



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

พฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกดในแนวแกน

Crashworthiness behavior of fiberglass tube subjected to axial load

วิศิษฐ์ จันทรีชื่น ขวาลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์* สมญา ภูณะยา และ รัชดา ไสภาคะยัง

Visit Junchuan, Chawalit Thinvongpituk*, Somya Poonaya and Ratchada Sopakayang

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, Thailand, 34190.

Received June 2013

Accepted January 2014

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะของท่อไฟเบอร์กลาส ภายใต้แรงกระทำในแนวแกน ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 3 ชิ้นงานคือ ชิ้นงาน A มีมุมไขว้ [(0/90)/(0/90)/(0/90)] ชิ้นงาน B มีมุมไขว้ [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] และชิ้นงาน C มีมุมไขว้ [(45/-45)/(0/90)/(45/-45)] ตามลำดับ ขึ้นรูปจาก E-glass/polyester ขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50 mm. ความหนาคือ 2 mm. และความยาวคือ 100 mm. ในการทดสอบชิ้นงานนั้นได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง ESH Universal Testing Machine สำหรับการทดสอบแบบกึ่งคงที่ กดที่ความเร็ว 10 mm/min และใช้เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ในการทดสอบแบบกระแทกด้วยความเร็วกระแทก 7 m/s ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงาน A มีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะมากที่สุด ซึ่งเป็นผลจากการเรียงเส้นใยในแนวตั้ง นอกจากนี้ในบทความยังได้แสดงลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : วัสดุประกอบ การยุบตัว พลังงานดูดซับ พลังงานดูดซับจำเพาะ

Abstract

This research is purposed to study crashworthiness behavior of fiberglass tube subjected axial compression. The specimens are made of fiberglass and hand lay-up in different ply angles which are; specimen A ply angle is [(0/90)/(0/90)/(0/90)] specimen B ply angle is [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] and specimen C ply angle is [(45/-45)/(0/90)/(45/-45)]. The tube has 50 mm outside diameter, 2 mm wall thickness and 100 mm length. Quasi-static test is done by ESH Universal Testing Machine with 10 mm/min of crushing speed. Impact test is done by Vertical Impact Testing Machine with the impact speed of 7 m/s. The result showed that specimen A gives highest specific energy absorption due to the vertical fiber orientation. In addition, the collapse mode and response of specimens to impact are also discussed in the paper.

Keywords : Composite, Collapse, Energy absorption, Specific energy absorption

* Corresponding author. Tel.: 08-1593-5002

E-mail address: chawalit@rocketmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาวัสดุได้เป็นไปอย่างต่อเนื่องซึ่งวัสดุประกอบเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายทั้งในอุตสาหกรรมการบิน อวกาศ และรถยนต์ เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุประกอบมีค่าอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง (High strength weight ratio) สามารถปรับความแข็งแรงตามทิศทางที่รับภาระได้ จึงทำให้วัสดุประกอบถูกนำมาประยุกต์เป็นโครงสร้างร่วมส่วนหน้าของรถยนต์ ในการป้องกันความเสียหายของโครงสร้างห้องผู้โดยสารภายใต้การชน ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่สร้างอันตรายแก่ผู้โดยสารรถยนต์จากภาระกระแทกที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งพลังงานที่เกิดจากการชนจะทำให้โครงสร้างเกิดการยุบตัว และพลังงานจะถูกถ่ายเทมายังห้องผู้โดยสารตามโครงสร้างที่ยุบตัวเข้ามากกระแทก สร้างอันตรายต่อผู้โดยสารมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานที่เหลืออยู่ จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุประกอบโดย S. Solaimurugan และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของท่อทรงกระบอกพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยใช้จำนวนชั้นของไฟเบอร์คือ 4 และ 6 ชั้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงชั้นของไฟเบอร์ที่แตกต่างกันไป ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบทำจาก Woven roving (WRM) ความหนาแน่น 610 g/m^2 และ Unidirectional (UD) ความหนาแน่น 750 g/m^2 ส่วนเรซินใช้เรซินชนิด ไอโซพาทาลิครีซิน เป็นส่วนประกอบ ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการ hand lay-up สลับชั้นกันระหว่าง $[\text{WRM}/(\text{UD})_n/\text{WRM}]$ ตามที่กำหนดไว้คือ 4 และ 6 ชั้น ขนาดอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางภายในกับความหนา (D/t) ประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ที่ปลายท่อกลึงขอบทำมุม 30 องศา ทดสอบภายใต้โหลดแบบกึ่งคงที่ ความเร็วคือ 2 mm/min ผลการศึกษาพบว่าจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มีผลทำให้แนวโน้มการดูดซับพลังงานของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีค่าสูงขึ้นนอกจากนี้ได้มีการศึกษาทดลองพฤติกรรมความเสียหายของโครงสร้างรถยนต์ภายใต้แรงกระทำแบบคงที่และไม่คงที่ โครงสร้างหน้าตัด รูปทรงนาฬิกาทราย รูปทรงกระบอก รูปทรงกรวย และรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยขึ้นรูปจาก Fiber/vinylester โดยได้ศึกษารูปแบบการเสียหายจากการสังเกต และใช้เครื่องขยายสเกล เพื่อหาคุณลักษณะการดูดซับพลังงานเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับพลังงานระหว่าง

การทดลองกับทฤษฎี [2-5] M. M. Shokrieh และคณะ [6] พบว่าหน้าตัดทรงกระบอกสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าหน้าตัดสี่เหลี่ยม Jose Daniel D. Melo และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาในการดูดซับพลังงานของ glass/polyester พบว่าชิ้นงานทรงกระบอก ขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ มีค่าดูดซับพลังงานจำเพาะสูงขึ้น มากกว่าการขึ้นรูปไม่มีสุญญากาศถึงสองเท่า M. Golzar และคณะ [8] ศึกษาการสร้างต้นแบบชิ้นส่วนวัสดุประกอบเพื่อประกบกับด้านข้างโครงสร้างรถยนต์ โดยศึกษาการสร้างวัสดุประกอบเพื่อประกบโครงสร้างเพื่อใช้แทนที่เหล็ก บริเวณด้านข้างของโครงสร้างรถยนต์ แผ่นวัสดุประกอบได้มีการสร้างเรียงทับซ้อนกันของเส้นใยดังนี้ $[0/90]$ และ $[45/-45]$ เป็นมุมไขว้ของใยแก้ว การศึกษานี้ยังใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลองแผ่นเปลือก ผลจากแบบจำลองพบว่า แผ่นวัสดุประกอบเส้นใยแก้วเรียงทับซ้อนกันที่ $[0/90]$ สามารถดูดซับพลังงานดีกว่า $[45/-45]$ และเมื่อได้เปรียบเทียบกับน้ำหนักกับวัสดุเดิมพบว่าวัสดุประกอบมีน้ำหนักเบากว่าเดิมถึง 42% ในการรับแรงในแนวแกนเท่านั้น Young Nam Kim และคณะ [9] ได้ศึกษาคุณลักษณะการยุบตัวของท่อวัสดุประกอบได้พิจารณา ผลกระทบของโครงสร้างที่อัตราส่วนความหนาต่อเส้นผ่านศูนย์กลางการเสริมแรงด้วยเส้นใย และรูปแบบการเสียหายทางกลของวัสดุประกอบ

สำหรับการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์โดยมุ่งศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้วและความสามารถในการดูดซับพลังงาน ภายใต้แรงกระทำแบบกึ่งคงที่และกระแทกในแนวแกน สำหรับชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษานี้ ถูกขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) โดยมีลักษณะมุมไขว้ที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของเส้นใยแก้วต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะ และลักษณะการเสียหาย

2. ตัวแปรที่พิจารณา

ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน (Crashworthiness) มักศึกษาจากกราฟภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง ดังตัวอย่างกราฟในรูปที่ 1 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว เช่น ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึง ภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว ค่าพลังงานดูดซับ (Energy absorption, E_a) หมายถึง

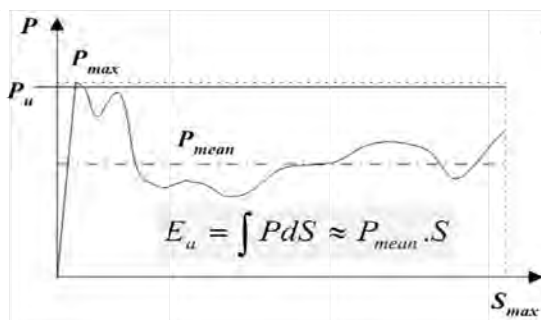
พลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอดช่วงเวลาการกระแทกหรือการยุบตัว และพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption, E_s) หมายถึง พลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ เมื่อเทียบกับขนาดน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง โดยในบทความนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาค่าพลังงานที่ดูดซับได้และพลังงานดูดซับจำเพาะของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้าง โดยการหาค่าพลังงานดูดซับนั้นสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง เมื่อเกิดการชนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังสมการที่ (1)

$$E_a = \int P ds = P_{mean} \times S \quad (1)$$

โดยที่ E_s คือค่าพลังงานดูดซับ P คือค่าภาระ S คือค่าระยะการยุบตัว และสามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการที่ (2)

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

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



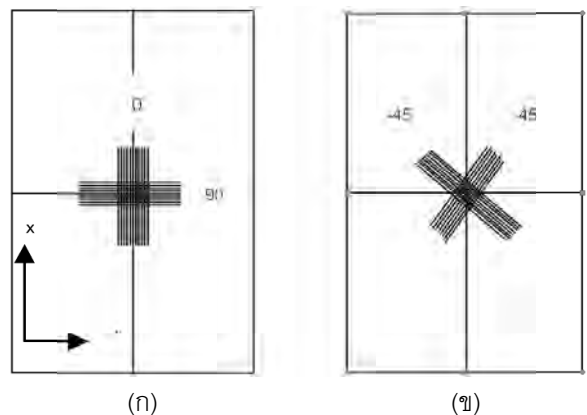
รูปที่ 1 กราฟแสดงภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง พร้อมทั้งแสดงตัวแปรต่างๆที่นิยมใช้ในการศึกษา

3. ขั้นตอนการศึกษา

3.1 ชิ้นงานทดสอบ

วัสดุประกอบประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนเสริมแรง ทำหน้าที่รับแรงหลักให้แก่โครงสร้าง ส่วนที่สองคือ เมทริกซ์ ทำหน้าที่ป้องกันการเสียหายของส่วนที่เสริมแรง และทำ

หน้าที่ส่งถ่ายแรงไปยังส่วนเสริมแรง ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูปจากเส้นใยแก้วพีนชนิดสองทิศทางกับ โพลีเอสเตอร์ชนิดไอโซพทาไลค เป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 3 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 2 แสดงถึงตัวอย่างลักษณะของมุมไขว้ (ก) มุมไขว้ที่ 0/90 องศา (ข) มุมไขว้ที่ 45/-45 องศา จากรูปที่ 3 แสดงชิ้นงานจริงสำหรับการใช้ในการทดสอบ โดยชิ้นงาน A มีมุมไขว้ [(0/90)/(0/90)/(0/90)] ชิ้นงาน B มีมุมไขว้ [(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)] และชิ้นงาน C มีมุมไขว้ [(45/-45)/(0/90)/(45/-45)] ตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงขนาดและมุมไขว้เส้นใยของชิ้นงานทดสอบ ท่อที่ขึ้นรูปเพื่อทดลองมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50 mm. ความหนา คือ 2 mm. และความยาวคือ 100 mm ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในทุกกรณี แล้วนำผลการทดสอบมาเฉลี่ย



รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของมุมไขว้ (ก) มุมไขว้ที่ 0/90 องศา (ข) มุมไขว้ที่ 45/-45 องศา

3.2 การขึ้นรูปชิ้นงาน

การขึ้นรูปชิ้นงานเป็นการขึ้นรูปแบบทำด้วยมือ เป็นกระบวนการขึ้นรูปที่ทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้ความดันและอุณหภูมิที่สูงมากนัก ใช้เครื่องมือและแม่พิมพ์ที่ติดตั้งขึ้นเองได้ สำหรับการขึ้นรูปสามารถทำได้โดยวางเส้นใยแก้วลงบนแม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นเหล็กทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 48 mm ความยาว คือ 500 mm จากนั้นทาทับด้วยเรซินพร้อมกับใช้ลูกกลิ้งรีดให้ซึมผ่านลงในช่องว่างของเส้นใย สำหรับการศึกษานี้ใช้เส้นใยแก้วทั้งหมด 6 ชั้น หลังจากนั้นกำหนดให้แม่พิมพ์หมุนด้วยความเร็วรอบที่ 34 rpm ใช้เวลาในการหมุนเท่ากับ 180 นาที เพื่อให้เรซินกระจายสม่ำเสมอทั่วแม่พิมพ์

ตารางที่ 1 ขนาดและมุมไขว้เส้นใยของชิ้นงาน

ชิ้นงาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	มุมไขว้เส้นใย (องศา)
A	50	100	2	[(0/90)/(0/90)/(0/90)]
B	50	100	2	[(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)]
C	50	100	2	[(45/-45)/(0/90)/(45/-45)]



(ก) ชิ้นงาน A

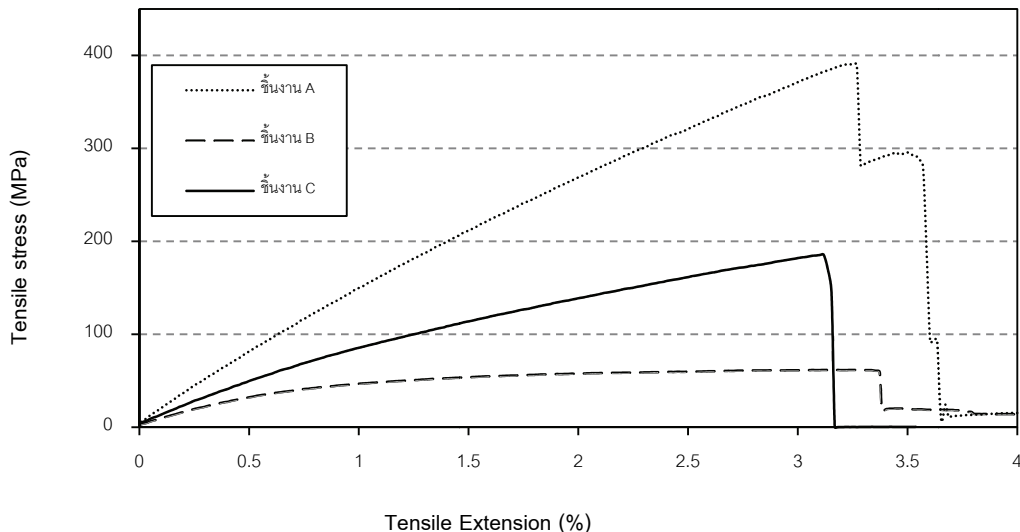


(ข) ชิ้นงาน B



(ค) ชิ้นงาน C

รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 ความเค้น – ระยะยืดตัว ของวัสดุทดสอบ

3.3 คุณสมบัติของวัสดุ

การทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน ใช้วิธีทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานอ้างอิง ASTM 3039 รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับระยะยืดตัว โดยทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน แล้วนำมาเฉลี่ย จากกราฟพบว่าความเค้นสูงสุดคือ 391.33 MPa และจากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานต่างๆ โดยชิ้นงาน A มีความเค้นสูงสุด คือ 391.33 MPa ค่ามอดูลัสคือ 15.53 GPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าชิ้นงาน 2 แบบที่เหลือ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานต่างๆ

ชิ้นงาน	ความเค้นสูงสุด (MPa)	มอดูลัสความ ยืดหยุ่น (GPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
A	391.33	15.53	3.67
B	61.85	7.30	3.44
C	185.42	9.49	3.20

4. วิธีการทดลอง

4.1 การทดสอบแบบแรงกระทำแบบกึ่งคงที่

การทดสอบนี้ได้ดำเนินการโดยใช้ เครื่องทดสอบการกดด้วยแรงกระทำแบบกึ่งคงที่ ซึ่งมีชื่อว่า เครื่อง ESH Testing Limited ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับระบบไฮดรอลิกส์ ในการควบคุม เครื่องมีความสามารถถึง 2,000 KN และระยะการกดมากที่สุดคือ 200 mm สามารถบันทึกข้อมูลได้ทุกๆ 0.04 mm ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ (Load) และระยะทางในการยุบตัว (Displacement) เครื่องสามารถบันทึกผลการทดสอบ และแสดงเป็นกราฟได้ทันที ลักษณะเครื่องทดสอบแสดงดังรูปที่ 5 ในการทดสอบส่วนนี้ชิ้นงานจะถูกกดในแนวแกนด้วยความเร็วคงที่ 10 mm/min และกดลงมาจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการยุบ 60 mm จากนั้นทำการบันทึกค่าภาระและระยะยุบตัวเพื่อไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบการกดแบบแรงกระทำกึ่งคงที่

4.2 การทดสอบการกระแทก

การทดสอบส่วนนี้ได้ดำเนินการโดยใช้ เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ภาระกระแทกของค้อนจากเครื่องทดสอบ ความสูงของเครื่องทดสอบคือ 3 m น้ำหนักของมวลที่ใส่ลงในค้อนสามารถใส่ได้ระหว่าง 20 - 60 kg ในส่วนด้านการประมวลผล จะมี โหลดเซลล์ที่มีความละเอียดในการบันทึกข้อมูลสูงสุดที่ 10,000 ค่าต่อวินาที เมื่อทดสอบโหลดเซลล์จะแปลงค่าของแรงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า นำผลที่ได้ ไปยัง Data logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นผลที่ได้จะเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแปลงค่า โดยผลที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างภาระกระแทก (Load) และเวลา (Time) รูปที่ 6 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบการกระแทก โดยในการทดสอบภายใต้ภาระกระแทก ใช้ความเร็วในการกระแทกคือ 7 m/s และน้ำหนักของหัวค้อนคือ 45 kg ความสูงของหัวค้อนที่ตกลงมากระแทกกับชิ้นงานคือ 2.47 m ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องความเร็วสูงและบันทึกแรงเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



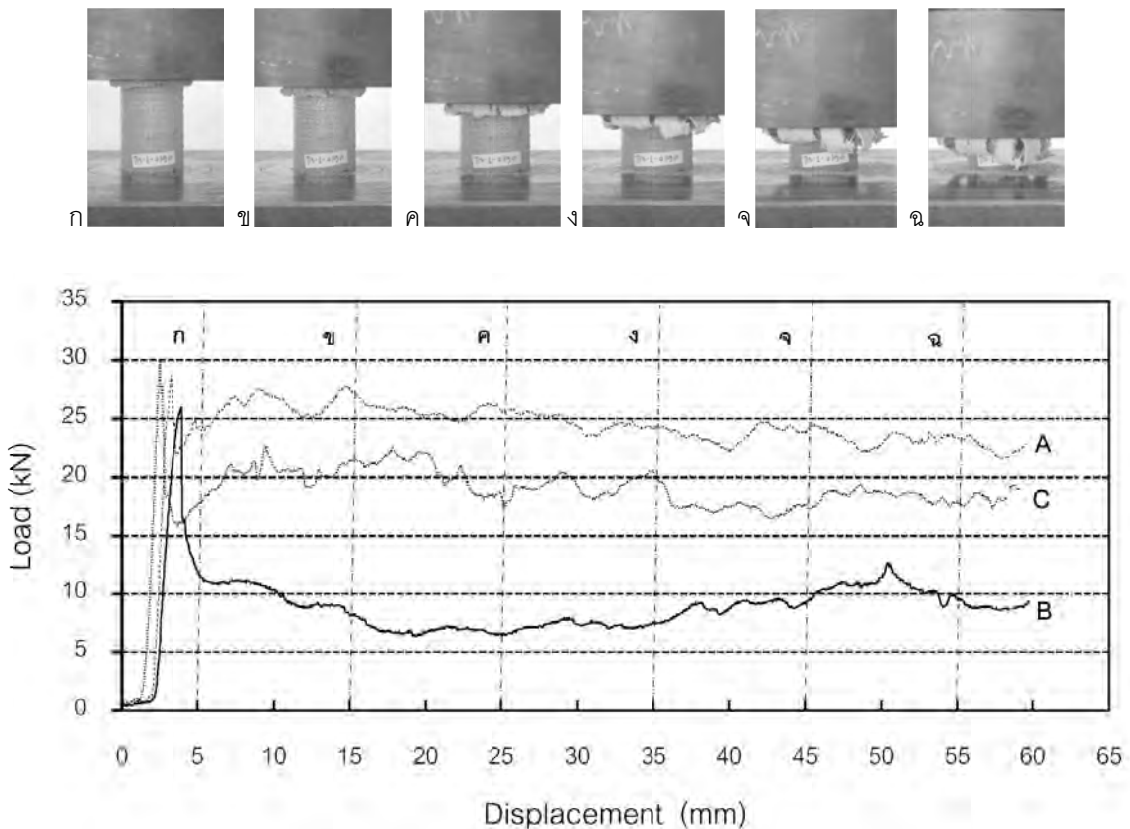
รูปที่ 6 เครื่องทดสอบการกระแทก

5. ผลการศึกษา

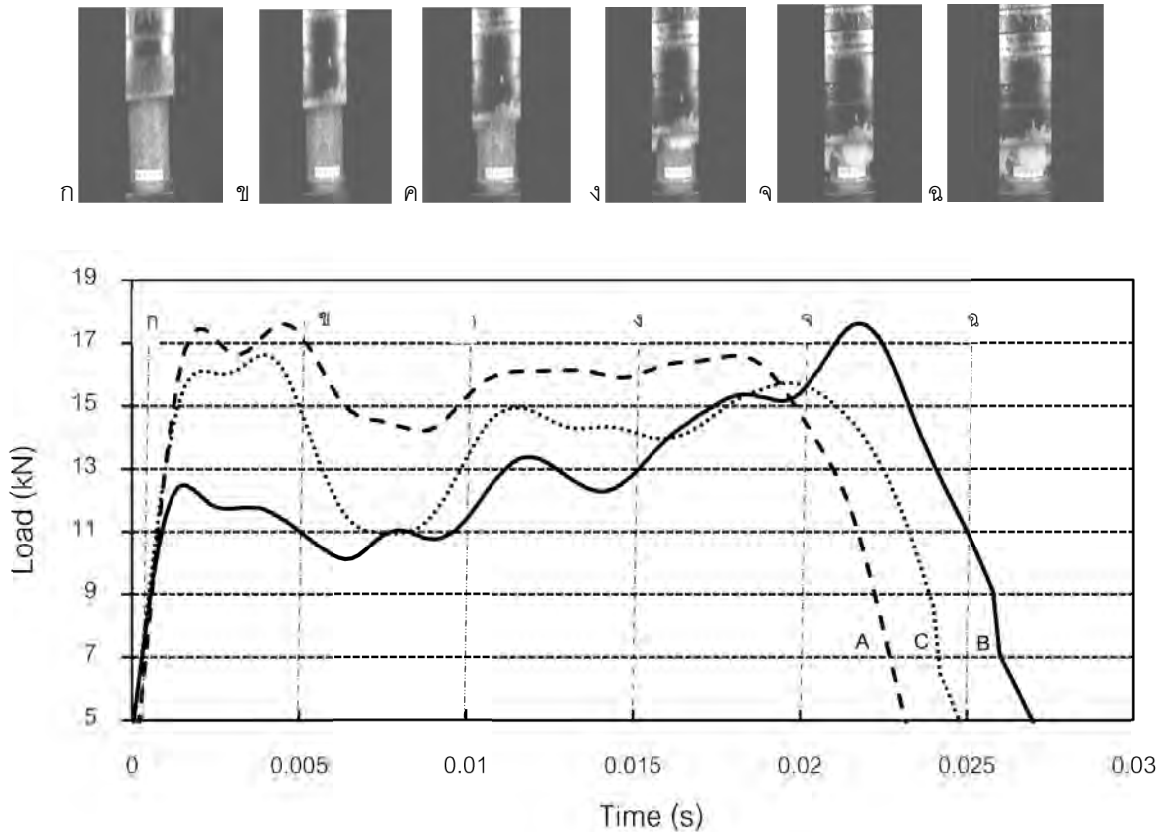
5.1 การตอบสนองต่อภาระกระทำ

โครงสร้างเมื่อถูกแรงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างจะตอบสนองด้วยการเสียรูป โดยยวบตัวในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งออกมา นอกจากนี้ในระหว่างการเสียรูปของโครงสร้าง โครงสร้างจะดูดซับแรงกระทำและปลดปล่อยแรงปฏิกิริยาออกมาตลอดเวลา โดยแรงปฏิกิริยาที่ปล่อยออกมานั้นสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์กับระยะยวบตัวได้ เรียกว่ากราฟของภาระและระยะยวบตัว (Load displacement curve) หรือกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะยวบตัว ซึ่งนับเป็นการตอบสนองของโครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่ง จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาและระยะยวบตัวของโครงสร้างที่ทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกนเมื่อเป็นแรงกระทำแบบกึ่งคงที่ โดยในแกนนอนแสดงระยะยวบตัวของ

โครงสร้างตลอดการทดสอบและแกนตั้งแสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการทดสอบ จากกราฟของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงาน A มีค่าภาระเฉลี่ยสูงกว่าชิ้นงานทั้ง 2 แบบที่เหลือ หลังจากนั้นกราฟทุกเส้นจะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันไปเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของกราฟที่ได้จากการทดสอบภายใต้การชน ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างก็คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟและมีผลดังแสดงในตารางที่ 4 จากรูปที่ 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับเวลาของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน พบว่าชิ้นงาน A มีค่าแรงปฏิกิริยาสูงกว่าชิ้นงาน 2 แบบ เช่นกัน สำหรับการทดลองด้วยความเร็วสูงนั้นไม่สามารถวัดค่าการยวบตัวของโครงสร้างในระหว่างการเสียหายได้ เนื่องจากการยวบตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมักนิยมเขียนกราฟของค่าภาระและเวลา มากกว่ากราฟของค่าภาระและระยะยวบตัวดังที่ใช้ในการศึกษาแบบแรงกระทำกึ่งคงที่

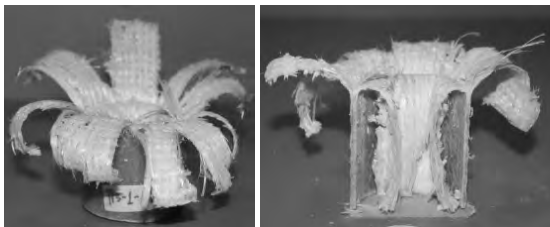


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์กันระหว่างภาระและระยะยวบตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่

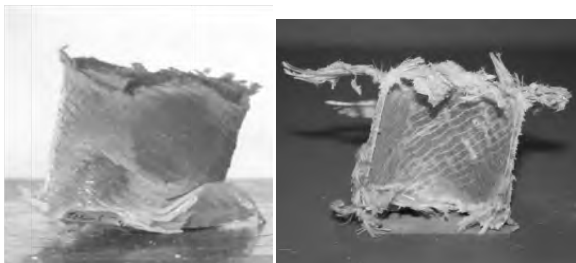


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์กันระหว่างภาระและเวลาภายใต้ภาระกระแทก

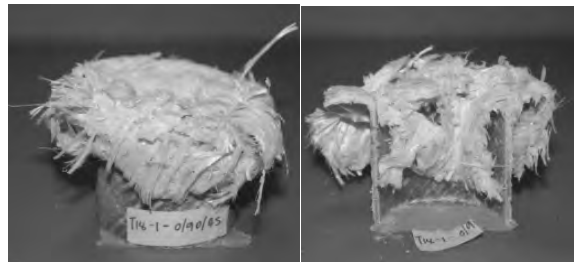
5.2 ลักษณะการเสียหาย



รูปที่ 9 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน A ภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่



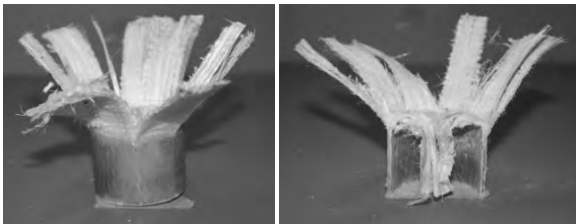
รูปที่ 10 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน B ภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่



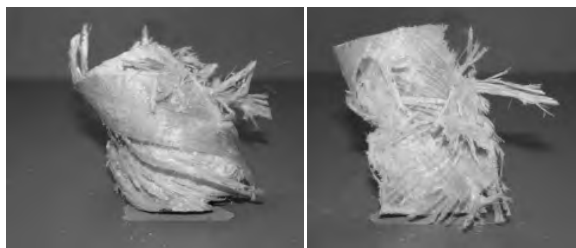
รูปที่ 11 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน C ภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่

จากรูปที่ 9 แสดงถึงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่ในแนวแกนของชิ้นงานที่มีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวตั้งคือ 0 องศา และแนวขวางคือ 90 องศา ของชิ้นงาน พบว่าในช่วงแรกเกิดการยุบตัวของชิ้นงานช้า หลังจากภาระกระทำต่อชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานเกิดการยุบตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกละเอียดเป็นชิ้นเล็กและบานออกเป็นพุ่มหลังจากนั้นชิ้นงานเริ่มแยกและบานออกเป็น

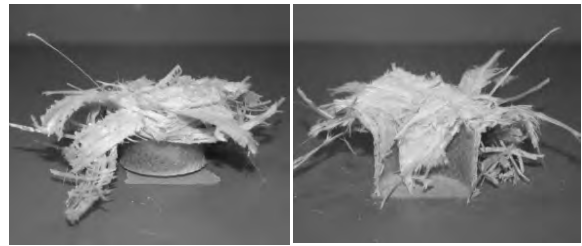
สองส่วนคือ ส่วนแรกเส้นใยแยกและยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกและบานออกด้านนอกของชิ้นงาน จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบตัว จากการสังเกตการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน พบว่ามีลักษณะบานออกเป็นแฉกซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยในแนวตั้ง ที่สามารถรับภาระในแนวแกนโดยตรง และอิทธิพลเส้นใยในแนวขวาง ทำหน้าที่ประคองให้เส้นใยในแนวตั้งให้บริการแนวแกน จากรูปที่ 10 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่มีลักษณะไขว้ โดยการจำกัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวเฉียงจากการทดลองพบว่าการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านล่างของชิ้นงาน มีลักษณะการเสียหายตามแนวเฉียงของเส้นใย หลังจากนั้นด้านบนของชิ้นงาน มีการเสียหายยุบตัวและซ้อนกันภายในชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยในแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักตลอดจนสิ้นสุดการยุบตัว จากรูปที่ 11 พบว่าการเริ่มต้นของการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกละเอียดเป็นฟุ้ง หลังจากนั้นเส้นใยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน ส่วนที่สองแยกออกด้านนอกชิ้นงาน จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบตัว จากการสังเกตการเสียหายของชิ้นงาน พบว่ามีลักษณะบานออกเป็นฟุ้ง ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยในแนวตั้งคือ 0 องศา ทำให้รับภาระในแนวแกนโดยตรง และอิทธิพลของเส้นใยในแนวเฉียง ทำหน้าที่ประคองเส้นใยในแนวตั้งและรับภาระในแนวแกน



รูปที่ 12 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน A ภายใต้ภาระกระทำ



รูปที่ 13 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน B ภายใต้ภาระกระทำ



รูปที่ 14 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน C ภายใต้ภาระกระทำ

จากรูปที่ 12 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน ภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนของชิ้นงาน ที่มีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้ง คือ 0 องศา แนวขวาง คือ 90 องศา ของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่าการเริ่มต้นเสียหายชิ้นงานเริ่มที่ปลายด้านบน มีลักษณะแตกเป็นชิ้นเล็กและแยกออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเส้นใยยุบเข้าด้านในชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกออกด้านนอกและกางออกเป็นแฉก จากการสังเกตพบว่าเกิดจากการแยกระหว่างชั้นของเส้นใยที่ปลายด้านบนของชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้ง และแนวขวาง ซึ่งเป็นตัวชั้นระหว่างเส้นใยแนวตั้ง เมื่อรับภาระในแนวแกนจึงมีลักษณะกางออกเป็นแฉก ประมาณ 7-8 แฉก จากรูปที่ 13 จากการทดลองพบว่าการเสียหายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะของเส้นใยแตกหักในแนวเฉียงของชิ้นงานในทิศทาง 45 องศา หลังจากนั้นเมื่อชิ้นงานรับภาระเพิ่มมากขึ้น เกิดการเสียหายในทิศทาง -45 องศา และยุบตัวลงในลักษณะซ้อนกัน ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยภายในชิ้นงานมีลักษณะแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เกิดความเสียหายตามแนวเฉียงของชิ้นงาน จากรูปที่ 14 พบว่าการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะบานและแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเส้นใยยุบเข้าด้านในชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกออกและกางออกนอกชิ้นงาน จากการสังเกตพบว่าเกิดจากการแยกชั้นเส้นใยที่ปลายด้านบนของชิ้นงานเส้นใยแนวเฉียงเกิดการพับเข้าไปในชิ้นงาน และเส้นใยแนวตั้งและแนวเฉียงมีลักษณะแตกกระจาย

5.3 ค่าความเปี่ยงเบนมาตรฐานของภาระเฉลี่ย

ตารางที่ 3 ผลคำนวณค่าความเปี่ยงเบนมาตรฐาน

ชิ้นงาน	ค่าภาระเฉลี่ย (kN)	ค่าภาระเฉลี่ยสูงสุด (kN)	ค่าภาระเฉลี่ยต่ำสุด (kN)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของภาระเฉลี่ย
ภาระกึ่งคงที่				
A	25.32	25.59	24.26	0.95
B	8.12	8.77	6.75	1.19
C	18.20	18.92	17.48	0.72
ภาระกระแทก				
A	14.40	14.76	14.28	0.32
B	11.72	12.03	11.46	0.29
C	12.65	12.88	12.76	0.30

ตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนชิ้นงานที่ทดสอบทั้งหมดสามชิ้นงาน แล้วนำมาเฉลี่ย ในทุกกรณี พบว่าค่าความเปี่ยงเบนมาตรฐานในกรณีภายใต้ภาระกึ่งคงที่มีค่าเท่ากับ 0.72–1.19 และในกรณีภายใต้ภาระกระแทกมีค่าเท่ากับ 0.29–0.32 ซึ่งจากตัวเลขการกระจายตัวของข้อมูล พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานภาระเฉลี่ยทั้งสองกรณี มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

5.4 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ

ชิ้นงาน	มุมไขว้ (องศา)	ภาระเฉลี่ย (kN)	พลังงานดูดซับ (kJ)	พลังงานจำเพาะ (kJ/kg)
ภาระกึ่งคงที่				
A	[0/90]/[0/90]/[0/90]	25.32	1.52	29.80
B	[45/-45]/[45/-45]/[45/-45]	8.12	0.48	8.89
C	[45/-45]/[0/90]/[45/-45]	18.20	1.09	20.56
ภาระกระแทก				
A	[0/90]/[0/90]/[0/90]	14.40	0.86	17.55
B	[45/-45]/[45/-45]/[45/-45]	11.72	0.47	9.03
C	[45/-45]/[0/90]/[45/-45]	12.65	0.76	14.61

จากตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบชิ้นงานภายใต้ภาระกึ่งคงที่ในแนวแกน พบว่าชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ 29.80 kJ/kg ส่วนชิ้นงาน B และ C สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 8.89 kJ/kg และ 20.56 kJ/kg ตามลำดับ โดยชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าชิ้นงาน B และ C เท่ากับ 235.20 % และ 44.94 % ตามลำดับ สำหรับการทดสอบภายใต้ภาระกระแทกในแนวแกน พบว่าชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ 17.55 kJ/kg ในขณะที่ชิ้นงาน B และ C สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 9.03 kJ/kg และ 14.61 kJ/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ มากกว่าชิ้นงาน B และ C เท่ากับ 94.35 % และ 20.12 % ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงาน A ที่มีมุมของเส้นใย [(0/90)/(0/90)/(0/90)] มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน B และ C ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเรียงตัวของของเส้นใยแก้วที่มีทิศทาง 0 องศา สามารถต้านทานต่อแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวแกนได้สูงเนื่องจากหน้าตัดของเส้นใยรับแรงหรือความเค้นโดยตรง เมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางของเส้นใยแบบอื่นๆ และการเรียงตัวของเส้นใยที่มีทิศทางแนวขวางคือ 90 องศา ทำหน้าที่ประคองเส้นใยในแนวตั้งและรับภาระในแนวแกน

6. สรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาส ภายใต้แรงกระทำแบบกึ่งคงที่และภาระกระแทก โดยมุ่งศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้วและความสามารถในการดูดซับพลังงาน ในกรณีภายใต้แรงแบบกึ่งคงที่ พบว่า ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ดีกว่า ชิ้นงาน B และ C ประมาณ 44.94 – 235.20 % ในกรณีภายใต้ภาระกระแทก ชิ้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ประมาณ 20.12 – 94.35 % สามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานที่มีมุมของเส้นใย คือ [(0/90)/(0/90)/(0/90)] มีความเหมาะสมต่อการออกแบบในด้านความสามารถในการดูดซับพลังงาน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้ และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Solaimurugan S, Velmurugan R. "Influence of fibre orientation and stacking sequence on petalling of glass/polyester composite cylindrical shells under axial compression," International Journal of Solids and Structures 2007;44: 6999–7020.
- [2] Mamalis A.G., Manolakos D.E., Demosthenous G.A. Ioannidis M.B. "The static and dynamic axial crumbling of thin-walled fiberglass composite square tubes," Composite Part B, 1997;28B: 439-451.
- [3] Mamalis A.G., Manolakos D.E., Demosthenous G.A. Ioannidis M.B. "The static and dynamic axial collapse of fiberglass composite automotive frame rails," Composite Structures, 1996;34: 77-90.
- [4] Mamalis A.G., Manolakos D.E., Demosthenous G.A., Ioannidis. M.B. "Analysis of Failure mechanisms Observed in Axial Collapse of Thin-Walled Circular Fiberglass Composite Tubes," Composite Structures, 1996;24:335-352.
- [5] Mamalis A.G., Manolakos D.E., Demosthenous G.A., Ioannidis M.B. "Analytical modeling of the static and dynamic axial collapse of thin-walled fiberglass composite conical shells," Composite Structures, 1997;19:477-492.
- [6] Shokrieh M. M., Tozandehjani H., Omid. M. J. "Effect of fiber orientation and cross section of composite tubes on their energy absorption ability axial dynamic loading," Mechanics of Composite Materials, 2009;45:567-576.
- [7] Jose Daniel D. Melo, Andre Luiz s. Silva, John Edward N. Villena. "The effect of processing conditions on the energy absorption capability of composite tubes," Composite Structures, 2008;82:622-628.
- [8] Golzar M., Poorzeinolabedin M. "Prototype fabrication of a composite automobile body based on integrated structure, "International Journal manufacturing technology 49:1037-1045.
- [9] Young Nam Kim, Jae Jung Hwang, Kyung Yun Baek., "Impact Collapse Characteristics of CF/Epoxy Composite Tubes for Light-Weights," KSME International Journal, 2003; 17:48-56.