

พฤติกรรมการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน Crashworthiness Behavior of Foam-Filled Fiberglass Tube Subjected to Axial Impact

<u>นิรุต อ่อนสลุง</u>1*, จรัญ มงคลวัย¹, วิศิษฐ์ จันทร์ชื่น² และ ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์²

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160 *ติดต่อ: E-mail: onsalung@gmail.com โทรศัพท์ 042-772391 โทรสาร 042-772392 ² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทรศัพท์: 045-353308, โทรสาร: 045-353309

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองต่อการดูดซับพลังงานของท่อไฟเบอร์กลาสที่เติมโฟม ภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Infusion) ที่ มีการเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ ได้แก่ ชิ้นงาน A มีมุมไขว้ [0/90/0/90] ชิ้นงาน B มีมุมไขว้ [90/0/90/0] ชิ้นงาน C มีมุมไขว้ [45/-45/45/-45] ชิ้นงาน D มีมุมไขว้ [90/0/45/-45] และชิ้นงาน E มีมุมไขว้ [45/-45/90/0] ตามลำดับ ชิ้นงานขึ้นรูปจาก E-glass/polyester และถูกเติมโฟมชนิดโพลียูรีเทน (Polyurethane, PU) ความ หนาแน่นคือ 100 kg/m³ ขนาดของท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคือ 47 มิลลิเมตรและมีความยาว 100 มิลลิเมตร ใน การทดสอบชิ้นงานทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการกระแทก (Vertical Impact Testing Machine) แบบตก กระแทกอิสระด้วยความเร็วคงที่ 6.26 m/s ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงาน E มีความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะ มากที่สุด นอกจากนี้ในบทความยังได้แสดงถึงรูปแบบและลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นอีกด้วย ค**ำหลัก:** วัสดุประกอบ, การกระแทก, ไฟเบอร์กลาส, การดูดซับพลังงาน

Abstract

This research is purposed to study crashworthiness behavior of foam -filled fiberglass tube subjected to axial Impact. The specimen are made of fiberglass which manufacturing by Vacuum Infusion method and there are different ply angles of fiberglass 5 patterns. The ply angle of specimen A – E are consisting of [0/90/0/90], [90/0/90/0], [45/-45/45/-45], [90/0/45/-45], and [45/-45/90/0] respectively. The outside diameter tube is 47 mm, and 100 mm of length. The axial impact test was done by Vertical Impact Testing Machine with the impact speed 6.26 m/s. The result shown that the specimen patterns E are highest specific energy absorption than other specimen tube. In addition, the patterns of collapse mode as response of specimens are also discussed in the paper. *Keywords*: Composite Materials, Impact, Fiberglass, Energy absorption

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31 4-7 กรกฎาคม 2560 จังหวัดนครนายก



หน้าตัดทรงกระบอกดูดซับพลังงานได้มากกว่าหน้าตัด สี่เหลี่ยม [11, 12] ได้ทำการศึกษาความสามารถในการ ดูดซับพลังงานจากการชนของท่อทรงกระบอกวัสดุ ประกอบโดยท่อวัสดุประกอบมีจำนวนชั้นของไฟเบอร์คือ 4 และ 6 ชั้น ซึ่งเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงชั้นของไฟเบอร์ที่ แตกต่างกันไป ชิ้นงานที่ใช้ทดลองทำจาก เส้นใยแก้วชนิด Woven roving (WRM) ความหนาแน่น 610 g/m² และ เส้นใยแก้วทิศทางเดียว (UD) ความหนาแน่น 750 g/m² ้ส่วนเรซิ่นใช้ คือเรเซิ่นไอโซพทาลิก เป็นส่วนประกอบใน การขึ้นรูปชิ้นงาน และใช้ทดสอบหาค่าคุณสมบัติของวัสดุ ประกอบที่ใช้ทดลองโดยการขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้ทดลองจะ ขึ้นรูปด้วยมือ สลับชั้นกันระหว่าง [WRM/(UD)_m/WRM] ตามที่กำหนดไว้คือ 4 และ 6 ชั้น ขนาดอัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางภายในกับความหนา (D/t) ประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ที่ปลายท่อลบขอบทำมุม 30 องศา ้ความเร็วคือ 2 mm/min ผลการศึกษาพบว่า จำนวนชั้นที่ เพิ่มขึ้นของวัสดุประกอบ มีผลทำให้แนวโน้มการดูดซับ พลังงานสูงขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการ ตอบสนองของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมภายใต้แรง กระแทกในแนวแกน ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงาน ที่ขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Infusion) ที่มี การเรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 5 ชิ้นงาน ขึ้น รูปจาก E-glass/polyester และถูกเติมโฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane, PU) ในการทดสอบชิ้นงานนั้นได้ทำการ ท ด ส อ บ โด ย ใช้ เค รื่ อ ง Vertical Impact Testing Machine ตกกระแทกแบบอิสระด้วยความเร็วคงที่จุด สัมผัส 6.26 m/s นอกจากนี้ในบทความยังได้แสดง ลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2. การเตรียมการทดลอง

2.1 ชิ้นงานการทดลอง

วัสดุประกอบที่ใช้ในการศึกษาคือพลาสติกเสริมเส้น ใยแก้วโดยขึ้นรูปจากโพลีเอสเทอเรซิ่นชนิด Isophthalic

1. บทน้ำ

วัสดุประกอบถูกนำมาประยุกต์เป็นโครงสร้างร่วม ส่วนหน้าของรถยนต์ เพื่อการป้องกันความเสียหายของ โครงสร้างห้องผู้โดยสารภายใต้การชน ซึ่งบริเวณดังกล่าว เป็นบริเวณที่สร้างอันตรายแก่ผู้โดยสารรถยนต์จากแรง กระแทกที่อาจเกิดขึ้น ในกรณีที่เกิดการชนพลังงานที่เกิด จากการชนจะทำให้โครงสร้างเกิดการยบตัว พลังงานจะ ถูกถ่ายเทมายังห้องผู้โดยสารตามโครงสร้างที่ยุบตัวเข้ามา กระแทก สร้างอันตรายต่อผู้โดยสารมากหรือน้อยขึ้นอยู่ กับพลังงานที่เหลืออยู่ ดังนั้นผู้ออกแบบยังต้องเลือกใช้ ขนาด รูปร่าง ชนิดวัสดุ และพฤติกรรมความเสียหายของ โครงสร้างให้เป็นตามความต้องการตามเงื่อนไขของตัว แปรดังกล่าวข้างต้น จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของ ลักษณะ การเสริมแรง รูปทรง มุมไขว้ของเส้นใย อัตราการกด ที่ นำไปสู่ความสามารถของการดูดซับพลังงานของท่อวัสดุ ประกอบ เช่น การศึกษาทดลองพฤติกรรมการเสียหาย ของโครงสร้างรถยนต์ภายใต้แรงกระทำแบบคงที่และไม่ คงที่ โครงสร้างหน้าตัด รูปทรงนาฬิกาทราย รูป ทรงกระบอก รูปทรงกรวย [1-5] และรูปทรงสี่เหลี่ยม โดย ขึ้นรูปจาก Fiber/vinyl ester ได้ศึกษา วิธีการเสียหาย จากการสังเกต และใช้เครื่องขยายสเกล เพื่อหา คุณลักษณะการดูดซับพลังงาน เปรียบเทียบระหว่างการ ทดลองกับทฤษฎี [6-9] การศึกษาคุณลักษณะการยุบตัว ของท่อวัสดุประกอบได้พิจารณาศึกษา ผลกระทบของ โครงสร้างที่อัตราส่วนความหนาต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง การเสริมแรงด้วยเส้นใย และ รูปแบบการเสียหายทางกล ของวัสดุประกอบ [10] การศึกษาผลของกระบวนการขึ้น รูปด้วยระบบสุญญากาศและไม่ใช้สุญญากาศ ในการดูด ซับพลังงานของ glass/polyester พบว่าชิ้นงานรูป ทรงกระบอก ขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ มีค่าดูดซับพลังงาน จำเพาะสูงขึ้นสองเท่า การศึกษาอิทธิพลของการดูดซับ พลังงาน ของพื้นที่หน้าตัดภายใต้แรงกระทำในแนวแกน ได้พิจารณาศึกษาอิทธิพลของใยแก้วเสริมแรง และพบว่า



สะอาดและขัดกระดาษทรายให้เรียบมัน จากนั้นนำ กระดาษและเทปใสพันรอบแม่แบบทั้งหมดในลักษณะ เกลียว เพื่อเป็นตัวถอดแบบและลดปัญหาเรซิ่นติดกับ แม่แบบ พันเส้นใยแก้ว ตามองศาหรือมุมเรียงทับซ้อน ตามที่กำหนดไว้ ต่อมาพันฟิล์มลอกแบบ ผ้าซับเรซิ่น ตา ข่ายนำเรซิ่น และห่อด้วยถุงสุญญากาศ จากนั้นดูดอากาศ ออกจากชิ้นงานด้วยปั้มสุญญากาศ ที่ความดัน 1 bar และ ปล่อยเรซิ่นเข้าเพื่อให้แทรกซึมแต่ละชั้นของเส้นใย และ ปล่อยให้ชิ้นงานบ่มตัวระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแกะแบบ และตัดชิ้นงานตามขนาดต้องการ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในทุกกรณีแล้วนำผลการทดสอบมาเฉลี่ย

มีคุณสมบัติทนแรงกระแทก ทนการกัดกร่อน และเป็น ฉนวนทางไฟฟ้า ในส่วนของเส้นใยแก้วที่ใช้ในการ เสริมแรงคือ ชนิด E-glass แบบทิศทางเดียว โดยมีการ เรียงทับซ้อนและมุมไขว้ที่แตกต่างกัน 5 ขิ้นงานคือ ชิ้นงาน A มีมุมไขว้ [0/90/0/90] ซิ้นงาน B มีมุมไขว้ [90/0/90/0] ซิ้นงาน C มีมุมไขว้ [45/-45/45/-45] ชิ้นงาน D มีมุมไขว้ [90/0/45/-45] และซิ้นงาน E มีมุม ไขว้ [45/-45/90/0] ตามลำดับ ในด้านของการขึ้นรูป ชิ้นงานถูกขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศ Vacuums Infusion ดังรูปที่ 1 เริ่มต้นจากแม่แบบมีลักษณะท่อเหล็ก ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 44.8 mm. ทำความ ตารางที่ 1 ขนาดของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟม

Specimens	Angle	Foam Weight	GFRP Weight	Total Weight	Diameter	Thinness	Height
(Unit)	(degree)	(g)	(g)	(g)	(mm)	(mm)	(mm)
А	[0/90/0/90]	14.33	20.00	34.33	47.02	1.12	99.88
В	[90/0/90/0]	15.33	17.33	32.67	46.33	1.03	99.55
С	[45/-45/45/-45]	14.67	19.67	34.33	46.66	1.10	99.96
D	[90/0/45/-45]	14.78	19.00	33.78	46.67	1.08	99.80
E	[45/-45/90/0]	14.33	19.00	33.33	47.01	1.17	100.67

กาศ: (ก) พันเส้นใยแก้วรอบแม่แบบ (ข) พันฟิล์มลอก แบบ และ (ค) อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นงาน

โฟมโพลียูรีเทนที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ โฟมชนิดแข็ง (Rigid Polyurethane Foam) มีคุณ สม บัติเด่น เป็น ฉนวนที่ติดไฟแต่ไม่ลามไฟ มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง สามารถใช้งานได้ในอุณหภูมิระหว่าง -70 ถึง 100 องศา เซลเซียส มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี โฟมชนิดนี้เกิด จากการผสมกันของของเหลว 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 มีสี เหลืองคล้ายโพลีเอสเทอร์เรซิ่น เรียกว่า โฟมขาวหรือ โพลิ ออล (Polyol) ชนิดที่ 2 มีสีน้ำตาลไหม้เกือบดำ ซึ่ง เรียกว่าโฟมดำหรือไดไอโซยาเนต (Diisocyanate) ดัง แสดงในรูปที่ 2 ในการให้กำเนิดโฟมจะนำเอาของเหลวทั้ง 2 ชนิดมาผสมกันในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร แล้วกวน





รูปที่ 1 การขึ้นรูปชิ้นงานท่อไฟเบอร์กลาสด้วยวิธีสูญญา







จึงทำการถอดแบบแล้วตัดขนาดโฟมตามที่ต้องการ จากรูปที่ 3 แสดงถึงท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟม ที่ใช้ ในการทดลอง เส้นผ่าศูนย์กลาง 47 mm ความหนา 1.2 mm และความสูง 100 mm ในส่วนขนาดชิ้นงานอื่นๆดัง แสดงในตารางที่ 1



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 โฟมโพลียูรีเทน: (ก) โฟมขาว (ข) โฟมดำ และ (ค) โฟมโพลียูรีเทนที่ขึ้นรูปเสร็จ



รูปที่ 3 ชิ้นงานไฟเบอร์กลาสที่เติมโฟมสำหรับทดสอบ

2.2 ตัวแปรที่พิจารณา

ในการศึกษาทางด้านการเสียหายของโครงสร้าง ภายใต้การชน (Crashworthiness) มักจะศึกษากราฟ ภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้างดังตัวอย่างกราฟในรูป ที่ 4 โดยมีตัวแปรที่สำคัญหลายตัว เช่น ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load, P_{mean}) หมายถึง ภาระเฉลี่ย ตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจน สิ้นสุด การยุบตัวค่าพลังงานดูดซับ (Energy absorption, E_a) หมายถึงพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ตลอด ช่วงเวลาการกระแทกหรือการยุบตัว และพลังงานดูดซับ จำเพาะ (Specific energy absorption, E_s) หมายถึง พลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ เมื่อเทียบกับขนาด น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง โดยในบทความนี้ได้มุ่งเน้น ศึกษาค่าพลังงานที่ดูดซับได้และพลังงานดูดซับจำเพาะ ของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอก ถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของ โครงสร้าง โดยการหาค่าพลังงานดูดซับนั้นสามารถหาได้ จากพื้นที่ใต้กราฟของภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง เมื่อเกิดการชนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังสมการที่ (1)

$$E_{a} = \int P ds \tag{1}$$

โดยที่ *E*_o คือค่าพลังงานดูดซับ P คือค่าภาระ S คือค่า ระยะการยุบตัว และสามารถหาค่าพลังงานดูดซับจำเพาะ ได้จากสมการที่ (2)







รูปที่ 5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง: (ก) เครื่องทดสอบ แรงกระแทก (ข) โหลดเซลล์

ในส่วนการประมวลผลและเก็บข้อมูลจะใช้โหลดเซล ที่มีความละเอียดในการบันทึกข้อมูล สูงสุดที่ 10,000 ค่า ต่อวินาที (10 kHz) ชนิด Small-sized Compression Load Cell, Capacity: 200 kN ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 98 mm ความสูง 55 mm เมื่อทดสอบโหลดเซลจะแปลง ค่าของแรงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้านำผลที่ได้ส่งไปยัง Data logger เพื่อทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นผลที่ได้จะเข้าสู่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแปลงค่า โดยผลที่ได้จะเป็น ความสัมพันธ์ระหว่าง ภาระกระแทก (Load) และเวลา (Time)

จากรูปที่ 5 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบการ กระแทก โดยในการทดสอบภายใต้ภาระกระแทกนั้นใช้ ความเร็วในกระแทกคือ 6.26 m/s และน้ำหนักของหัว ค้อน คือ 15.82 kg ความสูงของหัวค้อนที่ตกลงมา กระแทกกับชิ้นงานคือ 2 เมตร ทำการบันทึกภาพด้วย กล้องความเร็วสูงและบันทึกแรงเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล ต่อไป

4. ผลการทดลอง

4.1 การตอบสนองของภาระกระทำ

โครงสร้างเมื่อถูกแรงกระทำเป็นระยะเวลาหนึ่ง โครงสร้างจะตอบสนองด้วยการเสียรูป โดยยุบตัวใน รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งออกมา จากรูปที่ 5 - รูปที่10 แสดงกระบวนการเสียหายของชิ้นงานที่ถ่ายโดยกล้อง ถ่ายภาพความเร็วสูง นอกจากนี้ในระหว่างการเสียรูปของ โครงสร้าง โครงสร้างจะดูดซับแรงกระทำและปลดปล่อย แรงปฏิกิริยาออกมาตลอดเวลา โดยแรงปฏิกิริยาที่ปล่อย ออกมานั้นสามารถเขียนเป็นกราฟของภาระและระยะ

$$E_s = \frac{\int Pds}{mass} \tag{2}$$

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



รูปที่ 4 กราฟแสดงภาระและระยะยุบตัวของโครงสร้าง พร้อมกับแสดงตัวแปรต่างๆที่นิยมใช้ในการศึกษา

3. เครื่องมือใช้ในการทดลอง

การทดสอบได้ดำเนินการโดยใช้ เครื่อง Vertical Impact Testing Machine ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่ใช้ ภาระกระแทกของค้อนจากเครื่องทดสอบ ความสูงของ เครื่องทดสอบคือ 3 m น้ำหนักของมวลที่ใส่ลงในค้อน สามารถใส่ได้ ระหว่าง 20 - 60 kg









รูปที่ 8 กระบวนการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟม ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใย [45/-45/45/-45]

จากรูปที่ 8 แสดงการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาส เติมโฟมที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/45/-45] พบว่าชิ้นงานเกิดการยุบตัวบริเวณกึ่งกลางของ ชิ้นงานในลักษณะแนวเฉียง ซึ่งเกิดจากทิศทางการวางมุม เส้นใยได้รับแรงในแนวเฉียง ชิ้นงานมีระยะยุบตัวลง 56.5 mm และใช้เวลากระแทกคือ 0.025 วินาที



รูปที่ 9 กระบวนการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟม ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใย [45/-45/90/0]

จากรูปที่ 9 แสดงกระบวนการเสียหายของท่อไฟ เบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/90/0] ชิ้นงานเริ่มต้นเสียหายที่ปลายด้านบน จากภาพพบว่าชิ้นงานมีระยะยุบตัวลง 75.5 mm และใช้ เวลากระแทกคือ 0.028 วินาที

ยุบตัว (Load Displacement Curve) ซึ่งนับเป็นการ ตอบสนองของโครงสร้างอีกรูปแบบหนึ่ง



รูปที่ 6 กระบวนการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟม ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใย [0/90/0/90]

จากรูปที่ 6 แสดงถึงกระบวนการเสียหายของท่อไฟ เบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [0/90/0/90] ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง ความเร็วสูง โดยหน้าตัดของหัวค้อนถูกกระแทกกับหน้า ตัดด้านบนของชิ้นงานจากภาพพบว่าชิ้นงานมีระยะยุบตัว ลง 32.8 mm และใช้เวลากระแทกคือ 0.021 วินาที



รูปที่ 7 กระบวนการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟม ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใย [90/0/90/0]

จากรูปที่ 7 กระบวนการเสียหายของท่อไฟเบอร์ กลาสเติมโฟมที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/90/0] ขึ้นงานเกิดการเสียหายที่ปลายด้านบน มี ระยะยุบตัวลง 75.7 mm และใช้เวลากระแทกคือ 0.028 วินาที





จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของท่อไฟ เบอร์กลาสเติมโฟมภายใต้แรงกระแทกในแนวแกน พบว่า มีลักษณะการเสียหายทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ 1. การ เสียหายแบบบดละเอียด 2. การเสียหายแบบแตกและ บานออก 3. การเสียหายแบบแตกออกในแนวเฉือน ซึ่ง รายละเอียดการเสียหายของชิ้นงานมีดังนี้

E-NETT 31



รูปที่ 12 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการ เรียงทับซ้อนของเส้นใย [0/90/0/90]

รูปที่ 12 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่ มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [0/90/0/90] พบว่ามี ลักษณะการเสียหายแบบบดละเอียดหรือแบบที่ 1 ซึ่งเกิด จากการวางมุมของเส้นใยชั้นที่ 1 คือ 0 องศา ทำหน้าที่ รับแรงในแนวแกน ส่งผลให้เส้นใยเกิดแตกแยกและบาน ออกจากกัน ในส่วนชั้นที่ 2 คือมุม 90 องศา ทำหน้าที่รัด ประคองชั้นที่ 1 ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นกันระหว่าง ชั้นที่ 1 และ ชั้นที่ 3 ในส่วนชั้นที่ 3 คือมุม 0 องศา ทำหน้าที่ รับแรงในแนวแกน ส่งผลให้เส้นใยแตกแยกและบานออก จากกัน ในด้านชั้นที่ 4 คือมุม 90 องศา ทำหน้าที่ช่วยรัด ประคองชั้นที่ 3 ให้รับแรงในแนวแกน



รูปที่ 10 กระบวนการเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติม โฟมที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใย [90/0/45/-45]

จากรูปที่ 10 แสดงกระบวนการเสียหายของท่อไฟ เบอร์กลาสเติมโฟมที่มีกาiเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/45/-45] พบว่าเริ่มเสียหายที่ด้านล่างของชิ้นงาน จากภาพพบว่าชิ้นงานมีระยะยุบตัวลง 78.4 mm และใช้ เวลากระแทกคือ 0.028 วินาที



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการะและเวลาของชิ้นงาน

จากรูปที่ 11 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระระหว่าง แรงปฏิกิริยากับเวลาของชิ้นงานภายใต้ภาระกระแทกใน แนวแกน สำหรับการทดลองด้วยความเร็วสูงนั้นไม่ สามารถวัดค่าการยุบตัวของโครงสร้างในระหว่างการ เสียหายได้ เนื่องจากการยุบตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงมักนิยมเขียนกราฟของค่าภาระและเวลา ในส่วนของ ระยะยุบตัวในการศึกษานี้สามารถคำนวณได้จากความเร็ว สูงสุดคูณกับเวลาจนสิ้นสุดการกระแทก เมื่อทำการ ทดสอบชิ้นงานครบทุกกรณีจะนำผลที่ได้จากการทดสอบ มาวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อไป

4.2 ลักษณะการเสียหาย





และบานออก ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยชั้นที่ 1 คือมุม 90 องศา รัดบริเวณผิวของโฟม ต่อมาชั้นที่ 2 คือมุม 0 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวแกนของขิ้นงาน เส้นใยเกิด การแตกและบานออกจากกัน ในส่วนชั้นที่ 3 คือมุม 90 องศา ทำหน้าที่รัดประคองชั้นที่ 2 ส่งผลทำเส้นใยเกิด แยกชั้นออกจากกันระหว่างชั้นที่ 2 กับ ชั้นที่ 4 ในส่วนชั้น ที่ 4 คือมุม 0 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวแกนของ ชิ้นงาน เส้นใยเกิดการแตกและบานออกจากกัน



รูปที่ 16 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการ เรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/90/0]

รูปที่ 14 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่ มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/45/-45] พบว่า มีการเสียหายแบบที่ 3 คือ การเสียหายแบบแตกออกใน แนวเฉือน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใยชั้นที่ 1 คือมุม 45 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวเฉียงด้านขวาของชิ้นงาน ส่งผลให้เส้นใยเกิดการแยกชั้นออกจากในลักษณะแนว เฉียง ในส่วนชั้นที่ 2 คือมุม -45 องศา ทำหน้าที่รับแรงใน แนวเฉียงด้านช้ายของชิ้นงานและรัดประคองชั้นที่ 1 ซึ่ง ส่งผลให้ชั้นของเส้นใยเกิดการแตกในแนวเฉียงของชิ้นงาน ในด้านของชั้นที่ 3 คือเส้นใย 45 องศา ทำหน้าที่รับแรง ในแนวเฉียงด้านขวาและรัดประคองชั้นที่ 2 ของชิ้นงาน ส่งผลให้เส้นใยเกิดการแตกในแนวเฉียง ในส่วนชั้นที่ 4 คือ มุม -45 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวเฉียงด้านซ้ายและ



รูปที่ 13 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการ เรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/90/0]



รูปที่ 14 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการ เรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/45/-45]



รูปที่ 15 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่มีการ เรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/45/-45]

จากรูปที่ 13 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติม โฟมที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/90/0] พบว่ามีการเสียหายแบบที่ 2 คือการเสียหายแบบแตก



รัดประคองชั้นที่ 3 ส่งผลให้เส้นใยเกิดการแตกในแนว เฉียงของชิ้นงาน

รูปที่ 15 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่ มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/45/-45] พบว่า เกิดการเสียหายแบบที่ 1 คือการเสียหายแบบบดละเอียด ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใย ชั้นที่ 1 คือมุม 90 องศา ทำ หน้าที่รัดประคองผิวของโฟม ในส่วนชั้นที่ 2 คือมุม 0 องศา ทำหน้าที่รับแรงตามแนวแกนของชิ้นงาน ส่งผลให้ เส้นใยแตกและบานออกจากกัน ในส่วนชั้นที่ 3 ทำหน้าที่ รัดประคองชั้นที่ 2 และรับแรงในแนวเฉียงด้านขวาของ ชิ้นงาน ส่งผลให้เส้นใยแตกในแนวเฉียงของชิ้นงาน ใน ด้านของชั้นที่ 4 คือมุม -45 องศา ทำหน้าที่รัดประคอง ชั้นที่ 3 และรับแรงในแนวเฉียงด้านช้าย ส่งผลให้เส้นใย แตกในแนวเฉียงของชิ้นงาน

รูปที่ 16 การเสียหายของท่อไฟเบอร์กลาสเติมโฟมที่ มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/90/0] พบว่า เกิดการเสียหายแบบที่ 1 คือการเสียหายแบบบดละเอียด ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของเส้นใย ชั้นที่ 1 คือมุม 45 องศา ทำ หน้าที่รับแรงในแนวเฉียงด้านขวาของขิ้นงาน ส่งผลให้เส้น ใยแตกในแนวเฉียงของขิ้นงาน ในส่วนชั้นที่ 2 คือมุม -45 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวเฉียงด้านซ้ายและรัด ประคองชั้นที่ 1 ส่งผลให้เส้นใยแตกในแนวเฉียงของ ขิ้นงาน ในส่วนชั้นที่ 3 คือมุม 90 องศา ทำหน้าที่รัด ประคองชั้นที่ 1 และ 2 ส่งผลให้เกิดการแยกซั้นระหว่าง ชั้นที่ 2 กับ ชั้นที่ 4 ออกจากกัน ในด้านชั้นที่ 4 คือมุม 0 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวแกนของขิ้นงาน ส่งผลให้ เส้นใยเกิดการแตกและบานออก

4.3 ภาระเฉลี่ย

จากตารางที่ 2 แสดงภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูป ของโครงสร้างภายใต้การกระแทกจนสิ้นสุด พบว่าชิ้นงาน A ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [0/90/0/90] มีค่า ภาระเฉลี่ยมากที่สุดคือ 5.531 kN ซึ่งเกิดจากอิทธิพลมุม ของเส้นใย 0 องศา ทำหน้าที่รับแรงในแนวแกน และ อิทธิพลมุมของเส้นใย 90 องศา ทำหน้าที่รัดประคองให้ มุมของเส้นใย 0 องศา ไม่ให้แยกออกจากกัน

พิจาณชิ้นงาน C หรือ ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้น ใยคือ [45/-45/45/-45] มีค่าภาระเฉลี่ยคือ 5.137 kN พบว่าอิทธิพลมุมของเส้นใย 45 องศา ส่งผลให้ชิ้นงานรับ แรงในแนวเฉือน และชิ้นงานสามารถรับแรงได้เฉพาะ ช่วงเวลา 0 – 0.015 วินาที เท่านั้น ส่วนช่วงเวลาหลังจาก 0.015 – 0.025 วินาที ลักษณะกราฟมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่ง เกิดจากโฟมเกิดการยุบตัวลงอัดแน่น

เมื่อเปรียบเทียบค่าภาระเฉลี่ยชิ้นงาน A หรือการ เรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [0/90/0/90] เปรียบเทียบกับ กับชิ้นงาน B, C D และ E พบว่ามีค่าภาระเฉลี่ยมากกว่า ประมาณ 30.40, 7.12, 20.72 และ 24.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.4 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน

ความสามาถในการดูดซับพลังงานคำนวณสามารถ หาได้จากระยะยุบตัวคูณกับภาระเฉลี่ยของชิ้นงานที่ได้ จากชิ้นงานทดสอบ จากตารางที่ 2 พบว่า ชิ้นงาน D หรือ มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/45/-45] สามารถ ดูดซับพลังงานได้มากที่สุดคือ 0.331 kN.m ในส่วน ชิ้นงาน E หรือมีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/90/0] สามารถดูดซับพลังงานคือ 0.329 kN.m

			Ð		
Specimens	Time (s)	Mean Load (kN)	Max. Load (kN)	E _a (kN.m)	E _s (kN.m/kg)
А	0.021	5.531	7.761	0.182	5.289
В	0.028	3.849	5.877	0.292	8.924
С	0.025	5.137	15.001	0.290	8.460
D	0.028	4.385	7.744	0.331	9.799
Е	0.029	4.195	6.121	0.329	9.862

ตารางที่ 2 ความสามารถในการดูดซับพลังงาน



ในด้านการดูดซับพลังงานจำเพาะ พบว่าชิ้นงาน E หรือ ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/90/0] สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มากที่สุด คือ 9.862 kN.m/kg และชิ้นงาน D สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะ คือ 9.862 kN.m/kg พิจารณาความสามารถในการดูด ซับพลังงานจำเพาะ ชิ้นงาน E เปรียบเทียบกับชิ้นงาน A, B, C, และ D ประมาณ 46.37, 9.51, 14.22 และ 0.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5. สรุปผล

จากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองต่อการดูด ซับพลังงานของท่อไฟเบอร์กลาสที่เติมโฟมภายใต้แรง กระแทกในแนวแกน ชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาเป็นชิ้นงาน ที่ขึ้นรูปด้วยระบบสุญญากาศที่มีการเรียงทับซ้อนและมุม ไขว้ที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ คือ ชิ้นงาน A มีมุมไขว้ [0/90/0/90] ชิ้นงาน B มีมุมไขว้ [90/0/90/0] ชิ้นงาน C มีมุมไขว้ [45/-45/45/-45] ชิ้นงาน D มีมุมไขว้ [90/0/45/-45] และชิ้นงาน E มีมุมไขว้ [45/-45/90/0] ตามลำดับ ชิ้นงานขึ้นรูปจาก E-glass/polyester และถูก เติมโฟมชนิดโพลียูรีเทนความหนาแน่นคือ 100 kg/m³ สามารถสรุปได้ดังนี้

พบว่ามีลักษณะการเสียหายทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ 1. การเสียหายแบบบดละเอียด 2. การเสียหายแบบแตก และบานออก 3. การเสียหายแบบแตกออกในแนวเฉือน ในด้านของภาระเฉลี่ย พบว่าชิ้นงาน A ที่มีการเรียงทับ ซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/90/0] มีค่าภาระเฉลี่ยมากที่สุด คือ 5.531 kN สำหรับความสามารถในการดูดซับพลังงาน ชิ้นงาน D หรือมีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [90/0/45/-45] สามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุดคือ 0.331 kN.m และในด้านการดูดซับพลังงานจำเพาะ พบว่าชิ้นงาน E หรือ ที่มีการเรียงทับซ้อนของเส้นใยคือ [45/-45/90/0] สามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้มาก ที่สุด คือ 9.862 kN.m/kg

ความสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดชิ้นงาน A และมากที่สุดชิ้นงาน D ที่แตกต่างกันสามารถอธิบายได้ ้ดังนี้ ความสามารถดูดซับพลังงานจำเพาะได้ต่ำที่สุดของ ชิ้นงาน A ซึ่งเกิดจากอิทธิพลมุมของเส้นใย 0 องศา ทำ หน้าที่รับแรงในแนวแกน และอิทธิพลมุมของเส้นใย 90 ้องศา ทำหน้าที่รัดประคองให้มุมของเส้นใย 0 องศา ไม่ให้ แยกออกจากกัน ในส่วนความสามารถดูดซับพลังงาน ้จำเพาะได้มากที่สุดของชิ้นงาน D ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของ เส้นใย ชั้นที่ 1 คือมุม 90 องศา ทำหน้าที่รัดประคองผิว ของโฟม ในส่วนชั้นที่ 2 คือมุม 0 องศา ทำหน้าที่รับแรง ตามแนวแกนของชิ้นงาน ส่งผลให้เส้นใยแตกและบาน ออกจากกัน ในส่วนชั้นที่ 3 ทำหน้าที่รัดประคองชั้นที่ 2 และรับแรงในแนวเฉียงด้านขวาของชิ้นงาน ส่งผลให้เส้น ใยแตกในแนวเฉียงของชิ้นงาน ในด้านของชั้นที่ 4 คือมุม -45 องศา ทำหน้าที่รัดประคองชั้นที่ 3 และรับแรงในแนว เฉียงด้านซ้าย ส่งผลให้เส้นใยแตกในแนวเฉียงของชิ้นงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การ สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nagel, G.M. and D.P. Thambiratnam. "A numerical study on impact response and energy absorption of tapered thin-wall tubes'', Int J Mech Sci. 46 (2): 201-216, 2004.
- [2] Nagel, G. M. and D. P. Thambiratnam. "Dynamic simulation and energy absorption





of tapered thin-wall tubes under oblique impact loading", Int J Impact Engng. 32 (10): 1595-1620, 2006.

- [3] Nagel, G. M. and D. P. Thambiratnam.
 "Computer simulation and energy absorption of tapered thin-walled rectangular tubes", Thin-wall Structures. 43
 (8): 1225-1242, 2005.
- [4] S.R. Reid, and T.Y. Reddy. "Static and Dynamic crushing of tapped sheet metal tubes of rectangular cross-section", Int. J. Mech. csi. 28 (9): 623-637, 1996.
- [5] A.G. Mamalis and et al. "The static and dynamic axial crumbling of thin-walled fiberglass composite square tubes", Composite Part B. 28 B (4): 439-451, 1997.
- [6] A.G. Mamalis, and et al. "The static and dynamic axial collapse of fiberglass composite automotive frame rails", Composite Structures. 34 (1): 77-90, 1996.
- [7] A.G. Mamalis. and et al. "Analysis of Failure mechanisms Observed in Axial Collapse of Thin-Walled Circular Fiberglass Composite Tubes", Composite Structures. 24 (4): 335-352, 1996.
- [8] A. G. Mamalis. and et al. "Analytical modeling of the static and dynamic axial collapse of thin-walled fiberglass composite conical shells", Composite Structures. 19 (5-6): 477-492, 1997.
- [9] Young Nam Kim and et al. "Impact Collapse Characteristics of CF/ Epoxy Composite Tubes for Light-Weights", KSME International Journal. 17 (1): 48-56, 2003.

- [10] M. R. Bambach. and et al. "Composite steel-CFRP SHS tubes under axial impact", Composite Structures. 87 (3): 282-292, 2009.
- [11] M. M. Shokrieh. and et al. "Effect of fiber orientation and cross section of composite tubes on their energy absorption ability axial dynamic loading", Mechanics of Composite Materials. 45 (6): 567-576, 2009.
- [12] S. Solaimurugan, R. Velmurugan. "Influence of fiber orientation and stacking sequence on pedaling of glass/ polyester composite cylindrical shells under axial compression", International Journal of Solids and Structures. 44 (21): 6999–7020, 2007.