

การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของ แบบจำลองโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร ภายใต้การชน*

นิรุต อ่อนสรวง¹⁾ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์²⁾ และ อำไพศักดิ์ ธิบุญญา²⁾

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.
อุบลราชธานี 34190

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.
อุบลราชธานี 34190

Email: bignirut@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการดูดซับพลังงานที่เกิดจากการชนของแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่นิยมใช้กันตามอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการต่อออกได้เป็น 3 แบบ ได้แก่โครงสร้างที่ต่อแบบขนาน โครงสร้างต่อแบบทแยงมุมและโครงสร้างต่อแบบสลับฟันปลา โดยการทดสอบกำหนดให้โครงสร้างรับภาระการชน 2 ลักษณะคือ การชนด้านข้างและการชนในแนวแกน การศึกษานี้ใช้วิธีการทดสอบด้วยวิธีทางไฟไนท์เอลิเมนต์ ชื่อโปรแกรม ABAQUS โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ explicit ผลที่ได้จากการทดสอบนำมาคำนวณหาพลังงานดูดซับที่โครงสร้างแต่ละแบบสามารถดูดซับได้ภายใต้ภาระที่ต่างกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นความสามารถที่แตกต่างกันของโครงสร้างแต่ละแบบในการดูดซับพลังงานที่ต่างกัน และพบว่าภายใต้ภาระการชนด้านข้างและภาระการชนในแนวแกน โครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้และการพัฒนาเกี่ยวกับโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารในปัจจุบันและในอนาคต

คำสำคัญ : การชน , การดูดซับพลังงาน , โครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร

*
รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2550 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม 2550

Study on the Crashworthiness of Model Bus Side Frame under Crushing Load^{*}

Nirut Onsalung¹⁾ Chawalit Thinwongpituk²⁾ and Amphisak Teeboonma²⁾

¹⁾ Graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchatani University, Warinchamrap Ubonratchatani. 34190

²⁾ Assistant. Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchatani University, Warinchamrap Ubonratchatani. 34190

Email: bignirut@yahoo.com

ABSTRACT

This study was aimed to investigate the crash energy absorption of bus side wall structure. Three patterns of bus wall frames which are generally used in Thailand were studied. They are horizontally parallel joint, diagonally parallel joint and head-to-tail diagonal joint. The study was conducted by using a finite element commercial code, ABAQUS/explicit. The wall frames were crushed from the front and from the side. The results revealed the crashworthiness behavior of each structure. It was found that horizontal parallel joint had energy absorption capacity more than other structures. The result of this study is very crucial for further improvement of future bus structure design.

Keywords : crushing , energy absorption , side wall structure

^{*} Original manuscript submitted: January 8, 2006 and Final manuscript received: April 18, 2007

บทนำ

ความสำคัญและที่มา

โครงสร้างของรถยนต์โดยสารนั้นเป็นอีกโครงสร้างที่สำคัญซึ่งตัวถังนับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดต่อผู้ขับขี่และผู้โดยสาร เนื่องจากเป็นส่วนที่ป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในห้องผู้โดยสารเมื่อรถประสบอุบัติเหตุ โดยทั่วไปแล้วตัวถังรถยนต์มักประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายๆ ชิ้นประกอบกันและมักมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าที่สั่งและผู้ผลิต แต่โดยทั่วไปมักประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นลักษณะแผ่น (Plates) และลักษณะเปลือก (Shells) เนื่องจากโครงสร้างทั้งสองชนิดเป็นโครงสร้างที่ดูดซับพลังงานจากการชนได้ดี โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานนั้นได้ทำการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวางในต่างประเทศและยังพบว่า การปรับปรุงปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกของโครงสร้างดีขึ้น จากผลงานวิจัยต่างๆ ซึ่งได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้พบว่าในการออกแบบโครงสร้างยานพาหนะมีข้อควรคำนึงถึงมากมาย สำหรับในประเทศไทยยังมีการให้ความสนใจศึกษาวิจัยในด้านนี้น้อยมาก ทั้งๆที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่สำคัญของภูมิภาคและยังมีอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี (กรมการขนส่งทางบก, 2534-2548) นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีผู้ต่อรถยนต์โดยสารขนาดใหญ่อีกจำนวนหนึ่ง โดยผู้ต่อรถเหล่านี้นอกจากต่อรถจำหน่ายในประเทศแล้วยังมีการส่งออกไปยังประเทศอื่นๆ ในภูมิภาคอีกด้วยและเป็นที่น่าสังเกตว่า แม้ว่ารถยนต์โดยสารที่ได้รับการต่อจากอยู่เหล่านี้จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตของผู้โดยสารเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการศึกษาใดๆ ที่ยืนยันถึงข้อมูลวิธีการผลิตรวมถึงข้อควรพิจารณาที่ใช้ในการออกแบบและการประกอบรถยนต์โดยสารเหล่านี้แต่อย่างใด ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติการรับแรงกระแทกของชิ้นส่วนโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ต่อจากอยู่เหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นทั้งในแง่ของการเพิ่มคุณภาพเชิงความปลอดภัยให้แก่โครงสร้างและเพิ่มความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยให้แก่ผู้โดยสาร อีกทั้งยังเป็นการสร้างมาตรฐานการผลิตและออกแบบให้กับโครงสร้างของยานพาหนะในประเทศเพื่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมด้านนี้ต่อไป

จากงานวิจัยในต่างประเทศตามมาตรฐาน FMVSS214 กำหนดให้รถบรรทุกหรือรถบัสจะต้องมีการทดสอบการชนด้านข้าง (Huh. *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานการทดสอบรถยนต์อีกหลายสถาบันในต่างประเทศที่ทำหน้าที่ทดสอบรถยนต์ เช่น มาตรฐานความปลอดภัยของสหพันธ์ยานยนต์ (Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS) การประเมินและทดสอบรถยนต์ใหม่ (New Car Assessment Program, NCAP) และการทดสอบมาตรฐานความปลอดภัยบนทางด่วน (Insurance Institute for Highway Safety, IIHS) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากในต่างประเทศ (Himat. *et al.*, 2004) โครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารนั้นนับว่าเป็นโครงสร้างส่วนที่สำคัญมากของรถยนต์โดยสารและเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับผู้โดยสารมากที่สุด ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการพัฒนาองค์ความรู้และเป็นการนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการต่อรถยนต์โดยสารในประเทศและเผยแพร่

สำหรับผู้ประกอบการที่มีความสนใจนำไปประยุกต์ใช้งาน อันจะนำไปสู่การพัฒนาให้ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้โปรแกรม FEA ช่วยในการวิเคราะห์

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอลิเมนต์ (FEA) ช่วยในการศึกษาวิจัยที่หลากหลาย เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นมีข้อดีอยู่มาก เช่น สามารถลดต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ สามารถปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานก่อนที่จะทำการสร้างจริงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเกิดปัญหา จากผลงานวิจัยต่างๆ เป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่าการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้โปรแกรม FEA ในการช่วยวิเคราะห์ปัญหา เช่น การทดสอบการเสียรูปของชิ้นงานทรงกรวยแบบเปลือกบางที่รับภาระในแนวแกน โดยใช้วิธีการทดสอบจากโปรแกรม FEA (ABAQUS) เปรียบเทียบกับการทดลอง (Thinwongpituk. *et al.*, 2003) การศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการเสียหายของอลูมิเนียมกลวง เพื่อหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของชิ้นส่วนด้านหน้าโครงสร้างรถรางที่ใช้ในเมืองด้วยวิธี FEA (ABAQUS/Explicit) เทียบกับการทดลอง (Alois Starlinger. *et al.*, 2003) การศึกษาการเสียหายของวัสดุที่ใช้เป็นคานประตูด้านข้างของห้องโดยสารรถยนต์ โดยใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบาเปรียบเทียบกับเหล็กที่ใช้อยู่ซึ่งทดสอบโดยวิธี FEM เทียบกับการทดลอง ผลจากการศึกษาพบว่าวัสดุผสมสามารถลดน้ำหนักของชิ้นส่วนลงได้โดยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 20 % (Tae Seong Lim. *et al.*, 2002) การศึกษาชิ้นส่วนโครงสร้างด้านหน้ารถยนต์ที่มีการเจาะรูที่ปลายของชิ้นส่วนเพื่อหาค่าพลังงานที่ชิ้นส่วนนั้นสามารถดูดซับได้ เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของการเจาะรูไปที่ระยะห่างจากปลายต่างกัน ซึ่งผลของการเจาะรูชิ้นงานมีผลกับความสามารถในการดูดซับพลังงานน้อยมากดังนั้นในกระบวนการผลิตไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา (Wang Yong. *et al.*, 2003) การศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปและพลังงานที่ชิ้นงานดูดซับได้ภายใต้แรงกระแทกวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมอัลลอยมีส่วนผสมทางเคมีต่างกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความหนาต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Dong-Kuk Kim. *et al.*, 2003) การศึกษาลักษณะและรูปแบบการต่อของชิ้นส่วนโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสาร เพื่อหาค่าการดูดซับพลังงานและการดูดซับพลังงานจำเพาะของโครงสร้างและศึกษารูปแบบการเสียหาย โดยใช้การวิเคราะห์ทาง FEA/ABAQUS (นิรุต และคณะ, 2548) การศึกษาการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระแบบกด ภาระแบบบิดและภาระแบบดัด (นิรุต และคณะ, 2549) จากตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวมาแล้ว แสดงให้เห็นว่าการนำโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างยานพาหนะนั้นเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปและให้ผลการศึกษาที่ใกล้เคียงกับการทดลองมาก

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาด้านการเสียหายของวัสดุภายใต้การชน

โครงสร้างหลักของยานพาหนะต่างๆ นั้นมักประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นลักษณะแผ่น (Plates) และเปลือก (Shell) ที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน เนื่องจากโครงสร้างลักษณะดังกล่าวมีคุณสมบัติของการเป็นโครงสร้างกันการชนที่ดี ความหมายของการดูดซับพลังงานจากการชนได้ดี หมายถึงความสามารถของ

โครงสร้างในการยุบตัวที่เหมาะสมเมื่อเกิดการกระแทกหรือการชน โดยในการยุบตัวนั้นโครงสร้างควรจะ
สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของตัวมันเอง (Magee. *et al.*, 1978),
(Kindervarter. *et al.*, 1993), (Psimolophitis S.E., 1997), (Thinvongpituk C., 2002)

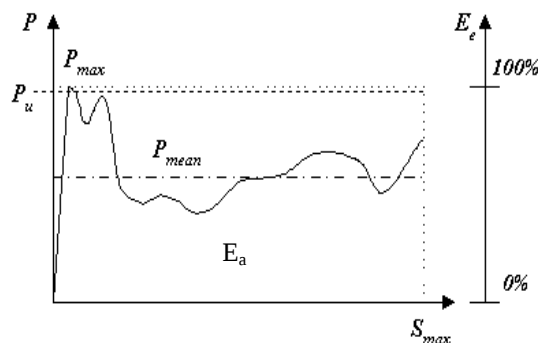
ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน (Crashworthiness) มักจะศึกษา
จากกราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างดังตัวอย่างกราฟในรูปที่ 1 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลาย
ตัวเช่น ภาระวิกฤติ (Critical Load, P_{cr}) หมายถึงภาระแรกที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายอย่าง
สังเกตเห็นได้ ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึงภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของ
โครงสร้างภายใต้การกระแทกจนสิ้นสุดการยุบตัว ภาระสูงสุด (Maximum Load, P_{max}) หมายถึงภาระ
สูงสุดที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการยุบตัวจากเริ่มต้นจนสิ้นสุด พลังงานที่ดูดซับได้ (Energy
absorption, E_a) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอดช่วงเวลาการกระแทกหรือการ
ยุบตัวและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption, E_s) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้าง
สามารถดูดซับได้เมื่อเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างเอง โดยในบทความนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาค่าพลังงานที่
ดูดซับได้ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของ
โครงสร้าง โดยในการหาค่าพลังงานดูดซับนั้นสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัว
ของโครงสร้างเมื่อเกิดการชน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 1

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

โดยที่ E_a คือ ค่าพลังงานดูดซับ, P คือ ค่าภาระที่เกิดตลอดการยุบตัว, P_{mean} คือ ค่าภาระเฉลี่ย, S คือ ค่า
ระยะการยุบตัว เมื่อนำค่าพลังงานดูดซับตามสมการที่ 1 มาหารด้วยมวลของโครงสร้างจะสามารถหาค่า
พลังงานดูดซับจำเพาะได้ดังสมการที่ 2

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

โดยที่ E_s คือ ค่าพลังงานดูดซับจำเพาะและ $mass$ คือ มวลของโครงสร้าง

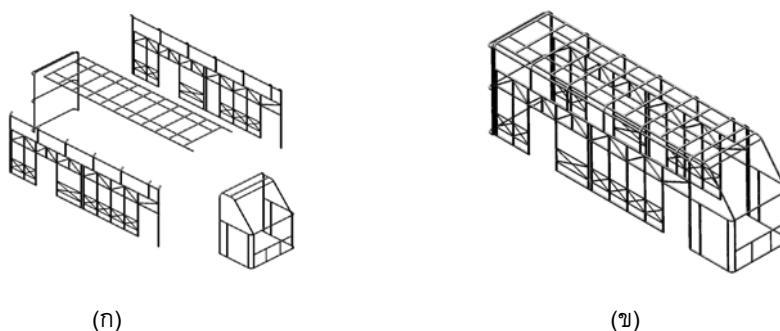


รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างและตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา

วิธีการศึกษา

ส่วนประกอบของโครงสร้างรถยนต์โดยสาร

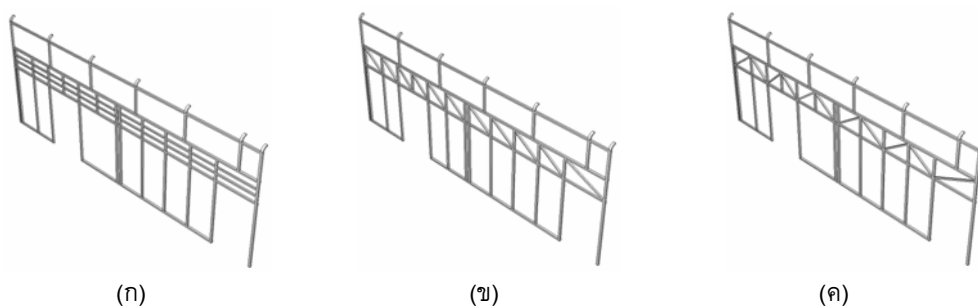
โครงสร้างและส่วนประกอบของรถยนต์โดยสารนั้นโดยทั่วไปแล้วจะประกอบกันขึ้นหลายๆ ส่วน ได้แก่ โครงสร้างหลังคา โครงสร้างด้านหน้า โครงสร้างด้านข้างและโครงสร้างด้านหลังเป็นต้น จากนั้นจะนำโครงสร้างทั้งหมดแต่ละส่วนมาประกอบต่อกันเป็นโครงรถยนต์โดยสาร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 (ก)แสดงโครงสร้างรถยนต์โดยสารแบบแยกส่วน (ข)แสดงโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ประกอบเสร็จแล้ว

โครงสร้างด้านข้างและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสามารถด้านการชนของแผงโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร จากการเก็บข้อมูลจากอุบัติเหตุรถยนต์โดยสารต่างๆภายในประเทศผลการสำรวจโดยทั่วไปพบว่า โครงสร้างแผงด้านข้างของรถยนต์โดยสารมักต่อขึ้นโดยใช้เหล็กกล่องและนิยมต่อใน 3 รูปแบบ คือ 1. การต่อโครงสร้างแบบขนาน 2.การต่อโครงสร้างแบบทแยงมุมและ 3.การต่อโครงสร้างแบบสลับฟันปลา การต่อทั้ง 3 แบบดูได้จากรูปที่ 3(ก), 3(ข) และ 3(ค) ตามลำดับ



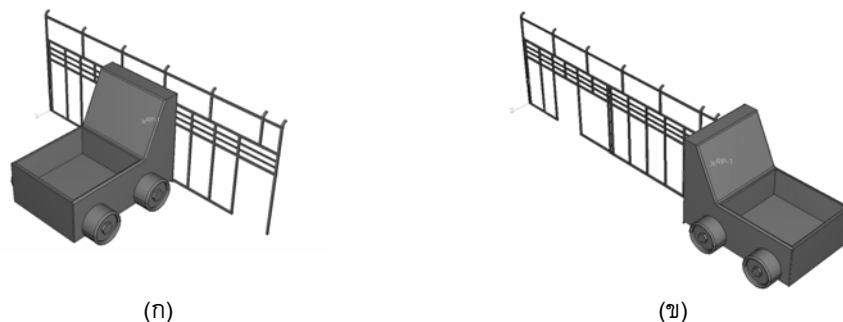
รูปที่ 3 แสดงรูปแบบการต่อโครงสร้างรถยนต์โดยสาร (ก)โครงสร้างต่อแบบขนาน (ข)โครงสร้างต่อแบบทแยงมุม และ (ค)โครงสร้างต่อแบบสลับฟันปลา

จากรูปที่ 3 แสดงโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารที่มีลักษณะการต่อ 3 แบบ ที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (CAD MODEL) ซึ่งเป็นขั้นตอนการออกแบบก่อนทำการวิเคราะห์ โดยที่โครงสร้างทั้งหมดเป็นการจำลองลักษณะการต่อที่มีใช้อยู่ในรถโดยสารทั่วไปและโครงสร้างจะมีขนาดเท่ากับที่ใช้จริง ซึ่งประกอบขึ้นด้วยเหล็กกล่องที่มีขนาดหน้าตัดแตกต่างกัน โดยมีความหนาแต่ละชิ้นส่วนเท่ากับ 2 mm เมื่อสร้างแบบจำลองของโครงสร้างด้านข้างเสร็จแล้วจะนำโครงสร้างทั้ง 3 แบบมาทำการทดสอบและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEA ต่อไป

การทดสอบโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารด้วย FEA

เนื่องจากโครงสร้างรถยนต์โดยสารเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่เป็นการยากที่จะทำการทดสอบจริงซึ่งมีต้นทุนสูงเมื่อเทียบกับการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในการศึกษาโครงสร้างขนาดใหญ่ต่างๆ และมีความซับซ้อนจึงมักเลือกใช้วิธีการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นหลัก ซึ่งจากการศึกษาในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมพบว่าการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านไฟไนท์เอลิเมนต์ (FEA) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายกับทางด้านวิศวกรรมในปัจจุบัน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้การวิเคราะห์ผลและทดสอบด้วยโปรแกรม FEA เช่นกัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีชื่อว่า ABAQUS และใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ explicit ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปทั้งในและต่างประเทศ

เงื่อนไขและขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง ทำโดยจำลองโครงสร้างแต่ละแบบด้วยเอลิเมนต์แบบเปลือกบาง (Shell Element) ชนิด 4 Node โดยมีเงื่อนไขในโปรแกรมคือ ให้รถยนต์อีกคันหนึ่งซึ่งสมมุติให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 60 Km/h พุ่งเข้าชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้างโดยกำหนดให้ชนเป็นระยะทาง 0.32 เมตรดังรูปที่ 4(ก) โดยกำหนดจุดอ้างอิง (Reference Node) ไว้ตรงด้านหน้ารถเพื่อวัดระยะยุบตัว (Displacement) และแรงปฏิกิริยา (Reaction Force) ของโครงสร้าง ซึ่งจะถูกบันทึกผลไว้ในขณะทำการทดสอบ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สมมุติให้เป็นแบบ Elastic - Plastic โดยค่าที่ได้มาจากการทดสอบวัสดุ ส่วนบริเวณตรงปลายของโครงสร้างทั้งสอง จะทำการจับยึดแน่นสำหรับการทดสอบการชนด้านข้างและจับยึดที่ปลายด้านหนึ่งสำหรับการชนในแนวแกน ผลที่ได้จากการทดสอบจะนำไปคำนวณและวิเคราะห์เพื่อหาค่าพลังงานดูดซับต่อไป



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการเตรียมการก่อนทดสอบในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ (ก) รูปลักษณะการชนด้านข้าง
(ข) รูปลักษณะการชนในแนวแกน

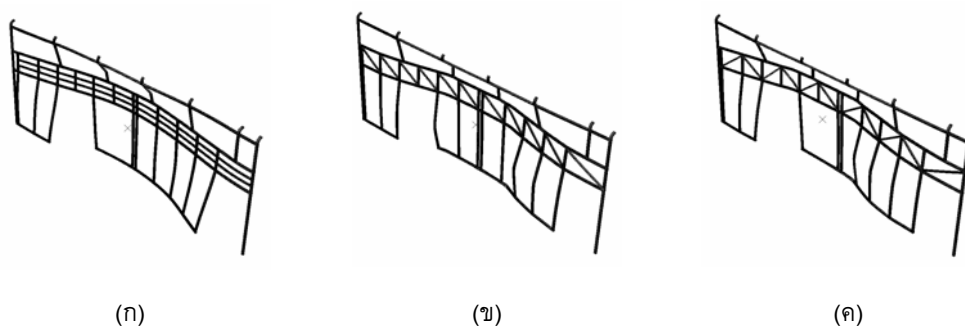
จากรูปที่ 4 (ก) แสดงตัวอย่างการเตรียมโครงสร้างรถยนต์โดยสารที่ต่อแบบขนานภายใต้ภาระการชนด้านข้าง ซึ่งเป็นการเตรียมการในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ก่อนเริ่มการทดสอบ ส่วนรูปที่ 4 (ข) แสดงตัวอย่างการเตรียมโปรแกรมก่อนการทดสอบของโครงสร้างที่ต่อแบบขนานภายใต้ภาระการชนในแนวแกน โดยใส่เงื่อนไขในการทดสอบ คือให้โครงสร้างวิ่งเข้าชนด้วยความเร็ว 60 Km/h และชนเป็นระยะทาง 0.32 เมตร สำหรับโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลาก็มีลักษณะวิธีการเตรียมการก่อนทดสอบเช่นเดียวกัน

ผลและวิจารณ์

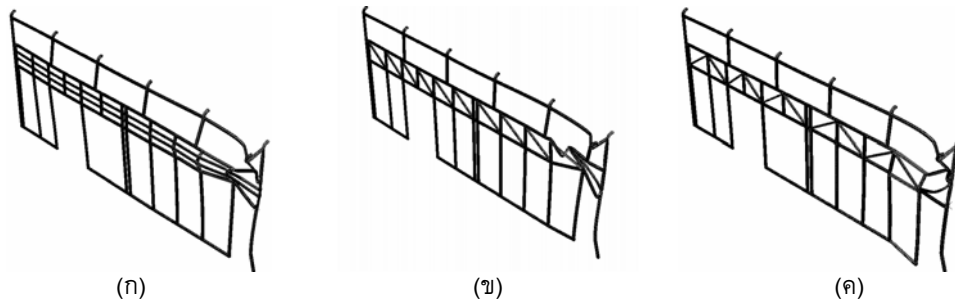
จากการทดสอบการชนจะได้ข้อมูลการทดสอบและรูปแบบการเสียหายจากการชน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกรณีคือ การทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากกับโครงสร้างซึ่งจะเกิดภาระแบบดัด (Bending Load) และการทดสอบการชนในแนวแกนซึ่งจะเกิดภาระแบบกดในแนวแกน (Axial Load) โดยรูปแบบการเสียหายและผลการดูดซับพลังงานของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบจะแสดงรายละเอียดแต่ละกรณีไว้ดังนี้

รูปแบบการเสียหายของโครงสร้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชน

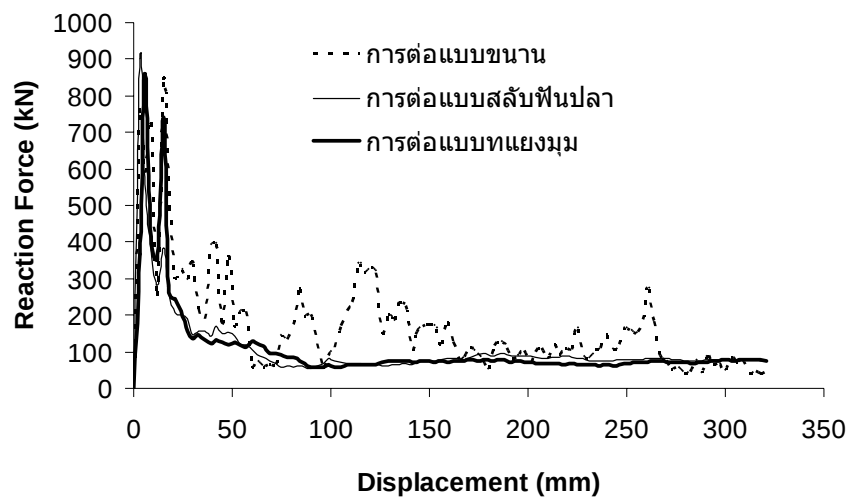
จากการทดสอบการชนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารที่ต่อทั้ง 3 แบบ ได้แสดงลักษณะของการเสียหายของโครงสร้างแบบต่างๆไว้ โดยในรูปที่ 5 เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่รับภาระการชนด้านข้าง โดยจะเสียหายบริเวณกึ่งกลางโครงสร้างเป็นหลักเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการชนเกิดขึ้นลักษณะการเสียหายคือยุบเข้าไปด้านในของตัวรถซึ่งมีส่วนที่จะปะทะกับผู้โดยสารบริเวณนั้นได้ ซึ่งโครงสร้างที่ดูดซับพลังงานได้ดีจะสามารถช่วยซับแรงได้ก่อนที่จะถึงผู้โดยสาร ส่วนรูปที่ 6 เป็นรูปแบบการเสียหายของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบการชนในแนวแกนโดยจะเสียหายบริเวณส่วนหน้าที่ได้รับการชนเป็นหลัก



รูปที่ 5 แสดงลักษณะการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การรับภาระการชนด้านข้าง (ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุมและ (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา

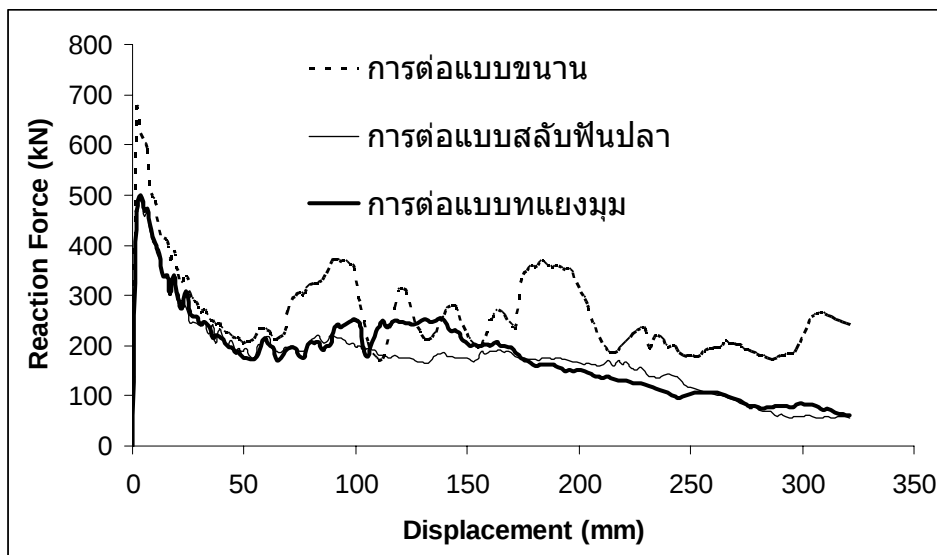


รูปที่ 6 แสดงลักษณะการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การรับภาระการชนในแนวแกน (ก) โครงสร้างแบบขนาน (ข) โครงสร้างแบบทแยงมุมและ (ค) โครงสร้างแบบสลับฟันปลา



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของโครงสร้างภายใต้การชนทางด้านข้าง

จากรูปที่ 7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยุบตัวของโครงสร้างภายใต้การชนทางด้านข้าง โดยกราฟของการต่อแบบขนานจะมีค่าของแรงปฏิกิริยาที่ไม่คงที่ส่วนกราฟของการต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลามีค่าใกล้เคียงกันและค่อนข้างราบเรียบซึ่งลักษณะเช่นนี้หมายถึง เมื่อเกิดอุบัติเหตุโครงสร้างสามารถดูดซับแรงได้โดยที่ไม่เกิดการกระชากหรือการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร่งอย่างทันทีทันใดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อร่างกายผู้โดยสารน้อยกว่าลักษณะกราฟที่ไม่ราบเรียบ ทั้งนี้ค่าอัตราเร่งนี้มีความสำคัญมากในการศึกษาทางด้าน Crashworthiness ของโครงสร้างภายใต้การชน โดยได้มีผู้ทำการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวางและมีข้อเสนอว่าในการดูดซับแรงกระแทกนั้นไม่ควรก่อให้เกิดอัตราเร่ง (Deceleration or Acceleration) ของโครงสร้างมากเกินไป (Jones N., 1997) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเร่งที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ (Dong-Kuk Kim. et al., 1998), (Snyder RG., 1970)



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยวบตัวของโครงสร้างภายใต้การชนในแนวแกน

จากรูปที่ 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยวบตัวของโครงสร้างด้านข้างภายใต้การชนในแนวแกนจะเห็นว่ากราฟของการต่อแบบขนานจะมีค่าแรงปฏิกิริยาที่สูงกว่าการต่อโครงสร้างอีก 2 แบบที่เหลื่อและลักษณะการยวบตัวจะคล้ายๆกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการกราฟดังกล่าวจะนำไปคำนวณหาค่าการดูดซับพลังงานจากการทดสอบชนในแนวแกนของโครงสร้างต่อไป

ผลการทดสอบและการคำนวณพลังงานดูดซับ						
ชนิดการต่อของแผงโครงสร้าง ด้านข้างรถยนต์โดยสาร	การทดสอบการชนใน แนวแกน			การทดสอบการชนด้านข้าง ในทิศทางตั้งฉาก		
	P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	Ea (kJ.m)	P_{mean} (kN)	Stroke (mm)	Ea (kJ.m)
การต่อแบบขนาน	262.13	320	83.88	140.1	320	44.83
การต่อแบบทแยงมุม	178.67	320	57.17	84.1	320	26.91
การต่อแบบสลัฟพื้นปลา	171.45	320	54.86	80.5	320	25.76

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณพลังงานดูดซับของโครงสร้างที่ได้จากการทดสอบ

ค่าพลังงานดูดซับที่ได้จากการทดสอบของโครงสร้างทั้ง 3 แบบ

เมื่อนำข้อมูลที่บันทึกได้จากโปรแกรมของโครงสร้างที่ต่อทั้ง 3 แบบภายใต้ภาระการชนด้านข้างและภาระการชนในแนวแกน สามารถหาค่าภาระเฉลี่ยและระยะยุบตัวของโครงสร้างที่เกิดขึ้นมาทำการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับได้โดยสมการที่ 1 ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าผลการทดสอบการชนในแนวแกนของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร โครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ 83.88 kN.m ส่วนการต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา มีค่าพลังงานดูดซับใกล้เคียงกันคือ 57.17 kN.m และ 54.86 kN.m ตามลำดับ โดยโครงสร้างที่ต่อแบบขนานมีความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนมากกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและต่อแบบสลับฟันปลาเท่ากับ 26.71 kN.m และ 29.02 kN.m หรือประมาณ 46.72 % และ 50.76 % ตามลำดับ สำหรับการทดสอบการชนด้านข้างในแนวตั้งฉาก โครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานได้ 44.83 kN.m การต่อแบบทแยงมุมได้ 26.91 kN.m และการต่อแบบสลับฟันปลาได้ 25.76 kN.m แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่ต่อแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนด้านข้างในแนวตั้งฉากได้ดีกว่าโครงสร้างที่เหลือ โดยสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าการต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลาเท่ากับ 17.92 kN.m และ 19.07 kN.m หรือประมาณ 66.59 % และ 74.03 % ตามลำดับ

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวแกนและภาระการชนในแนวตั้งฉากพบว่า การต่อโครงสร้างแบบขนานสามารถดูดซับพลังงานจากการชนได้ดีกว่าโครงสร้างที่ต่อแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลา โดยพบว่าสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าโครงสร้างแบบสลับฟันปลาและแบบทแยงมุมประมาณ 46-51 % ในกรณีการชนด้านข้างและประมาณ 66-75 % ในกรณีการชนด้านหน้าในแนวแกน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าพลังงานดูดซับจำเพาะจึงไม่ได้นำมาพิจารณา หากจะเลือกการต่อใน 3 ลักษณะนี้ไปใช้งานควร จะเลือกโครงสร้างที่มีการต่อแบบขนาน แม้จะมีการเพิ่มจำนวนชิ้นส่วนโครงสร้างขึ้นในแต่ละช่องของโครงสร้างซึ่งไม่มากแต่ลักษณะการตัดต่อชิ้นส่วน การเชื่อม จะสะดวกกว่าโครงสร้างแบบทแยงมุมและแบบสลับฟันปลาซึ่งเป็นการประหยัดเวลาในการผลิตและเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างได้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ชมรมผู้ต่อรถบ้านโป่ง จ.ราชบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางบก. 2534 - 2548. “สถิติจำนวนรถใหม่ที่จดทะเบียนตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์และล้อเลื่อนกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบก.” ฝ่ายสถิติการขนส่ง กองวิชาการและวางแผน. กรมการขนส่งทางบก. กระทรวงคมนาคม.
- นิรุต อ่อนสลุ่ และคณะ 2548. “การศึกษาผลตอบสนองต่อการกดของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19. 19 - 21 ตุลาคม 2548: จังหวัดภูเก็ต.
- นิรุต อ่อนสลุ่ และคณะ 2549. “การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้แรงกด แรงบิดและแรงดัด.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20. 18 - 20 ตุลาคม 2549. : จังหวัดนครราชสีมา.
- Alois Starlinger and Andreas Gmür. 2003. “On the Application of ABAQUS Explicit for the Design Optimization of a City Tram Crash Module.” **2003 ABAQUS Users Conference**. June 4–6: Munich Germany.
- Dong-Kuk Kim, et. al. 1998. “Dynamic Crashing and Impact Energy Absorption of Extruded Aluminum Square Tubes.” **Materials and Design**. 19: pp. 179-185.
- Himat F.Mahood and Bahig B.Fileta. 2004. “Design of Vehicle Structures for Crash Energy Management.” **Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection**. American Iron and Steel Institute.
- Huh H. et al. 2003. “Side Impact Analysis of an Auto-body with 60TRIP Steel for Side Members” 12th **International Pacific Conference on Automotive Engineering**. April 1-4: Bangkok Thailand.
- Jones N. 1997. “**Structural Impact**.” Cambridge University Press: UK.
- Kindervarter C.M. and Georgi H. 1993. “Composite Strength and Energy Absorption as an Aspect of Structural Crash Resistance.” **Structural Crashworthiness and Failure**. : pp. 189-235 (Edited by Jones, N. and Wierzbicki, T.)
- Macaulay, M.A. 1987. “**Intro\duction to Impact Engineering**.” Chapman & Hall: London.
- Magee CL. and Thornton PH. 1978. “Design Considerations in Energy Absorption by Structural Collapse.” **Transaction SAE**. 87(2): pp. 2401-2055.
- Psimolophitis SE. 1997. “**An Investigation of Asymmetric Shells under Axial Loading**.” Ph.D. Thesis. UMIST. Manchester: UK.
- Snyder, R.G. 1970. “Human Impact Tolerance.” SAE. Paper 700398. **International Automotive Safety Conference Compendium**. SAE: pp. 712-782.
- Tae Seong Lim and Dai Gil Lee. 2002. “Mechanically Fastened Composite Side-Door Impact Beams for Passenger Cars Designed for Shear-out Failure Modes.” **Int. J. Composite Structures**. 56: pp. 211–221.
- Thinvongpituk C. and El-Sobky H. 2003. “The Effect of End Conditions on the Buckling Load Characteristic of Conical Shells Subjected to Axial Loading.” **2003 ABAQUS Users Conference**. June 4–6: Munich Germany.
- Thinvongpituk C. 2002. “**The Behavior of Non-Constant Thickness Conical Shells under Axial Loading**.” Ph.D. Thesis. UMIST. Manchester: UK
- Wang Yong, et. al. 2003. “A Study on Crashworthiness of Mini-car Front Longitude Member by Computer Simulation.” 12th **International Pacific Conference on Automotive Engineering**. April 1-4: Bangkok Thailand.