

บทที่ 4

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและรายละเอียดวิธีการศึกษา

บทนี้จะนำเสนอรายละเอียดของเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งมีทั้งเครื่องมือเดิมที่มีอยู่แล้ว และเครื่องมือที่สร้างหรือพัฒนาขึ้นมาใหม่ และจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม FEA ที่ใช้งาน ตลอดจนนำเสนอข้อมูล ขั้นตอนและวิธีการในการศึกษาความสามารถในการรับภาระของโครงสร้างรถยนต์โดยสารขนาดจริง โดยบทนี้จะมุ่งนำเสนอเพียงรายละเอียดของเครื่องมือและวิธีการเท่านั้น ส่วนผลที่ได้จะนำเสนอในบทต่อไป

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

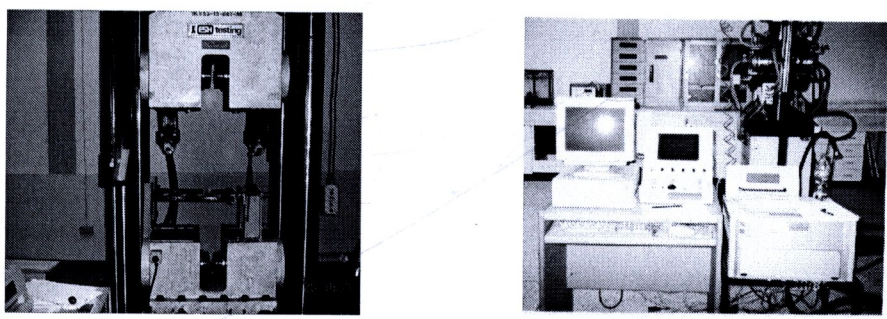
ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือหลักในการศึกษาดังต่อไปนี้

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 ทำให้คณะนักวิจัยต้องทำการปรับปรุงใหม่ โดยการจัดซื้อชุดโปรแกรมควบคุม และแผงควบคุมการทำงานใหม่ ตลอดจนทำการสอบเทียบเครื่องอีกหลายครั้ง ส่งผลให้ต้องใช้งบประมาณบางส่วนนอกเหนือจากแผนที่กำหนดไว้เดิม และใช้เวลาในการดำเนินงานนานขึ้น

เครื่องทดสอบการกดและการดึงนี้จะใช้ในการทดสอบโครงสร้างเพื่อทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA ในกรณีการกดแบบความเร็วต่ำ ก่อนที่จะนำโปรแกรมไปใช้งานในงานขนาดใหญ่ขึ้น โดยใช้ในการทดสอบโครงสร้างจากการกดในแนวแกน (Axial Crush) การดัด (Bending Moment) และการบิด (Twisting) ในส่วนของการบิดนั้นคณะนักวิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างหัวจับแบบพิเศษเพื่อทำการบิดโครงสร้างอีกด้วย



ภาพที่ 4.1 เครื่องทดสอบ Compressive & Tensile Test Machine และชุดคอมพิวเตอร์ควบคุม

4.1.2 เครื่องทดสอบการกระแทก

เครื่องทดสอบการกระแทกที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นหอสูง ทำงานโดยการปล่อยให้ก้อนมวลหรือตุ้มน้ำหนักตกลงกระทบกับชิ้นงานด้วยการตกแบบอิสระ ซึ่งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้งานกันโดยทั่วไป

เครื่องทดสอบการกระแทกนี้คณะวิจัยได้ทำการออกแบบ และสร้างขึ้น โดยมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4.2 เครื่องนี้ประกอบด้วยเสาสูง 4 m ด้านล่างมีแท่นกว้าง 1x1 m² สูง 4 m ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ก) ด้านบนของเครื่องมีคานเพื่อแขวนก้อนมวลก่อนที่จะปล่อยให้ตกกระทบชิ้นงานทดสอบด้านล่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ข) ก้อนมวลนี้สามารถเปลี่ยนขนาดได้ตามความต้องการ และมีขนาดสูงสุด 25 กิโลกรัม ในการดึงก้อนมวลขึ้นด้านบนใช้มอเตอร์ขนาด 1 Hp ในการกว้านก้อนมวลขึ้นไป ที่ฐานด้านล่างของเครื่องติดตั้งเครื่องวัดแรง (Load Cell) ชนิด Dynamic Load Cell ไว้ด้านบนแท่นเพื่อวัดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์แปลงสัญญาณและเก็บข้อมูล เพื่อบันทึกค่าแรงกระแทกที่เกิดขึ้น เครื่องแปลงสัญญาณนี้เป็นยี่ห้อ KYOWA รุ่น DSC 100A สามารถบันทึกข้อมูลได้ละเอียดสูงสุดถึง 50,000 ค่าต่อวินาที (5 kHz)

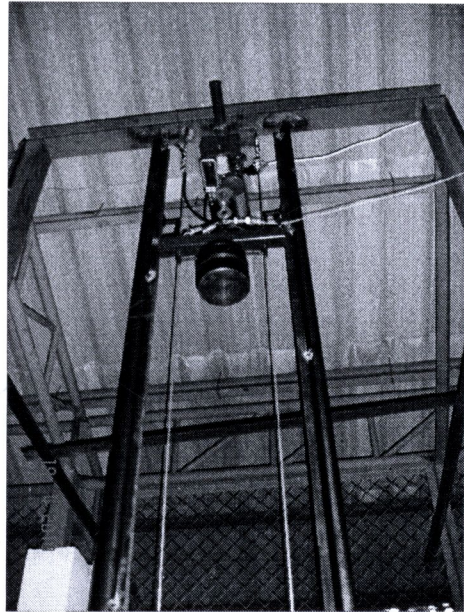
เนื่องจากเครื่องทดสอบการกระแทกนี้มีข้อจำกัดคือมีฐานที่แคบ จึงสามารถทดสอบได้เพียงการกระแทกในแนวแกน (Axial Impact) เท่านั้น ผลการทดสอบที่ได้จะนำไปสอบ



เทียบกับโปรแกรม FEA ในกรณีการกระแทกด้วยความเร็วสูง เพื่อใช้ในการขยายผลการศึกษาในการจำลองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.2 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Drop Hammer Tower ที่ออกแบบ และสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัย (ก) ภาพลักษณะหอที่เป็นชุดปล่อยค้อนน้ำหนักเพื่อสร้างแรงกระแทก (ข) ภาพส่วนบนของชุดทดลอง แสดงลักษณะการติดตั้งค้อนน้ำหนักก่อนปล่อยตก

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

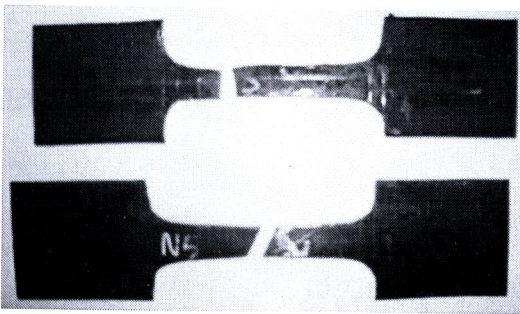
4.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

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

4.2 คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างรถยนต์โดยสาร

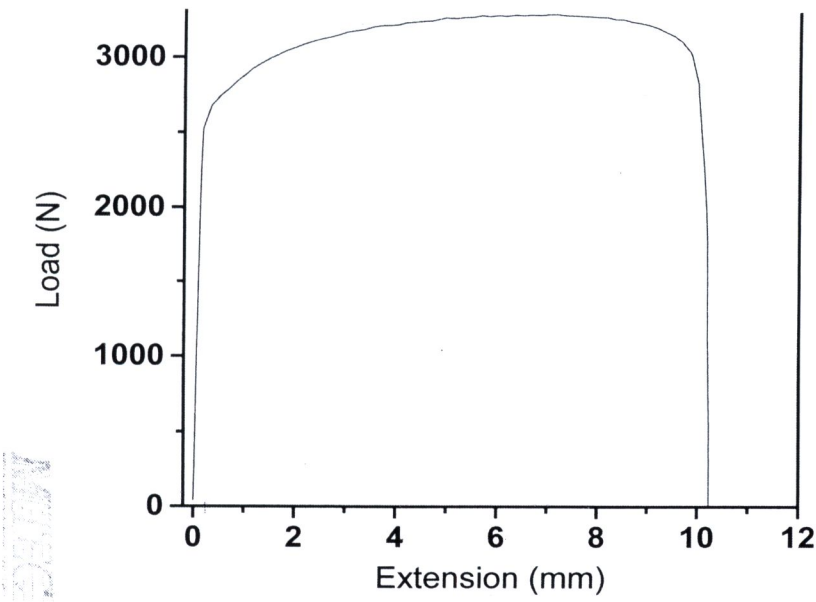
ในงานวิจัยนี้จะต้องทำการทดลองด้วยวิธีการทดลองจริง และทำการทดลองด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง FEA ชื่อ ABAQUS ดังนั้นจึงต้องทราบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโครงสร้างเสียก่อน เพื่อป้อนให้แก่โปรแกรม

ในการหาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้นใช้วิธีการดึงมาตรฐาน (Standard Tensile Test) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไป คณะนักวิจัยได้เก็บตัวอย่างเหล็กที่ใช้ในการทำโครงสร้างรถยนต์โดยสารจากหลายๆ จากนั้นนำไปขึ้นรูปขึ้นงานให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ 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

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาตรฐานจะให้ค่าของภาระและระยะขยุบตัว ซึ่งสัมพันธ์กันดัง
แสดงเป็นกราฟในภาพที่ 4.4 จากนั้นจะต้องนำค่าภาระที่ได้ในแต่ละช่วงมาแปลงเป็นความเค้นทาง
วิศวกรรม (Engineering Stress) และความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Strain) แล้วคำนวณ
ต่อไปเป็นความเค้นจริง (True strain) ความเครียดจริง (True Strain) และค่า Plastic strain โดย

ตัวอย่างค่าที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 4.2 ค่าที่คำนวณได้นี้จะถูกนำไปใช้ในแบบจำลองวัสดุของโครงสร้างในส่วนของการทดลองด้วย FEA ต่อไป

4.3 โปรแกรม FEA ที่ใช้ในการศึกษา (ABAQUS)

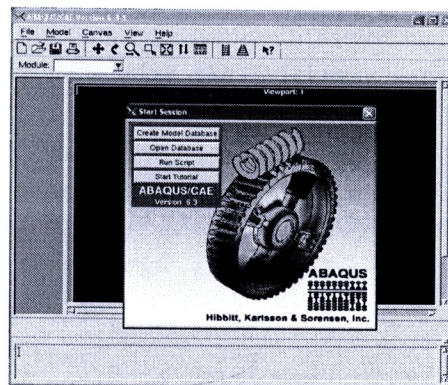
ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าโครงการวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทาง FEA ชื่อ ABAQUS เป็นเครื่องมือหลักในการวิจัย ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจกับการใช้งานโปรแกรมนี้เสียก่อน

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 ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับการเขียนรูปในโปรแกรมเขียนแบบหรืออาจจะเขียนจากโปรแกรมที่เกี่ยวกับทางด้านการเขียนแบบ (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 (เรื่องการสอบเทียบโปรแกรมจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป)



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 โดยอาจแสดงผลในรูปแบบของภาพชิ้นงานในลักษณะต่างๆ การกระจายตัวของตัวแปรที่ต้องการ หรือ กราฟ เป็นต้น ในโปรแกรมนี้ส่วนที่ใช้แสดงผล คือ ABAQUS/Viewer โดยจะนำข้อมูลหรือผลที่ได้จากการประมวลผลในส่วน 2 เรียกว่าไฟล์ ODB มาเปิดแสดงผล เพื่อทำการบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ รวมถึงข้อมูลที่โปรแกรมทำบันทึกไว้ขณะทำการทดสอบ จากนั้นจะนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับต่อไป

```

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, ELSE
**
**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 โดยในการสอบเทียบจะทำการสอบเทียบกับการกระทำแรงด้วยความเร็วต่ำ (Quasi-Static Loading) และการชนด้วยความเร็ว

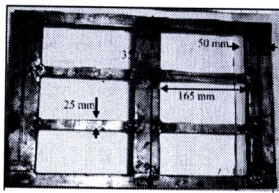
สูง (Impact Loading) ทั้งนี้เงื่อนไขของแบบจำลองทาง FEA จะสร้างให้เหมือนกับการทดลองจริง แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับ ซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการและผลการสอบเทียบดังนี้

4.4.1 รายละเอียดของการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ

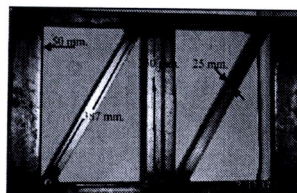
ในส่วนของการสอบเทียบกับการกระการชนด้วยความเร็วต่ำจะทำการทดสอบ ชิ้นงานหลักภายใต้ภาระการกดในแนวแกน ภาระการดัด และภาระการบิด โดยชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดลองเป็นชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างด้านข้างทั้ง 3 แบบ ดังได้อธิบายมาแล้ว

4.4.1.1 การทดลองจริง

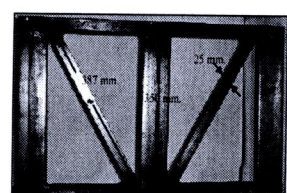
การทดลองส่วนนี้ได้ใช้เครื่องทดสอบการดึงและการกดตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1 เป็นเครื่องทดสอบ ในการทดลองนี้ใช้ภาระการกดด้วยความเร็วแบบช้าๆ โครงสร้างที่ใช้ทำการทดสอบเป็นโครงสร้างเสริมความแข็งแรงทั้ง 3 แบบ ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากอู่ต่อรถยนต์โดยสารต่างๆ ได้แก่ 1) การต่อแบบขนานในแนวนอน 2) การต่อแบบทแยงมุมและ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



(ก)



(ข)



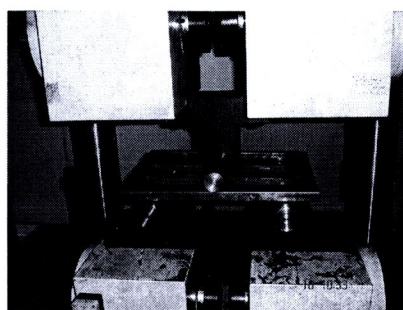
(ค)

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

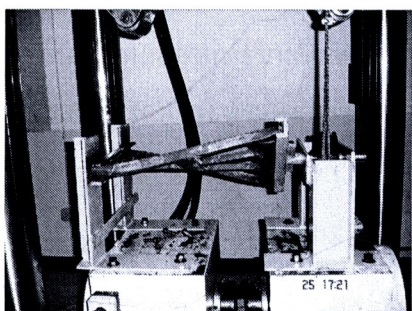
จากภาพที่ 4.7 แสดงโครงสร้างส่วนเสริมความแข็งแรงด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ใช้ในการทดสอบ ในการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยภาระ 3 แบบที่กระทำต่างกัน คือ 1) การทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกน 2) ภายใต้ภาระการดัด 3) ภายใต้ภาระการบิด โดยในแต่ละภาระการทดสอบจะใช้โครงสร้างที่ต่อทั้ง 3 แบบดังกล่าวมาแล้ว ลักษณะการจัดวางและการทดสอบกับเครื่องทดสอบ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



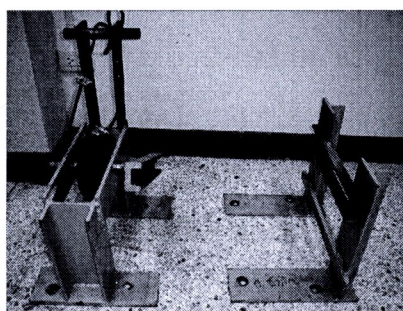
(ก) ภาระแบบกดในแนวแกน



(ข) ภาระแบบดัด



(ค) ภาระแบบบิด



(ง) เครื่องทดสอบการบิด

ภาพที่ 4.8 แสดงเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อจับยึดโครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบด้วยภาระทั้ง 3 แบบ

จากภาพที่ 4.8 แสดงลักษณะการติดตั้งและการทดลองโครงสร้าง ภายใต้ภาระแบบต่างๆ โดยภาพที่ 4.8 (ก) แสดงลักษณะการจับยึดโครงสร้างที่รับภาระด้วยแรงกดในแนวแกน ภาพที่ 4.8 (ข) แสดงลักษณะการจับยึดโครงสร้างภายใต้การทดสอบด้วยภาระแบบดัด ส่วนภาพที่ 4.8 (ค) และ (ง) แสดงลักษณะการจับยึดชิ้นงานที่รับภาระแบบบิด ทั้งนี้คณะนักวิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการสร้างภาระต่างให้แก่ชิ้นงานเพิ่มเติมด้วย เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จะขอแยกอธิบายรายละเอียดของวิธีการทดลองแบบต่างๆดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบภาระการชนในแนวแกน (Axial load)

ในการทดสอบจะใช้เครื่องทดสอบโดยใช้ภาระแบบกดกระทำกับชิ้นงานอย่างช้าๆ ซึ่งได้มีการออกแบบตัวจับยึดเพื่อรองรับโครงสร้างที่ใช้ทดสอบเพิ่มเติมเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.8 (ก) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบนั้นมีมวลที่ใกล้เคียงกัน คือ ชิ้นงานที่ต่อแบบขนานมีน้ำหนัก 1.7 kg ชิ้นงานที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลักฟันปลา มีน้ำหนัก 1.65 kg ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดความกว้าง 250 mm และยาว 480 mm เหล็กแต่ละชิ้นมีความหนาประมาณ 1 mm ในการทดสอบได้ทำการทดสอบโครงสร้างแต่ละแบบจำนวน 3 ครั้ง เพื่อลดความผิดพลาดจากการทดลอง ใช้ความเร็วในการกด 10 mm/min และระยะการกดที่กระทำต่อชิ้นงาน 60 mm ผลที่ได้

จากเครื่องทดสอบ คือค่าระยะยวบตัว (Stroke) กับภาระที่ใช้ (Load) จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าการดูดซับพลังงานต่อไป

(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 ข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบจะเก็บผลเป็นระยะยวบตัว (Stroke) กับภาระ (Load) ที่ใช้ เมื่อได้ค่าแล้วทำการเปลี่ยนค่าให้เป็นมุมดัด (Radian) กับโมเมนต์ดัด (Bending Moment) แล้วนำค่าไปสร้างกราฟเพื่อหาค่าการดูดซับพลังงานต่อไป

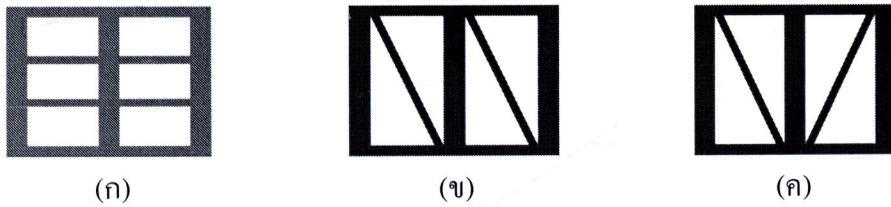
(3) การทดสอบการรับภาระแบบบิด (Twisting load)

ในการทดสอบการบิดได้ทำการออกแบบหัวทดสอบใหม่ ประกอบด้วยหัวยึดซึ่งยึดติดอยู่กับที่ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งออกแบบให้หมุนได้เพื่อบิดชิ้นงาน โดยอาศัยแรงที่ดึงผ่าน पुलเล่ ดังแสดงในภาพที่ 4.8 (ค) ส่วนภาพที่ 4.8 (ง) แสดงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการบิด (Twisting Jig) ที่ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบ ซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 ครั้งเช่นกัน ในการทดสอบใช้เงื่อนไขเช่นเดียวกับการทดสอบด้วยภาระการชนในแนวแกนและการทดสอบแบบดัด คือใช้ความเร็วในการกดชิ้นงาน 10 mm/min และระยะของการดึงกระทำต่อเส้นลวดสลิง 90 mm ผลที่ได้จากเครื่องทดสอบจะเก็บค่าเป็นค่าระยะยวบตัวกับภาระที่กระทำ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าระยะยวบตัวให้เป็นมุมบิด (Radian) กับแรงบิด (Torque) แล้วนำค่าไปสร้างกราฟเพื่อหาค่าการดูดซับพลังงาน

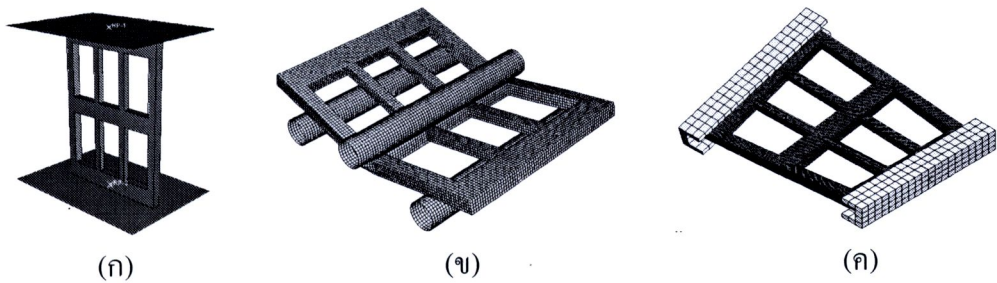
4.4.1.2 การทดสอบด้วยวิธี FEA

เพื่อทำการสอบเทียบโปรแกรมที่การชนแบบความเร็วต่ำ จึงได้สร้างแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างแต่ละแบบ โดยเลือกใช้เอลิเมนต์แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 จุดต่อ (S4R) โครงสร้างที่ทดสอบในโปรแกรมจะสร้างให้มีลักษณะต่างๆ ตามในภาพที่ 4.9 ซึ่งเหมือนกับชิ้นงานในการทดลองจริง ในการทดลองทางคอมพิวเตอร์นี้ได้สมมุติให้โครงสร้างทั้งหมดเป็นแบบเนื้อเดียวกัน มีคุณสมบัติของวัสดุเป็นแบบ Elastic Plastic Strain Hardening โดยใช้ค่าตามที่ได้จากการทดสอบดึงมาตรฐาน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากับ การทดลอง 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 แสดงลักษณะการจับยึดโครงสร้างที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ก) การทดสอบด้วยภาระแบบกด (ข) การทดสอบด้วยภาระแบบคัต (ค) การทดสอบด้วยภาระแบบบิด

ภาพที่ 4.10 (ก) แสดงรูปแบบโครงสร้างที่รับภาระแบบกดในแนวแกน โดยให้โครงสร้างที่ทำการทดสอบวางอยู่ระหว่างแผ่นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) สองแผ่นแล้วกำหนดจุด อ้างอิง (Reference Node) ที่แผ่น Rigid body ทั้งสอง และกำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสเท่ากันทั้งหมดคือ 0.3 โดยกำหนดให้แผ่นแข็งเกร็งด้านล่างยึดติดกับที่ ส่วนแผ่นแข็งเกร็งด้านบนสามารถกลิ้งในแนวตั้งและทำหน้าที่วัดระยะขยุบตัวของโครงสร้างจากเริ่มต้นจนสิ้นสุดระยะขยุบตัว ส่วนจุดอ้างอิงด้านล่างทำหน้าที่วัดแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการกด

ภาพที่ 4.10 (ข) เป็นการแสดงรูปแบบโครงสร้างที่ทดสอบด้วยภาระแบบคัต โดยมีจุดรองรับสองจุดบริเวณด้านปลายของโครงสร้างและมีท่อนเหล็กทรงกระบอกกดอยู่ตรงกลางด้านบนหนึ่งตัว โดยกำหนดคุณสมบัติของตัวรองรับและตัวกดให้เป็น Rigid Body จุดอ้างอิงด้านบนได้กำหนดให้วัดระยะขยุบตัวและวัดค่าแรงกด ส่วนด้านล่างกำหนดให้ยึดแน่นไม่ให้เคลื่อนที่

คุณสมบัติอื่นๆเหมือนกับการทดสอบแบบกดในแนวแกน

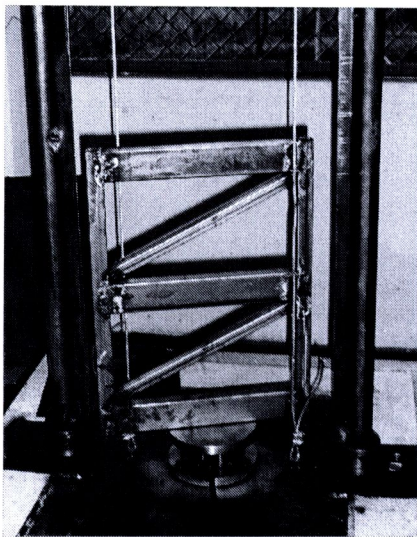
ภาพที่ 4.10 (ค) เป็นรูปแบบโครงสร้างที่รับภาระแบบบิด มีอุปกรณ์จับยึดที่ปลายทั้งสองเพื่อใช้ในการบิดชิ้นงาน ซึ่งกำหนดคุณสมบัติของตัวบิดทั้งสองให้เป็นแบบ Rigid Body และมีจุดอ้างอิงที่ตรงกลางของอุปกรณ์ยึดต่อทั้งสองข้าง เพื่อวัดระยะการบิดและวัดโมเมนต์ที่เกิดจากการบิดและเก็บผลมาทำการคำนวณต่อไป คุณสมบัติอื่นๆเหมือนกับการทดสอบแบบกดในแนวแกนเช่นกัน

4.4.2 รายละเอียดของการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง

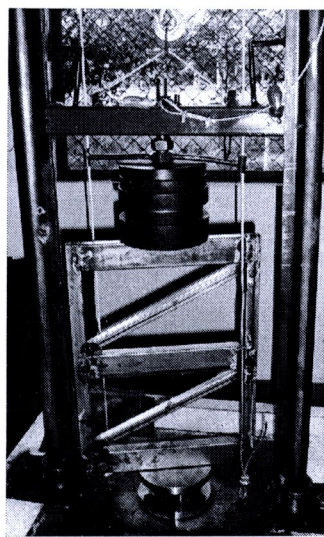
การสอบเทียบโปรแกรมภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูงนั้นมีวิธีการดำเนินงานคล้ายกับการทดสอบที่ความเร็วต่ำ ดังนี้

4.4.2.1 การทดลองจริง

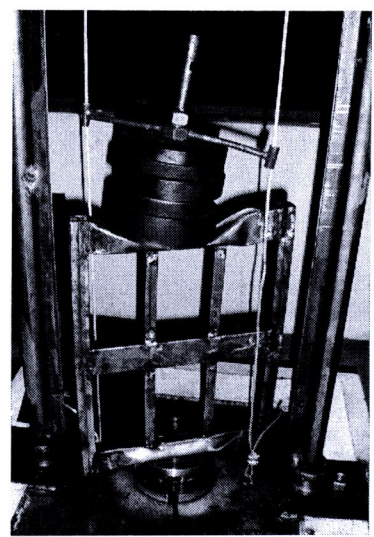
การทดลองจริงทำโดยการนำชิ้นส่วนแขวงแบบเดียวกับที่ทดลองด้วยความเร็วต่ำ คือชิ้นงานที่ต่อแบบขนาน แบบทแยงมุม และแบบสลับพื้นปลา มีทำการทดสอบรับแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการกระแทกแบบ Drop Hammer Tower โดยชิ้นงานจะถูกลงไว้ที่ฐานของเครื่องในลักษณะไม่มีการยึดฐาน (Simply Supported) ดังแสดงในภาพที่ 4.11 (ก)



(ก)



(ข)



(ค)

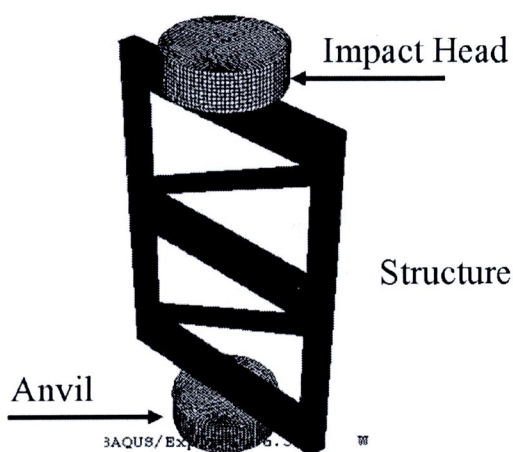
ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะการจัดวางชิ้นงานทดสอบในเครื่องทดสอบการกระแทก (ก) ตัวอย่างการจัดวางชิ้นงานบนแท่นวัดแรงปฏิกิริยาก่อนการทดสอบ (ข) ลักษณะของชิ้นงานก่อนดัดมน้ำหนักกระแทก (ค) ตัวอย่างลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการกระแทก



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 ในการทดลองทางคอมพิวเตอร์นี้ได้สมมติให้โครงสร้างทั้งหมดเป็นแบบเนื้อเดียวกัน 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



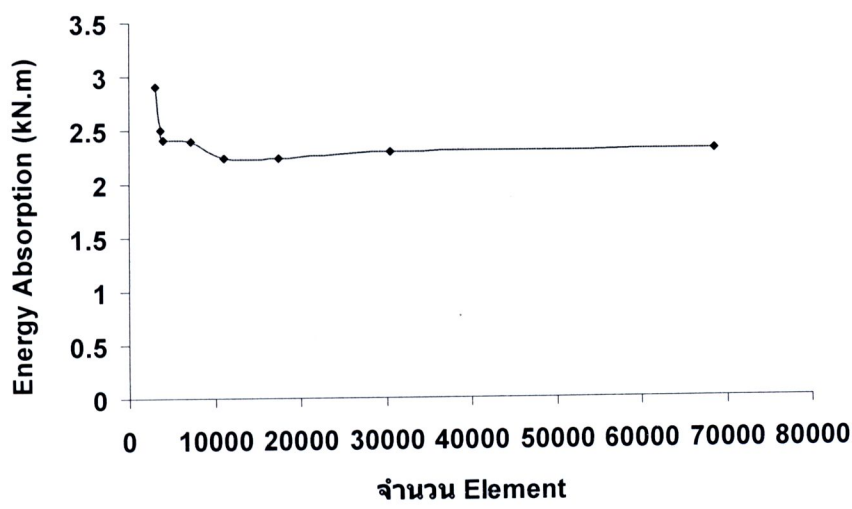
ภาพที่ 4.12 แสดงตัวอย่างแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การกระแทกด้วยความเร็วสูง

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

4.5 การหาจำนวนเอลิเมนต์อิสระ (Mesh Independence)

การหาจำนวนเอลิเมนต์อิสระเป็นการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมเพื่อจะให้การสร้างแบบจำลองของโครงสร้างในโปรแกรม FEA ซึ่งมีวิธีการหาโดยเพิ่มจำนวนของเอลิเมนต์ขึ้นเรื่อยๆ (หรือคือการลดขนาดของเอลิเมนต์ลงเรื่อยๆ) ในการทดสอบแต่ละครั้ง จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับโดยยึดตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเป็นตัวชี้วัด จนกระทั่งค่าของตัวแปรที่พิจารณานั้นมีค่าคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

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



ภาพที่ 4.13 แสดงกราฟการหาค่าจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม โดยใช้พลังงานดูดซับเป็นตัวชี้วัด

จากภาพที่ 4.13 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบการหาจำนวนอิเล็กตรอนที่เหมาะสมครั้งนี้ ซึ่งจะเห็นว่าจำนวนอิเล็กตรอนประมาณ 30,000 อิเล็กตรอนขึ้นไปจะให้คำตอบที่คงที่ เมื่อคิดเป็นค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนต่อพื้นที่จะได้จำนวนอิเล็กตรอนประมาณ 102,000 อิเล็กตรอน/ m^2 ขึ้นไป ดังนั้นในการศึกษานี้จะใช้อิเล็กตรอนขนาด 30,000 อิเล็กตรอนในการศึกษาตลอดทั้งโครงการวิจัย เนื่องจากเป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่น้อยที่สุดที่ให้คำตอบใกล้เคียงกับจำนวนอิเล็กตรอนที่สูงกว่า

หลังจากได้ทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA ที่ใช้งานกับการทดลอง ซึ่งพบว่าโปรแกรมสามารถทำนายผลได้ถูกต้องตรงกับการทดลอง ทั้งในส่วนความเร็วต่ำและความเร็วสูง (รายละเอียดเกี่ยวกับผลการสอบเทียบจะกล่าวถึงในบทถัดไป) ในลำดับต่อไปจะได้นำโปรแกรมนี้ออกไปขยายผลใช้ในการศึกษาโครงสร้างรถบัสส่วนต่างๆ แบบเต็มรูปแบบ โดยใช้ขนาดของโครงสร้างจริง ซึ่งรายละเอียดของการทดสอบดังจะบรรยายในหัวข้อต่อไป

4.6 การทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

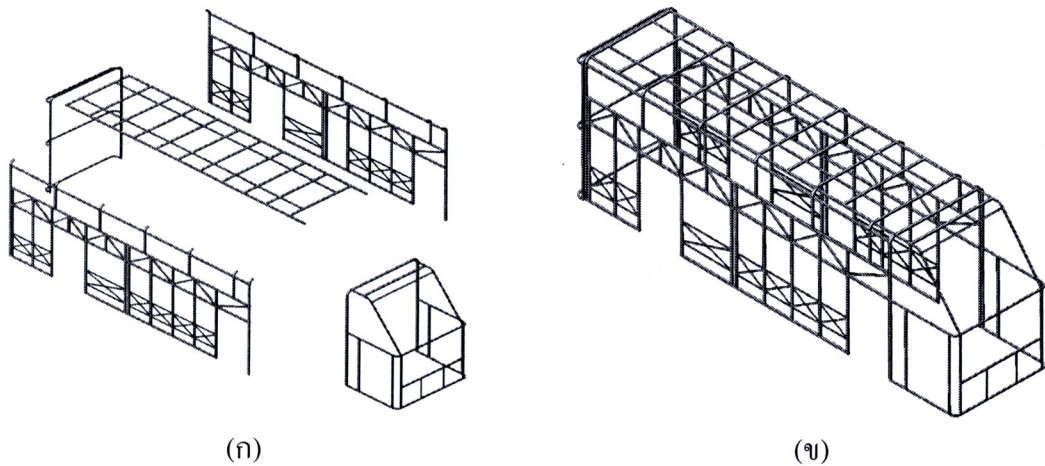
ในส่วนนี้จะอธิบายการทดสอบการชนของแผงโครงสร้างด้านข้างแบบเต็มแผงโดยใช้วิธี FEA เพื่อทำการหาค่าพลังงานดูดซับของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร โดยที่โครงสร้างจะมีส่วนเสริมความแข็งแรงที่มีการต่อ 3 แบบ ดังได้กล่าวผ่านมาแล้วในบทที่ 3 ภาพที่ 3.4 ในการทดสอบกำหนดให้โครงสร้างรับภาระการชนในแนวแกนและรับภาระการชนด้านข้างในแนวตั้งฉาก 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



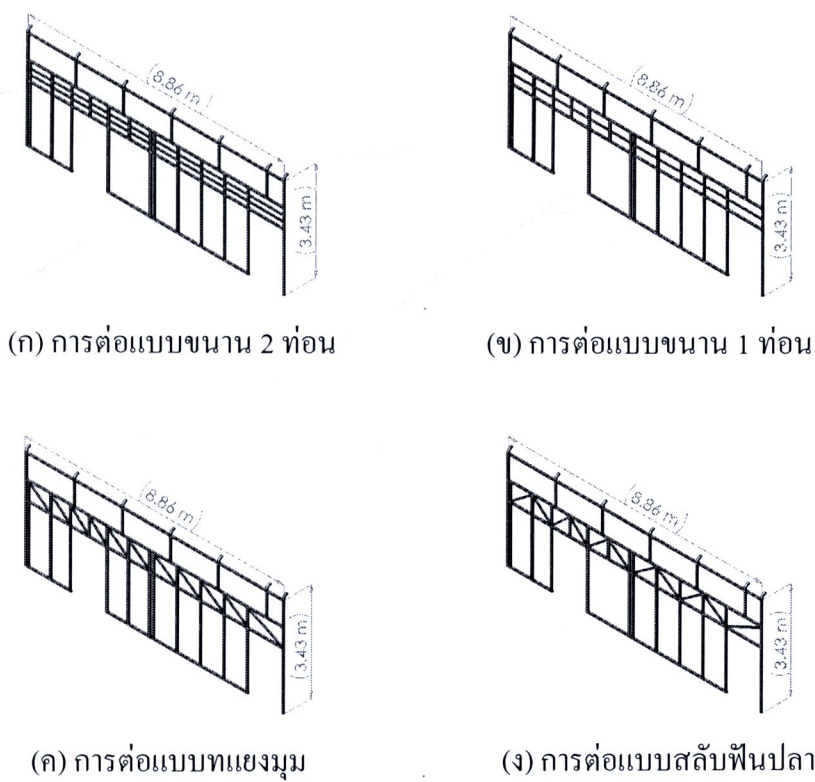
ภาพที่ 4.14 แสดงรูปแบบจำลองทาง FEA ของส่วนประกอบโครงสร้างรถยนต์โดยสาร (ก) แสดง โครงสร้างรถยนต์โดยสารแบบแยกส่วน (ข) แสดงโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ ประกอบเสร็จแล้ว

4.6.2 ลักษณะแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างที่ใช้ในการศึกษา

จากการเก็บข้อมูลจากอุตสาหกรรมรถยนต์โดยสาร ณ สถานที่ต่างๆภายในประเทศ พบว่า แพลตฟอร์มด้านข้างของรถยนต์โดยสารมักประกอบขึ้นรูปโดยใช้เหล็กกล่องและนิยมนำใน 3 ลักษณะดังกล่าวมาแล้ว ได้แก่ 1) การต่อโครงสร้างแบบขนาน 2) การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุม และ 3) การต่อโครงสร้างแบบสลับฟันปลา โดยลักษณะการต่อแบบขนานจะมีการต่อได้ 2 แบบ โดยแบบแรกจะต่อเสริมด้วยเหล็กเสริม 2 ท่อน ส่วนแบบที่สองจะต่อเสริมด้วยเหล็ก 1 ท่อน ดังนั้น จึงทำการสร้างแบบจำลองแพลตฟอร์มด้านข้างที่ประกอบด้วยส่วนเสริมความแข็งแรงแบบต่างๆ ตาม ลักษณะของโครงสร้างจริง ลักษณะโครงสร้างแบบจำลองแพลตฟอร์มด้านข้างที่ใช้ในการทดสอบทาง คอมพิวเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 4.15 (ก) และ 4.15 (ข) สำหรับแพลตฟอร์มที่มีการต่อแบบขนาน โดยใช้เหล็ก 2 และ 1 ท่อนตามลำดับ ส่วนภาพที่ 4.15 (ค) เป็นโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรงแบบทแยงมุม และภาพที่ 4.15 (ง) เป็นโครงสร้างที่เสริมความแข็งแรงแบบสลับฟันปลา

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

รวมทั้งคุณสมบัติในโปรแกรมเหมือนกับที่ใช้ในการสอบเทียบโปรแกรม เมื่อสร้างแบบจำลองของโครงสร้างด้านข้างเสร็จแล้วจะนำโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ทำการทดสอบและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEA ต่อไป

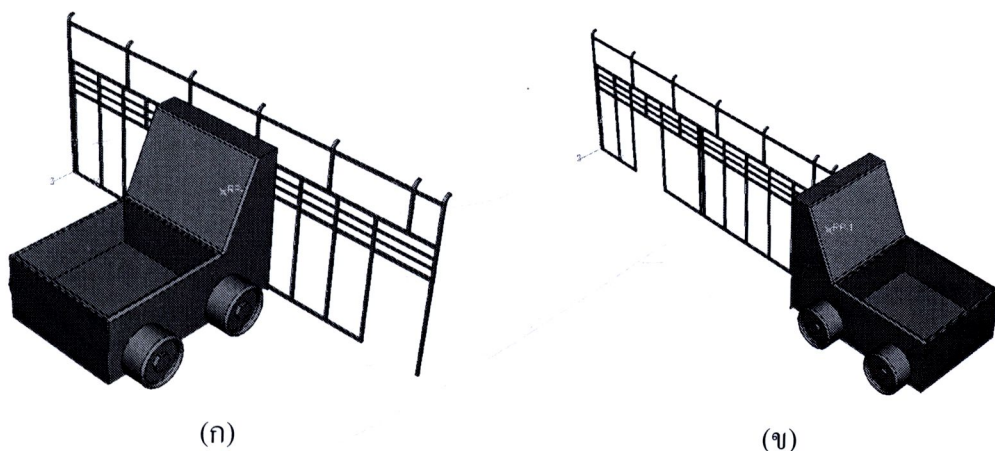


ภาพที่ 4.15 แสดงรูปแบบจำลองโครงสร้างแผงด้านข้างรถยนต์โดยสาร ที่มีการต่อชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงแบบต่างๆ

4.6.3 การทดสอบโครงสร้างด้านข้างแบบเต็มโครงสร้าง

การทดสอบแผงด้านข้างจะใช้วิธี FEA (ABAQUS/Explicit) โดยจำลองโครงสร้างแต่ละแบบด้วยเอลิเมนต์แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 จุดต่อ (S4R) มีเงื่อนไขภาระในโปรแกรมคือ กำหนดให้รถยนต์อีกคันหนึ่งที่สมมุติให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ซึ่งสมมุติให้แข็งแรงมากและไม่เกิดการเสียหายใดๆ พุ่งเข้าชนโครงสร้างแผงในทิศทาง 90 องศา กับแผงโครงสร้างที่ทดสอบและชนทางด้านหน้าในแนวแกนของโครงสร้างด้วยความเร็ว 64 km/h ดังภาพที่ 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 แสดงวิธีเตรียมการก่อนทดสอบในโปรแกรมไฟไนเอลิเมนต์ (ก) แสดงลักษณะการชนแบบ 90 องศาหรือชนด้านข้าง (ข) แสดงลักษณะการชนในแนวแกน หรือชนด้านหน้า

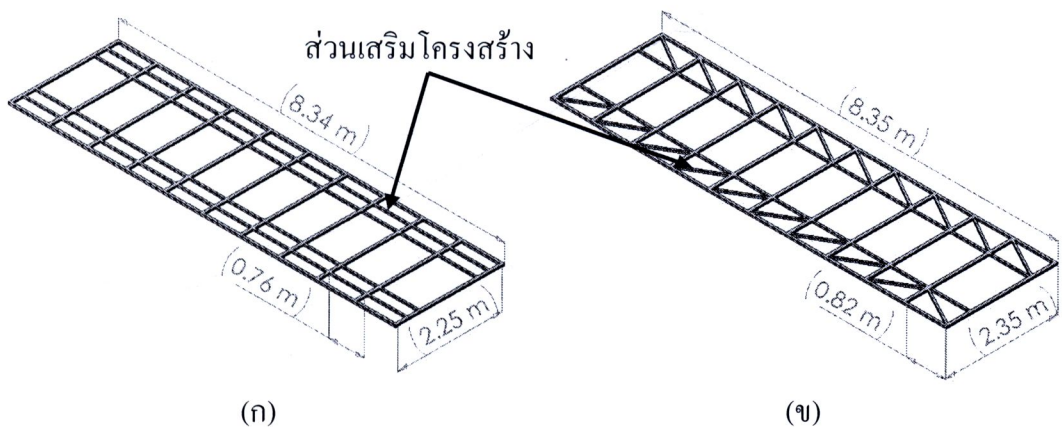
จากภาพที่ 4.16 (ก) แสดงตัวอย่างการเตรียมโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ต่อแบบขนานภายใต้ภาระการชนด้านข้าง ซึ่งเป็นการเตรียมการในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ก่อนเริ่มการทดสอบ ส่วนภาพที่ 4.16 (ข) แสดงตัวอย่างการเตรียมโปรแกรมก่อนการทดสอบของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานภายใต้ภาระการชนในแนวแกน ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลาก็มีลักษณะวิธีการเตรียมการก่อนทดสอบเช่นเดียวกัน จากนั้นจะได้ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบให้กับโปรแกรม แล้วทำการประมวลผลด้วย FEA

4.7 การทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร

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

4.7.1 การทดสอบโครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้ในปัจจุบัน

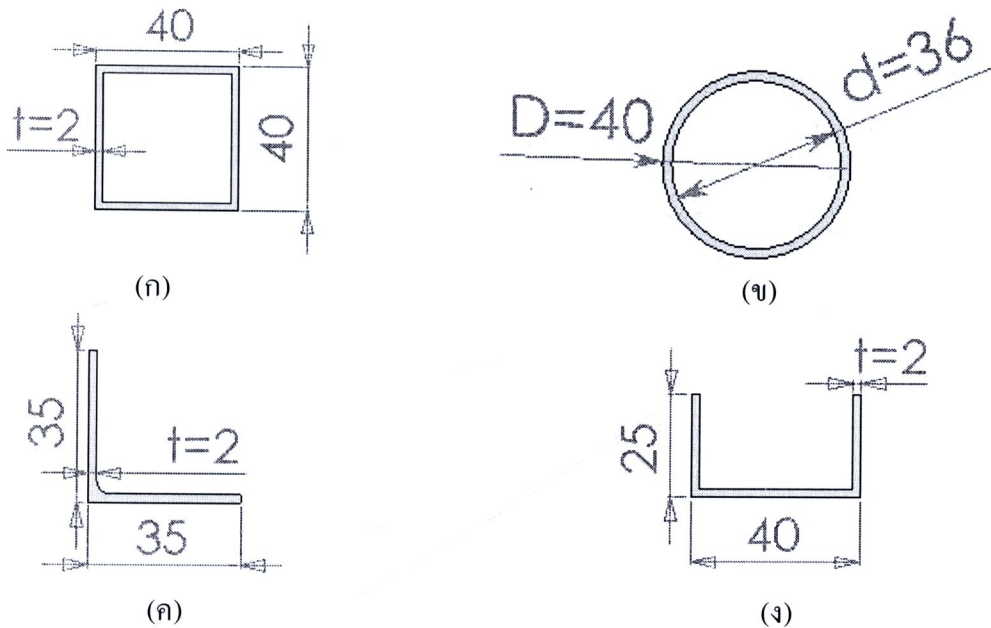
ในการทดสอบโครงสร้างหลังคาการยนต์โดยสารแบบที่ใช้งานในปัจจุบัน ได้ใช้ภาระทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่การในแนวแกน การคัต และการบิด โดยเงื่อนไขในการทดสอบอื่นๆ เช่นเดียวกับการทดสอบแผงด้านข้าง ในการทดสอบได้ทำการทดสอบกับโครงสร้างหลังคาที่มีรูปแบบการต่อแบบในปัจจุบัน ซึ่งมีลักษณะการต่อ 2 แบบ ได้แก่ การต่อแบบขนานและการต่อแบบเฉียง ดังแสดงในภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 แสดงรูปแบบการต่อโครงสร้างหลังคาการยนต์โดยสารในปัจจุบัน (ก) ลักษณะการต่อโครงสร้างแบบขนาน (ข) ลักษณะการต่อโครงสร้างแบบเฉียง

4.7.2 การทดสอบโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ

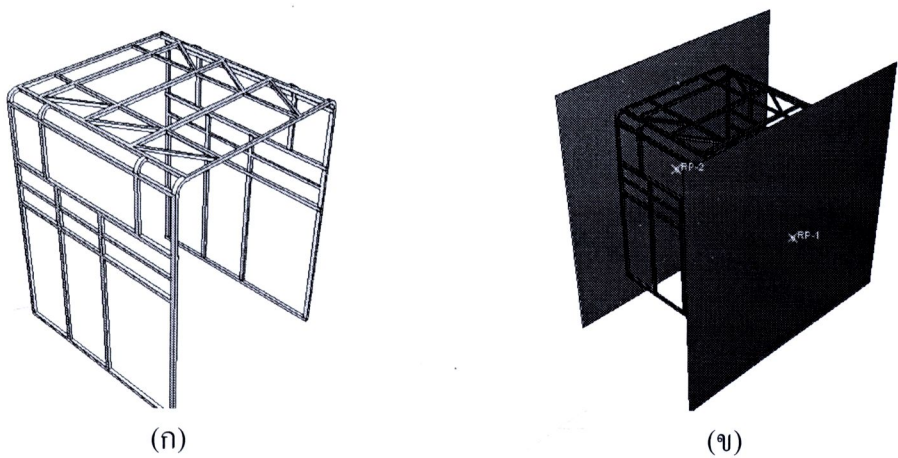
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปลี่ยนลักษณะของชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา ที่มักใช้ติดตั้งในบริเวณที่ต่อเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา ดังภาพที่ 4.17 ทั้งนี้ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นท่อเหล็กที่หน้าตัดแตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลม หน้าตัดสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยูและหน้าตัดรูปตัวแอล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



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

4.8 การทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับโครงสร้างด้านข้าง

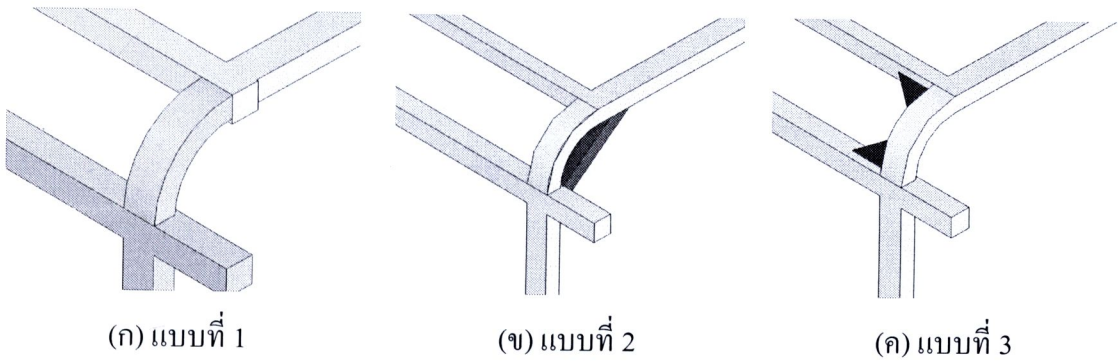
ในส่วนนี้เป็นการทดสอบการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อขึ้นจากโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ และโครงสร้างด้านข้างแบบต่างๆ โดยทำการต่อสลักชนิดกันระหว่างโครงสร้างหลังคา กับโครงสร้างด้านข้างแต่ละแบบ ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยใช้วิธี FEA เป็นหลัก และทดสอบกับภาระกระทำในแนวแกนจากด้านหน้าเท่านั้น เนื่องจากเป็นรูปแบบการชนที่พบมากที่สุด ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างที่ใช้ในการทดสอบนี้ประกอบด้วยโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร 3 แบบ และโครงสร้างหลังคาโดยสาร 2 แบบ เมื่อนำมาต่อประกอบสลักกันจะได้รูปแบบโครงสร้างที่ใช้ทั้งหมด 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 แสดงตัวอย่างลักษณะการต่อประกอบกันของโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคาของรถยนต์โดยสาร (ก) การต่อโครงสร้างด้านข้างแบบขนานกับโครงหลังคาแบบเฉียง (ข) การเตรียมโครงสร้างในโปรแกรม FEA

4.9 การทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคากับแผงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

การศึกษาส่วนนี้มุ่งศึกษาลักษณะการยึดต่อโครงสร้างหลังคากับแผงข้างของรถยนต์โดยสาร ทั้งนี้ในโครงสร้างของรถยนต์โดยสารนั้น บริเวณจุดที่มีความเสี่ยงหรือเป็นจุดวิกฤติที่สำคัญอีกจุดหนึ่ง ได้แก่ บริเวณการยึดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคาและโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ซึ่งเมื่อเกิดอุบัติเหตุแล้วบริเวณจุดนี้มักจะเป็นจุดที่เกิดการเสียหายบ่อยครั้ง โดยจากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าในปัจจุบันผู้ต่อรถยนต์โดยสารส่วนใหญ่มักนิยมเชื่อมต่อบริเวณนี้ให้มีลักษณะต่อทาบบริเวณส่วนโค้งระหว่างโครงสร้างหลังคาและโครงสร้างแผงด้านข้างของรถยนต์โดยสาร แต่ผู้ต่อรถยนต์โดยสารบางที่ก็ไม่ได้เสริมในส่วนนี้ โดยในการศึกษาส่วนนี้จะทำการทดสอบและวิเคราะห์ด้วย FEA เพื่อหาค่าพลังงานดูดซับเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการต่อแต่ละแบบ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกดที่เกิดขึ้นกับการยึดต่อแต่ละรูปแบบ ทั้งนี้รูปแบบการยึดต่อที่ศึกษาจะพิจารณาจากรูปแบบการต่อที่มีใช้อยู่เดิมเป็นหลักและเพิ่มลักษณะการต่อแบบอื่นๆ ซึ่งลักษณะโครงสร้างที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงไว้ในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แสดงรูปแบบการต่อเสริมความแข็งแรงของการยึดต่อโครงสร้างหลังคา กับแผง
โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

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