

การศึกษาความสามารถการรับความเค้นดัดของวัสดุผนังหนาและการดูดซับพลังงานของวัสดุ สี่เหลี่ยมตันที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ

A study of bending stress of thickening wall materials and energy absorption of
square bar materials derived from natural materials

ศุภชัย หลักคำ^{1*}, พลรัตน์ บุญมี¹

Supachai Lakkam^{1*}, Polrut Boonmee¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Phra Nakhon, Thailand

*Corresponding author. Tel: 0 2836 3000, Email: supachai.l@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทย ในขณะที่จำนวนซากชิ้นส่วนยานยนต์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากซากชิ้นส่วนยานยนต์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถการรับความเค้นดัดของวัสดุผนังหนาและการดูดซับพลังงานของวัสดุสี่เหลี่ยมตันเพื่อนำไปต่อยอดเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ในอนาคต โดยวัสดุต้นแบบผลิตจากวัสดุธรรมชาติที่มีศักยภาพ 3 ชนิด คือ ผักตบชวา ใบสับปะรด และอ้อย เสริมแรงด้วยแคลบ และใช้น้ำยาประสาน 3 ชนิด คือ กาว พอลิเมอร์ และพอลิเมอร์ผสมฮาร์ดเดนเนอร์ โดยทำการควบคุมมวล และความหนาแน่นของชิ้นงาน การขึ้นรูปชิ้นงานถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) ชิ้นงานชนิดบาง ซึ่งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 3.5 x14x 1cm และถูกนำไปทดสอบหาความสามารถการรับโมเมนต์ดัด และ 2) ชิ้นงานชนิดหนา ซึ่งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 6.5 x6.5x 20cm ถูกนำไปทดสอบหาความสามารถการดูดซับพลังงาน ผลการทดสอบพบว่าชิ้นงานที่ผลิตจากอ้อยผสมแคลบ โดยมีกาวเป็นน้ำยาประสานสามารถรับความเค้นดัด และมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมดมากถึงร้อยละ 55.16 และ 38.84 ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบหาความสามารถการดูดซับพลังงานพบว่าชิ้นงานที่ผลิตจากใบสับปะรดเสริมผสมแคลบ โดยมีพอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสานสามารถดูดซับพลังงานได้มากกว่าค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมดถึงร้อยละ 22.87 ผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำไปกำหนดการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีการรับแรงแตกต่างกัน

คำสำคัญ: ความเค้นดัด การดูดซับพลังงาน วัสดุธรรมชาติ

Abstract

Nowadays, the automotive industry plays an important role in the growth of Thai economy. While a number of automotive parts were produced, a number of automotive waste were increased as

well. To reduce the environmental effect from waste automotive parts, this research aims to study the bending stress of thickening wall materials and energy absorption of square bar materials made of natural materials to create the automotive parts in the future. As a result, the prototypes of materials were made of the 3 different effective natural materials as water hyacinth, pineapple leaf fiber, sugar cane reinforced by husk. Besides, there are also 3 different binders: glue, polymer and polymer with hardener. All of the specimens were produced under controlled mass and density condition. The specimens were classified into 2 types: 1) thickening wall materials with a width $\times$ length $\times$ height of 3.5x14x1 cm in order to test the flexibility 2) square bar materials with a size of 6.5x6.5x20 cm for testing the ability to absorb energy. The test results found that the specimen produced from sugar cane reinforced by husk using adhesive bonding was able to receive bending stress and modulus of elasticity more than the average value of all specimens up to 55.16% and 38.84%, respectively. While the ability to absorb energy of a workpiece made of pineapple leaf reinforced by husk using a polymer binder was able to absorb energy more than other the average value of all work pieces up to 22.87%. The results are used to determine the production of automotive parts with different loads.

Keywords: Bending stress, Energy absorption, Natural fibers

1. บทนำ

จากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทย ดังนั้นจำนวนชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผลิตมากขึ้นส่งผลให้เกิดซากชิ้นส่วนยานยนต์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สมบัติวัสดุธรรมชาติที่มีศักยภาพ [1-3] ได้ถูกนำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุสังเคราะห์ จากการสำรวจวรรณกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับการรับแรงกระแทกซึ่งเป็นชิ้นส่วนยานยนต์กลุ่มเป้าหมายในอดีตพบว่าการพิสูจน์ผลกระทบของความสามารถการดูดซับแรงกระแทกที่เกิดจากลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างกันแรงกระแทก [4] นอกจากนี้ การพิสูจน์ความสามารถการดูดซับพลังงานของโครงสร้างกันแรงกระแทกที่มีส่วนประกอบจากโฟม อะลูมิเนียม และไฟเบอร์กลาสถูกทดสอบภายใต้โครงสร้างกันแรงกระแทกรูปทรงลูกฟูกได้ถูกศึกษา [5] นอกจากนี้

การพัฒนาโครงสร้างดูดซับแรงกระแทกของรถยนต์โดยเน้นลักษณะทางกายภาพใหม่ลักษณะเป็นรูปทรงแบบลูกฟูก เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับพลังงาน โดยอาศัยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Finite element analysis, FEA) [6] ถูกนำมาช่วยในการออกแบบ ในขณะที่รูปทรงลูกฟูกได้รับความสนใจ และถูกนำมาออกแบบโครงสร้างดูดซับแรงกระแทกของรถยนต์รูปทรงรังผึ้ง [7] และทำการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างที่ทำจากอะลูมิเนียมแผ่นบางและโครงสร้างที่ทำจากโฟม ซึ่งวัสดุทั้งสองมีน้ำหนักเบาและสามารถสลายพลังงานจากการกระแทกได้ดี จึงกลายเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจมาก ต่อมาได้เกิดแนวคิดการนำเอาวัสดุผสมระหว่างไฟเบอร์กลาสและอีพอกซีมาขึ้นรูปเป็นลักษณะทอ [8] เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรง ซึ่งวัสดุที่ได้ทำการขึ้นรูปขึ้นมานั้นจะถูกทำการทดสอบด้วยการอัดทำลายโดยใช้เครื่องทดสอบการอัดตัว จากการออกแบบโครงสร้างดูดซับแรงกระแทกโดยใช้

อะลูมิเนียมเป็นวัสดุหลักได้รับความนิยมสูง โดยได้ทำการวางรูปแบบของโครงสร้างดูดซับแรงกระแทกของรถยนต์โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุ ภายใต้เงื่อนไขการจำกัดน้ำหนักโครงสร้าง และออกแบบพื้นที่หน้าตัดแบบมัลติเซลล์ [9] ในขณะที่การใช้เทคนิคการบรรจุโฟมเข้าไปในโครงสร้างดูดซับแรงกระแทกและจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบ [10] ซึ่งสามารถสลายพลังงานได้มากขึ้น และน้ำหนักลดลง ดังนั้นโฟมจึงเป็นวัสดุที่นิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนยานยนต์มากขึ้น และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเสื่อมสภาพ

เพื่อลดปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการรับความเค้นดัดของวัสดุผงนึ่งหนาและการดูดซับพลังงานของวัสดุสี่เหลี่ยมตันเพื่อนำไปต่อยอด และผลักดันวัสดุธรรมชาติที่มีศักยภาพมาเป็นวัสดุทางเลือกให้กับการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ โดยจัดเตรียมวัสดุธรรมชาติที่ผ่านการตากแห้งด้วยแสงแดดธรรมชาติเป็นเวลา 7 วัน เพื่อกำจัดความชื้นในเบื้องต้น จากนั้นนำเข้าสู่ขั้นตอนอบลดความชื้นด้วยเตาอบ เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 ถึง 105 °C ดังภาพที่ 1 ขั้นตอนต่อมาตรวจสอบวัสดุธรรมชาติซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักไม่ให้ความชื้นแตกต่างเกินร้อยละ 10 (โดยน้ำหนัก) หลังจากนั้น

ทดลองผสมส่วนผสมเพื่อขึ้นรูปด้วยความหนาแน่นระหว่าง 0.2 ถึง 0.8 g/cm³ พบว่าที่ความหนาแน่น 0.5 g/cm³ จะได้ชิ้นงานทดสอบตรงตามขนาดที่ต้องการ ซึ่งในการทดสอบกำหนดขนาดวัสดุผืน้งหนา กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 3.5×14×1 cm และขนาดวัสดุสี่เหลี่ยมตัน เท่ากับ 6.5×6.5×20 cm และทำการคำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานจากสมการที่ 1 [11]



ภาพที่ 1 การอบลดความชื้น

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (g/cm³)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (kg)

V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (m³)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูป

ลำดับ	วัสดุจากธรรมชาติ (%)				ตัวประสาน (%)	
	ใยธรรมชาติ	แกลบ	กาว	พอลิเมอร์	พอลิเมอร์ผสมฮาร์ดเดนเนอร์	
1	ผักตบชวา	25	25	50	-	-
2	ใบสับปะรด	25	25	50	-	-
3	อ้อย	25	25	50	-	-
4	ผักตบชวา	25	25	-	50	-
5	ใบสับปะรด	25	25	-	50	-
6	อ้อย	25	25	-	50	-
7	ผักตบชวา	25	25	-	40	10
8	ใบสับปะรด	25	25	-	40	10
9	อ้อย	25	25	-	40	10

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นและมอดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุธรรมชาติ [1-3]

ลำดับ	วัสดุ	ความหนาแน่น	มอดูลัสความยืดหยุ่น,
		(ρ , kg/m ³)	(E, MPa)
1	ผักตบชวา	1,300	2,550
2	ใบสับปะรด	1,526	6,260
3	อ้อย	1,538	2,388

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นส่วนทดสอบในแต่ละส่วนผสม พบว่าการขึ้นรูปด้วยส่วนผสม (ใยธรรมชาติ:แกลบ:ตัวประสาน) ที่ 25:25:50 สามารถขึ้นรูปได้ตรงตามขนาดที่กำหนด และจากการคำนวณสามารถผสมส่วนผสมเพื่อนำไปขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 1 โดยขึ้นรูปจำนวนส่วนผสมละ 3 ชิ้นงานทดสอบ ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นของวัสดุธรรมชาติและมอดูลัสความยืดหยุ่น ดังตารางที่ 2

2.2 การทดสอบความสามารถการรับโมเมนต์ดัด

การทดสอบรูปแบบนี้เป็นการทดสอบความสามารถการรับโมเมนต์ดัดแบบ 3 จุด (Three point bending) โดยวางชิ้นทดสอบบนจุดรองรับที่มี

ระยะห่าง 120 mm และอยู่ตรงกลางระหว่างหัวทดสอบแรงดัดบนเครื่องทดสอบการดัด ดังภาพที่ 2

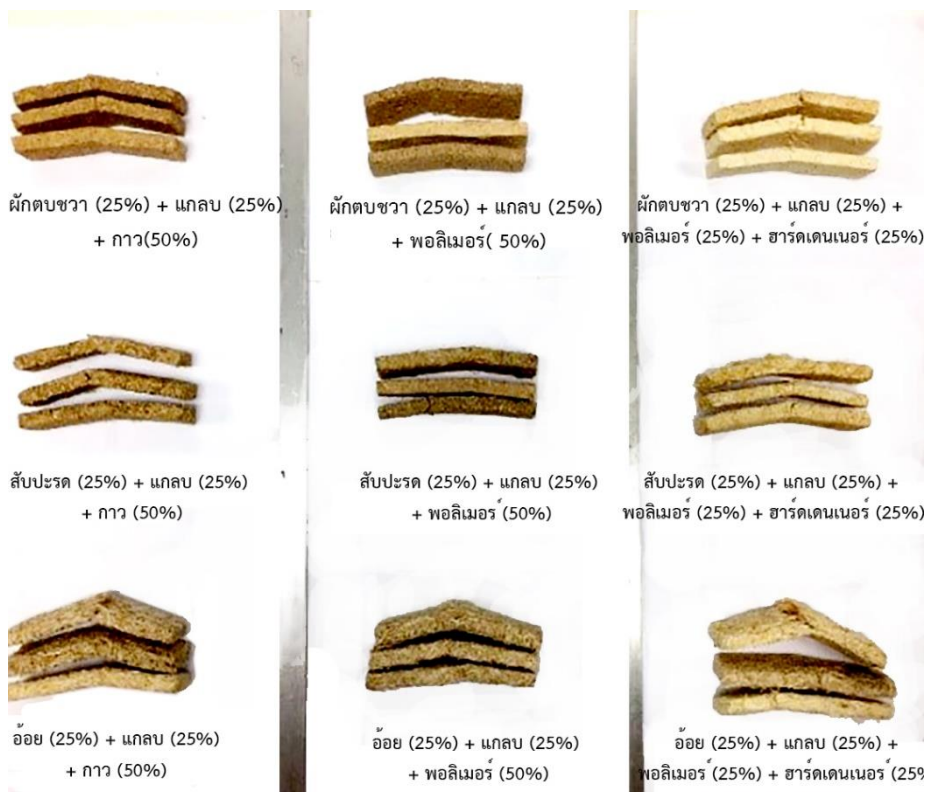


ภาพที่ 2 เครื่องทดสอบการดัด

จากนั้นกดจนกว่าชิ้นงานจะแตกหักด้วยแรงกดสูงสุดไม่เกิน 1,000 N ที่ความเร็ว 2 mm/min เพื่อเลียนแบบแรงกดแบบสถิตย์ ขณะทำการกดเครื่องทดสอบจะประมวลผลค่าแรง (F) ผ่านคอมพิวเตอร์และระยะการโก่งของชิ้นงาน (δ) เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบไปหาคำนวณหาค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงสุด (E) และความเค้นตัดสูงสุด (σ_{max}) โดยกำหนดภาวะการทดสอบ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ภาวะการทดสอบความสามารถรับโมเมนต์ดัด

รายการ	ค่าที่กำหนด
แรงกดสูงสุดไม่เกิน	1,000 N
ความเร็วในการกด	2 mm/min
ระยะห่างจุดรองรับชิ้นงาน	120 mm
ขนาดชิ้นงาน (กxยxส)	3.5x14x1 cm
จำนวนชิ้นงานทดสอบ	27 ชิ้น



ภาพที่ 3 การแตกหักของชิ้นงาน

หลังจากเครื่องทดสอบกดวัสดุจนแตกหัก ดังภาพที่ 3 ทำการบันทึกผลการทดสอบเพื่อนำค่าที่ได้ไป

คำนวณหาความสามารถรับโมเมนต์ดัด จากสมการที่ 2 และ 3 [12]

$$E = \frac{Fl^3}{48\delta I} \quad (2)$$

เมื่อ

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (N/mm²)

δ คือ ระยะการโก่ง (m)

l คือ ความยาวเดิมของวัสดุ (m)

F คือ แรงกิริยา (N)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (m⁴)

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3)$$

เมื่อ

σ คือ ความเค้นดัด (N/m²)

M คือ โมเมนต์ดัด (N·m)

c คือ ระยะจากแกนสะเทิน (m)

2.3 การทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงาน

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการกระแทกของชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก โดยนำความเร็วที่ระบุไว้ใน การทดสอบของมาตรฐาน Euro New Car Assessment Programs [13] ที่ 40 km/h สำหรับรถยนต์ส่วนบุคคลขนาดเล็กมาทำการเปลี่ยนเป็นระดับความสูงที่ใช้ในการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานจากเครื่องจำลองการกระแทกแบบปล่อยตก ดังสมการที่ 4 [14]

$$v^2 = u^2 + 2as \quad (4)$$

เมื่อ

u คือ ความเร็วต้น (m/s²)

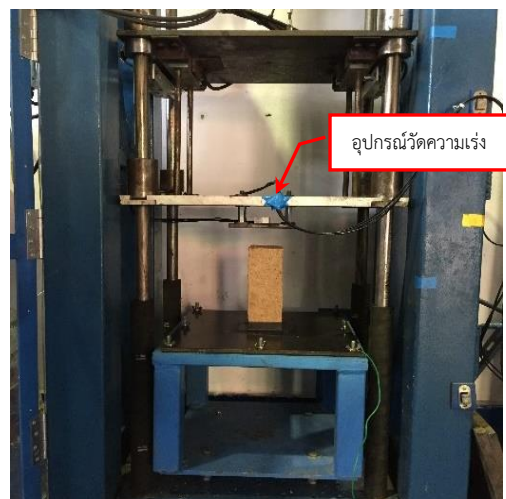
v คือ ความเร็วปลาย (ในกรณีนี้กำหนดเป็น

11.11 m/s² ≈ 40 km/h)

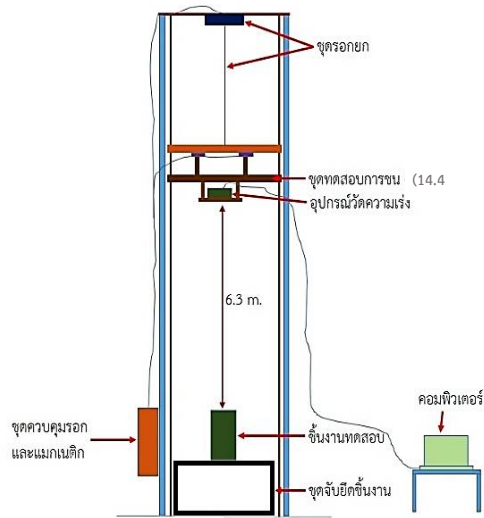
s คือ ระยะทาง (m) ในกรณีนี้ถูกนำไปกำหนดเป็นความสูงในการทดสอบแบบปล่อยตก

a คือ อัตราเร่งของวัตถุ (ในกรณีนี้กำหนดเป็น 9.81 m/s²)

การทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานใช้เครื่องทดสอบแบบปล่อยตก (Dropped testing machine) เป็นกุญแจสำคัญ นอกจากนี้ได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งบนมวลทดสอบของชุดทดสอบการชนที่บริเวณตำแหน่งกึ่งกลางเพื่อตรวจวัดความเร่งที่เกิดระหว่างการกระแทกเพื่อนำไปแปลงเป็นฟังก์ชันการเสียภาพที่ขึ้นกับเวลาโดยการปริพันธ์ ดังภาพที่ 4 และ 5 โดยมีภาวะ การทดสอบดังตารางที่ 4 ก่อนนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาพลังงานที่สามารถดูดซับได้ ดังสมการที่ 5 [15]



ภาพที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่ง



ภาพที่ 5 เครื่องทดสอบแบบปล่อยตก

ตารางที่ 4 ภาวะการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงาน

รายการ	ค่าที่กำหนด
มวล	14.4 kg
ความสูงที่ใช้ทดสอบ	6.3 m
ความเร็วกระแทก	40 km/hr
ความสามารถในการวัด	$\pm 9807 \text{ m/s}^2$
ความถี่ในการเก็บข้อมูล	20 kHz
ความแม่นยำ	$\pm 1\%$
ขนาดชิ้นงาน (กxยxส)	6.5X6.5X20 cm

$$E_p = \int F dx \quad (5)$$

เมื่อ

E_p คือ พลังงาน (J)

F คือ แรงกิริยา (N)

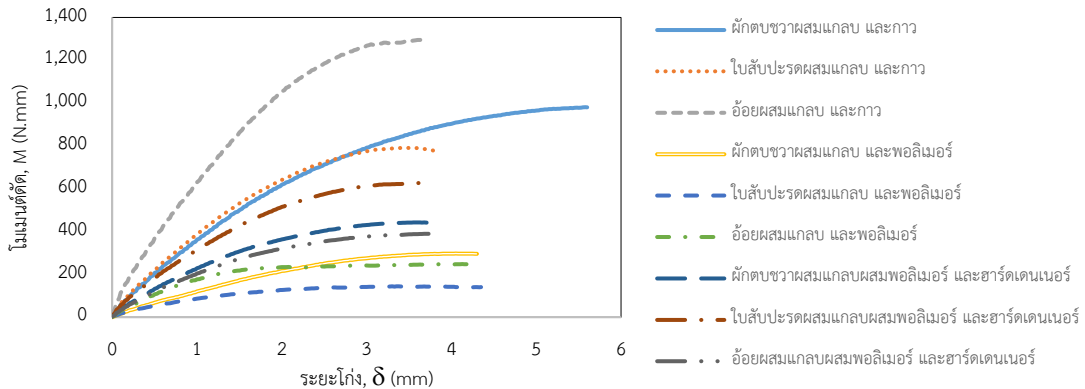
x คือ ระยะยุบตัวสูงสุดก่อนชิ้นงานเสียรูปถาวร (m)

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบความสามารถการรับ

โมเมนต์ดัด

จากการทดสอบชิ้นงานจำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อหนึ่งรายการส่วนผสม สะท้อนให้เห็นว่าชิ้นงานทดสอบที่ใช้กาวเป็นน้ำยาประสานมีความสามารถในการรับโมเมนต์ดัด และมีมอดุลัสความยืดหยุ่นได้มากที่สุดในทุก ๆ ส่วนผสม นอกจากนี้ การเปรียบเทียบค่าความเค้นดัดสูงสุด และค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นพบว่า ชิ้นงานที่ผลิตจากอ้อยและกลบ โดยมีกาวเป็นน้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 3) มีความเค้นดัดสูงสุด และค่ามอดุลัสความยืดหยุ่นมากที่สุดเท่ากับ 22.22 และ 51.25 N/mm² ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากชิ้นงานทดสอบที่ผลิตจากวัตถุดิบหลักเดียวกัน คือ อ้อยและกลบ โดยมีพอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 6) ร้อยละ 80.63 และ 69.19 ดังรูปที่ 6 และตารางที่ 5



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบความสามารถการรับโมเมนต์ดัด

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบความสามารถการรับโมเมนต์ดัด (จำนวนตัวอย่าง, n=3)

รายการ	ชิ้นงานทดสอบความสามารถการรับ โมเมนต์ดัด	แรงสูงสุด, (F_{max} , N)	มอดูลัสความ ยืดหยุ่น (E , N/mm ²)	ความเค้นดัด สูงสุด (σ_{max} , N/mm ²)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1	ผักตบชวาผสมแกลบ และกาว	16.35	42.94	1.68	0.81
2	ใบสับปะรดผสมแกลบ และกาว	13.19	49.02	1.36	0.37
3	อ้อยผสมแกลบ และกาว	21.63	51.25	2.22	0.72
4	ผักตบชวาผสมแกลบ และพอลิเมอร์	4.97	19.52	0.51	0.39
5	ใบสับปะรดผสมแกลบ และพอลิเมอร์	2.41	9.92	0.25	0.23
6	อ้อยผสมแกลบ และพอลิเมอร์	4.16	15.79	0.43	0.37
7	ผักตบชวาผสมแกลบผสมพอลิเมอร์ และชาร์ตเดนเนอร์	7.38	28.07	0.76	0.58
8	ใบสับปะรดผสมแกลบผสมพอลิเมอร์ และชาร์ตเดนเนอร์	10.46	40.62	1.08	0.65
9	อ้อยผสมแกลบผสมพอลิเมอร์ และ ชาร์ตเดนเนอร์	6.50	24.98	0.67	0.34
	ค่าเฉลี่ย	9.67	31.35	1.00	

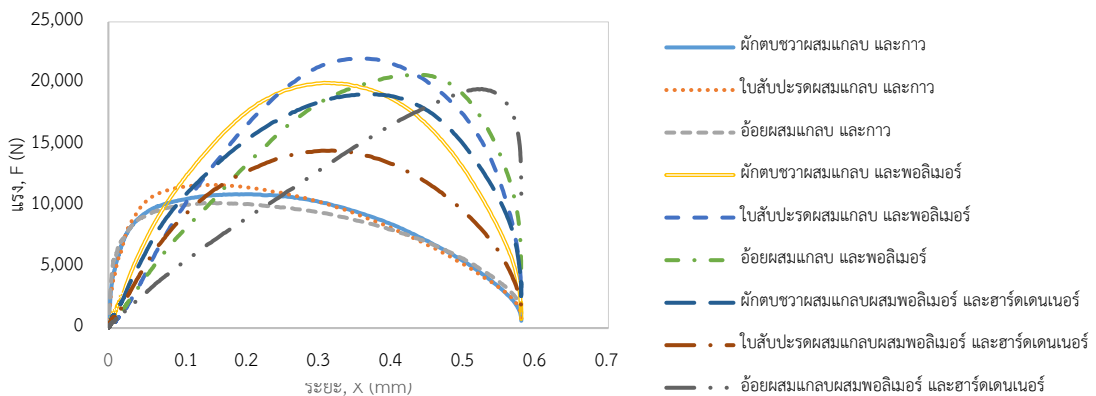
3.2 ผลการทดสอบความสามารถการดูดซับ พลังงาน

การทดสอบความสามารถการดูดซับ
พลังงานโดยมีชิ้นงานจำนวน 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งรายการ

ส่วนผสม พบว่ารูปชิ้นงานที่ใช้พอลิเมอร์เป็นน้ำยา
ประสานมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้มาก
ที่สุดในทุก ๆ ส่วนผสม เห็นได้จากชิ้นงานทดสอบที่
ผลิตจากใบสับปะรด และแกลบ โดยมีพอลิเมอร์เป็น

น้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 5) มีความสามารถการดูดซับพลังงานเท่ากับ 10.43 J และเมื่อเทียบชิ้นงานทดสอบที่ผลิตจากวัสดุหลักเดียวกัน คือ ไบสัปเปอร์ด และแกลบ โดยมีกาวเป็นน้ำยาประสาน

(ชิ้นงานรายการที่ 2) ซึ่งมีค่าความสามารถการดูดซับพลังงานเท่ากับ 5.05 J พบว่ามีความแตกต่างร้อยละ 51.58 ดังภาพที่ 7 และตารางที่ 6



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบความสามารถการดูดซับพลังงาน

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงาน (จำนวนตัวอย่าง, n=3)

รายการ	ชิ้นงานทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงาน	ระยะ (x, mm)	พลังงานสูงสุด (E_p , J)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
1	ผักตบชวาผสมแกลบ และกาว	0.59	4.80	0.95
2	ไบสัปเปอร์ดผสมแกลบ และกาว	0.59	5.05	0.59
3	อ้อยผสมแกลบ และกาว	0.61	4.81	0.34
4	ผักตบชวาผสมแกลบ และพอลิเมอร์	0.67	9.17	1.01
5	ไบสัปเปอร์ดผสมแกลบ และพอลิเมอร์	0.67	10.43	0.52
6	อ้อยผสมแกลบ และพอลิเมอร์	0.67	9.33	0.70
7	ผักตบชวาผสมแกลบผสมพอลิเมอร์ และฮาร์ดเดนเนอร์	0.65	8.85	0.91
8	ไบสัปเปอร์ดผสมแกลบผสมพอลิเมอร์ และฮาร์ดเดนเนอร์	0.49	9.55	1.07
9	อ้อยผสมแกลบผสมพอลิเมอร์ และฮาร์ดเดนเนอร์	0.67	10.41	0.62
	ค่าเฉลี่ย	0.62	8.04	

4. การอภิปรายและวิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบพบว่าการใช้กาเป็นน้ำยาประสานจะให้ผลเป็นเชิงบวกในการทดสอบแบบการรับโมเมนต์ดัด ในขณะที่การใช้พอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสานจะให้ผลเป็นเชิงบวกในการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงาน เห็นได้จากผลการทดสอบความสามารถการรับโมเมนต์ดัดพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ทำจากอ้อย และแกลบ โดยมีกาเป็นน้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 3) มีค่าความเค้นดัดสูงสุด 2.22 N/mm^2 และมอดูลัสความยืดหยุ่น 51.25 N/mm^2 ซึ่งแตกต่างจากชิ้นงานทดสอบที่ผลิตจากอ้อย และแกลบ โดยมีพอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 6) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักเดียวกัน ที่มีค่าความเค้นดัดสูงสุด 0.43 N/mm^2 และมอดูลัสความยืดหยุ่น 15.79 N/mm^2 ซึ่งต่างกันร้อยละ 80.63 และ 69.19 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมด พบว่ามีค่าความเค้นดัด และมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าแตกต่างกันมากถึงร้อยละ 55.16 และ 38.84

ในทางกลับกัน ผลการทดสอบความสามารถการดูดซับพลังงานพบว่า ชิ้นงานทดสอบที่ทำจากใบสับปะรด และแกลบ โดยมีพอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 5) มีความสามารถในการดูดซับพลังงานเท่ากับ 10.43 J ซึ่งแตกต่างจากชิ้นงานทดสอบที่ผลิตจากใบสับปะรด และแกลบ โดยมีกาเป็นตัวน้ำยาประสาน (ชิ้นงานรายการที่ 2) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักเดียวกัน ที่มีความสามารถดูดซับพลังงานเท่ากับ 5.05 J ซึ่งต่างกันร้อยละ 51.58 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของชิ้นงานทั้งหมด พบว่ามีความสามารถดูดซับพลังงานแตกต่างกันมากถึงร้อยละ 22.87

นอกจากนี้ การขึ้นรูปวัสดุผนังหนา (Thickening wall) และวัสดุสี่เหลี่ยมตัน (Square bar) พบว่าการผสมส่วนผสมที่มีความหนาแน่น 0.5 g/cm^3 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ผสมขึ้นรูปและการขึ้นรูปวัสดุผนังหนาต้องทำการผสมวัสดุ และอัดลงในแม่พิมพ์ที่มีขนาด $3.5 \times 14 \times 11 \text{ cm}$ ภายใต้อุณหภูมิห้อง ซึ่งใช้เวลาในการลดความชื้นได้เร็วกว่าการผลิตวัสดุสี่เหลี่ยมตัน สำหรับการผลิตวัสดุสี่เหลี่ยมตันต้องอัดวัสดุลงในแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า คือ $6.5 \times 6.5 \times 20 \text{ cm}$ ส่งผลให้ควบคุมการกระจายตัวของส่วนผสมได้ยาก และมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายระหว่างการถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

5. สรุปผลการทดลอง

ผลของการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าวัสดุสังเคราะห์ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้กาเป็นน้ำยาประสานมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุผนังหนา (Thickening wall) ซึ่งมีการรับโมเมนต์ดัดในการใช้งาน โดยชิ้นงานทดสอบที่ทำจากอ้อย และแกลบ ซึ่งมีกาเป็นน้ำยาประสานมีค่าความเค้นดัดสูงสุดสูงสุด 2.22 N/mm^2 และมอดูลัสความยืดหยุ่น 51.25 N/mm^2

ในขณะที่วัสดุสังเคราะห์ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้พอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสานมีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุสี่เหลี่ยมตัน (Square bar) ซึ่งมีลักษณะการรับแรงกดหรือกระแทกในการใช้งาน โดยชิ้นงานทดสอบที่ทำจากใบสับปะรด และแกลบ โดยมีพอลิเมอร์เป็นน้ำยาประสานมีความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุดเท่ากับ 10.43 J

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็น
อิทธิพลของน้ำยาประสานซึ่งเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญ
ต่อสมบัติวัสดุ และเป็นตัวกำหนดการผลิตวัสดุเพื่อใช้
งานในภาวะการรับภาระที่แตกต่างกันตามความมุ่ง
หมายในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้
การสนับสนุนวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีดา จันทวงษ์. การศึกษาคุณสมบัติทางกล
ของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยของ
ผักตบชวา. วารสารวิจัยภาควิชาเทคโนโลยี
วิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2555;
29(1):46.
- [2] สุปรานี แก้วภิมย์, ศิริเดช บุญแสง. คอมโพสิต
รักษ์สิ่งแวดล้อมจากพอลิแลคติกแอซิดและเส้น
ใยสับปะรด. รายงานวิจัย[อินเทอร์เน็ต].
มหาวิทยาลัยบูรพา; 2557. [เข้าถึงเมื่อ 30
มกราคม 2560]. จาก: http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files//2559_065.
- [3] กิตติศักดิ์ บัวศรี. การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคา
ซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อย.
บทความวิชาการ[อินเทอร์เน็ต]. 2560. [เข้าถึง
เมื่อ 30 มกราคม 2560]. จาก: http://www.kanpoly.ac.th/kan/data/research_1417705481_vijai2.pdf.
- [4] วรวิทย์ วรรณวิน, ฤพล สุนทรโรจน์, พิเชษฐ
บุญญาลัย และคณะ. การศึกษาโครงสร้างกัน
แรงกระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อการดูดซับ
พลังงาน. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
2556; 18(3):435-48.
- [5] ศุภชัย หลักคำ, วรวิทย์ วรรณวิน. การ
เปรียบเทียบความสามารถการดูดซับพลังงาน
ของวัสดุทางเลือกสำหรับโครงสร้างดูดซับแรง
กระแทกรถยนต์. วารสารวิจัย มทร.ตะวันออก.
2557; 7(2):56-66.
- [6] Nakazawa Y, Tamura K, Yoshida M, et al.
Development of crash-box for passenger
car with high capability for energy
absorption. COMPLAS 2005 VIII
International Conference on
Computational Plasticity; 2005 Sep 5-8;
Barcelona, Spain. Spain: Springer; 2005.
- [7] Ghasemnejad H, Hadavinia H, Marchant
D, et al. Energy absorption of thin-walled
corrugated crash box in axial crushing.
Structural Durability and Health
Monitoring. 2008; 4(1):29-46.
- [8] Hakim S. Energy absorption
characteristics and crashing parameters
of filament glass fiber /epoxy composite
tubes. Eur J Sci Res. 2002; 39(1):111-121.
- [9] Heung-Soo K. New extruded multi-cell
aluminum profile for maximum crash
energy absorption and weight efficiency.
Thin-Walled Structures. 2002 ;40(4):311-
27.
- [10] Toksoy AK, Güden M. Partial Al foam
filling of commercial 1050H14 Al crash
boxes: The effect of box column

- thickness and foam relative density on energy absorption. Thin-Walled Structures. 2010; 48(7):482-94.
- [11] สมศักดิ์ ไชยะภินันท์. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์; 2552.
- [12] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์. การออกแบบเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2556.
- [13] Euro New Car Assessment Programs. Pedestrian Protection [Internet]. Brussels: EURO NCAP Press; [cited 2017 Jan 29]. Available from: <http://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/pedestrian-protection/>.
- [14] Hibbeler RC. Engineering mechanics dynamics. 3rd ed. Singapore: Prentice-Hall; 2004.
- [15] Ugural AC, Fenster SK. Advanced strength and applied elasticity. 3rd ed. USA: Prentice-Hall; 1995