

ผลงานตีพิมพ์

- [1] วิศิษฐ์ จันทร์ชื่น, นิรุต อ่อนสลุง, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ สมญา ภูนะยา. การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสต่อแรงกดในแนวแกนแบบกึ่งคงที่และแบบไม่คงที่. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554: กระบี่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. Paper no. AMM49
- [2] วิศิษฐ์ จันทร์ชื่น, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ สมญา ภูนะยา. การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระทำในแนวแกน. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 26. 24-27 ตุลาคม 2555: เชียงราย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. Paper no. AMM2012
- [3] วิศิษฐ์ จันทร์ชื่น, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์, สมญา ภูนะยา และ รัชดา โสภาคะยัง. การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกดในแนวแกน. วารสารวิศวกรรม มข. ปีที่ 41 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กรกฎาคม-กันยายน 2557.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสต่อแรงกดในแนวแกนแบบกึ่งคงที่และแบบไม่คงที่
The Study of Crashworthiness Behavior of Fiberglass Tube Subjected to Quasi- Static and
Dynamic Axial Compression

วิศิษฐ์ จันทร์ชัน^{1*}, นิรุศ อ่อนสูง¹, พลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์¹ และ สมญา ภูณะยา²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ

จ.อุบลราชธานี 34190

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพมหานคร 10160

* E-mail: unicorn_ton@hotmail.com โทรศัพท์: 045 353 308, โทรสาร: 045 353 309

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการผลิตโครงสร้างของยานพาหนะในด้านอุตสาหกรรมยานยนต์และการบินได้ถูกสร้างจากวัสดุหลากหลาย เช่น เหล็กหรืออะลูมิเนียมเป็นต้น แต่เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีน้ำหนักมากและยังมีปัญหาในการสึกกร่อน ดังนั้นจึงมีความพยายามหาวัสดุอื่น ๆ เพื่อใช้ทดแทน ซึ่งวัสดุประกอบก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ถูกใช้เป็นโครงสร้างทดแทนกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคุณสมบัติด้านการดูดซับพลังงานของวัสดุประกอบนั้น สามารถปรับปรุงและเพิ่มความแข็งแรงได้ จึงสามารถลดแรงกระแทกจากการชนได้ดีและมีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับมวลของโครงสร้าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสต่อแรงกดในแนวแกน ซึ่งแรงที่ใช้ในการศึกษาเป็นแรงกระทำแบบกึ่งคงที่ (Quasi Static Load) และแบบไม่คงที่ (Dynamic Load) ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาถูกพันด้วยเส้นใยแก้วที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน ขึ้นรูปจาก E-glass/polyester มุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบคือ 0/90, 45/-45 และ 0/90/45 ตามลำดับ ขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 52 mm. ความหนาคือ 3 mm. และความยาวคือ 100 mm. ในการทดสอบชิ้นงานนั้นได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง ESH Universal Testing Machine สำหรับการทดสอบแบบกึ่งคงที่ กดที่ความเร็ว 10 mm/min และใช้เครื่อง Vertical Impact Testing Machine สำหรับการทดสอบแบบไม่คงที่โดยใช้ความเร็วในกระแทกคือ 6.8 m/s ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีแรงกระทำแบบคงที่ชิ้นงานที่มีมุมไขว้ 45/-45 มีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะมากที่สุด ในขณะที่กรณีแรงกระทำแบบไม่คงที่ชิ้นงานที่มีมุมไขว้ 0/90 มีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะมากที่สุด นอกจากนี้ในบทความยังได้แสดงลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นอีกด้วย

คำหลัก: วัสดุประกอบ, การชน, การยุบตัว, การดูดซับพลังงาน

Abstract

Nowaday, the structure of vehicles is made from various materials such as steel or aluminium. As a results of using steel or aluminium, the structure of vehicle is too heavy and has corrosion problem.

So, it is important for the researcher to find new material that is more appropriate for manufacturing vehicle structure. Composite Material is alternative material that is widely used for vehicle structure. Regarding to the properties of energy absorption of composite material that absorb higher energy and can be enstrengthen, so it improve reduce impact performance. Moreover, it can absorb higher energy compare to the structure mass. This research is purposed to study crashworthiness behavior of fiberglass tube subjected to quasi static load and dynamic axial compression. The specimen is made of fiberglass that lay-up in different angles in shape of E-glass/polyester. There are 3 cross angles of fiberglasses, including of 0/90, 45/-45 and 0/90/45. The tube has 52 mm outside diameter, 3 mm wall thickness, and 100 mm length. Quasi-Static Load test was done by ESH Universal Testing Machine and 10 mm/min crushing speed. Dynamic Load test was done by Vertical Impact Testing Machine, the impact speed was 6.8 m/s. The result show that in case of quasi-static load, the specimen with 45/-45 cross angle provides highest specific energy absorption. In case of dynamic Load, the specimen with 0/90 cross angle gives highest specific energy absorption. In addition, the collapse mode and response of specimens are also discussed in the paper.

Keywords: Composite Material, impact, Collapse, Energy absorption

1. บทนำ

ปัจจุบันวัสดุประกอบถูกนำมาประยุกต์เป็นโครงสร้างส่วนหน้าของรถยนต์ในการป้องกันความเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน และ ความปลอดภัยของผู้โดยสาร [1] ความสามารถในการดูดซับพลังงานของวัสดุประกอบมีความสำคัญในการพัฒนา พลังงานที่ดูดซับ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปร คือ ชนิดของเส้นใย เมทริกซ์ การเรียงตัวของมุมไขว้เส้นใย รูปทรงและความเร็วในการทดสอบ [2] โดยทั่วไปโลหะหรืออะลูมิเนียม มีลักษณะการเสียหาย แบบพับ และ แบบงอ ซึ่งพลังงานที่กระจายจะถูกรวมทั้งหมดมาจุดเดียวในแนวแคบๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ วัสดุประกอบซึ่งมีลักษณะการเสียหาย แบบแตกเปราะเป็นชิ้นเล็ก ตลอดแนวแกนท่อ ในลักษณะคงที่จึงส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของแรงได้มากกว่า [3] นอกจากนี้เนื่องจากมีวัสดุประกอบน้ำหนักเบา ความแข็งแรง และความคงทน วัสดุประกอบเป็นอีกทางเลือกเพื่อทดแทนวัสดุเดิม [4] มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของ ลักษณะการเสริมแรง รูปทรง มุมไขว้ของเส้นใย อัตราการกด ที่นำไปสู่ความสามารถของการดูดซับพลังงานของท่อ

วัสดุประกอบ เช่น การศึกษาทดลองพฤติกรรมการเสียหายของโครงสร้างรถยนต์ภายใต้แรงกระทำแบบคงที่และ ไม่คงที่ โครงสร้างหน้าตัด รูปทรงนาฬิกาทราย รูปทรงกระบอก รูปทรงกรวย และรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยขึ้นรูปจาก Fiber/vinylester ได้พิจารณา ศึกษา วิธีการเสียหายจากการสังเกต และใช้เครื่องขยายสเกล เพื่อหาคุณลักษณะการดูดซับพลังงานเปรียบเทียบระหว่างการทดลองกับทฤษฎี [5-8] การศึกษาคุณลักษณะการยุบตัวของท่อวัสดุประกอบ ได้พิจารณา ศึกษา ผลกระทบของ โครงสร้างที่อัตราส่วนความหนาต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง การเสริมแรงด้วยเส้นใย และ วิธีการเสียหายทางกลของวัสดุประกอบ [9] การศึกษาผลของกระบวนการขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศและไม่ใช้สุญญากาศ ในการดูดซับพลังงานของ glass/polyester พบว่าขึ้นงานรูปทรงกระบอก ขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ มีค่าดูดซับพลังงานจำเพาะสูงขึ้นสองเท่า [4] การศึกษาอิทธิพลของการดูดซับพลังงาน ของพื้นที่หน้าตัดภายใต้แรงกระทำในแนวแกน ได้พิจารณา ศึกษา อิทธิพลของโย

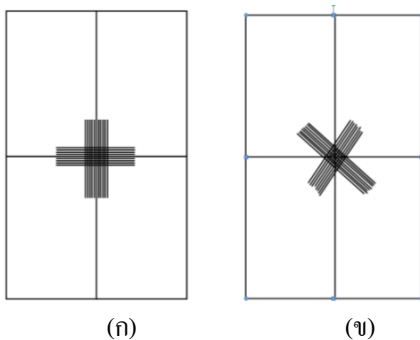
แก้วเสริมแรง พบว่าหน้าตัดทรงกระบอกดูดซับพลังงานได้มากกว่าหน้าตัดสี่เหลี่ยม [10]

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสต่อแรงกดในแนวแกน ซึ่งแรงที่ใช้ในการศึกษาเป็นแรงกระทำแบบกึ่งคงที่ (Quasi-Static Load) และแบบไม่คงที่ (Dynamic Load) ท่อที่ใช้ในการทดสอบเป็นท่อรูปทรงกระบอก โดยศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้ว ลักษณะวิธีการเสียหาย และความสามารถในการดูดซับพลังงาน

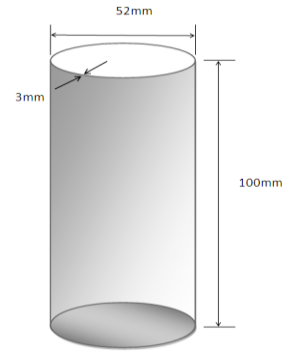
2. ชิ้นงานทดสอบและวิธีการทดลอง

2.1 ชิ้นงานทดสอบ

วัสดุประกอบประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนเสริมแรงทำหน้าที่รับแรงหลักให้แก่โครงสร้าง ส่วนที่สองคือ เมทริกซ์ ทำหน้าที่ป้องกันการเสียหายของส่วนที่เสริมแรง และทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงไปยังส่วนเสริมแรง ในการทดลองได้เลือกใช้พอลิเอสเตอร์ เรซินชนิดไอโซพทาลิก มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อความร้อน และสารเคมี เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิด E-glass มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนด้าย ผ่านการพันบิดรวมเส้นแล้วนำไปทอเป็นเส้นใย ในส่วนการขึ้นรูป ขึ้นรูปด้วยวิธี แบบ Filament Winding มีลักษณะพันรอบแม่พิมพ์เป็นท่อเหล็กในแนวนอน จากนั้นเส้นใยแก้วด้าย จะถูกแช่เรซิน แม่พิมพ์จะหมุนให้เส้นใยพันรอบตามมุมไขว้ที่กำหนด และความหนาที่ต้องการ



รูปที่ 1 แสดงถึงลักษณะของมุมไขว้ (ก) มุมไขว้ที่ 0/90 องศา (ข) มุมไขว้ที่ 45/-45 องศา



รูปที่ 2 แสดงถึงขนาดของตัวอย่างชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาถูกพันด้วยเส้นใยแก้วที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน ชิ้นรูปจาก E-glass/polyester มุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบคือ 0/90, 45/-45 และ 0/90/45 ตามลำดับ ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 1 ขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 52 mm. ความหนาคือ 3 mm. และความยาวคือ 100 mm ดังแสดงในรูปที่ 2

2.2. วิธีการทดลอง

2.2.1 การทดสอบแบบกระทำแบบคงที่

การทดสอบนี้ได้ดำเนินการโดยใช้เครื่องทดสอบการกดแบบกระทำแบบคงที่ ซึ่งมีชื่อว่า เครื่อง ESH Testing Limited ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic) ในการควบคุมมีความสามารถถึง 2,000 KN และระยะการกดมากที่สุดคือ 200 mm สามารถบันทึกข้อมูลได้ทุกๆ 0.04 mm ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ (Load) และระยะทางในการยุบตัว (Displacement) สามารถบันทึกผลการทดสอบ และแสดงเป็นกราฟได้ทันที รูปเครื่องทดสอบแสดงดังรูปที่ 3

ในการทดสอบส่วนนี้ชิ้นงานจะถูกกดในแนวแกนด้วยความเร็วคงที่ 10 mm/min และกดลงมาจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการยุบตัว จากนั้นทำการบันทึกค่าภาระและระยะยุบตัวเพื่อไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



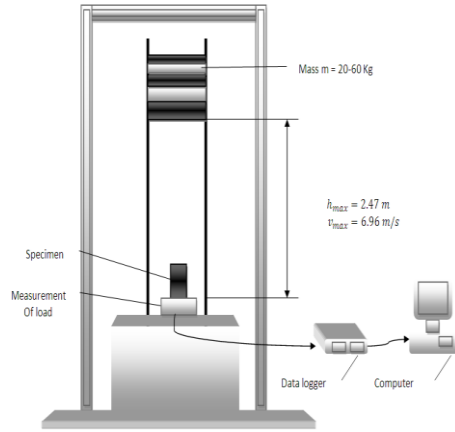
รูปที่ 3 แสดงเครื่องทดสอบการกระแทกแบบกระทำแบบคงที่

2.2.2 การทดสอบการกระแทก

การทดสอบส่วนนี้ได้นำดำเนินการโดยใช้เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับแรงกระแทกของค้อนจากเครื่องทดสอบ โดยความสูงของเครื่องทดสอบคือ 2.47 m น้ำหนักของมวลที่ใส่ลงในค้อนสามารถใส่ได้ ระหว่าง 20-60 kg ในส่วนด้านการประมวลผลเครื่องจะมี โพลดเซลที่มีความละเอียดในการบันทึกข้อมูล สูงสุดที่ 10,000 ค่าต่อวินาที เมื่อทดสอบ โพลดเซลจะแปลงค่าของแรงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า นำผลที่ได้ ไปยัง Data logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นผลที่ได้จะเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแปลงค่า โดยผลที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง แรงกระแทก (Load) และเวลา (Time) ซึ่งสามารถบันทึกผลการทดลอง จากความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนกราฟได้ รูปที่ 4 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบแรงกระแทก

ทดสอบภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่โดยใช้ความเร็วในกระแทกคือ 6.8 m/s และน้ำหนักของหัวค้อนคือ 45 kg ความสูงของหัวค้อนที่ตกลงมา

กระแทกกับชิ้นงานคือ 2.37 m ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องความเร็วสูงและบันทึกแรงเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบการกระแทก

2.3 ตัวแปรที่พิจารณา

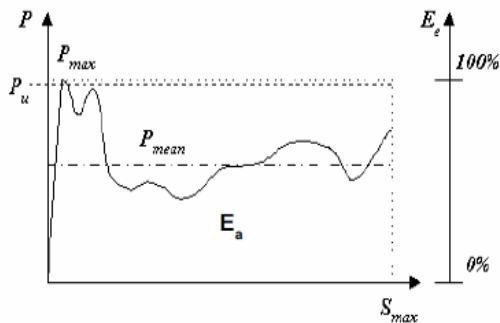
ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน (Crashworthiness) มักจะศึกษากราฟภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างดังตัวอย่างกราฟในรูปที่ 5 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว เช่น ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึง ภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจนถึงสิ้นสุดการยุบตัวค่าพลังงานดูดซับ (Energy absorption, E_u) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอดช่วงเวลาการกระแทกหรือการยุบตัว และพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption, E_s) หมายถึง พลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ เมื่อเทียบกับขนาดน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง โดยในบทความนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาค่าพลังงานที่ดูดซับได้และพลังงานดูดซับจำเพาะของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้าง โดยการหาค่าพลังงานดูดซับนั้นสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง เมื่อเกิดการชนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังสมการที่ (1)

$$E_a = \int PdS \quad (1)$$

โดยที่ E_a คือค่าพลังงานดูดซับ P คือค่าภาระ S คือค่าระยะการยุบตัว และสามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการที่ (2)

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

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



รูปที่ 5 กราฟแสดงภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างพร้อมกับแสดงตัวแปรต่างๆที่นิยมใช้ในการศึกษา

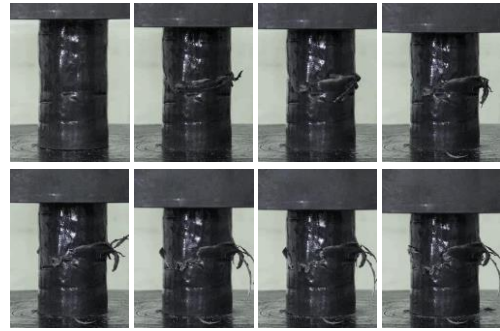
3. ผลการศึกษา

จากการทดสอบภาระกระทำในแนวแกนแบบคงที่และแบบไม่คงที่ของท่อไฟเบอร์กลาส ที่มีลักษณะของมุมไขว้ของเส้นใย 3 แบบคือ 0/90, 45-45 และ 0/90/45 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสที่มีมุมการไขว้ของเส้นใยต่างๆมีดังนี้

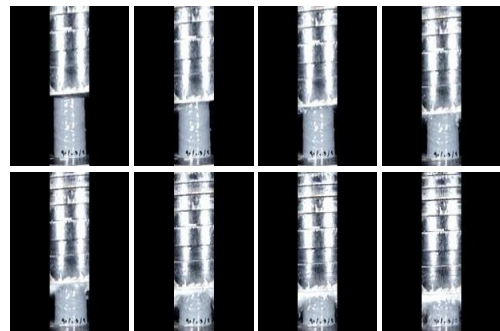
จากรูปที่ 6 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน ภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่ในแนวแกน ในช่วงแรกจะเกิดการยุบตัวของชิ้นงานช้า หลังจากภาระกระทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ชิ้นงานเกิดการยุบตัวลงอย่างรวดเร็ว โดยช่วงการเสียหายจะอยู่ที่กึ่งกลางของชิ้นงาน ซึ่งการเสียหายดังกล่าวเรียกว่าการเสียหายแบบ Brittle Fracture mode ในส่วนการตอบสนองของแรงตลอดความเสียหายได้แสดงในรูปแบบของ

กราฟ ดังแสดงรูปที่ 8 ซึ่งเป็นค่าของภาระและระยะยุบตัวที่เกิดขึ้น ผลการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1

3.1 ลักษณะการเสียหาย



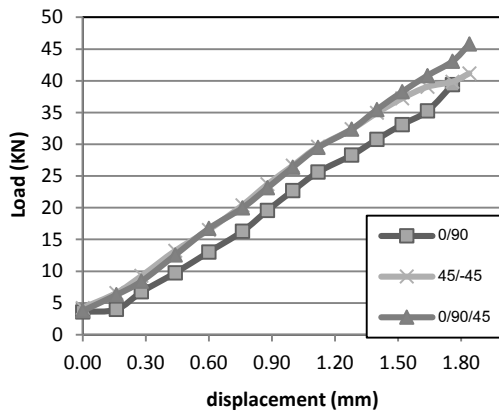
รูปที่ 6 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน ภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนแบบคงที่



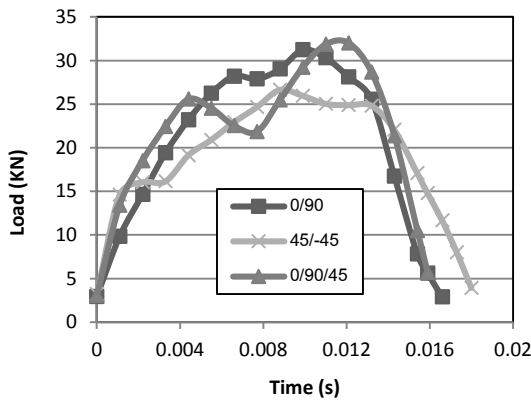
รูปที่ 7 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่ในแนวแกน

จากรูปที่ 7 เป็นรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระกระทำในแนวแกนของชิ้นงาน ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องความเร็วสูง โดยหน้าตัดของหัวค้อนถูกกระทบกับหน้าตัดด้านบนของท่อ ซึ่งลักษณะการเสียหายพบว่า มุมการไขว้ที่ 45-45 และ 0/90/45 มีลักษณะการยุบตัวแบบแตกเปราะ หรือเรียกว่าการเสียหายแบบ Brittle Fracture mode โดยยุบตัวลงระหว่างกึ่งกลางของท่อ และ มุมการไขว้ที่ 0/90 มีลักษณะการยุบตัวแบบแตกเป็นชิ้นเล็กตลอดแนวแกนท่อ ซึ่งการเสียหายดังกล่าวเรียกว่าเป็นการเสียหาย

แบบ Crush mode สำหรับการตอบสนองของแรงตลอดการกระทำแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งเป็นค่าของภาระกระทำกับและเวลา ผลการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการทดสอบของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่ในแนวแกน



รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการทดสอบของชิ้นงานภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่ในแนวแกน

จากรูปที่ 8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับระยะยวบตัวของชิ้นงาน จากการทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบคงที่ในแนวแกน โดย แกนตั้งเป็นค่าของภาระและแกนนอนเป็นค่าระยะยวบตัวของชิ้นงาน จากการสังเกตว่าค่าภาระของชิ้นงานที่มีมุมไขว้ 0/90/45 และ 45/-45 มีค่าใกล้เคียงกัน

ตลอดการเสียหาย และส่วนชิ้นงานที่มีมุมไขว้ 0/90 มีค่าภาระต่ำกว่าชิ้นงานอื่นๆ

รูปที่ 9 กราฟแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับเวลา ของแต่ละชิ้นงานตลอดการทดสอบ จากการทดสอบภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่ในแนวแกน โดยแกนตั้งเป็นค่าของภาระและแกนนอนเป็นเวลาทีกระทำต่อชิ้นงาน จากกราฟพบว่ากรณีการกระทำแบบไม่คงที่นั้น ลักษณะกราฟมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ โดยมีคลื่นของกราฟในช่วงบน เนื่องจากการแตกหักของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่า ชิ้นงานที่มีมุมไขว้ 45/-45 มีค่าของภาระค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่นๆ

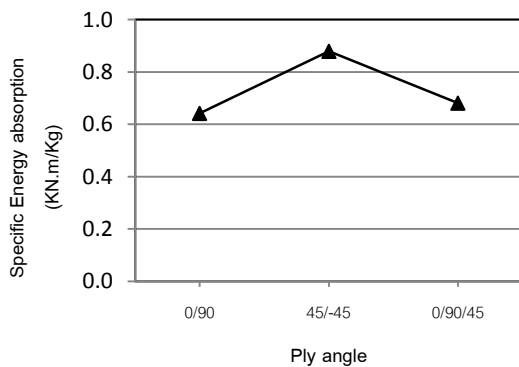
3.2 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

จากการทดสอบของชิ้นงาน ภายใต้ภาระกระทำแบบในแนวแกนแบบคงที่และแบบไม่คงที่ โดยมีมุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบ จากกราฟ รูปที่ 8 - 9 ดังกล่าว สามารถคำนวณหาค่าภาระเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะของชิ้นงานดังตารางที่ 1

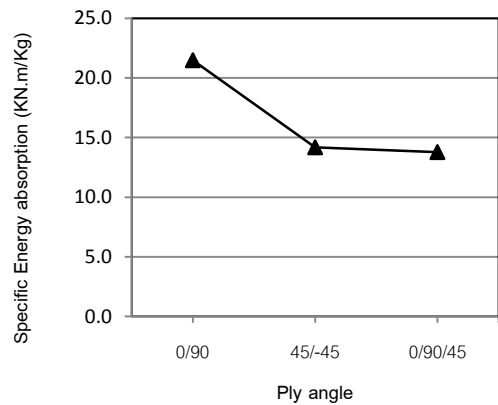
ตารางที่ 1 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ

มุมไขว้เส้นใย (องศา)	ภาระเฉลี่ย (KN)	ระยะยวบตัว (mm)	E_u (KN.m)	น้ำหนัก (Kg)	E_s (KN.m/kg)
Quasi-Static Load					
0/90	22.35	1.80	0.04	0.06	0.64
45/-45	24.80	1.96	0.05	0.06	0.87
0/90/45	24.56	2.00	0.05	0.07	0.68
Dynamic Load					
0/90	21.25	56.61	1.20	0.06	21.46
45/-45	19.52	46.73	0.91	0.06	14.16
0/90/45	22.65	43.13	0.98	0.07	13.76

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบของชิ้นงาน ภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่และไม่คงที่ โดยมีมุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบคือ 0/90, 45/-45 และ 0/90/45 ตามลำดับ พิจารณาจากการทดสอบภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่ พบว่าค่าพลังงานดูดซับจากชิ้นงาน มุมไขว้ที่ 45/-45 และสามารถดูดซับพลังงานจากการกระทำแบบคงที่ได้ดีกว่า มุมไขว้ที่ 0/90/45 และ 0/90 ตามลำดับ ผลจากการคำนวณค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ มุมไขว้ที่ 45/-45 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะคือ 878.46 N.m/Kg ได้ดีกว่ามุมไขว้แบบอื่นๆ พิจารณาจากการทดสอบภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่ พบว่าค่าพลังงานดูดซับ ที่มุมไขว้ที่ 0/90 สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่ามุมไขว้ 0/90/45 และ 45/-45 ตามลำดับ แต่ผลจากการคำนวณค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ มุมไขว้ที่ 0/90 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่ามุมไขว้ 45/-45 และ 0/90/45 ตามลำดับ



รูปที่ 10 แสดงกราฟค่าความสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่



รูปที่ 11 แสดงกราฟค่าความสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่

จากรูปที่ 10 - 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะและลักษณะของมุมไขว้ พิจารณาภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่พบว่ามุมไขว้ที่ 45/-45 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมุมไขว้ที่ 0/90/45 และ 0/90 มากกว่าประมาณ 29.03% และ 36.80% ตามลำดับ พิจารณาภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่พบว่ามุมไขว้ที่ 0/90 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับ มุมไขว้ที่ 45/-45 และ 0/90/45 ที่มีค่ามากกว่าประมาณ 51.49% และ 55.89% ตามลำดับ

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาส ภายใต้แรงกระทำในแนวแกนแบบคงที่และไม่คงที่ ที่มีลักษณะของมุมไขว้ต่างกัน 3 แบบ จากการทดสอบชิ้นงานสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ในกรณีลักษณะการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาส ภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่ ลักษณะการเสียหายของชิ้นงานทั้งหมด เสียหายแบบแตกเปราะ ซึ่งการเสียหายดังกล่าวเรียกว่าเป็นการเสียหายแบบ brittle fracture mode ส่วนภายใต้ภาระกระทำแบบไม่คงที่ พบว่าลักษณะการเสียหายของชิ้นงาน มีการเสียหายอยู่ 2 ลักษณะ คือ แตกแบบเปราะ และ แตกเป็นชิ้น

เล็กตลอดแนวแกน การเสียหายดังกล่าวเรียกว่าเป็น การเสียหายแบบ Brittle Fracture mode และ Crush mode ตามลำดับ

2. ความสามารถในการดูดซับพลังงาน จำเพาะพบที่ภายใต้ภาระกระทำแบบคงที่ ลักษณะมุม ไชวี่ที่ 45/-45 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ มากกว่าลักษณะมุม ไชวี่แบบอื่นๆ ในส่วนภายใต้ภาระ กระทำแบบไม่คงที่ พบว่าลักษณะของมุม ไชวี่ที่ 0/90 สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าลักษณะมุม ไชวี่แบบอื่นๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้ และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุน เครื่องมือในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M. Abdel-Haq, G.B. Broggiato, G.M. Newaz.,(1999) "Constraint Effects on Energy Absorption in Unidirectional PMC Tubes," Journal of Composite Materials, Vol. 33 pp.774-793.

[2] George C.Jacob, John F. Fellers, Srđan Simunovic, J.Michael Starbuck.,(2001) "Energy absorption in polymer composites for automotive crashworthiness," Journal of Composite Material, Vol. 36 pp.813-850.

[3] Hamidreza Zarei, Matthias Kroger, Henrik Albertsen., (2008), "An experimental and numerical crashworthiness investigation of thermoplastic composite crash boxes," Composite Structures, Vol. 85 pp. 245-257.

[4] Jose Daniel D. Melo, Andre Luiz s. Silva, John Edward N. Villena., (2008), "The effect of processing conditions on the energy absorption capability of composite tubes," Composite Structures, Vol.82, pp. 622-628.

[5] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1997), "The static and dynamic axial crumbling of thin-walled fiberglass composite square tubes," Composite Part B, Vol.28B, pp. 439-451.

[6] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1996), "The static and dynamic axial collapse of fiberglass composite automotive frame rails," Composite Structures, Vol. 34, pp. 77-90.

[7] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1996), "Analysis of Failure mechanisms Observed in Axial Collapse of Thin-Walled Circular Fiberglass Composite Tubes," Composite Structures, Vol. 24, pp. 335-352.

[8] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1997), "Analytical modeling of the static and dynamic axial collapse of thin-walled fiberglass composite conical shells," Composite Structures, Vol. 19, pp. 477-492.

[9] Young Nam Kim, Jae Jung Hwang, Kyung Yun Baek., (2003), "Impact Collapse Characteristics of CF/Epoxy Composite Tubes for Light-Weights," KSME International Journal , Vol. 17, pp.48-56.

[10] M. M. Shokrieh, H. Tozandehjani, and M. J. Omidi., (2009), "Effect of fiber orientation and cross section of composite tubes on their energy absorption ability axial dynamic loading," Mechanics of Composite Materials, Vol. 45 pp. 567-576

การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน

The Study of Crashworthiness Behavior of Fiberglass Tube Subjected to Axial Impact Load

วิศิษฐ์ จันทร์ชื่น^{1*}, ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์¹ และ สมญา ภูณะยา¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

* ติดต่อ: E-mail: unicorn_ton@hotmail.com โทรศัพท์: 045 353 308, โทรสาร: 045 353 309

บทคัดย่อ

วัสดุประกอบเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ถูกใช้เป็นโครงสร้างทดแทนวัสดุโลหะกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคุณสมบัติด้านการดูดซับพลังงานของวัสดุประกอบนั้น สามารถปรับปรุงและเพิ่มความแข็งแรงได้และสามารถลดแรงกระแทกจากการชนได้เมื่อเปรียบเทียบกับมวลของโครงสร้าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มีค่าเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน มุมการไขว้ของเส้นใยมี 3 แบบคือ $[0/90]_3$, $[+45/-45]_3$ และ $[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]$ ตามลำดับ ขึ้นรูปจาก E-glass/polyester ขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50 mm. ความหนาคือ 2 mm. และความยาวคือ 100 mm. ในการทดสอบชิ้นงานนั้นได้ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ตกกระแทกแบบอิสระด้วยความเร็วคงที่จุดสัมผัส 7 m/s ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่มีมุมไขว้ $[0/90]_3$ มีค่าพลังงานดูดซับจำเพาะมากที่สุด นอกจากนี้ในบทความยังได้แสดงลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นอีกด้วย

คำหลัก: วัสดุประกอบ, การกระแทก, การเสียหาย, การดูดซับพลังงาน

Abstract

Composite Material is alternative material that is widely used for vehicle structure. This is due to the properties of energy absorption of composite material that absorb higher energy and can be strengthen. This research is purposed to study crashworthiness behavior of fiberglass tube subjected Impact axial compression. The specimen is made of fiberglass and hand lay-up in different angles in shape of 3 cross angles of fiberglasses, including $[0/90]_3$, $[+45/-45]_3$ and $[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]$. The tube has 50 mm outside diameter, 2 mm wall thickness and 100 mm length. Impact test was done by Vertical Impact Testing Machine with the impact speed was 7 m/s. The result shown that the specimen with $[90/0]_3$ cross angle gives highest specific energy absorption. In addition, the collapse mode and response of specimens to impact are also discussed in the paper.

Keywords: Composite Material, impact, Collapse, Energy absorption

1. บทนำ

วัสดุประกอบถูกนำมาประยุกต์เป็น โครงสร้าง ส่วนหน้าของรถยนต์ ในการป้องกันความเสียหายของ โครงสร้างภายใต้การชน และเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ของผู้โดยสาร [1] โดยใช้ทดแทน โลหะ หรือ อะลูมิเนียม มีลักษณะการเสียหาย แบบพับ และ แบบ งอ ซึ่งพลังงานที่กระจายจะถูกรวมทั้งหมดมาจุดเดียว ในแนวแคบๆ ในขณะที่วัสดุประกอบมีลักษณะการ เสียหายตลอดแนวแกนท่อในลักษณะกึ่งที่จึงส่งผลให้ เกิดการกระจายตัวของแรงได้มากกว่า นอกจากนี้ เนื่องจากมีวัสดุประกอบน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และมีความคงทน วัสดุประกอบเป็นอีกทางเลือกเพื่อ ทดแทนวัสดุเดิม จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ ประกอบโดย[2] ได้ทำการศึกษา การดูดซับพลังงาน ของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ทำจากเหล็กภายใต้การ กระทบ โดยมีการเพิ่มความแข็งแรงด้วยเส้นใย คาร์บอน ชิ้นงานทดสอบมี 3 กลุ่มคือ steel , steel – CFRP และ CFRP ทำการทดสอบภายใต้การกระทบ ในแนวแกนโดยการปล่อยมวล 574 kg จากความสูง 1.835 m และที่ความเร็วของมวลกระทบ 6 m/s (พลังงานกระทบ 10.3 kJ) ผลของการศึกษาพบว่า ชิ้นงานทดสอบกลุ่ม steel-CFRP มีค่าการดูดซับ พลังงานจำเพาะสูงกว่ากลุ่ม steel อยู่ 35% และ มากกว่ากลุ่ม CFRP อยู่ 75% [3] ได้ทำการศึกษา ความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของ ท่อทรงกระบอก FRP โดยสนใจศึกษาเกี่ยวกับ ความสามารถในการดูดซับพลังงานของท่อ FRP ที่ จำนวนชั้นของไฟเบอร์ เป็น 4 และ 6 ชั้น ซึ่งจะ เปลี่ยนแปลงการจัดเรียงชั้นของไฟเบอร์ที่แตกต่าง กันไป ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบทำจาก Woven roving (WRM) ความหนาแน่นคือ 610 g/m^2 และ Unidirectional (UD) ความหนาแน่นคือ 750 g/m^2 ส่วนเรซินใช้เรซิน โพลี เอสเทอร์ชนิดไอโซพาทาลิก เป็นส่วนประกอบในการ ขึ้นรูปชิ้นงาน กระบวนการ hand lay-up สลับชั้นกัน ระหว่าง $[\text{WRM}/(\text{UD})_n/\text{WRM}]$ ตามที่กำหนดไว้คือ 4 และ 6 ชั้น ขนาดอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง

ภายในกับความหนา (D/t) ประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ที่ปลายท่อถึงขอบทำมุม 30° ใช้โหลด quasi-static ความเร็วคือ 2 mm/min ผลการศึกษา พบว่า จำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นของ FRP มีผลทำให้ แนวโน้มการดูดซับพลังงานของ FRP สูงขึ้น

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรม การตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรง กระทบในแนวแกน ท่อชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ เป็นท่อรูปทรงกระบอก โดยศึกษาอิทธิพลของเส้นใย แก้ว ลักษณะวิธีการเสียหาย และความสามารถในการ ดูดซับพลังงานจำเพาะ

2. ชิ้นงานทดสอบและวิธีการทดลอง

2.1 ชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองโดยขึ้นรูปจากเส้นใย แก้วเส้นชนิดสองทิศทางกับโพลีเอสเทอร์ชนิดไอโซพ ทาลิกเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มี การเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน จากตาราง ที่ 1 ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50 mm. ความ หนาคือ 2 mm. และความยาวคือ 100 mm ดังแสดงใน รูปที่ 2

การขึ้นรูปด้วยการทาระซินลงบนเส้นใยแก้ว เริ่มต้นจากการผสมเรซินและตัวทำให้แข็งลงในแก้ว พลาสติก แล้วกวนเรซินในทิศทางเดียวประมาณ 2 ถึง 3 นาที จากนั้นทาระซินลงใยแก้วจนครบจำนวนชั้น ของใยแก้ว ในการศึกษาที่ใช้ใยแก้วทั้งหมด 6 ชั้น จากนั้นใช้ลูกกลิ้งโลหะเกลียว กลิ้งบนชิ้นงานเพื่อไล่ อากาศออก



รูปที่ 1 ลักษณะของการหมุนแม่แบบชิ้นงาน

หลังจากผ่านการทาสีและรีดอากาศออกด้วยลูกกลิ้งแล้ว เครื่องหมุนแม่แบบหมุนด้วยความเร็วที่ 34 rpm ใช้เวลาในการหมุนประมาณ 180 นาที ดังรูปที่ 1 เพื่อให้เรซินเซ็ทตัวและมีความแข็งแรงพอที่จะถอดแบบออกได้ง่าย



รูปที่ 2 แสดงถึงชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป

2.2 วิธีการทดลอง

การทดสอบได้ดำเนินการโดยใช้เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์กับแรงกระแทกของค้อนจากเครื่องทดสอบ โดยความสูงของเครื่องทดสอบคือ 2.5 m น้ำหนักของมวลที่ใส่ลงในค้อนสามารถใส่ได้ ระหว่าง 20-60 kg ในส่วนด้านการประมวลผลเครื่องจะมี โหลดเซลล์ที่มีความละเอียดในการบันทึกข้อมูล สูงสุดที่ 10,000 ค่าต่อวินาที เมื่อทดสอบโหลดเซลล์จะแปลงค่าของแรงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า นำผลที่ได้ ไปยัง Data logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นผลที่ได้จะเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแปลงค่า โดยผลที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง แรงกระแทก (Load) และเวลา (Time) ซึ่งสามารถบันทึกผลการทดลอง จากความสัมพันธ์นี้สามารถเขียนกราฟได้ รูปที่ 3 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบแรงกระแทก

ในการทดสอบภายใต้ภาระกระแทกในแนวแกนโดยใช้ความเร็วในกระแทกคือ 7 m/s และน้ำหนักของหัวค้อนคือ 45 kg ความสูงของหัวค้อนที่ตกลงมากระแทกกับ ชิ้นงานคือ 2.5 m ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องความเร็วสูงและบันทึกแรงเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในทุกกรณี โดยพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ระหว่าง 0.289 ถึง 0.317

2.3 ตัวแปรที่พิจารณา

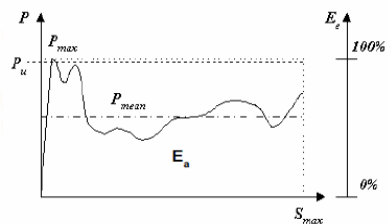
ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน (Crashworthiness) มักจะศึกษากราฟภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างดังตัวอย่างกราฟในรูปที่ 3 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว เช่น ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึง ภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจนสิ้นสุดการยุบตัวค่าพลังงานดูดซับ (Energy absorption, E_s) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอดช่วงเวลากการกระแทกหรือการยุบตัว และพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption, E_s) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ เมื่อเทียบกับขนาดน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง โดยในบทความนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาค่าพลังงานที่ดูดซับได้และพลังงานดูดซับจำเพาะของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้าง โดยการหาค่าพลังงานดูดซับนั้นสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง เมื่อเกิดการชนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังสมการที่ (1)

$$E_s = \int PdS \quad (1)$$

โดยที่ E_s คือค่าพลังงานดูดซับ P คือค่าภาระ S คือค่าระยะการยุบตัว และสามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการที่ (2)

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

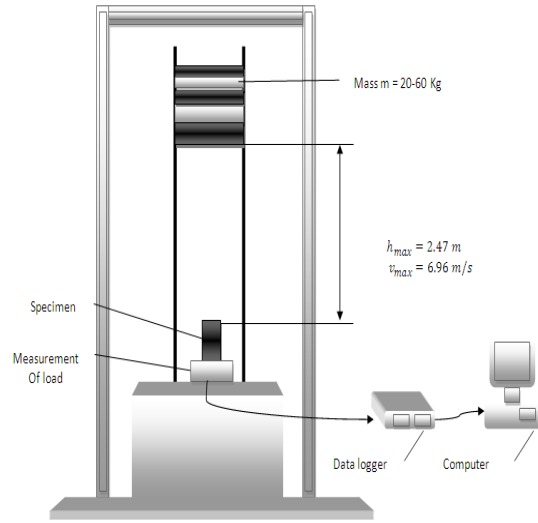
โดยที่ E_s คือค่าพลังงานดูดซับ P_{mean} คือค่าภาระเฉลี่ย S คือค่าระยะการยุบตัว และ $mass$ คือมวลของโครงสร้าง



รูปที่ 3 กราฟแสดงภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างพร้อมกับแสดงตัวแปรต่างๆที่นิยมใช้ในการศึกษา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 เครื่องทดสอบการกระแทก (ก) เครื่องทดสอบจริง (ข) โค้ดอะแกรมของเครื่องทดสอบ

ตารางที่ 1 ขนาดและมุมไขว้เส้นใยของชิ้นงานทดสอบ

ลำดับ	เส้นผ่านศูนย์กลาง mm	ความยาว mm	หนา mm	มุมไขว้เส้นใย (องศา)
1.	50	100	2	[0/90] ₃
2.	50	100	2	[+45/-45] ₃
3.	50	100	2	[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]

3. ผลการศึกษา

ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรม การตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาส ได้แก่ ลักษณะ การเสียหาย และ ความสามารถในการดูดซับพลังงาน ดังนี้

3.1 ลักษณะการเสียหาย

รูปที่ 8 เป็นรูปแบบการเสียหายภายใต้การกระ การชนในแนวแกนของชิ้นงาน ซึ่งเป็นภาพที่ได้จาก การถ่ายด้วยกล้องความเร็วสูง โดยหน้าตัดของหัวค้อน ถูกกระแทกกับหน้าตัดด้านบนของท่อ ซึ่งลักษณะการเสียหายพบว่ามุมการไขว้ที่ [+45/-45]₃ รูปที่ 5 มี ลักษณะการเสียหายแบบแตกประาะ โดยเริ่มจาก

ด้านบนของชิ้นงานและตามแนวของเส้น ใยหรือ เรียกว่าการเสียหายแบบ Brittle mode มุมไขว้ที่ [0/90]₃ ดังรูปที่ 6 มีลักษณะการยุบตัวจากด้านบนของ ชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะบานออกและแยกออกเป็น 8 ถึง 9 แฉก โดยเรียกลักษณะการเสียหายแบบนี้ว่า Spay mode ในส่วนของมุมไขว้ [+45/-45]/[0/90]/[+45/-45] ดังรูปที่ 7 ซึ่งลักษณะเสียหายเริ่มจากด้านบนของ ชิ้นงานแตกและบานออกเป็นชิ้นเล็กตลอดแนวแกน ท่อ ซึ่งลักษณะการเสียหายเรียกว่า Crush mode สำหรับการตอบสนองของแรงตลอดการกระแทก แสดงใน ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นค่าของภาระกระทำกับและ เวลา ผลการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและค่า พลังงานดูดซับจำเพาะ ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2

จากรูปที่ 9 กราฟแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับเวลาของแต่ละชั้นงานตลอดการทดสอบ จากการทดสอบภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน โดยแกนตั้งเป็นค่าของภาระและแกนนอนเป็นเวลาที่ทำต่อชั้นงาน จากกราฟพบว่ากรณีการกระทำในแนวแกนนั้น ลักษณะกราฟมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ โดยมีคลื่นของกราฟในช่วงบน เนื่องจากการแตกหักของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าชั้นงานที่มีมุมไขว้ $[+45/-45]_3$ มีค่าของภาระค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นงานอื่นๆ

3.2 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

จากการทดสอบของชั้นงาน ภายใต้แรงกระทำในแนวแกน โดยมีมุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบ จากกราฟ รูปที่ 9 ดังกล่าว สามารถคำนวณหาค่าภาระ

เฉลี่ยที่เกิดขึ้น จากการทดสอบ และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะของชั้นงานดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบของชั้นงาน ภายใต้แรงกระทำในแนวแกน โดยมีมุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบคือ $[0/90]_3$, $[+45/-45]_3$ และ $[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]$ ตามลำดับ จากการทดสอบภายใต้แรงกระทำในแนวแกน พบว่าค่าพลังงานดูดซับ ที่มีมุมไขว้ที่ $[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]$ สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่ามุมไขว้ $[0/90]_3$ และ $[+45/-45]_3$ ตามลำดับ แต่ผลจากการคำนวณค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ มุมไขว้ที่ $[0/90]_3$ สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่ามุมไขว้ $[+45/-45]_3$ และ $[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]$ ตามลำดับ



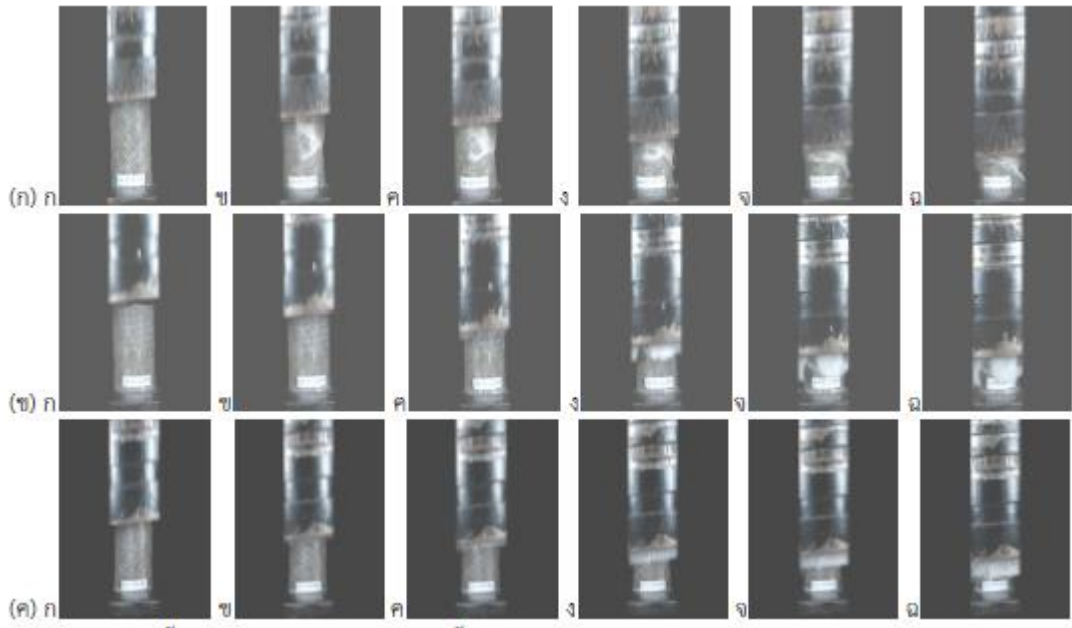
รูปที่ 5 การเสียหายสุดท้ายของโครงสร้างที่เสียหายของชั้นงาน $[+45/-45]_3$



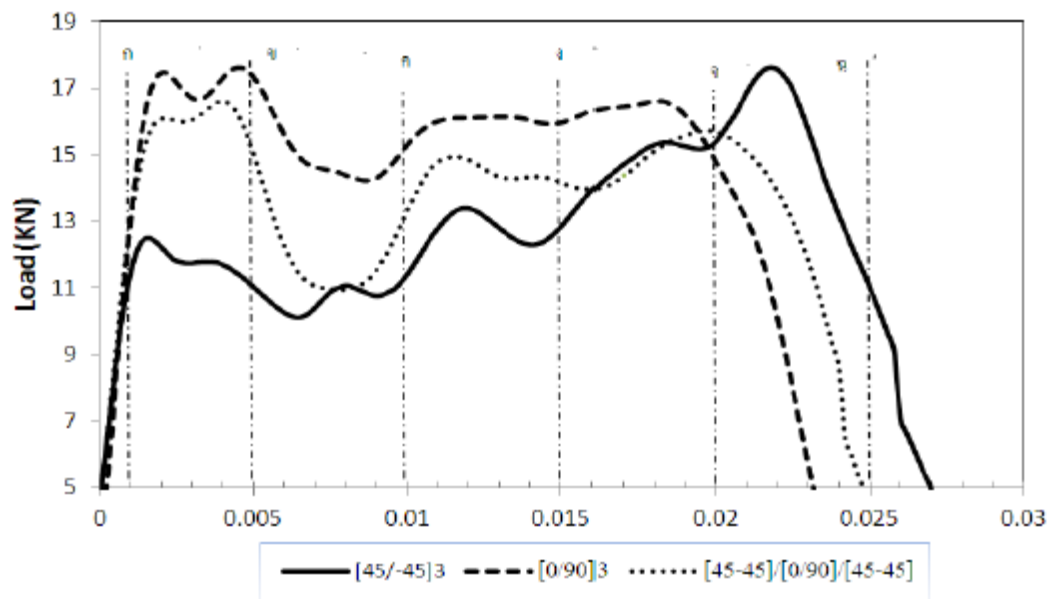
รูปที่ 6 การเสียหายสุดท้ายของโครงสร้างที่เสียหายของชั้นงาน $[0/90]_3$



รูปที่ 7 การเสียหายสุดท้ายของโครงสร้างที่เสียหายของชั้นงาน $[+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]$



รูปที่ 8 ขั้นตอนกระบวนการเสียหายของชิ้นงาน (ก) [+45/-45]₃, (ข) [0/90]₃, (ค) [+45/-45]/[0/90]/[+45/-45]



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระ-เวลา ของชิ้นงานภายใต้แรงกระทำ

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ

มุมการไขว้ (องศา)	ภาระเฉลี่ย (kN)	ระยะยุบตัว (m)	พลังงานดูดซับ (kN.m)	น้ำหนัก (g)	พลังงานจำเพาะ (kN.m/kg)
[0/90] ₃	14.40	0.06	0.85	49.46	17.28
[45/-45] ₃	12.47	0.04	0.55	52.78	10.45
[45/-45]/[0/90]/[45/-45]	13.49	0.07	0.88	52.93	16.64

4. สรุป

จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระทำใน โดยศึกษาอิทธิพลของการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน คือ [0/90]₃, [+45/-45]₃ และ [+45/-45]/[0/90]/[45/-45] ตามลำดับ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พบว่าค่าพลังงานดูดซับ ที่มุมไขว้ที่ [+45/-45]/[0/90]/[45/-45] สามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่ามุมไขว้ [0/90]₃ และ [+45/-45]₃ คือ 3.40 เปอร์เซ็นต์ และ 37.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนผลจากการคำนวณค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ มุมไขว้ที่ [0/90]₃ สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่ามุมไขว้ [+45/-45]₃ และ [+45/-45]/[0/90]/[45/-45] คือ 39.52 เปอร์เซ็นต์ และ 3.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

2. พบว่าลักษณะการเสียหายพบว่ามีมุมการไขว้ที่ [+45/-45]₃ มีลักษณะการเสียหายแบบแตกเปราะหรือเรียกว่าการเสียหายแบบ Brittle mode มุมไขว้ที่ [0/90]₃ ซึ่งมีลักษณะบานออกแยกออกเป็น 8 ถึง 9 แฉก โดยเรียกลักษณะการเสียหายแบบนี้ว่า Spay mode ในส่วนของมุมไขว้ [+45/-45]/[0/90]/[45/-45] ซึ่งลักษณะการเสียหายเรียกว่า Crush mode

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้ และภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] George C.Jacob, John F. Fellers, Srđan Simunovic, J.Michael Starbuck.,(2001) "Energy absorption in polymer composites for automotive crashworthiness," Journal of Composite Material, Vol. 36 pp.813-850
- [2] M.R. Bambach, M. Elchalakani, X.L. Zhao., Composite steel-CFRP SHS tubes under axial impact., Composite Structures, Volume 87, Issue 3, February 2009, Pages 282-292
- [3] S. Solaimurugan, R. Velmurugan. Influence of fiber orientation and stacking sequence on petal ling of glass/polyester composite cylindrical shells under axial compression. International Journal of Solids and Structures 44 (2007) 6999-7020



การศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกดในแนวแกน

The Study of Crashworthiness Behavior of Fiberglass Tube Subjected Axial Load

วิศิษฐ์ จันทรชิ่ง, ชาวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์*, สมญา ภูณะยาและ รัชดา โสภาคะยัง

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

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Ubonratchathani, 34190, Thailand.

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)] และ ชิ้นงาน 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.

* Corresponding author. Tel. :(045)353383; fax: (045)353309
Email address: chawalit@rocketmail.com

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

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาวัสดุได้เป็นไปอย่างต่อเนื่องซึ่งวัสดุประกอบเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายทั้งในอุตสาหกรรมการบิน อวกาศ และรถยนต์ เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุประกอบมีค่าอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง (high strength weight ratio) สามารถปรับความแข็งแรงตามทิศทางที่รับภาระได้ จึงทำให้วัสดุประกอบถูกนำมาประยุกต์เป็นโครงสร้างร่วมส่วนหน้าของรถยนต์ ในการป้องกันความเสียหายของโครงสร้างห้องผู้โดยสารภายใต้การชน ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่สร้างอันตรายแก่ผู้โดยสารรถยนต์จากการกระแทกที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งพลังงานที่เกิดจากการชนจะทำให้โครงสร้างเกิดการยุบตัว และพลังงานจะถูกถ่ายเทมายังห้องผู้โดยสารตามโครงสร้างที่ยุบตัวเข้ามา กระแทก สร้างอันตรายต่อผู้โดยสารมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานที่เหลืออยู่ จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุประกอบโดย S. Solaimurugan และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของท่อทรงกระบอกพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยใช้จำนวนชั้นของไฟเบอร์คือ 4 และ 6 ชั้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงชั้นของไฟเบอร์ที่แตกต่างกันไป ชั้นงานที่ใช้ทดสอบทำจาก Woven roving (WRM) ความหนาแน่น 610 g/m^2 และ Unidirectional (UD) ความหนาแน่น 750 g/m^2 ส่วนเรซิน ใช้เรซิน ชนิด ไอโซพทาไลคเรซิน เป็นส่วนประกอบ ในการขึ้นรูปชั้นงานด้วยกระบวนการ hand lay-up สลับชั้นกันระหว่าง [WRM/(UD)_n/WRM] ตามที่กำหนดไว้คือ 4 และ 6 ชั้น ขนาดอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางภายในกับความหนา (D/t) ประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ที่ปลายท่อถึงขอบทำมุม 30 องศา ทดสอบภายใต้

โหลดแบบกึ่งคงที่ ความเร็วคือ 2 mm/min ผลการศึกษาพบว่าจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มีผลทำให้แนวโน้มการดูดซับพลังงานของพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ได้มีการศึกษาทดลองพฤติกรรมการเสียหายของโครงสร้างรถยนต์ภายใต้แรงกระทำแบบคงที่และไม่คงที่ โครงสร้างหน้าตัด รูปทรงนาฬิกาทราย รูปทรงกระบอก รูปทรงกรวยและรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยขึ้นรูปจาก Fiber/vinylester โดยได้ศึกษารูปแบบการเสียหายจากการสังเกต และใช้เครื่องขยายสเกล เพื่อหาคุณลักษณะการดูดซับพลังงานเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับพลังงานระหว่างการทดลองกับทฤษฎี [2-5] M. M. Shokrieh และคณะ [6] พบว่าหน้าตัดทรงกระบอกสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าหน้าตัดสี่เหลี่ยม Jose Daniel D. Melo และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาในการดูดซับพลังงานของ glass/polyester พบว่าชั้นงานทรงกระบอก ขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ มีค่าดูดซับพลังงานจำเพาะสูงขึ้น มากกว่าการขึ้นรูปไม่มีสุญญากาศถึงสองเท่า M. Golzar และคณะ [8] ศึกษาการสร้างต้นแบบขึ้นส่วนวัสดุประกอบเพื่อประกบกับด้านข้างโครงสร้างรถยนต์ โดยศึกษาการสร้างวัสดุประกอบเพื่อประกบโครงสร้างเพื่อใช้แทนที่เหล็ก บริเวณด้านข้างของโครงสร้างรถยนต์ แผ่นวัสดุประกบได้มีการสร้างเรียงทับซ้อนกันของเส้นใยดังนี้ [0/90] และ [+/-45] เป็นมุมไขว้ของใยแก้ว การศึกษายังใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลองแผ่นเปลือก ผลจากแบบจำลองพบว่าแผ่นวัสดุประกอบเส้นใยแก้วเรียงทับซ้อนกันที่ [0/90] สามารถดูดซับพลังงานดีกว่า [+/-45] และเมื่อได้เปรียบเทียบน้ำหนักกับวัสดุเดิมพบว่าวัสดุประกอบมีน้ำหนักเบาได้ถึง 42% ในการรับแรงในแนวแกนเท่านั้น Young Nam Kim และคณะ [9] ได้

ศึกษาคุณลักษณะการยุบตัวของท่อวัสดุประกอบได้ พิจารณา ผลกระทบของ โครงสร้างที่อัตราส่วนความหนาต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง การเสริมแรงด้วยเส้นใย และรูปแบบการเสียหายทางกลของวัสดุประกอบ

สำหรับการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์โดยมุ่งศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้วและความสามารถในการดูดซับพลังงาน ภายใต้แรงกระทำแบบกึ่งคงที่และกระแทกในแนวแกน สำหรับชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) โดยมีลักษณะมุมไขว้ที่แตกต่างกัน โดยการศึกษาแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของเส้นใยแก้วต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะ และลักษณะการเสียหาย

2. ตัวแปรที่พิจารณา

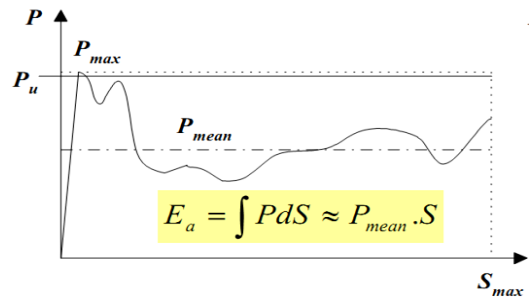
ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน (Crashworthiness) มักศึกษาจากกราฟภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง ดังตัวอย่างกราฟใน รูปที่ 1 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว เช่น ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึง ภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว ค่าพลังงานดูดซับ (Energy absorption, E_u) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอดช่วงเวลาการกระแทกหรือการยุบตัว และพลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption, E_s) หมายถึง พลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ เมื่อเทียบกับขนาดน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง โดยในบทความนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาค่าพลังงานที่ดูดซับได้และพลังงานดูดซับจำเพาะของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้าง โดยการหาค่าพลังงานดูดซับนั้นสามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง เมื่อเกิดการชนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังสมการที่ (1)

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

โดยที่ E_u 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



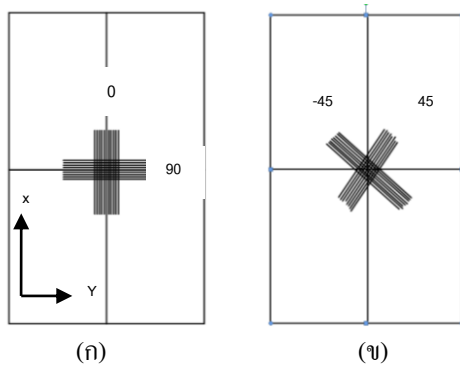
รูปที่ 1 กราฟแสดงภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง พร้อมกับแสดงตัวแปรต่างๆที่นิยมใช้ในการศึกษา

3. ขั้นตอนการศึกษา

3.1 ชิ้นงานทดสอบ

วัสดุประกอบประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนเสริมแรงทำหน้าที่รับแรงหลักให้แก่โครงสร้าง ส่วนที่สองคือ เมทริกซ์ ทำหน้าที่ป้องกันการเสียหายของส่วนที่เสริมแรง และทำหน้าที่ส่งถ่ายแรงไปยังส่วนเสริมแรง ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูปจากเส้นใยแก้วชนิดสองทิศทางกับ โพลีเอสเตอร์ชนิดไอโซทาลิก เป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 3 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 2 แสดงถึงตัวอย่างลักษณะของมุมไขว้ (ก) มุมไขว้ที่ 0/90 องศา (ข) มุมไขว้ที่ 45/-45 องศา จาก

รูปที่ 3 แสดงชิ้นงานจริงสำหรับใช้ในการทดสอบ 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. ความหนาคือ 2 mm. และความยาวคือ 100 mm ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในทุกกรณี แล้วนำผลการทดสอบมาเฉลี่ย



รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของมุมไขว้

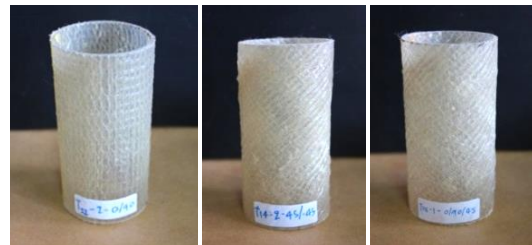
(ก) มุมไขว้ที่ 0/90 องศา (ข) มุมไขว้ที่ 45/-45 องศา

3.2 การขึ้นรูปชิ้นงาน

การขึ้นรูปชิ้นงานเป็นการขึ้นรูปแบบทาด้วยมือ 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

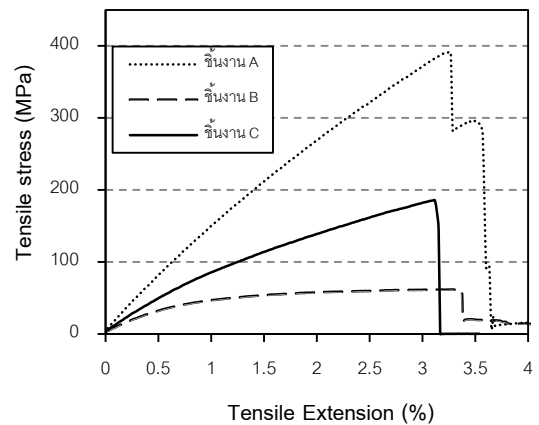
ชิ้นงาน	เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความยาว (mm)	ความหนา (mm)	มุมไขว้เส้นใย (องศา)
A	50	100	2	[(0/90)/(0/90)/(0/90)]
B	50	100	2	[(45/-45)/(45/-45)/(45/-45)]
C	50	100	2	[(45/-45)/(0/90)/(45/-45)]



(ก) ชิ้นงาน A (ข) ชิ้นงาน B (ค) ชิ้นงาน C

รูปที่ 3 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

3.3 คุณสมบัติของวัสดุ



รูปที่ 4 ความเค้น - ระยะยืดตัว ของวัสดุทดสอบ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานต่างๆ

ชิ้นงาน	ความเค้น	มอดูลัส	การยืดตัว
	สูงสุด (MPa)	ความ ยืดหยุ่น (GPa)	ณ จุดขาด (%)
A	391.33	15.53	3.67
B	61.85	7.30	3.44
C	185.42	9.49	3.20

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

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 ลักษณะเครื่องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 5 ในการทดสอบส่วนนี้ชิ้นงานจะถูกกดในแนวแกนด้วยความเร็วคงที่ 10 mm/min และกดลงมาจนกระทั่งชิ้นงานเกิดการยุบ 60 mm จากนั้นทำการ

บันทึกค่าภาระและระยะยุบตัวเพื่อไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบการกดแบบแรงกระทำกึ่งคงที่

4.2 การทดสอบการกระแทก

การทดสอบส่วนนี้ได้ดำเนินการโดยใช้ เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้การกระแทกของค้อนจากเครื่องทดสอบ ความสูงของเครื่องทดสอบคือ 3 m น้ำหนักของมวลที่ใส่ลงในค้อนสามารถใส่ได้ ระหว่าง 20 - 60 kg ในส่วนด้านการประมวลผลจะมี โพลดเซลที่มีความละเอียดในการบันทึกข้อมูล สูงสุดที่ 10,000 ค่าต่อวินาที เมื่อทดสอบ โพลดเซลจะแปลงค่าของแรงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า นำผลที่ได้ ไปยัง Data logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นผลที่ได้จะเข้าสู่เครื่อง

คอมพิวเตอร์ เพื่อแปลงค่า โดยผลที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง ภาระกระแทก (Load) และเวลา (Time) รูปที่ 6 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบภาระกระแทก โดยในการทดสอบภายใต้ภาระกระแทก ใช้ความเร็วในกระแทกคือ 7 m/s และน้ำหนักของหัวค้อนคือ 45 kg ความสูงของหัวค้อนที่ตกลงมากระแทกกับชิ้นงานคือ 2.47 m ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องความเร็วสูงและบันทึกแรงเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



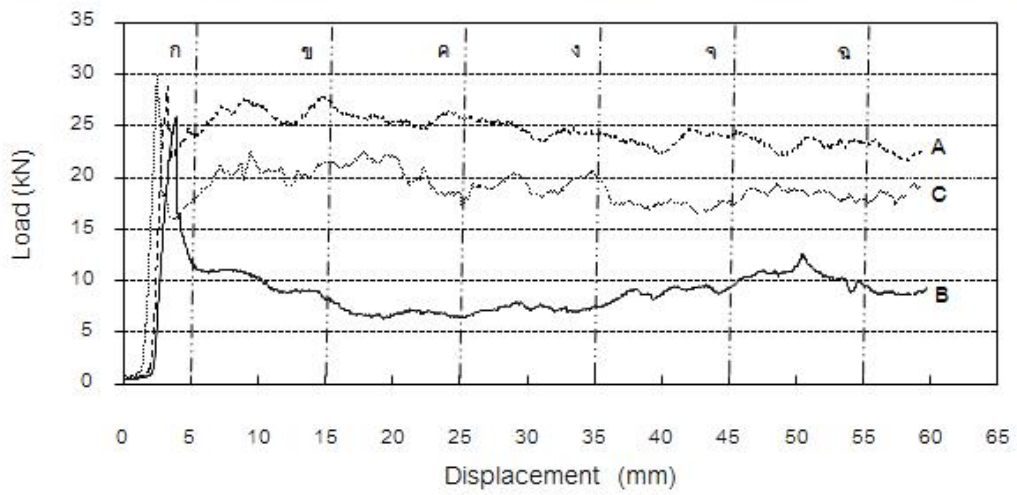
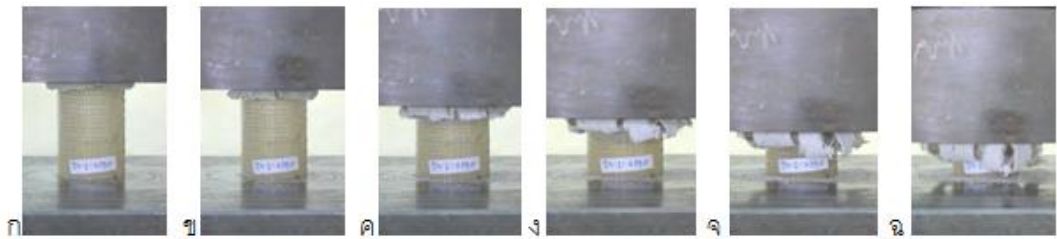
รูปที่ 6 เครื่องทดสอบการกระแทก

5.ผลการศึกษา

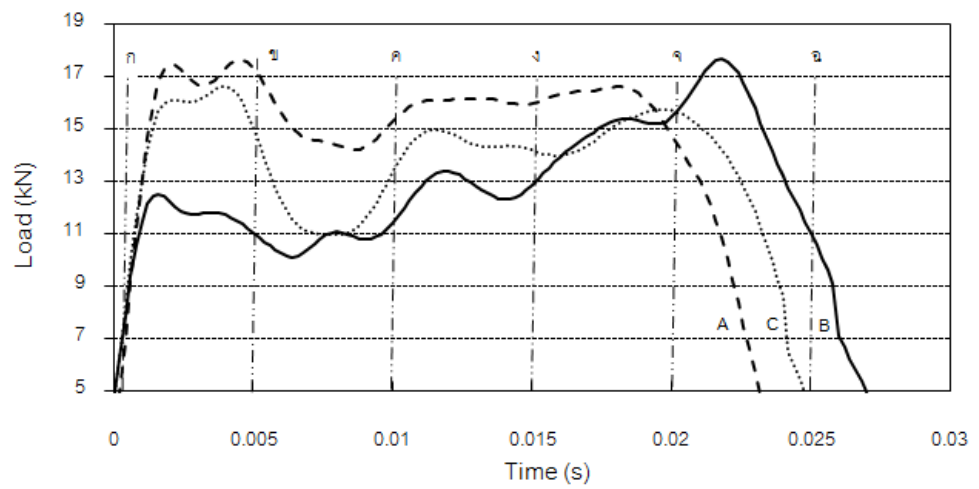
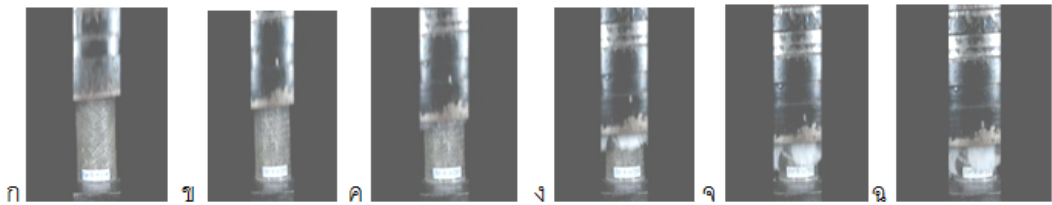
5.1 การตอบสนองต่อภาระกระทำ

โครงสร้างเมื่อถูกแรงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างจะตอบสนองด้วยการเสียรูป โดยยวบตัวในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งออกมา นอกจากนี้ในระหว่างการเสียรูปของโครงสร้าง โครงสร้างจะดูดซับแรงกระทำและปลดปล่อยแรงปฏิกิริยาออกมาตลอดเวลา

โดยแรงปฏิกิริยาที่ปล่อยออกมานั้นสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์กับระยะยวบตัวได้ เรียกว่ากราฟของภาระและระยะยวบตัว (Load Displacement Curve) หรือกราฟของแรงปฏิกิริยาและระยะยวบตัว ซึ่งนับเป็นการตอบสนองของโครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่ง จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาและระยะยวบตัวของโครงสร้างที่ทดสอบภายใต้ภาระการกดในแนวแกน เมื่อเป็นแรงกระทำแบบกึ่งคงที่ โดยในแกนนอนแสดงระยะยวบตัวของโครงสร้างตลอดการทดสอบและแกนตั้งแสดงค่าแรงปฏิกิริยาที่ได้จากการทดสอบ จากกราฟของการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงาน A มีค่าภาระเฉลี่ยสูงกว่าชิ้นงานทั้ง 2 แบบที่เหลือ หลังจากนั้นกราฟทุกเส้นจะแกว่งตัวขึ้นลงสลับกันไปเรื่อยๆ ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของกราฟที่ได้จากการทดสอบภายใต้การชน ค่าพลังงานดูดซับของโครงสร้างก็คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟและมีผลดังแสดงในตารางที่ 4 จากรูปที่ 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยากับเวลาของชิ้นงานภายใต้ภาระกระแทกในแนวแกน พบว่าชิ้นงาน A มีค่าแรงปฏิกิริยาสูงกว่าชิ้นงาน 2 แบบ เช่นกัน สำหรับการทดลองด้วยความเร็วสูงนั้นไม่สามารถวัดค่าการยวบตัวของโครงสร้างในระหว่างการเสียหายได้ เนื่องจากการยวบตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงมักนิยมเขียนกราฟของค่าภาระและเวลา มากกว่ากราฟของค่าภาระและระยะยวบตัวดังที่ใช้ในการศึกษาแบบแรงกระทำกึ่งคงที่

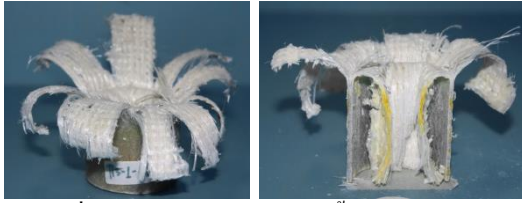


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์กันระหว่างภาระและระยะขยับตัวภายใต้แรงกระทำกึ่งคงที่

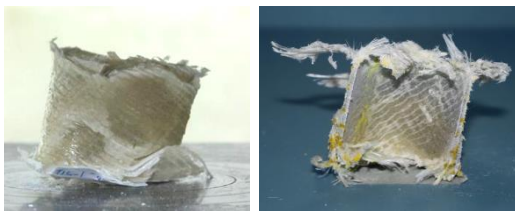


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์กันระหว่างภาระและเวลาภายใต้ภาระกระแทก

5.2 ลักษณะการเสียหาย



รูปที่ 9 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน A ภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่



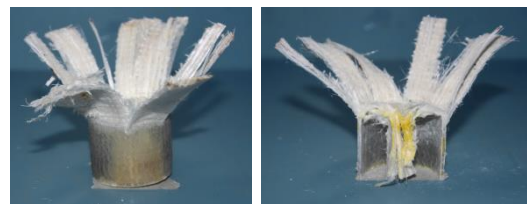
รูปที่ 10 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน B ภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่



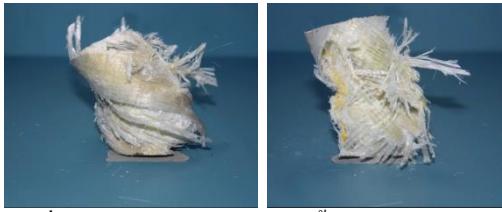
รูปที่ 11 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน C ภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่

จากรูปที่ 9 แสดงถึงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงาน ที่ได้จากการทดลองภายใต้ภาระกระทำกึ่งคงที่ในแนวแกน ของชิ้นงานที่มีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยตามแนวตั้งคือ 0 องศา และแนวขวางคือ 90 องศาของชิ้นงาน พบว่าในช่วงแรกเกิดการยุบตัวของชิ้นงานช้า หลังจากภาระกระทำต่อชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ชิ้นงานเกิดการยุบตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกละเอียดเป็นชิ้นเล็กและบานออกเป็นพุ่มหลังจากนั้นชิ้นงานเริ่มแยกและบานออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเส้นใยแยกและยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน และส่วนที่

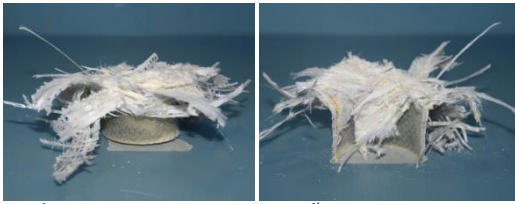
สองเส้นใยแยกและบานออกด้านนอกของชิ้นงาน จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบตัว จากการสังเกตการเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน พบว่ามีลักษณะบานออกเป็นแฉกซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยในแนวตั้ง ที่สามารถรับภาระในแนวแกนโดยตรง และอิทธิพลเส้นใยในแนวขวางทำหน้าที่ประคองให้เส้นใยในแนวตั้งให้รับภาระแนวแกน จากรูปที่ 10 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่มีลักษณะไขว้ โดยการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวเฉียง จากการทดลองพบว่าการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านล่างของชิ้นงาน มีลักษณะการเสียหายตามแนวเฉียงของเส้นใย หลังจากนั้นด้านบนของชิ้นงาน มีการเสียหายยุบตัวและซ้อนกันภายในชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยในแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เส้นใยเกิดการแตกหักตลอดจนสิ้นสุดการยุบตัว จากรูปที่ 11 พบว่าการเริ่มต้นของการเสียหายเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน มีลักษณะแตกละเอียดเป็นพุ่ม หลังจากนั้นเส้นใยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกยุบเข้าด้านในของชิ้นงาน ส่วนที่สองแยกออกด้านนอกชิ้นงาน จนกระทั่งสิ้นสุดการยุบตัว จากการสังเกตการเสียหายของชิ้นงาน พบว่ามีลักษณะบานออกเป็นพุ่ม ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยในแนวตั้งคือ 0 องศา ทำให้รับภาระในแนวแกนโดยตรงและอิทธิพลของเส้นใยในแนวเฉียง ทำหน้าที่ประคองเส้นใยในแนวตั้งและรับภาระในแนวแกน



รูปที่ 12 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน A ภายใต้ภาระกระทำ



รูปที่ 13 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน B ภายใต้ภาระ
กระแทก



รูปที่ 14 การเสียหายสุดท้ายของชิ้นงาน C ภายใต้ภาระ
กระแทก

จากรูปที่ 12 แสดงรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานภายใต้ภาระกระแทกในแนวแกนของชิ้นงาน ที่มีลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้ง คือ 0 องศา แนวขวาง คือ 90 องศา ของชิ้นงาน จากการทดลองพบว่า การเริ่มต้นเสียหายชิ้นงานเริ่มที่ปลายด้านบน มีลักษณะแตกเป็นชิ้นเล็กและแยกออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเส้นใยบุบเข้าด้านในชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกออกด้านนอกและกางออกเป็นแฉก จากการสังเกตพบว่าการเกิดจากการแยกระหว่างชั้นของเส้นใยที่ปลายด้านบนของชิ้นงานที่มีการเรียงตัวของเส้นใยในแนวตั้ง และแนวขวาง ซึ่งเป็นตัวขึ้นระหว่างเส้นใยแนวตั้ง เมื่อรับภาระในแนวแกนจึงมีลักษณะกางออกเป็นแฉก ประมาณ 7 – 8 แฉก จากรูปที่ 13 จากการทดลองพบว่าการเสียหายของชิ้นงานเกิดขึ้นที่ปลายด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะของเส้นใยแตกหักในแนวเฉียงของชิ้นงานในทิศทาง 45 องศา หลังจากนั้นเมื่อชิ้นงานรับภาระเพิ่มมากขึ้น เกิดการเสียหายในทิศทาง -45 องศา และยุบตัวลงในลักษณะซ้อนกัน ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยภายในชิ้นงานมีลักษณะแนวเฉียง เมื่อรับภาระในแนวแกนทำให้เกิดความเสียหายตามแนวเฉียงของชิ้นงาน จากรูปที่ 14 พบว่าการเริ่มต้นการเสียหายเกิดขึ้นที่ด้านบนของ

ชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะบานและแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเส้นใยบุบเข้าด้านในชิ้นงาน และส่วนที่สองเส้นใยแยกออกและกางออกนอกชิ้นงาน จากการสังเกตพบว่าการเกิดจากการแยกชั้นเส้นใยที่ปลายด้านบนของชิ้นงานเส้นใยแนวเฉียงเกิดการพับเข้าไปในชิ้นงาน และเส้นใยแนวตั้งและแนวเฉียงมีลักษณะแตกกระจาย

5.3 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาระเฉลี่ย

ตารางที่ 3 ผลคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ชิ้นงาน	ค่าภาระเฉลี่ย (kN)	ค่าภาระเฉลี่ยสูงสุด (kN)	ค่าภาระเฉลี่ยต่ำสุด (kN)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาระเฉลี่ย
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 5.3 แสดงผลการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนชิ้นงานที่ทดสอบทั้งหมดสามชิ้นงานแล้วนำมาเฉลี่ย ในทุกกรณี พบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในกรณีภายใต้ภาระกึ่งคงที่มีค่าเท่ากับ 0.72 – 1.19 และในกรณีภายใต้ภาระกระแทกมีค่าเท่ากับ 0.29 – 0.32 ซึ่งจากตัวเลขการกระจายตัวของข้อมูล พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานภาระเฉลี่ยทั้งสองกรณี มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

5.4 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ

ชั้นงาน	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 แสดงผลการทดสอบชั้นงานภายใต้ภาระกดแบบกึ่งคงที่ในแนวแกน พบว่าชั้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ 29.80 kJ/kg ส่วนชั้นงาน B และ C สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 8.89 kJ/kg และ 20.56 kJ/kg ตามลำดับ โดยชั้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากกว่าชั้นงาน B และ C เท่ากับ 235.20 % และ 44.94 % ตามลำดับ สำหรับการทดสอบภายใต้ภาระกระแทกในแนวแกน พบว่าชั้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ 17.55 kJ/kg ในขณะที่ชั้นงาน B และ C สามารถดูดซับพลังงานได้เท่ากับ 9.03 kJ/kg และ 14.61 kJ/kg ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชั้นงาน A สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ มากกว่าชั้นงาน B และ C เท่ากับ 94.35 % และ 20.12 % ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าชั้นงาน A ที่มีมุมของเส้นใย [(0/90)/(0/90)/(0/90)] มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นงาน B และ C ซึ่งสาเหตุเกิดจากการเรียงตัวของของเส้นใยแก้วที่มีทิศทาง 0 องศา สามารถต้านทานต่อแรงกระทำที่เกิดขึ้นในแนวแกนได้สูง เนื่องจากหน้าตัดของเส้นใยรับแรงหรือความเค้นโดยตรง เมื่อเปรียบเทียบกับทิศทางของเส้นใยแบบอื่นๆ และการเรียงตัวของเส้นใยที่มีทิศทางแนวขวางคือ 90

องศา ทำหน้าที่ประคองเส้นใยในแนวตั้งและรับภาระในแนวแกน

6. สรุป

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

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยนี้ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Solaimurugan, R. Velmurugan., (2007), "Influence of fibre orientation and stacking sequence on petalling of glass/polyester composite cylindrical shells under axial compression," International Journal of Solids and Structures 44: 6999–7020

- [2] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1997), "The static and dynamic axial crumbling of thin-walled fiberglass composite square tubes," *Composite Part B*, Vol.28B, pp. 439-451.
- [3] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1996), "The static and dynamic axial collapse of fiberglass composite automotive frame rails," *Composite Structures*, Vol. 34, pp. 77-90.
- [4] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1996), "Analysis of Failure mechanisms Observed in Axial Collapse of Thin-Walled Circular Fiberglass Composite Tubes," *Composite Structures*, Vol. 24, pp. 335-352.
- [5] A.G. Mamalis, D.E. Manolakos, G.A. Demosthenous and M.B. Ioannidis., (1997), "Analytical modeling of the static and dynamic axial collapse of thin-walled fiberglass composite conical shells," *Composite Structures*, Vol. 19, pp. 477-492.
- [6] M. M. Shokrieh, H. Tozandehjani, and M. J. Omid., (2009), "Effect of fiber orientation and cross section of composite tubes on their energy absorption ability axial dynamic loading," *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 45 pp.567-576
- [7] Jose Daniel D. Melo, Andre Luiz s. Silva, John Edward N. Villena., (2008), "The effect of processing conditions on the energy absorption capability of composite tubes," *Composite Structures*, Vol.82, pp. 622-628.
- [8] M.Golzar, M.Poorzeinolabedin. (2010) , "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., (2003), "Impact Collapse Characteristics of CF/Epoxy Composite Tubes for Light-Weights," *KSME International Journal* , Vol. 17, pp.48-56.