การศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ/พอลิเอสเตอร์และอิพอกซี่สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง

Theoretical and Property Test of Light Weight Armour Composite from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics/Polyester and Epoxy for Ballistic and Stabbing Protection

ธัญญาเรศ ทองยศ*

Thanyares Thongyos

นที ศรีสวัสดิ์**

Natee Srisawat

นรรจพร เรืองไพศาล**

Nanjaporn Roungpaisan

ชิราวุฒิ เพชรเย็น***

Chiravoot Pechyen

สุรเชษฐ์ ตุ้มมี****

Surachet Toommee

Received : February 14, 2022

Revised : July 8, 2022

Accepted : July 21, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ งานวิจัยนี้เป็น

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of Science students Materials and Textile Technology Program Faculty of Science and Technology Thammasat University

**อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Lecturer at the Department of Textile Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology, Thammasat University

****อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer of the Industrial Arts Program Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

การประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ พัฒนาเป็นชุดเกราะน้ำหนักเบาจากผ้าผืนธรรมชาติ 2 มิติ สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง เส้นใยที่ใช้ในการขึ้นรูปผ้าผืน ได้แก่ เส้นใยจากฝ้าย เส้นใยจากลำต้นกัญชง และเส้นใยจากใบสัปปะรด โดยขึ้นรูปเส้นด้ายเดี่ยวด้วยวิธีการตีเกลียว จากนั้นศึกษาทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นด้ายต่อความสามารถในการรับแรงกระแทกของกระสุนปืน เปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระแทกของเส้นใย (เส้นด้าย) ในทิศทางการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน และทดสอบระดับการป้องกันของเสื้อเกราะตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ การขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ สำหรับพัฒนาชุดเกราะกันกระสุนและเป้าฝึกยิง เริ่มจากการเตรียมพอลิเมอร์เมตริกซ์ พอลิเอสเตอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) จากนั้นขึ้นรูปคอมโพสิตแบบแผ่นผ้าผืนธรรมชาติ โดยใช้โมล์ดเปิด ขนาด 300x300 มม.^{3} ผ้าผืนที่ใช้ ประกอบด้วย 70%C (Cotton)-30%H (Hemp), 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple), 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton) คอมโพสิตผ้าผืนมีการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายในทิศทางเดียว (Unidirectional), ทิศทางขวาง (Cross-ply) และทิศทางแบบมุม (Angle-ply) จากนั้นนำคอมโพสิตที่ได้ไปศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM) ทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้ายและผ้าผืนสองมิติด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile tests) และทดสอบความสามารถในการต้านการเจาะทะลุ (Ballistic tests) ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ ตามลำดับ จากการทดสอบความแข็งแรงผ้าผืน พบว่า ผ้าผืนธรรมชาติ 70%C (Cotton)-30%H (Hemp) และ 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) ทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับ 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton)

คำสำคัญ : เกราะเบาคอมโพสิต / ผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ / พอลิเอสเตอร์-อิพอกซี่ / ขีปนาวุธ-การแทง

ABSTRACT

Theoretical and properties test of light weight armour composite from 2-Dimension (2D) natural fabrics. This research is the application of composite materials from natural fibers. Evolved into light weight armor composite from 2-Dimension (2D) natural fabrics for defense against missiles and stabbing. Fibers used in fabric forming are cotton, hemp and pineapple leaves. Forming single yarn by twisting method. Then study the orientation of the fibers (Yarns) on the impact strength of the projectiles. Compare the impact performance on the fibers (Yarns) in different orientations, and test the protection level of the armor according to the NIJ test standard. Composite molding from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics. For developing bulletproof body armor and training targets. The first step is to prepare the polymer matrix Unsaturated polyester (SUNDHOMA SMF-7213-CN), Epoxy (EPICLON UE-3505P-2) and Epoxy (Epoxy 535A-7255B). Then form a composite sheet from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics, 1-

layer, 2-layers, and 4-layers using an open mold (300x300 mm^2). The fabrics used consisted of fabrics formulas: 70%C (Cotton)-30%H (Hemp), 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple), 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) and 100%C (Cotton). For forming a single 4-layer composite sheet. Lastly, forming the test specimen by bringing put together a composite sheet for use as an impact plate in bulletproof body armor. In which the reinforced matrix (fabric) is arranged overlap in a unidirectional, Cross-ply and Angle-ply direction. Then studied for physical characteristics with scientific instruments using the Scanning Electron Microscopy technique, Test the strength of yarn and 2-Dimension (2D) Natural Fabrics with a Tensile test, And penetration resistance test according to the NIJ test standards, respectively. The results of the fabric strength test showed that natural fabrics 70%C (Cotton)-30%H (Hemp) and 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) had the highest tensile strength compared to 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton).

Keywords : Light Weight Armour Composite / 2-Dimension (2D) Natural Fabrics / Polyester-Epoxy / Ballistic-Stabbing

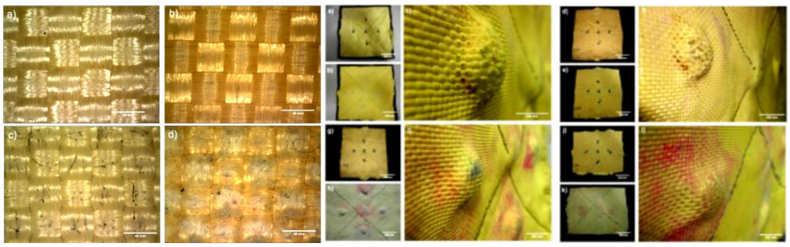
บทนำ

จากประสบการณ์การลงพื้นที่ปฏิบัติงานของผู้วิจัย ในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้ของประเทศไทย ปี 2563 ผู้วิจัยพบกับสถานการณ์ความรุนแรง และความเสี่ยงต่อการถูกลอบยิง เจ้าหน้าที่ทหาร และตำรวจ ผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงอาสาสมัครในพื้นที่ ซึ่งเป็นกำลังหลักในการรักษาความสงบ ยุติความรุนแรง แสดงให้เห็นว่า ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับบาดเจ็บ หรือสูญเสียชีวิต เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยป้องกันตัวที่จำกัด เพื่อลดความเสี่ยงด้าน การสูญเสีย จึงมีความจำเป็นต้องรักษาชีวิตของบุคลากรเหล่านี้หรือลดความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ ดังนั้น เสื้อเกราะกันกระสุนจึงเป็นอุปกรณ์ช่วยในการป้องกันชีวิตและลดระดับความรุนแรงจากกระสุนปืน

แผ่นรับแรงกระแทกสำหรับเสื้อเกราะกันกระสุนส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ เสื้อเกราะกันกระสุน จากเส้นใยสังเคราะห์อะรามิดหรือเคฟล่าร์ ซึ่งสามารถคงรูปได้ดี มีน้ำหนักเบา ดูดซับพลังงานจากกระสุนปืนและ ลดการเกิดอาการฟกช้ำได้ดี ส่วนเสื้อเกราะกันกระสุนจากแผ่นเซรามิกเป็นแผ่นรับแรงกระแทก มีความแข็งแรง แต่อาจเกิดการแตกบริเวณแผ่นเซรามิก หากมองในด้านการพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนจากฝีมือคนไทย เช่น เสื้อ เกราะกันกระสุนจากเส้นใยไนลอนและพอลิเอสเตอร์ เสื้อเกราะกันกระสุนจากแผ่นฟิล์มเซลลูลอยด์ เสื้อเกราะ กันกระสุนจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมและแผ่นอะลูมิเนียม และเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูงจากแผ่นเซรามิก และแผ่นโพลิเมอร์ HDPE เสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ในประเทศไทยนำเข้าจากต่างประเทศและมีที่ผลิตเองใน ประเทศแต่มีราคาสูงและพัฒนาต่อยอดได้ยากและมีน้ำหนักมาก (กุลธร, 2018)

Rodrigo Fernandes Nascimento และคณะ ได้รายงานว่าเสื้อเกราะกันกระสุนแบบอ่อน (Soft ballistic vest) มีส่วนประกอบของผ้าประสิทธิภาพสูงที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ (เส้นใยอะรามิด) เสื้อเกราะกัน

กระสุนจากเส้นใยอะรามิดมีน้ำหนักเบา และระดับการป้องกันที่ดี เนื่องจากมีความทนทานต่อแรงเสียดทานสูง มีความยืดหยุ่นและคงทนต่อความคมของอาวุธ เมื่อนำมาซ้อนทับกัน จะทำให้มีคุณสมบัติแข็งกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน การนำผ้าผืนจากเส้นใยอะรามิดมาเรียงซ้อนทับกัน โดยวางสลับแนวกันให้เกิดการทำมุม 90 องศา เพื่อให้เสื้อเกราะมีทั้งความแข็งแรง และความยืดหยุ่น ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการทอขึ้นรูปเป็นผืนแบบสองมิติ เมื่อกระสุนปืนพุ่งชนเสื้อเกราะ พลังงานหรือแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับและกระจายแรงออกไปตามแนวเส้นใย ส่งผลให้หัวกระสุนปืนสูญเสียรูปทรง และพลังงาน ความเร็วของกระสุนลดลง จากภาพที่ 1 แสดงเกราะผ้าจากเส้นใยอะรามิดหลังการทดสอบ จากรูปพบว่าความเสียหาย (รอยเจาะ) ของกระสุนปืนมีการเจาะเพียงบางส่วนและไม่เกิดการเจาะทะลุอย่างสมบูรณ์ (Rodrigo, F.N., et al. 2020)



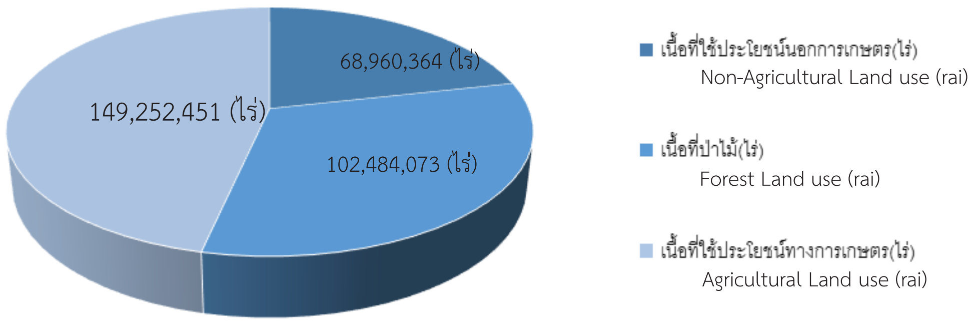
Credit: J MATER RES TECHNOL. 2020.9(5). 10334-10345.

ภาพที่ 1 เกราะผ้าอะรามิดหลังการทดสอบการยิงกระสุนปืน (ดัดแปลงจาก Rodrigo, F.N., et al., 2020)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น การใช้วัสดุประเภทเส้นใยสังเคราะห์ให้ประสิทธิภาพที่ดี แต่มีราคาที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยธรรมชาติที่พบมากภายในประเทศ ประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ พัฒนาเป็นชุดเกราะน้ำหนักเบาจากผ้าผืนธรรมชาติ 2 มิติ สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง โดยใช้เส้นใยจากฝ้าย เส้นใยจากลำต้นกัญชง และเส้นใยจากใบสัปปะรด เนื่องจากพบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติอย่างเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสและเปอร์เซ้นต์เฮมิเซลลูโลสสูง (Farah, N.M.P., et al., 2020) อีกทั้งเส้นใยฝ้าย เส้นใยกัญชง และเส้นใยสัปปะรดมีสมบัติทางกลการทนต่อแรงดึงสูงกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น (M. Asim., et al., 2015)

อีกทั้งหากมองในเชิงอุตสาหกรรมสามารถจัดหาแหล่งวัตถุดิบ (Raw materials) ที่มีราคาถูกและมีปริมาณมากพอ สำหรับใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติที่ใช้พบได้มากในประเทศ นำไปสู่การศึกษาผลของการจัดเรียงตัวของเส้นใยภายในเส้นด้ายต่อประสิทธิภาพการรับแรงกระแทกผ้าผืนธรรมชาติเข้ากับกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตแบบลามิเนต อินทรียวัตถุที่เลือกใช้คือ เส้นใยกัญชง เส้นใยฝ้าย และเส้นใยสัปปะรด จากสถิติทางการเกษตรด้านการใช้ที่ดินพบว่า มีพื้นที่เกษตรกรรมกว่า 149.25 ล้านไร่ จากพื้นที่ประเทศ 320.696 ล้านไร่ โดยแบ่งพื้นที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็น นาข้าว 68.72 ล้านไร่ สวนไม้ผล/ไม้ยืนต้น 36.94 ล้านไร่ พืชไร่ 30.74 ล้านไร่ ไม้ดอก/ไม้ประดับ 1.40 ล้านไร่ และพื้นที่ทางการเกษตรอื่นๆ 11.45 ล้านไร่ หากกล่าวถึงพืชไร่ สัปปะรด เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจส่งออกสำคัญ โดยประเทศไทย เป็น 1 ใน 10

ประเทศผู้ผลิตสัปปะรดโรงงานที่สำคัญ มีพื้นที่ปลูก 0.43 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 1.89 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)



ภาพที่ 2 แสดงพื้นที่การใช้ที่ดินประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)

เส้นใยที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ในประเทศไทยเส้นใยจากพืชที่ใช้มากที่สุดคงเป็นเส้นใยฝ้าย ด้วยคุณสมบัติและการใช้งานที่กว้างขวางประกอบกับเป็นพืชที่ปลูกง่ายแทบทุกพื้นที่ ปัจจุบันพบว่ามีการผลิตเส้นใยจากการนำขยะทางการเกษตรที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น ใบสัปปะรด และลำต้นกัญชง ซึ่งปัจจุบันสามารถปลูกพืชชนิดนี้ได้ และพบแนวโน้มพื้นที่ปลูกมากขึ้น สำหรับการผลิตผ้าผืนส่วนหนึ่งใช้บริโภคภายในประเทศเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และจัดจำหน่ายในรูปของผ้าผืน คิดเป็นร้อยละ 80 และที่เหลืออีกร้อยละ 20 เป็นการส่งออกนอกประเทศ (วีระศักดิ์, 2542)

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาวัสดุคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ เส้นใยฝ้าย เส้นใยกัญชง และเส้นใยสัปปะรดที่สามารถจัดหาได้ ไม่มีข้อห้ามในการนำเข้า ราคาไม่แพง สามารถใช้ทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ได้ โดยจะศึกษาผลการการจัดเรียงตัวของเส้นใยต่อความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนปืน

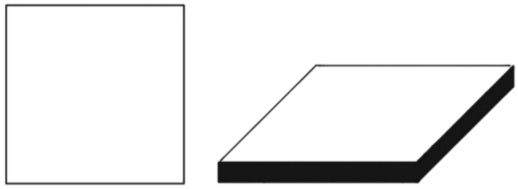
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติเกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ และศึกษาผลการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายจากเส้นใยธรรมชาติ เพื่อพัฒนาเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนและเป้าฝึกยิงสำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง โดยการทดสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งขั้นตอนในการทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

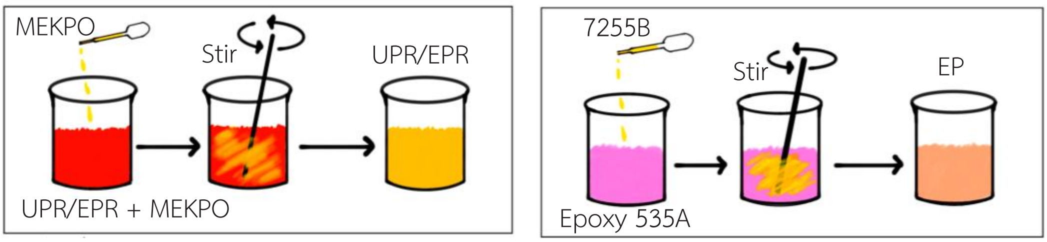
ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์เมตริกซ์และโมล์ด

โมล์ดสำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นโมล์ดแบบเปิด ขนาด 300x300 มม.^{3} สำหรับใช้ขึ้นรูปคอมโพสิต ดังแสดงในภาพที่ 3 พอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปคอมโพสิต คือ พอลิเอสเตอร์ (Unsaturated polyester resin: SUNDHOMA SMF-7213-CN) และอิพอกซี (Epoxy vinyl ester resin: EPICLON UE-3505P-2) จาก

บริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด ทดลองเปรียบเทียบกับอิพอกซี 535A (Epoxy 535A: บริษัท นีโอเทค คอมโพสิท จำกัด) โดยพอลิเอสเตอร์ (Unsaturated polyester resin: SUNDHOMA SMF-7213-CN) และอิพอกซี (Epoxy vinyl ester resin: EPICLON UE-3505P-2) ใช้สารช่วยให้เกิดการแข็งตัว คือ MEKPO (Methyl ethyl ketone peroxide) ในอัตราส่วน 1:100 ในขณะที่อิพอกซี 535A (Epoxy 535A) ใช้ 7255B ช่วยให้เกิดการแข็งตัว ในอัตราส่วน 30:70 สำหรับขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์เมตริกซ์แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 โมล์ดแบบเปิดสำหรับใช้ในการขึ้นรูปคอมโพสิตแบบแผ่น

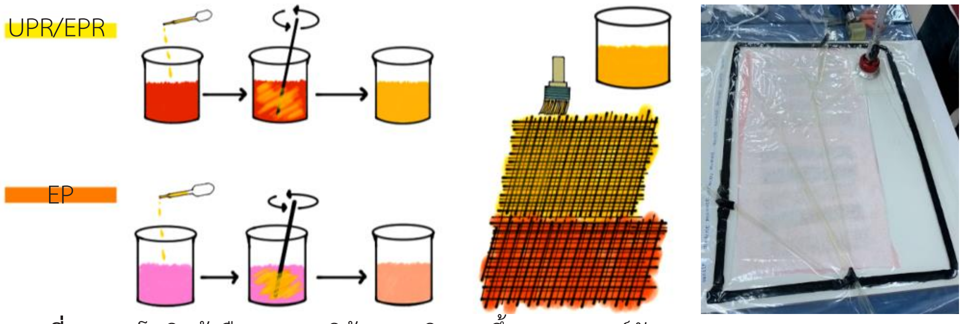


ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการเตรียมโพลิเอสเทอร์/อิพอกซี (UPR/EPR) และอิพอกซี (Epoxy 535A)

ขั้นตอนที่ 2 การขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น 2 ชั้น และ 4 ชั้น

ในขั้นตอนนี้จะทำการขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 4 ชั้น ขนาด 1x4 นิ้ว สำหรับทดสอบการทนต่อแรงดึงของวัสดุ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3039 โดยใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์จากขั้นตอนที่ 1 ในการขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืน 70%C (Cotton)-30%H (Hemp), 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple), 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton) จากบริษัท เอสทีเท็กซ์ไทล์ จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยวางผ้าผืนลงบนโมลด์ จากนั้นเทเรซินลงบนผ้าผืน ทาเคลือบเรซินให้ทั่วผ้าผืน จากนั้นวางผ้าผืนอีกชั้น และทาเคลือบเรซินอีกครั้ง เคลือบจนครบทุกชั้น จากนั้นใช้ลูกกลิ้งไล่เพื่อไล่ฟองอากาศ เพื่อลดการเกิดช่องว่างหรือรูพรุนในเนื้อวัสดุ หลังจากเคลือบเรซินทั้งหมด วาง Peel ply ลงบนชิ้นงานคอมโพสิต จากนั้นตามด้วย Release film, Bleeder และสุดท้ายปิดด้วย Bagging film เพื่อแวคคัมกำจัดอากาศด้านใน สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปแสดงดังภาพที่ 5 จากนั้นขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืน 4 ชั้น กำหนดให้ทิศทางของเส้นด้ายพุ่งในผ้าผืนเป็นทิศทางหลักการจัดเรียงซ้อนทับกันของผ้าผืนแต่ละชั้นใน

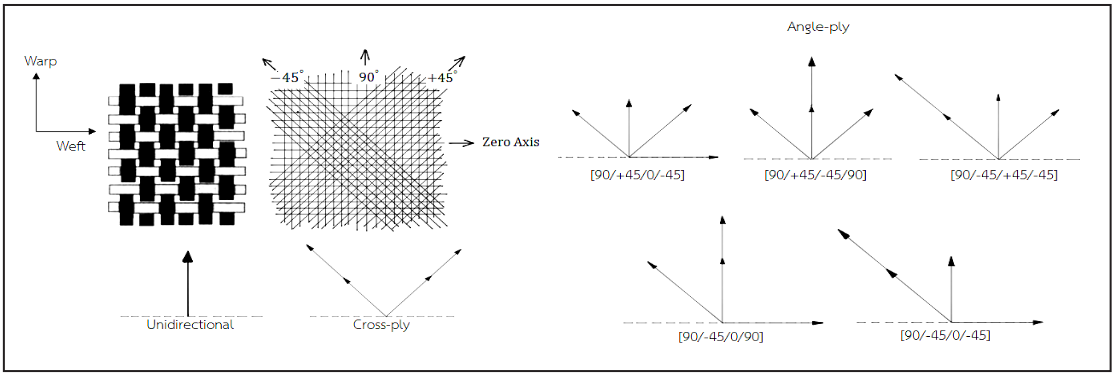
ทิศทางต่าง ๆ ได้แก่ ทิศทางการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) แบบขวาง (Cross-ply) และแบบมุมสมมาตร (Angle-ply) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 คอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบเลย์อัป (Hand Lay-up Technique)

ตารางที่ 1 แสดงคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ 5 สูตรผ้าผืน ในโพลิเอสเทอร์ อิพอกซีไวนิล/อิพอกซี

Unsaturated polyester resin (SUNDHOMA SMF-7213-CN)				
100%Cotton	95%Cotton-5%Pineapple	89%Cotton-11%Pineapple	70%Cotton-30%Pineapple	70%Cotton-30%Hemp
Epoxy vinyl ester resin (EPICLON UE-3505P-2)				
100%Cotton	95%Cotton-5%Pineapple	89%Cotton-11%Pineapple	70%Cotton-30%Pineapple	70%Cotton-30%Hemp
Epoxy (353A-7255B)				
100%Cotton	95%Cotton-5%Pineapple	89%Cotton-11%Pineapple	70%Cotton-30%Pineapple	70%Cotton-30%Hemp



ภาพที่ 6 ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายหลักแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional), แบบทิศทางขวาง (Cross-ply) และทิศทางจัดวางตัวแบบมุม (Angle-ply) (ดัดแปลงจาก วีระศักดิ์, 2542)

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติชิ้นงานตัวอย่าง

1. ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของผ้าผืนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) Model: JEOL JSM7800F, JAPAN กำลังขยายระหว่าง 50-1000 เท่า

2. ทดสอบความแข็งแรงผ้าผืน (ทิศทางเส้นด้ายพุ่ง และยืน) พร้อมทดสอบคอมโพสิตเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทนต่อแรงภายนอก และความแข็งแรงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใย ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile – Stress vs. Strain (from position) Machine Source: H50KS ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM-D5034

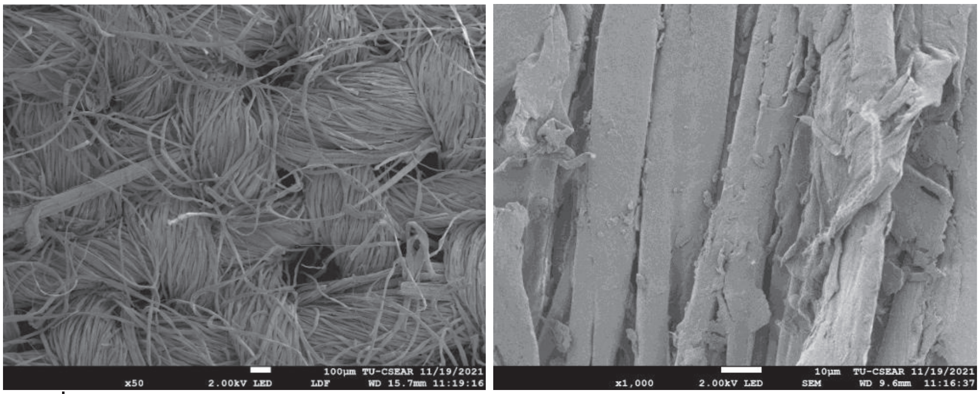
3. หาหมู่ฟังก์ชันของผ้าผืน (70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C) และคอมโพสิตจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ (Unsaturated polyester resin, Epoxy vinyl ester resin และ Epoxy 535A-7255B) ด้วย Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) Model: QATR-S(Dia) ในช่วงความยาวคลื่น 400-4000 ต่อเซนติเมตร

4. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าผืน (70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C) ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) Model: DSC 214 ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 250 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

5. ทดสอบความสามารถการต้านการเจาะทะลุ เกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ 0101 ในระดับการทดสอบ 1 และ 2 ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm Full Metal Copper Jacket และ .357 Magnum Jacketed Lead Soft Point 3.

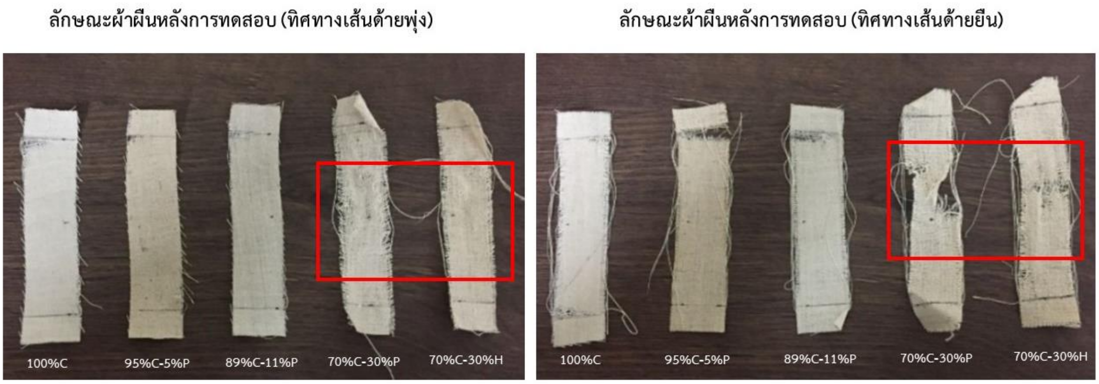
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning electron microscopy (SEM) แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าลักษณะการถักทอกันของเส้นด้าย โดยเส้นด้ายยืนวางข้ามเส้นด้ายพุ่งเส้นแรก และลอดใต้เส้นด้ายพุ่งเส้นที่สอง (ภาพที่ 7 ซ้าย) ผ้าผืนที่มีจุดขัดระหว่างเส้นด้ายสูงทำให้ผ้าที่ทอมีความแข็งแรงสูง เส้นด้ายเดี่ยว 1 เส้น ประกอบด้วยเส้นใยธรรมชาติจากฝ้าย/สัปปะรด/กัญชง ซึ่งนำเข้ามารวมกันด้วยวิธีตีเกลียวเพื่อรวมเส้นใยหลายๆ เส้นเป็นเส้นด้ายเดี่ยว 1 เส้น สำหรับทอขึ้นรูปเป็นผ้าผืน และจากการศึกษาลักษณะเส้นด้ายเดี่ยวที่กำลังขยาย 1000 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 7 (ขวา) พบว่าเส้นใยในมีการเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน ลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระ และพบรอยแตก/ฉีกขาด ซึ่งเป็นผลจากขั้นตอนการตีเกลียวเพื่อรวมเส้นด้ายหรือในระหว่างการถักทอเป็นผ้าผืน



ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยและลักษณะการถักทอของผ้าผืนธรรมชาติแบบสองมิติ

2. ผลการทดสอบความแข็งแรงผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ ในทิศทางเส้นด้ายยืน และเส้นด้ายพุ่ง ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile – Stress vs. Strain (ASTM-D5034) ชิ้นงานทดสอบถูกดึงด้วยแรงกระทำที่เท่ากัน ด้วยอัตรา 2 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้แรงเข้าไปในตัวชิ้นงานจนถึงจุดฉีกขาด/แตกหัก แสดงดังภาพที่ 8 จากภาพพบว่า ลักษณะการฉีกขาดของผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P และ 89%C-11%P มีการฉีกขาดที่บริเวณส่วนจับยึดชิ้นงาน บริเวณส่วนบนและส่วนล่าง ทั้งทิศทางการดึงของเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน ในขณะที่ผ้าผืน สูตร 70%C-30%P และ 70%C-30%H มีการฉีกขาดที่บริเวณส่วนกลาง แต่ลักษณะความเสียหายหลังการทดสอบ พบว่า การดึงในทิศทางของเส้นด้ายพุ่งดีกว่าทิศทางของเส้นด้ายยืน เนื่องจากมีสัดส่วนของเส้นใยสัปปะรดและเส้นใยกัญชงที่เพิ่มเข้าไปมากกว่าเส้นด้ายยืน ซึ่งมีเพียงเส้นใยจากฝ้ายเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความแข็งแรง (Stress vs. Strain) ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 8 ลักษณะการฉีกขาดของผ้าผืนหลังการทดสอบ ทิศทางเส้นด้ายพุ่ง (ซ้าย) และทิศทางเส้นด้ายยืน (ขวา)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึง ผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ (ทิศทางพุ่ง-ยืน)

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
100%C (Cotton) – P (Weft)	170	405	15.2
95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) - P (Weft)	86.7	208	13.2
89%C (Cotton)-11%P (Pineapple) - P (Weft)	152	389	10.2
70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) - P (Weft)	227	230	11.2
70%C (Cotton)-30%H (Hemp) - P (Weft)	228	218	11.2
100%C (Cotton) – Y (Warp)	170	254	15.2
95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) - Y (Warp)	135	289	12.2
89%C (Cotton)-11%P (Pineapple) - Y (Warp)	162	55.7	13.2
70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) - Y (Warp)	128	47.3	31.4
70%C (Cotton)-30%H (Hemp) - Y (Warp)	152	77.8	29.9

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเส้นใยสัปปะรดและเส้นใยกัญชง สำหรับเส้นด้ายเดี่ยว (เส้นด้ายพุ่ง) เปรียบเสมือนการสร้างจุดบกพร่อง (Defect) ในผ้าผืน ส่งผลให้ความสามารถในการทนต่อแรงภายนอก (Stress) ลดลงเมื่อเทียบกับผ้าผืน สูตร 100%C ทั้งเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน แต่ในทางตรงข้ามแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน สำหรับผ้าผืน สูตร 70%C-30%P และ 70%C-30%H มีมากกว่าผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P และ 89%C-11%P ถึง 50% ดังนั้น จุดบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อความแข็งแรงชิ้นงานในทางที่ดีขึ้น/แย่ลง ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยที่เพิ่มเข้าไป

ผลการทดสอบการทนแรงดึง คอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น ด้วยโพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) สำหรับผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P, 70%C-30%P และ 70%C-30%H ในทิศทางหลักอย่างทิศทางของเส้นด้ายพุ่ง พบว่า คอมโพสิตผ้าผืนในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP) สำหรับสูตร 89%C-11%P สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำได้ดีที่สุดในพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน แต่ในทางตรงข้ามแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน สูตร 70%C-30%H มีมากกว่า สูตร 89%C-11%P ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น ในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP)

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP 100%C (Cotton)	368	1800	77.2
EP 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	310	2030	77.2
EP 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	382	2370	67.3
EP 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	537	2440	57.5
EP 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	635	2770	47.6
EPR 100%C (Cotton)	375	1460	6.30
EPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	281	1340	7.28
EPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	352	1540	7.28
EPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	492	1820	5.41
EPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	591	2150	7.28
UPR 100%C (Cotton)	418	2020	10.2
UPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	202	1210	5.31
UPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	395	1830	7.28
UPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	542	1760	6.30
UPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	582	1560	5.31

ผลการทดสอบการทนแรงดึงคอมโพสิตเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์และเส้นใย คอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 2 ชั้น ด้วยโพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) สำหรับผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P, 70%C-30%P และ 70%C-30%H ในทิศทางหลักอย่างทิศทางของเส้นด้ายพุ่ง พบว่า คอมโพสิตผ้าผืน สูตร 70%C-30%H ในโพลิเอสเทอร์ ความสามารถในการยึดติดและทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP) อีกทั้งแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงานมากกว่า สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P และ 70%C-30%P ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติแบบแผ่นเดี่ยว 2 ชั้นในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP)

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP/EP 100%C (Cotton)	723	2450	7.36
EP/EP 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	553	2320	5.7
EP/EP 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	703	2940	4.54
EP/EP 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	1170	3090	3.58
EP/EP 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	1170	2960	3.37
EPR/EPR 100%C (Cotton)	798	2000	10.80
EPR/EPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	713	1970	9.69
EPR/EPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	725	1850	6.98
EPR/EPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	903	1850	4.74
EPR/EPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	962	1850	5.14
UPR/UPR 100%C (Cotton)	947	1810	11.2
UPR/UPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	770	1830	2.36
UPR/UPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	927	2190	7.28
UPR/UPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	1400	2500	5.31
UPR/UPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	1500	2390	6.30

ผลการทดสอบการทนแรงดึงคอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น โพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) ด้วยวิธีทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile จากการทดลองพบว่า ลักษณะการฉีกขาดของคอมโพสิตในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบ Unidirectional, Cross-Ply และ Angle-Ply (A1, A2, A3 และ A5) มีลักษณะฉีกขาดแยกออกจากกันเป็นสองชิ้นชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 9 (ซ้าย) ในขณะที่ทิศทางการจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) การฉีกขาดที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยังพบเส้นใยบางส่วนเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 9 (ขวา)

คอมโพสิตผ้าผืน สูตร 100%C ในทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบ Unidirectional, Cross-Ply และ Angle-Ply (ตารางที่ 4) พบว่า การจัดเรียงตัวเส้นด้ายพุ่งแบบ Unidirectional สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) และแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงานให้ผลการทดลองที่ดีสุด เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน หากเปรียบเทียบผลกับลักษณะการฉีกขาดของชิ้นงานหลังการทดสอบ เกิดข้อขัดแย้งขึ้น เนื่องจากการจัดเรียงตัวแบบ Unidirectional พบการฉีกขาดเป็นสองชิ้นส่วนอย่างชัดเจน เนื่องจากชิ้นงานได้รับแรงภายนอก

ที่เข้ามากระทำต่อชิ้นงานพร้อมกันทั้ง 4 ชั้น ทำให้เส้นใยที่เป็นส่วนเสริมแรงเกิดการฉีกขาดทันที ขณะที่การจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) มีการฉีกขาดของชิ้นงานไม่สมบูรณ์ โดยพบว่าชิ้นงานคอมโพสิตในแต่ละชั้นเกิดการกระจายแรงตามทิศทางการจัดเรียงตัวแบบมุมสูงกว่า ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญในการวิจัยเกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติในครั้งนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเทียบ พบว่า การจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบทิศทางการจัดเรียงตัวเดียวกัน (Unidirectional) สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) สูงสุด เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile และเส้นด้ายที่รับแรงโดยตรง คือ เส้นด้ายพุ่ง ซึ่งเป็นทิศทางการทนต่อแรงดึงได้ดีที่สุด และชิ้นงานมีการกระจายตัวของแรงเพียงสองทิศทางเท่านั้น ในขณะที่ การจัดเรียงตัวแบบมุม Angle-Ply (A4) ความสามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำต่ำกว่าการจัดเรียงแบบ Unidirectional ซึ่งแตกต่างเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 4) แต่ลักษณะการฉีกขาดของชิ้นงานไม่สมบูรณ์ อีกทั้งเส้นด้ายพุ่งภายในชิ้นงานมีการกระจายตัวของแรงที่มากกว่า ซึ่งลักษณะพิเศษนี้คือเป้าหมายของงานวิจัยชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติ

ภาพที่ 9 แสดงลักษณะการฉีกขาดคอมโพสิตผ้าผืนแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น ในทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบ Unidirectional, Cross-Ply และ Angle-Ply (A1, A2, A3, A4 และ A5)

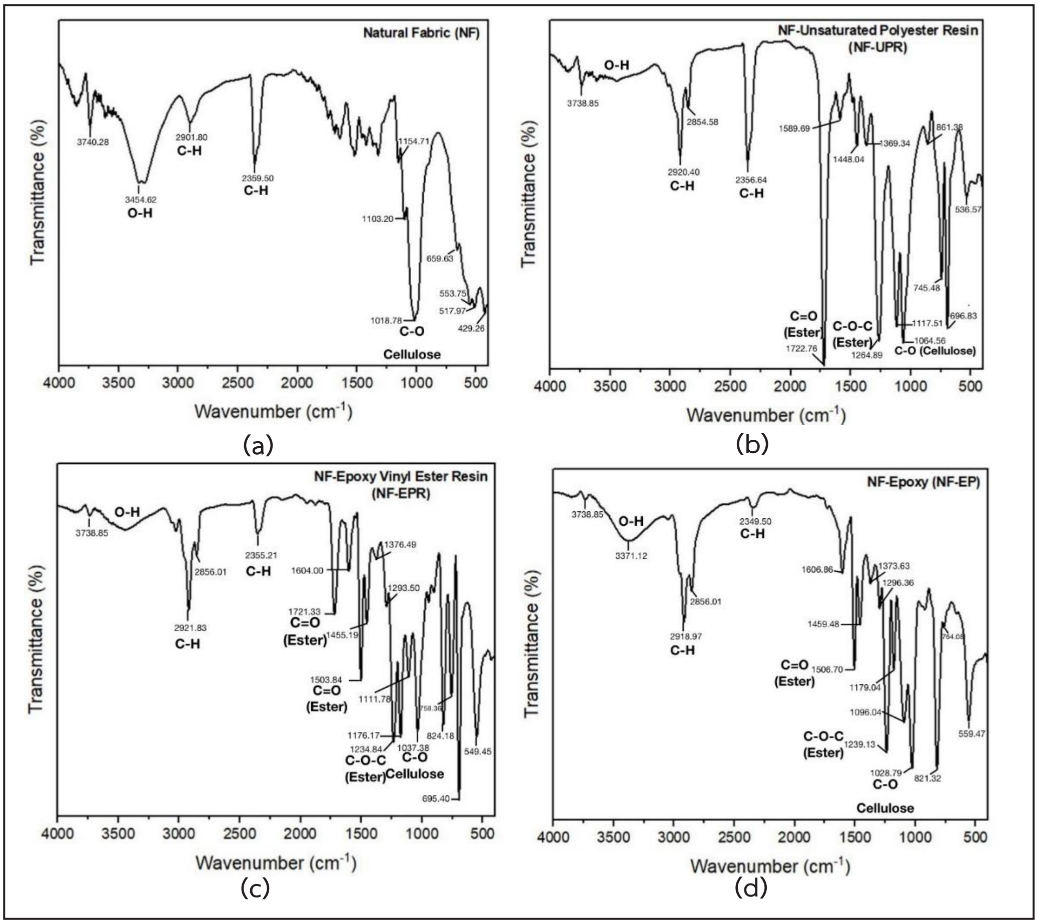
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติแบบแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น ในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP) สำหรับทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งในทิศทางต่างกัน

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP - Unidirectional	1830	3120	7.64
EP - Cross-Ply	1770	3000	8.23
EP - Angle-Ply 1	1560	2930	8.72
EP - Angle-Ply 2	1710	3200	8.28
EP - Angle-Ply 3	1410	2800	8.38

ตารางที่ 4 (ต่อ)

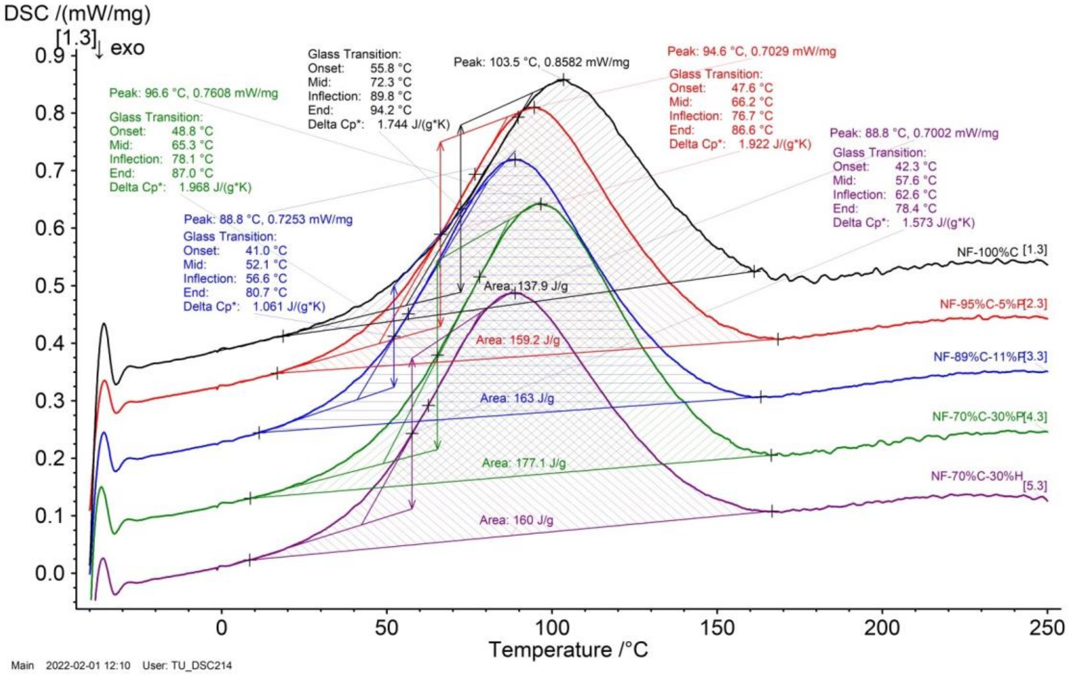
Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP - Angle-Ply 4	1580	2970	7.23
EP - Angle-Ply 5	1460	2940	6.75
EPR - Unidirectional	1940	2030	10.2
EPR - Cross-Ply	1760	2030	10.0
EPR - Angle-Ply 1	1550	2390	10.4
EPR - Angle-Ply 2	1720	2060	10.8
EPR - Angle-Ply 3	1470	1970	12.1
EPR - Angle-Ply 4	1830	2120	11.2
EPR - Angle-Ply 5	1630	2020	12.7
UPR - Unidirectional	2120	2200	10.1
UPR - Cross-Ply	2090	2050	9.34
UPR - Angle-Ply 1	1600	1980	9.24
UPR - Angle-Ply 2	1630	1810	8.26
UPR - Angle-Ply 3	1410	1880	6.82
UPR - Angle-Ply 4	1800	2050	9.46
UPR - Angle-Ply 5	1750	1930	11.4

3. ผลการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันผ้าผืนธรรมชาติ สูตร 70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C ด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ในช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) 400-4000 ต่อเซนติเมตร จากภาพที่ 10 (a) ผ้าผืนธรรมชาติ (NF) พบหมู่ฟังก์ชัน C-O ของเซลลูโลสที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1018.78 ในขณะที่คอมโพสิต NF-UPR (ภาพที่ 10 b) NF-EPR (ภาพที่ 10 c) และ NF-EP (ภาพที่ 10 d) พบที่ตำแหน่ง 1064.56, 1037.38 และ 1028.79 ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 1722.76 และ 1264.89 พบหมู่ฟังก์ชัน C=O และ C-O-C เอสเทอร์ สำหรับคอมโพสิตผ้าผืนโพลิเอสเทอร์ (NF-UPR) ในขณะที่อิพอกซี (NF-EPR) พบหมู่ C=O ที่เลขคลื่น 1721.33 และ 1503.84 และพบหมู่ C-O-C ที่ความยาวคลื่น 1234.84 ส่วนอิพอกซี (NF-EP) พบหมู่ C=O ที่ตำแหน่ง 1506.70 และพบหมู่ฟังก์ชัน C-O-C ที่ตำแหน่ง 1239.13



ภาพที่ 10 แสดงสเปกตรัม FTIR ผ้าผืนธรรมชาติ (NF) และคอมโพสิต NF-UPR, NF-EPR และ NF-EP

4. ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ (ภาพที่ 11) พบว่า พลังงานความร้อนที่เริ่มผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุจนถึงจุดสูงสุด และมีผลต่อโครงสร้างภายในของเส้นใยในผ้าผืนธรรมชาติ สูตร 100%C อยู่ที่ 103.5 องศาเซลเซียส, 0.8582 mW/mg ในขณะที่ผ้าผืน สูตร 95%Cotton-5% Pineapple, 89%Cotton-11%Pineapple, 70%Cotton-30%Pineapple และ 70%Cotton-30%Hemp พลังงานความร้อนอยู่ที่ 94.6 องศาเซลเซียส (0.7029 mW/mg), 88.8 องศาเซลเซียส (0.7253 mW/mg), 96.6 องศาเซลเซียส (0.7608 mW/mg) และ 88.8 องศาเซลเซียส (0.7002 mW/mg) ตามลำดับ



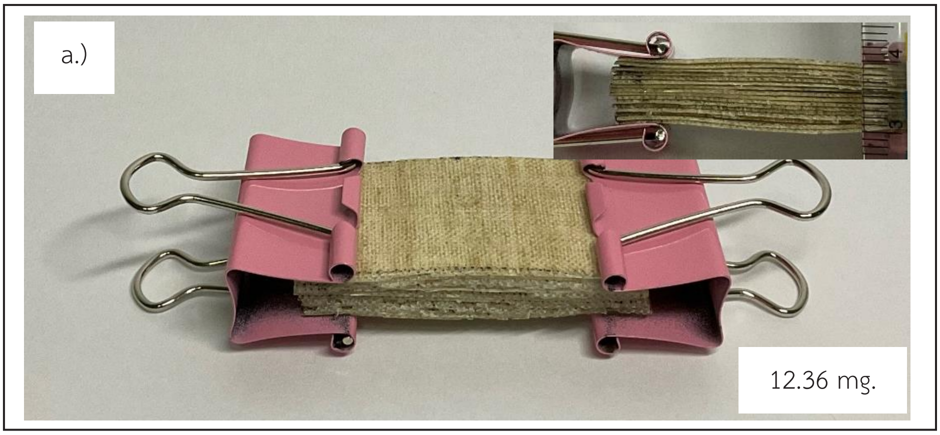
ภาพที่ 11 DSC Curves ผ้าผืน 70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C

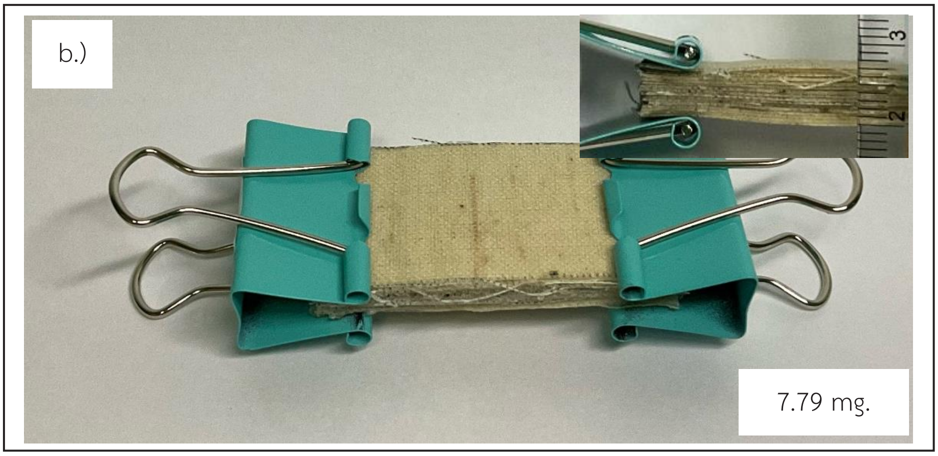
5. การทดสอบความสามารถการต้านการเจาะทะลุ (Ballistic tests) เกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ ในระดับการทดสอบ 1 และ 2 ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm Full Metal Copper Jacket และ . 357 Magnum Jacketed Lead Soft Point 3.

a. ชิ้นงานขนาดทดสอบ 10x25.4x50.8 มม.^{3} น้ำหนัก 12.36 g หากทำการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการต้านการเจาะทะลุของกระสุนปืน ขนาด 10x200x200 มม.^{3} น้ำหนักอยู่ที่ 383.16 g (สำหรับกรณีผ้าผืน สูตร 70%C-30%P และ 70%C-30%H) ภาพที่ 12 a

b. ชิ้นงานขนาดทดสอบ 7x25.4x50.8 มม.^{3} น้ำหนัก 7.79 g หากทำการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการต้านการเจาะทะลุของกระสุนปืน ขนาด 10x200x200 มม.^{3} น้ำหนักอยู่ที่ 241.49 g (สำหรับกรณีผ้าผืน สูตร 100%C 95%C-5%P และ 89%C-11%P) ภาพที่ 12 b

***หมายเหตุ: การทดสอบการต้านการเจาะทะลุ ชิ้นงานตัวอย่างอยู่ระหว่างการวิจัย





ภาพที่ 12 แสดงชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักและความหนาของชิ้นงานจากผ้าผืน ทั้ง 5 สูตร

อภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่า ผ้าผืนที่มีจุดขัดระหว่างเส้นด้ายสูงส่งผลให้ผ้าที่ทอมีความแข็งแรงสูง และจากการศึกษาลักษณะเส้นด้ายเดี่ยวที่กำลังขยาย 1000 เท่า พบว่าภายในเส้นด้ายเดี่ยวมีการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางเดียวกัน ลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระ และพบรอยแตก/ฉีกขาด ซึ่งเป็นผลจากขั้นตอนการตีเกลียวเพื่อรวมเส้นด้ายหรือในระหว่างการถักทอเป็นผ้าผืน สำหรับการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันผ้าผืนธรรมชาติ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ ด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ที่ช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) 400-4000 ต่อเซนติเมตร ผ้าผืนธรรมชาติ พบหมู่ฟังก์ชัน C-O ของเซลลูโลสที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1018.78 ในขณะที่คอมโพสิตจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ พอลิเอสเตอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN), อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A) พบที่ตำแหน่ง 1064.56, 1037.38 และ 1028.79 ตามลำดับ

การทดสอบความแข็งแรงผ้าผืนธรรมชาติในทิศทางเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM-D5034 ด้วยอัตรา 2 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าผ้าผืน

ธรรมชาติ 100%C, 95%C-5%P และ 89%C-11%P มีการฉีกขาดบริเวณส่วนจับยึดชิ้นงาน (บน-ล่าง) ในขณะที่ 70%C-30%P และ 70%C-30%H เกิดการฉีกขาดบริเวณส่วนกลาง การทดสอบความแข็งแรงในทิศทางเส้นด้ายพุ่งดีกว่าทิศทางเส้นด้ายยืน การเพิ่มเส้นใยสัปปะรดและเส้นใยกัญชง สำหรับเส้นด้ายเดี่ยวในทิศทางเส้นด้ายพุ่งเปรียบเสมือนการสร้างจุดบกพร่อง (Defect) ในผ้าผืน ส่งผลให้ความสามารถในการทนต่อแรงภายนอก (Stress) ลดลงเมื่อเทียบกับผ้าผืน สูตร 100%C

การทดสอบความแข็งแรงคอมโพสิตผ้าผืน โพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A) พบว่า คอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น 89%C-11%P สามารถทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน ในขณะที่แรงสูงสุดที่ใส่เข้าไป 70%C-30%H มากกว่า ส่วนคอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 2 ชั้น สูตร 70%C-30%H ในโพลิเอสเทอร์ ความสามารถในการยึดติดและทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์อย่างอิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A) อีกทั้งแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน มีมากกว่าผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P และ 70%C-30%P จากการทดสอบคอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น พบว่าลักษณะการฉีกขาดของคอมโพสิตในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional), แบบขวาง (Cross-Ply) และแบบมุม (Angle-Ply A1, A2, A3 และ A5) มีลักษณะถูกดึงให้ขาดแยกออกจากกันเป็นสองชิ้นชัดเจน ในขณะที่ลักษณะการฉีกขาดของคอมโพสิตในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) มีการฉีกขาดที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยังพบเส้นใยบางส่วนยังคงเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงาน

การจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional) สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน หากเปรียบเทียบผลกับลักษณะการฉีกขาดของชิ้นงานหลังการทดสอบ พบว่าการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional) สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) สูงสุด เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile เส้นด้ายพุ่งรับแรงโดยตรง และเป็นทิศทางการทนต่อแรงดึงได้ดีที่สุด ภายในชิ้นงานมีการกระจายแรงเพียงสองทิศทางเท่านั้น ในขณะที่ การจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) ความสามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำต่ำกว่า ซึ่งแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเส้นด้ายพุ่งภายในชิ้นงานมีการกระจายแรงที่มากกว่า ซึ่งเป็นเป้าหมายงานวิจัยเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตในครั้งนี้

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านการเจาะทะลุของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติ 16 ชั้น โดยใช้อาวุธปืนพกสั้น รุ่น SIG Sauer P320 ความเร็ว 1198 ft/s (365 m/s) ด้วยกระสุนปืนจริงขนาด 9 mm Luger โดยชิ้นงานทดสอบถูกวางห่างจากปลายกระบอกปืน เป็นระยะ 5 เมตร คอมโพสิตผ้าผืน (100%C, 70%C-30%P และ 70%C-30%H) ในพอลิเมอร์เมตริกซ์ (Epoxy: 535A) ในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) และแบบมุมสมมาตร (Angle-Ply) มุมสมมาตรรูปแบบที่ 2 เนื่องจากมีผลการทดสอบการต้านทานต่อแรงดึงภายนอกจากการทดสอบด้วยเทคนิค Flat Specimen Tensile ที่ดี

อีกทั้งเกราะเบาคอมโพสิต 70%C-30%P และ 70%C-30%H น้ำหนักชิ้นงานอยู่ที่ 383.16 g ในขณะที่สูตร 100%C 95%C-5%P และ 89%C-11%P น้ำหนักอยู่ที่ 241.49 g ซึ่งมีน้ำหนักเบามากเมื่อเทียบกับชุด

เกราะที่มีอยู่ในปัจจุบัน สำหรับการวิจัยเกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ นอกจากเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้ว ยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและนำเข้าชุดเกราะจากเส้นใยสังเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต และได้รับการสนับสนุนพอลิเมอร์เมตริกซ์ โพลิเอสเทอร์ (Unsaturated polyester resin: SUNDHOMA SMF-7213-CN) และอิพอกซี (Epoxy vinyl ester resin: EPICLON UE-3505P-2) จากบริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดลองและเครื่องมือทดสอบสมบัติวัสดุคอมโพสิต สามารถทำให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กุลธร ใจประดิษฐ์. (2561). **เสื้อเกราะกันกระสุนสายพันธุ์ใหม่ (The New Flak Jacket).** [Online]. Available : https://www.mtts.ac.th/mtts2/images/pdf/TheNewFlakJacket.pdf [2565, กุมภาพันธ์ 9].

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. (2563). **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2563.** กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2542). **อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาวัสดุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

M. Asim., Khalina Abdan, M. Jawaid, M. Nasir, Zahra Dashtizadeh, M. R. Ishak and M. Enamul Hoque. (2015). A review on pineapple leaves fibre and its composites. **International journal of polymer science, 4**.

Padzil, F.N.M., Ainun, Z.M.A., Naziratulasikin Abu Kassim., Lee, S.H., Hidayah Ariffin & Edi Syams Zainudin. (2020). Chemical, physical and biological treatments of pineapple leaf fibers. **Pineapple Leaf Fibers,** 73-90.

Rodrigo, F.N. et al. (2020). Influence of UV radiation and moisten associated with natural weathering on the ballistic performance of aramid fabric armor. **J Mater Res Technol, 9**(5), 10334-10345.