

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 สามารถปรับปรุงและเพิ่มความแข็งแรงได้และสามารถลดแรงกระแทกจากการชนได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับมวลของโครงสร้าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 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 $[0/90]_3$ 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

วัสดุประกอบถูกนำมาประยุกต์เป็นโครงสร้างส่วนหน้าของรถยนต์ ในการป้องกันความเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของผู้โดยสาร [1] โดยใช้ทดแทนโลหะหรืออะลูมิเนียม มีลักษณะการเสียหาย แบบพับ และ แบบงอ ซึ่งพลังงานที่กระจายจะถูกรวมทั้งหมดมาจุดเดียวในแนวแคบๆ ในขณะที่วัสดุประกอบมีลักษณะการเสียหายตลอดแนวแกนท่อในลักษณะคงที่จึงส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของแรงได้มากกว่า นอกจากนี้เนื่องจากมีวัสดุประกอบน้ำหนักเบา มีความแข็งแรง และมีความคงทน วัสดุประกอบเป็นอีกทางเลือกเพื่อทดแทนวัสดุเดิม จึงได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุประกอบโดย [2] ได้ทำการศึกษา การดูดซับพลังงานของท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมที่ทำจากเหล็กภายใต้การกระแทก โดยมีการเพิ่มความแข็งแรงด้วยเส้นใยคาร์บอน ชิ้นงานทดสอบมี 3 กลุ่มคือ steel , steel – CFRP และ CFRP ทำการทดสอบภายใต้การกระแทกในแนวแกนโดยการปล่อยมวล 574 kg จากความสูง 1.835 m และที่ความเร็วของมวลกระทบ 6 m/s (พลังงานกระทบ 10.3 kJ) ผลของการศึกษาพบว่า ชิ้นงานทดสอบกลุ่ม steel-CFRP มีค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะสูงกว่ากลุ่ม steel อยู่ 35% และมากกว่ากลุ่ม CFRP อยู่ 75% [3] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของท่อทรงกระบอก FRP โดยสนใจศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการดูดซับพลังงานของท่อ FRP ที่จำนวนชั้นของไฟเบอร์ เป็น 4 และ 6 ชั้น ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงชั้นของไฟเบอร์ที่ต่างกันไปในชิ้นงานที่ใช้ทดสอบทำจาก Woven roving (WRM) ความหนาแน่นคือ 610 g/m^2 และ Unidirectional (UD) ความหนาแน่นคือ 750 g/m^2 ส่วนเรซินใช้เรซินโพลีเอสเตอร์ชนิดไอโซพาทาลิก เป็นส่วนประกอบในการขึ้นรูปชิ้นงาน กระบวนการ hand lay-up สลับชั้นกันระหว่าง $[\text{WRM}/(\text{UD})_m/\text{WRM}]$ ตามที่กำหนดไว้คือ 4 และ 6 ชั้น ขนาดอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางภายในกับความหนา (D/t) ประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ที่ปลายท่อกลิ้งขอบทำมุม 30° ใช้โหลด quasi-static ความเร็วคือ 2 mm/min ผลการศึกษาพบว่า จำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้นของ FRP มีผลทำให้แนวโน้มการดูดซับพลังงานของ FRP สูงขึ้น

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน ท่อชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นท่อรูปทรงกระบอก โดยศึกษาอิทธิพลของเส้นใยแก้ว ลักษณะวิธีการเสียหาย และความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะ

2. ชิ้นงานทดสอบและวิธีการทดลอง

2.1 ชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองโดยขึ้นรูปจากเส้นใยแก้ว ผืนชนิดสองทิศทางกับโพลีเอสเตอร์ชนิดไอโซพาทาลิกเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยมือ (Hand lay-up) ที่มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 1 ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 50 mm. ความหนาคือ 2 mm. และความยาวคือ 100 mm ดังแสดงใน รูปที่ 2

การขึ้นรูปด้วยการทาเรซินลงบนเส้นใยแก้ว เริ่มต้นจากการผสมเรซินและตัวทำให้แข็งลงในแก้วพลาสติก แล้วคนเรซินในทิศทางเดียวประมาณ 2 ถึง 3 นาที จากนั้นทาเรซินลงใยแก้วจนครบจำนวนชั้นของใยแก้ว ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ใยแก้วทั้งหมด 6 ชั้น จากนั้นใช้ลูกกลิ้งโลหะเกลียว กลิ้งบนชิ้นงานเพื่อไล่อากาศออก



รูปที่ 1 ลักษณะของการหมนแม่แบบชิ้นงาน

หลังจากผ่านการทาเรซินและรีดอากาศออกด้วย ลูกกลิ้งแล้ว เครื่องหมุนแม่แบบหมุนด้วยความเร็วที่ 34 rpm ใช้เวลาในการหมุนประมาณ 180 นาที ดังรูปที่ 1 เพื่อให้เรซินเซ็ทตัวและมีความแข็งแรงที่จะถอดแบบออกได้ง่าย



รูปที่ 2 แสดงถึงชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป

2.2 วิธีการทดลอง

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

ในการทดสอบภายใต้ภาวะกระแทกในแนวแกน โดยใช้ความเร็วในกระแทกคือ 7 m/s และน้ำหนักของหัวค้อนคือ 45 kg ความสูงของหัวค้อนที่ตกลงมากระแทกกับชิ้นงานคือ 2.5 m ทำการบันทึกภาพด้วยกล้องความเร็วสูงและบันทึกแรงเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในทุกกรณี โดยพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ระหว่าง 0.289 ถึง 0.317

2.3 ตัวแปรที่พิจารณา

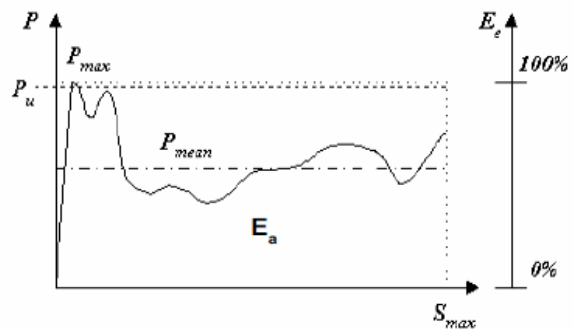
ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้างภายใต้การชน (Crashworthiness) มักจะศึกษากราฟภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างดังตัวอย่างกราฟในรูปที่ 3 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว เช่น ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึง ภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจนสิ้นสุดการยุบตัวค่าพลังงานดูดซับ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

$$E_a = \int PdS \tag{1}$$

โดยที่ E_a คือค่าพลังงานดูดซับ P คือค่าภาระ S คือค่าระยะการยุบตัว และสามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะได้จากสมการที่ (2)

$$E = \frac{\int PdS}{mass} \approx \frac{P_{mean}S}{mass} \tag{2}$$

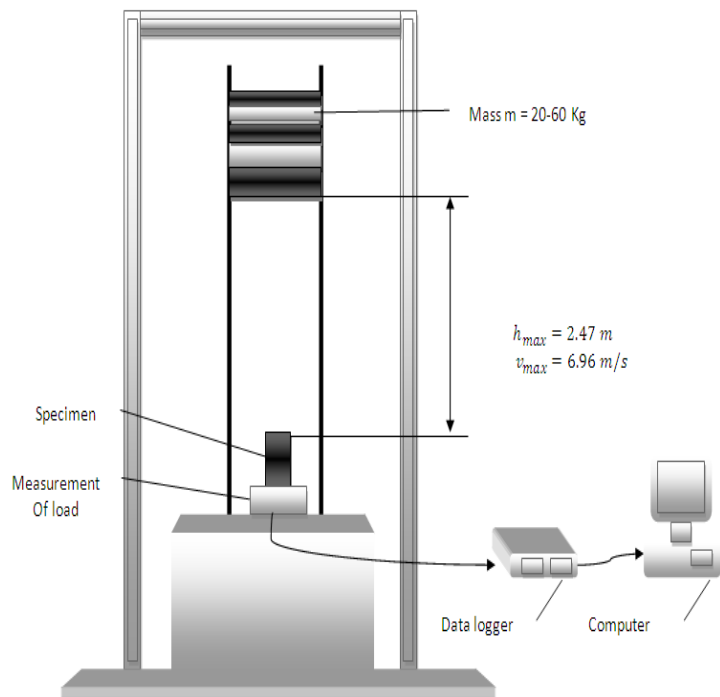
โดยที่ E_s คือค่าพลังงานดูดซับ P_{mean} คือค่าภาระเฉลี่ย S คือค่าระยะการยุบตัว และ mass คือมวลของโครงสร้าง



รูปที่ 3 กราฟแสดงภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง พร้อมกับแสดงตัวแปรต่างๆที่นิยมใช้ในการศึกษา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 เครื่องทดสอบการกระแทก (ก) เครื่องทดสอบจริง (ข) โดอะแกรมของเครื่องทดสอบ

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

ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาส ได้แก่ ลักษณะการเสียหาย และ ความสามารถในการดูดซับพลังงาน ดังนี้

3.1 ลักษณะการเสียหาย

รูปที่ 8 เป็นรูปแบบการเสียหายภายใต้ภาระการชนในแนวแกนของชิ้นงาน ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องความเร็วสูง โดยหน้าตัดของหัวค้อนถูกกระแทกกับหน้าตัดด้านบนของท่อ ซึ่งลักษณะการเสียหายพบว่ามุมการไขว้ที่ [+45/-45]₃ รูปที่ 5 มีลักษณะการเสียหายแบบแตกเปราะ โดยเริ่มจากด้านบนของชิ้นงานและตามแนวของเส้นใยหรือเรียกว่าการเสียหายแบบ Brittle mode มุมไขว้ที่ [0/90]₃ ดังรูปที่ 6 มีลักษณะการ

ยุบตัวจากด้านบนของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะบานออกและแยกออกเป็น 8 ถึง 9 แฉก โดยเรียกลักษณะการเสียหายแบบนี้ว่า Spay mode ในส่วนของมุมไขว้ [+45/-45]/[0/90]/[+45/-45] ดังรูปที่ 7 ซึ่งลักษณะเสียหายเริ่มจากด้านบนของชิ้นงานแตกและบานออกเป็นชิ้นเล็กตลอดแนวแกนท่อ ซึ่งลักษณะการเสียหายเรียกว่า Crush mode สำหรับการตอบสนองของแรงตลอดการกระแทกแสดงใน ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นค่าของภาระกระทำกับและเวลา ผลการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2

จากรูปที่ 9 กราฟแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างภาระกับเวลา ของแต่ละชิ้นงานตลอดการทดสอบ จากการทดสอบภายใต้ภาระกระทำในแนวแกน โดยแกนตั้งเป็นค่าของภาระและแกนนอนเป็นเวลาทีกระทำต่อชิ้นงาน จากกราฟพบว่ากรณีการกระทำในแนวแกนนั้น ลักษณะกราฟมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ โดยมีคลื่นของกราฟในช่วงบน เนื่องจากการแตกหักของโครงสร้าง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าชิ้นงานที่มีมุมไขว้ [+45/-45]₃ มีค่าของภาระค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่นๆ

3.2 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

จากการทดสอบของชิ้นงาน ภายใต้แรงกระทำในแนวแกน โดยมีมุมการไขว้ของเส้นใย 3 แบบ จากกราฟ

รูปที่ 9 ดังกล่าว สามารถคำนวณหาค่าภาระเฉลี่ยที่เกิดขึ้น จากการทดสอบ และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับและพลังงานดูดซับจำเพาะของชิ้นงานดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบของชิ้นงานภายใต้แรงกระทำในแนวแกน 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



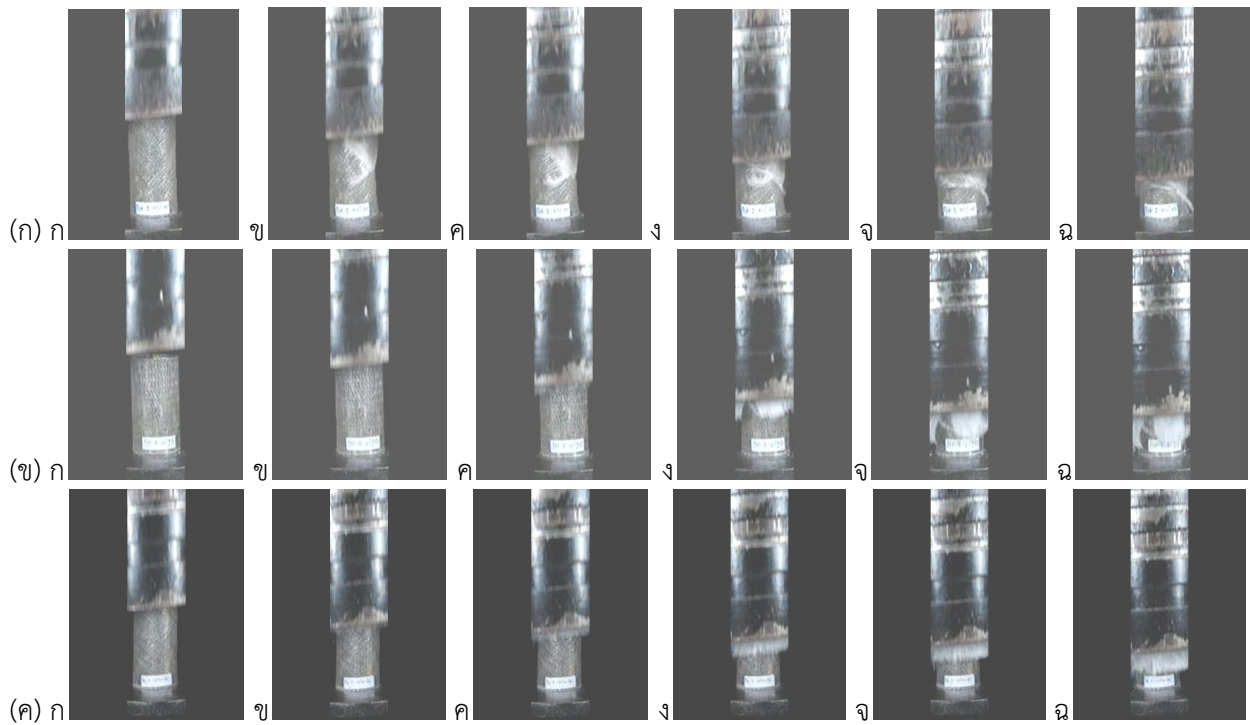
รูปที่ 5 การเสียหายสุดท้ายของโครงสร้างที่เสียหายของชิ้นงาน [+45/-45]₃



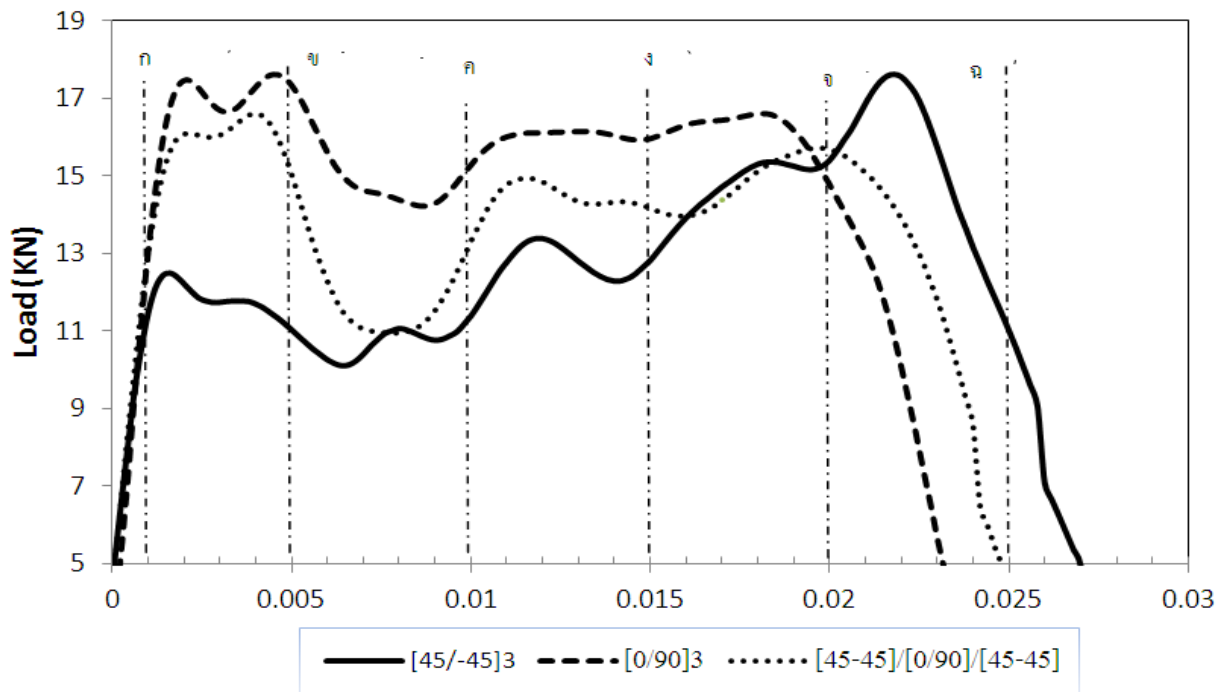
รูปที่ 6 การเสียหายสุดท้ายของโครงสร้างที่เสียหายของชิ้นงาน [0/90]₃



รูปที่ 7 การเสียหายสุดท้ายของโครงสร้างที่เสียหายของชิ้นงาน [+45/-45]/ [0/90] / [+45/-45]



รูปที่ 8 ชั้นตอนกระบวนการเสียหายของชิ้นงาน (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

จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสภายใต้แรงกระแทกใน 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 และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] George C.Jacob, John F. Fellers, Srdan 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

