

การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนจาก เกล็ดปลาด้วยวิธีทดสอบแรงกระแทก

Feasibility Study on The Development of Bulletproof Vest with Fish Scale by Dart Impact Method.

ดวงกมล ไชกเฉลิม¹ วิภู ศรีสืบสาย²

¹สาขาวิศวกรรมป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : kmitl.dkm@gmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : wipoo.sr@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการนำเกล็ดปลามาพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของเรซิน เพื่อพัฒนาคุณสมบัติความต้านทานด้านแรงกระแทก สำหรับการพัฒนาไปสู่การออกแบบเสื้อเกราะกันกระสุน โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนชั้นของเกล็ดปลากับการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกด้วยวิธีตกระแทก การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบใช้โพลีเอสเตอร์เรซินเป็นวัสดุเนื้อพื้นและเกล็ดปลาเป็นวัสดุเสริมแรง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโพลีเอสเตอร์เรซินกับจำนวนชั้นเกล็ดปลามีความสัมพันธ์กับการทนทานต่อแรงกระแทก ผลการทดลองพบว่าเกล็ดปลา 2 ชั้น สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่าการใช้เกล็ดปลา 1 ชั้นและ 3 ชั้น และพบว่าความต้านทานแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา มี

ความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนจากเกล็ดปลา

Abstracts

This research was studied the possibility of resin composites development by using fish scale in order to improve impact resistance. For development The result of this study would be the alternative material to design a bulletproof vest. The experiment was performed by comparing the number of fish scale layers to the impact resistance according to the dart impact testing. . The polyester resins and ground fish scales which acted as reinforcement material was molded . The results showed that the polyester resin and the number of fish scale layer affected to the impact resistance. The results also showed that using two layer of fish scale can absorb the impact energy higher than others. It is possible to develop a bulletproof vest from fish scales.

Keywords: Bulletproof vest, Fish scale, Polyester resin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

เสื้อเกราะกันกระสุน หลายคนเข้าใจว่าสามารถป้องกันการทะลุทะลวงกระสุนปืนได้ทุกครั้ง แต่ความเป็นจริงเสื้อเกราะมีขีดจำกัดการป้องกันกระสุนปืนอยู่ ซึ่งขึ้นกับว่าเสื้อเกราะถูกผลิตและออกแบบมาเพื่อรองรับกระสุนระดับใด โดยในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันว่าวัสดุที่นิยมนำมาผลิตเสื้อเกราะกันกระสุน ได้แก่ เคฟลาร์ (kevlar) [1] เป็นชื่อทางการค้าของโพลีพาราฟีนีลีนเทอเรฟทาเลอามิ (poly-paraphenylene terephthalamide) นอกจากเคฟลาร์แล้วยังมีการนำเอาวัสดุอื่นมาผลิตเป็นเสื้อเกราะกันกระสุน เช่น สเปคตร้า (spectra)[1] เป็นชื่อทางการค้าของโพลีเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงยิ่งยวด (Ultra High Molecular Weight Polyethylene, UHMWPE) เสื้อเกราะกันกระสุนที่ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์เหล่านี้จัดเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนแบบอ่อน (soft ballistic vest) เพราะใช้วัสดุที่มีสมบัติทนแรงดึงสูงมากมาขึ้นรูปเป็นเส้นใยเพื่อทอเป็นผืนและนำมาเรียงซ้อนกันหลายชั้น โดยแผ่นวัสดุสังเคราะห์แต่ละผืนจะวางสลับแนวกันให้เส้นใยทอมุม 90 องศา การออกแบบเพื่อให้เสื้อเกราะมีทั้งความแข็งแรง และความยืดหยุ่น (flexible) ทำให้เสื้อเกราะกันกระสุนจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อป้องกันกระสุนปืนที่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง ซึ่งวิธีการปรับปรุงเสื้อเกราะวิธีหนึ่งคือ การเสริมแรงด้วยแผ่นวัสดุแข็งต่างๆ เช่น แผ่นไทเทเนียม แผ่นเหล็กกล้า แผ่นเซรามิกแข็ง เป็นต้น แม้วัสดุที่ใช้มีหลายชนิด แต่ที่นิยมนำมาทำแผ่นเกราะแข็งเสริมให้เสื้อเกราะคือ แผ่นเซรามิก เนื่องจากมีน้ำหนักเบากว่าโลหะแต่มีราคาไม่สูง ส่วนการเสริมด้วยแผ่นโลหะนิยมประยุกต์ใช้กับยานพาหนะหุ้มเกราะมากกว่า สำหรับเซรามิกที่นำมาทำแผ่นเกราะแข็งได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) โบรอนคาร์ไบด์ (boron carbide) รวมถึงซิลิกอนคาร์ไบด์ (silicon carbide) ซึ่งเสื้อเกราะที่เสริมแรงด้วยแผ่นเกราะแข็งเหล่านี้จะเป็นเสื้อเกราะที่สามารถป้องกันกระสุนปืนได้ในระดับ III หรือ ระดับ IV ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ระดับการป้องกันของเสื้อเกราะ

(Classification) มาตรฐาน NIJ [1]

ระดับการป้องกัน	ชื่อปืน	ชนิดกระสุน	น้ำหนักกระสุน	ความเร็วกระสุน
I	38	RN	158	259 m/s (850 ft/s)
	SPECIAL	LEAD	GRAIN	320 m/s (1050 ft/s)
	22 LRHV	LEAD	40 GRAIN	
II A	357	JSP	158	384 m/s (1250 ft/s)
	MAGNUM 9 MM	FMJ	GRAIN 124 GRAIN	332 m/s (1090 ft/s)
II	357	JSP	158	425 m/s (1395 ft/s)
	MAGNUM 9 MM	FMJ	GRAIN 124 GRAIN	358 m/s (1175 ft/s)
III A	44	JSP	240	426 m/s (1400 ft/s)
	MAGNUM 9 MM	LEAD FMJ	GRAIN 124 GRAIN	426 m/s (1400 ft/s)
III	7.62 MM	FMJ	150 GRAIN	838 m/s (2750 ft/s)
IV	30-06	AP	166 GRAIN	868 m/s (2850 ft/s)
REMARK	AP : Armor Piercing, FMJ : Full Metal Jacketed, JSP : Jacketed soft Point, LRHV: Long Rifle High Velocity			

เมื่อเหตุการณ์ในประเทศยังมีความรุนแรงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ทหารและตำรวจที่ปฏิบัติภารกิจในพื้นที่จำเป็นต้องใช้เสื้อเกราะป้องกันกระสุนประสิทธิภาพสูง ซึ่งเป็นยุทธภัณฑ์ราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และบริษัท พีทีทีโพลีเมอร์มาร์เก็ตติ้ง จำกัด ในกลุ่มบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)[2] จึงร่วมกันวิจัยและพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนแบบแข็งที่มีสมบัติป้องกันกระสุนปืนระดับเอ็ม-16 และปืนไรเฟิลเพื่อปกป้องชีวิตทหาร-ตำรวจผู้ปฏิบัติงาน หัวใจของเสื้อเกราะแบบแข็งอยู่ที่แผ่นเกราะแข็งขนาด 10.5x12 นิ้ว มีความหนาเฉลี่ย 4 เซนติเมตร และหนักประมาณ 4 กิโลกรัม/แผ่น แผ่นเกราะประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ชั้น ทำจากวัสดุ 2 ชนิด ประกบกัน โดยชั้นนอกเป็นแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะลูมิเนียมออกไซด์ ชั้นเซรามิกแข็งที่ทำหน้าที่ทำลายหัวกระสุนให้แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ และช่วยกระจายแรงปะทะ ส่วนนี้ดำเนินการพัฒนาโดย ดร.กุลจิรา สุจิโรจน์ นักวิจัยเอ็มเทคและทีมวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยชิ้นส่วนเซรามิกเพื่องานวิศวกรรมขณะที่ยังเป็นแผ่นโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) ทำหน้าที่กระจายแรงและลดแรงกระแทก ดำเนินการพัฒนาโดยทีมวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งผลการทดสอบตามมาตรฐานของ NIJ โดยกรมพลสิทธิการตำรวจปรากฏว่า เสื้อเกราะแบบแข็งมีระดับการป้องกันในระดับ III คือ ป้องกันกระสุนปืนขนาด 7.62 มม. NATO และกระสุนปืนไรเฟิลได้

ในปัจจุบันมีการนำเกล็ดปลาไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่นนำมาทำเป็นดอกไม้ประดิษฐ์ (นิรนาม, ม.ป.ป.) เครื่องประดับประเภทโบว์ติดผม เข็มกลัดติดเสื้อ ต่างหูเป็นต้น หรือใช้ ตกแต่งของใช้ เช่น กรอบรูป กระชกกลองใส่นามบัตรแจกัน เป็นต้น (จงจิตร, ม.ป.ป.) การสกัดคอลลาเจนจากเกล็ดปลาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการใช้ประโยชน์โดยที่คอลลาเจนที่สกัดได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายเช่น ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารใช้ในทางการแพทย์และทางเภสัชกรรม ใช้เป็นแคลชูดยา ใช้ในเครื่องสำอางบำรุงผิว และในอุตสาหกรรมเครื่องหนัง (Swan and Torley, 1991) ซึ่งทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น จากสถิติปริมาณการส่งออกสินค้าประมงของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2540–2543 พบว่า ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์จากปลาแช่เย็นและปลาแช่เยือกแข็งจำนวนมากและมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องกล่าวคือในปีพ.ศ. 2540 มี ปริมาณ 98,417 เมตริกตัน และเพิ่มเป็น 122,809 เมตริกตัน ในปีพ.ศ. 2543 (มัทนา, 2545) ซึ่งทำให้สามารถคาดคะเนถึงปริมาณเกล็ดปลาที่เป็นของเหลือทิ้งจากผลิตภัณฑ์ปลาได้ว่ามีจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะนำเกล็ดปลา ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งเหล่านี้ไปเพิ่มมูลค่าโดยการนำมาทำเสื้อเกราะกันกระสุนจากเกล็ดปลา

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนจากเกล็ดปลา. จากรายงานของประเสริฐ (2524) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบทางเคมีของเกล็ดปลาชนิดต่างๆไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าเกล็ดปลามีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ค่อนข้างสูงประมาณ 25–35% แต่อยู่ในรูปของโปรคอลลาเจน และมีโปรตีน Ichthlipidin ซึ่งมีลักษณะต่างจากโปรคอลลาเจนคือ ละลายได้ในน้ำร้อน นอกจากนี้ Fahmi et al. (2004) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนักแห้งของเกล็ด sea bream พบว่าประกอบด้วย โปรตีน 51.2% ไขมัน 0.1% สารอินทรีย์อื่นๆ 1.4% และสารอนินทรีย์ 47.3% และจากรายงานของ Nagai et al. (2004) ยังแสดงข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของเกล็ดปลาทั่วไปว่าประกอบด้วยความชื้น 70% โปรตีน 27% ไขมัน 1% และเถ้า 2% โดยโปรตีนในเกล็ดปลาส่วนใหญ่คือคอลลาเจน.

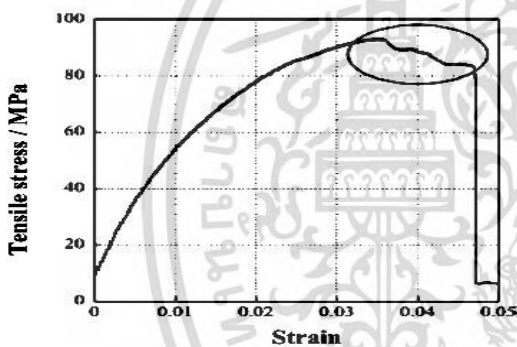
ตารางที่ 2: องค์ประกอบทางเคมีของเกล็ดปลาชนิดต่างๆ

ชนิดของปลา	ปริมาณ (%)				
	น้ำ	ไขมัน	สารไนโตรเจน (Nx6.25)	เกลือแร่	ฟอสฟอรัส
Herrin g	51.5-56.0	0.5-1.0	26.5-28.5	16.5-18.5	0.5-0.6
Sardine	32.5-38.5	0.5-1.5	29.5-36.5	29.0-32.0	-
Pike-perch	51.5-57.5	0.1-0.8	19.5-26.5	19.5-23.5	4.5-8.0
Barb	51.0-54.5	0.4-0.5	32.0-34.0	14.0-15.5	1.2-2.1
Bream	54.5-60.5	0.1-0.5	25.0-31.0	14.0-15.0	1.0-2.0
Pike	55.5-57.5	0.1	24.5-26.5	17.0	2.3-3.2

จากการศึกษาของ Ikoma et al. (2003 a) เกี่ยวกับโครงสร้างของเกล็ดปลา *Pagrus major* พบว่าประกอบด้วย extracellular matrix ที่มีคอลลาเจน type I จัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติและมี calcium-deficient hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ประกอบอยู่ในโครงสร้างและได้ศึกษาค่า tensile strength (ค่า stress ที่จุดแตกหัก) ของเกล็ดปลา *Pagrus major* ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ $93 + 1.8 \text{ MPa}$ ($n = 10$) จาก tensile

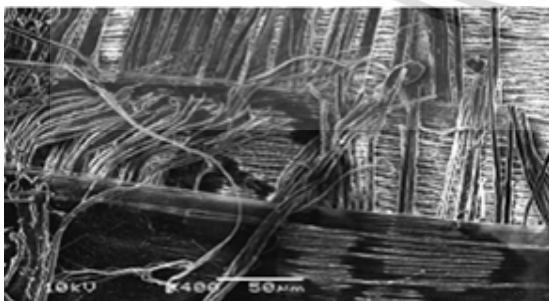
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

stress-strain curve (ภาพที่ 1) ในช่วงแรกของกราฟ ความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง ทำให้ทราบค่า Young's modulus (stress/strain) เป็น $2.2 + 0.3$ GPa ซึ่งค่านี้แสดงถึงความแข็ง (stiffness) ที่ต่ำเนื่องจากเกล็ดปลาปริมาณแร่ธาตุต่ำ (46%) เมื่อเปรียบเทียบกับ red deer (~50%, 6.1 GPa) และ axis deer (~80%, 31.6 GPa) จะเห็นว่าปริมาณแร่ธาตุและค่า Young's modulus มีความสัมพันธ์กันซึ่ง Currey and Brear (1990) และ Mann (2001) ได้อธิบายถึงลักษณะ tensile stress-strain curve ที่แสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพลาสติก (plastic yielding) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังภาพที่ 2 คือ ที่ค่า stress สูง เกล็ดปลาจะสามารถรับแรงต่อไปได้อีกระยะหนึ่งก่อนที่จะฉีกขาดอย่างฉับพลันลักษณะดังกล่าวแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพลาสติกของเกล็ดปลาดังรูปที่ 1



รูปที่ 1: Tensile stress-strain curve ของเกล็ดปลา

P. major ($n = 10$) เส้นกราฟบริเวณที่วงกลมแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพลาสติกของเกล็ดปลา ก่อนการฉีกขาดอย่างฉับพลัน



รูปที่ 2: ภาพจากกล้อง SEM ของเกล็ดปลาที่แตกหัก

ที่มา: Ikoma et al. (2003 a)

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างคอลลาเจนและโครงสร้างที่ถูกดึงออกเป็นเส้นใยคอลลาเจนซึ่งจากภาพเกล็ดปลาที่ได้จากกล้อง SEM พบว่าเกล็ดปลาประกอบด้วยโครงสร้างคอลลาเจนที่เป็นเส้นใยเมื่อเกิดการฉีกขาด โครงสร้างคอลลาเจนจะแยกออกเป็นเส้นใย (ความหนาประมาณ $2-3 \mu\text{m}$) ทำให้สามารถรับแรงต่อได้อีกระยะหนึ่งก่อนการฉีกขาดอย่างฉับพลันให้เกิดคุณสมบัติความเป็นพลาสติก ณ จุด yield point (จุดที่มีค่า strain สูงสุดก่อนการเปลี่ยนสภาพจาก elastic เป็น plastic) ส่วนเกล็ดปลาที่กำจัดแคลเซียมออกนั้นจะมีค่า tensile strength และ Young's modulus ลดลงเหลือ $36 + 8.4$ MPa และ $0.53 + 0.06$ GPa ($n = 10$) ตามลำดับ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการแตกหักของเกล็ดปลาที่กำจัดแคลเซียมออกนั้นคือยังคงแสดงคุณสมบัติความเป็นพลาสติก วัสดุนับว่าเป็นวัสดุที่มีบทบาทและสำคัญมากในยุคปัจจุบันนี้ และเป็นคู่แข่งของเหล็ก ซึ่งนับวันได้ถูกใช้อย่างมากมายจนเหลือน้อยทำให้พลาสติกได้ถูกนำมาใช้แทนอย่างมาก เพราะพลาสติกมีคุณสมบัติพิเศษดีเด่นกว่าวัสดุอื่นที่ใช้งานได้ก่อนอย่างมาก เพราะสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้เกือบทั้งหมด

3. การทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้เกล็ดปลานิลทำการทดลอง ทำการขึ้นรูปของชิ้นงานทดสอบโดยการนำเกล็ดปลามาต่อเรียงจำนวนเกล็ดปลาในแต่ละชิ้นรวม 42 เกล็ดต่อแผ่น ให้ได้ขนาด 9×9 cm. ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นนำโพลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิมต้วผสมกับตัวเร่งให้แข็งตัวให้มีความหนา 10 mm. ส่วนผสมเรซินต่อสารเร่งความแข็ง ; 2 : 1 และทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการทดสอบแรงกระแทก เพื่อวัดความความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุประกอบ ตามมาตรฐาน ASTM D4272 ระยะที่ใช้ในการทดสอบ 77 cm. จำนวนชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจำนวน 4 ชิ้นและนำไปวัดระยะความกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามแนวแกน x และ y วัดความลึก โดยใช้เครื่องมือวัด Vernia caliper และนำไปคำนวณหาค่าพลังงานในการรับแรงกระแทกการซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

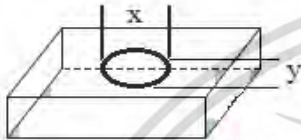
$$E = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

เมื่อ

E = พลังงาน มีหน่วยเป็นจูล

m = มวลวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

v = ความเร็ววัตถุ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3: วิธีการวัดระยะความกว้างตามแนวแกน x และ y ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 3



รูปที่ 4: โพลีเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวผสมกับตัวเร่งให้แข็งตัวให้มีความหนา 10 mm. และทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

จากนั้นจำนวนชั้นของเกล็ดปลาที่สามารถต้านทานแรงกระแทกได้ดีที่สุดจะถูกขึ้นรูปและนำมาทดสอบอีกครั้ง โดยการเปลี่ยนระยะความสูงของการทดสอบ เพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงกระแทก

4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินที่ไม่มีเกล็ดปลามาทำการทดสอบแรงกระแทกจะมีลักษณะแตกกระจายชิ้นงานไม่สามารถรับแรงกระแทกได้เมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 1 ชั้นพบว่าชิ้นงานมีรอยกระแทกมีความลึก 1.10 มม. เมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 2 ชั้นพบว่า

ชิ้นงานมีรอยกระแทกซึ่งมีความลึก 0.25 มม. เมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 3 ชั้นพบว่าชิ้นงานมีรอยกระแทกมีความลึก 0.67 มม. และรอยร้าวอยู่ด้านหลังดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3: ขนาดรอยกระแทกและพลังงานการตกกระแทก

จำนวนชั้นที่	ระยะความกว้างแกน X (mm)	ระยะความกว้างแกน Y (mm)	ลึก (mm)	พลังงาน (จูล)	ลักษณะ
0	-	-	-	-	ชิ้นงานแตกกระจาย
1	0.70	0.65	1.10	130	บนชิ้นงานมีรอยทะลุ
2	0.53	0.42	0.52	130	บนชิ้นงานมีรอยกระแทก
3	0.70	0.50	0.67	130	บนชิ้นงานมีรอยกระแทกและมีรอยร้าวอยู่ด้านหลัง

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 2 ชั้น รับแรงกระแทกได้ดีกว่าแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น เนื่องจากและผลการทดลองจากการได้นำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงเกล็ดปลา 2 ชั้น มาทำการทดสอบโดยเปลี่ยนระยะ ในการทดสอบแรงกระแทก เพื่อศึกษาค่าความต้านทานแรงกระแทกและลักษณะรอยกระแทก ได้แก่ค่าความลึกและระยะความกว้างตามแนวแกน x และ y ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4: ผลการต้านทานแรงกระแทกที่ความสูงต่าง ๆ สำหรับโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 2 ชั้น

ชั้นที่	ระยะที่ใช้ในการทดสอบ (cm)	ระยะแกน X (mm)	ระยะแกน Y (mm)	ลึก (mm)
1	77	0.74	0.61	0.56
2	87	0.68	0.61	0.65
3	97	0.88	0.97	0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบพบว่าโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงกับเกล็ดปลา 2 ชั้นทำการทดสอบวัดแรงกระแทกที่ระยะ 77 ซม. ทำให้ชิ้นงานมีรอยร้าวและมีความลึก 0.56 มม. เมื่อทำการเพิ่มระยะทดสอบเป็น 87 ซม. ความลึกของรอยกระแทกเพิ่มเป็น 0.65 มม. แต่เมื่อเพิ่มระยะที่สูงขึ้นเป็น 97 ซม. รอยกระแทกมีความลึกลดลง 0.61 มม. แต่พบว่าชิ้นงานมีรอยแตกร้าวในทิศทางแกน x และแกน y เพิ่มขึ้น

5.สรุป

จากการศึกษาพบว่าการใช้เกล็ดปลาเพื่อเสริมแรงให้โพลีเอสเตอร์มีความแข็งแรงขึ้นมีความเป็นไปได้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินที่ไม่มีเกล็ดปลา มาทำการทดสอบแรงกระแทก จะมีลักษณะแตกกระจาย ชิ้นงานไม่สามารถรับแรงกระแทกได้ เมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 1 ชั้นพบว่าชิ้นงานมีรอยกระแทกมีความลึกเมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 2 ชั้นพบว่าชิ้นงานมีรอยกระแทกซึ่งมีความลึก เมื่อนำโพลีเอสเตอร์เรซินเสริมแรงด้วยเกล็ดปลา 3 ชั้นพบว่าชิ้นงานมีรอยกระแทกมีความลึกมีรอยร้าวอยู่ด้านหลัง และพบว่าชั้นของเกล็ดปลา มีผลต่อความแข็งแรง โดยการใส่เกล็ดปลา 2 ชั้นจะทำแข็งแรงมากที่สุด เมื่อความหนาแน่นของวัสดุประกอบเป็น 10 มม. อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของชั้นเกล็ดปลาและความหนาแน่นจะต้องมีศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากการรับแรงกระแทกจากกระสุนปืนมีค่าพลังงานสูงกว่าที่ได้รับการทดลอง จึงต้องมีการใช้ชั้นของเกล็ดปลาเพิ่มขึ้น แต่ผลการทดลองพบว่าการใช้เกล็ดปลาเพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจะมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นของเกล็ดปลาต่อความหนาแน่นของวัสดุประกอบ เพื่อให้วัสดุประกอบนี้สามารถใช้เป็นส่วนประกอบเดียวกัน

กระสุนได้จริงพลังงานจากการยิงกระสุน TYPE 1 (ชนิด 1) เลื่อที่สามารถป้องกันกระสุนขนาด .22 LR ที่มีหัวกระสุนหัวกระสุนหนัก 40 เกรน และมีความเร็วไม่เกิน 1,050 ฟุต/วินาที และหัวกระสุนขนาด .380 ACP ที่มีหัวกระสุนหนัก 95 เกรน และมีความเร็วไม่เกิน 1,025 ฟุต/วินาที หรือกระสุนในขนาด .38 RNL ที่มีหัวกระสุนหนัก 158 เกรน และมีความเร็วไม่เกิน 850 ฟุต/วินาที

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วิฑู ศรีสืบสาย ที่ให้ความรู้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และขอขอบคุณศูนย์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (ERC) และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างและการวัดชิ้นงาน

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM International, Designation : D4272-03 “Standard Test Method for Total Energy Impact of Plastic Films By Dart Drop”.
- [2] National Metals Technology Centre of Materials (SW.). The Develop a bulletproof vest Solid.2013
- [3] Wong Kwan’s prosperity growth. Collagen from fish scales : extracting certain properties. Journal of science (Food Science), Faculty of science. Science and Technology Kasetsart University. 2551
- [4] K.Hartapak W.Chahai and L. Apirat, “An Overview of composite Materials,” Kasetsart Engineering Journal, Vol.22, No.70, pp.18-23, September 2512-January 2533, 2553
- [5] MK polyester resin. Basic knowledge. Polyester resin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้