ทดสอบสมบัติวัสดุเชิงประกอบป้องกันแรงกระแทกสูง

Composites testing of high impact resistance

รำพึง เจริญยศ[1*]

Rampeung Jaroenyot[1*]

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบกันแรงกระแทกสูงระหว่างอีพ๊อกซี่กับเส้นใยสแตนเลสและเส้นใยเซรามิกเพื่อใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม เช่น หมวกในโรงงานการผลิต หรือเป็นเกราะกันกระสุนซึ่งเป็นทางเลือกใช้ประโยชน์จากวัสดุผสม สำหรับการสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ทนแรงกระแทกสูงต่อไป

ในการทดลองส่วนผสมระหว่างอีพ๊อกซี่กับเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิค ทำการทดลองทั้งหมด 3 อัตราส่วนผสม คือ 60 : 40 , 50 : 50 และ 40 : 60 โดยน้ำหนัก และแต่ละสัดส่วนผสมจะประกอบด้วยเส้นใยเซรามิกร้อยละ 10 ทำการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีการทามือเป็นแผ่นก่อนทำเป็นชิ้นทดสอบ เพื่อทดสอบความต้านทานแรงดึง , ต้านทานการเจาะทะลุ , ความแข็ง และโครงสร้างเพื่อเปรียบเทียบสมบัติวัสดุเชิงประกอบที่ดีที่สุดไปผลิตเป็นแผ่นเกราะสำหรับทดสอบการยิงด้วยกระสุนปืนในระดับ2Aพบว่า อัตราส่วนร้อยละ 40 : 60 มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุดมีค่าความเค้นแรงดึง54.84 MPaการยืดตัว 6.39 %ความต้านทานการเจาะทะลุ 62.76 n.m^2/kg ความเค้นอัด 131.82 MPaความแข็งด้านหน้าผิวเส้นใยเซรามิค 41.89 HRHความแข็งด้านหลังผิวเส้นใยสเตนเลส52.69 HRH และสามารถรับแรงกระแทกจากกระสุนปืนขนาด 9มม. ทำการยิงจำนวน 5 นัด โดยไม่เกิดการทะลุ และยุบตัวไม่เกินมาตรฐานการทดสอบ NIJ (National Institute of Justice 0101.04)

คำสำคัญ : วัสดุเชิงประกอบ, เส้นใยสเตนเลส , เส้นใยเซรามิค, อีพอกซี่

Abstract

This research aims to study the mechanical properties ofhigh Impactcomposite materials between epoxy, stainless steel fibers, and ceramic fibers, that can be used in engineering works such as helmets or armor aswell as be another alternative of composite material utilization for creating high impact products further.

In the experiment of epoxy, stainless steel fibers, and ceramic fibers conducted with three ratios (60 : 40 , 50 : 50 and 40 : 60 by weightand ceramic fibers contain 10 percent.), Subsequently, those fibers were molded to be the form of sheets through manual method. The obtained sheets were used as the specimen for testing tensile strength, penetration resistance, hardnessandstructure in order to compare the properties in the best ratio. Composite material sheet for testing high impact was conducted by shooting with 9 mm. bullet with the preventive level of 2A.From the experimental, it was found that the ratio at 40 : 60 had the best mechanical properties, i.e., the tensile strength was 54.84 MPa, with percent elongation of 6.39 %, penetration resistance was 62.76 n.m^2/kg, compressive stress was 131.82 MPa, hardness of the frontage that was made of ceramic fibers was 41.89 HRH, hardness of rear side that was made of stainless steel fibers was 52.69 HRH. The obtained sheet was tested by shooting with a bullet with 2A level. From testing of bullet shooting, the material was able to support the impact of 9 mm. and fired 5 shotsbullet without any penetration and its setback was not over thanNational Institute of Justice 0101.04(NIJ)

Keywords : Composite, Stainlesssteel fibers, Ceramic fibers, epoxy

---

[1] สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี นนทบุรี 11000

[1] Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Nonthaburi Center, Nonthaburi , 11000

* Corresponding author :e-mail : ramp_dong@hotmail.co.th

บทนำ

เนื่องจากปัญหาอาชญากรรมและความรุนแรงที่เกิดขึ้นในสังคมไทยมีหลายปัจจัยที่ ส่งผลให้เกิดซึ่งสามารถจำแนกประเภทออกได้เป็นกลุ่ม คดีอาญา 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มคดีอุกฉกรรจ์กลุ่มสะเทือนขวัญกลุ่มคดีที่เกี่ยวกับชีวิตร่างกายกลุ่มคดีประทุษร้ายต่อทรัพย์กลุ่มคดีอาญาที่น่า สนใจ และกลุ่มคดีที่รัฐเป็นผู้เสียหายโดยในกลุ่มคดีต่างๆ ที่กล่าวนี้สามารถจำแนก ย่อยได้อีกหลากหลายโดยเฉพาะในกลุ่มคดีที่รัฐเป็นผู้เสียหายนั้นจะกล่าวถึงความผิดในข้อกล่าวหาที่ว่าด้วยพ.ร.บ.อาวุธ ปืนด้วยโดยข้อมูลสถิติการรับแจ้งเหตุและจับกุมกลุ่มคดีที่รัฐเป็นผู้เสียหายจำแนกตามประเภทคดี ที่รับแจ้งทั่วราชอาณาจักร พ.ศ.2545–2556 จะพบว่าประเภทคดีที่มีความ เกี่ยวข้องกับ พ.ร.บ. อาวุธปืนมีการแจ้งจับทั้งสิ้น 218,083 ราย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นอาวุธปืนธรรมดา จำนวน 208,422 ราย และอาวุธปืนสงครามจำนวน 9,661 ราย ซึ่งสามารถจำแนกเป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของการแจ้งจับได้ดังนี้

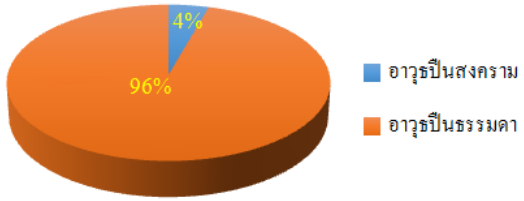


Figure 1 แผนภูมิสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การแจ้งจับตามประเภทของอาวุธปืนทั่วราชอาณาจักร

จากข้อมูลข้างต้นจะพบว่าปัญหาอาชญากรรมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากอาวุธปืนธรรมดามาก ถึง 96 เปอร์เซ็นต์ หรือ 208,422ราย ซึ่งส่งผลให้เจ้าหน้าที่ที่ทำการปฏิบัติหน้าที่มีความเสี่ยง จึงจำเป็นที่ต้องมีเครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล นั่นคือ เสื้อเกราะกันกระสุน ขณะที่เสื้อเกราะกันกระสุนที่ทำจากเส้นใยเคฟล่าของต่างประเทศนั้นจะมีราคาสูงถึงตัวละ 40,000 บาท ซึ่งมีมาตรฐานการป้องกันอยู่ในระดับ IIIA ตามมาตรฐาน National Institute of Justice (NIJ) ของประเทศสหรัฐอเมริกา จึงส่งผลให้เกิดความไม่เพียงพอกับความต้องการใช้งานเนื่องจากราคาที่สูงซึ่งสาเหตุนั้นมาจากวัสดุเส้นใยเคฟล่าที่นำมาใช้ทำแผ่นเกราะกันกระสุนมีราคาที่สูงจึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาสูงตามไปด้วย

จากปัญหาและข้อมูลที่พบทางคณะผู้จัดทำจึงมีแนวทางที่จะทำการวิจัยและทดสอบวัสดุที่สามารถทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพง แต่มีคุณสมบัติในด้านการรับแรงกระแทกสูง โดยการใช้อีพ๊อกซี่เสริมแรงด้วยเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิค เนื่องจากเส้นใยทั้งสองนี้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีและราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์เคฟล่าซึ่งวัสดุสเตนเลสมีสมบัติในด้านการดูดซับแรงที่ดี ส่วนเซรามิคนั้นมีสมบัติที่ดีในด้านของความแข็ง โดยในการดำเนินโครงการวิจัยจะทำการทดลองสร้างเป็นชิ้นทดสอบ และทำการทดสอบทางกล ตามมาตรฐานการทดสอบ จากนั้นนำส่วนผสมที่มีสมบัติทางกลดีที่สุดไปสร้างแผ่นกันกระสุน แล้วทำการทดลองตามมาตรฐาน National Institute of Justice (NIJ) เพื่อหาระดับการป้องกันการกระแทกจากกระสุนของแผ่นวัสดุเชิงประกอบ

วิธีการศึกษา

1. เตรียมวัสดุในการทดลอง ดำเนินการจัดซื้อวัสดุที่ทดลองให้เพียงพอกับความต้องการ
2. การขึ้นรูปชิ้นทดสอบเป็นการเตรียมแผ่นทดสอบ อีพ๊อกซี่ผสมกับเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิกแล้วขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติทางกล

2.1 สร้างแม่พิมพ์ทดสอบโดยทำการสร้างแม่พิมพ์ขนาด 120×270×13 มิลลิเมตรมีปริมาตร มวลรวม 421.2 กรัม

2.2 คำนวณหาปริมาณอีพ็อกซี่และเส้นใยเสริมแรงในอัตราส่วนที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ เพื่อหาน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำการทดลอง

อัตราส่วนผสม	อีพอกซี่ (%)	เส้นใยเสริมแรง	
		สเตนเลส(%)	เซรามิค (%)
60 : 40	60	30	10
50 : 50	50	40	10
40 : 60	40	50	10

Figure 2 ตารางอัตราส่วนการเตรียมพอลิเมอร์และเส้นใยเสริมแรง

2.3 หล่อแผ่นทดสอบ โดยการผสมอีพ็อกซี่กับตัวทำแข็งในอัตราส่วน 2:1 เทลงในแม่พิมพ์แล้วใช้ลูกกลิ้งเกลี่ยให้เสมอกัน รอให้อีพ็อกซี่เริ่มแข็งตัวแล้วนำเส้นใยสเตนเลสวางลงในแม่แบบสลับกับการทาด้วยอีพ็อกซี่สลับกันเป็นชั้นๆ จนได้ความหนาตามปริมาณที่ต้องการแล้ววางเส้นใยเซรามิกทาด้วยอีพ็อกซี่เป็นชั้นสุดท้าย ซึ่งในแต่ละชั้นจะต้องรีดด้วยลูกกลิ้งเหล็กเพื่อไล่ฟองอากาศและทำให้เส้นใยติดกันแน่นมากขึ้น จากนั้นปล่อยให้แข็งตัว แล้วถอดออกจากแม่พิมพ์ก็จะได้แผ่นสำหรับทำชิ้นทดสอบ 2 ขนาด คือ 120×270×13 มิลลิเมตรและขนาด 100×100×7.5 มิลลิเมตร (www.qlickbranding.com/learn/chap8/01.html, 2013)

Figure 3 ชิ้นงานสำหรับการเตรียมขึ้นรูปชิ้นทดสอบ

2.4 ขึ้นรูปชิ้นทดสอบโดยการตัดแผ่นทดสอบออกเป็น ชิ้นงานสี่เหลี่ยมตามขนาดที่กำหนด คือ ชิ้นทดสอบแรงดึง ชิ้นทดสอบความต้านทานการเจาะทะลุ ชิ้นทดสอบความแข็ง และชิ้นทดสอบโครงสร้างแล้วทำการปรับขนาดด้วยเครื่องกัดให้ได้ตามมาตรฐานการทดสอบที่กำหนด

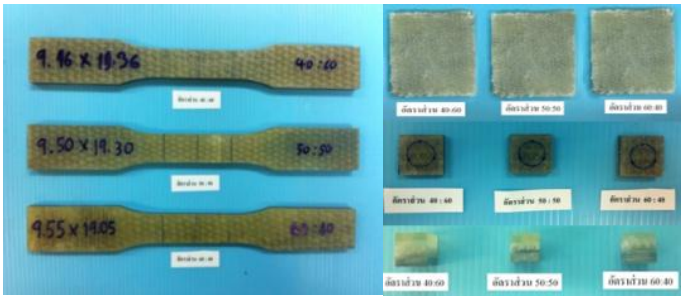


Figure 4 ชิ้นทดสอบแรงดึงความต้านทานการเจาะทะลุความแข็งและโครงสร้าง

ลำดับ	ชิ้นงานทดสอบ	ขนาด (มม.)
1	แรงดึง	20× 150 × 10
2	ความต้านทานการเจาะทะลุ	100× 100 × 7
3	ความแข็ง	20× 20 × 7
4	โครงสร้าง	20× 20 × 7

Figure 5 ตารางแสดงขนาดของชิ้นทดสอบ

3. การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical properties testing) (*จินตมัย สุวรรณประทีป,2547*)

3.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile testing)ตามมาตรฐานการทดสอบASTM D3039เป็นการทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบแบบสถิติ ชิ้นงานจะถูกยืดออกอย่างสม่ำเสมอจนชิ้นงานเกิดการขาด ความเร็วในการยืดจะต่ำลง ความยาวในชิ้นงานจะยืดออกและถูกวัดค่าการยืดออกมา โดยทำการทดสอบ จำนวน 3 ครั้ง

Figure 6 การติดตั้งชิ้นทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ

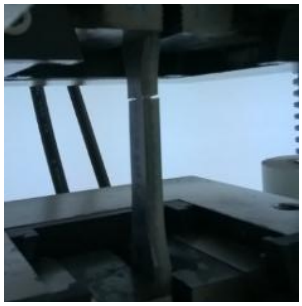


Figure 7 การดึงและการขาดของชิ้นงานทดสอบ

Figure 8 ชิ้นงานทดสอบหลังการทดสอบ

3.2 การทดสอบความต้านทานการเจาะทะลุโดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4833 ทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้งเป็นการทดสอบความต้านทานของวัสดุที่ความเร็วต่ำ ซึ่งการทดสอบความต้านทานการทะลุสามารถประยุกต์ใช้เครื่องทดสอบควแข็งแรงวัสดุ โดยอาศัยหลักการทำนองเดียวในการทดสอบวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่น

Figure 9 ลักษณะการทะลุเสียหายของชิ้นงาน

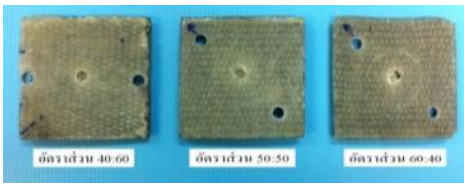


Figure 10 ชิ้นงานภายหลังการทดสอบ

3.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) เป็นการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ ตามมาตรฐาน ASTM E 18 ในการทดสอบจะใช้แรงกดส่งผ่านหัวกดแบบบอลขนาด 1/8 นิ้ว ลงบนผิวชิ้นทดสอบ และกดแช่เป็นเวลา 10 วินาที ทำการทดสอบชิ้นทดสอบละ 3 จุดจำนวน 3 ชิ้น

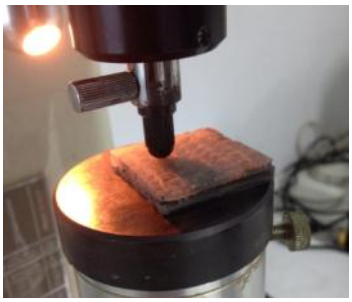


Figure 11 ติดตั้งชิ้นทดสอบบนเครื่องทดสอบ

Figure 12 ออกแรงกดชิ้นทดสอบและอ่านค่าความแข็ง

4. การตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน(Reflective Light Optical Microscopic) ใช้การตรวจสอบในระดับ มหภาคเป็นการตรวจสอบโครงสร้างของชิ้นงานโดยใช้กำลังการขยายต่ำ สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า หรืออาจใช้กำลังการขยายไม่เกิน 10 เท่าทำการทดสอบ จำนวน 3 ชิ้น

Figure 13 การทดสอบโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

Figure 14 ผลการทดสอบโครงสร้าง

5. ทดสอบการยิงด้วยกระสุนปืน เป็นการทดสอบโดยการนำวัสดุที่ทำการทดลองและมีสมบัติทางกลดีที่สุดมาสร้างเป็นแผ่นขนาด 25 × 30 × 2.54 เซนติเมตร แล้วปิดหลังด้วยดินน้ำมัน นำไปทดสอบการยิง โดยทำการยิงห่างจากชิ้นทดสอบเป็นระยะ 5 เมตร ปืนที่ใช้ในการทดสอบขนาด 9 มม. น้ำหนักหัวกระสุน 124 gr.(8 g)มีความเร็วกระสุน 1,225 $\pm$30 ฟุต/วินาที ทดสอบตามมาตรฐาน National Institute of Justice 0101.04 (NIJ) ในระดับกระป้องกันระดับ 2A โดยการทดสอบจะวัดรอยผิดรูป หรือรอยยุบตัวของดินน้ำมันต้องไม่เกิน 44 มิลลิเมตร
(ศิริชัย ปึงพิพัฒน์ตระกูล และ วรัญชัย มั่นคงวิวัฒน์, 2550.)

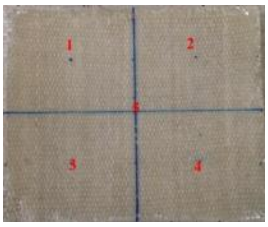
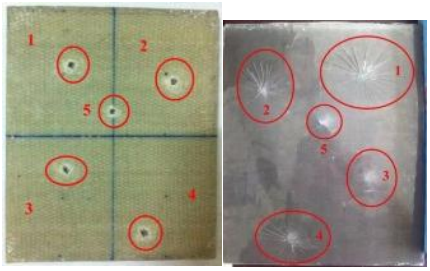


Figure 15 ชิ้นทดสอบการยิง

Figure 16 การทดสอบการยิง



a) ด้านหน้า b) ด้านหลัง

Figure 17 รอยแตกภายหลังการยิงทดสอบด้วยปืน 9 มม.

Figure 18 รอยผิดรูป (ระยะการยุบตัว) ของดินน้ำมัน

ผลการศึกษา

โครงการวิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบอีพ๊อกซี่เสริมแรงด้วยเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิก ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเป็นการนำวัสดุภายในประเทศมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อรับแรงกระแทกสูงต่างๆเช่นแรงกระแทกจากกระสุนปืน หรือจากสิ่งของตกลงมากระทบเพื่อป้องกันชีวิตหรือการบาดเจ็บของคนให้ลดน้อยลง โดยการเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงทางกลที่มีอำนาจต้านการเจาะทะลุได้สูง เป็นการสร้างทางเลือกใหม่ให้กับวัสดุที่นำมาเสริมแรง ลดต้นทุนรวมทั้งเป็นการช่วยลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปผลของโครงการวิจัยได้ดังนี้

1) การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile Testing)

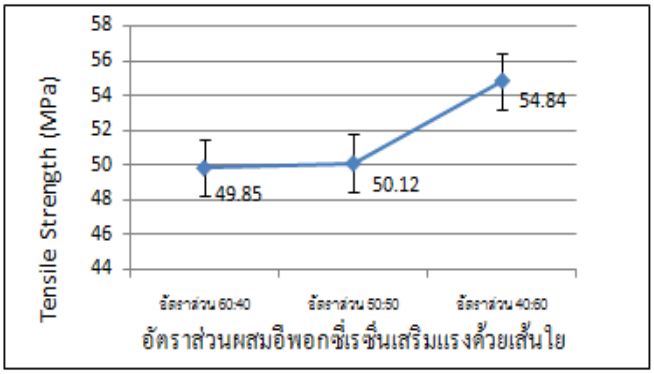


Figure 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดกับอัตราส่วนผสม

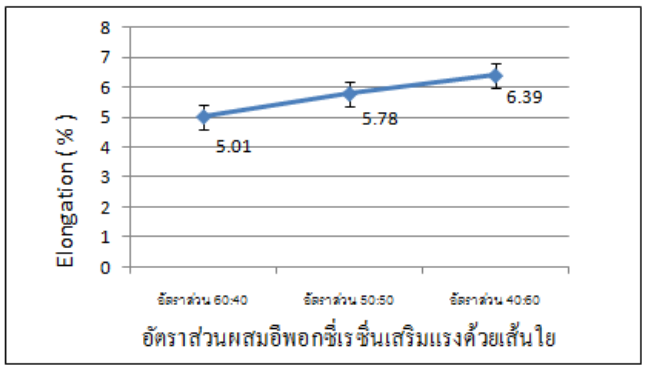


Figure 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นการยืดตัวกับอัตราส่วนผสม

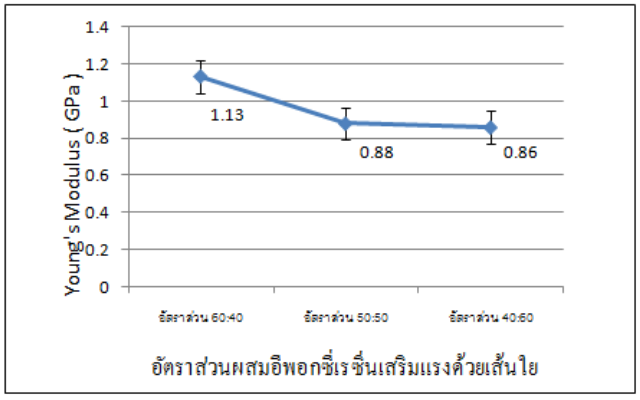


Figure 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังกับอัตราส่วนผสม

จากภาพที่ 19-21 จากการทดลองวัสดุเชิงประกอบ อีพ๊อกซี่กับเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิก จำนวน 3 อัตราส่วนผสม พบว่าวัสดุเชิงประกอบในอัตราส่วน 40 : 60 จะมีความสามารถในการรับแรงดึง,และค่าการยืดตัวสูง แต่มีค่ามอดูลัสการทนต่อแรงดึงต่ำ, เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบนี้มีความหนาแน่นของเส้นใยสเตนเลสจำนวนมากทำให้สามารถรับแรงได้ดี

2) ผลการทดสอบความต้านทานการเจาะทะลุ(Puncture Resistance Test)

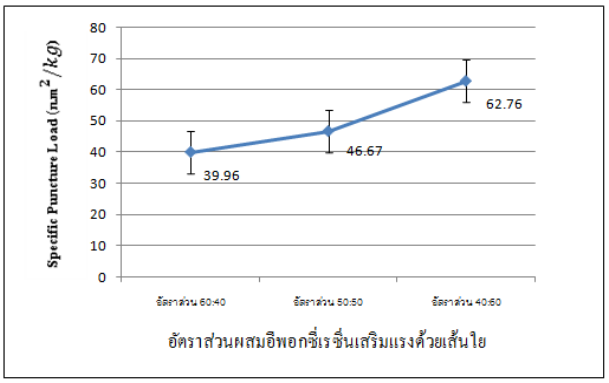


Figure 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการเจาะทะลุกับอัตราส่วนผสม

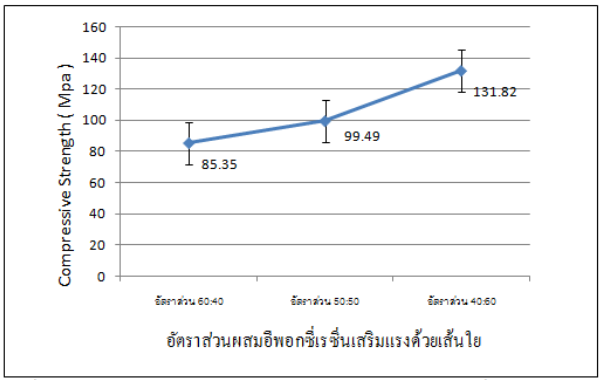


Figure 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นอัดกับอัตราส่วนผสม

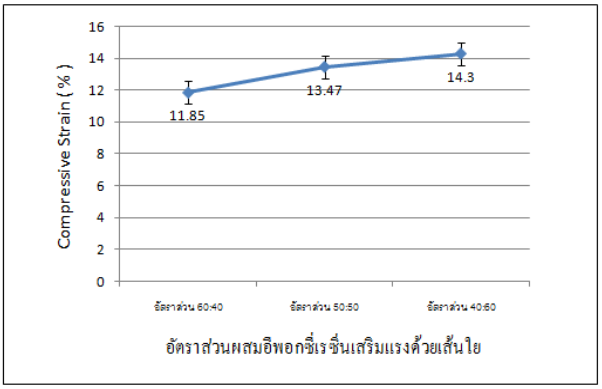


Figure 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดอัดกับอัตราส่วนผสม

3) การทดสอบความแข็ง (Rockwell Hardness Test)

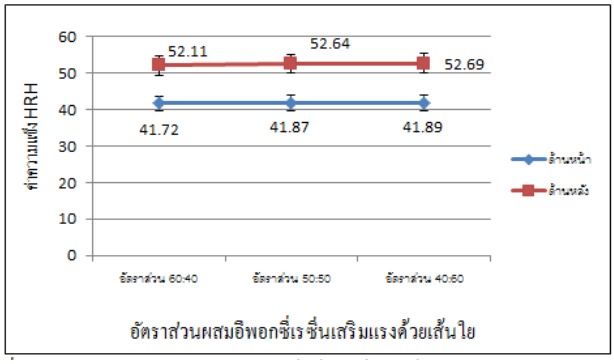
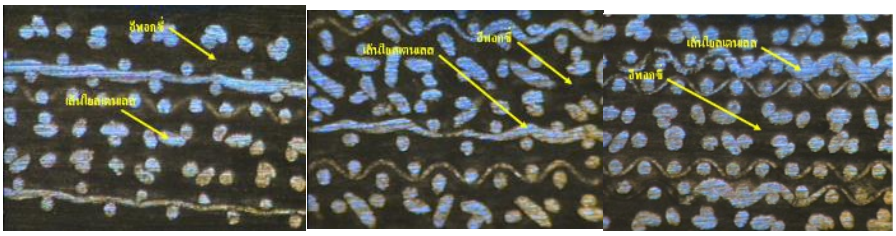


Figure 25 กับอัตราส่วนผสมความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งด้านหน้าและด้านหลังกับอัตราส่วนผสม

4.) การตรวจสอบโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสะท้อน (Reflective Light Optical Microscope)



a) อัตราส่วนผสม 60:40 b) อัตราส่วนผสม50:50 c) อัตราส่วนผสม 40:60

Figure 26 การเกาะตัวของวัสดุประกอบอีพ๊อกซี่กับเส้นใย

จากภาพที่ 22-25 และ 26จากการทดลองวัสดุเชิงประกอบ อีพ๊อกซี่กับเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิก จำนวน 3 อัตราส่วนผสมพบว่าวัสดุเชิงประกอบ ในอัตราส่วน 60 : 40และ 50: 50 จะมีความหนาแน่นการเกาะตัวของเส้นใย ทั้ง 2 ประเภท กับอีพ๊อกซี่ ค่อนข้างห่างและมีจำนวนน้อยกว่า อัตราส่วน 40 : 60 ที่มีการเกาะตัวของเส้นใยจำนวนมากและอยู่ชิดกันด้วยความหนาแน่นกว่า จึงทำให้อัตราส่วนผสมนี้มีความสามารถในการต้านทานแรงดึงการเจาะทะลุความเค้นอัด และความเครียดอัด และมีความแข็งสูง ทั้งด้านหน้าซึ่งเป็นเส้นใยเซรามิกและด้านหลังซึ่งเป็นเส้นใยสแตนเลสเป็นเพราะว่าวัสดุเชิงประกอบนี้มีส่วนผสมของเส้นใยจำนวนมากขึ้น มีความหนาแน่นของการยึดเหนี่ยวระหว่างอีพ๊อกซี่กับเส้นใยเสริมแรงสูงและมีการกระจายตัวของวัสดุประสานที่ดีจึงทำให้สามารถต้านต่อแรงที่มากระทำได้สูงทำให้มีสมบัติทางกลสูงขึ้นในทุกๆด้าน

สรุปผล

จากผลการทดลองวัสดุเชิงประกอบระหว่างอีพอกซี่กับเส้นใยสแตนเลสและเส้นใยเซรามิก3 อัตราส่วนผสมคือ60 : 40 , 50 : 50 และ 40 : 60 พบว่าในอัตราส่วนผสมที่ 40 : 60 มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุด คือมีการต้านทานแรงดึงได้สูงสุด 54.84 MPa การยืดตัว 6.39 % และค่ามอดูลัสของยัง 0.86 GPaการต้านทานการเจาะทะลุสูงที่สุด (Specific Puncture Load) 62.76 $n.m^2/kg$ ค่าความเค้นอัด 131.82 MPaและค่าความเครียดอัด 14.30 %และ มีค่าความแข็งด้านหน้าซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบอีพอกซี่กับเส้นใยเซรามิค41:89 HRH และด้านหลังซึ่งเป็นวัสดุเชิงประกอบอีพอกซี่กับเส้นใยสเตนเลสมีความแข็ง 52:69 HRH

จากการศึกษาปริมาณเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดัดงอและความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์และผงไม้พบว่าความทนทานต่อการดัดงอมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเส้นใยแก้วทั้งนี้เป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะเฉพาะทางกายภาพของไม้ส่วนสมบัติต้านทานการสึกหรอพบว่าการเติมเส้นใยแก้วในวัสดุเชิงประกอบส่งผลให้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบลดลง (ปาริชาติยศแก้ว และ คณะ, 2555)

ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าสมบัติทางกลของวัสเชิงประกอบอีพ๊อกซี่กับเส้นใยสเตนเลสและเส้นใยเซรามิก นั้นจะมีค่าแปรผันเชิงเส้นตามจำนวนของส่วนผสมระหว่างอีพ๊อกซี่กับเส้นใยที่ผสมโดยส่วนผสมที่มีเส้นใยผสมมากขึ้นในอัตราส่วนที่เหมาะสมก็จะมีสมบัติดีขึ้นในทุกๆด้านตามลำดับ ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบนี้สามารถทนต่อการทดสอบการยิงด้วยกระสุนปืนระดับการป้องกัน 2A ตามเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบของ NIJ ที่ระยะการยิงห่าง 5 เมตร กระสุน 9 mm. น้ำหนักหัวกระสุน 124 gr(8 g) ความเร็วประมาณ 1,180 f/s (360 m/s)พบว่ากระสุนทั้ง 5 นัดไม่เกิดการทะลุ กระสุนนัดที่ 1 และ 4 ไม่เกิดรอยยุบตัว แต่กระสุนนัดที่ 2 , 3 และ 5 เกิดการยุบตัวเล็กน้อยแต่ไม่เกิน 44 มิลลิเมตรซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน NIJ(National Institute of Justice 0101.04)

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก งบประมาณกองทุนวิจัยและพัฒนา ประจำปีงบประมาณ 2557 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

เอกสารอ้างอิง

การออกแบบวัสดุผสม (Designing Hybrid Materials). 2556. .[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.qlickbranding.com/learn/chap8/01.htmlJanuary 20, *2013*

จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก.หน้า 23-27. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).กรุงเทพฯ.

ปาริชาติ ยศแก้ว, อภิสิทธิ์โฆษิตชัยยงค์และณรงค์ฤทธิ์สมบัติสมภพ.2555. ผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดัดงอและความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์ และผงไม้. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

ศิริชัย ปึงพิพัฒน์ตระกูล และ วรัญชัย มั่นคงวิวัฒน์, 2550. การทดสอบแผ่นผนังวัสดุเชิงประกอบกันกระสุน [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http:/www.rtafa.ac.th/civil/research/2550/bulletproof_wall.pdf (15 December2558)

Annual Book of ASTM Standards.1990.Standard test method for impact resistance of plastics and electrical insulating materials ASTM. D3039. Vol. 08. Philadelphia.

Annual Book of ASTM Standards.1990Standard test method for flexural properties of reinforced and unreinforced plastics and electrical insulating materials ASTM C39.Vol 08. Philadelphia.