพลังงานเท่ากับ 113.94 N.m และการต่อแบบสลักพื้นปลาสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 118.41 N.m จะเห็นได้ว่าการต่อโครงสร้างแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการคัตได้มากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ และพบว่าผลการคำนวณจาก โปรแกรมมีความสอดคล้องกับการทดลองจริง

(3) การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด

การทดสอบโครงสร้างภายใต้ภาระแบบบิด ผลที่ได้จากการทดลอง คือ โครงสร้างแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการบิดได้เท่ากับ 41.67 N.m การต่อแบบทแยงมุมสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 46.7 N.m และการต่อแบบสลักพื้นปลาได้ 46.76 N.m ซึ่งจะเห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบสลักพื้นปลาและต่อแบบทแยงมุมมีค่าการดูดซับพลังงานจากการบิดใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับการต่อแบบขนานแล้วพบว่าโครงสร้างที่ทั้งสองสามารถดูดซับแรงบิดได้มากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน ส่วนผลการทดสอบจากโปรแกรม FEA จะได้ผลการดูดซับพลังงานของโครงสร้างแบบขนานเท่ากับ 45.69 N.m การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมให้ผลการดูดซับพลังงานเท่ากับ 67.26 N.m และโครงสร้างที่ต่อแบบสลักพื้นปลาสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 66.50 N.m ซึ่งจะเห็นว่า การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมและแบบสลักพื้นปลามีความสามารถใกล้เคียงกัน โดยภายใต้ภาระแบบบิดทั้งคู่ให้ผลการดูดซับพลังงานได้ดีกว่าการต่อแบบขนาน และให้ผลสอดคล้องกันกับผลการทดลองจริง

5.1.2 ผลการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง

ในการสอบเทียบโปรแกรม FEA กับการทดลองด้วยความเร็วสูงนั้น ได้ใช้ชิ้นงานแบบเดียวกับที่ใช้ในการทดลองด้วยความเร็วต่ำ แต่ใช้รูปแบบการกระแทกในแนวแกนเพียงแบบเดียว เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ทดลอง ส่วนเงื่อนไขการทดลองสามารถรายละเอียดได้ในบทที่ 4 และผลการเปรียบเทียบการศึกษานี้มีดังนี้

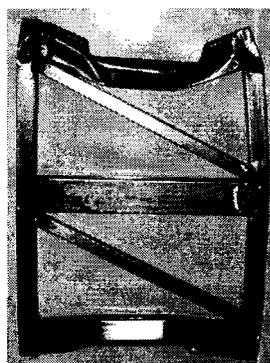
5.1.2.1 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาการตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้าง

(1) ผลการทดสอบด้วยทดลองจริง

รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ เมื่อรับแรงกระทำในแนวแกน แสดงในภาพที่ 5.9 ซึ่งพบว่าโครงสร้างทั้ง 3 แบบ มีรูปแบบการเสียหายคล้ายกัน กล่าวคือมีการยุบตัวแบบคดที่บริเวณกึ่งกลางของคานด้านบนซึ่งถูกกระทำโดยตรงจากค้ำน้ำหนัก โดยพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีการยุบตัวน้อยที่สุด เนื่องจากมีท่อนเหล็ก 2 ท่อน ที่วางขนานกัน ช่วยดูดซับแรง ในการศึกษานี้ได้บันทึกค่าของแรงปฏิกิริยาตลอดการกระทำที่เวลาต่างๆ และเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและเวลา ดังแสดงในภาพที่ 5.10 ทั้งนี้ขออธิบายเพิ่มเติมว่าในการทดลองด้วยความเร็วสูงนั้นไม่สามารถวัดค่าการยุบตัวของโครงสร้างในระหว่างการเสียหายได้ เนื่องจากการยุบตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมักนิยมเขียนกราฟของค่าภาระและเวลา มากกว่ากราฟของค่าภาระและระยะยุบตัวดังที่ใช้ในการศึกษาความเร็วต่ำ



(ก)



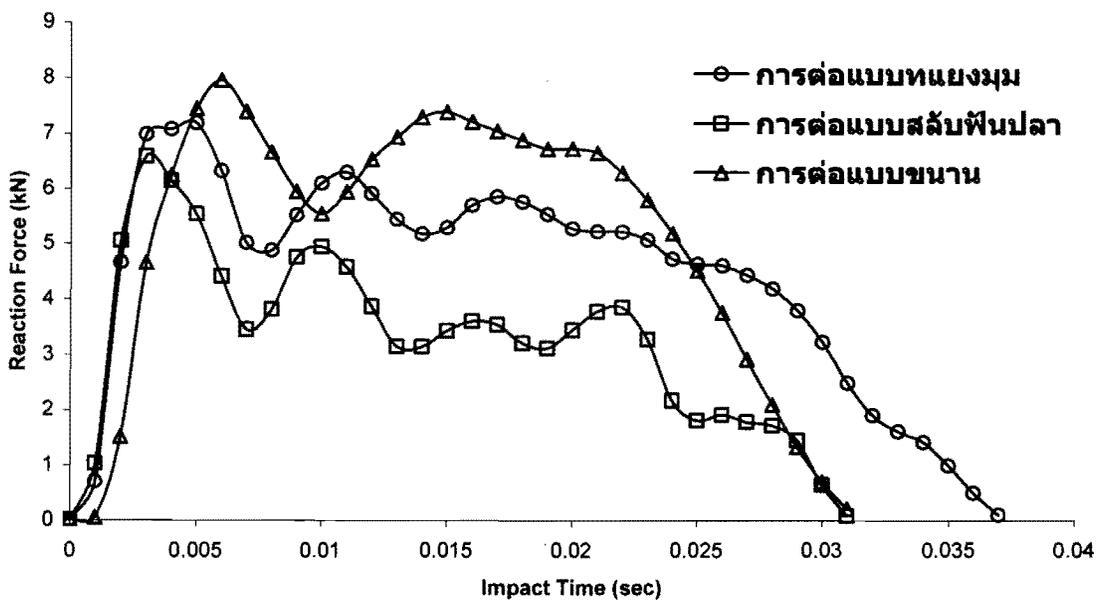
(ข)



(ค)

ภาพที่ 5.9 ลักษณะการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการทดลองกระทำด้วยความเร็วสูง (ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับพื้นปลา

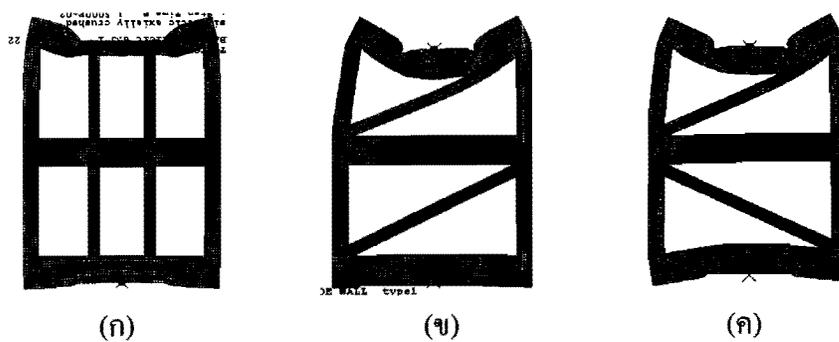
เมื่อพิจารณารูปกราฟของแรงปฏิกิริยาและเวลา ในภาพที่ 5.10 พบว่าลักษณะกราฟ จะมีการแกว่งตัวสูงสุดในรอบแรก จากนั้นกราฟจะตกลงมาและแกว่งตัวต่ำลงจนสิ้นสุดการกระทำ นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีค่าของแรงปฏิกิริยาสูงกว่าของโครงสร้างอีก 2 แบบตลอดการกระทำ



ภาพที่ 5.10 กราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการทดลองกระแทกด้วยความเร็วสูง

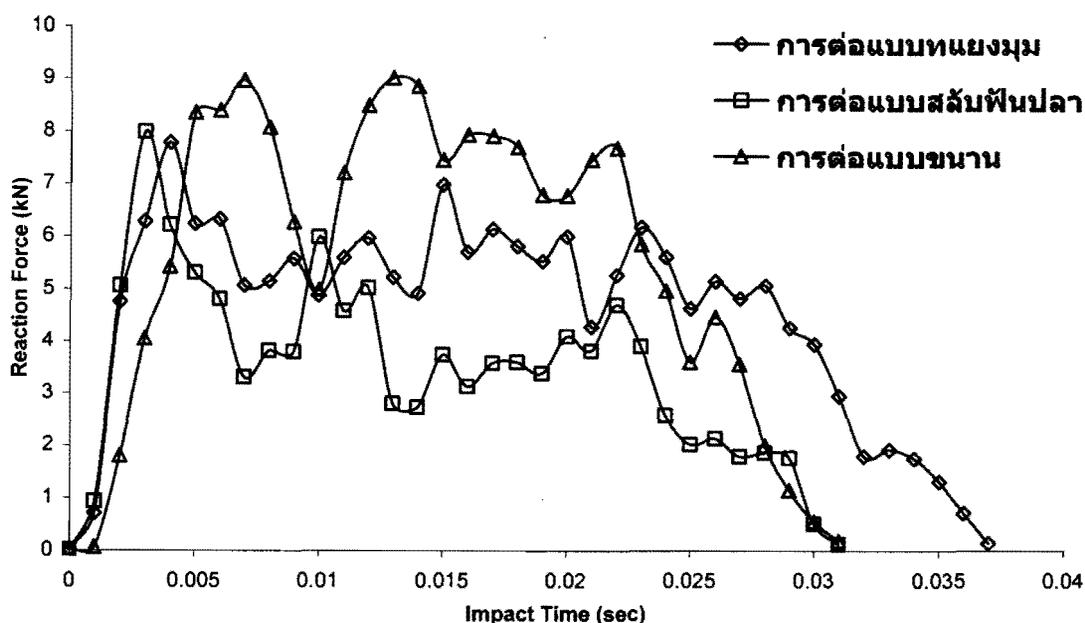
(2) ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง FEA

รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ที่จำลองจากโปรแกรม FEA เมื่อรับแรงกระแทกในแนวแกนแสดงในภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 ลักษณะการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการจำลองด้วย FEA ภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูง (ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลัฟพื้นปลา

จากภาพที่ 5.11 จะเห็นว่าแบบจำลองโครงสร้างทุกแบบมีรูปแบบการเสียหาย คล้ายกับผลจากการทดลอง กล่าวคือมีการยุบตัวแบบคัตที่บริเวณกึ่งกลางของคานด้านบนซึ่งถูกแรง กระแทกโดยตรงจากตุ้มน้ำหนัก โดยพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีการยุบตัวน้อยที่สุด ส่วน กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและเวลา ที่ได้จากแต่ละแบบจำลองแสดงในภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5.12 กราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการจำลองด้วย FEA ภายใต้ การกระแทกด้วยความเร็วสูง

เมื่อพิจารณากราฟของแรงปฏิกิริยาและเวลา ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ซึ่ง แสดงในภาพที่ 5.12 พบว่ากราฟมีลักษณะคล้ายกราฟจากการทดลอง โดยพบว่าการแกว่งตัวสูงสุดในรอบแรก จากนั้นกราฟจะตกลงมาและแกว่งตัวต่ำลงจนสิ้นสุดการกระแทก นอกจากนี้จะ สังเกตเห็นว่า โครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีค่าของแรงปฏิกิริยาสูงกว่าของ โครงสร้างอีก 2 แบบตลอด การกระแทก ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่คล้ายกับการทดลองมาก

5.1.2.2 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้าง

ค่าดูดซับพลังงานของ โครงสร้างที่ทดสอบภายใต้แรงกระแทกนั้นคำนวณ โดยการ หาค่าภาระเฉลี่ยจากกราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของ โครงสร้างแต่ละแบบ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคูณ กับระยะยุบสุดท้ายของ โครงสร้าง (จากการวัด ค่าที่ได้คือ 105 mm) ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณค่าการดูดซับพลังงานที่ได้จากการทดสอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้องภายใต้ภาวะความเร็วสูง

ผลการคำนวณพลังงานดูดซับของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร						
ชนิดการต่อ	Experiment			Simulation (FEA)		
	P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	E_a (kN.m)	P_{mean} (kN)	Stroke (m.m)	E_a (kN.m)
การต่อแบบขนาน	5.06	105	531.38	5.52	105	579.49
การต่อแบบทแยงมุม	4.34	105	456.59	4.50	105	472.86
การต่อแบบสลับพื้นปลา	3.23	105	339.64	3.42	105	339.22

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 จะเห็นว่า ในกรณีการทดลองนั้น โครงสร้างแบบต่อขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้ประมาณ 531.38 kN.m ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับพลังงานของโครงสร้างแบบต่อทแยงมุมและแบบสลับพื้นปลา ที่ดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 456.59 kN.m และ 339.64 kN.m ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการจำลองด้วย FEA นั้นมีค่าสูงกว่าการทดลอง โดยพบว่าแบบจำลองโครงสร้างแบบต่อขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้ประมาณ 579.49 kN.m ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับพลังงานของแบบจำลองโครงสร้างแบบต่อทแยงมุมและแบบสลับพื้นปลา ที่ดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 472.86 kN.m และ 339.22 kN.m ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง และจากแบบจำลองทาง FEA พบว่าค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเสมอ โดยพบว่ามีค่ามากกว่าประมาณ 1%-8% ซึ่งถือว่าเป็นช่วงที่ยอมรับได้

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองและผลการจำลองด้วย FEA ที่ผ่านมาจะเห็นว่าการตอบสนองของโครงสร้างมีลักษณะเดียวกัน ทั้งลักษณะกราฟของแรงปฏิกิริยาและรูปแบบการเสียหายก็คล้ายกัน โดยพบทั้งในกรณีการทดสอบด้วยความเร็วต่ำและการทดสอบด้วยความเร็วสูง แต่ในแง่ของค่าพลังงานดูดซับแล้วพบว่ายังมีค่าแตกต่างกันอยู่บ้าง ทั้งนี้หากพิจารณาค่าพลังงานดูดซับที่คำนวณได้ ในกรณีของความเร็วดำซึ่งแสดงในตารางที่ 5.1 จะพบว่าค่าที่ได้จากวิธี FEA มักให้ค่าตอบที่สูงกว่าค่าจากการทดลองเสมอ โดยจากการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองจริงกับวิธี FEA จะมีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเฉลี่ยประมาณ 28% สำหรับการทดสอบโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน 8% และ 14.5% สำหรับการทดสอบโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับพื้นปลา ตามลำดับ

แต่ในกรณีของการทดสอบด้วยความเร็วสูง พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองกับการจำลองด้วย FEA ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก โดยพบความผิดพลาดสูงสุดเพียง 8% เท่านั้น ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่อไปนี้

(1) ชิ้นงานจริงนั้นเป็นการผลิตจากการประกอบเหล็กหลายชิ้นเข้าด้วยกันย่อมมีจุดอ่อนและมีตัวแปรเพิ่มขึ้น แต่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถกำหนดให้โครงสร้างที่ประกอบกันเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยจุดต่อในแบบจำลองจะมีความสมบูรณ์ที่สุด

(2) ในการประกอบชิ้นงานเพื่อการทดลองจริง ได้ใช้วิธีการเชื่อมต่อชิ้นงานโดยให้แนวเชื่อมเกิดขึ้นรอบชิ้นงานบริเวณจุดต่อให้มากที่สุด แต่จริงๆแล้วอาจมีบางบริเวณที่รอยเชื่อมเข้าไปไม่ถึง ส่งผลให้ชิ้นงานจริงรับแรงได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

(3) คุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ทดสอบมีความไม่คงที่ตลอดทั้งชิ้นงาน เช่น ความหนาของเหล็กที่ใช้ แต่สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นสามารถกำหนดความหนาให้เท่ากันทั้งโครงสร้างได้ ซึ่งมีความแน่นอนกว่า

(4) ในการทดสอบด้วยเครื่องจับยึดชิ้นงานที่สร้างขึ้นอาจมีการเคลื่อนตัวในระหว่างการทดสอบ อันจะเป็นผลให้ทิศทางของแรงกดนั้นเปลี่ยนไป ซึ่งอาจเป็นผลกับตัวแปรที่พิจารณาได้ ส่วนในการทดสอบด้วยวิธี FEA เราสามารถกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขต่างๆ ได้ตามต้องการเช่น ค่าความเสียหายของผิวสัมผัสระหว่างแผ่นกดชิ้นงานกับผิวชิ้นงานที่ชนกัน เป็นต้น

กล่าวโดยสรุป จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยโปรแกรม FEA และผลจากการทดลองจะพบว่าค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการทดลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จาก FEA เสมอ ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุของความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างจริงที่ใช้ในการทดลองดังกล่าว ซึ่งความไม่สมบูรณ์เหล่านี้ส่งผลให้พลังงานดูดซับที่ชิ้นงานจริงดูดซับได้มีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าผลที่ได้จาก FEA และผลจากการทดลองต่างก็ให้ผลที่มีแนวโน้มเหมือนกัน ดังนั้นการประยุกต์ใช้โปรแกรม FEA ในการคำนวณโครงสร้างจึงสามารถช่วยทำนายการเปลี่ยนแปลงของพลังงานดูดซับได้ นอกจากนี้หากพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 5.1 และ 5.2 อาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีคุณสมบัติในการรับภาระจากการชนได้ดี กล่าวคือ สามารถรับภาระในแนวแกนและแนวคัตได้ดีกว่าโครงสร้างอีก 2 ชนิด ยกเว้นในกรณีการระเบิด ซึ่งโครงสร้างแบบต่อสลับพื้นปลาและต่อแบบเฉียงจะให้ค่าการดูดซับพลังงานได้ใกล้เคียงกัน และดีกว่าการต่อแบบขนาน

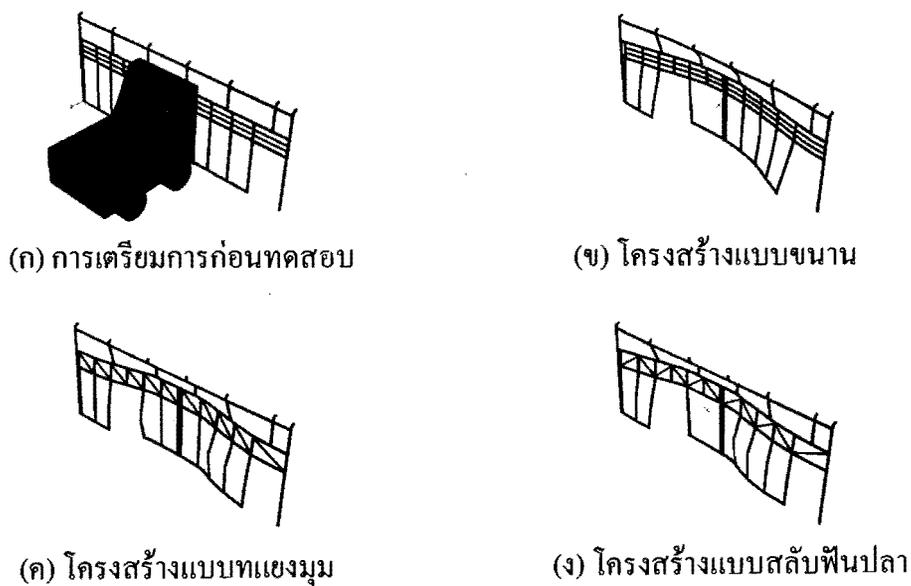
5.2 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารแบบเต็มแผง

หลังจากได้ทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA กับผลการทดลองแล้ว จึงได้นำโปรแกรมดังกล่าวมาขยายผลในการศึกษาการเสียหายของโครงสร้างขนาดจริง ซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงผลการ

ทดสอบการชนของโครงสร้างแฉงด้านข้างแบบขนาดจริง โดยได้ทำการทดสอบเป็น 2 กรณี คือ การทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้าง และการทดสอบการชนในแนวแกน ในการศึกษาส่วนนี้จะใช้การจำลองโดย FEA อย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดใหญ่และไม่สามารถใช้การทดลองจริงได้ โดยรูปแบบการเสียหายและผลการดูดซับพลังงานของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบ จะแสดงรายละเอียดแต่ละกรณีไว้ในหัวข้อที่ 5.2.1 และ 5.2.2

5.2.1 การตอบสนองของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้การชนในแนวตั้งฉาก

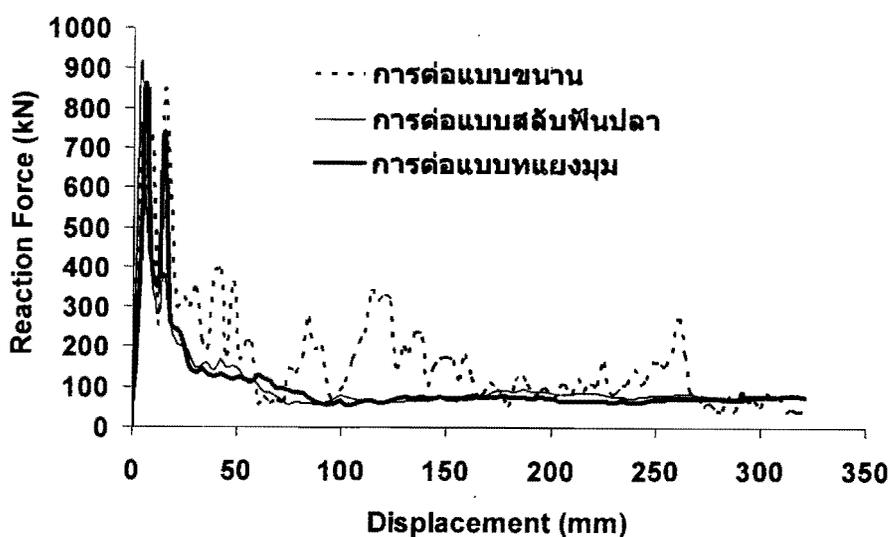
ผลจากการทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ต่อทั้ง 3 แบบ มีลักษณะการเสียหายของโครงสร้างแบบต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 5.13 ซึ่งเป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่รับภาระการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้าง โดยโครงสร้างถูกชนให้ยุบลงไปเป็นระยะทางประมาณ 320 mm ผลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจะแสดงผลในลักษณะรูปภาพ ดังแสดงรูปที่ 5.13 ส่วนผลการทดสอบที่เป็นค่าของแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัว จะถูกบันทึกโดยโปรแกรม FEA จากนั้นนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ข้อมูลในกราฟนี้จะใช้คำนวณหาค่าพลังงานที่โครงสร้างดูดซับได้ต่อไป



ภาพที่ 5.13 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวตั้งฉาก

ภาพที่ 5.13 แสดงรูปแบบการเสียหายของแฉงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ได้จากการทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้างด้วยวิธี FEA โดยในภาพที่ 5.13 (ก)

เป็นลักษณะการเสียรูปของโครงสร้างแบบขนาน ซึ่งจะเสียหาบริเวณกึ่งกลางโครงสร้างเป็นหลัก เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการชนเกิดขึ้น โดยลักษณะของการเสียหาจะมีชิ้นส่วนที่ยุบตัวเข้าไปด้านในของตัวรถ ลักษณะการยุบตัวเช่นนี้อาจทำให้ชิ้นส่วนที่ยุบตัวเข้าไปปะทะกับผู้โดยสารที่นั่ง ณ บริเวณตำแหน่งนั้นได้ ในภาพที่ 5.13 (ข) และ 5.13 (ค) แสดงลักษณะของการเสียรูปของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลัฟพื้นปลา ตามลำดับ โดยรูปแบบการเสียหาของโครงสร้างทั้ง 2 แบบนี้มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน คือ ลักษณะการเสียหาจะเกิดการยุบตัวบริเวณตรงกลางของโครงสร้างเป็นหลัก



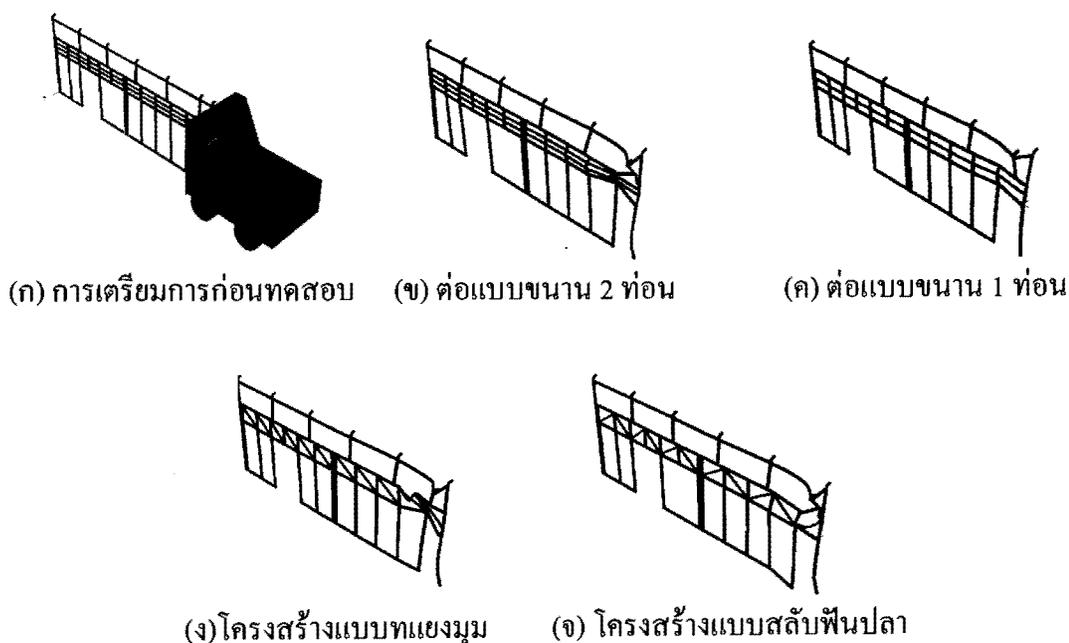
ภาพที่ 5.14 กราฟภาระและระยะยุบตัวที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวตั้งฉาก

ภาพที่ 5.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาหรือภาระกับระยะยุบตัวของโครงสร้างภายใต้การชนทางด้านข้าง ข้อมูลจากกราฟพบว่าโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบขนานมีลักษณะเส้นกราฟที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอ โดยมีค่าสูงสุดในช่วงแรกที่เกิดภาวะวิกฤติ แล้วกราฟจะตกลงอย่างกะทันหันและหลังจากนั้นจะเกิดการแกว่งขึ้นลงสลับกันไปเรื่อยๆ ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลัฟพื้นปลา ต่างก็มีลักษณะกราฟที่ใกล้เคียงกันและค่อนข้างราบเรียบ ซึ่งข้อดีของลักษณะกราฟเช่นนี้คือ เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น โครงสร้างสามารถดูดซับแรงได้โดยที่ไม่เกิดการกระชากหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งและอัตราหน่วงอย่างทันทีทันใด ซึ่งจะไม่เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้โดยสาร สำหรับค่าอัตราเร่งนี้มีความสำคัญอย่างมากในการศึกษาด้านการชนของโครงสร้าง โดยได้มีการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวางและมีข้อเสนอว่า ในการดูดซับแรงกระแทกนั้นไม่ควรก่อให้เกิดอัตราเร่งหรืออัตราหน่วงของโครงสร้างมาก

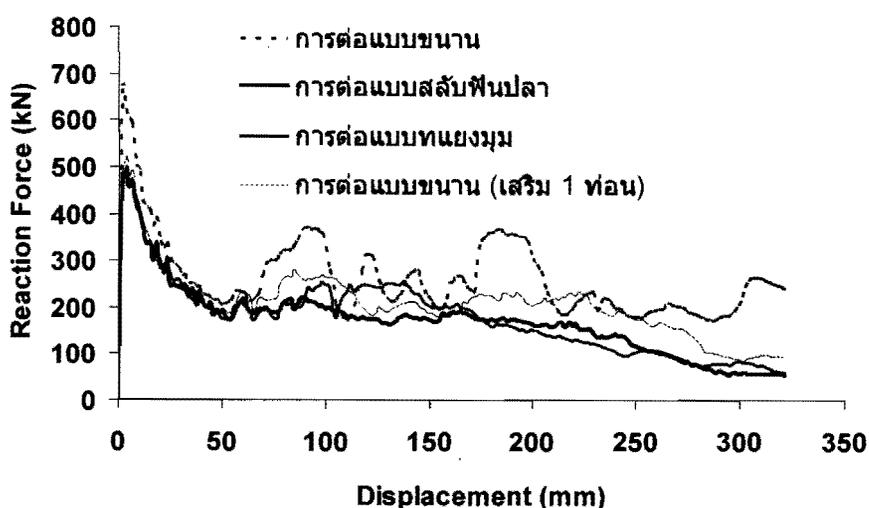
เกินไป [43] เพราะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งหรืออัตราหมุนงที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ได้ [38] ส่วนค่าพลังงานดูดซับที่แผงโครงสร้างด้านข้างแต่ละแบบดูดซับได้นั้น จะทำการคำนวณและแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

5.2.2 การตอบสนองของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้การชนในแนวแกน

ผลจากการทดสอบการชนในแนวแกนของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารทั้งสามแบบมีลักษณะการเสียหายดังแสดงในภาพที่ 5.15 โดยในภาพที่ 5.15 (ก) เป็นภาพแสดงการเตรียมโครงสร้างก่อนการทดสอบในโปรแกรม FEA ส่วนในภาพที่ 5.15 (ข) และภาพที่ 5.15 (ค) เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานเสริมด้วยเหล็ก 2 ท่อนและต่อเสริมด้วยเหล็ก 1 ท่อน ตามลำดับ ส่วนในภาพที่ 5.15 (ง) เป็นการแสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุม และภาพที่ 5.15 (จ) แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบสลักพื้นปลา ซึ่งทั้งหมดครบภาระการชนในแนวแกนที่ความเร็วการชนประมาณ 64 km/h และกำหนดให้ระยะชนยุบลงไป 320 mm จากภาพจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างทั้งหมดจะเกิดการเสียหายบริเวณด้านหน้าของโครงสร้างเป็นหลัก เนื่องจากเป็นส่วนที่มีการชนกับกำแพงโดยตรง โดยพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน (ภาพที่ 5.15 (ข) และ (ค)) จะเสียหายโดยการพับตัวของโครงสร้างช่องแรก ในขณะที่โครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลักพื้นปลา (ภาพที่ 5.15 (ง) และ (จ)) จะเกิดการพับตัวและโค้งตัวมากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน



ภาพที่ 5.15 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวแกน



ภาพที่ 5.16 กราฟภาระและระยะขยับตัวที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวแกน

ภาพที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยากับระยะขยับตัวของโครงสร้างที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารทั้ง 3 แบบ ภายใต้การชนในแนวแกน โดยข้อมูลในแกนนอนของกราฟแสดงระยะขยับตัวและข้อมูลในแกนตั้งคือค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ ผลการสังเกตพบว่าเส้นกราฟของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีแนวโน้มค่าแรงปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลัฟพื้นปลา ส่วนลักษณะการแกว่งตัวของกราฟจะมีลักษณะคล้ายกัน ทั้งนี้เมื่อลดจำนวนชิ้นส่วนการต่อเสริมโครงสร้างแบบขนานลง 1 ชิ้นพบว่าความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังมากกว่าค่าของการต่อแบบทแยงมุมและสลัฟพื้นปลาอยู่ดี รายละเอียดส่วนนี้จะบรรยายเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 5.2.3

5.2.3 ค่าการดูดซับพลังงานที่ได้จากการทดสอบของแผงโครงสร้างด้านข้างทั้ง 3 แบบ

เมื่อนำข้อมูลการทดสอบจากโปรแกรม FEA ของแผงโครงสร้างด้านข้างที่ต่อทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการชนด้านข้างและภาระการชนในแนวแกนมาคำนวณหาค่าภาระเฉลี่ย (P_{mean}) และระยะขยับตัว (*Stroke*) ของโครงสร้างก็จะสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ (E_a) ของโครงสร้างได้ โดยผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการคำนวณพลังงานดูดซับของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบ

ผลการคำนวณพลังงานดูดซับของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร							
ชนิดการต่อของแผง โครงสร้างด้านข้างรถยนต์ โดยสาร	การชนในแนวแกน			การชนด้านข้างในทิศทางตั้งฉาก			
	P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	E_a (kN.m)	P_{mean} (kN)	Moment (kN.m)	Angle (Rad)	E_a (kN.m)
การต่อแบบขนาน (2 ท่อน)	262.13	320	83.88	170.15	709.94	0.077	54.67
การต่อแบบขนาน (1 ท่อน)	207.32	320	66.34	135.86	566.85	0.077	43.65
การต่อแบบทแยงมุม	178.67	320	57.17	104.67	436.72	0.077	34.45
การต่อแบบสลับฟันปลา	171.45	320	54.86	107.24	447.44	0.077	33.63

จากตารางที่ 5.3 พบว่าในกรณีการทดสอบการชนในแนวแกนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร โครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ 83.88 kN.m ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลาดูดซับพลังงานได้ใกล้เคียงกัน คือ 57.17 kN.m และ 54.86 kN.m ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีความสามารถในการดูดซับพลังงานมากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุม 9.67 kN.m หรือประมาณ 14.57% และมากกว่าการต่อแบบสลับฟันปลา 11.48 kN.m หรือประมาณ 17.3% ตามลำดับ สำหรับกรณีการทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉาก พบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ 54.67 kN.m โครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมได้ 34.45 kN.m และโครงสร้างที่ต่อแบบสลับฟันปลาได้ 33.63 kN.m ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากได้ดีกว่าโครงสร้างอีก 2 แบบเช่นกัน โดยสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าการต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลาประมาณ 20.22 kN.m และ 19.07 kN.m หรือประมาณ 37% และ 29.39 % ตามลำดับ

สำหรับการต่อแบบขนานแบบใหม่ที่ได้ทำการลดจำนวนชิ้นส่วนที่ต่อเสริมลง 1 ชิ้นต่อช่อง จากเดิมมี 2 ชิ้นส่วนต่อช่อง พบว่าโครงสร้างที่ต่อเสริมแบบขนานเพียง 1 ชิ้น ดูดซับพลังงานลดลงประมาณ 20 - 21 % เมื่อเทียบกับกรณีมีชิ้นส่วนต่อขนาน 2 ชิ้น ในทุกรูปแบบการชน ซึ่งถือว่าลดลงไม่มากนัก อย่างไรก็ตามพบว่าโครงสร้างที่ต่อขนานด้วยชิ้นส่วนเสริมเพียง 1 ชิ้นนี้ก็

ยังคงสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่า โครงสร้างที่ต่อแบบสลักพื้นปลาและ โครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมเหมือนเดิม

5.3 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการยนต์โดยสาร

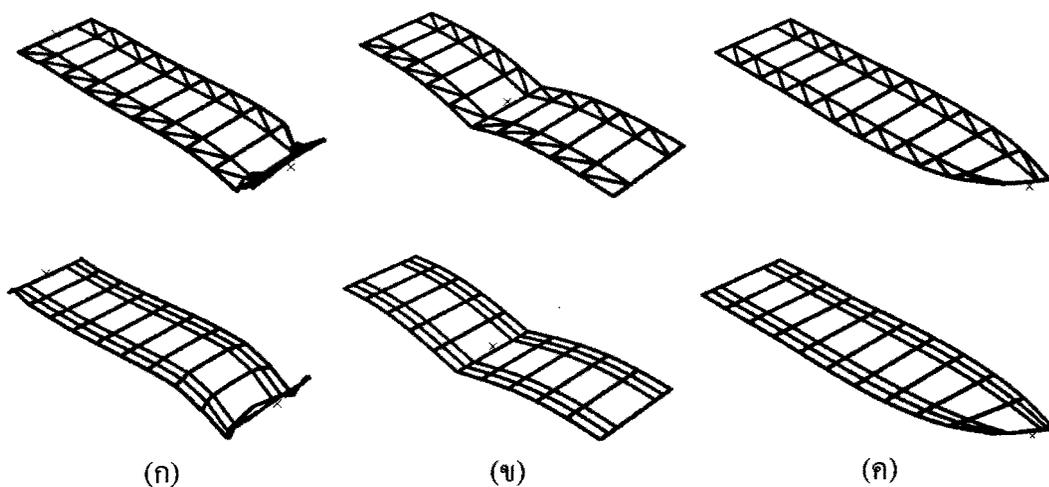
แบบจำลองโครงสร้างหลังคานำมาใช้ในการศึกษานี้จำลองมาจากแบบ โครงสร้างหลังคาที่ใช้ใช้งานกันทั่วไป ดังมีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.7 และมีผลการศึกษาดังนี้

5.3.1 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้กันในปัจจุบัน

โครงสร้างหลังคาที่ใช้ในการทดสอบเป็น โครงสร้างที่มีรูปแบบการต่อแบบในปัจจุบัน ซึ่งมีลักษณะการต่อ 2 แบบ ได้แก่ การต่อแบบขนานและการต่อแบบเฉียง ดังแสดงในภาพที่ 4.17 ซึ่งผลจากการศึกษาได้ทราบการตอบสนองของ โครงสร้างภายใต้แรงกระทำต่างๆ ดังนี้

5.3.1.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระแบบต่างๆ

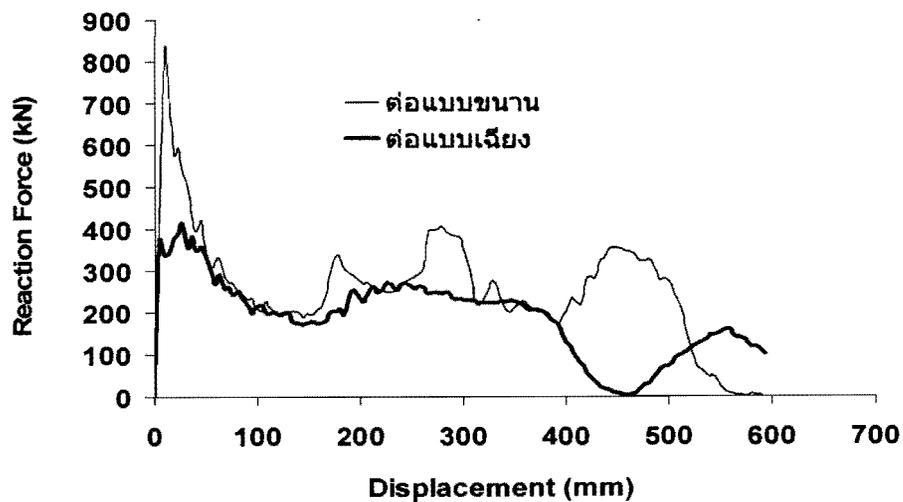
เมื่อโครงสร้างหลังคาได้รับภาระในรูปแบบต่างๆกระทำ ก็จะเกิดการเสียรูปในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 5.17 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียง โดยภาพแถวล่างแสดงโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนาน ส่วนภาพภาพในแถบบนแสดงโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียง ภาพที่ 5.17 (ก) แสดงรูปแบบการยุบตัวของ โครงสร้างภายใต้ภาระการชนในแนวแกน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าปลายโครงสร้างด้านหน้าจะเกิดการยุบตัวโค้งลง และหักตัวขึ้น โดยลักษณะการ โค้งตัวของ โครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีระยะการ โค้งตัวลึกมากกว่าแบบที่ต่อแบบเฉียง



ภาพที่ 5.17 แสดงรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียงภายใต้ภาระการชน 3 แบบ (ก) ภายใต้ภาระการชนในแนว แกน (ข) ภายใต้ภาระแบบค้ำและ (ค) ภายใต้ภาระแบบบิด

ส่วนภาพที่ 5.17 (ข) แสดงรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระการค้ำของโครงสร้าง ทั้ง 2 แบบ ซึ่งเกิดจากมุมค้ำประมาณ 0.2 เรเดียน โดยพบว่าเกิดการเสีรูปตรงบริเวณส่วนกลางของ โครงสร้างทั้ง 2 แบบ นอกจากนี้พบว่าโครงสร้างทั้งสองมีแนวโน้มการเสีรูปที่คล้ายกัน และภาพที่ 5.17 (ค) เป็นโครงสร้างที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระแบบบิต โดยมุมบิตที่เกิดขึ้นจาก การทดสอบมีค่าประมาณ 0.48 เรเดียน โดยจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างเกิดการบิดตัวตามแนวแรงบิต และมีรูปแบบการเสียหายที่คล้ายกัน

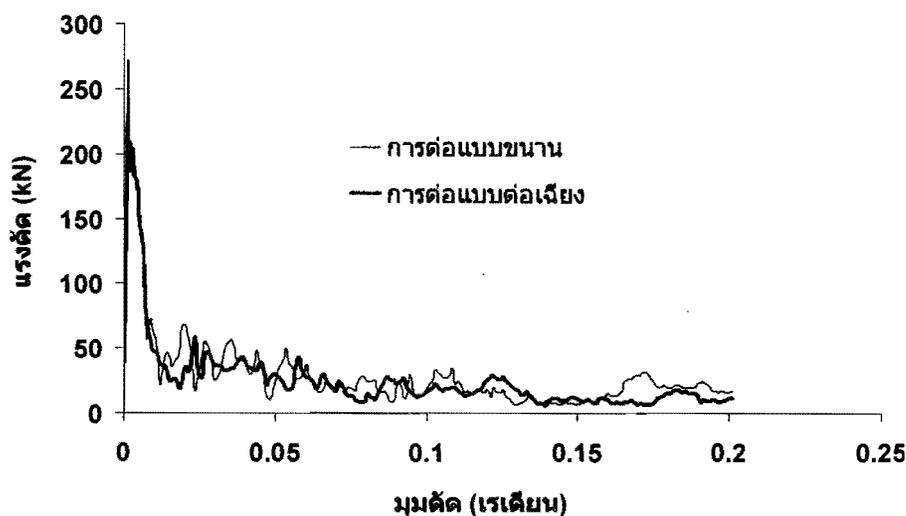
จากการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาภายใต้รูปแบบต่างๆ ได้ทำการ บันทึกค่าภาระและระยะการยุบตัว แล้วเขียนเป็นกราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง ภายใต้แรงกระทำแบบต่างๆ เปรียบเทียบกันระหว่างโครงสร้างที่ต่อแบบขนานและ โครงสร้างที่ต่อ แบบเฉียง ดังแสดงในรูปที่ 5.18, 5.19 และ 5.20 สำหรับภาระการชนในแนวแกน ภาระแบบค้ำ และ ภาระแบบบิต ตามลำดับ



ภาพที่ 5.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของ โครงสร้างหลังคาที่ต่อ แบบขนานและแบบเฉียงภายใต้การชนในแนวแกน

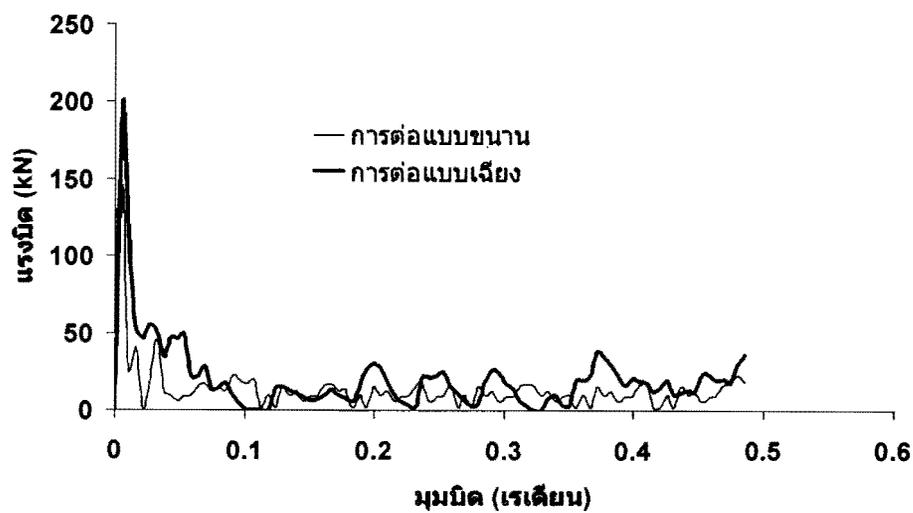
ภาพที่ 5.18 แสดงกราฟแสดงผลการทดสอบของแผงโครงสร้างหลังคาชนิด โดยสารภายใต้การชนในแนวแกน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของ โครงสร้างทั้ง 2 แบบ พบว่าช่วงแรกของกราฟโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานมีค่าภาระวิกฤติ ประมาณ 850 kN ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงมีค่าภาระวิกฤติต่ำกว่ามาก คือประมาณ 390 kN หลังจากจุดนี้เส้นกราฟจะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันไปจนสิ้นกระบวนการ ซึ่งจากการสังเกตลักษณะ เส้นกราฟของการต่อแบบเฉียงจะมีแนวโน้มแกว่งตัวน้อยกว่าการ โครงสร้างที่ต่อแบบขนาน แต่หาก พิจารณาค่าของแรงปฏิกิริยา จะพบว่าค่าแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีแนวโน้มที่สูง

กว่าค่าของการต่อแบบเฉียง พื้นที่ใต้กราฟของกราฟดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ และพลังงานดูดซับจำเพาะต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 5.4



ภาพที่ 5.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงคัดและมมคัดของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระการคัด

จากภาพที่ 5.19 เป็นกราฟแสดงค่าแรงคัดกับมมคัดของ โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียงภายใต้ภาระการคัด ทั้งนี้ในแกนนอนแสดงค่ามมคัดของโครงสร้าง ส่วนในแกนตั้งแสดงค่าแรงคัดที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งลักษณะของเส้นกราฟทั้งสองเส้นมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดสอบ จากการสังเกตพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถรับค่าภาระวิกฤติได้มากกว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียง โดยโครงสร้างแบบขนานสามารถรับภาระวิกฤติได้ประมาณ 270 kN ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงสามารถรับได้ประมาณ 220 kN จากนั้นกราฟจะลดลงมาประมาณ 50 kN แล้วแกว่งตัวขึ้นลงในระดับนี้ไปเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการเสียหาย พื้นที่ใต้กราฟของกราฟดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะสำหรับภาระการคัดต่อไป ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.4



ภาพที่ 5.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระการบิด

จากภาพที่ 5.20 เป็นกราฟของแรงบิดและมุมบิดของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระการบิดของโครงสร้างทั้งสองแบบ จากกราฟจะเห็นว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงในช่วงแรกจะมีค่าภาระสูงสุดประมาณ 200 kN ซึ่งมีค่ามากกว่าการต่อแบบขนานซึ่งมีค่าภาระสูงสุดประมาณ 150 kN หลังจากภาระวิกฤติแล้วเส้นกราฟของแรงบิดจะตกลง และแกว่งตัวขึ้นลงในช่วงระหว่าง 0 ถึง 50 kN นอกจากนี้ยังพบว่ากราฟของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงมีแนวโน้มค่าแรงบิดที่สูงกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกราฟดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะสำหรับภาระการบิดต่อไป ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.4 และการอภิปรายผลในหัวข้อต่อไปนี้

5.3.1.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากชนของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระแบบต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลการทดสอบจากโปรแกรม FEA ของแผงโครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้ในปัจจุบันทั้ง 2 แบบ ภายใต้ภาระการชนแบบต่างๆมาคำนวณหาค่าภาระเฉลี่ย (P_{mean}) และระยะยุบตัวของโครงสร้างในรูปแบบต่างๆ ก็จะสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ (E_a) ของโครงสร้างได้ และเมื่อนำค่า E_a มาหารด้วยมวลของโครงสร้าง (Structural Mass) ก็จะได้ค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) โดยผลการคำนวณที่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าพลังงานดูดซับ (E_d) และค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระแบบต่างๆ

ภาระที่กระทำ / รูปแบบการต่อ	Structural Mass (kg)	Stroke, Bending Angle, Twisting Angle	ผลการทดสอบ			
			P_{mean} (kN)	Moment (kN.m)	E_d (kN.m)	E_s (N.m/kg)
Axial load		(mm)				
การต่อแบบขนาน	197.51	600	255.75	-	153.45	776.92
การต่อแบบเฉียง	197.25	600	187.38	-	112.43	569.98
Bending load		(Rad.)				
การต่อแบบขนาน	197.51	0.2	28.62	119.42	23.88	120.92
การต่อแบบเฉียง	197.25	0.2	25	104.31	20.86	105.75
Twisting load		(Rad.)				
การต่อแบบขนาน	197.51	0.48	10.94	12.85	6.17	31.23
การต่อแบบเฉียง	197.25	0.48	17.48	20.54	9.86	50

จากตารางที่ 5.4 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาด้วยภาระทั้ง 3 แบบ โดยผลการทดสอบพบว่าในกรณีของการชนในแนวแกนนั้น โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 153.45 kN.m ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงได้ 112.43 kN.m ดังนั้นจะเห็นว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนในแนวแกนได้มากกว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงประมาณ 26.73% และเมื่อพิจารณาถึงมวลของตัวโครงสร้าง ซึ่งมีมวลเกือบเท่ากัน พบว่าความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานยังมากกว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงประมาณ 26.64% สำหรับผลการทดสอบภายใต้ภาระแบบคด พบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 23.88 kN.m และโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 20.86 kN.m ซึ่งหากเปรียบเทียบกันพบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนแบบคดได้มากกว่าวิธีการต่อแบบเฉียงประมาณ 12.65% และการ

ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ดีกว่าการต่อแบบเฉียงประมาณ 12.55% ส่วนการทดสอบภายใต้ภาระการบิด พบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 6.17 kN.m และโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 9.86 kN.m หากเปรียบเทียบกันจะพบว่า โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานจากการบิดได้มากกว่าการต่อโครงสร้างแบบขนานประมาณ 37.42% หากพิจารณาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ พบว่าโครงสร้างหลังคาแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าการต่อ โครงสร้างที่ต่อแบบขนาน 18.77 N.m/kg หรือประมาณ 37.54%

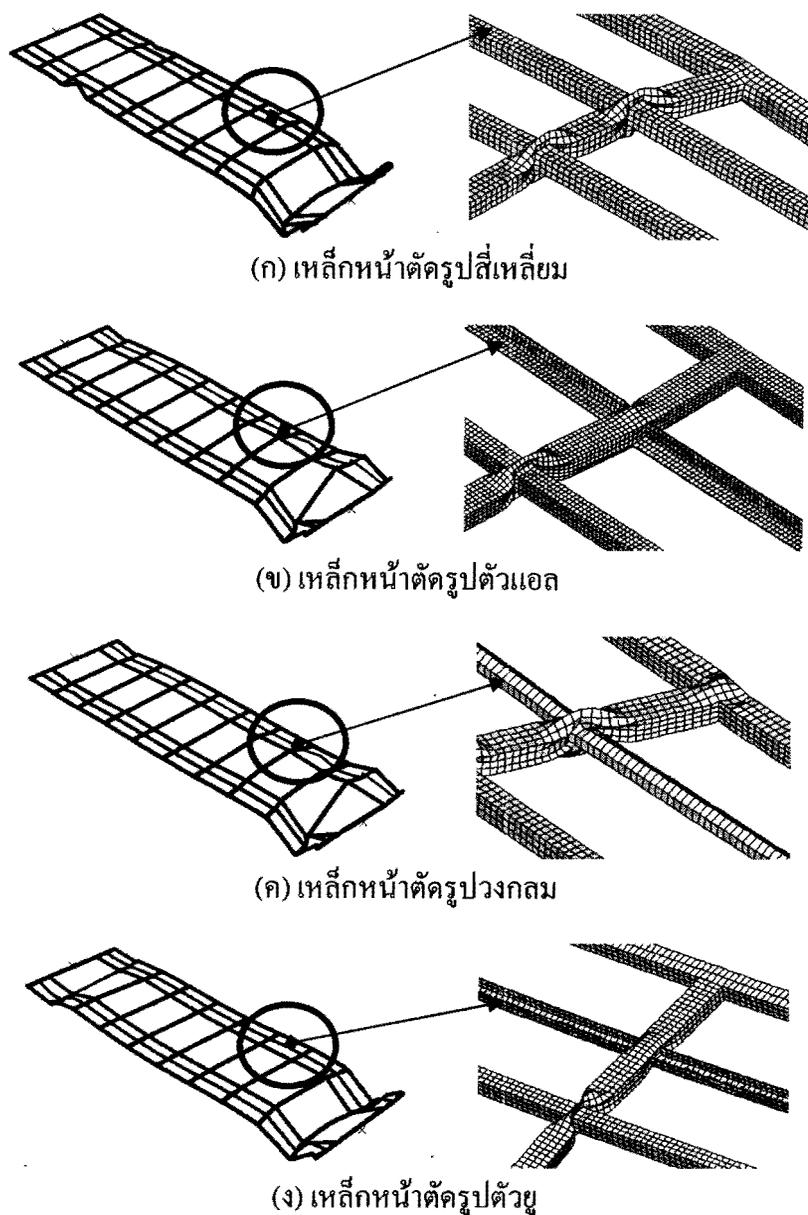
จากผลการศึกษาที่กล่าวมา จะเห็นว่าได้ว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนในแนวแกนและจากการชนแบบตัดได้มากกว่า โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียง แต่ในกรณีที่ได้รับภาระแบบบิด ผลการศึกษากลับตรงกันข้าม กล่าวคือโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงกลับมามีความสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน

5.3.2 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้นำโครงสร้างหลังคาแบบขนานซึ่งมีแนวโน้มการดูดซับพลังงานจากการชนที่ดีกว่า โครงสร้างที่ต่อแบบเฉียง มาทำการพัฒนาต่อโดยทดลองติดตั้งชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงที่มีหน้าตัดต่างๆ ได้แก่ หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม รูปวงกลม รูปตัวยูและรูปตัวแอล ดังรายละเอียดบรรยายในหัวข้อที่ 4.7.2 และดังรูปที่แสดงในภาพที่ 4.18 โดยมีผลการทดสอบดังนี้

5.3.2.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ

ภาพที่ 5.21 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดทั้ง 4 แบบดังกล่าว โดยการทดสอบใช้วิธีทดสอบด้วย FEA โดยในภาพที่ 5.21 (ก) คือโครงสร้างหลังคาที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ส่วนทางด้านขวาคือภาพขยายของชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเสริม และในภาพที่ 5.21 (ข), (ค) และ (ง) เป็นการแสดงรูปแบบการเสียหายของการต่อเสริมโครงสร้างด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวแอล รูปวงกลมและรูปตัวยูตามลำดับ

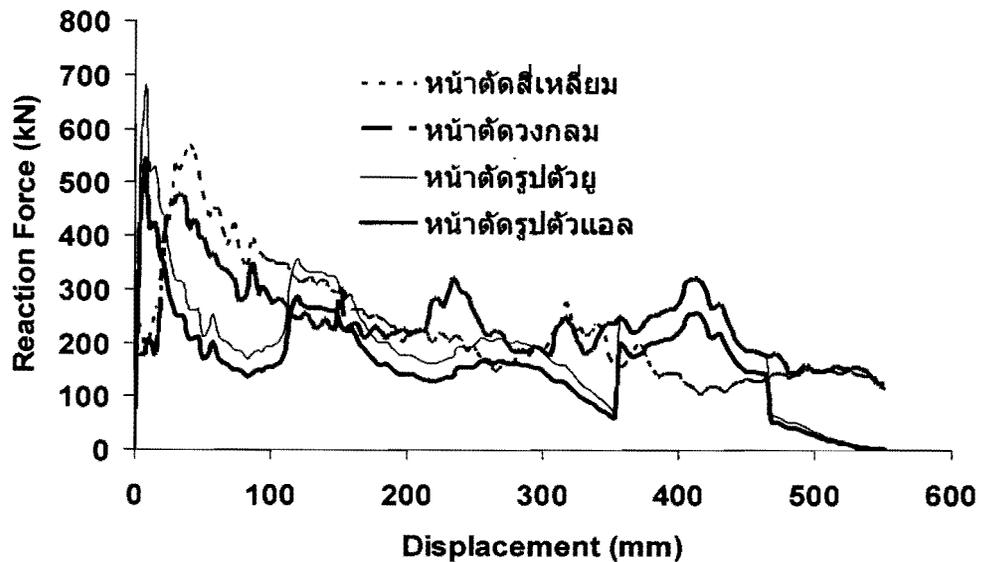


ภาพที่ 5.21 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่เสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัด 4 แบบ ทดสอบภายใต้ภาระการชนในแนวแกน

จากภาพที่ 5.21 จะเห็นว่ารูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีการเสียหายในบริเวณค้ำหน้าของโครงสร้างเป็นหลัก เพราะเป็นบริเวณที่เกิดการชน และพบว่าบริเวณคานท้ายของโครงสร้างก็มีลักษณะยุบตัวบ้าง เนื่องจากแรงบางส่วนที่ถูกกระจายไปตามโครงสร้าง ทั้งนี้คณะนักวิจัยได้ทำการขยายภาพการเสียหายของส่วนเสริมความแข็งแรงเพื่อศึกษาการเสียหายโดยละเอียด พบว่าตัวคานขวางของโครงสร้างส่วนใหญ่จะถูกชนจนเสียรูป

ก่อนที่ชิ้นส่วนต่อเสริมจะเกิดการเสียหายขึ้น โดยสังเกตเห็นว่าชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงแบบหน้าตัดวงกลมสามารถส่งผ่านแรงไปที่คานขวางได้มากที่สุด

เช่นเดียวกับการศึกษาส่วนอื่นๆ ที่ผ่านมา ในการทดสอบได้เก็บข้อมูลค่าภาระ และระยะการยุบตัวของ โครงสร้าง และเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5.22



ภาพที่ 5.22 แสดงผลการทดสอบการชนในแนวแกนของโครงสร้างหลังคาแบบขนานที่ติดตั้งส่วนเสริมความแข็งแรงแบบหน้าตัดต่างๆ

จากภาพที่ 5.22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของ โครงสร้างหลังคาแบบขนานที่ติดตั้งส่วนเสริมหน้าตัดต่างๆ ซึ่งทดสอบการชนในแนวแกน จากกราฟจะเห็นว่าโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กรูปตัวยูมีค่าภาระวิกฤติสูงสุด คือประมาณ 690 kN รองลงมาเป็นของหน้าตัดรูปตัวแอล ประมาณ 540 kN ส่วนโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและหน้าตัดรูปวงกลมมีค่าภาระวิกฤติที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 200 kN หลังจากนั้น ลักษณะกราฟของทุกโครงสร้างมีลักษณะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันตลอด ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่ารูปแบบการแกว่งตัวของกราฟมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน

5.3.2.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการต่อเสริมด้วย โครงสร้างหน้าตัดต่างๆ

พื้นที่ใต้กราฟของกราฟในภาพที่ 5.22 ถูกคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานดูดซับในแต่ละกรณี ดังแสดงผลการคำนวณในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ค่าพลังงานดูดซับ (E_a) และค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างหลังคาที่ใช้ชิ้นส่วนต่อเสริมหน้าตัดที่ต่างกัน

รูปแบบหน้าตัดของเหล็ก ส่วนเสริมโครงสร้างหลังคา	P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	E_a (kN.m)	Structural Mass (kg)	E_s (N.m/kg)
หน้าตัดรูปวงกลม	238.65	550	131.26	190.36	689.50
หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม	228.82	550	125.85	197.51	637.20
หน้าตัดรูปตัวยู	200.90	550	110.50	176.66	625.52
หน้าตัดรูปตัวแอล	160.73	550	88.40	173.46	509.62

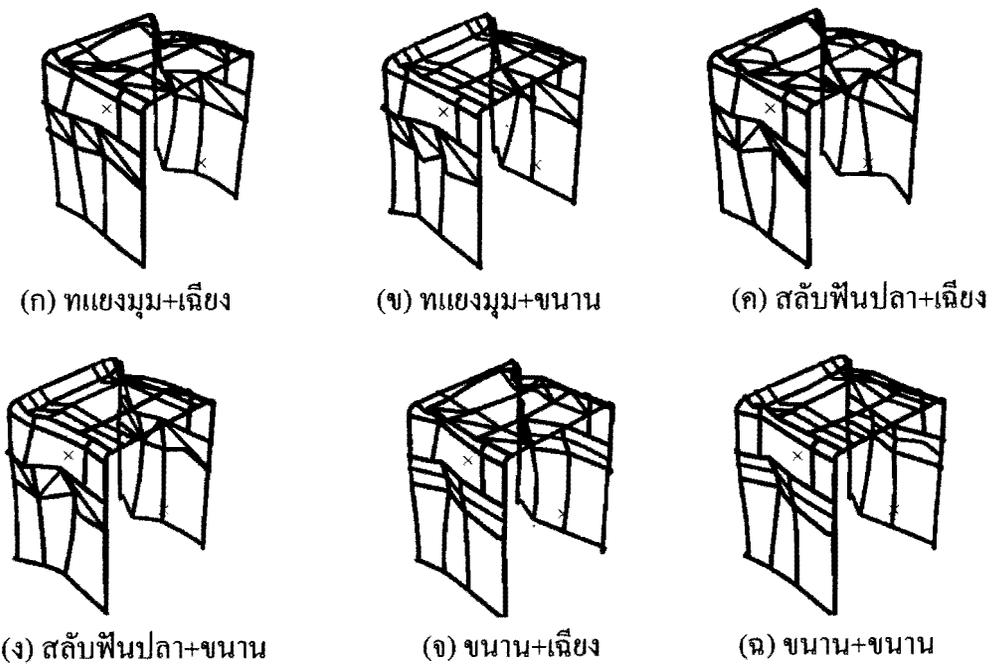
จากตารางที่ 5.5 เป็นการคำนวณค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการชนในแนวแกนของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร ที่มีการติดตั้งส่วนเสริมความแข็งแรงที่ใช้หน้าตัดรูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม รูปตัวยู และรูปตัวแอล ซึ่งจะเห็นว่าค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างที่ใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมเป็นส่วนเสริมมีค่าเท่ากับ 131.26 kN.m ส่วนหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยูและหน้าตัดรูปตัวแอล มีค่าพลังงานดูดซับเท่ากับ 125.85 kN.m, 110.50 kN.m และ 88.4 kN.m ตามลำดับ จากผลดังกล่าวเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าแบบอื่น เมื่อเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างแต่ละแบบแล้ว พบว่าการต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจะมีมวลมากกว่าแบบอื่น โดยมีมวลประมาณ 197.51 kg ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมแล้ว การใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโดยที่มีมวลน้อยกว่า เมื่อวิเคราะห์ผลจากความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะของโครงสร้าง พบว่าโครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมจะให้ผลดีกว่าแบบอื่น คือมีค่าดูดซับพลังงานจำเพาะเท่ากับ 689.5 N.m/kg ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่ออาจมีความยากมากกว่าเหล็กแบบสี่เหลี่ยม

5.4 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้าง ด้านข้าง

ในหัวข้อนี้ได้้นำแบบจำลองทาง FEA มาทำการศึกษาโครงสร้างประกอบ ที่ ประกอบด้วยโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆกับโครงสร้างด้านข้างแบบต่างๆ ประกอบเข้าด้วยกัน ดัง อธิบายวิธีการศึกษาในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.8 จากนั้นนำโครงสร้างประกอบมารับภาระการชนใน แนวแกน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างแต่ละชุด โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.4.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง

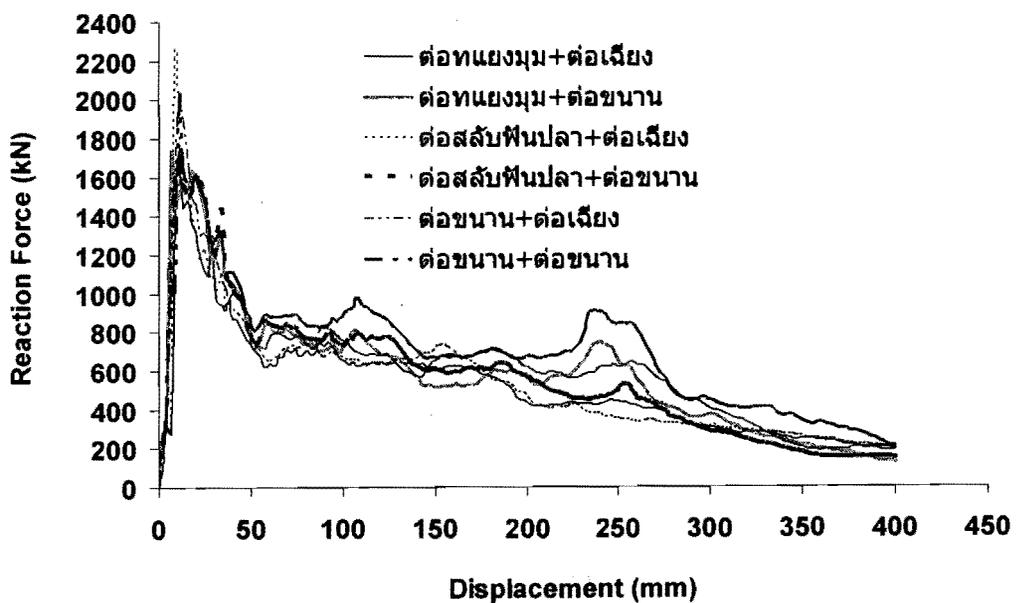
เมื่อ โครงสร้างประกอบที่จำลองขึ้นถูกภาระกระทำจากด้านหน้า จะเกิดการยุบตัว เสียหายในรูปแบบต่างๆกัน ดังแสดงในภาพที่ 5.23



ภาพที่ 5.23 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการชนของ โครงสร้างประกอบที่ต่อจากแผง โครงสร้าง ด้านข้างกับ โครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ

ภาพที่ 5.23 เป็นรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบด้วยการจำลองการชนด้านหน้าของ โครงสร้างที่ประกอบจากแผง โครงสร้างด้านข้างกับ โครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ โดยในภาพที่ 5.23 (ก) เป็นการเสียของหายโครงสร้างประกอบระหว่าง โครงสร้างด้านข้างแบบทแยงมุมต่อกับ

โครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ภาพที่ 5.23 (ข) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบทแยงมุมต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ภาพที่ 5.23 (ค) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบสลัฟพื้นปลาต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ภาพที่ 5.23 (ง) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบสลัฟพื้นปลาต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ภาพที่ 5.23 (จ) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบขนานต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง และภาพที่ 5.23 (ฉ) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบขนานต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างประกอบจะเกิดการยุบตัวของโครงสร้างจากด้านหลังของโครงสร้างก่อน จากนั้นจะมีการเสียหายกระจายไปตลอดโครงสร้าง ทั้งนี้พบว่าโครงสร้างหลังคามีการพิงตัวลงด้านล่าง และโครงสร้างด้านข้างก็เกิดการพิงตัวเข้าไปด้านใน โดยโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบสลัฟพื้นปลาเกิดการพิงตัวเข้าไปลึกที่สุด จึงอาจสร้างอันตรายแก่ผู้โดยสารมากที่สุด ในภาพรวมจะสังเกตเห็นว่ารูปแบบการเสียหายของโครงสร้างมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่ผลการตอบสนองในรูปแบบของแรงปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างนั้นพบว่ามีความแตกต่างกันบ้าง ดังแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวในภาพที่ 5.24



ภาพที่ 5.24 แสดงกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ

ภาพที่ 5.24 ซึ่งเป็นกราฟแสดงผลของแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างประกอบที่ได้จากการทดสอบการชนของโครงสร้างที่ประกอบสลัฟกัน 6 แบบ ระหว่าง

โครงสร้างหลังคาแบบโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารแบบต่างๆ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าการาฟของแต่ละโครงสร้างมีลักษณะที่คล้ายๆ กล่าวคือมีการแกว่งตัวสูงในช่วงแรก จากนั้นจะแกว่งตัวในลักษณะลดต่ำลงมาเรื่อยๆ จากข้อมูลพบว่าโครงสร้างประกอบที่ประกอบด้วยโครงสร้างด้านข้างแบบขนานและโครงสร้างหลังคาแบบเฉียงให้ค่าภาระวิกฤตสูงสุด คือประมาณ 2,250 kN ตามมาด้วยโครงสร้างประกอบที่ประกอบด้วยโครงสร้างด้านข้างแบบขนานและโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ซึ่งมีค่าประมาณ 2,100 kN ส่วนโครงสร้างอื่นๆ พบว่ามีค่าภาระวิกฤตใกล้เคียงกันมาก คือประมาณ 1,700 - 1,800 kN นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าโครงสร้างประกอบที่ประกอบด้วยโครงสร้างด้านข้างแบบขนานและโครงสร้างหลังคาแบบขนานนั้นจะมีค่าของกราฟสูงกว่าของโครงสร้างแบบอื่นๆ

5.4.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากโครงสร้างด้านข้างและโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ

คณะวิจัยได้นำข้อมูลจากกราฟในภาพที่ 5.24 มาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ (E_a) และค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการคำนวณของการทดสอบการชนในแนวแกนของการต่อสลักระหว่างโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสาร

การประกอบโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคา		P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	E_a (kN.m)	Structural Mass (kg)	E_s (N.m/kg)
แผงโครงสร้างด้านข้าง	แผงโครงสร้างหลังคา					
แบบทแยงมุม	แบบเฉียง	520.42	400	208.00	284.1	732.21
แบบทแยงมุม	แบบขนาน	585.27	400	234.11	286.93	815.91
แบบสลัฟพื้นปลา	แบบเฉียง	528.11	400	211.24	284.10	743.54
แบบสลัฟพื้นปลา	แบบขนาน	565.11	400	226.04	286.93	787.78
แบบขนาน	แบบเฉียง	603.41	400	241.36	281.94	856.07
แบบขนาน	แบบขนาน	697	400	278.8	285.05	978.07

ตารางที่ 5.6 เป็นผลการคำนวณค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะของการทดสอบการชนในแนวแกนระหว่างโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสารที่ต่อสลับกัน 6 แบบ จากข้อมูลในตาราง พบว่าการต่อโครงสร้างประกอบที่สามารถดูดซับพลังงานได้สูงสุดคือโครงสร้างที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 278.8 kN.m รองลงมาคือโครงสร้างที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 241.36 kN.m ซึ่งน้อยกว่าแบบแรกประมาณ 13% ส่วนโครงสร้างที่ดูดซับพลังงานได้น้อยที่สุดคือโครงสร้างที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบทแยงมุมกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ซึ่งสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 208 kN.m ซึ่งน้อยกว่าโครงสร้างแบบแรกถึง 25.39% ส่วน โครงสร้างแบบอื่นๆ พบว่ามีค่าการดูดซับพลังงานใกล้เคียงกันคือระหว่างประมาณ 210 – 230 kN.m

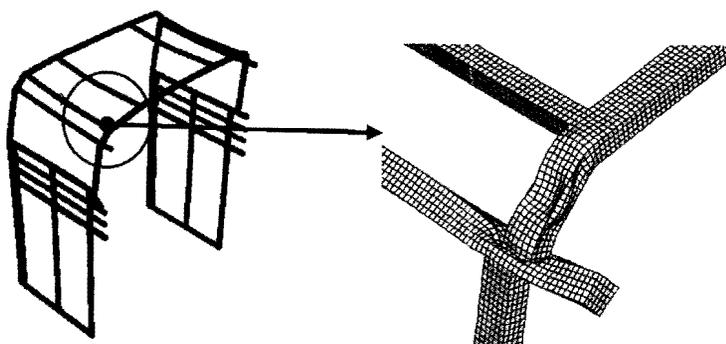
เมื่อนำค่าพลังงานดูดซับของแต่ละ โครงสร้างมาเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างเอง จะเห็นว่าโครงสร้างประกอบที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับ โครงสร้างหลังคาแบบขนานมีค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 978.07 N.m/kg ส่วนโครงสร้างที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับ โครงหลังคาแบบเฉียงมีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะรองลงมา คือ 856.07 N.m/kg ส่วน โครงสร้างอื่นๆพบว่ามีค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะใกล้เคียงกัน

5.5 ผลการทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับแผงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

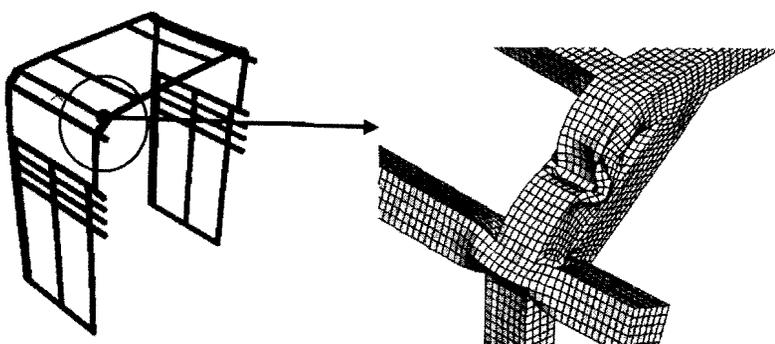
ในส่วนนี้คณะนักวิจัยได้ทำการจำลองชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆเพื่อเชื่อมระหว่างโครงสร้างหลังคาและแผงด้านข้าง โดยใช้แผงข้างแบบขนานและ โครงหลังคาแบบขนานเนื่องจากเป็นโครงสร้างประกอบที่สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้สูงสุดดังได้กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้ลักษณะของชิ้นส่วนยึดต่อที่จำลองขึ้นเรียกว่า การต่อแบบที่ 1 การต่อแบบที่ 2 และการต่อแบบที่ 3 ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.9 และในภาพที่ 4.20 ซึ่งมีผลการศึกษาดังนี้

5.5.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างประกอบที่ยึดต่อด้วยชิ้นส่วนยึดต่อลักษณะต่างๆ

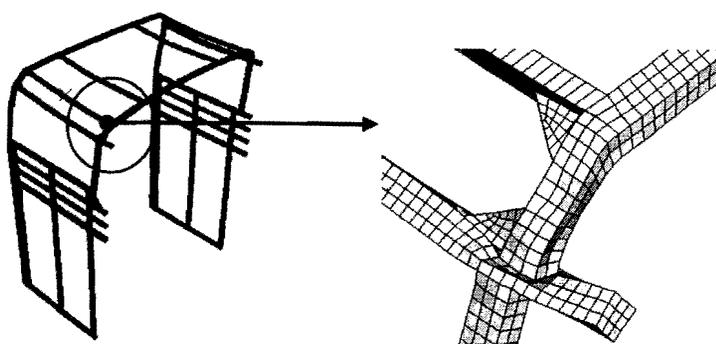
รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างประกอบที่ยึดต่อด้วยชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ ทั้ง 3 แบบนั้นแสดงในภาพที่ 5.25



(ก) การต่อแบบที่ 1



(ข) การต่อแบบที่ 2

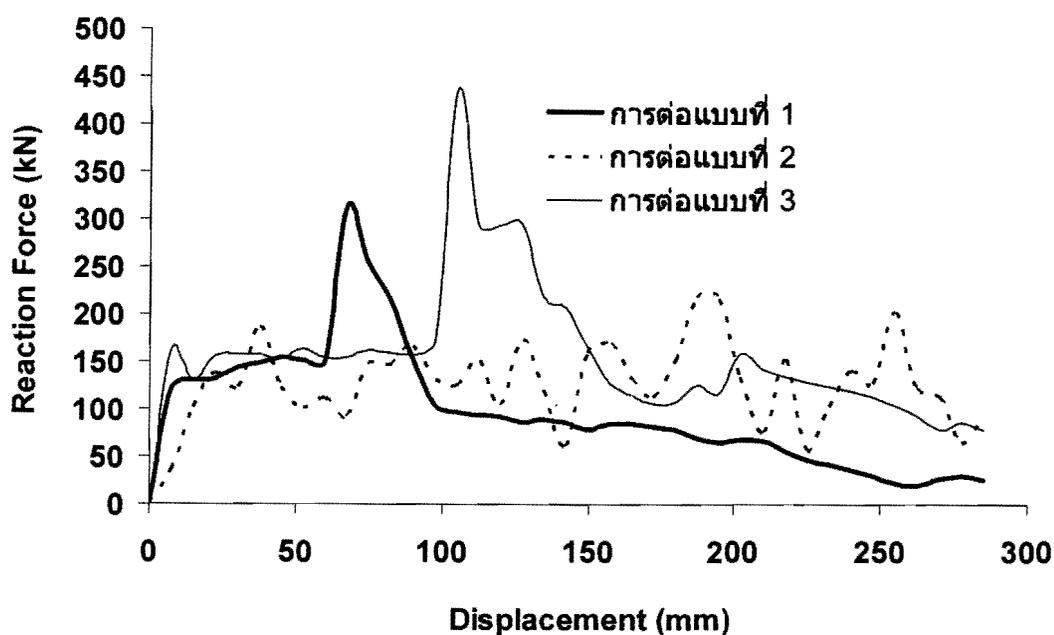


(ค) การต่อแบบที่ 3

ภาพที่ 5.25 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ

จากภาพที่ 5.25 เป็นรูปแบบการเสียหายที่เกิดจากการชนของจุดต่อโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคาโดยในภาพที่ 5.25 (ก) เป็นลักษณะการเสียหายของโครงสร้างแบบที่ 1 ซึ่งไม่ได้มีการต่อเสริมใดๆ ในภาพที่ 5.25 (ข) เป็นลักษณะการต่อแบบที่ 2 การต่อแบบนี้นิยมใช้กันทั่วไปในอุ้งต่อรถยนต์โดยสาร และภาพที่ 5.25 (ค) เป็นลักษณะการต่อแบบที่ 3 ซึ่งใช้แผ่นเหล็ก

สามเหลี่ยมต่อบริเวณมุมของจุดต่อด้วยเหล็กแผ่นขนาดหนา 2 mm นำมาตัดให้เข้ามุม ซึ่งมีใช้ในตู้ต่อรถยนต์โดยสารบางแห่ง ผลจากการทดสอบการต่อทั้ง 3 แบบ พบว่าลักษณะการเสียหายของแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีลักษณะการเสียรูปที่คล้ายกัน กล่าวคือโครงสร้างหลักที่ยึดระหว่างหลังคาและแผงข้างจะเกิดการยุบตัวคล้ายเกิดการคด ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสียรูปมาก ส่วนแบบที่ 3 พบว่าโครงสร้างหลักมีการเสียรบน้อยกว่าสองแบบแรก โดยแผ่นเหล็กที่เสริมเข้าไปจะทำหน้าที่กระจายแรงเข้าสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆของแผงข้างและหลังคาต่อไป



ภาพที่ 5.26 กราฟแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ

ภาพที่ 5.26 แสดงลักษณะของแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆเมื่อรับภาระคดในแนวแกน จากกราฟจะเห็นว่าในช่วงแรกที่เกิดภาวะวิกฤติ การต่อแบบที่ 3 ให้ค่าภาวะวิกฤติที่สูงกว่าแบบอื่น คือมีค่าประมาณ 160 kN ที่ระยะการชนประมาณ 15 mm ส่วนในการต่อแบบที่ 1 จะมีค่าภาวะสูงสุดประมาณ 130 kN ที่ระยะการชนประมาณ 18 mm ส่วนการต่อแบบที่ 2 จะให้ค่าภาวะสูงสุดประมาณ 140 kN ที่ระยะการชนประมาณ 30 mm หากพิจารณาจากลักษณะกราฟจะเห็นว่าการต่อแบบที่ 3 มีแนวโน้มค่าของแรงปฏิกิริยาสูงกว่าการต่อแบบอื่นๆ และพบว่าการต่อแบบที่ 2 มีลักษณะการแกว่งตัวของแรงปฏิกิริยาก่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับการต่อแบบอื่นๆ

5.5.2 ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างประกอบที่ยึดด้วยชิ้นส่วนยึดต่อลักษณะต่างๆ

คณะวิจัยได้นำข้อมูลจากภาพที่ 5.2.6 มาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับของแต่ละโครงสร้าง และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ

ลักษณะจุดต่อโครงสร้าง ด้านข้างกับโครงสร้างหลังคา	P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	E_a (kN.m)
การต่อแบบที่ 1	95.789	285	26.44
การต่อแบบที่ 2	125.319	285	35.72
การต่อแบบที่ 3	154.202	285	43.95

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าโครงสร้างประกอบที่มีการยึดต่อแบบที่ 3 สามารถดูดซับพลังงานได้สูงที่สุด คือประมาณ 43.95 kN.m ส่วนโครงสร้างประกอบที่มีการยึดต่อแบบที่ 2 และแบบที่ 1 มีความสามารถรองลงมาคือมีค่าการดูดซับพลังงานเท่ากับ 35.72 kN.m และ 26.44 kN.m ตามลำดับ ทั้งนี้หากสังเกตรูปแบบการต่อแบบที่ 3 จากภาพที่ 4.20 และภาพที่ 5.25 จะพบว่าลักษณะการต่อแบบที่ 3 นี้ใช้วัสดุต่อเสริมไม่มากเมื่อเทียบกับการต่อแบบที่ 2 แต่สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้มากกว่าแบบที่ 2 ประมาณ 18.73% และการต่อแบบที่ 3 สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้มากกว่าแบบที่ 1 ประมาณ 39.84% ดังนั้นการต่อยึดโครงสร้างหลังคาเข้ากับแผงข้างจึงควรพิจารณาการยึดต่อแบบที่ 3 ก่อนแบบอื่นๆ

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งศึกษาคุณลักษณะทางการชนของโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ผลิตในประเทศไทย ทำการศึกษาโดยเก็บข้อมูลรูปแบบโครงสร้างของรถยนต์โดยสารที่ต่อใช้งานในประเทศไทย แล้วสร้างแบบจำลองทาง FEA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง FEA ชื่อ ABAQUS เป็นเครื่องมือหลักในการศึกษา ในการศึกษาได้ทำแบบจำลองชิ้นส่วนโครงสร้างหลัก ทั้งแบบแยกส่วนและแบบโครงสร้างประกอบ แล้วทำการจำลองการชนในลักษณะต่างๆกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาโดยพิจารณาแบบการเสียหาย การตอบสนองของโครงสร้าง ความสามารถในการดูดซับพลังงาน และการดูดซับพลังงานจำเพาะของโครงสร้างเป็นตัวชี้วัดหลัก ซึ่งสรุปการศึกษามีดังต่อไปนี้

6.1.1 การสอบเทียบโปรแกรม FEA กับการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA ที่ใช้งานกับทดลอง โดยเลือกโครงสร้างแฉงด้านข้างของรถยนต์ที่นิยมใช้ 3 แบบด้วยกันคือ 1) การต่อโครงสร้างแบบขนาน 2) การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมและ 3) การต่อโครงสร้างแบบสลับพื้นปลา เป็นโครงสร้างในการทำการทดลองเพื่อเทียบกับโปรแกรม ในการทดลองได้ทำการทดลองภายใต้ภาระกระทำแบบต่างๆด้วยความเร็วต่ำ (Quasi Static Load) และภาระในแนวแกนด้วยความเร็วสูง (Impact Load) ผลการสอบเทียบพบว่าโปรแกรม FEA ที่เลือกใช้งานและเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณสามารถทำนายพฤติกรรมการเสียหายของโครงสร้างได้อย่างถูกต้องทั้งภายใต้ภาระความเร็วต่ำและความเร็วสูง โดยให้รูปแบบการเสียหายและลักษณะของกราฟภาระและระยะขูดตัวที่คล้ายกับการทดลอง ในส่วนของค่าการดูดซับพลังงาน (E_a) และค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะ (E_s) นั้นพบว่าโปรแกรม FEA สามารถคำนวณค่าได้สูงกว่าผลการทดลองในระดับความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาจากโปรแกรม FEA ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการศึกษาโครงสร้างที่มีขนาดจริงได้ ส่วนสาเหตุของความผิดพลาดอาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของชิ้นงานจริงดังได้อภิปรายไว้แล้ว

6.1.2 การทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารแบบเต็มแผง

ในการทดสอบการชนแบบเต็มแผงของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร ได้ทำการทดสอบด้วยแบบจำลองทาง FEA และทดสอบการชนด้วยภาระสองแบบ คือการทดสอบการชนในแนวแกนและการทดสอบการชนในแนวตั้งฉาก ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างดังกล่าวพบว่า โครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา แต่เนื่องจากลักษณะของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานจะใช้ชิ้นส่วนที่ต่อเสริมมีจำนวนมากกว่า ดังนั้นอาจทำให้สิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้เพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าหากลดจำนวนชิ้นส่วนที่ต่อเสริมของการต่อแบบขนานให้เหลือเพียงช่องละ 1 แถว โครงสร้างก็ยังสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าการต่ออีก 2 แบบดังกล่าว ซึ่งการลดจำนวนชิ้นส่วนต่อเสริมลงนี้สามารถทำให้ลดค่าวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ โดยที่โครงสร้างยังสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าการต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา

6.1.3 การทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร

การทดสอบโครงสร้างหลังคาแบบเต็มแผง กระทำภายใต้ภาระการชนในแนวแกน ภาระแบบค้ำและภาระแบบบิด โดยโครงสร้างที่ทดสอบมีการต่อสองแบบ ได้แก่โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียง ผลจากการทดสอบภายใต้ภาระการชนในแนวแกนและภาระการชนแบบค้ำ พบว่าการต่อโครงสร้างหลังคาแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียง แต่สำหรับผลการทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด พบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงจะดูดซับพลังงานได้ดีกว่า

นอกจากนี้ยังได้ทำการจำลองโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ 4 แบบ ได้แก่ หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยู หน้าตัดรูปวงกลมและหน้าตัดรูปตัวแอล และทดสอบด้วยภาระการชนในแนวแกน ผลการศึกษาสรุปได้ว่าโครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้มากกว่าเหล็กเสริมหน้าตัดแบบอื่น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมแล้วการใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าโดยที่มีมวลน้อยกว่า ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับโครงสร้างยานยนต์ต่างๆ อย่างไรก็ตามวิธีการเชื่อมต่อเหล็กกลมอาจยากกว่าการเชื่อมเหล็กแบบสี่เหลี่ยม เนื่องจากลักษณะของแนวรอยเชื่อมมีความโค้ง

6.1.4 การทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างแบบต่างๆ

ผลการทดสอบโครงสร้างที่ประกอบด้วยโครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างแผง ด้านข้างแบบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยแผง โครงสร้างด้านข้าง 3 แบบ และ โครงสร้างหลังคา 2 แบบ จึงสามารถสลับกันต่อเป็น โครงสร้างประกอบได้ทั้งหมด 6 แบบ จากนั้นนำโครงสร้างประกอบเหล่านี้ ไปทดสอบชนในแนวแกน ผลที่ได้จากการทดสอบสรุปได้ว่าการประกอบแผง โครงสร้างด้านข้างที่ ต่อแบบขนานกับแผง โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่าการเลือกใช้โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารแบบขนานเป็นหลักเมื่อนำมาเชื่อมต่อกับ โครงสร้างหลังคาไม่ว่าแบบใด โครงสร้างประกอบนั้นจะสามารถดูดซับพลังงาน ได้ดีกว่า โครงสร้างที่ประกอบด้วยแผงข้างแบบอื่นๆเสมอ

6.1.5 การทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับแผงโครงสร้าง ด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

การทดสอบลักษณะของชิ้นส่วนการยึดต่อระหว่าง โครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร โดยได้สร้างแบบจำลองการเชื่อมต่อระหว่าง โครงสร้าง หลังคา และแผงข้าง 3 แบบ ดังในรูปที่ 4.20 แล้วนำไปทดสอบการชนในแนวแกน ผลการศึกษาสรุป ได้ว่าลักษณะการยึดต่อแบบที่ 3 คือแบบที่ใช้เหล็กแผ่นสามเหลี่ยมต่อเสริมบริเวณมุมของ โครงสร้าง มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 แบบ นอกจากนี้ลักษณะการต่อใน แบบที่ 3 ยังมีข้อดีคือ ประหยัดวัสดุ เนื่องจากชิ้นงานมีขนาดไม่ใหญ่ และทำจากเหล็กแผ่น ทั้งนี้เมื่อ เปรียบเทียบกับการต่อแบบที่ 2 แล้ว พบว่าการต่อแบบที่ 2 จะใช้วัสดุในการต่อเสริมจุดนี้มากกว่า ส่วนการต่อแบบที่ 1 ไม่มีการเสริมความแข็งแรงใดๆ ณ จุดนี้ แม้จะประหยัดค่าวัสดุแต่พบว่า ความสามารถในการดูดซับพลังงานจะน้อยกว่าแบบที่ 2 และแบบที่ 3 มาก

6.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของอุตสาหกรรมการต่อรถยนต์โดยสารในประเทศ พบว่ายังมีช่องว่างที่ต่อการทำงานวิจัยเข้าไปแก้ปัญหาอีกหลายประเด็น ซึ่งอาจเขียนเป็นประเด็นข้อเสนอแนะ เบื้องต้นสำหรับการศึกษาต่อไปได้ดังนี้

6.2.1 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต

ปัจจุบันการผลิตรถยนต์โดยสารในประเทศไทยนั้นใช้การบริหารการผลิตแบบเหมาช่วง คือให้ช่างแต่ละชุดทำการต่อรถโดยสารเป็นคันๆ ไป ดังนั้นกระบวนการผลิต และรูปแบบรายละเอียดต่างๆของโครงสร้างจึงต่างกัน ส่งผลให้การควบคุมมาตรฐานเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงอาจมีการวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการผลิต ตลอดจนสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เป็นมาตรฐาน เช่น อุปกรณ์จับยึดโครงสร้าง (Jig and Figure) อุปกรณ์เพื่อช่วยการตั้งระดับประกอบโครงสร้าง อุปกรณ์เพื่อช่วยคำนวณการกระจายน้ำหนักลงเพลลา ตลอดจนพัฒนาระบบความปลอดภัยของอู่ เป็นต้น

6.2.2 เกี่ยวกับมาตรฐานความปลอดภัยของรถยนต์โดยสารในประเทศ

เนื่องจากรถยนต์โดยสารนั้นเกี่ยวข้องกับชีวิตผู้โดยสาร และชีวิตผู้สัญจรบนถนนจำนวนมาก ดังนั้นจึงควรมีการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องอย่างเข้มข้น ทั้งนี้ปัจจุบันประเทศไทยมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องเฉพาะเรื่องกำหนดน้ำหนักลงเพลลา และขนาดของโครงสร้างเท่านั้น แต่ยังไม่มียกกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานความปลอดภัยของโครงสร้างเลย จึงควรมีการศึกษาข้อมูลและวางแผนเพื่อดำเนินการที่เกี่ยวข้อง

6.2.3 เกี่ยวกับการศึกษาโครงสร้างรถยนต์โดยสารเพิ่มเติม

แม้ว่าการศึกษานี้จะได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างหลักของรถยนต์โดยสารภายใต้การชนมาแล้ว แต่ก็ยังมีประเด็นเกี่ยวกับโครงสร้างอีกมากที่ยังไม่ได้ทำการศึกษาในที่นี้ เช่นลักษณะการเชื่อมต่อโครงสร้าง โดยเฉพาะลักษณะการเชื่อมโครงสร้างหลักกับแชสซี (Chassis) ซึ่งมีประเด็นตั้งแต่ตำแหน่งของการเชื่อม ลักษณะการเจาะเชื่อม และความแข็งแรงของรอยเชื่อม เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจมีการศึกษาเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทกของโครงสร้างให้มากขึ้น โดยที่เพิ่มน้ำหนักไม่มากนัก เช่นการเติมโฟมลงในชิ้นส่วนบางชิ้น หรือการเปลี่ยนรูปแบบการยึดต่อที่เหมาะสม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการขนส่งทางบก. ประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่องแบบและการจัดวางที่นั่งผู้โดยสารของรถที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสาร. หมายความว่าด้วยการขนส่งทางบก. เมษายน, 2537.
- [2] กรมการขนส่งทางบก. คู่มือตรวจสอบน้ำหนักพร้อมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลาของรถโดยสาร. หมายความว่าด้วยการขนส่งทางบก. มีนาคม, 2535.
- [3] กรมการขนส่งทางบก. สถิติจำนวนรถใหม่ที่จดทะเบียนตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์และล้อเลื่อน. หมายความว่าด้วยการขนส่งทางบก. ฝ่ายสถิติการขนส่ง กองวิชาการและวางแผน. 2534-2538, 2538.
- [4] Himat Mahood, F. and Bahig Fileta, B. Design of vehicle structures for crash energy management. Vehicle crashworthiness and occupant protection. American iron and steel institute, 2004.
- [5] Thinwongpituk, C. The behavior of non-constant thickness conical shells under axial loading. Doctor of Philosophy Thesis: University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST). Manchester, 2002.
- [6] Magee, C.L. and Thornton, P.H. Design considerations in energy absorption by structural collapse. Transaction SAE. vol. 87(2): 2401-2055, 1978.
- [7] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [8] Kindervarter, C.M. and Georgi, H. Composite strength and energy absorption as an aspect of structural crash resistance. Structural Crashworthiness and Failure. (Edited by Jones, N. and Wierzbicki, T.) Elsevier Applied Science: 189-235, 1993.
- [9] Psimolophitis, S.E. An investigation of axisymmetric shells under axial loading. Doctor of Philosophy Thesis. University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST). Manchester, 1997.
- [10] Thinwongpituk, C. and Chomkwah, V. Crush characteristic of conical shells with varying thickness. The 8th Asian Symposium on Visualization. Chiangmai. Thailand: No. 51 (1-6), 2005.
- [11] Macaulay, M.A. Introduction to impact engineering. London: Chapman & Hall, 1987.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [12] VanEck, P.J. et al. Human impact tolerance. International Automotive Safety Conference Compendium. SAE: 712-782, 1970.
- [13] Jones, N. Structural impact. U.K.: Cambridge University Press, 1997.
- [14] Huh, H. et al. Crashworthiness of front side members in an auto-body considering the fabrication effect. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok. Thailand, 2003.
- [15] Alexander, J.M. An approximate analysis of the collapse of thin cylindrical shells under axial loads. The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics. vol. 13 (1): 10-15, 1960.
- [16] Mamalis, A.G. et al. The crumpling of steel thin-walled tubes and frusta under axial compression at elevated strain-rates: some experimental results. International Journal of Mechanical Science. vol. 26 (11-12): 537-547, 1984.
- [17] Johnson, W. et al. In extensional collapse of thin-walled tubes under axial compression. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. vol. 12 (4): 317-334, 1977.
- [18] Kang, W.J. and Huh, H. Crash analysis of auto-body structures considering the strain-rate Hardening effect. International Journal Automotive Technology. vol. 1 (1): 35-41, 2002.
- [19] White, M.D. et al. A theoretical analysis for the quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections. International Journal of Mechanical Science. vol. 41 (2): 209-233, 1999.
- [20] Reid, J.D. Crashworthiness of automotive steel midrails thickness and material sensitivity. Thin-Walled Structures. vol. 26 (2): 83-103, 1996.
- [21] Harrigan, J.J. et al. Inertia effects in impact energy absorbing material and structures. International Journal of Impact Engineering. vol. 22 (9-10): 955-979, 1999.
- [22] Reid, J.D. Towards the understanding of material property influence on automotive crash structures. Thin-Walled Structures. vol. 24 (4): 285-313, 1996.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [23] Chrysanthopoulos, M.K. and Spagnols, A. The influence of radial edge constraint on the stability of stiffened conical shells in compression. Thin-Walled Structures. vol. 27 (2): 147-163, 1997.
- [24] El-Sobky, H. et al. Mode of collapse and energy absorption characteristics of constrained frusta under axial impact loading. International Journal of Mechanical Science. vol. 43 (3): 743-757, 2001.
- [25] Singace, A.A. and El-Sobky, H. Influence of end radial constraints on the collapse axially crushed tubes. Experimental Mechanics: 333-340, 1998.
- [26] Pariatmono, N. and Chryssanthopoulos, M.K. Asymmetric elastic buckling of axially impressed conical shells with various end conditions. AIAA Journals. vol. 33 (11): 2218-2227, 1995.
- [27] Thinvongpituk, C. and El-Sobky, H. The effect of end conditions on the buckling load characteristic of conical shells subjected to axial loading. The ABAQUS 2003 Users' Conference Proceedings. Munich: Germany, 2003.
- [28] Thinvongpituk, C. and El-Sobky, H. Buckling load characteristic of conical shells under various end conditions. Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network Thailand. 15-17 October 2003 Prachinburi: Thailand. paper no. mm 017, 2003.
- [29] Koiter, W.T. et al. Buckling of and axially compressed cylindrical shell of variable thickness. International Journal of Solid and Structures. 31 (6): 797-805, 1994.
- [30] Li, Y.W. et al. Effect of the thickness variation and initial imperfection on buckling of composite cylindrical shells: asymptotic analysis and numerical results by BORSOR4 and PANDA. International Journal Solids Structures. vol. 34 (28): 3755-3767, 1997.
- [31] Thinvongpituk, C. and El-Sobky, H. Buckling of axially compressed conical shells of linearly variable thickness. The 2nd MIT Conference on Computational Fluid Dynamics and Solid Mechanics. MIT: USA, 2003.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [32] Mamalis, A.G. et al. Finite element simulation of the axial collapse of metallic thin walled tubes with octagonal cross-section. Thin-Walled Structures. vol. 41 (10): 891- 900, 2003.
- [33] Yamashita, M. et al. Axial crush of hollow cylindrical structure with various polygonal cross-sections numerical simulation and experiment. Journal of Materials Processing Technology. vol. 140 (1-3): 59-64, 2003.
- [34] Huh, H. et al. Crashworthiness assessment of front side members in an auto-body considering the fabrication histories. International Journal of Mechanical Sciences. vol. 45 (10):1645–1660, 2003.
- [35] Kawano, T. and Urushiyama Y. Research on aluminum structures for crash energy absorption. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Bangkok: Thailand, 2003.
- [36] Yong, W. et al. A study on crashworthiness of mini-car front longitude member by computer simulation. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok: Thailand, 2003.
- [37] Hongyan, W. and Fan, X. Simulation of passenger's responsive motion in vehicle frontal crash. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok: Thailand, 2003.
- [38] Cheol, K. and Jung Lee, J. Energy absorption capability of an aluminum/GFRP hybrid square tube under axial crush and bending collapse. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering. Bangkok: Thailand, 2003.
- [39] Kim, T.H. and Reid, S.R. Bending collapse of thin-walled rectangular section columns. Computers and Structures. vol. 79 (20-21): 1897-1911, 2001.
- [40] Lim, T.S. and Lee, D.G. Mechanically fastened composite side-door impact beams for passenger cars designed for shear-out failure modes. Composite Structures. South Korea. vol. 56 (2): 211–221, 2002.
- [41] Kim, D.K. et al. Dynamic crashing and impact energy absorption of extruded aluminum square tubes. Materials and Design. South Korea. vol. 19 (4): 179-185, 1998.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [42] Kim, D.K. and Lee, S. Impact energy absorption of 6061 aluminum extruded tubes with different cross-sectional shapes. Materials and Design. South Korea. vol. 20 (1): 41-49, 1998.
- [43] Mohan, D. et al. Impact modeling studies for a three-wheeled scooter taxi. Accident Analysis & Prevention Elsevier Science Ltd. vol. 29(2): 161-170, 1997.
- [44] Jones, N. Structural impact. Impact injury. U.K.: Cambridge University Press. 423-427, 1997.
- [45] Smith, K.M. and Cummings, P. Passenger seating position and the risk of passenger death or injury in traffic crashes. USA: Accident Analysis & Prevention Elsevier Science Ltd. vol. 36 (2): 257-260, 2004.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณจากการทดสอบ

1. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.1

ตัวอย่างผลการคำนวณของ โครงสร้างที่ต่อแบบขนาน (Experiments)

1.1 การทดสอบภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน (Axial load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ $P_{mean} = 11.47$ kN, Stroke = 60 mm, มวล = 1.67 kg ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean} \cdot Stroke$$

$$E_a = 11.47 \times 60$$

$$E_a = 688.2 \text{ N.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยจากการทดสอบ

Stroke = ระยะขยุบตัวจากการทดสอบ

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{688.2}{1.67} \text{ N.m/kg}$$

$$E_s = 142.1 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่น และการคำนวณจากวิธี FEA ก็มีวิธีคิดเช่นเดียวกับ ตัวอย่างข้างต้นตามข้อมูลในตารางที่ 5.1

1.2 การทดสอบภายใต้ภาระแบบดัด (Bending load)

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ $P_{mean} = 3.01$ kN, $(\theta) = 0.17$ เรเดียน, มวล = 1.67 kg, Moment = 526.75 N.m ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีจากแนวแรงถึงจุดหมุนของโครงสร้าง, (175) mm

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการดัดได้จากสมการ

$$E_a = \text{Moment} \times \theta$$

$$E_a = 526.75 \times 0.17$$

$$E_a = 89.55 \text{ N.m}$$

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการดัดได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{\text{mass}}$$

$$E_s = \frac{89.55}{1.67} \text{ N.m/kg}$$

$$E_s = 53.62 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่น และการคำนวณจากวิธี FEA ก็มีวิธีคิดเช่นเดียวกับ ตัวอย่างข้างต้นตามข้อมูลในตารางที่ 5.1

1.3 การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด (Twisting load)

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ $P_{mean}=2.13$ kN, Moment = 148.92 N.m, $(\theta) = 0.28$ เรเดียน, มวล = 1.67 kg, ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 2.13 \times 70 = 148.92 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับ โครงสร้าง, N

r = รัศมีของพูล์ที่ใช้ในการบิด, (70) mm

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการบิดได้จากสมการ

$$E_a = \text{Moment} \times \theta$$

$$E_a = 148.92 \times 0.28$$

$$E_a = 41.67 \text{ N.m}$$

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการตัดได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{\text{mass}}$$

$$E_s = \frac{41.67}{1.67} \text{ N.m/kg}$$

$$E_s = 53.62 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่น และการคำนวณจากวิธี FEA ก็มีวิธีคิดเช่นเดียวกับ ตัวอย่างข้างต้นตามข้อมูลในตารางที่ 5.1

2. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.3

ตัวอย่างผลการคำนวณของแผงโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบขนาน (FEA)

2.1 การทดสอบภายใต้ภาระการชนในแนวแกน (Axial load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ $P_{mean} = 207.32$ kN, Stroke = 320 mm, ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean} \cdot Stroke$$

$$E_a = 207.32 \times 320 = 66.34 \text{ N.m}$$

$$E_a = 66.34 \text{ N.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยจากการทดสอบ
 $Stroke$ = ระยะยุบตัวจากการทดสอบ

2.2 การทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉาก

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ $P_{mean} = 170.15$ kN, $(\theta) = 0.077$ เรเดียน, Moment = 709.94 N.m ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 170.15 \times 4.172 = 709.94 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N
 r = รัศมีจากแนวแรงถึงปลายด้านหนึ่งของโครงสร้าง, (4.172) m

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการตัดได้จากสมการ

$$E_a = \text{Moment} \times \theta$$

$$E_a = 709.94 \times 0.077 = 54.67 \text{ kN.m}$$

3. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.4

ตัวอย่างผลการคำนวณของการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนาน
ด้วยภาระทั้ง 3 แบบ

3.1 การทดสอบภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน (Axial load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ $P_{mean} = 255.75 \text{ kN}$, Stroke = 600 mm, มวล = 197.51 kg ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean} \cdot Stroke$$

$$E_a = 255.75 \times 600 = 153.45 \text{ kN.m}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูด
ซับจำเพาะได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{153.45 \times 10^3}{197.51} = 776.92 \text{ N.m/kg}$$

3.2 การทดสอบภายใต้ภาระแบบดัด (Bending load)

การหา Energy Absorption, E_a ข้อมูลจากการทดสอบ $P_{mean} = 28.62 \text{ kN}$, $(\theta) = 0.2$
เรเดียน, Moment = 119.42 kN.m

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 28.62 \times 4.172 = 119.42 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีจากแนวแรงถึงปลายด้านหนึ่งของโครงสร้าง, (4.172) m

$$E_a = \text{Moment} \times \theta$$

$$E_a = 119.42 \times 0.2 = 23.88 \text{ kN.m}$$

ตัวอย่างการคำนวณหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{\text{mass}}$$

$$E_s = \frac{120.92 \times 10^3}{197.51} = 120.92 \text{ N.m/kg}$$

3.3 การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด (Twisting load)

การหา Energy Absorption, E_a จากข้อมูลการทดสอบ $P_{mean} = 10.94 \text{ kN}$, Moment = 12.85 N.m, (θ) = 0.48 เรเดียน, มวล = 197.51 kg, ซึ่งหาได้ดังนี้

$$\text{Moment} = P_{mean} \times r = 10.94 \times 1.175 = 12.85 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยที่ใช้กระทำกับโครงสร้าง, N

r = รัศมีของความกว้างโครงสร้างหลังคา, (1.175) m

สามารถหาค่าการดูดซับพลังงานจากการบิดได้จากสมการ

$$E_a = \text{Moment} \times \theta$$

$$E_a = 12.85 \times 0.48 = 6.17 \text{ kN.m}$$

การหา Specific Energy Absorption, E_s สามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการบิดได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{6.17 \times 10^3}{197.51} = 31.23 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณ โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงมีวิธีคำนวณเช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น ตามข้อมูลในตารางที่ 5.4

4. ตัวอย่างการคำนวณจากตารางที่ 5.5

ตัวอย่างผลการคำนวณของ โครงสร้างหลังคาที่ต่อ โดยการเปลี่ยนหน้าตัดของเหล็ก รูปทรงต่างๆ ภายใต้ภาระการชนในแนวแกน

การหา Energy Absorption, E_a โดยการใช้เหล็กหน้าตัดวงกลมเป็นตัวต่อเสริม ข้อมูล จากการทดสอบ $P_{mean} = 238.65 \text{ kN}$, Stroke = 550 mm, มวล = 190.36 kg ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_a = P_{mean} \cdot Stroke$$

$$E_a = 238.65 \times 550 = 125.85 \text{ kN.m}$$

เมื่อ P_{mean} = ภาระเฉลี่ยจากการทดสอบ

$Stroke$ = ระยะยุบตัวจากการชน

การหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific Energy Absorption), E_s หาได้จากสมการ

$$E_s = \frac{E_a}{mass}$$

$$E_s = \frac{125.85}{190.36} = 689.50 \text{ N.m/kg}$$

ส่วนการคำนวณในการต่อแบบอื่นๆ จากตารางที่ 5.6 และตารางที่ 5.7 ก็มีวิธีคำนวณ เช่นเดียวกับตัวอย่างตามข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ภาคผนวก ข
รายการผลงานตีพิมพ์เนื่องจากงานวิจัยนี้

- [1] นิรุต อ่อนสูง, ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ภายใต้การชน. วารสารวิศวกรรม มข. ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน พฤษภาคม-มิถุนายน 2550. หน้า 343-354.
- [2] นิรุต อ่อนสูง, ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ชาคริต โพธิ์งาม. การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร จากการต่อเสริมด้วยเหล็กที่มีหน้าตัดต่างกัน. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. 17-19 ตุลาคม 2550 : ชลบุรี. โรงเรียนนายเรืออากาศ. Paper no. AMM035
- [3] นิรุต อ่อนสูง, ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ชาคริต โพธิ์งาม. การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้แรงกด แรงบิด และแรงดัด. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. 18-20 ตุลาคม 2549: นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. Paper no. AMM062
- [4] นิรุต อ่อนสูง, ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. การศึกษาผลตอบสนองต่อการกดของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19. 19-21 ตุลาคม 2548 : ภูเก็ต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. Paper no. AMM031