



## การศึกษาโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อการดูดซับพลังงาน

### A Study of Crash Boxes Referred to Energy Absorption

วรวิทย์ วรนาวิณ<sup>1\*</sup>, กุลยศ สุวันทโรจน์<sup>1</sup>, พิเชษฐบุญญาลัย<sup>1</sup> และศุภชัย หลักคำ<sup>1</sup>

Vorawit Voranavin<sup>1\*</sup>, Kullayot Suwantaroj<sup>1</sup>, PichestBoonyala<sup>1</sup> and Supachai Lakkam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

\*Correspondent author: vorawit.v@rmutp.ac.th

#### บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย โครงสร้างกันแรงกระแทกเป็นอีกชิ้นส่วนหนึ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากในด้านความปลอดภัยแต่กลับพบว่าโครงสร้างกันแรงกระแทกที่ผลิตขึ้นภายในประเทศมีคุณภาพที่ไม่สามารถเทียบเท่ามาตรฐานสากลอันเนื่องมาจากข้อจำกัดในด้านการผลิตและกระบวนการทดสอบด้านความปลอดภัยซึ่งงบประมาณค่อนข้างสูง อีกทั้งกระบวนการทดสอบเฉพาะด้านไม่มีแนวทางที่ชัดเจน จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงคิดค้นและออกแบบชุดทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกซึ่งประกอบด้วย โครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องสี่เหลี่ยม, ลูกฟูกและรั้งผึ้ง โดยอาศัยมาตรฐานสากล US NCAP และ ECER 29 ซึ่งใช้สำหรับการทดสอบแบบเต็มรูปแบบมาเป็นแนวทาง และมุ่งเน้นไปที่พฤติกรรมการดูดซับพลังงานเป็นเกณฑ์ชี้วัดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างเมื่อได้รับพลังงานในรูปแบบพลวัตและสถิต โดยทำการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสถิตรวมถึงทำการทดสอบแบบสถิตและการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้าจากการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกทั้ง 3 แบบได้ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องลูกฟูกสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าแบบกล่องรั้งผึ้ง 2.8% และแบบกล่องสี่เหลี่ยม 5.9% เนื่องจากโครงสร้างแบบกล่องลูกฟูกสามารถรับความเค้นและความเครียดได้ต่อเนื่องมากกว่ารูปทรงอื่นๆ จึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานได้ดีกว่าทั้งในการทดสอบแบบพลวัตและสถิต อีกทั้งรูปแบบของโครงสร้างที่สามารถนำมาผลิตได้จริงกับกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

#### Abstract

Nowadays, an automotive industry steadily has been growing and playing a major role on economy development for many years. The crash box is one of the most important parts for safety but it was found that the crash boxes manufactured domestically are not met international standard requirements. This is due to process and material limitation. This process for automotive safety test requires high budget and there is unclear approach for specific test. Regarding to the problems as addressed above, this research was aimed to design and test crash

boxes which come in various structures; simple type, corrugated type and honeycomb type of crash box living US NCAP and ECE R 29 standards which is used to test the approach in full scale. In addition, it was also emphasized in energy absorption to become indicator and studying physical deformation of crash boxes after dynamic and static energy being applied. Finite Element, static test and dynamic test methodology of front collision were. Testing all types of crash boxes indicated that the corrugated type was able to absorb energy at 2.8% and 5.9% higher than honeycomb type and rectangular type, respectively. This is capable to pick-up stress and strain continually and effecting to more energy absorb than another type. Additionally, this corrugated structure is currently feasible and suitable for crash box design in automotive manufacturing.

**คำสำคัญ:** โครงสร้างกันแรงกระแทก การดูดซับพลังงาน

**Keywords:** crash boxes, energy absorption

## 1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทย ในขณะที่รถยนต์ส่วนใหญ่ถูกออกแบบโดยวิศวกรต่างชาติ และถูกถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อทำการผลิตในประเทศไทย โดยเฉพาะระบบสำคัญต่างๆ ในยานยนต์ ซึ่งรวมถึงระบบความปลอดภัยในรถยนต์ด้วย โครงสร้างกันแรงกระแทกเป็นอีกชิ้นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้งานและมีบทบาทในด้านความปลอดภัยเป็นอย่างยิ่งซึ่งผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ได้ตระหนักถึงความสำคัญในการออกแบบและปรับใช้เพื่อความเหมาะสมในการผลิตและการใช้งาน ซึ่งมีหลากหลายทั้งด้านรูปทรง เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยม, ลูกฟูก และรังผึ้ง และด้านวัสดุ เช่น โลหะ, อลูมิเนียม และวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งต่างมีผลกระทบต่อต้นทุนและกระบวนการผลิต แต่กลับพบว่าโครงสร้างกันแรงกระแทกที่ถูกติดตั้งในรถยนต์ที่มีจำหน่ายภายในประเทศนี้ มีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าที่มีใช้อยู่ในต่างประเทศ และไม่สามารถเทียบกับคุณสมบัติของโครงสร้างกันแรงกระแทกที่ถูกติดตั้งในรถยนต์ที่มีจำหน่ายในต่างประเทศได้ อันเป็นผลมาจากข้อจำกัดในการผลิตและวัสดุที่มีอยู่ในประเทศ มากไปกว่านั้นต้นทุนสำหรับการทดสอบมีราคาสูงมาก ส่งผลให้เกิดการขาดแคลนด้านเครื่องมือการทดสอบสำหรับ

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศซึ่งไม่เพียงพอที่จะเอื้ออำนวยต่อการใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยานยนต์ในอนาคต รวมถึงการก้าวไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับชิ้นส่วนยานยนต์อีกด้วย

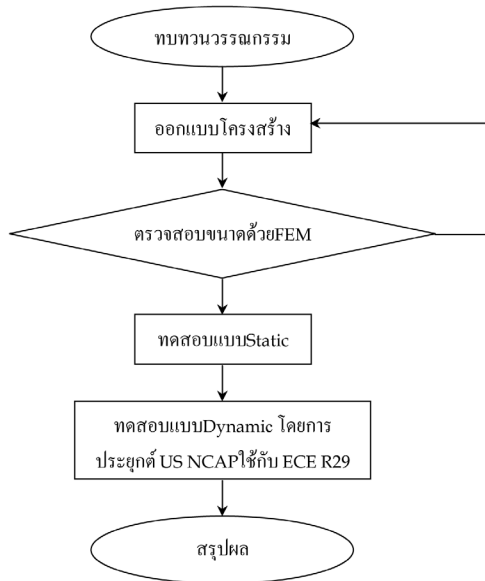
จากปัญหาดังกล่าว ทำให้การออกแบบรถยนต์ที่ใช้งานในประเทศมีมาตรฐานความปลอดภัยที่ไม่เทียบเท่ามาตรฐานความปลอดภัยจากต่างประเทศ ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นได้จากความเสียหายที่ปรากฏขึ้นหลังจากการเกิดอุบัติเหตุ โดยโครงสร้างกันแรงกระแทกส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในรถยนต์ไม่สามารถดูดซับแรงกระแทกและลดความเสียหายหลังจากการเกิดอุบัติเหตุได้เท่าที่ควรจะเป็นเมื่อเทียบกับมาตรฐานสากล

ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ตระหนักถึงการใช้งานในด้านความปลอดภัยภายหลังการเกิดอุบัติเหตุและมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงกระแทกเพื่อใช้ออกแบบโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ภายใต้ข้อจำกัดด้านสมบัติวัสดุภายในประเทศ โดยอาศัยหลักวิศวกรรมในการออกแบบและพัฒนา อีกทั้งนำเอาหลักการทดสอบที่เป็นมาตรฐานสากลทางด้านวิศวกรรมยานยนต์มาใช้เป็นแนวทางและทำการปรับปรุงขั้นตอนการทดสอบให้มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

นอกจากนี้แล้วการสร้างทางเลือกสำหรับการทดสอบการชนหรือการกระแทกอันเกิดขึ้นจากอุบัติเหตุที่จะสามารถนำยานพาหนะมาทำการทดสอบ และนำ

ข้อมูลที่ได้ไปเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างกันแรงกระแทกของยานยนต์ให้มีความสามารถในการดูดซับพลังงาน และเกิดความปลอดภัยหลังเกิดอุบัติเหตุมากขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้คือโครงสร้างกันแรงกระแทกที่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการพัฒนาและการออกแบบยานยนต์ อีกทั้งช่วยส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมการออกแบบยานยนต์ให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

## 2. วิธีวิจัย



รูปที่ 1. ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 2.1 การทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1.1 ด้านลักษณะทางกายภาพ

จากผลการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามี การศึกษาและวิจัยเพื่อทำการพัฒนาโครงสร้างกันแรง กระแทกด้วยหลากหลายวิธี โดย Yoshiaki N. และคณะ(1) ได้ทำการพัฒนาโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ให้ มีลักษณะเป็นรูปทรงแบบลูกฟูก เพื่อเพิ่มความสามารถ ในการรับพลังงานที่เกิดจากแรงกระแทกได้มากขึ้น โดย อาศัยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Finite Element Analysis, FEA) เข้ามาช่วยในการออกแบบ

ในขณะที่รูปทรงลูกฟูกได้รับความสนใจ จาก GhasemnejadH. และคณะ(2)โดยการออกแบบ โครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ให้มีความสามารถ ในการรับแรงกระแทกให้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขความ บางของวัสดุ อีกทั้งได้ทำการทดสอบกับวัสดุประเภท อลูมิเนียมหลายชนิด เพื่อทำการเปรียบเทียบความ สามารถในการรับแรงกระแทก

มากไปกว่านั้นรูปทรงแบบรังผึ้งถูกนำมา ประยุกต์ใช้ในการออกแบบ SatosaS. และคณะ (3)ได้นำ เอรูปทรงรังผึ้งมาปรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างกัน แรงกระแทกของรถยนต์ โดยการเปรียบเทียบระหว่าง โครงสร้างที่ทำจากอลูมิเนียมแผ่นบางและโครงสร้างที่ ทำจากโฟม ซึ่งวัสดุทั้งสองมีคุณสมบัติที่คล้ายกันคือน้ำหนักที่เบา ในขณะที่มีความสามารถสลายพลังงานจาก การกระแทกได้ดี

#### 2.1.2 ด้านวัสดุ

ไม่เพียงแค่ว่ารูปทรงหรือลักษณะทางกายภาพ ที่ถูกศึกษา การค้นคว้าวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นโครงสร้างกัน แรงกระแทกของรถยนต์ได้รับความสนใจจาก HakimS. (4)โดยมีแนวคิดที่จะนำเอาวัสดุผสมระหว่างไฟเบอร์ กลาสและอีพอกซีมาขึ้นรูปเป็นลักษณะท่อเพื่อเพิ่มความ สามารถในการรับแรง ซึ่งวัสดุที่ได้ทำการขึ้นรูปขึ้นมา นั้นจะถูกทำการทดสอบด้วยการอัดทำลายโดยใช้เครื่อง ทดสอบการอัดตัว

นอกจากนี้อลูมิเนียมก็เป็นวัสดุที่มองข้าม ไม่ได้ทางวิศวกรรม Heung-SooK. (5) ได้ทำการศึกษา การวางรูปแบบของโครงสร้างกันแรงกระแทกของ รถยนต์โดยใช้อลูมิเนียมเป็นวัสดุ ด้วยเหตุผลจากความ ต้องการเพิ่มความสามารถในการสลายพลังงานจากการ กระแทกภายใต้เงื่อนไขน้ำหนักของโครงสร้างที่ถูกจำกัด การออกแบบพื้นที่หน้าตัดให้เป็นแบบมัลติเซลล์หลากหลายรูปแบบจึงถูกนำมาศึกษาด้วยวิธีการจำลองด้วย คอมพิวเตอร์

ในขณะที่ ToksoyA.K. และคณะ(6)ได้ใช้ เทคนิคการบรรจุโฟมเข้าไปในโครงสร้างกันแรงกระแทก ของรถยนต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก โดยการจัดเรียงชั้นโฟมอย่างเป็นระเบียบ จากนั้นทำการ

ทดสอบและจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลที่ได้รับคือ โครงสร้างกันแรงกระแทกสามารถสลายพลังงานได้มากขึ้น ในขณะที่มีน้ำหนักน้อย

2.1.3 ด้านอื่นๆ

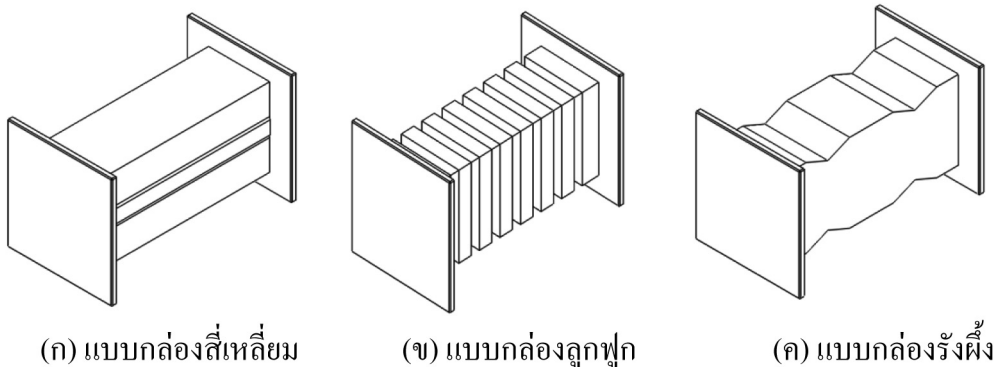
นอกเหนือจากประเด็นที่กล่าวมาแล้ว เทคนิคการประกอบโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ถูกศึกษาโดย Lorenzo P. และคณะ (7)ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบเทคนิคการต่อชิ้นส่วนโครงสร้างที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสลายพลังงานจากการกระแทก โดยใช้การทดสอบการกดชิ้นงานเพื่อวัดอัตราการสลายพลังงานอีกทั้งพบว่ามีการศึกษาผลกระทบของการเสียรูปแบบถาวรและสภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยการแพร่ผ่านคลื่นแบบยืดหยุ่นที่ส่งผลเสียหายต่อโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ โดย RusinekA. และคณะ(8) ใช้วิธีการศึกษาด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ และเปรียบเทียบความสามารถในการสลายพลังงาน ทั้งนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราความเครียดที่มีผลต่อความเสียหายของโครงสร้าง

อย่างไรก็ตาม การทบทวนวรรณกรรมในเบื้องต้นนี้ยังไม่พบข้อมูลใดที่บ่งชี้ถึงรูปทรงหรือลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างกันแรงกระแทกที่มีประสิทธิภาพต่อการรับแรงกระแทกสูงสุด ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าจะเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสู่การ

พัฒนาโครงสร้างกันแรงกระแทกบนพื้นฐานลักษณะทางกายภาพที่จะก่อให้เกิดศักยภาพสูงสุดของโครงสร้างกันแรงกระแทกที่จะถูกพัฒนาขึ้นไปในอนาคต

2.2 การออกแบบและการสร้างโครงสร้างกันแรงกระแทก

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันทราบว่า โครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์แต่ละรุ่นนั้นมีลักษณะทางโครงสร้างที่คล้ายกัน แต่มีความแตกต่างกันเพียงวัสดุที่นำมาผลิตและความหนาของโครงสร้าง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบโครงสร้างกันแรงกระแทกให้มีรูปทรงของโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยเลือก Steel เป็นวัสดุ เนื่องจากเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมยานยนต์ ปัจจุบัน ด้วยความได้เปรียบทางด้านทุน และการขึ้นรูปจึงสามารถพบโครงสร้างกันแรงกระแทกที่ทำจากวัสดุดังกล่าวได้ในรถยนต์ที่มีราคาไม่สูงมากนักอย่างแพร่หลาย โดยทางคณะผู้วิจัยได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างแต่ละรูปแบบ โดยกำหนดความยาวและความหนาของโครงสร้างแต่ละรูปแบบให้เท่ากันเป็นแนวทางในการออกแบบขั้นต้นโดยใช้โปรแกรม Solid Workสำหรับการออกแบบโครงสร้างกันแรงกระแทก ซึ่งได้ผลสรุปของการออกแบบโครงสร้างกันแรงกระแทกสำหรับใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 2



รูปที่2. แบบจำลองโครงสร้างกันแรงกระแทก

**2.3 การจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)**

จากโครงสร้างกันแรงกระแทกที่ได้จากการออกแบบจะถูกนำมาทำการจำลองการรับภาระโครงสร้างเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของขนาดและหาแนวโน้มการยุบตัวของโครงสร้าง อีกทั้งความสอดคล้องกับพลังงานที่ใช้ในการทดสอบและตรวจสอบแรงกิริยาที่สามารถทำให้โครงสร้างยุบตัวได้ใกล้เคียงหรือไม่เกินครึ่งหนึ่งของความยาวทั้งหมด ( $\leq 1/2$ ) ซึ่งได้แรงที่ใช้ในการจำลอง คือ 7,357.5 N กดลงบนโครงสร้างตามแนวแกนและยึดปลายโครงสร้างอีกด้านหนึ่งไว้คงที่ โดยมี

ระยะยุบของโครงสร้างทั้ง 3 รูปแบบอยู่ที่ระหว่าง 80.3 ถึง 87.3 mm และหาแนวโน้มการยุบตัวของโครงสร้างทั้ง 3 รูปแบบซึ่งมีสมบัติวัสดุของแบบจำลองดังตารางที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Solid Work ผ่านระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(FEM) แบบสถิตจากสมการ

$$\Sigma F_s = kx$$

โดย

$F_s$  คือ แรงในสภาวะสถิต(N)

$k$  คือ ค่าความยืดหยุ่นวัสดุ (N/m)

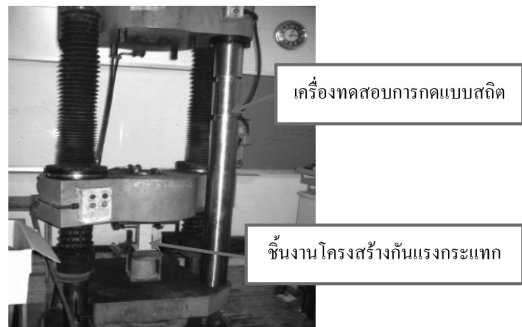
$x$  คือ ระยะการเสียรูปวัสดุ (m)

**ตารางที่ 1.** สมบัติวัสดุของแบบจำลอง

แบบจำลอง	Material	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elastic Modulus (N/mm <sup>2</sup> )
แบบกล่องสี่เหลี่ยม	AISI 1010 Steel, hot rolled bar	325	180	2x10 <sup>5</sup>
แบบกล่องลูกฟูก				
แบบกล่องรังผึ้ง				

**2.4 การทดสอบแบบสถิต (Static tests)**

เพื่อเปรียบเทียบและหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากโครงสร้างกันแรงกระแทกที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน เครื่องกดวัสดุถูกนำมาใช้ในการทดสอบแบบสถิตซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการวิจัยดังรูปที่ 3 และกำหนดสภาวะการทดสอบซึ่งใช้ความเร็วในการกดโครงสร้างกันแรงกระแทกน้อยมาก ดังตารางที่ 2 จึงสามารถใช้หลักการวิเคราะห์แบบสถิตได้



**รูปที่ 3.** การทดสอบแบบสถิต (Static tests)

**ตารางที่ 2.** สภาวะการทดสอบแบบสถิต(Static test condition)

โครงสร้างกันแรงกระแทก	ความเร็วในการทดสอบ V (mm/min)	ความยาวของโครงสร้าง $l_0$ (mm)	ระยะยุบ $l$ (mm)
แบบกล่องสี่เหลี่ยม	10	200	100
แบบกล่องลูกฟูก			
แบบกล่องรังผึ้ง			

เพื่อความสอดคล้องในการวิเคราะห์ผล จึงนำโครงสร้างกันแรงกระแทกที่สร้างขึ้นจากการออกแบบและมีสมบัติวัสดุแบบเดียวกับการทดสอบด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขนอกจากนี้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดสามารถคำนวณได้จากชุดคอมพิวเตอร์ที่ทำการควบคุมเครื่องกดวัสดุซึ่งสะท้อนให้เห็นพลังงานภายในของวัสดุที่สามารถรับได้ต่อปริมาตรที่สามารถคำนวณได้จากการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูแบบหลายช่วง (9) โดยการประมาณใช้ช่วงจำนวนที่มีค่าระยะห่างทุกๆ วินาทีเท่ากันในการคำนวณดังสมการ

$$U_V = \int_0^n \sigma_x d\varepsilon_x$$

โดย

$U_V$  คือ พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร (J/m<sup>3</sup>)

$\sigma_x$  คือ ความเค้นวัสดุ (N/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon_x$  คือ ความเครียดวัสดุ (m/m)

อย่างไรก็ตาม การทดสอบแบบสถิตจะสะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มความสามารถการดูดซับพลังงานของโครงสร้างกันแรงกระแทกเท่านั้น แต่ไม่สามารถชี้บ่งถึงค่าพลังงานที่สามารถดูดซับได้ เนื่องจากการทดสอบดังกล่าวมีพลังงานที่เกิดขึ้นจากแรงในสภาวะสถิตเท่านั้น

### 2.5 การทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า

#### (Dynamic tests)

การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นารทดสอบเพื่อหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการกระแทกของโครงสร้างกันแรงกระแทกที่สามารถจำลองสภาวะการกระแทกได้ใกล้เคียงการชนจริง เนื่องจากการทดสอบดังกล่าวมีพลังงานที่เกิดขึ้นจากแรงในสภาวะพลวัตดังสมการ

$$\sum F_d = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx$$

โดย

$F_d$  คือ แรงในสภาวะพลวัต(N)

$m$  คือ มวลวัสดุ (kg)

$c$  คือ ค่าความหน่วงวัสดุ (Ns/m)

$\dot{x}$  คือ อัตราเร่ง, อัตราหน่วงวัสดุ (m/s<sup>2</sup>)

$\dot{x}$  คือ ความเร็ววัสดุ (m/s)

การทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้าซึ่งอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ โดยใช้มุมยกลูกตุ้มเป็นตัวกำหนดพลังงานการกระแทก ซึ่งอาศัยมาตรฐาน US NCAP(10) เป็นตัวกำหนดความเร็วและขนาดมวลของรถยนต์ที่จะทำการทดสอบ จากนั้นนำค่าทั้งสองมาคำนวณเพื่อกำหนดขนาดพลังงานที่สัดส่วนเดียวกันเป็นค่ามุมยกลูกตุ้มในการทดสอบ อีกทั้งอาศัยมุมสะท้อนกลับของชุดลูกตุ้มเป็นตัวชี้วัดความสามารถการดูดซับพลังงาน ซึ่งการกำหนดพลังงานการกระแทกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_p = mg(r-r \cos\alpha)$$

โดย

$E_p$  คือ พลังงานที่ใช้กระแทก (J)

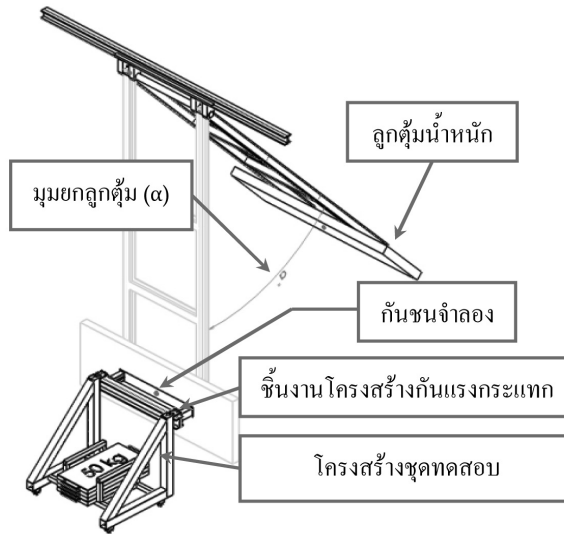
$r$  คือ ความยาวรัศมีลูกตุ้ม (m)

$m$  คือ มวลของลูกตุ้ม (kg)

$g$  คือ ความเร่งจากแรงดึงดูดโลก (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$\alpha$  คือ มุมยกลูกตุ้มเริ่มต้นก่อนกระแทก (°)

ชุดทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกด้านหน้าถูกออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกับเครื่องทดสอบการกระแทกด้านหน้าโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ECE R29(11) ซึ่งโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบเดียวจากการทดสอบแบบสถิตจะถูกนำมาทำการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า เพื่อหาความสามารถการดูดซับพลังงานจากชุดทดสอบโดยทำการบันทึกมุมการยกและสะท้อนกลับของลูกตุ้ม อีกทั้งทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องบันทึกภาพความเร็วสูงที่ 250 fpsและทำการวัดระยะยุบของโครงสร้างกันแรงกระแทกภายหลังการทดสอบ ดังรูปที่ 4 ถึง 8 โดยมีรายละเอียดสภาวะการทดสอบดังตารางที่ 3



รูปที่ 4. แบบจำลองการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า



รูปที่ 5. การทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า (Dynamic tests)



รูปที่ 6. การติดตั้งอุปกรณ์วัดมุมแบบดิจิตอลและบันทึกข้อมูล



รูปที่ 7. การติดตั้งชุดตรวจสอบระยะและมุมด้วยเลเซอร์



รูปที่ 8. การบันทึกภาพเคลื่อนไหวด้วยกล้องความเร็วสูง@250 fps

ตารางที่ 3. สภาวะการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า(Dynamic test condition)

โครงสร้างกันแรงกระแทก	น้ำหนัก ของลูกตุ้ม $m$ (kg)	มุมยกลูกตุ้ม $\alpha$ ( $^{\circ}$ )	พลังงานที่ใช้ ทำการทดสอบ $E_p$ (J)
แบบกล่องสี่เหลี่ยม	1,500	38	11,800
แบบกล่องลูกฟูก			
แบบกล่องรังผึ้ง			

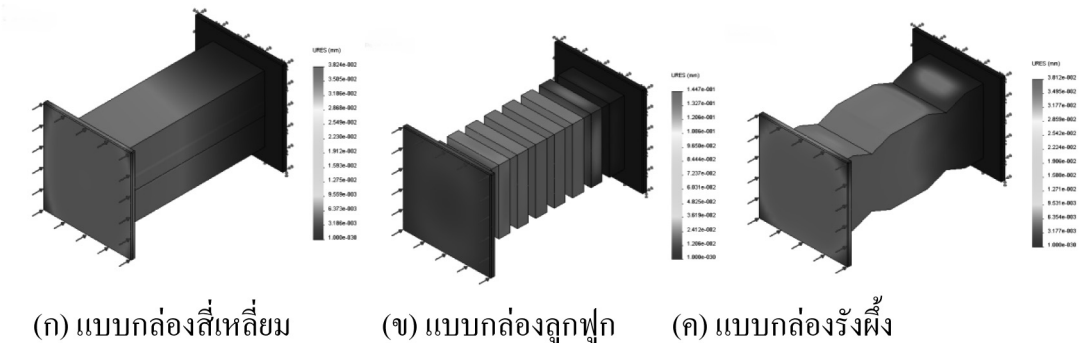


### 3. ผลการวิจัยและอภิปราย

#### 3.1 ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM results)

การเปรียบเทียบผลจากการจำลองโครงสร้างแต่ละรูปแบบถูกแสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งสะท้อนให้เห็นพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง จากผลของการจำลองแบบจำลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบกล่องสี่เหลี่ยมมีแนวโน้มที่จะยุบตัวได้ยากกว่าแบบกล่องลูกฟูกและแบบกล่องรังผึ้ง เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างสม่ำเสมอตลอดทั้งโครงสร้างทำให้เกิดความเค้นอัดมากในช่วงแรกเมื่อได้รับแรงแบบสถิต และแบบ

กล่องลูกฟูกนั้นมีแนวโน้มที่จะยุบตัวได้มากกว่าแบบกล่องสี่เหลี่ยมและแบบกล่องรังผึ้ง เนื่องจากมีพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างสลับกันเป็นลูกฟูกจึงเกิดความเค้นกับพื้นที่ช่วงที่มีลักษณะเป็นลูกฟูกมากกว่า ทำให้พื้นที่ส่วนที่เป็นร่องของลูกฟูกยุบตัวก่อนพื้นที่หน้าตัดที่โตกว่า ส่วนแบบกล่องรังผึ้งมีรูปทรงของโครงสร้างเป็นรังผึ้งหน้าตัดขวางอยู่ด้านในจึงมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าโครงสร้างแบบกล่องสี่เหลี่ยมและแบบกล่องลูกฟูกทำให้แรงกระจายไปยังโครงสร้างได้หลายทิศทางส่งผลให้เกิดความเค้นไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นโครงสร้างจะยุบตัวมากในช่วงที่มีความเค้นน้อย ซึ่งผลจากการจำลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4



รูปที่ 9. ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

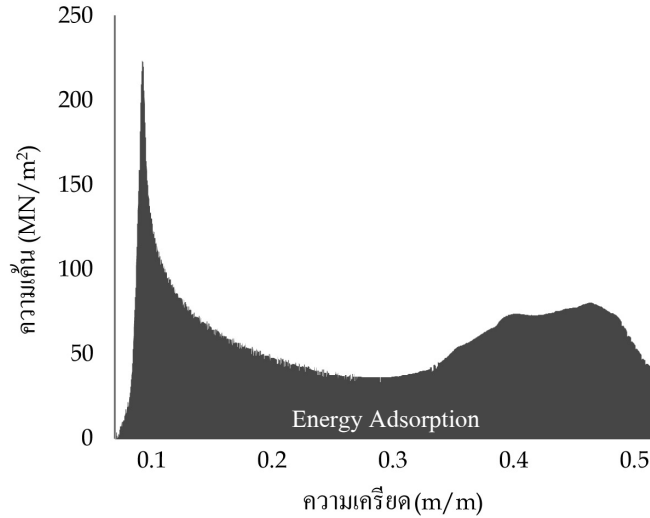
#### 3.2 ผลการทดสอบแบบสถิต (Static test results)

เมื่อทำการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระทำกั้นแบบด้วยเครื่องทดสอบแรงกด โดยใช้ค่าพื้นฐานในการทดสอบแบบเดียวกันกับการทดสอบด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขกับโครงสร้างที่มีลักษณะที่ต่างกั้นทางภาพทั้ง 3 ชนิด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ซึ่งสะท้อนให้เห็นพลังงานภายในของวัสดุที่สามารถรับได้ต่อปริมาตรดังนี้

##### 3.2.1 ผลการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระทำแบบกล่องสี่เหลี่ยม

ผลจากการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระทำแบบกล่องสี่เหลี่ยมจากการทดสอบแบบสถิตถูกแสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งถูกแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์

ระหว่างความเค้นและความเครียดของโครงสร้าง โดยมีความเค้นอัดสูงสุดที่ระดับ 223,969,048 N/m<sup>2</sup> ซึ่งอยู่ในช่วงแรกของการกดโครงสร้าง เนื่องจากรูปทรงของโครงสร้างมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดความยาวจึงเกิดความเค้นอัดสะสมเมื่อเริ่มกดโครงสร้าง และความเค้นในโครงสร้างลดลงตามลำดับหลังจากผ่านจุดความเค้นสูงสุด เป็นผลเนื่องมาจากความยาวของโครงสร้างน้อยลงกว่าความยาวเดิมทำให้ความเครียดภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้น รวมถึงพลังงานที่เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุทำให้วัสดุอ่อนตัวลง และความเค้นภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงหลังเป็นผลเนื่องจากวัสดุมีการอัดตัวซ้อนกันทำให้โครงสร้างมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าเดิม จึงต้องใช้แรงกดโครงสร้างเพิ่มขึ้น

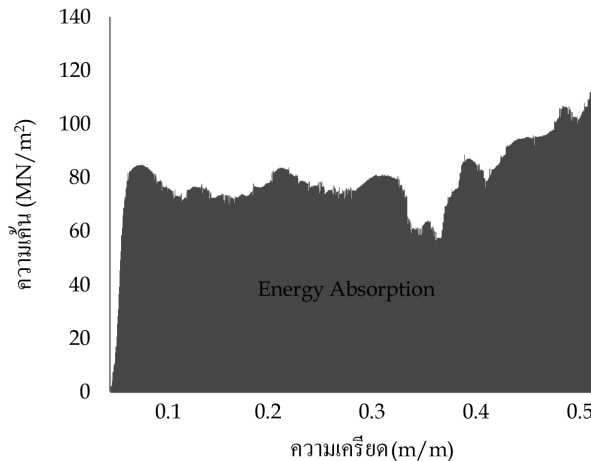


รูปที่ 10. พลังงานภายในต่อปริมาตรของโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องสี่เหลี่ยม

**3.2.2 ผลการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องลูกฟูก**

ผลจากการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องลูกฟูกจากการทดสอบแบบสถิต ถูกแสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งถูกแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของโครงสร้าง โดยมีความเค้นอัดสูงสุดที่ระดับ 118,602,381 N/m<sup>2</sup> ซึ่งระดับความเค้นภายในโครงสร้างมีลักษณะขึ้นลงสม่ำเสมอสาเหตุเนื่องจากโครงสร้างมีพื้นที่หน้าตัด 2 ขนาดสลับกับ

เป็นลูกฟูก ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุแต่ละช่วงความยาวไม่เท่ากัน และความยาวของโครงสร้างน้อยลงกว่าความยาวเดิมทำให้ความเครียดภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้น รวมถึงพลังงานที่เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุทำให้วัสดุอ่อนตัวลงและความเค้นภายในโครงสร้างเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงหลังเป็นผลเนื่องจากวัสดุมีการอัดตัวซ้อนกันทำให้โครงสร้างมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าเดิม จึงต้องใช้แรงกดโครงสร้างเพิ่มขึ้น

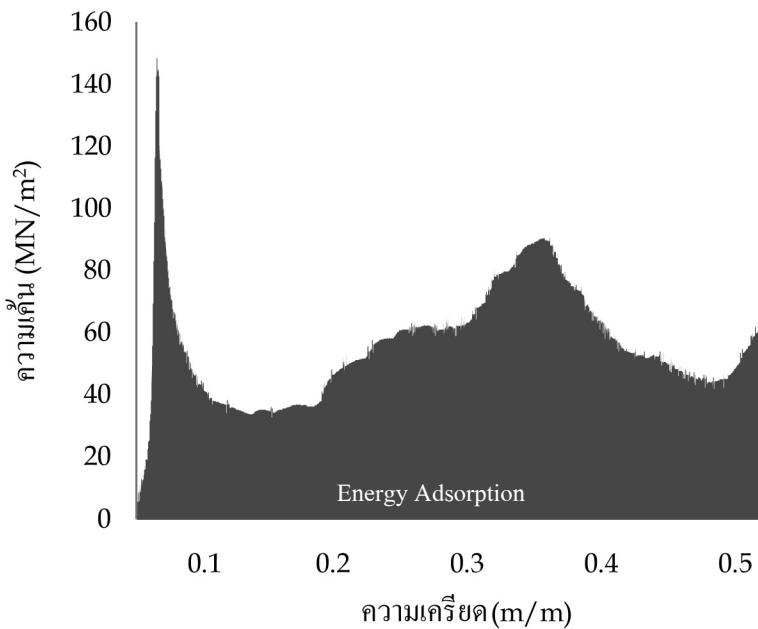


รูปที่ 11. พลังงานภายในต่อปริมาตรของโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องลูกฟูก

**3.2.3 ผลการทดสอบโครงสร้างกันแรง  
กระแทกแบบกล่องรังผึ้ง**

ผลจากการทดสอบโครงสร้างกันแรง  
กระแทกแบบกล่องรังผึ้งจากการทดสอบแบบสถิตถูก  
แสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งถูกแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์  
ระหว่างความเค้นและความเครียด โดยมีความเค้นอัด  
สูงสุดที่ระดับ 148,707,143 N/m<sup>2</sup> ซึ่งอยู่ในช่วงแรกของ  
การกดโครงสร้าง เนื่องจากรูปทรงของโครงสร้างมี  
พื้นที่หน้าตัดมากในช่วงแรกจึงต้องใช้แรงกดโครงสร้าง  
มากกว่าส่วนอื่นเพื่อให้โครงสร้างเสียรูป และระดับ

ความเค้นลดลงตามลำดับหลังจากผ่านจุดความเค้นสูงสุด  
เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างมีขนาดพื้นที่หน้าตัดลดลง  
ทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุแต่ละช่วงความยาวไม่เท่า  
กัน และความยาวของโครงสร้างน้อยลงกว่าความยาว  
เดิมทำให้ความเครียดภายในโครงสร้างมากขึ้น รวมถึง  
พลังงานที่เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุ  
ทำให้วัสดุอ่อนตัวลงและความเค้นภายในโครงสร้างเพิ่ม  
ขึ้นอีกครั้งในช่วงหลังเป็นผลเนื่องจากวัสดุมีการอัดตัว  
ซ้อนกันทำให้โครงสร้างมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่าเดิม จึงต้อง  
ใช้แรงในการกดโครงสร้างเพิ่มขึ้น



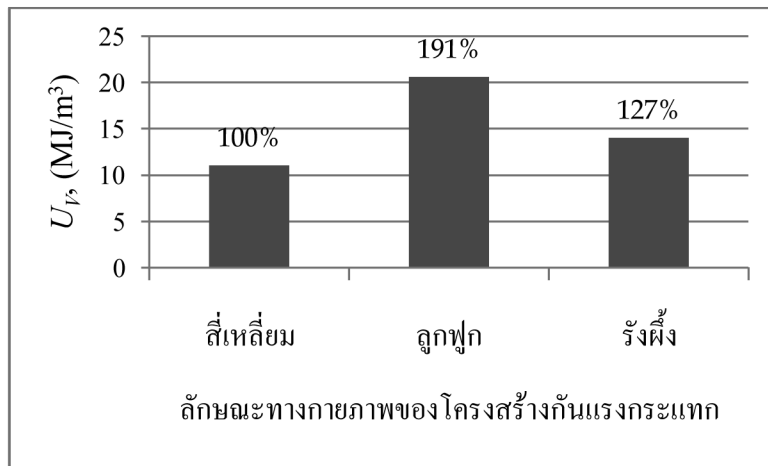
**รูปที่ 12.** พลังงานภายในต่อปริมาตรของโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องรังผึ้ง

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงความ  
สามารถการดูดซับพลังงานของโครงสร้างกันแรง  
กระแทกที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน ดังตาราง  
ที่ 5 ด้วยการทดสอบวัสดุที่มีสมบัติวัสดุเดียวกัน ซึ่ง  
สามารถเปรียบเทียบระดับความแตกต่างของพลังงาน

ที่โครงสร้างกันแรงกระแทกแต่ละรูปแบบสามารถดูด  
ซับได้ ดังนั้นความแตกต่างทางกายภาพของโครงสร้าง  
กันแรงกระแทกจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการดูด  
ซับพลังงานนอกจากนี้สามารถเปรียบเทียบเป็นความ  
สามารถการดูดซับพลังงานต่อหน่วยปริมาตรได้ดังรูปที่ 13

ตารางที่ 5. การดูดซับพลังงานจากการทดสอบแบบสถิต(Static test results)

โครงสร้างกันแรง กระแทก	มวลของโครงสร้างกัน แรงกระแทก $m$ (kg)	ความเค้นอัดสูงสุด $\sigma$ (N/m <sup>2</sup> )	พลังงานที่ดูดซับได้ จากการทดสอบ $E_{abs}$ (J)
แบบกล่องสี่เหลี่ยม	2.03	223,969,048	863
แบบกล่องลูกฟูก	2.10	118,602,381	1,600
แบบกล่องรังผึ้ง	2.25	148,707,143	1,092



รูปที่ 13. การดูดซับพลังงานต่อหน่วยปริมาตรจากการทดสอบแบบสถิต

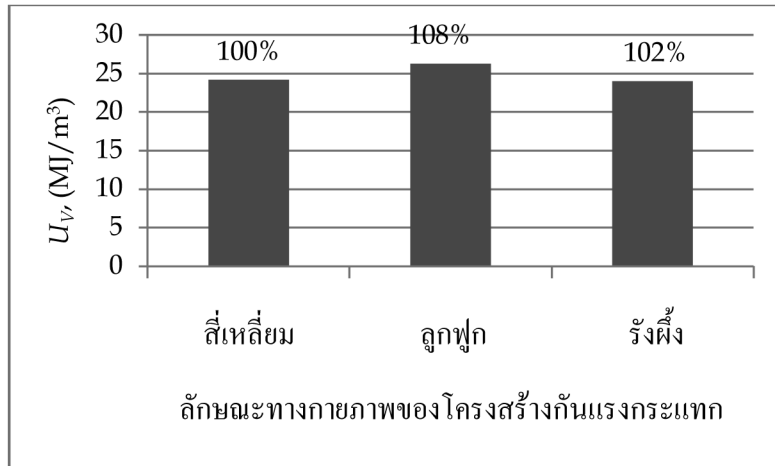
3.3 ผลการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า ของโครงสร้างแต่ละแบบ ซึ่งถูกคำนวณจากมุมสะท้อนกลับของลูกตุ้มหลังจากกระแทกกับโครงสร้างกันแรงกระแทก ซึ่งจากการตรวจวัดระยะยุบของโครงสร้างทั้งพลังงานที่โครงสร้างกันแรงกระแทกที่มีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกันแสดงให้เห็นค่าการดูดซับพลังงาน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6. การดูดซับพลังงานจากการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า (Dynamic test results)

โครงสร้างกันแรง กระแทก	ความยาว โครงสร้าง $l_0$ (mm)	ระยะยุบ $l$ (mm)	ร้อยละ การยุบ ตัว (%)	มุม สะท้อน กลับ $\beta$ (°)	พลังงาน ที่ใช้ ทดสอบ $E_p$ (J)	พลังงานที่ ดูดซับได้ $E_{abs}$ (J)	ร้อยละ การดูดซับ พลังงาน(%)
แบบกล่องสี่เหลี่ยม	200	60	30	10.5	11,800	6,318	53.5
แบบกล่องลูกฟูก	200	88	44	9	11,800	7,011	59.4
แบบกล่องรังผึ้ง	200	70	35	9.7	11,800	6,683	56.6

นอกจากนี้ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นระดับความสามารถของการดูดซับพลังงานที่โครงสร้างกันแรงกระแทกสามารถดูดซับได้แตกต่างกันโดยสามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างกันแรงกระแทกที่ส่งผลกระทบต่อการดูด

ซับพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบแบบสถิต และผลจากการทดสอบด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลขอีกทั้งสามารถเปรียบเทียบเป็นความสามารถการดูดซับพลังงานต่อหน่วยปริมาตรได้ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14. การดูดซับพลังงานต่อหน่วยปริมาตรจากการทดสอบแบบการกระแทกด้านหน้า

#### 4. สรุป

การศึกษาแนวทางการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบในภาคอุตสาหกรรม และศึกษาปัจจัยในการดูดซับพลังงานจากการกระแทก อาศัยมาตรฐานสากล US NCAP และ ECE R 29 ซึ่งใช้สำหรับการทดสอบแบบเต็มรูปแบบมาเป็นแนวทาง โดยอ้างอิงความเร็วในการชนและมวลของรถยนต์แต่ละประเภทจากมาตรฐาน US NCAP เพื่อกำหนดขนาดพลังงานการกระแทก และประยุกต์รูปแบบการทดสอบตาม มาตรฐาน ECE R 29 ในการคำนวณหามุมที่ใช้ในการยกลูกตุ้มทดสอบ เพื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างกันแรงกระแทก และใช้ค่าการดูดซับพลังงานเป็นเกณฑ์ชี้วัด อีกทั้งสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างเมื่อได้รับพลังงานในรูปแบบพลวัตและสถิต ซึ่งเป็นแนวทางการทดสอบที่สามารถลดต้นทุนจากการทดสอบแบบเต็มรูปแบบ รวมถึงลดข้อจำกัดด้านสถานที่และเครื่องมือทดสอบได้เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ ผลจากการทดสอบโครงสร้างกันแรงกระแทกต้นแบบโดยการจำลองเชิงตัวเลขสะท้อนให้เห็นถึงการยุบตัวของโครงสร้างแบบกล่องลูกฟูก 43.65%แบบกล่องริงฟิ่ง 42.25%และแบบกล่องตีเหล็ก 40.03%ตามลำดับ และสอดคล้องกับผลการทดสอบแบบสถิตและพลวัต ซึ่งได้ผลไปในทิศทางเดียวกันที่แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างกันแรงกระแทกแบบกล่องลูกฟูกสามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าแบบกล่องริงฟิ่ง 2.8%และแบบกล่องตีเหล็ก 5.9% เนื่องจากโครงสร้างแบบกล่องลูกฟูกสามารถรับความเค้นและความเครียดได้ต่อเนื่องมากกว่ารูปทรงอื่นๆ จึงส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานได้ดีกว่าทั้งในการทดสอบแบบพลวัตและสถิต อีกทั้งรูปแบบของโครงสร้างที่สามารถผลิตขึ้นเพื่อใช้งานได้จริง ซึ่งเหมาะสมจะเป็นรูปแบบโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์

## 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย อีกทั้งสำนักวิศวกรรมยานยนต์กรมการขนส่งทางบกที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Yoshiaki N, Kenji T, Michitaka Y, Katsutoshi T, Mitsutoshi K. Development of crash-box for passenger car with high capability for energy absorption. Proceedings of the 7th International Conference on Computational Plasticity; 2005 Sep 5 -8; Barcelona, Spain: Springer; 2005.
- (2) Ghasemnejad H, Hadavinia H, Marchand D, Aboutorabi A. Energy absorption of thin-walled corrugated crash box in axial crushing: Structural Durability & Health Monitoring. 2008;4(1): 29-46.
- (3) Santosa S, Wierzbicki T. Crash behavior of box columns filled with aluminum honeycomb or foam: Computers & Structures. 1998;68(4): 343-67.
- (4) Hakim S. Energy absorption characteristics and crashing parameters of filament glass fiber /epoxy composite tubes: European Journal of scientific research. 2010;39(1): 111-21.
- (5) Heung-Soo K. New extruded multi-cell aluminum profile for maximum crash energy absorption and weight efficiency: Thin-Walled Structures. 2002;40(4): 311-27.
- (6) Toksoy A K, Güden M. Partial Al foam filling of commercial 1050H14 Al crash boxes: The effect of box column thickness and foam relative density on energy absorption: Thin-Walled Structures. 2010;48(7): 482-94.
- (7) Lorenzo P, Massimiliano A, Giovanni B. Comparison of the energy absorption capability of crash boxes assembled by spot-weld and continuous joining techniques: International Journal of Impact Engineering. 2009;36(3): 498-511.
- (8) Rusinek A, Zaera R, Forquin P, Klepaczko J R. Effect of plastic deformation and boundary conditions combined with elastic wave propagation on the collapse site of a crash box: Thin-Walled Structures. 2008;46(10): 1143-63.
- (9) Dechaumphai P. Numerical Methods in Engineering. 4th ed. Chulalongkorn University Printing House: Bangkok; 2003. Thai.
- (10) Federal Motor Vehicle Safety Standard. US NCAP FMVSS 208-Occupant Crash Protection: OFFICE OF VEHICLE SAFETY COMPLIANCE. WASHINGTON, DC.
- (11) The Economic Commission for Europe. ECE-R 29 The uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants of the cab of a commercial vehicle: United Nations. 1997.