

## การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างหลังคารถยนต์ โดยสาร จากการต่อเสริมด้วยเหล็กที่มีหน้าตัดต่างกัน

### The Study on the Crashworthiness of Bus Roof Frame with Different Cross-Section Tubes

นิรุต อ่อนสลุง\* ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ชاکริต โพธิ์งาม  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190  
โทร 0-4535-3381-2 โทรสาร 0-4535-3380 \*อีเมล bignirut@yahoo.com

Nirut Onsalung\*, Chawalit Thinvongpituk, and Chakrit Pho-Ngam  
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University,  
Ubonratchathani 34190, Thailand  
Tel: 0-4535-3381-2, Fax: 0-4535-3380, \*E-mail: bignirut@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาคุณสมบัติด้านการชนของโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสาร โดยใช้เหล็กส่วนเสริมความแข็งแรงที่มีหน้าตัดแตกต่างกัน 4 แบบ ได้แก่ 1.หน้าตัดรูปวงกลม 2.หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม 3.หน้าตัดรูปตัวยูและ 4.หน้าตัดรูปตัวแอล ซึ่งทดสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนท์เอลิเมนต์ (FEA) ชื่อ ABAQUS โดยใช้การคำนวณแบบ Explicit มีเอลิเมนต์เป็นแบบเปลือกบางชนิด S4R 3D โดยให้โครงสร้างแต่ละแบบถูกชนในแนวแกนด้วยกำแพง 2 ด้าน (Rigid body) กำหนดให้ด้านหนึ่งอยู่กับที่เพื่อบันทึกแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ส่วนอีกด้านเคลื่อนที่เข้าชนที่ปลายของโครงสร้างด้วยความเร็ว 65 km/h ซึ่งจะวัดระยะยุบตัวของโครงสร้างด้วย ผลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำมาคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ และพลังงานดูดซับจำเพาะที่โครงสร้างแต่ละแบบดูดซับไว้ได้ภายใต้การชน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่แตกต่างกัน ภายใต้การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของส่วนเสริมโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสาร ซึ่งการศึกษาพบว่าการต่อโครงสร้างหลังคารถยนต์โดยสารที่ใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลม สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้มากกว่าโครงสร้างที่ใช้เหล็กเสริมหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมรูปตัวยูและรูปตัวแอลตามลำดับ โดยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ดีกว่าเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม โดยเมื่อเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างเองแล้วผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมมีน้ำหนักเบากว่าเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม แต่สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่า ซึ่งเป็นผลดีในแง่ของการลดน้ำหนักของรถยนต์โดยสารหรือยานพาหนะอื่นๆ แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างประกอบด้วย เช่นความยากง่ายของการตัดต่อชิ้นงาน ลักษณะ

แนวเชื่อมเป็นต้น ซึ่งจากผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาโครงสร้างรถยนต์โดยสารต่อไปในอนาคต

#### Abstract

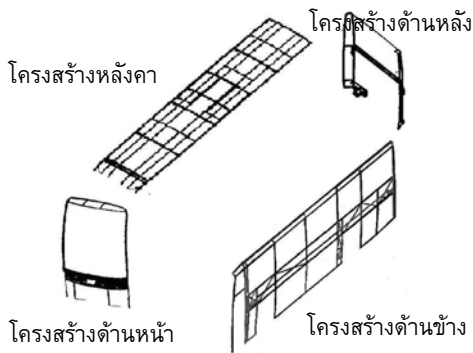
This paper is aimed to investigate the energy absorption capacity of bus roof structures. Four different sections of steel tube used for the bus roof structures are used in this study are square shape, U-shape, L-shape and circular shape. The study is conducted by FEA simulation using a commercial package code, ABAQUS. The responses of bus roof with different section tubes are observed. The result reveals that the roof having a circular tube offers highest energy absorption compared to square, U and L tube respectively. The result of this study reveals the crashworthiness behavior of each structure. This is very crucial for further improvement of bus structure design.

#### 1. บทนำ

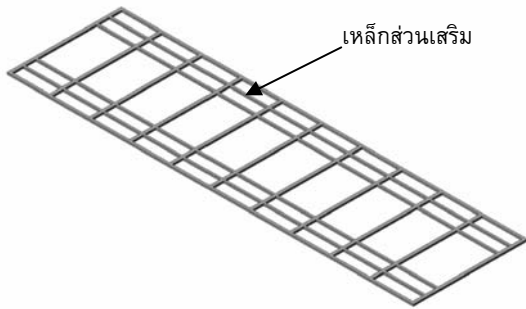
ประเทศไทยมีโรงงานประกอบรถโดยสารทั้งขนาดเล็กและใหญ่อยู่จำนวนมากในแต่ละภูมิภาค แบ่งเป็นรถท่องเที่ยวและรถยนต์โดยสาร ซึ่งมีแนวโน้มจำนวนรถยนต์โดยสารเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] อย่างไรก็ตามในการออกแบบและผลิตรถโดยสารทั่วไปนั้น ปัจจุบันยังขาดการคำนวณและการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างเหมาะสม อันจะส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองในหลายด้าน รถมีน้ำหนักมาก และขาดความน่าเชื่อถือด้านความปลอดภัย ดังนั้นหากมีการศึกษาวิจัยถึงกระทบต่างๆ เกี่ยวกับการ

ผลิตและความแข็งแรงของโครงสร้างเหล่านี้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก

โครงสร้างรถยนต์โดยสารนั้นมักประกอบด้วยโครงสร้างหลายส่วน เช่น แผงโครงสร้างหลังคา แผงโครงสร้างด้านข้าง โครงสร้างด้านหน้า และโครงสร้างด้านหลัง [2, 3] เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1 จากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าการใช้วัสดุหน้าตัดแตกต่างกันและรับภาระการ กัดในแนวแกนจะให้ผลการดูดซับพลังงานที่ต่างกัน [4] บทความนี้ได้มุ่ง เน้นถึงการศึกษาความสามารถด้านการชนของโครงสร้างหลังการถยนต์ โดยสาร โดยใช้เหล็กที่มีหน้าตัดต่างกันเป็นส่วนเสริมความแข็งแรงของ โครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปวงกลม หน้าตัดรูปตัวแอลและหน้าตัดรูปตัวยู ตามลำดับ จากการสำรวจข้อมูลที ผ่านมาพบว่าโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสารส่วนใหญ่มักนิยมใช้เหล็ก กล่องหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมในการเชื่อมต่อส่วนที่เสริมความแข็งแรงให้กับ โครงสร้าง โดยชิ้นส่วนเสริมที่ต่อให้กับโครงสร้างดูได้จากรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของโครงสร้างรถยนต์โดยสาร



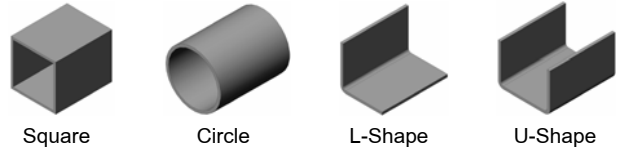
รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างแบบจำลองของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร โดยใช้เหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมเป็นส่วนเสริมความแข็งแรง

## 2. วิธีการศึกษาและการดำเนินงาน

### 2.1 ลักษณะของโครงสร้างและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร ด้วยหน้า ตัดที่แตกต่างกัน 4 แบบ ของท่อเหล็กในบริเวณที่ต่อเสริมความแข็งแรง ในการทดสอบจะให้โครงสร้างแต่ละแบบรับภาระการชนในแนวแกนเป็น หลัก ซึ่งขนาดของโครงสร้างหลังคานี้มีความยาวประมาณ 8.3 เมตร และมีความกว้างประมาณ 2.3 เมตร ซึ่งท่อเหล็กหน้าตัดทั้ง 4 แบบที่ใช้ จะมีความหนา 2 มิลลิเมตร ลักษณะของเหล็กหน้าตัดแต่ละแบบที่ใช้ใน การต่อเสริมสามารถดูได้จากรูปที่ 3 และเมื่อนำชิ้นส่วนเหล่านี้เชื่อมต่อ

กับโครงสร้างหลักของหลังการถยนต์โดยสาร ให้มีลักษณะขนานตาม แนวยาวของโครงสร้าง จะได้โครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมทั้ง 4 แบบ ดัง แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นตัวอย่างของโครงสร้างหลังคาที่มีการต่อ เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3 แสดงหน้าตัด 4 แบบของเหล็กส่วนเสริมที่ใช้ต่อโครงสร้าง หลังการถยนต์โดยสาร สำหรับการทดสอบ

จากรูปที่ 3 เป็นรูปลักษณะหน้าตัดของเหล็กที่ใช้สำหรับต่อเสริม โครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร ซึ่งในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ใน การทดสอบจะสร้างโครงสร้างดังกล่าวทั้ง 4 แบบ โดยใช้โปรแกรมเขียน แบบ (CAD 3D) เมื่อเสร็จแล้วจะนำไปทดสอบกับโปรแกรมวิเคราะห์ ทางไฟไนท์เอลิเมนต์ (FEA) ต่อไป

### 2.2 ตัวแปรและสมการ

ตัวแปรและสมการที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับด้านการเสียหายของ โครงสร้างภายใต้การชนนั้น มักศึกษาจากลักษณะของกราฟภาระและ ระยะยุบตัวของชิ้นงานจากการทดสอบ ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว สำหรับการศึกษานี้ได้พิจารณาตัวแปรหลักที่สำคัญดังนี้ ค่าการดูดซับ พลังงาน ( $E_a$ ), ค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะ ( $E_s$ ), ค่าภาระเฉลี่ย ( $P_{mean}$ ), โดยในบทความนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ผลของตัวแปรต่าง ๆ ของโครงสร้างแต่ละแบบดังกล่าวไว้ โดยมุ่งเน้นที่การหาค่าพลังงานดูด ชับของโครงสร้างเป็นหลัก สำหรับการหาค่าพลังงานดูดซับและค่า พลังงานดูดซับจำเพาะ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ

$$E_a = \int PdS \approx P_{mean} \cdot S \quad (1)$$

โดยที่  $E_a$  คือค่าการดูดซับพลังงาน,  $P_{mean}$  คือค่าภาระเฉลี่ย,  $S$  คือ ค่าระยะการยุบตัว

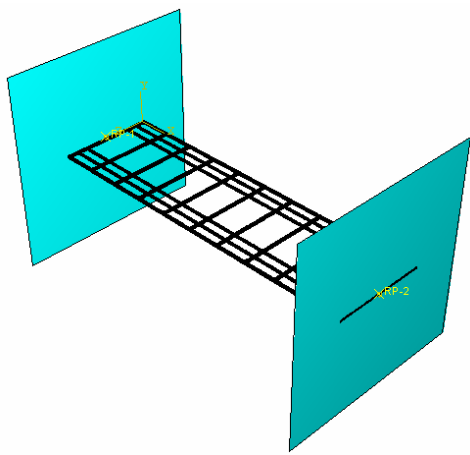
$$E_s = \frac{\int PdS}{mass} \approx \frac{P_{mean} \cdot S}{mass} \quad (2)$$

โดยที่  $E_s$  คือค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ,  $P_{mean}$  คือค่าภาระเฉลี่ย,  $S$  คือระยะยุบตัวของโครงสร้าง, และ mass คือมวลของโครงสร้าง

### 2.3 แบบจำลองที่ใช้ในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

การศึกษานี้ใช้วิธีการคำนวณทางไฟไนท์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม สำเร็จรูปชื่อ ABAQUS โดยได้จำลองโครงสร้างแต่ละแบบด้วยเอลิเมนต์ แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 Node โครงสร้างที่ทดสอบใน โปรแกรมจะสร้างให้มีรูปร่างตามในรูปที่ 4 ซึ่งในการทดสอบนี้ได้สมมุติ

ให้โครงสร้างทั้งหมดเป็นแบบเนื้อเดียวกัน (Homogenous) โดยในการทดสอบจะใช้มาตรฐานการประเมินและทดสอบรถยนต์ใหม่ (New Car Assessment Program, NCAP) ซึ่งกล่าวถึงการทดสอบการชนแบบเต็มหน้ารถ (Full frontal crash) [5] ในการทดสอบนี้จะใช้ความเร็วในการชน 64 km/h (40 mph) โดยให้รถยนต์พุ่งเข้าชนกำแพงแบบเต็มหน้าด้วยความเร็วตามที่มาตรฐานกำหนด เพื่อหาความสามารถในการต้านทานการเสียหายและลักษณะรูปแบบของการเสียหายที่เกิดขึ้น อันจะนำไปสู่การคำนวณและวิเคราะห์ผลทางวิศวกรรมและยังเป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตต่อไป โดยการทดสอบนี้จะกำหนดให้โครงสร้างที่ทดสอบมีระยะยวบตัวจากการชนเท่ากับ 550 mm. จำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในแต่ละกรณีประมาณ 60,000 เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นจำนวนที่เหมาะสมและได้จากการวิเคราะห์หาจำนวน Mesh Independent ของชิ้นงาน



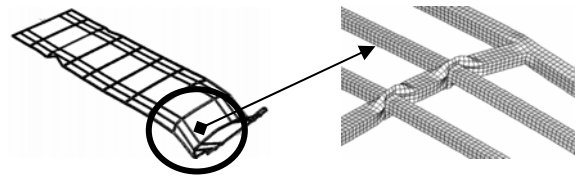
รูปที่ 4 แสดงการเตรียมโครงสร้างที่ใช้ในโปรแกรม FEA

ในรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างรูปแบบโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสารที่รับภาระแบบกดในแนวแกนในโปรแกรม FEA โดยให้โครงสร้างที่ทำการทดสอบวางอยู่ระหว่างแผ่นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) สองแผ่นคือแผ่นด้านหน้า ซึ่งจะเคลื่อนที่เข้าชนโครงสร้างด้วยความเร็วที่กำหนด และมีจุดอ้างอิง (Reference Node) ที่ทำหน้าที่วัดระยะยวบตัวจากการทดสอบ ส่วนแผ่นด้านหลังมีคุณสมบัติเช่นเดียวกัน ซึ่งจะถูกยึดติดไม่เคลื่อนที่ โดยมีจุดอ้างอิงตรงบริเวณกึ่งกลางของกำแพงและกำหนดให้ทำหน้าที่วัดค่าภาระที่กระทำตลอดการทดสอบ โดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สมมุติให้เป็นแบบ Elastic - Plastic จากนั้นจะทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนชิ้นส่วนทั้ง 4 แบบดังกล่าวเพื่อหาค่าความสามารถทางด้านการชนของโครงสร้างต่อไป

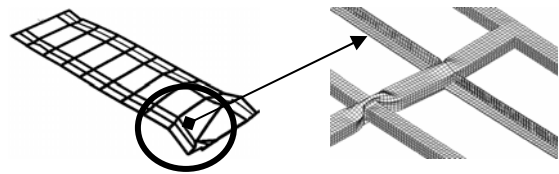
### 3. ผลการศึกษา

ผลการทดสอบโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร โดยเปลี่ยนเหล็กส่วนเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคาด้วยหน้าตัด 4 แบบ ได้แก่ หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปวงกลม หน้าตัดรูปตัวยูและหน้าตัดรูปตัวแอล จากรูปที่ 5 ได้แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดทั้ง 4 แบบดังกล่าว และในรูปที่ 6 ได้แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในรูปแบบของกราฟ

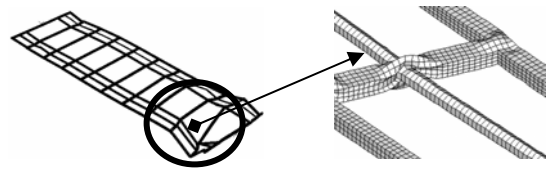
### 3.1 รูปแบบการเสียหายจากการทดสอบของโครงสร้างหลังคา



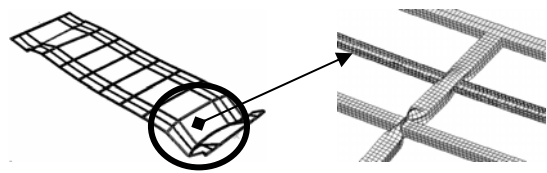
(ก) เหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม



(ข) เหล็กหน้าตัดรูปตัวแอล



(ค) เหล็กหน้าตัดรูปวงกลม



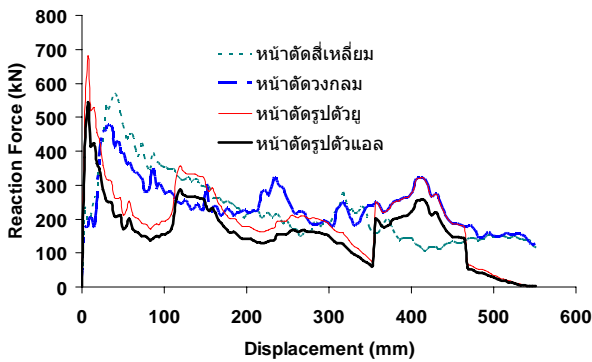
(ง) เหล็กหน้าตัดรูปตัวยู

รูปที่ 5 แสดงรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างหลังคาภายใต้ภาระการชนในแนวแกนของการเปลี่ยนเหล็กส่วนเสริม 4 แบบ

จากรูปที่ 5 เป็นรูปแบบการเสียหายหรือการเสียรูปภายใต้ภาระการชนในแนวแกนของโครงสร้างหลังคาที่ใช้เหล็กหน้าตัดที่แตกต่างกันต่อเสริมทั้ง 4 แบบ โดยในรูปที่ 5(ก) คือโครงสร้างหลังคาที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ส่วนรูปทางด้านขวาคือรูปขยายของชิ้นส่วนที่ใช้ต่อเสริมและในรูปที่ 5(ข), รูปที่ 5(ค) และ รูปที่ 5(ง) เป็นการแสดงรูปแบบการเสียหายของการต่อเสริมโครงสร้างหลังคาด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวแอล, รูปวงกลม, และรูปตัวยูตามลำดับ ซึ่งรูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบทั้งหมดส่วนใหญ่มีการเสียหายในบริเวณด้านหน้าของโครงสร้างเป็นหลัก เพราะเป็นบริเวณที่เกิดการชนและในส่วนด้านหลังของโครงสร้างก็มีลักษณะยวบตัวบ้าง สังเกตจากรูปขยายจะเห็นว่าตัวคานขวางของโครงสร้างส่วนใหญ่จะถูกชนเสียรูปก่อนที่ชิ้นส่วนต่อเสริมจะเกิดการเสียหายขึ้น โดยผลที่ได้จากการทดสอบนี้ได้แสดงในลักษณะของกราฟดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นค่าของภาระเฉลี่ยและระยะยวบตัวที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

### 3.2 ค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการทดสอบ

จากการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร โดยใช้เหล็กต่อเสริมโครงสร้างที่มีหน้าตัดแตกต่างกัน ซึ่งโปรแกรมสามารถบันทึกข้อมูลของภาระที่กระทำกับระยะยุบตัว ตามที่กำหนดในขอบเขตและเงื่อนไขก่อนการทดสอบ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจากการทดสอบได้นำมาแสดงในลักษณะของกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 6 จากกราฟเป็นผลจากการทดสอบ และสามารถคำนวณหาพลังงานที่โครงสร้างแต่ละแบบสามารถดูดซับได้ เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน พบว่าโครงสร้างแต่ละแบบมีการตอบสนองต่อภาระการชนได้ไม่เท่ากัน จากกราฟดังกล่าวสามารถหาค่าภาระเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ และสามารถคำนวณหาพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะของโครงสร้างต่อไป [6]



รูปที่ 6 แสดงกราฟจากผลการทดสอบโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร

จากรูปที่ 6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของโครงสร้างหลังคาจากการทดสอบการชนในแนวแกน โดยเส้นกราฟในช่วงแรกของการต่อโครงสร้างด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและหน้าตัดรูปวงกลมมีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 600 kN ส่วนโครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวยูและรูปตัวแอล มีค่าภาระวิกฤติที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 500 kN แต่การต่อด้วยหน้าตัดรูปตัวยูจะรับภาระได้มากกว่า ซึ่งการต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวยูและหน้าตัดรูปตัวแอลจะมีค่าภาระวิกฤติเท่ากับค่าภาระสูงสุด ส่วนในการต่อด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมและรูปวงกลม จะมีค่าภาระวิกฤติน้อยกว่าค่าภาระสูงสุด ซึ่งลักษณะของกราฟทั้ง 4 แบบมีลักษณะขึ้นลงสลับกันตลอดการทดสอบ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของกราฟที่ศึกษาเกี่ยวกับด้านการชนของโครงสร้าง เนื่องจากการยุบตัวของโครงสร้างมักจะยุบตัวเป็นช่วงๆ (Loop) ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการชนของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร ซึ่งประกอบด้วยส่วนเสริมความแข็งแรงที่ใช้หน้าตัดรูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม รูปตัวยู และรูปตัวแอล ค่าพลังงานดูดซับจากโครงสร้างที่ใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมเป็นส่วนเสริมมีค่าเท่ากับ 131.25 kN.m ส่วนหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยูและหน้าตัดรูปตัวแอล มีค่าเท่ากับ 125.85 kN.m, 110.51 kN.m และ 88.4 kN.m ตามลำดับ จากผลการคำนวณที่ได้ พบว่าโครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าแบบอื่นๆ เมื่อเทียบ

กับมวลของตัวโครงสร้างแต่ละแบบแล้ว พบว่าการใช้เหล็กหน้าตัดรูปวงกลมซึ่งมีมวลเท่ากับ 190.36 kg ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งมีมวลเท่ากับ 197.51 kg แต่โครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าการเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม โดยมากกว่าประมาณ 7.58% เมื่อเทียบกับการต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวยูและรูปตัวแอล จะมีค่ามากกว่าประมาณ 9.28% และ 26% ตามลำดับ ส่วนโครงสร้างที่ใช้เหล็กเสริมรูปตัวยูและรูปตัวแอลมีมวลใกล้เคียงกัน แต่โครงสร้างที่เสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวยูสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าการต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปตัวแอลและหากพิจารณาถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะของโครงสร้างทั้ง 4 แบบ พบว่าการต่อเสริมโครงสร้างด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมจะให้ผลดีที่สุดเมื่อเทียบกับแบบอื่น

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบโครงสร้างหลังคา 4 แบบ

รูปแบบหน้าตัด	ภาระเฉลี่ย (kN)	ระยะยุบตัว (mm)	Ea (kN.m)	น้ำหนัก (kg)	Es (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

### 4. สรุปผลการศึกษา

ผลการทดสอบโครงสร้างหลังคาด้วยภาระการชนในแนวแกน โดยเปลี่ยนรูปแบบหน้าตัดของส่วนเสริมโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร ที่ประกอบด้วยเหล็กหน้าตัด 4 แบบ ได้แก่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม หน้าตัดรูปตัวยู หน้าตัดรูปวงกลมและหน้าตัดรูปตัวแอล ผลจากการศึกษาพบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลม สามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่า โครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดแบบอื่นๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่เหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมกับการใส่เหล็กหน้าตัดรูปวงกลม พบว่าโครงสร้างหลังคาที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปวงกลมสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่า โดยที่มีมวลน้อยกว่า ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของโครงสร้างยานพาหนะต่างๆ ที่มักต้องการลดน้ำหนักของโครงสร้างโดยที่ความแข็งแรงไม่เปลี่ยนแปลงมากแต่อาจมีข้อดีอยู่บ้างในด้านการผลิต เช่น ในการเชื่อมต่อชิ้นงานอาจมีความยากมากกว่าโครงสร้างที่ต่อเสริมด้วยเหล็กหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมเนื่องจากลักษณะของแนวรอยเชื่อมของเหล็กหน้าตัดรูปวงกลม จะมีลักษณะโค้งมากกว่า ส่วนในการเลือกใช้งานนั้นจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและองค์ประกอบอื่นๆ ประกอบด้วย

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในโครงการนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สถิติจำนวนรถใหม่ที่จดทะเบียนตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ และล้อเลื่อน กฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก, ฝ่ายสถิติการขนส่ง กองวิชาการและวางแผน. พ.ศ.2534-2538.
- [2] นิรุต อ่อนสลุง และคณะ “การศึกษาผลตอบสนองต่อการกดของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548. จังหวัดภูเก็ต, 2548.
- [3] นิรุต อ่อนสลุง และคณะ “การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้แรงกดแรงบิดและแรงดัด” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18 - 20 ตุลาคม 2549.จังหวัดนครราชสีมา, 2549.
- [4] Mamalis A.G. et al. “Finite element simulation of the axial collapse of metallic thin – walled tubes with octagonal cross-section” Thin-Walled Structures, 41, pp.891-900, 2003.
- [5] Himat F.Mahood and Bahig B.Fileta, “Design of vehicle structures for crash energy management”, Vehicle crashworthiness and occupant protection, American Iron and steel Institute, 2004.
- [6] Magee, C.L. and Thornton, P.H. “Design considerations in energy absorption by structural collapse” Transaction SAE, 87(2), pp.2401-2055, 1978.