

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบของโครงสร้างรถยนต์โดยสารส่วนต่างๆ รวมถึงผล การสอบเทียบผลการทดลองกับการจำลองด้วยโปรแกรม FEA เพื่อนำโปรแกรมดังกล่าวไปขยายผล ใช้กับโครงสร้างส่วนอื่นๆ ที่ไม่สามารถทำการทดลองจริงได้ โดยจะได้ทำการวิเคราะห์ผลจากการ ทดสอบเป็นส่วนๆ ตามหัวข้อที่กล่าวผ่านมาในบทที่ 4

5.1 ผลการสอบเทียบระหว่างการทดลองกับการทดสอบด้วยโปรแกรม FEA

ในหัวข้อนี้เป็นผลที่ได้จากการสอบเทียบเทียบ โปรแกรม FEA (ABAQUS) ที่ใช้งาน กับ ผลการทดลอง เพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและขยายผลการทดสอบไปยังส่วนอื่นๆ ที่ไม่ สามารถทำการทดลองได้เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดใหญ่และใช้ต้นทุนสูง ในการสอบเทียบจะใช้ ส่วนของโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารที่มีการต่อ 3 แบบดังรายละเอียดการทดลองและ แบบจำลองที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 เป็นโครงสร้างหลักในการสอบเทียบ ทั้งนี้การสอบเทียบได้แบ่ง ออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่หนึ่งเป็นการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ ใช้การ ทดสอบภายใต้ภาระที่กระทำ 3 แบบคือ 1 ภาระแบบกดในแนวแกน 2 ภาระแบบดัด 3 ภาระแบบบิด และส่วนที่สองเป็นการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง ใช้เพียงการกระแทกใน แนวแกนเท่านั้น ผลการสอบเทียบทั้งสองส่วนมีดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วต่ำ

ในการสอบเทียบด้วยการชนแบบความเร็วต่ำของชิ้นส่วน โครงสร้างแผงด้านข้าง ของรถยนต์โดยสารนี้ได้ทำการสอบเทียบความแม่นยำของโปรแกรมโดยพิจารณาจากผลของ รูปแบบการเสียหายของโครงสร้าง และลักษณะกราฟการตอบสนองของโครงสร้างที่ได้จาก โปรแกรม FEA เปรียบเทียบกับผลจากการทดลองจริง นอกจากนี้ยังทำการคำนวณค่าพลังงานดูดซับ ของโครงสร้างที่ได้จากการทดลองเทียบกับจากแบบจำลองทาง FEA เพื่อเปรียบเทียบกันอีกด้วย และเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงขอทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรูปแบบการเสียหายของ โครงสร้าง และลักษณะกราฟการตอบสนองของโครงสร้าง ภายใต้ภาระกระทำแบบต่างๆ ในหัวข้อ ต่อไปนี้ ส่วนการเปรียบเทียบค่าพลังงานดูดซับที่ได้จะทำการอภิปรายโดยรวมในหัวข้อถัดไปอีก

5.1.1.1 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาการตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้าง

โครงสร้างใดก็ตามเมื่อถูกแรงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างจะตอบสนองด้วยการเสียรูป โดยยวบตัวในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งออกมา โดยรูปแบบการเสียหายนั้นๆ มักมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งโดยปกติขึ้นกับลักษณะการต่อ รูปทรงของโครงสร้าง และคุณสมบัติของวัสดุ นอกจากนี้ในระหว่างการเสียรูปของโครงสร้าง โครงสร้างจะดูดซับแรงกระทำและปลดปล่อยแรงปฏิกิริยาออกมาตลอดเวลา โดยแรงปฏิกิริยาที่ปล่อยออกมานั้นสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์กับระยะยวบตัวได้ เรียกว่ากราฟของภาระและระยะยวบตัว (Load Displacement Curve) หรือกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะยวบตัว ซึ่งนับเป็นการตอบสนองของโครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่ง

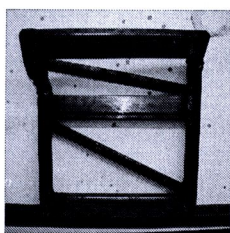
(1) การตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างภายใต้ภาระกดในแนวแกน

(1.1) ผลการทดสอบด้วยการทดลองจริง

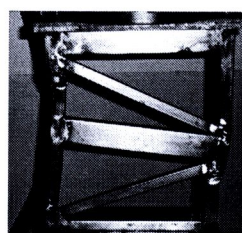
รูปแบบการเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างภายใต้ภาระการกดในแนวแกน แสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งสังเกตได้ว่าลักษณะการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลักฟันปลาส่วนใหญ่จะเสียหายบริเวณส่วนเสริมโครงสร้างเป็นหลัก ดังแสดงภาพที่ 5.1 (ข) และ 5.1 (ค) ส่วนการต่อแบบขนานพบว่าการเสียหายเกิดขึ้นบริเวณคานเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพที่ 5.1 (ก)



(ก)



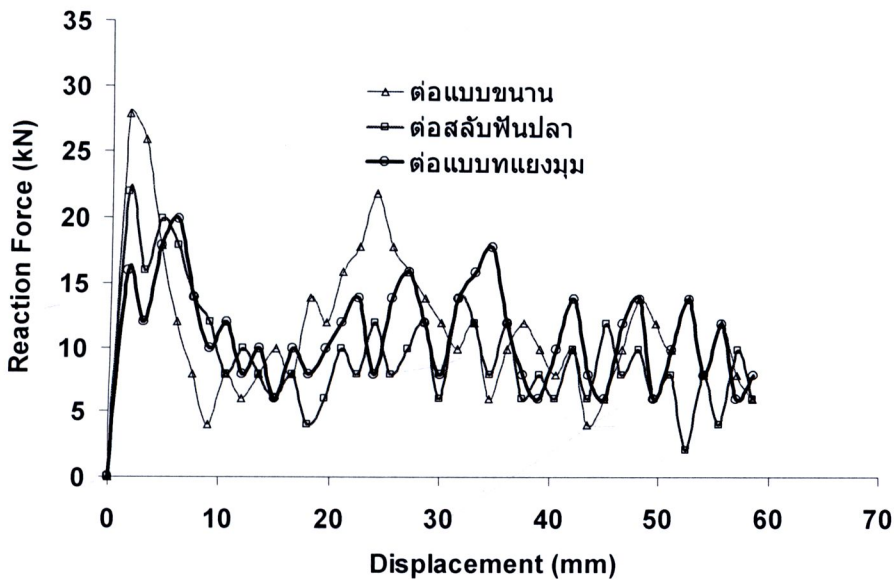
(ข)



(ค)

ภาพที่ 5.1 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดลองภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน

(ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลักฟันปลา

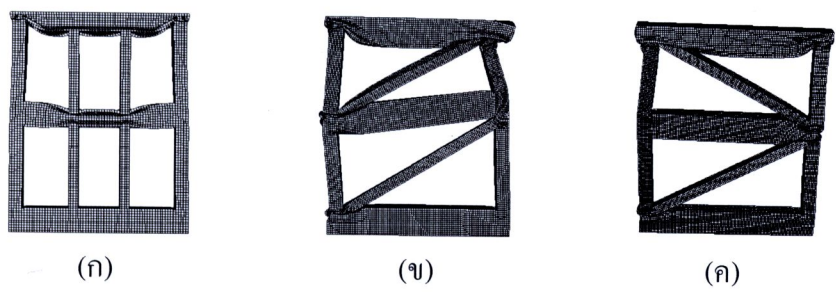


ภาพที่ 5.2 แสดงกราฟค่าภาระที่กระทำกับระยะขยุบตัวจากการทดลองของโครงสร้างที่ต่อทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน

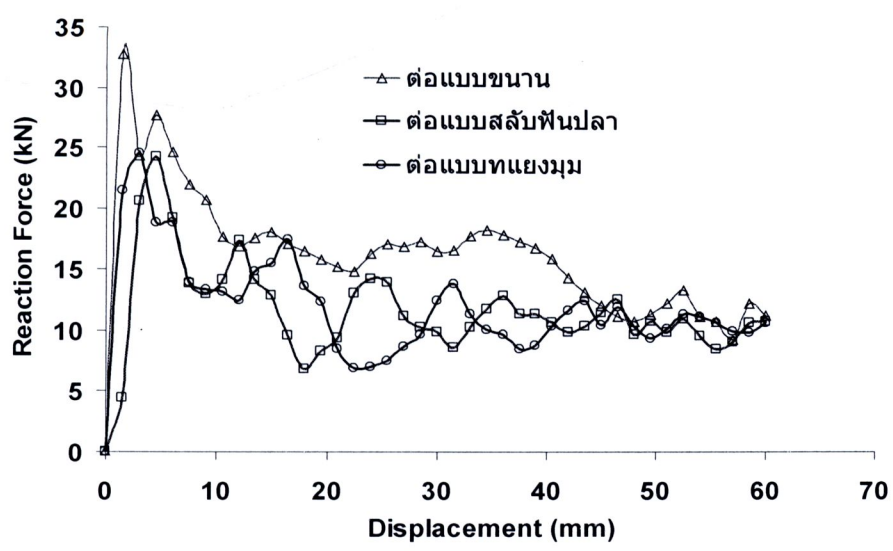
จากกราฟในภาพที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาและระยะขยุบตัวของโครงสร้างที่ทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกน โดยในแกนนอนแสดงระยะขยุบตัวของโครงสร้างตลอดการทดสอบและแกนตั้งแสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการทดสอบ จากกราฟของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างที่ต่อแบบขนานจะมีค่าแรงปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างที่ต่ออีก 2 แบบที่เหลือ โดยจุดสูงสุดของกราฟในช่วงแรกของโครงสร้างแต่ละแบบนั้นแสดงถึงค่าภาระวิกฤติที่เกิดขึ้น โดยพบว่าค่าภาระวิกฤติของโครงสร้างแบบขนานมีค่าสูงสุด คือ 28 kN รองลงมาเป็นค่าภาระวิกฤติของโครงสร้างแบบสลับพื้นปลาและแบบทแยงมุม 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) เป็นผลการทดสอบของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานซึ่งจะมีลักษณะการเสียหายบริเวณส่วนคานโครงสร้างหลักเป็นส่วนใหญ่ ส่วนภาพที่ 5.3 (ข) และภาพที่ 5.3 (ค) เป็นรูปแบบการขยุบตัวของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับพื้นปลา ตามลำดับ โดยลักษณะการเสียหายที่ได้จากแบบจำลองด้วย FEA นั้นมีลักษณะคล้ายกับผลที่ได้จากการทดลองมาก



ภาพที่ 5.3 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน (ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา



ภาพที่ 5.4 แสดงกราฟค่าภาระที่กระทำกับระยะขยุบตัวจากการทดสอบด้วย FEA ของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน

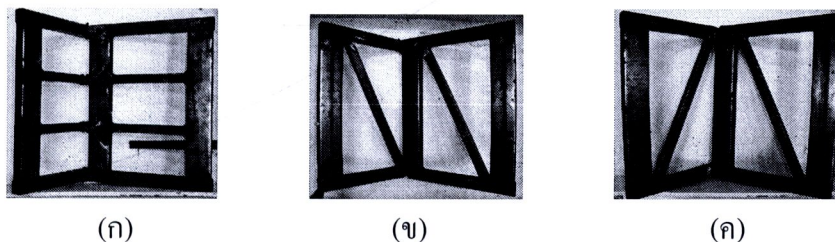
ภาพที่ 5.4 เป็นกราฟค่าภาระและระยะขยุบตัวที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการกดในแนวแกน ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกที่เกิดภาระวิกฤติ โครงสร้างที่ต่อแบบขนาน มีค่ามากกว่าอีก 2 แบบ คือประมาณ 34 kN หลังจากนั้นจะลดลงแต่เส้นกราฟก็ยังคงมีค่าสูงกว่าเส้นกราฟของอีก 2 แบบ ตลอดการทดสอบ ส่วนการต่อแบบทแยงมุม และต่อแบบสลับฟันปลามีค่าภาระวิกฤติใกล้เคียงกัน คือประมาณ 24 kN จากลักษณะกราฟดังกล่าวสรุปได้ว่าทั้งผลการทดลองและผลการทดสอบด้วยวิธี FEA โครงสร้างที่ต่อแบบขนานจะมีการรับภาระได้มากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา

(2) การตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างภายใต้ภาระแบบดัด

การทดสอบการชนภายใต้ภาระแบบดัดจะเก็บผลของค่าภาระที่ใช้ดัด ในรูปของโมเมนต์ดัด และมุมดัดที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ โดยมุมดัดที่เกิดขึ้นวัดเป็นมิลลิเรเดียน (Rad) ทำการทดสอบ 2 วิธีเปรียบเทียบกัน ได้แก่การทดลองจริงเทียบกับการทดลองด้วยแบบจำลอง FEA

(2.1) ผลการทดสอบด้วยการทดลองจริง

รูปแบบการเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างภายใต้ภาระการดัดแสดงในภาพที่ 5.5



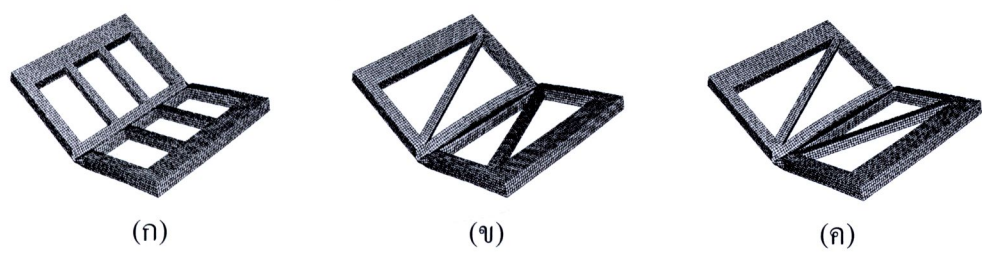
ภาพที่ 5.5 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดสอบจริง ภายใต้ภาระกระทำแบบดัด
(ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

ภาพที่ 5.5 เป็นรูปแบบการเสียหายที่ได้จากการทดลองจริงภายใต้ภาระแบบดัดของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ โดยภาพที่ 5.5 (ก) เป็นโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีลักษณะการเสียหายตรงกึ่งกลางของโครงสร้าง เนื่องจากในจุดนี้เป็นแนวที่หัวกดของเครื่องทดสอบสัมผัสกับชิ้นส่วน ซึ่งการเสียหายมักเกิดขึ้นตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนเสริมกับชิ้นส่วนหลักของโครงสร้าง ในภาพที่ 5.5 (ข) เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุม พบว่ามีการยุบตัวบริเวณตรงกลางของโครงสร้างระหว่างชิ้นส่วนคานหลักกับชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเสริมเช่นเดียวกับการต่อแบบขนาน และภาพที่ 5.5 (ค) เป็นลักษณะการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบสลับฟันปลา ซึ่งมีลักษณะการเสียหายที่คล้ายกับสองแบบแรกที่กำลังกล่าวมาแล้ว

(2.2) ผลการทดสอบด้วยวิธี FEA

ภาพที่ 5.6 เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างจากการทดสอบด้วยวิธี FEA ภายใต้ภาระการดัด จากภาพสังเกตได้ว่าการเสียหายจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนกลางโครงสร้างเป็นหลัก ซึ่งโครงสร้างทั้ง 3 แบบมีลักษณะการเสียหายที่คล้ายกัน และเหมือนกับรูปแบบการ

เสียหายที่ได้จากการทดลองจริง แต่หากพิจารณาในแง่ของพลังงานดูดซับของแต่ละโครงสร้างแล้ว ผลที่ได้มีความแตกต่างกันบ้าง ดังจะได้อภิปรายในหัวข้อต่อไป

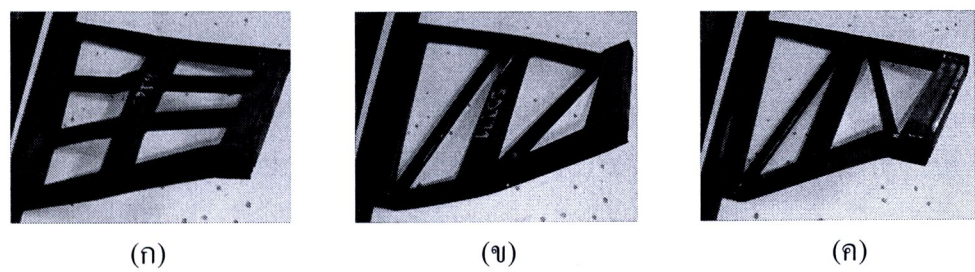


ภาพที่ 5.6 แสดงรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระการตัดโดยการทดสอบด้วยวิธี FEA (ก) โครงสร้างต่อแบบขนาน (ข) โครงสร้างต่อแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างต่อแบบสลัฟพื้นปลา

(3) การตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างภายใต้ภาระแบบบิด

การทดสอบการชนภายใต้ภาระแบบบิดนี้จะเก็บผลที่ได้จากการทดสอบ เช่น เดียว กับผลการทดสอบแบบคัต ก็จะได้เก็บผลของค่าภาระที่ใช้บิดและมุมบิดที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ โดยมุมบิดที่เกิดขึ้นวัดเป็นมิลลิเรเดียน (*Rad*) ทำการทดสอบ 2 วิธีเปรียบเทียบกัน ได้แก่การทดลองจริงเทียบกับการทดลองด้วยแบบจำลอง FEA

(3.1) ผลการทดสอบด้วยการทดลองจริง



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

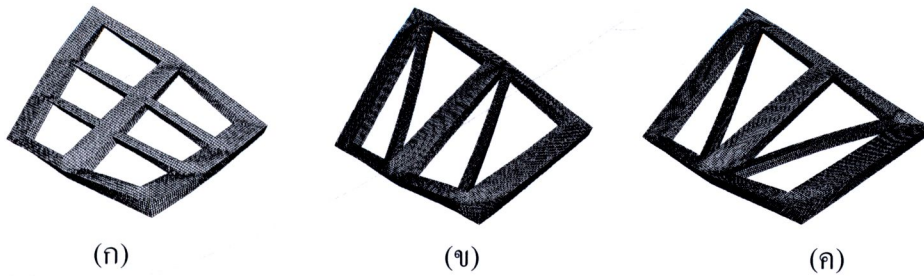
ภาพที่ 5.7 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างภายใต้ภาระการบิดที่ได้จากการทดลอง ในภาพที่ 5.7 (ก) แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน โดยจะสังเกตเห็นการเสียหายที่บริเวณส่วนขอบและส่วนเสริมของโครงสร้าง ส่วนภาพที่ 5.7 (ข) และ 5.7 (ค) แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลัฟพื้นปลา 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 ได้คำนวณผลของการดูดซับพลังงานและการดูดซับพลังงานจำเพาะของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร ซึ่งได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 5.1 และจะได้อภิปรายผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบและตัวแปรที่เกี่ยวข้องภายใต้ภาระที่กระทำแบบกดในแนวแกน ภาระแบบคัตและภาระแบบบิด

ชนิดการต่อ	น้ำหนักชิ้นงาน (kg)	Stroke (mm)	องศาการบิด/คัต (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) ผลการทดสอบภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน

ผลการทดลองจริงภายใต้ภาระแบบกดในแนวแกน 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 สามารถที่จะดูดซับพลังงานได้มากกว่าการต่ออีกสองแบบซึ่งผลของ FEA มีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริง

(2) การทดสอบภายใต้ภาระแบบดัด

ผลการทดลองจริงภายใต้ภาระแบบดัด กรณีโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน สามารถดูดซับพลังงานจากการดัดเท่ากับ 89.55 N.m ส่วน โครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมดูดซับพลังงานได้ 78.54 N.m และ โครงสร้างที่ต่อแบบสลับฟันปลาดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 82.71 N.m จากผลการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าการต่อโครงสร้างแบบขนานจะให้ค่าการดูดซับพลังงานจากการดัดมากกว่าการต่อแบบอื่นๆ สำหรับผลจากการทดสอบด้วยโปรแกรม FEA คือ การต่อโครงสร้างแบบขนาน สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 124.1 N.m การต่อแบบทแยงมุมให้ค่าการดูดซับพลังงานเท่ากับ 113.94 N.m และการต่อแบบสลับฟันปลาสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 118.41 N.m จะเห็นได้ว่าการต่อโครงสร้างแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการดัดได้มากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ และพบว่าผลการคำนวณจากโปรแกรมมีความสอดคล้องกับการทดลองจริง

(3) การทดสอบภายใต้ภาระแบบบิด

การทดสอบโครงสร้างภายใต้ภาระแบบบิด ผลที่ได้จากการทดลอง คือ โครงสร้างแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการบิดได้เท่ากับ 41.67 N.m การต่อแบบทแยงมุมสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 46.7 N.m และการต่อแบบสลับฟันปลาได้ 46.76 N.m ซึ่งจะเห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบสลับฟันปลาและต่อแบบทแยงมุมมีค่าการดูดซับพลังงานจากการบิดใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อเทียบกับการต่อแบบขนานแล้วพบว่าโครงสร้างที่ทั้งสองสามารถดูดซับแรงบิดได้มากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน ส่วนผลการทดสอบจากโปรแกรม FEA จะได้ผลการดูดซับพลังงานของโครงสร้างแบบขนานเท่ากับ 45.69 N.m การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมให้ผลการดูดซับพลังงานเท่ากับ 67.26 N.m และโครงสร้างที่ต่อแบบสลับฟันปลาสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 66.50 N.m ซึ่งจะเห็นว่าการต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลามีความสามารถใกล้เคียงกัน โดยภายใต้ภาระแบบบิดทั้งคู่ให้ผลการดูดซับพลังงานได้ดีกว่าการต่อแบบขนาน และให้ผลสอดคล้องกันกับผลการทดลองจริง

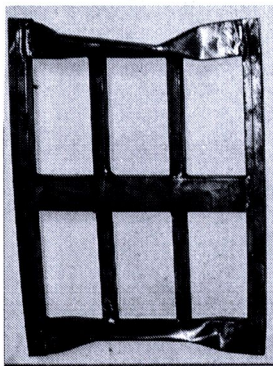
5.1.2 ผลการสอบเทียบภายใต้ภาระการชนด้วยความเร็วสูง

ในการสอบเทียบโปรแกรม FEA กับ การทดลองด้วยความเร็วสูงนั้น ได้ใช้ชิ้นงานแบบเดียวกับที่ใช้ในการทดลองด้วยความเร็วต่ำ แต่ใช้รูปแบบการกระแทกในแนวแกนเพียงแบบเดียว เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ทดลอง ส่วนเงื่อนไขการทดลองสามารถรายละเอียดได้ในบทที่ 4 และผลการเปรียบเทียบการศึกษาส่วนนี้มีดังนี้

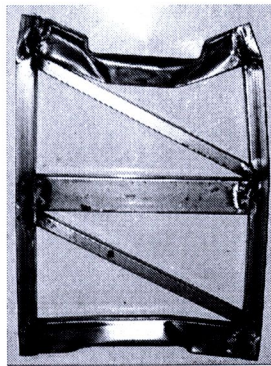
5.1.2.1 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาการตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้าง

(1) ผลการทดสอบด้วยทดลองจริง

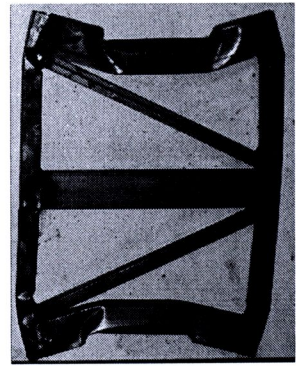
รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ เมื่อรับแรงกระแทกในแนวแกน แสดงในภาพที่ 5.9 ซึ่งพบว่าโครงสร้างทั้ง 3 แบบ มีรูปแบบการเสียหายคล้ายกัน กล่าวคือมีการยุบตัวแบบคดที่บริเวณกึ่งกลางของคานด้านบนซึ่งถูกกระแทกโดยตรงจากดุ้นน้ำหนัก โดยพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีการยุบตัวน้อยที่สุด เนื่องจากมีท่อนเหล็ก 2 ท่อน ที่วางขนานกัน ช่วยดูดซับแรง ในการศึกษานี้ได้บันทึกค่าของแรงปฏิกิริยาตลอดการกระแทกที่เวลาต่างๆ และเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและเวลา ดังแสดงในภาพที่ 5.10 ทั้งนี้ขออธิบายเพิ่มเติมว่าในการทดลองด้วยความเร็วสูงนั้นไม่สามารถวัดค่าการยุบตัวของโครงสร้างในระหว่างการเสียหายได้ เนื่องจากการยุบตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมักนิยมเขียนกราฟของค่าภาระและเวลา มากกว่ากราฟของค่าภาระและระยะยุบตัวดังที่ใช้ในการศึกษาความเร็วต่ำ



(ก)



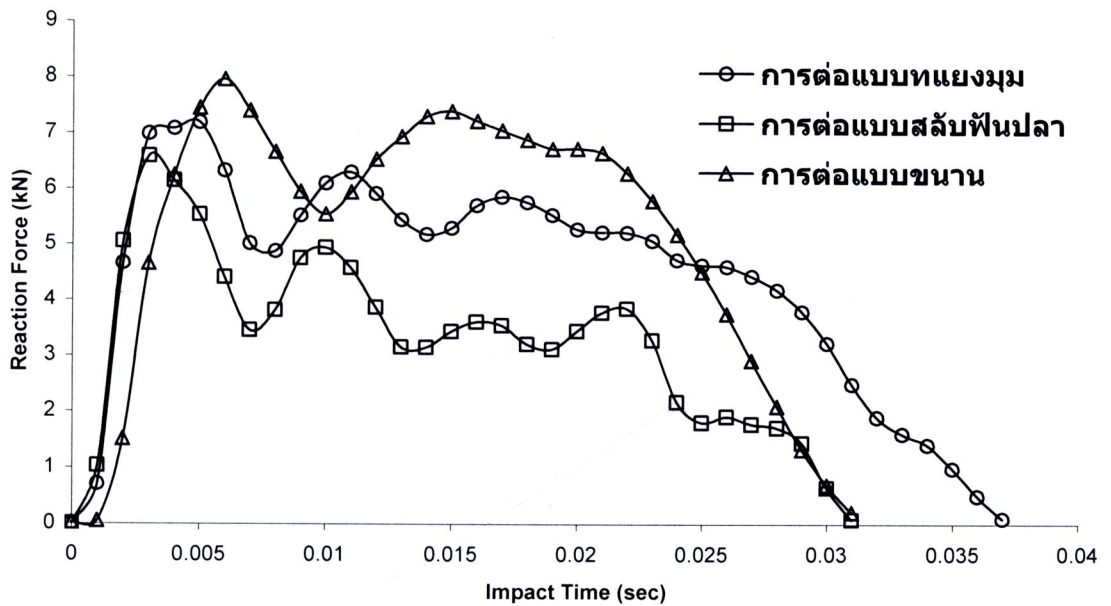
(ข)



(ค)

ภาพที่ 5.9 ลักษณะการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการทดลองกระแทกด้วยความเร็วสูง
(ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุม (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

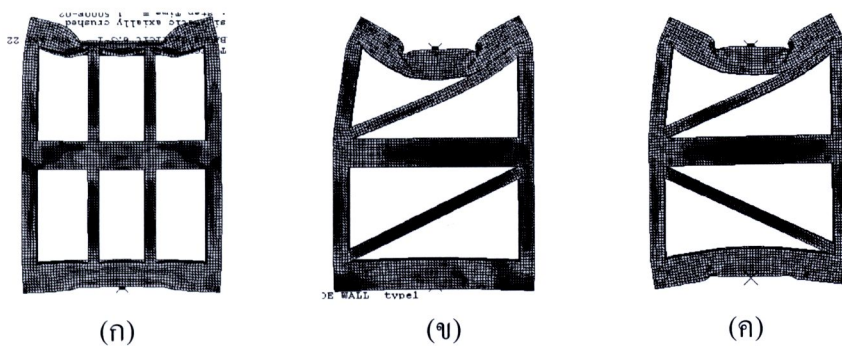
เมื่อพิจารณากราฟของแรงปฏิกิริยาและเวลา ในภาพที่ 5.10 พบว่าลักษณะกราฟ จะมีการแกว่งตัวสูงสุดในรอบแรก จากนั้นกราฟจะตกลงมาและแกว่งตัวต่ำลงจนสิ้นสุดการกระแทก นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีค่าของแรงปฏิกิริยาสูงกว่าของโครงสร้างอีก 2 แบบตลอดการกระแทก



ภาพที่ 5.10 กราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการทดลองกระแทกด้วยความเร็วสูง

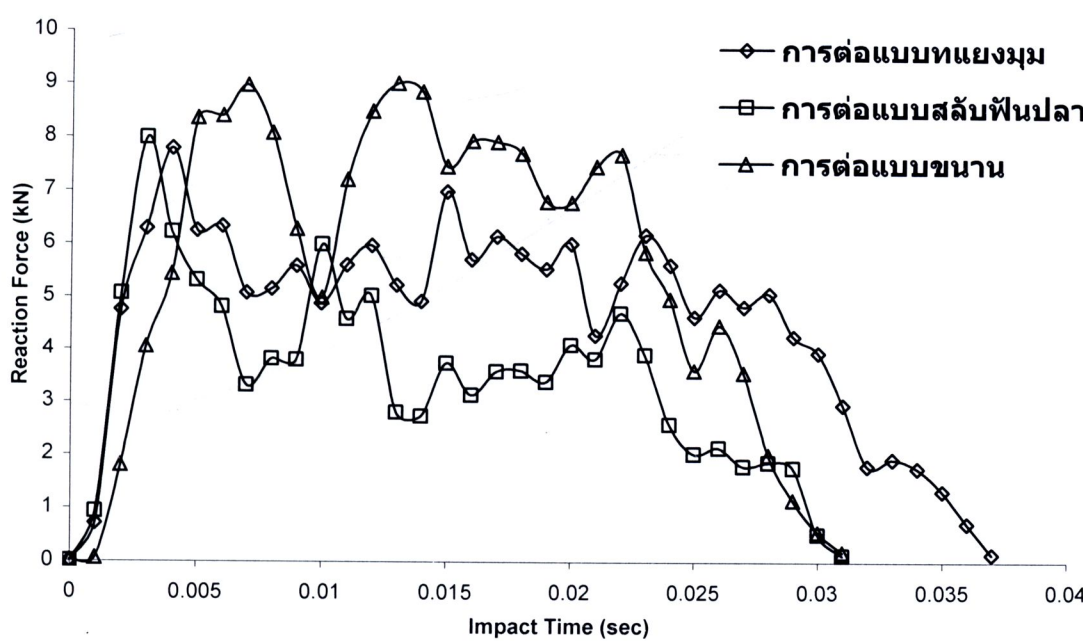
(2) ผลการทดสอบด้วยแบบจำลอง FEA

รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ ที่จำลองจากโปรแกรม FEA เมื่อรับแรงกระแทกในแนวแกนแสดงในภาพที่ 5.11



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

จากภาพที่ 5.11 จะเห็นว่าแบบจำลองโครงสร้างทุกแบบมีรูปแบบการเสียหายคล้ายกับผลจากการทดลอง กล่าวคือมีการยุบตัวแบบคัตที่บริเวณกึ่งกลางของคานด้านบนซึ่งถูกแรงกระทำโดยตรงจากตุ้มน้ำหนัก โดยพบว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีการยุบตัวน้อยที่สุด ส่วนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและเวลา ที่ได้จากแต่ละแบบจำลองแสดงในภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5.12 กราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ จากการจำลองด้วย FEA ภายใต้การกระทำด้วยความเร็วสูง

เมื่อพิจารณารูปแบบของแรงปฏิกิริยาและเวลา ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ซึ่งแสดงในภาพที่ 5.12 พบว่ากราฟมีลักษณะคล้ายกราฟจากการทดลอง โดยพบว่าการแกว่งตัวสูงสุดในรอบแรก จากนั้นกราฟจะตกลงมาและแกว่งตัวต่ำลงจนสิ้นสุดการกระทำ นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีค่าของแรงปฏิกิริยาสูงกว่าของโครงสร้างอีก 2 แบบตลอดการกระทำ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่คล้ายกับการทดลองมาก

5.1.2.2 ผลการสอบเทียบโดยพิจารณาค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้าง

ค่าดูดซับพลังงานของโครงสร้างที่ทดสอบภายใต้แรงกระทำนั้นคำนวณโดยการหาค่าภาระเฉลี่ยจากกราฟแรงปฏิกิริยาและเวลาของโครงสร้างแต่ละแบบ จากนั้นนำค่าที่ได้มาคูณกับระยะยุบตัวสูงสุดของโครงสร้าง (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
การต่อแบบสลับฟันปลา	3.23	105	339.64	3.42	105	339.22

จากข้อมูลในตารางที่ 5.2 จะเห็นว่า ในกรณีการทดลองนั้น โครงสร้างแบบต่อขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้ประมาณ 531.38 kN.m ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับพลังงานของโครงสร้างแบบต่อทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา ที่ดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 456.59 kN.m และ 339.64 kN.m ตามลำดับ ส่วนค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการจำลองด้วย FEA นั้นมีค่าสูงกว่าการทดลอง โดยพบว่าแบบจำลองโครงสร้างแบบต่อขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้ประมาณ 579.49 kN.m ซึ่งสูงกว่าค่าการดูดซับพลังงานของแบบจำลองโครงสร้างแบบต่อทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา 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% สำหรับการทดสอบโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา ตามลำดับ

แต่ในกรณีของการทดสอบด้วยความเร็วสูง พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองกับการจำลองด้วย FEA ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก โดยพบความผิดพลาดสูงสุดเพียง 8% เท่านั้น ทั้งนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุต่อไปนี้

(1) ชิ้นงานจริงนั้นเป็นการผลิตจากการประกอบเหล็กหลายชิ้นเข้าด้วยกันย่อมมีจุดอ่อนและมีตัวแปรเพิ่มขึ้น แต่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถกำหนดให้โครงสร้างที่ประกอบกันเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยจุดต่อในแบบจำลองจะมีความสมบูรณ์ที่สุด

(2) ในการประกอบชิ้นงานเพื่อการทดลองจริง ได้ใช้วิธีการเชื่อมต่อชิ้นงานโดยให้แนวเชื่อมเกิดขึ้นรอบชิ้นงานบริเวณจุดต่อให้มากที่สุด แต่จริงๆ แล้วอาจมีบางบริเวณที่รอยเชื่อมเข้าไปไม่ถึง ส่งผลให้ชิ้นงานจริงรับแรงได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น

(3) คุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ทดสอบมีความไม่คงที่ตลอดทั้งชิ้นงาน เช่น ความหนาของเหล็กที่ใช้ แต่สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นสามารถกำหนดความหนาให้เท่ากันทั้งโครงสร้างได้ ซึ่งมีความแน่นอนกว่า

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

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

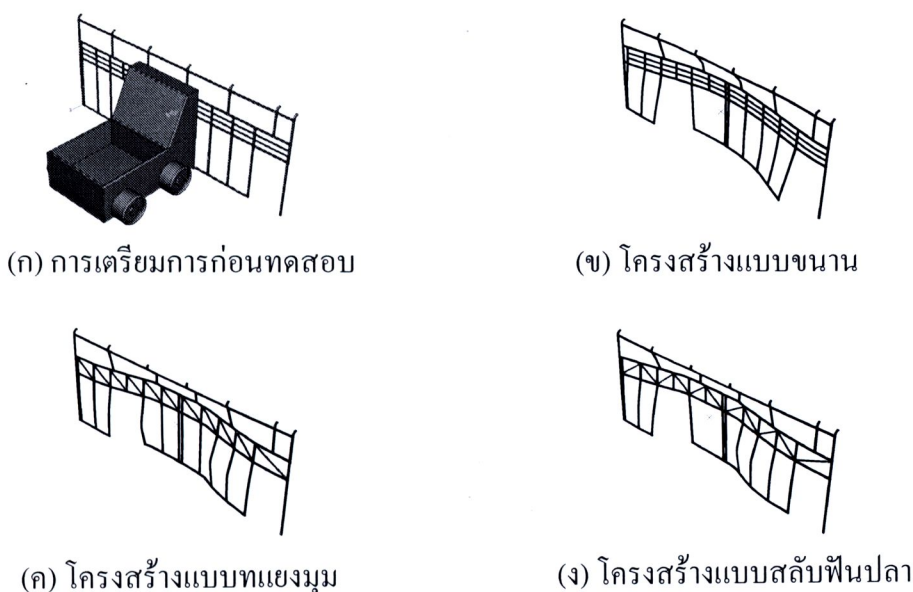
5.2 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารแบบเต็มแผง

หลังจากได้ทำการสอบเทียบโปรแกรม FEA กับผลการทดลองแล้ว จึงได้นำโปรแกรมดังกล่าวมาขยายผลในการศึกษาการเสียหายของโครงสร้างขนาดจริง ซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงผลการ

ทดสอบการชนของโครงสร้างแฉ่งด้านข้างแบบขนาดจริง โดยได้ทำการทดสอบเป็น 2 กรณี คือ การทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้าง และการทดสอบการชนในแนวแกน ในการศึกษาส่วนนี้จะใช้การจำลองโดย FEA อย่างเดียวกันนั้น เนื่องจากโครงสร้างมีขนาดใหญ่และไม่สามารถใช้การทดลองจริงได้ โดยรูปแบบการเสียหายและผลการดูดซับพลังงานของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบ จะแสดงรายละเอียดแต่ละกรณีไว้ในหัวข้อที่ 5.2.1 และ 5.2.2

5.2.1 การตอบสนองของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้การชนในแนวตั้งฉาก

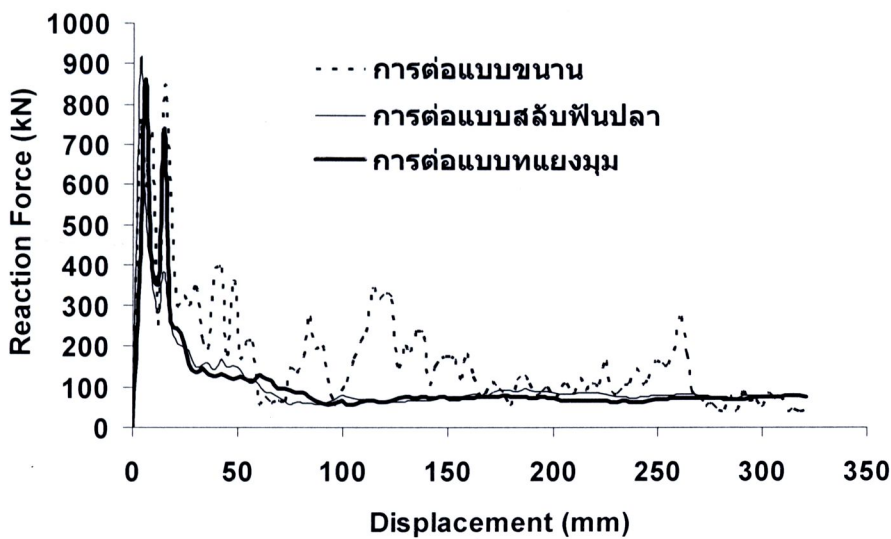
ผลจากการทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ต่อทั้ง 3 แบบ มีลักษณะการเสียหายของโครงสร้างแบบต่างๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 5.13 ซึ่งเป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่รับภาระการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้าง โดยโครงสร้างถูกชนให้ยุบลงไปเป็นระยะทางประมาณ 320 mm ผลที่ได้จากการทดสอบ ได้แก่วิธีการเสียหายของโครงสร้างจะแสดงผลในลักษณะรูปภาพ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



ภาพที่ 5.13 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวตั้งฉาก

ภาพที่ 5.13 แสดงรูปแบบการเสียหายของแฉ่งโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ได้จากการทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้างด้วยวิธี FEA โดยในภาพที่ 5.13 (ก)

เป็นลักษณะการเสียรูปของโครงสร้างแบบขนาน ซึ่งจะเสียหายบริเวณกึ่งกลางโครงสร้างเป็นหลัก เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการชนเกิดขึ้น โดยลักษณะของการเสียหายจะมีชิ้นส่วนที่ยุบตัวเข้าไปด้านในของตัวรถ ลักษณะการยุบตัวเช่นนี้อาจทำให้ชิ้นส่วนที่ยุบตัวเข้าไปปะทะกับผู้โดยสารที่นั่ง ณ บริเวณตำแหน่งนั้นได้ ในภาพที่ 5.13 (ข) และ 5.13 (ค) แสดงลักษณะของการเสียรูปของโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา ตามลำดับ โดยรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างทั้ง 2 แบบนี้มีลักษณะคล้ายกับโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน คือ ลักษณะการเสียหายจะเกิดการยุบตัวบริเวณตรงกลางของโครงสร้างเป็นหลัก



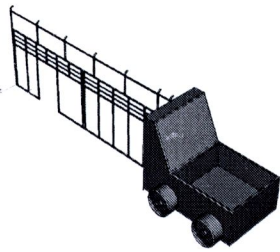
ภาพที่ 5.14 กราฟภาระและระยะยุบตัวที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวตั้งฉาก

ภาพที่ 5.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาหรือภาระกับระยะยุบตัวของโครงสร้างภายใต้การชนทางด้านข้าง ข้อมูลจากกราฟพบว่าโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบขนานมีลักษณะเส้นกราฟที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอ โดยมีค่าสูงสุดในช่วงแรกที่เกิดภาระวิกฤติ แล้วกราฟจะตกลงอย่างกะทันหันและหลังจากนั้นจะเกิดการแกว่งขึ้นลงสลับกันไปเรื่อยๆ ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลา ต่างก็มีลักษณะกราฟที่ใกล้เคียงกันและค่อนข้างราบเรียบ ซึ่งข้อดีของลักษณะกราฟเช่นนี้คือ เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นโครงสร้างสามารถดูดซับแรงได้โดยที่ไม่เกิดการกระชากหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งและอัตราหน่วงอย่างทันทีทันใด ซึ่งจะไม่เกิดอันตรายต่อร่างกายของผู้โดยสาร สำหรับค่าอัตราเร่งนี้มีความสำคัญอย่างมากในการศึกษาด้านการชนของโครงสร้าง โดยได้มีการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวางและมีข้อเสนอว่า ในการดูดซับแรงกระแทกนั้นไม่ควรก่อให้เกิดอัตราเร่งหรืออัตราหน่วงของโครงสร้างมาก

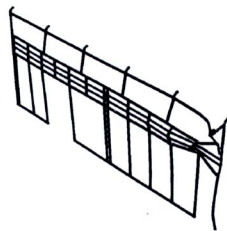
เกินไป [43] เพราะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งหรืออัตราหมุนที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ได้ [38] ส่วนค่าพลังงานดูดซับที่แผงโครงสร้างด้านข้างแต่ละแบบดูดซับได้นั้น จะทำการคำนวณและแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

5.2.2 การตอบสนองของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้การชนในแนวแกน

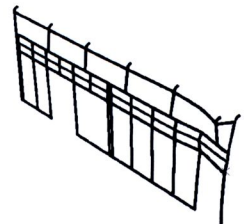
ผลจากการทดสอบการชนในแนวแกนของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารทั้งสามแบบมีลักษณะการเสียหายดังแสดงในภาพที่ 5.15 โดยในภาพที่ 5.15 (ก) เป็นภาพแสดงการเตรียมโครงสร้างก่อนการทดสอบในโปรแกรม FEA ส่วนในภาพที่ 5.15 (ข) และภาพที่ 5.15 (ค) เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานเสริมด้วยเหล็ก 2 ท่อนและต่อเสริมด้วยเหล็ก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



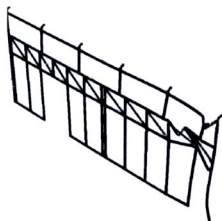
(ก) การเตรียมการก่อนทดสอบ



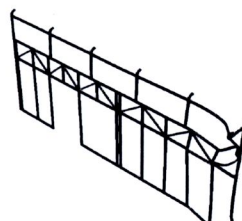
(ข) ต่อแบบขนาน 2 ท่อน



(ค) ต่อแบบขนาน 1 ท่อน

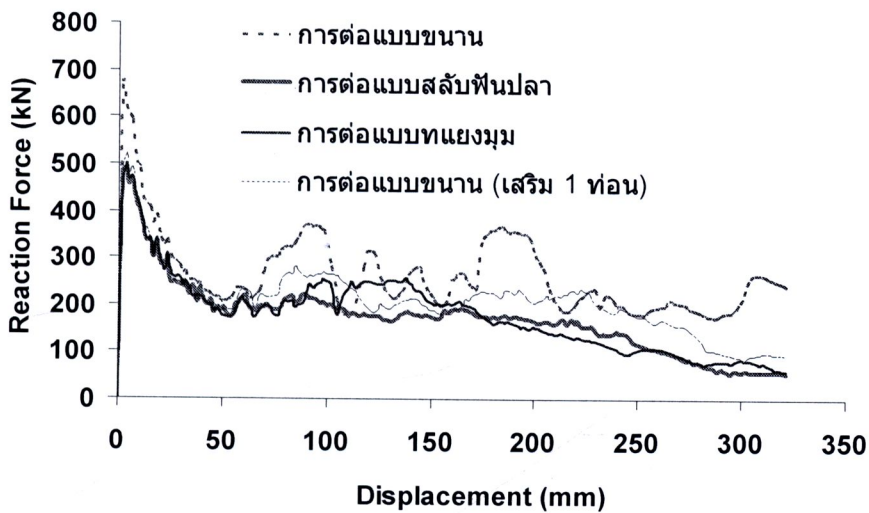


(ง) โครงสร้างแบบทแยงมุม



(จ) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

ภาพที่ 5.15 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวแกน



ภาพที่ 5.16 กราฟภาระและระยะขยุบตัวที่ได้จากแบบจำลองทาง FEA ของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวแกน

ภาพที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยากับระยะขยุบตัวของโครงสร้างที่ได้จากแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารทั้ง 3 แบบ ภายใต้การชนในแนวแกน โดยข้อมูลในแกนนอนของกราฟแสดงระยะขยุบตัวและข้อมูลในแกนตั้งคือค่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ ผลการสังเกตพบว่าเส้นกราฟของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีแนวโน้มค่าแรงปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา ส่วนลักษณะการแกว่งตัวของกราฟจะมีลักษณะคล้ายกัน ทั้งนี้เมื่อลดจำนวนชิ้นส่วนการต่อเสริมโครงสร้างแบบขนานลง 1 ชิ้นพบว่าความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ก็ยังมากกว่าค่าของการต่อแบบทแยงมุมและสลับฟันปลาอยู่ดี รายละเอียดส่วนนี้จะบรรยายเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 5.2.3

5.2.3 ค่าการดูดซับพลังงานที่ได้จากการทดสอบของแผงโครงสร้างด้านข้างทั้ง 3 แบบ

เมื่อนำข้อมูลการทดสอบจากโปรแกรม FEA ของแผงโครงสร้างด้านข้างที่ต่อทั้ง 3 แบบ ภายใต้ภาระการชนด้านข้างและภาระการชนในแนวแกนมาคำนวณหาภาระเฉลี่ย (P_{mean}) และระยะขยุบตัว ($Stroke$) ของโครงสร้างก็จะสามารถคำนวณหาพลังงานดูดซับ (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



ยังคงสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบสลักพื้นปลาและโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมเหมือนเดิม

5.3 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการฉนวนโดยสาร

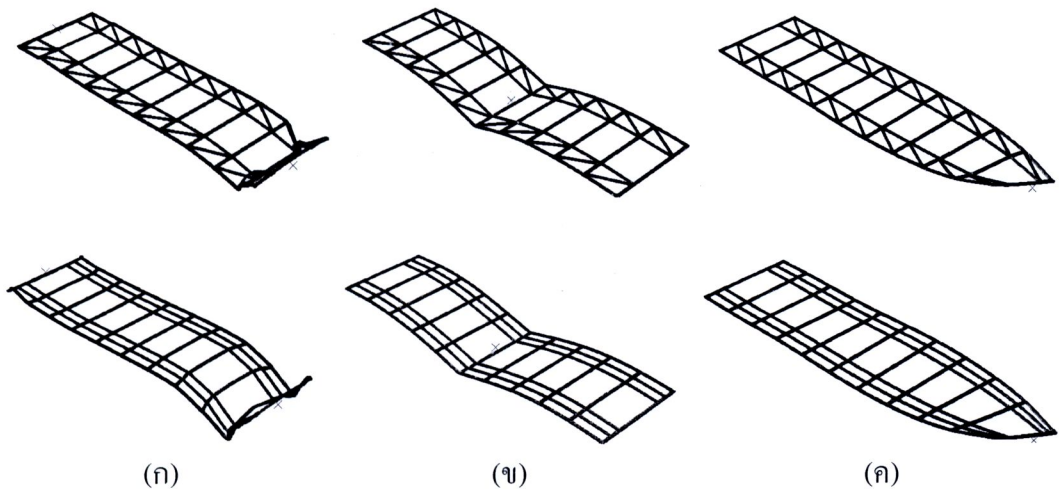
แบบจำลองโครงสร้างหลังคาที่นำมาใช้ในการศึกษานี้จำลองมาจากแบบโครงสร้างหลังคาที่ใช้กันทั่วไป ดังมีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.7 และมีผลการศึกษาดังนี้

5.3.1 ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาแบบที่ใช้กันในปัจจุบัน

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

5.3.1.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระแบบต่างๆ

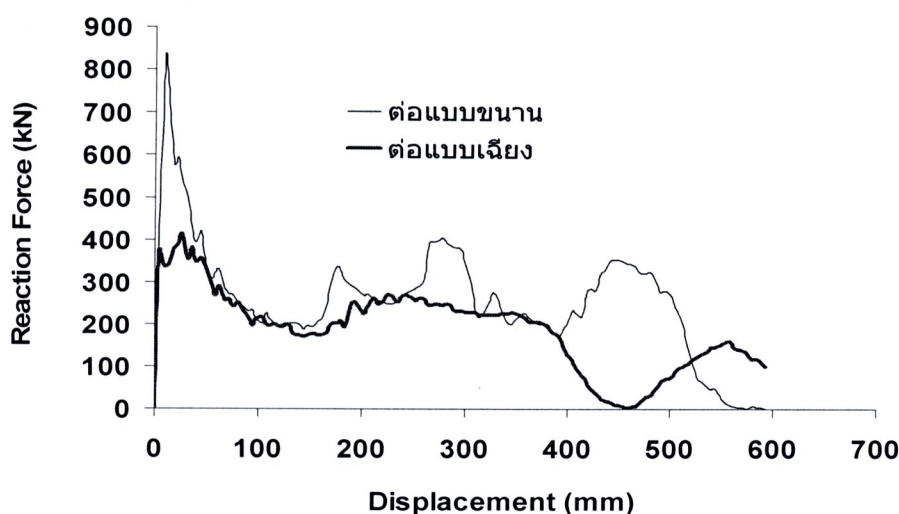
เมื่อโครงสร้างหลังคาได้รับภาระในรูปแบบต่างๆกระทำ ก็จะมีการเสียรูปในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 5.17 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียง โดยภาพแฉากล่างแสดงโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนาน ส่วนภาพภาพในแฉบบนแสดงโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียง ภาพที่ 5.17 (ก) แสดงรูปแบบการยุบตัวของโครงสร้างภายใต้ภาระการชนในแนวแกน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าปลายโครงสร้างด้านหน้าจะเกิดการยุบตัวโก่งลง และหักตัวขึ้น โดยลักษณะการโก่งตัวของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีระยะการโก่งตัวลึกมากกว่าแบบที่ต่อแบบเฉียง



ภาพที่ 5.17 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียงภายใต้ภาระการชน 3 แบบ (ก) ภายใต้ภาระการชนในแนว แกน (ข) ภายใต้ภาระแบบคัดและ (ค) ภายใต้ภาระแบบบิด

ส่วนภาพที่ 5.17 (ข) แสดงรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระการดัดของโครงสร้างทั้ง 2 แบบ ซึ่งเกิดจากมุมดัดประมาณ 0.2 เรเดียน โดยพบว่าเกิดการเสีรูปตรงบริเวณส่วนกลางของโครงสร้างทั้ง 2 แบบ นอกจากนี้พบว่าโครงสร้างทั้งสองมีแนวโน้มการเสีรูปที่คล้ายกัน และภาพที่ 5.17 (ค) เป็นโครงสร้างที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระแบบบิต โดยมุมบิตที่เกิดขึ้นจากการทดสอบมีค่าประมาณ 0.48 เรเดียน โดยจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างเกิดการบิดตัวตามแนวแรงบิต และมีรูปแบบการเสียหายที่คล้ายกัน

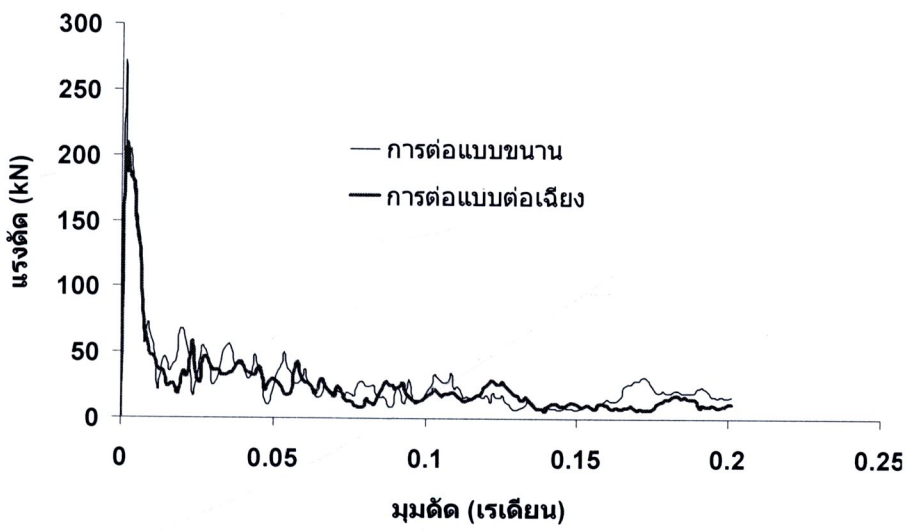
จากการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาภายใต้รูปแบบต่างๆ ได้ทำการบันทึกค่าภาระและระยะการยุบตัว แล้วเขียนเป็นกราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำแบบต่างๆ เปรียบเทียบกันระหว่างโครงสร้างที่ต่อแบบขนานและโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียง ดังแสดงในรูปที่ 5.18, 5.19 และ 5.20 สำหรับภาระการชนในแนวแกน ภาระแบบดัด และ ภาระแบบบิต ตามลำดับ



ภาพที่ 5.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้การชนในแนวแกน

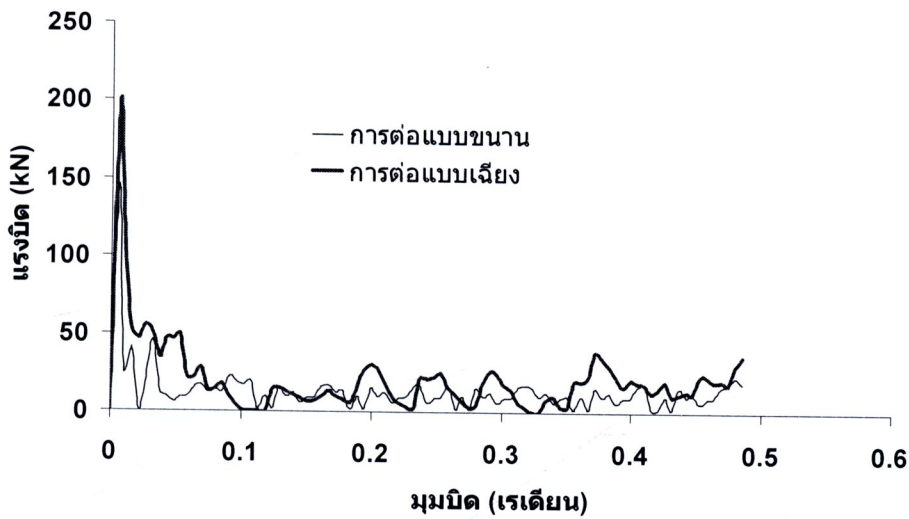
ภาพที่ 5.18 แสดงกราฟแสดงผลการทดสอบของแผงโครงสร้างหลังคาการถยนต์โดยสารภายใต้การชนในแนวแกน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของโครงสร้างทั้ง 2 แบบ พบว่าช่วงแรกของกราฟโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานมีค่าภาระวิกฤติประมาณ 850 kN ส่วนโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงมีค่าภาระวิกฤติต่ำกว่ามาก คือประมาณ 390 kN หลังจากจุดนี้เส้นกราฟจะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันไปจนสิ้นกระบวนการ ซึ่งจากการสังเกตลักษณะเส้นกราฟของการต่อแบบเฉียงจะมีแนวโน้มแกว่งตัวน้อยกว่าการโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน แต่หากพิจารณาค่าของแรงปฏิกิริยา จะพบว่าค่าแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีแนวโน้มที่สูง

กว่าค่าของการต่อแบบเฉียง พื้นที่ใต้กราฟของกราฟดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ และพลังงานดูดซับจำเพาะต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 5.4



ภาพที่ 5.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงคัดและมูมคัดของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและแบบเฉียงภายใต้ภาระการคัด

จากภาพที่ 5.19 เป็นกราฟแสดงค่าแรงคัดกับมูมคัดของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานและต่อแบบเฉียงภายใต้ภาระการคัด ทั้งนี้ในแกนนอนแสดงค่ามูมคัดของโครงสร้าง 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 ส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกราฟดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณหาพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะสำหรับภาระการบิดต่อไป ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.4 และการอภิปรายผลในหัวข้อต่อไป

5.3.1.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากชนของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระแบบต่างๆ

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

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

ภาระที่กระทำ / รูปแบบการต่อ	Structural Mass (kg)	Stroke, Bending Angle, Twisting Angle	ผลการทดสอบ			
			P_{mean} (kN)	Moment (kN.m)	E_a (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 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบการชนของ โครงสร้างหลังคาด้วยภาระทั้ง 3 แบบ โดยผลการทดสอบพบว่าในกรณีของการชนในแนวแกนนั้น โครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 153.45 kN.m ส่วนโครงสร้างที่ ต่อแบบเฉียงได้ 112.43 kN.m ดังนั้นจะเห็นว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับ พลังงานจากการชนในแนวแกนได้มากกว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงประมาณ 26.73% และ เมื่อพิจารณาถึงมวลของตัวโครงสร้าง ซึ่งมีมวลเกือบเท่ากัน พบว่าความสามารถในการดูดซับ พลังงานจำเพาะของโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานยังมากกว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียง ประมาณ 26.64% สำหรับผลการทดสอบภายใต้ภาระแบบคด พบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบ ขนานสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 23.88 kN.m และ โครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมดูดซับ พลังงานได้เท่ากับ 20.86 kN.m ซึ่งหากเปรียบเทียบกันพบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนาน สามารถดูดซับพลังงานจากการชนแบบคดได้มากกว่าวิธีการต่อแบบเฉียงประมาณ 12.65% และการ

ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ดีกว่าการต่อแบบเฉียงประมาณ 12.55% ส่วนการทดสอบภายใต้ภาระการบิด พบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 6.17 kN.m และโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 9.86 kN.m หากเปรียบเทียบกันจะพบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานจากการบิดได้มากกว่าการต่อโครงสร้างแบบขนานประมาณ 37.42% หากพิจารณาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ พบว่าโครงสร้างหลังคาแบบเฉียงสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าการต่อโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน 18.77 N.m/kg หรือประมาณ 37.54%

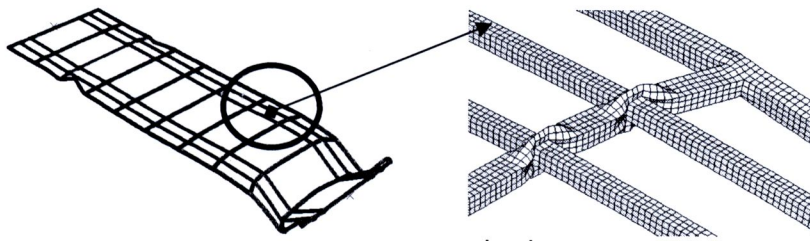
จากผลการศึกษาที่กล่าวมา จะเห็นว่าได้ว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนในแนวแกนและจากการชนแบบดัดได้มากกว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียง แต่ในกรณีที่ได้รับภาระแบบบิด ผลการศึกษากลับตรงกันข้าม กล่าวคือโครงสร้างหลังคาที่ต่อแบบเฉียงกลับมามีความสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนาน

5.3.2 ผลการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ

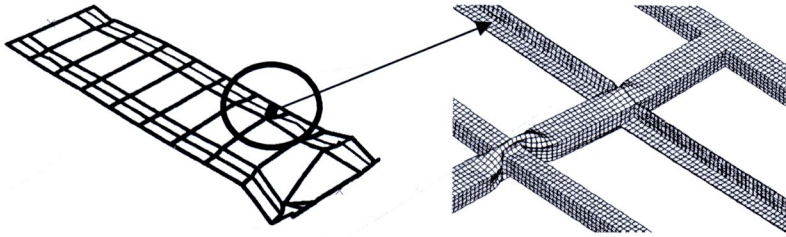
ในงานวิจัยนี้ได้นำโครงสร้างหลังคาแบบขนานซึ่งมีแนวโน้มการดูดซับพลังงานจากการชนที่ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบเฉียง มาทำการพัฒนาต่อโดยทดลองติดตั้งชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงที่มีหน้าตัดต่างๆ ได้แก่ หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม รูปวงกลม รูปตัวยูและรูปตัวแอล ดังรายละเอียดบรรยายในหัวข้อที่ 4.7.2 และดังรูปที่แสดงในภาพที่ 4.18 โดยมีผลการทดสอบดังนี้

5.3.2.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัดต่างๆ

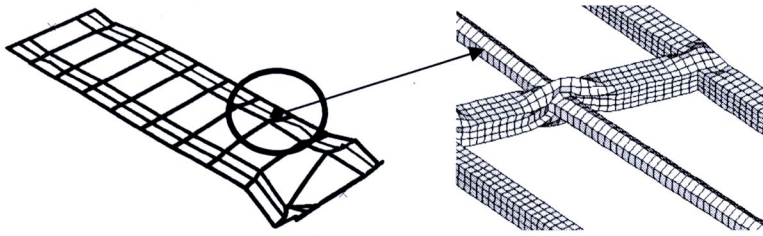
ภาพที่ 5.21 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดทั้ง 4 แบบดังกล่าว โดยการทดสอบใช้วิธีทดสอบด้วย FEA โดยในภาพที่ 5.21 (ก) คือโครงสร้างหลังคาที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ส่วนทางด้านขวาคือภาพขยายของชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเสริม และในภาพที่ 5.21 (ข), (ค) และ (ง) เป็นการแสดงรูปแบบการเสียหายของการต่อเสริมโครงสร้างด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวแอล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



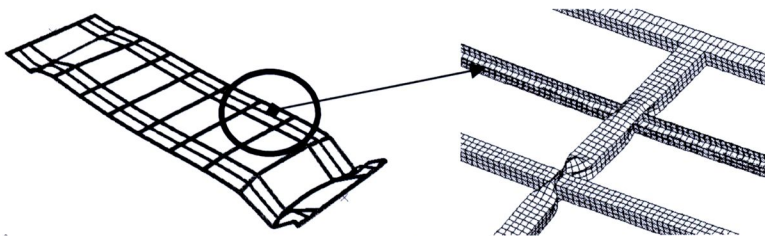
(ก) เหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



(ข) เหล็กหน้าตัดรูปตัวแอล



(ค) เหล็กหน้าตัดรูปวงกลม



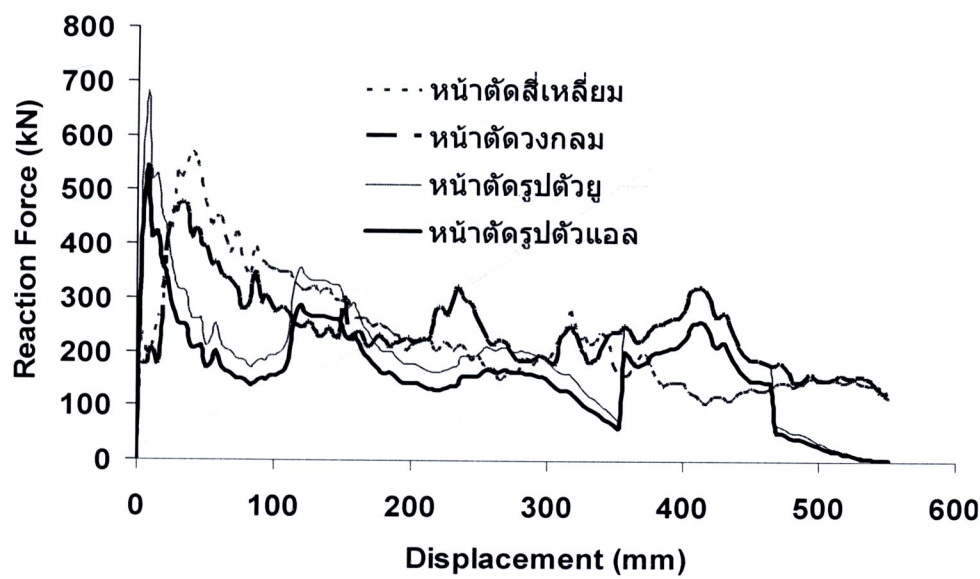
(ง) เหล็กหน้าตัดรูปตัวยู

ภาพที่ 5.21 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่เสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กหน้าตัด 4 แบบ ทดสอบภายใต้ภาระการชนในแนวแกน

จากภาพที่ 5.21 จะเห็นว่ารูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีการเสียหายในบริเวณด้านหน้าของโครงสร้างเป็นหลัก เพราะเป็นบริเวณที่เกิดการชน และพบว่าบริเวณตอนท้ายของโครงสร้างก็มีลักษณะยุบตัวบ้าง เนื่องจากแรงบางส่วนที่ถูกกระจายไปตามโครงสร้าง ทั้งนี้คณะนักวิจัยได้ทำการขยายภาพการเสียหายของส่วนเสริมความแข็งแรงเพื่อศึกษาการเสียหายโดยละเอียด พบว่าตัวคานขวางของโครงสร้างส่วนใหญ่มักจะถูกชนจนเสียรูป

ก่อนที่จะขึ้นส่วนต่อเสริมจะเกิดการเสียหายขึ้น โดยสังเกตเห็นว่าชิ้นส่วนเสริมความแข็งแรงแบบหน้าตัดวงกลมสามารถส่งผ่านแรงไปที่คานขวางได้มากที่สุด

เช่นเดียวกับการศึกษาส่วนอื่นๆ ที่ผ่านมา ในการทดสอบได้เก็บข้อมูลค่าภาระ และระยะการยุบตัวของโครงสร้าง และเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5.22



ภาพที่ 5.22 แสดงผลการทดสอบการชนในแนวแกนของโครงสร้างหลังคาแบบขนานที่ติดตั้งส่วนเสริมความแข็งแรงแบบหน้าตัดต่างๆ

จากภาพที่ 5.22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของโครงสร้างหลังคาแบบขนานที่ติดตั้งส่วนเสริมหน้าตัดต่างๆ ซึ่งทดสอบการชนในแนวแกน จากกราฟจะเห็นว่าโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กรูปตัวยูมีค่าภาระวิกฤติสูงสุด คือประมาณ 690 kN รองลงมาเป็นของหน้าตัดรูปตัวแอล ประมาณ 540 kN ส่วนโครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและหน้าตัดรูปวงกลมมีค่าภาระวิกฤติที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 200 kN หลังจากนั้นลักษณะกราฟของทุกโครงสร้างมีลักษณะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันตลอด ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่ารูปแบบการแกว่งตัวของกราฟมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน

5.3.2.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากชนของโครงสร้างหลังคาที่มีการต่อเสริมด้วยโครงสร้างหน้าตัดต่างๆ

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

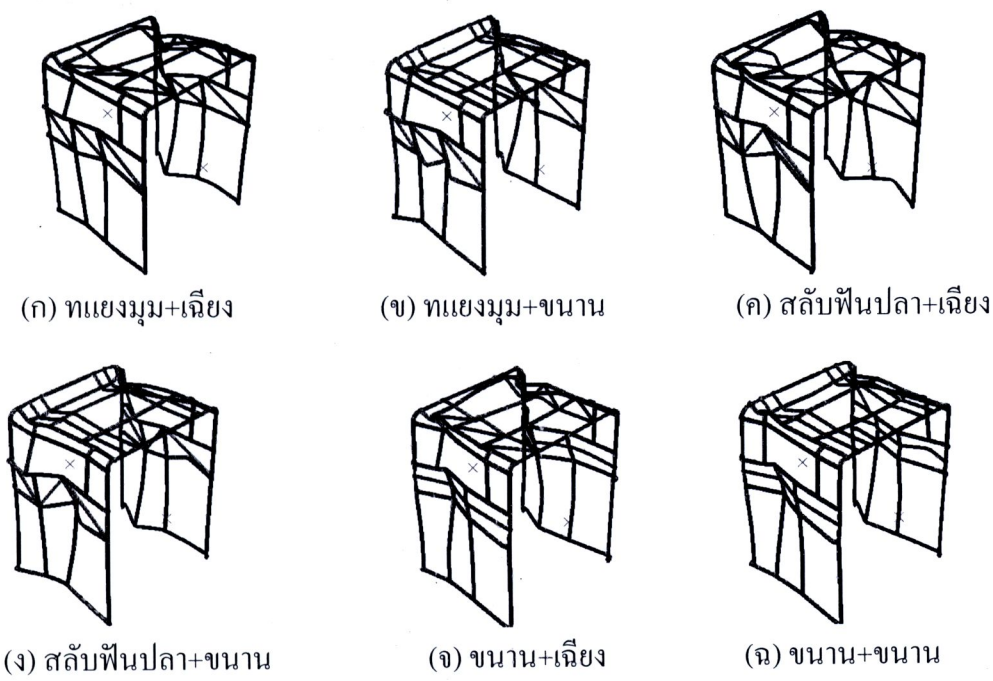
จากตารางที่ 5.5 เป็นการคำนวณค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจากการชนในแนวแกนของโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสาร ที่มีการติดตั้งส่วนเสริมความแข็งแรงที่ใช้หน้าตัดรูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม รูปตัวยู และรูปตัวแอล ซึ่งจะเห็นว่าค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างที่ใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมเป็นส่วนเสริมมีค่าเท่ากับ 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 ที่ประกอบด้วยโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆกับ โครงสร้างด้านข้างแบบต่างๆ ประกอบเข้าด้วยกัน ดังอธิบายวิธีการศึกษาในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.8 จากนั้นนำโครงสร้างประกอบมารับภาระการชนในแนวแกน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างแต่ละชุด โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.4.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับ โครงสร้างด้านข้าง

เมื่อโครงสร้างประกอบที่จำลองขึ้นถูกภาระกระทำจากด้านหน้า จะเกิดการยุบตัวเสียหายในรูปแบบต่างๆกัน ดังแสดงในภาพที่ 5.23

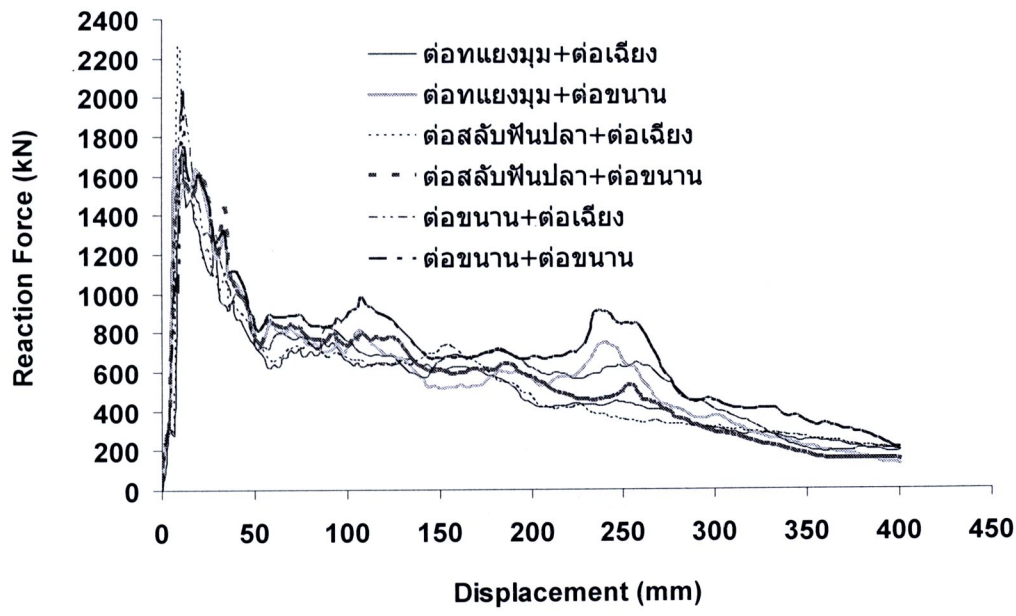


ภาพที่ 5.23 แสดงรูปแบบการเสียหายจากการชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากแผง โครงสร้าง ด้านข้างกับ โครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ

ภาพที่ 5.23 เป็นรูปแบบการเสียหายจากการทดสอบด้วยการจำลองการชนด้านหน้าของ โครงสร้างที่ประกอบจากแผง โครงสร้างด้านข้างกับ โครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ โดยในภาพที่ 5.23

(ก) เป็นการเสียของหายโครงสร้างประกอบระหว่าง โครงสร้างด้านข้างแบบทแยงมุมต่อกับ

โครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ภาพที่ 5.23 (ข) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบทแยงมุมต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ภาพที่ 5.23 (ค) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบสลับฟันปลาต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง ภาพที่ 5.23 (ง) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบสลับฟันปลาต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ภาพที่ 5.23 (จ) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบขนานต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบเฉียง และภาพที่ 5.23 (ฉ) เป็นการเสียหายของโครงสร้างประกอบระหว่างโครงสร้างด้านข้างแบบขนานต่อกับโครงสร้างหลังคาแบบขนาน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าโครงสร้างประกอบจะเกิดการยุบตัวของโครงสร้างจากด้านหลังของโครงสร้างก่อน จากนั้นจะมีการเสียหายกระจายไปตลอดโครงสร้าง ทั้งนี้พบว่าโครงสร้างหลังคามีการพับตัวลงด้านล่าง และโครงสร้างด้านข้างก็เกิดการพับตัวเข้าไปด้านใน โดยโครงสร้างด้านข้างที่ต่อแบบสลับฟันปลาเกิดการพับตัวเข้าไปลึกที่สุด จึงอาจสร้างอันตรายแก่ผู้โดยสารมากที่สุด ในภาพรวมจะสังเกตเห็นว่ารูปแบบการเสียหายของโครงสร้างมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่ผลการตอบสนองในรูปแบบของแรงปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างนั้นพบว่ามีค่าแตกต่างกันบ้าง ดังแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวในภาพที่ 5.24



ภาพที่ 5.24 แสดงกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ

ภาพที่ 5.24 ซึ่งเป็นกราฟแสดงผลของแรงปฏิกิริยาและระยะยุบตัวของแบบจำลองโครงสร้างประกอบที่ได้จากการทดสอบการชนของโครงสร้างที่ประกอบสลับกัน 6 แบบ ระหว่าง

โครงสร้างหลังคา กับ แผลง โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารแบบต่างๆ ซึ่งจากการสังเกตพบว่า กราฟของแต่ละ โครงสร้างมีลักษณะที่คล้ายๆ กล่าวคือมีการแกว่งตัวสูงในช่วงแรก จากนั้นจะแกว่ง ตัวในลักษณะคู่ต่ำลงมาเรื่อยๆ จากข้อมูลพบว่าโครงสร้างประกอบที่ประกอบด้วยโครงสร้าง ด้านข้างแบบขนานและโครงสร้างหลังคาแบบเฉียงให้ค่าภาระวิกฤตสูงสุด คือประมาณ 2,250 kN ตามมาด้วยโครงสร้างประกอบที่ประกอบด้วยโครงสร้างด้านข้างแบบขนานและโครงสร้างหลังคา แบบขนาน ซึ่งมีค่าประมาณ 2,100 kN ส่วนโครงสร้างอื่นๆ พบว่ามีค่าภาระวิกฤติใกล้เคียงกันมาก คือประมาณ 1,700 – 1,800 kN นอกจากนั้นยังสังเกตได้ว่าโครงสร้างประกอบที่ประกอบด้วย โครงสร้างด้านข้างแบบขนานและ โครงสร้างหลังคาแบบขนานนั้นจะมีค่าของกราฟสูงกว่าของ โครงสร้างแบบอื่นๆ

5.4.2 ค่าการดูดซับพลังงานจากชนของโครงสร้างประกอบที่ต่อจากโครงสร้างด้านข้าง และโครงสร้างหลังคาแบบต่างๆ

คณะวิจัยได้นำข้อมูลจากกราฟในภาพที่ 5.24 มาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ (E_a) และ ค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (E_s) ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการคำนวณของการทดสอบการชนในแนวแกนของการต่อสลับระหว่างโครงสร้าง ด้านข้างกับ โครงสร้างหลังการรถยนต์โดยสาร

การประกอบโครงสร้างด้านข้าง กับโครงสร้างหลังคา		P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	E_a (kN.m)	Structural Mass (kg)	E_s (N.m/kg)
แผลงโครงสร้าง ด้านข้าง	แผลงโครงสร้าง หลังคา					
แบบทแยงมุม	แบบเฉียง	520.42	400	208.00	284.1	732.21
แบบทแยงมุม	แบบขนาน	585.27	400	234.11	286.93	815.91
แบบสลับฟันปลา	แบบเฉียง	528.11	400	211.24	284.10	743.54
แบบสลับฟันปลา	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 เป็นผลการคำนวณค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะของการทดสอบการชนในแนวแกนระหว่างโครงสร้างด้านข้างกับโครงสร้างหลังการชนด้วยสารที่ต่อสลักกัน 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% ส่วนโครงสร้างแบบอื่นๆ พบว่ามีค่าการดูดซับพลังงานใกล้เคียงกันคือระหว่างประมาณ 210 – 230 kN.m

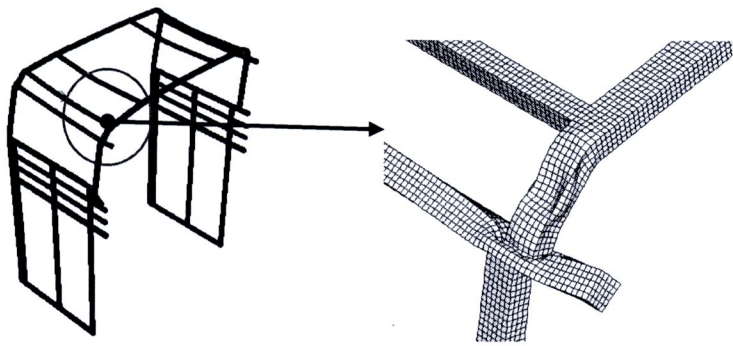
เมื่อนำค่าพลังงานดูดซับของแต่ละ โครงสร้างมาเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างเอง จะเห็นว่าโครงสร้างประกอบที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับโครงสร้างหลังคาแบบขนานมีค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 978.07 N.m/kg ส่วนโครงสร้างที่ต่อจากแผงด้านข้างแบบขนานกับโครงหลังคาแบบเฉียงมีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะรองลงมา คือ 856.07 N.m/kg ส่วนโครงสร้างอื่นๆพบว่ามีค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะใกล้เคียงกัน

5.5 ผลการทดสอบลักษณะการยึดต่อระหว่างโครงสร้างหลังคา กับแผงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร

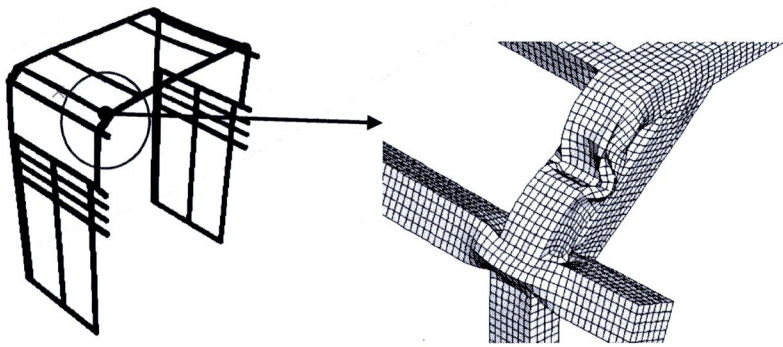
ในส่วนนี้คณะนักวิจัยได้ทำการจำลองชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆเพื่อเชื่อมระหว่างโครงสร้างหลังคาและแผงด้านข้าง โดยใช้แผงข้างแบบขนานและโครงหลังคาแบบขนานเนื่องจากเป็นโครงสร้างประกอบที่สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้สูงสุดดังได้กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้ลักษณะของชิ้นส่วนยึดต่อที่จำลองขึ้นเรียกว่า การต่อแบบที่ 1 การต่อแบบที่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

5.5.1 การตอบสนองการชนของโครงสร้างประกอบที่ยึดต่อด้วยชิ้นส่วนยึดต่อลักษณะต่างๆ

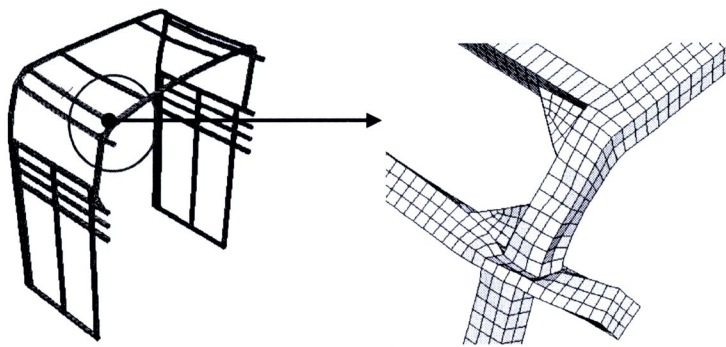
รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างประกอบที่ยึดต่อด้วยชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ ทั้ง 3 แบบนั้นแสดงในภาพที่ 5.25



(ก) การต่อแบบที่ 1



(ข) การต่อแบบที่ 2

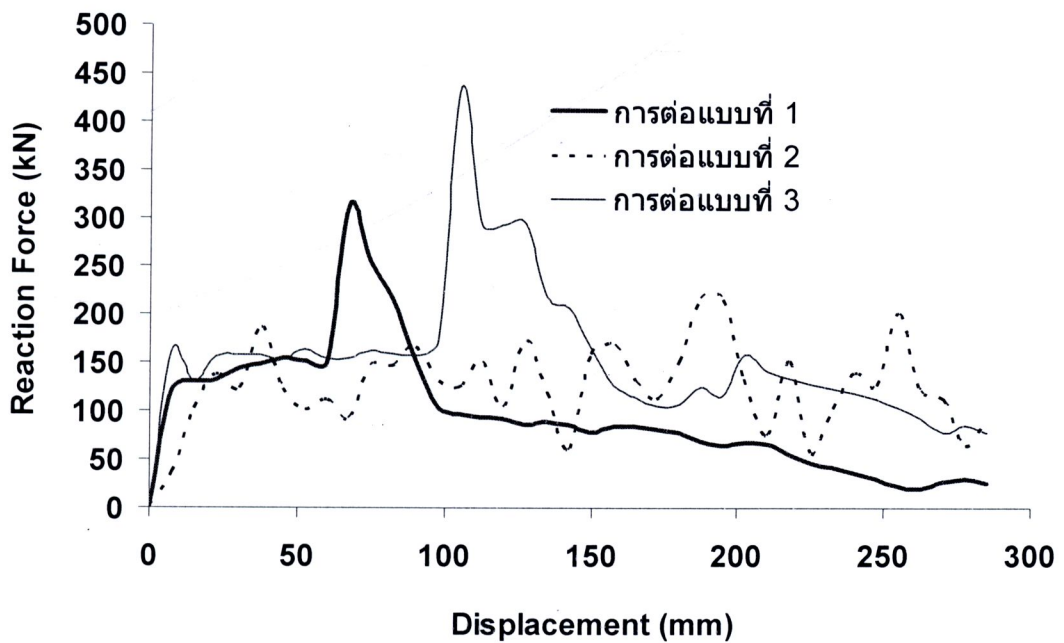


(ค) การต่อแบบที่ 3

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 ซึ่งมีใช้ในอุตอร์ยนต์โดยสารบางแห่ง ผลจากการทดสอบการต่อทั้ง 3 แบบ พบว่าลักษณะการเสียหายของแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มีลักษณะการเสียรูปที่คล้ายกัน กล่าวคือโครงสร้างหลักที่ยึดระหว่างหลังคาและแผงข้างจะเกิดการขยับตัวคล้ายเกิดการคด ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสียรูปมาก ส่วนแบบที่ 3 พบว่าโครงสร้างหลักมีการเสียรบน้อยกว่าสองแบบแรก โดยแผ่นเหล็กที่เสริมเข้าไปจะทำหน้าที่กระจายแรงเข้าสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆของแผงข้างและหลังคาต่อไป



ภาพที่ 5.26 กราฟแรงปฏิกิริยาและระยะขยับตัวของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ

ภาพที่ 5.26 แสดงลักษณะของแรงปฏิกิริยาของโครงสร้างที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆเมื่อรับภาระกดในแนวแกน จากกราฟจะเห็นว่าในช่วงแรกที่เกิดภาระวิกฤติ การต่อแบบที่ 3 ให้ค่าภาระวิกฤติที่สูงกว่าแบบอื่น คือมีค่าประมาณ 160 kN ที่ระยะการชนประมาณ 15 mm ส่วนในการต่อแบบที่ 1 จะมีค่าภาระสูงสุดประมาณ 130 kN ที่ระยะการชนประมาณ 18 mm ส่วนการต่อแบบที่ 2 จะให้ค่าภาระสูงสุดประมาณ 140 kN ที่ระยะการชนประมาณ 30 mm หากพิจารณาจากลักษณะกราฟจะเห็นว่า การต่อแบบที่ 3 มีแนวโน้มค่าของแรงปฏิกิริยาสูงกว่าการต่อแบบอื่นๆ และพบว่าการต่อแบบที่ 2 มีลักษณะการแกว่งตัวของแรงปฏิกิริยาค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับการต่อแบบอื่นๆ

5.5.2 ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างประกอบที่ยึดด้วยชิ้นส่วนยึดต่อลักษณะต่างๆ

คณะวิจัยได้นำข้อมูลจากภาพที่ 5.2.6 มาคำนวณหาพลังงานดูดซับของแต่ละโครงสร้าง และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างประกอบที่มีชิ้นส่วนยึดต่อแบบต่างๆ

ลักษณะจุดต่อโครงสร้าง ด้านข้างกับโครงสร้างหลัก	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% ดังนั้นการต่อยึดโครงสร้างหลักเข้ากับแผงข้างจึงควรพิจารณาการยึดต่อแบบที่ 3 ก่อนแบบอื่นๆ