

การทดสอบการกระแทกของวัสดุประกอบรูปรวงผึ้งที่มีการเสริมแรงด้วยใยแก้ว/อีพอกซี

Impact testing of the honeycomb-core sandwich composite constructed with fiber glass /epoxy facing sheets

สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ

สกนธ์ ประทีปะจิตติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ เสนอการวิเคราะห์การกระแทกที่เกิดจากแรงปะทะของกระสุนปืน บนวัสดุประกอบรูปรวงผึ้งอลูมิเนียม ขนาด 6.35 และ 9.525 มม. แกนสูง 15.875 มม.ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยเป็นชั้นๆที่ผิวด้วยวิธีการทอรอง ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการเสริมแรงด้านบนจะใช้ ใยแก้ว/อีพอกซี $v_f = 45\%$ โดยแบ่งพิจารณาเป็น 2 แบบคือ แบบเส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่องกระจายในทุกทิศทาง และแบบเส้นใยถัก ที่ขนาดความหนา 11 มม. ส่วนแผ่นประกอบด้านบนและด้านล่างจะใช้แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มม. โดยใช้โปรแกรม Finite Element Analysis เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์เพื่อดูพฤติกรรมในการยุบตัวของเซลล์รูวงผึ้ง โดยจากผลการทดสอบและวิเคราะห์พบว่าเซลล์รูวงผึ้งขนาด 9.525 มม.ที่มีการเสริมแรงด้วยใยแก้ว/อีพอกซีแบบเส้นใยถักจะมีการต้านทานการเจาะทะลุและดูดซับพลังงานและกระจายแรงปะทะของกระสุนปืนขนาด .38 และขนาด 9 มม. ได้ดี

Abstract

This paper presents the analysis of impact brought about by bullets towards the aluminum honeycomb-core sandwich construction of 6.35 and 9.525 mm cell size and 15.875 mm in height, with two types of fiberglass/epoxy 11 mm thick laminated facing, namely Randomly Oriented Discontinuous Fiber and Woven Fiber composite by experiment. The upper and lower facing consists of 1 mm thick aluminum sheet. Finite Element Analysis program is adopted to determine the deflections of honeycomb core. As a result of the tests and

analysis, it is evident that 3/8 inch cell size with Woven Fiber Composite laminated facing is more satisfactorily resistant penetration and more efficiently absorbs energy produced by .38 and 9 mm bullets.

1) บทนำ

ทุกวันนี้อัตราเสี่ยงต่อชีวิตของเจ้าหน้าที่ตำรวจหรือเจ้าหน้าที่รักษากฎหมายของหน่วยงานต่างๆระหว่างการปฏิบัติหน้าที่มีมากมาย คืออาชญากรรมต่างๆที่พุ่งสูงจนน่าตกใจรวมทั้งคดียาเสพติดที่นับวันจะเพิ่มความเสี่ยงมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการป้องกันตัวเองเบื้องต้นเพื่อสงวนรักษาชีวิตทรัพยากรบุคคลอันมีค่าจึงเป็นสิ่งสำคัญ เสือเกราะกันกระสุนจึงจัดได้ว่าเป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญยิ่งที่บรรดาเจ้าหน้าที่ต้องเรียนรู้และใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายท่าน ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วัสดุที่มีราคาถูกและสามารถผลิตได้ภายในประเทศทดแทนการสั่งนำเข้าเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพงเพื่อนำมาใช้ในการสร้างเกราะกันกระสุน เช่น งานของจินตชัย สุวรรณประทีป [1] ได้ศึกษาถึงการเลือกใช้คอมโพสิตเป็นเกราะป้องกันภัยในยานยนต์ทางทหาร งานของ สุจิระ ขจรจิตต์เมตต์ ร่วมกับ สมประสงค์ ภาษาประสงค์ และ อภิชาติ สนธิสมบัติ [2] ได้ทำการประดิษฐ์เสือเกราะกันกระสุนโดยใช้เส้นใยโหมมาใช้ในการตัดเย็บ โดยผลที่ได้นั้นสามารถต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนในเสือเกราะระดับที่ 1 ได้ดี นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุประกอบรูปรวงผึ้งชั้นงานของ สนธิพิรุ์ เอมมณี ร่วมกับ เอกชัย คล้ายวงค์วาลย์ [3] ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกลของแผ่นแซนด์วิชภายใต้การกด

RECEIVED 5 NOVEMBER, 2001

ACCEPTED 30 JANUARY, 2002

งานของ ฐานิฐ์ ทิมนาม ร่วมกับ ณัฐภูมิ มัจพันธ์ [4] ได้ศึกษาถึงการวิเคราะห์การโค้งงอและการดัดแปลงพลังงานของวัสดุประกอบรูปร่างผิวด้าน โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุประกอบรูปร่างผิวด้านนั้นมีการดูดซับพลังงานได้ดี

การยุบตัวของเนื้อเยื่อหลังจากเกิดการปะทะของกระสุน ยังคงเป็นปัญหาที่น่าสนใจอยู่เช่นเดียวกับเนื้อเยื่อกระดูก กระดูกแบบต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบันทั่วไป กล่าวคือแม้ว่าเนื้อเยื่อกระดูกนั้นจะสามารถยับยั้งกระดูกไม่ให้เกาะทะลุลงเข้าสู่ร่างกายผู้สวมใส่ได้ แต่ก็ไม่สามารถป้องกันอาการบาดเจ็บอันเกิดจากแรงกระแทกมหาศาลของกระดูกซึ่งอาจจะเกิดเพียงแค่วรรณกลองฟกช้ำไปจนถึงขั้นกระดูกแตกหักได้

โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของการยุบตัวที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการปะทะของกระสุน และได้ทำการศึกษาค้นคว้าใช้วัสดุประกอบรูปร่างผิวด้านที่มีการเสริมแรงที่ผิว นำมาทำการพัฒนาเป็นอุปกรณ์เสริมบริเวณหน้าอกของเนื้อเยื่อที่สามารถนำไปใช้ร่วมกับเนื้อเยื่อชนิดต่างๆได้ และทำการทดสอบเพื่อให้ได้ซึ่งการยุบตัวของวัสดุอันเนื่องมาจากแรงปะทะของกระสุนในส่วนของผิวด้านหลังให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผิวที่เสริมแรงบนวัสดุประกอบนี้จะทดลองใช้วัสดุที่มีราคาถูกแต่มีความแข็งแรงสูงและสามารถผลิตได้ภายในประเทศ นั่นคือเส้นใยแก้วโดยนำมาวางเรียงซ้อนกันและใช้อีพอกซีเป็นตัวประสาน โดยผิวที่เสริมแรงด้วยเส้นใยนี้จะเป็นตัวต้านทานการเจาะทะลุของกระสุน และในส่วนของวัสดุประกอบรูปร่างผิวด้านจะทำหน้าที่ในการดูดซับพลังงานและกระจายแรงปะทะที่เล็ดลอดค้ำจากแรงที่เกิดขึ้นเฉพาะจุดไปเป็นแรงที่มีความสม่ำเสมอบนพื้นผิวด้านหลังเพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดอาการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการยุบตัวเฉพาะจุด

สำหรับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีนั้น จะใช้โปรแกรม Ansys ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทาง Finite Element Analysis มาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ

2) ทฤษฎีในการคำนวณและออกแบบ

สำหรับวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบเพื่อใช้เป็นตัวต้านทานการเจาะทะลุของกระสุน จะใช้ใยแก้วเกรด E ซึ่งเป็นใยแก้วที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด และใช้อีพอกซีเรซิน

ชนิดกลุ่มบิสฟีนอล เอ (Bisphenol A-Type Resin) เป็นตัวประสาน ซึ่งใยแก้วที่ใช้ทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. เส้นใยแก้วชนิดไม่ต่อเนื่องกระจายในทุกทิศทาง
2. เส้นใยแก้วชนิดถัก

โดยในแบบแรกจะพิจารณาให้เป็นวัสดุประเภทไอโซทรอปิก และแบบที่สองจะพิจารณาให้เป็นวัสดุประเภททรานสเวอร์สไอโซทรอปิก

ซึ่งการประมาณค่าโมดูลัสของยัง (Young's modulus) และ โมดูลัสเฉือน ของใยแก้ว/อีพอกซี ชนิดเส้นใยไม่ต่อเนื่องกระจายในทุกทิศทางสามารถหาได้จากสมการ [5]

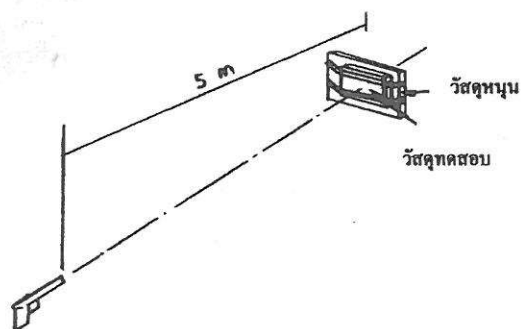
$$\tilde{E} = \frac{3}{8} E_1 + \frac{5}{8} E_2 \quad (1)$$

$$\tilde{G} = \frac{1}{8} E_1 + \frac{1}{4} E_2 \quad (2)$$

จากสมการที่ 1 และ 2 จะได้อัตราส่วนปัวซองคือ

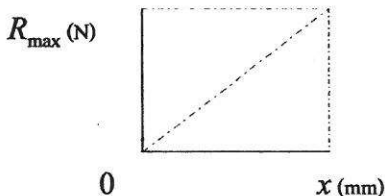
$$\tilde{\nu} = \frac{\tilde{E}}{2\tilde{G}} - 1 \quad (3)$$

การจัดเรียงมุมในแต่ละชั้นของใยแก้ว/อีพอกซี ประเภทเส้นใยถักจะเป็นแบบ $[(0/90 \pm 45)_7 / 0/90]$ ใยแก้ว/อีพอกซีทั้งสองชนิดจะมีความหนาเท่ากันคือ 11 มม. โดยวัสดุรูปร่างผิวด้านที่ใช้ในการทดสอบจะแบ่งเป็นสองขนาดคือ ขนาดเซลล์ 6.35 มม. และ 9.525 มม. ซึ่งทั้งสองขนาดนี้จะมีขนาดเท่ากันคือ 15.875 มม. ส่วนแผ่นประกบด้านบนและด้านล่างของเซลล์รูปร่างผิวด้านจะใช้อลูมิเนียมแผ่นหนา 1 มม. โดยที่ขนาดพื้นที่ชั้นทดสอบของวัสดุประกอบรูปร่างผิวด้านและใยแก้ว/อีพอกซีทั้งสองประเภทที่ใช้ในการทดสอบจะเท่ากันคือ 254×304.8 มม² (เป็นขนาดตามมาตรฐานของวัสดุเสริมบริเวณหน้าอกของเนื้อเยื่อกระดูกกระสุนที่มีอยู่ในปัจจุบัน) ซึ่งลักษณะการประกอบกันของวัสดุประกอบแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1. แสดงระยะห่างในการอิงทดสอบ

ในส่วนของโหลดที่กระทำจะกระทำที่ตำแหน่งกึ่งกลางของวัตถุ ซึ่งค่า Boundary Condition ในการทดสอบของวัตถุทั้งสองชนิดนี้จะเหมือนกันคือมีการรองรับแบบ simple support ที่มุมทั้งสี่ด้านและมีวัสดุหนุนพื้นผิวด้านล่างโดยจะใช้ดินเหนียว เป็นตัวรองรับซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน NIJ-STD-0101.03 ของวัสดุหนุนที่ใช้ในการทดสอบเพื่อกระแทกกระสุน โดยในแต่ละแบบของชิ้นทดสอบจะมีจำนวนอย่างละ 5 ชิ้น และจะแบ่งพิจารณาโหลดออกเป็นสองขนาดคือโหลดเนื่องจากกระสุนปืนขนาด .38 และ 9 มม. โดยที่กระสุนขนาด .38 จะเป็นแบบหัวตะกั่วปลายมนและกระสุนขนาด 9 มม. จะเป็นแบบหัวหุ้มเปลือกแข็งซึ่งเป็นหัวกระสุนแบบที่ให้อำนาจการเจาะทะลุได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับกระสุนขนาดเดียวกันในแบบอื่นๆ ส่วนการประมาณค่าโหลดของกระสุนจากไดนามิกส์ โหลดไปเป็นสถิติโหลด สามารถพิจารณาได้จากแรงต้านทาน (R) ต่อระยะ (x) ของลูกกระสุนปืนที่เจาะเข้าไปได้ลึกที่สุดในเนื้อของวัสดุทดสอบซึ่งเป็นไปในลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2 โดยสมมติให้มีลักษณะเป็นเชิงเส้นและพิจารณาให้แรงต้านในเนื้อวัสดุมีค่าเท่ากับสถิติโหลด



รูปที่ 2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทาน (R) กับระยะฝังตัวของกระสุน (x)

จากความสัมพันธ์ของพลังงานสามารถแสดงได้โดย

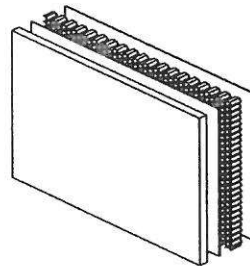
$$\text{พลังงานปะทะของกระสุน} = \text{พื้นที่ใต้กราฟ R-x} \quad (4)$$

จากการทดสอบยิงวัสดุใยแก้ว/อีพอกซีชนิดเส้นใยดกที่วางซ้อนทำมุมกันดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น (หนา 11 มม.) โดยไม่มีวัสดุปรุวงฝึงเป็นตัวรองรับ เพื่อใช้ในการประมาณค่าโหลดพบว่ากระสุนขนาด .38 สามารถฝังเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกที่สุด 4.5 มม. และกระสุนขนาด 9 มม. ฝังเข้าไปได้ลึกที่สุด 6.5 มม. ดังนั้นจากสมการที่ 4 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

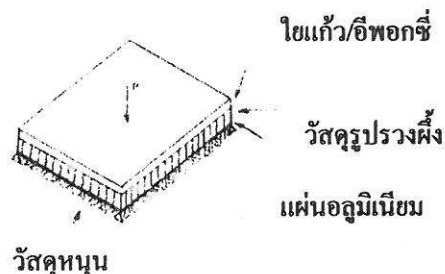
$$U = \frac{1}{2} x R_{\max} \quad (5)$$

จะได้ค่าแรงต้านทานของกระสุนคือ

$$R_{\max} = \frac{2U}{x} \quad (6)$$



รูปที่ 3. ลักษณะการประกอบกันของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 4. โหลดที่กระทำบนวัตถุที่มีการรองรับแบบ Simple support และวัสดุหนุนที่ผิวด้านล่าง

การคำนวณหาหน้าหนักของใยแก้วและหน้าหนักของอีพอกซีเป็นไปตามสมการ weight fraction และสมการของความหนาแน่นของวัสดุประกอบ [5] คือ

$$w_f + w_m = 1 \quad (7)$$

ซึ่ง $w_f = W_f / W_c$, $w_m = W_m / W_c$ โดยที่ W_f , W_m และ W_c คือน้ำหนักของใยแก้ว, อีพอกซี และวัสดุประกอบตามลำดับ โดยที่ความหนาแน่นของวัสดุประกอบหาได้จาก

$$\rho_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m \quad (8)$$

$$\rho_c = \frac{1}{(w_f / \rho_f) + (w_m / \rho_m)} \quad (9)$$

ซึ่ง ρ_f , ρ_m คือความหนาแน่นของใยแก้วและอีพอกซี v_f และ v_m คือ volume fraction ของใยแก้วและอีพอกซี จากสมการที่ 8 และ สมการที่ 9 จะได้ว่า weight fraction ของใยแก้วคือ

$$w_f = \frac{\rho_f \rho_m - \rho_f \rho_c}{\rho_c (\rho_m - \rho_f)} \quad (10)$$

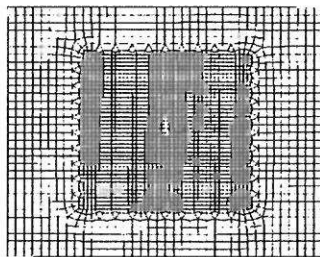
จะได้ค่าน้ำหนักของใยแก้วและอีพอกซีคือ

$$W_f = w_f W_c \quad (11)$$

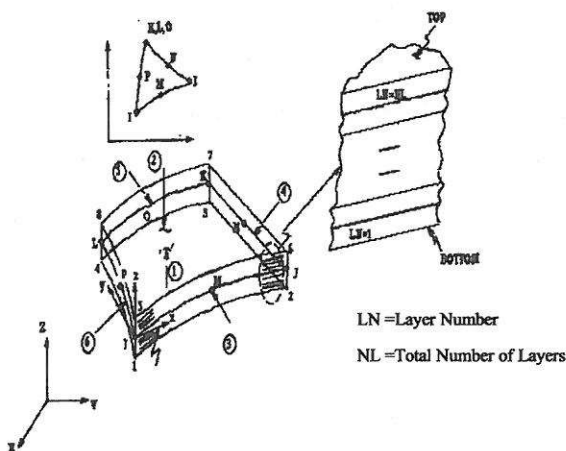
$$W_m = (1 - w_f) W_c \quad (12)$$

3)การวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์ (FEA)

การวิเคราะห์นี้เพื่อหาการยุบตัวของเซลล์รวงผึ้งและค่า Strain Energy ของแผ่นประกอบด้านล่างเพื่อใช้ในการประมาณค่าการดูดซับพลังงานที่เกิดจากการรับโหลดที่บริเวณจุดกึ่งกลาง โดยที่วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางไฟไนท์เอลิเมนต์จะใช้วิธีเอลิเมนต์เชิงเส้น (H-method) และชนิดของเอลิเมนต์จะเป็นแบบ Shell element ซึ่งแบ่งเอลิเมนต์ออกเป็น 1624 เอลิเมนต์ โดยแบบจำลองทางไฟไนท์ เอลิเมนต์และระบบพิกัดแกนจะแสดงในรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5. แบบจำลองทางไฟไนท์เอลิเมนต์



รูปที่ 6. ระบบพิกัดแกนของเอลิเมนต์

ในการควบคุมค่า v_f ของวัสดุทดสอบให้เท่ากับ 45% นั้นทำได้โดยการกำหนดน้ำหนักที่แน่นอนของวัสดุประกอบซึ่งในที่

นี้กำหนดให้น้ำหนักโดยรวมของวัสดุประกอบ(เฉพาะใยแก้ว/อีพอกซี)(W_c)มีค่าเท่ากับ 1500 กรัม โดยที่ค่า ρ_f และ ρ_m มีค่าเท่ากับ 25.4 และ 1.2 g/cm³ [5] ตามลำดับ

ดังนั้นจากสมการที่ 8, 10, 11 และสมการที่ 12 สามารถหาค่าน้ำหนักของใยแก้วและน้ำหนักของอีพอกซีได้ประมาณ 950 กรัม และ 550 กรัม ตามลำดับ

คุณสมบัติของใยแก้ว/อีพอกซี $v_f = 45\%$ [6]

วัสดุประเภททรานสเวอร์สลิโอโซโทรปิก

โมดูลัสในทิศทาง x (E_x) 38.6 GPa

โมดูลัสในทิศทาง y (E_y) 8.27 GPa

อัตราส่วนปัวซอง (ν_{12}) 0.26

อัตราส่วนปัวซอง (ν_{23}) 0.52

โมดูลัสเฉือน (G_{xy}) 4.14 GPa

โมดูลัสเฉือน (G_{yz}) 2.72 GPa

วัสดุประเภทไอโซโทรปิก

โมดูลัส ($\tilde{E}$) 19.64 GPa

โมดูลัสเฉือน ($\tilde{G}$) 6.893 GPa

อัตราส่วนปัวซอง ($\tilde{\nu}$) 0.413

ตารางที่ 1. พลังงานปะทะของกระสุน

ขนาดกระสุน	พลังงานปะทะของกระสุน (Nm)
.38 [7]	271.2
9 มม. [8]	454.26

แทนค่าพลังงานปะทะของกระสุนจากตารางที่ 1 และระยะฝังตัวลึกสุดของกระสุนบนวัสดุทดสอบลงในสมการที่ 6 สามารถหาค่าโหลดเนื่องจากแรงต้านทานของกระสุนได้เป็น
 โหลดเนื่องจากกระสุนขนาด .38 120.53 KN
 โหลดเนื่องจากกระสุนขนาด 9 มม. 139.8 KN

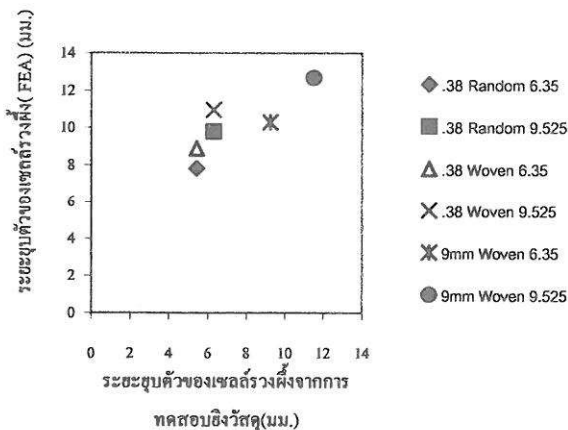
ตารางที่ 2. คุณสมบัติของวัสดุรูปทรง

ขนาดเซลล์ (มม.)	Foil Gauge (มม.)	ความหนาแน่น (Kg/m ³)	โมดูลัส (MPa)
6.35	0.0762	83.296	1020.5
9.525	0.0762	57.667	634.34

4) ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

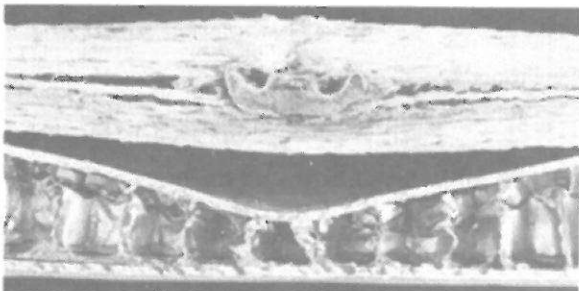
จากการทดสอบโดยการยิงด้วยปืนขนาด .38 และขนาด 9 มม. สังเกตพบว่าขณะเกิดการปะทะไม่มีการสะท้อนกลับของวัสดุทดสอบ และระยะยุบตัวของวัสดุหนูนที่ฐานรองรับมีการยุบตัวเฉพาะจุดเท่ากับระยะยุบตัวของแผ่นประกบด้านล่างของเซลล์ร่วผึ้ง

ดังนั้นในการประมาณค่าของการดูดซับพลังงานในที่นี้จะพิจารณาเพียงค่าของ Strain Energy ของแผ่นประกบด้านล่าง เทียบกับค่าพลังงานปะทะของกระสุนที่ใส่เข้าไป โดยจากการทดสอบยังพบว่าใยแก้ว/อีพอกซีชนิดเส้นใยถัก สามารถต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนปืนขนาด .38 และ 9 มม. ได้ดี ส่วนใยแก้ว/อีพอกซีชนิดเส้นใยไม่ต่อเนื่องกระจายในทุกทิศทาง สามารถต้านทานการเจาะทะลุได้เพียงกระสุนขนาด .38



รูปที่ 7. แสดงผลเปรียบเทียบการยุบตัวของเซลล์ร่วผึ้งระหว่างการทดสอบกับการวิเคราะห์ทาง finite element

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าระยะยุบตัวของเซลล์ร่วผึ้งจากการวิเคราะห์ทาง finite element มีค่าที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับค่าระยะยุบตัวที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งจะนำค่าระยะยุบตัวที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ไปใช้ในการหาค่า Strain Energy ของแผ่นประกบด้านล่างดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 8. การยุบตัวของเซลล์ร่วผึ้งขนาดเซลล์ 9.525 มม. (กระสุนขนาด 9 มม. , แบบเส้นใยถัก)

ตารางที่ 3. แสดงระยะยุบตัวของแผ่นประกบด้านล่างและการดูดซับพลังงานของวัสดุทดสอบ

ขนาดกระสุน	ชนิดของใยแก้ว/อีพอกซี	ขนาดเซลล์ร่วผึ้ง (มม.)	ระยะยุบตัวของแผ่นประกบด้านล่าง (มม.)	Strain Energy ของแผ่นประกบด้านล่าง (Nm)	การดูดซับพลังงานของวัสดุทดสอบ (%)
.38	Woven	9.525	0.44	0.66	99.6
.38	Woven	6.35	1.32	2.40	99.1
9 มม.	Woven	9.525	0.56	0.97	99.8
9 มม.	Woven	6.35	3.96	8.34	98.2
.38	Random	9.525	0.42	0.50	99.8
.38	Random	6.35	1.28	1.85	99.3

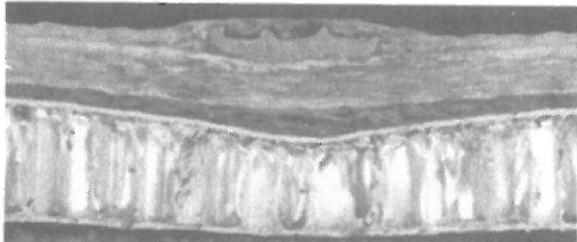
โดยที่ระยะยุบตัวของแผ่นประกบด้านล่างของเซลล์ร่วผึ้งจากตารางที่ 3 หาได้จากการหาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบวัสดุทดสอบจำนวนอย่างละ 5 ชิ้น และพบว่าหลังจากรับแรงปะทะแล้วเซลล์ร่วผึ้งทั้งสองขนาดมีการดูดซับพลังงานที่ใกล้เคียงกัน โดยที่เซลล์ร่วผึ้งขนาด 9.525 มม. จะดูดซับพลังงานและกระจายแรงปะทะได้ดีที่สุด ซึ่งโดยรวมแล้วสามารถดูดซับพลังงานได้ถึง 99.8% ส่วนพลังงานที่เหลือส่วนน้อยนั้นจะเป็นพลังงานที่ถูกดูดซับโดยวัสดุหนูน โดยที่ภาคตัดของวัสดุทดสอบชนิดต่างๆ หลังจากเกิดการปะทะของกระสุน ซึ่งจะแสดงถึงลักษณะการยุบตัวของเซลล์ร่วผึ้งและแผ่นประกบด้านล่างรวมทั้งการเจาะทะลุและการเปลี่ยนรูปของหัวกระสุนหลังจากเกิดการปะทะจะแสดงในรูปที่ 8-13



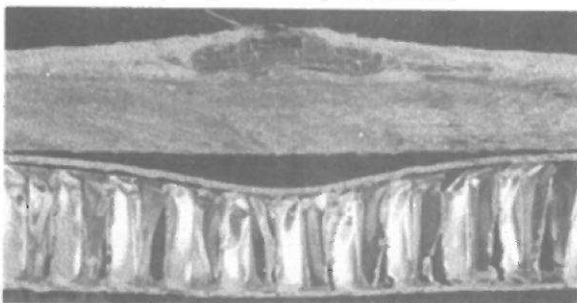
รูปที่ 9. การยุบตัวของเซลล์ร่วผึ้งขนาดเซลล์ 6.35 มม. (กระสุนขนาด 9 มม. , แบบเส้นใยถัก)



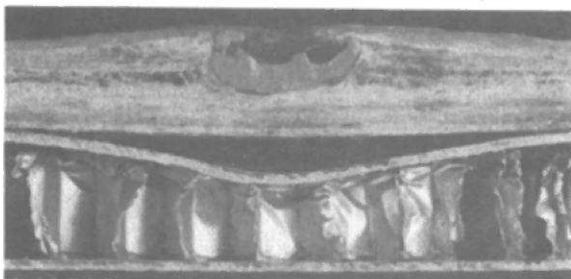
รูปที่10. การชุบตัวของเซลล์รวงผึ้งขนาดเซลล์ 9.525 มม.
(กระสุนขนาด .38 , แบบเส้นใยถัก)



รูปที่11. การชุบตัวของเซลล์รวงผึ้งขนาดเซลล์ 6.35 มม.
(กระสุนขนาด .38 , แบบเส้นใยถัก)



รูปที่12. การชุบตัวของเซลล์รวงผึ้งขนาดเซลล์ 6.35 มม.
(กระสุนขนาด .38 ,เส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่องกระจายทุกทิศทาง)



รูปที่13. การชุบตัวของเซลล์รวงผึ้งขนาดเซลล์ 9.525 มม.
(กระสุนขนาด .38 ,เส้นใยชนิดไม่ต่อเนื่องกระจายทุกทิศทาง)

5) สรุป

ผลการวิเคราะห์หาระยะชุบตัวของเซลล์รวงผึ้งทาง Finite element ที่ได้นั้นมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งจากการวิเคราะห์และทดสอบพบว่าใยแก้วชนิดเส้นใยถักจะสามารถต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนได้ดีกว่าใยแก้วชนิดไม่ต่อเนื่องกระจายในทุกทิศทาง และวัตถุประกอบรูปร่างขนาดเซลล์ 9.525 มม. ที่มีการ

เสริมแรงเป็นชั้นๆที่ผิวด้วยใยแก้ว/อีพอกซี ชนิด เส้นใยถักจะสามารถต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนขนาด.38 และ 9 มม. ได้ดีและยังดูดซับพลังงานจากการปะทะได้ถึง99.8% โดยสามารถกระจายแรงปะทะในบริเวณพื้นผิวด้านหลังออกไปอย่างสม่ำเสมอซึ่งจะช่วยลดอาการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการชูบตัวเฉพาะจุดได้เป็นที่น่าพอใจ

6) เอกสารอ้างอิง

- [1] จินตมัย สุวรรณประทีป. "คอมโพสิตในยานยนต์ทางทหาร." วารสารเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุ, ฉบับที่2 (มกราคม-มีนาคม 2544), หน้า17-20
- [2] สุจิระ ขจรจิตต์เมตต์,สมประสงค์ ภาษาประสงค์,อภิชาติ สนธิสมบัติ. "การศึกษาความเป็นไปได้เพื่อพัฒนาเส้นใยไหมมาใช้ในการผลิตเสื้อเกราะ." วารสารข่าวสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ปีที่41, ฉบับที่431 (มกราคม-มีนาคม 2543), หน้า14
- [3] สนธิพิรย์ เอมมณี,เอกชัย คล้ายวงศ์วาลย์ "คุณสมบัติทางกลของแผ่นแซนด์วิชภายใต้การดัด" บทความสัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย,ครั้งที่13, ฉบับที่ 2 (ธันวาคม 2542)
- [4] ฐานิฐฐ์ ทินนาม และ ฌัญญุมิ มังพันธ์. "การวิเคราะห์การโค้งงอและการดัดกลืนพลังงานของวัตถุประกอบรูปร่างผึ้ง." ปรินญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536.
- [5] Ronald F.Gibson., Principles of Composite Material Mechanics. McGraw-Hill, Inc., 1994
- [6] D. Hull and T.W. Clynn., An Introduction to Composite Materials.Cambridge University press., 1996
- [7] สมิตร์ ศิริไช. "ตารางเทียบอานุภาพกระสุนปืนสั้น."Gun Magazine. ปีที่1, ฉบับที่ 5(สิงหาคม 2539), หน้า 46
- [8] กิ่ง สุราบาล. "สนทนภาษาปืน." นิตยสารการกีฬาและวิชาการปืน. ปีที่13, ฉบับที่155(กันยายน 2530), หน้า 43