

การพัฒนาเส้นพิมพ์ชีวภาพจากเส้นใยกัญชงสำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติ

Development of bio-filament using hemp fiber for 3D-printer

ธนัชฐา ภูลาวรรณ^{1*}Tanittha Pullawan^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการนำเส้นใยกัญชงมาใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ชีวภาพ คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) และนำคอมโพสิตที่ได้มาใช้ในการพิมพ์สามมิติด้วยเทคนิค FDM ทั้งนี้ เส้นใยกัญชง (ความยาวเฉลี่ย 150 ไมครอน) ได้ถูกนำมาคอมปาวด์ใน PLA 2003D ด้วยเทคนิคการหลอมผสมที่อัตราส่วนต่างกัน (1, 2.5, 5 และ 10%wt) โดยพบว่า ค่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่ก็มีค่าความเปราะเพิ่มขึ้นด้วย อัตราส่วน PLA/1%wt เส้นใยกัญชง ถูกเลือกใช้ในการศึกษาปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสม เพื่อแก้ปัญหาค่าความเปราะได้มีการปรับสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุโดยทำการเติมพลาสติกไซเซอร์ พอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ในอัตราส่วน 2.5 และ 5%wt ตามลำดับ ซึ่งพบว่า วัสดุมีค่าความยืดตัวที่จุดขาดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นในการนำมาขึ้นรูปเป็นเส้นพิมพ์สำหรับงานพิมพ์สามมิติ

Abstract

This work is a preliminary study about the use of hemp fiber as filler in a biopolymer, i.e. polylactic acid (PLA), and the following use of such composites in the 3D printing via FDM technique. In particular, hemp fiber (average length 150 micron) was added via melt-compounding into PLA 2003D at different weight percentages (1, 2.5, 5 and 10%wt). We observed that not only tensile strength increased with the increased of hemp fiber content, but also increase in brittleness. Moreover, PLA/1%wt hemp fiber was chosen to study the optimal amount of plasticizer. To solve the brittleness problem, we adjust the flexibility of the material by adding the plasticizer Polyethylene glycol (PEG) ratio 2.5 and 5%wt, respectively. The results showed a remarkable increase in the elongation at break of material, which is a necessary feature to form a 3D printed filament for 3D printing.

คำสำคัญ : ไบโอบีโคมโพสิต กัญชง เครื่องพิมพ์สามมิติ

Keywords : Biocomposite, Hemp, 3D-printer

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันแนวโน้มการผลิตวัสดุจากธรรมชาติมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นและเป็นที่นิยม โดยสินค้าที่มาจากธรรมชาติ นอกจากจะให้ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ทางการตลาดยังเป็นการเพิ่มแรงจูงใจในการซื้อให้แก่ผู้บริโภคและสามารถเพิ่มมูลค่าสินค้าได้มากกว่าวัสดุโดยทั่วไป เนื่องจากวัสดุธรรมชาติประเภทเส้นใยก็เป็นสิ่งที่นิยมใช้กันเพราะมีอยู่มากในธรรมชาติ และสามารถดัดแปลงใช้ในกระบวนการผลิตได้หลากหลาย

¹ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

* e-mail address : tanittha@dss.go.th

เส้นใยธรรมชาติที่นิยมใช้กันทั่วโลก ได้แก่ กัญชง หรือ เฮมพ์ (Hemp) ซึ่งถือเป็นพืชเศรษฐกิจในหลายประเทศ เนื่องจากเส้นใยมีความแข็งแรง ความเหนียว และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการแปรรูปเฮมพ์ในรูปแบบต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันก็มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดย Calin C.E., Director of Capital Markets, New Frontier Data [1] ได้กล่าวถึงบทบาทของกัญชงในด้านการใช้งานเป็นชิ้นส่วนภายในของรถยนต์ทั้งในอดีตจนถึงปัจจุบัน โดยในประเทศไทยนั้นรัฐบาลไทยได้เล็งเห็นถึงโอกาสในการสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจจากพืชชนิดนี้ จึงมีการปลดปล่อยกฎหมายการปลูกและการใช้งานกัญชง ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา มีผลบังคับใช้วันที่ 29 มกราคม 2564 [2] กฎกระทรวงฉบับนี้เปิดกว้างให้ทุกภาคส่วนทั้งเกษตรกร ภาครัฐและเอกชน ประชาชนทั่วไปสามารถขออนุญาต และนำกัญชงไปใช้ในวัตถุประสงค์ ตั้งแต่การแพทย์ การศึกษา วิจัย การใช้ตามวิถีชีวิต ใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ และการค้าเพื่อนำส่วนต่าง ๆ ของกัญชงไปแปรรูปและสร้างมูลค่าเพิ่มเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพต่าง ๆ ทั้งยา อาหาร เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์สมุนไพร เป็นต้น ทั้งนี้ การผลิตผลิตภัณฑ์สุขภาพเพื่อจำหน่าย จะต้องขออนุญาตตามกฎหมายของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ด้วย

ข้อมูลชี้แจงที่สำคัญในบทสรุปผู้บริหารจากการประชุมระดมความคิดเห็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากกัญชง ปี 2562 โดยสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม [3] บ่งชี้ว่า กัญชงหรือเฮมพ์เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ง่ายในประเทศไทยตอนบน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศมีความเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ขาดวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการพัฒนาต่อยอดเพื่อถ่ายทอดแก่ผู้ประกอบการในการผลิตสินค้าส่งออก และจากการสำรวจข้อมูลภายในโครงการของสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พบว่าความต้องการเส้นใยกัญชงหรือเฮมพ์ทดแทนใยแก้วในประเทศไทยมีปริมาณกว่า 1000 ตัน ต่อปี เพื่อใช้ในการผลิตสินค้าจากวัสดุธรรมชาติส่งออกไปยังกลุ่มลูกค้าต่างประเทศทางผู้ประกอบการจึงมีความต้องการด้านเทคโนโลยีการผลิตเส้นใยเฮมพ์เพื่อสร้างนวัตกรรม และช่วยลดต้นทุนการนำเข้าวัตถุดิบและสินค้าจากต่างประเทศ

อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาวิจัยจำนวนมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ ที่นำกัญชงมาพัฒนาเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษาหา

วัสดุที่เหมาะสมในการนำมาคอมปาวด์ร่วมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น กัญชง เพื่อให้ได้วัสดุที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้รับความสนใจก็คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะผลิตจากวัสดุธรรมชาติ PLA นิยมนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการคอมปาวด์ร่วมกับวัสดุอื่นในปัจจุบันแต่ก็มีข้อด้อย คือ ความเปราะ นักวิจัยจึงพยายามปรับปรุงสมบัติของ PLA ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยการผสมกับวัสดุหรือสารเติมแต่งอื่น เพื่อปรับปรุงสมบัติของ PLA ให้เป็นไปตามต้องการ เช่น งานวิจัยของ Sawpan และคณะ ในปี 2007 [4] ได้ทำการเสริมแรง PLA ด้วยใยกัญชงสั้น พบว่า เส้นใยกัญชงและ PLA สามารถเข้ากันได้ดีและภายหลังจากใส่ใยกัญชงที่อัตราส่วน 30% สามารถเพิ่มค่าง่ายมอดูลัสได้ถึง 100% ในขณะที่ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น 30% ตลอดจนการศึกษาเทคนิคการเติมพลาสติกไซเซอร์ประเภทน้ำมันเพื่อช่วยปรับปรุง PLA ให้มีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น ดังเช่นในงานวิจัยของ Al-Mulla และคณะในปี 2010 [5] ซึ่งทำการเติมพลาสติกไซเซอร์ คือ น้ำมันปาล์มอิพ็อกซิโดซ์ ลงใน PLA ทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้นและมีค่าความยืดที่จุดขาดสูงขึ้น นอกจากนี้ในปี 2009 Martino และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการเติม พลาสติกไซเซอร์ซึ่งเป็นสารในกลุ่มอะดิเพต (Adipates) ที่อัตราส่วน 20% ลงไปใน PLA พบว่า ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มสมบัติด้านเสถียรภาพทางความร้อน แต่มีผลต่อสมบัติทางกล คือ ทำให้มีความเหนียวเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถทำได้โดยการเลือกเติมสารเสริมแรงและพลาสติกไซเซอร์ที่มีคุณสมบัติที่ต้องการลงไปเพื่อให้เข้าไปปรับปรุงสมบัติด้อยของเมทริกซ์นั้น

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติ เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้งานวัสดุ PLA สูงมาก เนื่องจากวัตถุประสงค์ของเครื่องพิมพ์สามมิติคือการผลิตชิ้นส่วนต้นแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องการความรวดเร็วในการผลิตและควรใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ไม่มีปัญหาเรื่องการย่อยสลายเป็นเวลานาน อีกทั้งยังสามารถทำได้ในงบจำกัด เนื่องจากไม่ต้องลงทุนการผลิตที่สูงเหมือนการขึ้นรูปปกติที่ต้องผลิตแม่พิมพ์ราคาสูง (Wimmer และคณะ, 2015 และ Ou-Yang และคณะ, 2018) [7,8] จากการศึกษาของ Chiulan และคณะ ในปี 2017 [9] พบว่า การใช้ PLA ในงานด้านวัสดุวิศวกรรมหรือการแพทย์นั้น จำเป็นต้องมีการใช้

สารเสริมแรงเพื่อให้สมบัติเหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้ ได้มีการศึกษาการใช้ผงไม้เป็นสารเสริมแรงใน PLA โดยคณะของ Kariz (2018) [10] พบว่า การเติมผงไม้เป็นสารเสริมแรงที่ปริมาณ 10% สามารถเพิ่มความทนแรงดึงให้แก้วสุดได้แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงไม้มากเกินไปกลับทำให้ความทนแรงดึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo และคณะในปี 2018 [11] ที่พบว่า สมบัติทางกลของวัสดุลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณผงไม้ลงใน PLA นอกจากนี้ ในปี 2019 Rasselet และคณะ [12] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึงของวัสดุ PLA ผสมกับ พอลิเอไมด์ 11 (Polyamind11, PA11) โดยการเติมสารช่วยยึดสารโพลีเมอร์ (Joncryl) ปริมาณ 3%wt ซึ่งพบว่า Joncryl สามารถทำให้ PLA และ PA11 เข้ากันได้ดีขึ้นและยังเพิ่มสมบัติความทนแรงดึงอีกด้วย จะเห็นได้ว่า การพัฒนาสมบัติของ PLA นอกจากจะสามารถทำได้โดยการผสมวัสดุหรือสารเคมีที่มีคุณสมบัติที่ต้องการลงไปแล้ว ยังต้องเลือกเติมวัสดุหรือสารเคมีนั้นในอัตราส่วนที่เหมาะสมอีกด้วย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยใยกล้วยซึ่งถือเป็นวัสดุชีวภาพ เพื่อใช้งานเป็นวัสดุที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างต้นแบบโดยออกแบบสูตรอัตราส่วนของสารเสริมแรงและพลาสติกไซเซอรให้มีความเหมาะสมกับสมบัติของต้นแบบที่ต้องการ โดยใช้การขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติซึ่งเป็นเทคโนโลยีการขึ้นรูปต้นแบบหรือชิ้นงานที่สะดวกและต้นทุนไม่สูง

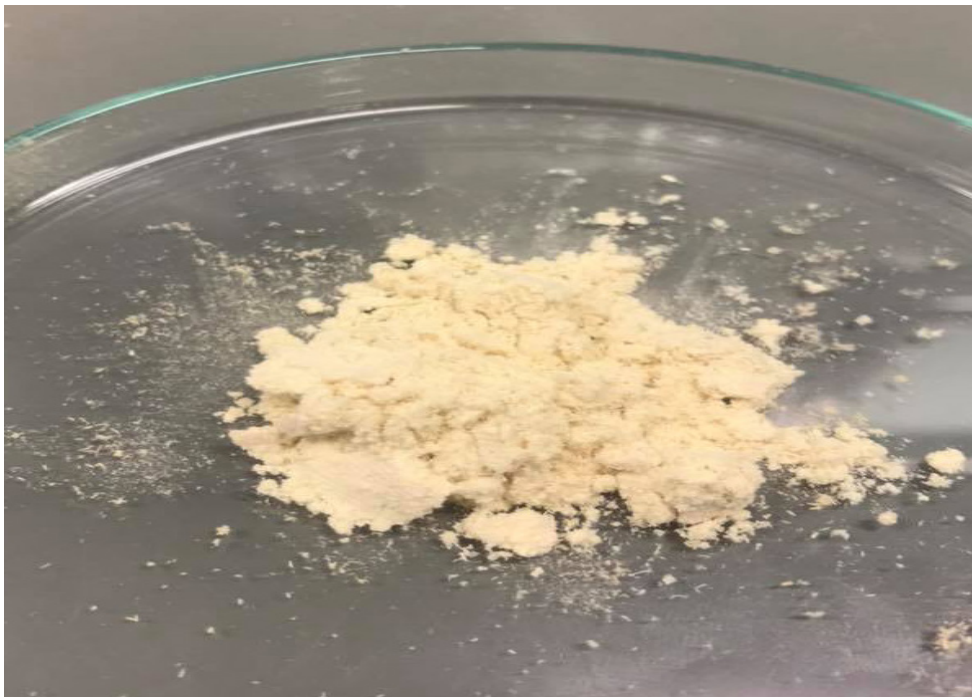
2. วิธีการวิจัย (Experimental methods)

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 เม็ดพลาสติกชีวภาพ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) จากบริษัท Natureworks (ประเทศสหรัฐอเมริกา) เกรด 2003D มีดัชนีการไหล (กรัม/10นาที่) เท่ากับ 6 ตาม ASTM D1238

2.1.2 สารเติมแต่ง PEG Food grade

2.1.3 เส้นใยกล้วยที่ใช้ในงานวิจัยได้รับการอนุเคราะห์จากสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (ISMED) มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้นได้มาจากการบดแกนกล้วย ดังรูปที่ 1 โดยระบุขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 micron เพื่อให้เหมาะสมต่อกระบวนการ Extrusion และการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติต่อไป



รูปที่ 1 : เส้นใยสั้นกล้วยขนาดความยาว 150 micron

2.2 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินการวิจัย

2.2.1 เครื่องผสมเม็ดพลาสติก ยี่ห้อ BOSCO, 5 Kg, Thailand

2.2.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder) ยี่ห้อ GS-Mach รุ่น Gs-35, Nanjing, China

2.2.3 เครื่องทดสอบทางกล Zwick Universal testing machine Capacity 100 kN, Germany

2.2.4 เครื่องอัดเม็ดพลาสติกพร้อมแม่พิมพ์ (Compression molding) (เครื่องประกอบเอง)

2.2.5 เครื่องพิมพ์สามมิติระบบฉีดเส้นวัสดุ ยี่ห้อ Raise 3D Pro 2, Shanghai, China

2.3 วิธีการวิจัย

2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบเส้นใยกันบูชและ PLA

ในขั้นตอนการเตรียมเส้นใยกันบูชและ PLA มีการใช้กระบวนการตามวิธีของงานวิจัยที่ได้ศึกษามาแล้ว (Sawpan และคณะ, 2009) [13] โดยล้างเส้นใยกันบูชด้วยน้ำร้อน เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำเม็ด PLA และ เส้นใยกันบูช มาอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน

การคอมปาวด์เส้นใยกันบูชลงในเมทริกซ์ของ PLA

ทำการผสมเส้นใยกันบูชและพลาสติกไซเซอร์ (PEG) ซึ่งมีสมบัติเชิงวัสดุที่ยืดหยุ่นและช่วยลดข้อด้อยด้านความเปราะของ PLA โดยทำการผสมลงในเมทริกซ์ PLA ด้วยเครื่องผสมเม็ดพลาสติก (ยี่ห้อ BOSCO, 5 Kg, Thailand) เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการคอมปาวด์ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder, ยี่ห้อ GS-Mach Gs-35, Nanjing, China) มีช่วงอุณหภูมิ คือ 30-155-160-165-165 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยในการคอมปาวด์มีการใช้สูตรผสมที่อัตราส่วนของเส้นใยกันบูชต่าง ๆ กัน คือ 1%, 2.5%, 5% และ 10%wt ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการอัดรีดแล้ว คอมปาวด์ กันบูช/PLA จะอยู่ในรูปแบบเม็ด พร้อมจะนำไปขึ้นรูปเป็นเส้นพิมพ์สามมิติต่อไป

การขึ้นรูปเส้นพิมพ์สามมิติ (3D filament)

นำเม็ดคอมปาวด์ที่ได้จากการอัดรีดส่วนผสมทั้งหมดไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่อีกครั้งโดยทำการดึงเส้นผ่านหัวฉีดให้เส้นพิมพ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร

การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

นำมวลเส้นพิมพ์สามมิติกันบูช 1%wt+PEG มาขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติระบบฉีดเส้นพลาสติก (Raise 3D pro 2) โดยพิมพ์ให้เป็นชิ้นงานในรูปแบบ “Dog-bone” เพื่อทดสอบหาสมบัติความทนแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638-14 type I ขนาด 165x19x13 mm โดยปรับอุณหภูมิหัวฉีดและถาดรองชิ้นงานเป็น 180 และ 60 องศาเซลเซียส และการทดสอบหาสมบัติความทนแรงดัดงอ ตามมาตรฐาน ASTM D790-17 ขนาดชิ้นงาน 125x12.7x3.2 mm ตามลำดับ

ด้วยเครื่องอัดเม็ดพลาสติกพร้อมแม่พิมพ์ Compression molding

นำเม็ดคอมปาวด์ที่อัตราส่วน เส้นใยกันบูช 1, 2.5, 5 และ 10%wt มาขึ้นรูปโดยการอัดด้วยแม่พิมพ์อัดเม็ดพลาสติก เป็นชิ้นงานสำหรับทดสอบความทนแรงดึงและความทนแรงดัดงอ ตามมาตรฐาน ASTM D638-14 type I ขนาด 16 x19x13 mm และ ตามมาตรฐาน ASTM D790-17 ขนาดชิ้นงาน 125x12.7x3.2 mm ตามลำดับ

การทดสอบสมบัติความทนแรงดึงและความทนแรงดัดงอ

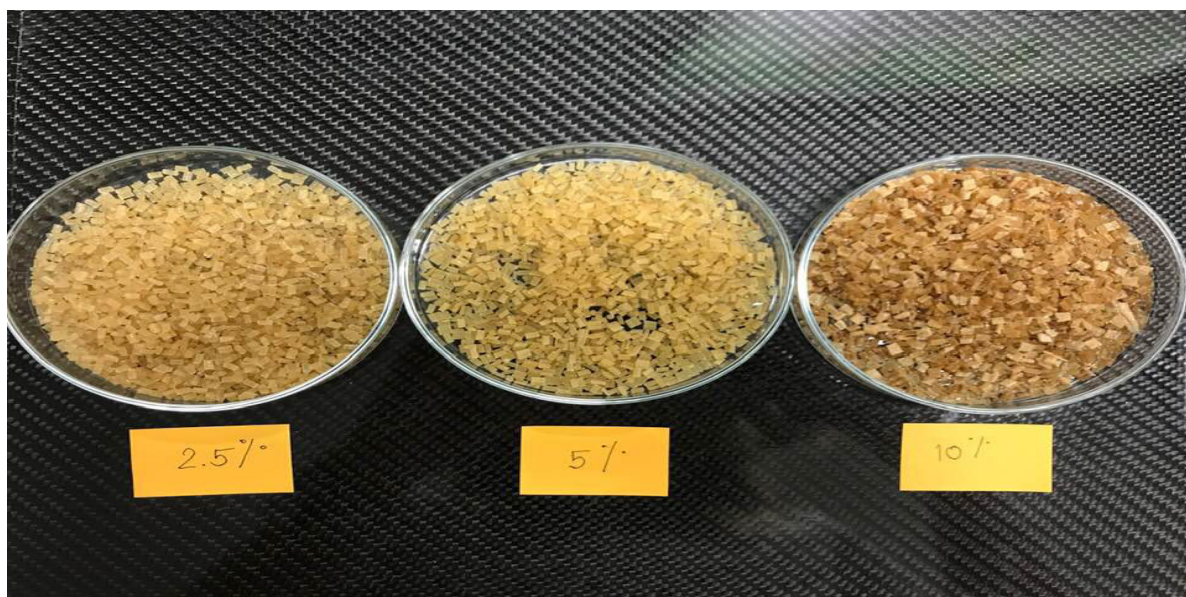
การทดสอบหาสมบัติความทนแรงดึง (Tensile testing) และ ความทนแรงดัดงอ (Flexural testing) ด้วยเครื่อง Zwick Universal testing machine Capacity 100kN, Germany ใช้ load cell 5 kN และมีความเร็วในการดึง (crosshead speed) เท่ากับ 5 mm/min สำหรับการทดสอบความทนแรงดึง และ ใช้สัดส่วน Span-to-depth เท่ากับ 16:1 และ มีความเร็วในการกด (crosshead speed) เท่ากับ 1.5 mm/min สำหรับการทดสอบความทนแรงดัดงอแบบ 3-point bending ตามลำดับ

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

การศึกษาปริมาณเส้นใยกันบูชที่มีผลต่อสมบัติทางกล

เพื่อศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของเส้นใยกันบูชในการคอมปาวด์ร่วมกับเม็ดพลาสติกชีวภาพ PLA มีการทดลองปรับสูตรของเส้นใยกันบูชที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน อัตราส่วนของเส้นใยกันบูชต่อเม็ดพลาสติก PLA ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้ 1, 2.5, 5 และ 10%wt จะสังเกตได้ว่า เม็ดคอมปาวด์มีสีที่เข้มขึ้นที่อัตราส่วนเส้นใยกันบูชที่มากขึ้น และสังเกตเห็นการไหม้ชัดเจนในสูตรที่มีเส้นใยกันบูช 10%wt เนื่องจากสัดส่วนของกันบูชที่มากเกินไปทำให้การไหลช้าลง

จากการจับตัวเป็นก้อนของเส้นใยกล้วยง ทำให้เกิดการไหม้ของเส้นใยเกิดขึ้นดังจะสังเกตเห็นได้จากรูปที่ 2 ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้มจากการไหม้ปรากฏเด่นชัด



รูปที่ 2 : เม็ด PLA ผสมใยกล้วยง ด้วยอัตราส่วน 1%, 2.5%, 5% และ 10%

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการขึ้นรูปเส้นใยสามมิติจากสูตรผสมทั้งหมด พบว่า เส้นใยกล้วย/PLA ที่สูตร 2.5, 5 และ 10%wt ทำการขึ้นรูปได้ยาก เนื่องจากขึ้นงานมีความเปราะมากจึงทำให้ไม่สามารถขึ้นเส้นใยสามมิติได้ต่อเนื่อง จะเกิดการหักเมื่อมีการรอฟึงเล็กน้อย เมื่อไม่สามารถขึ้นเส้นใยต่อเนื่องได้จึงทำให้ไม่สามารถใช้งานเป็นเส้นพิมพ์สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติได้ เนื่องจากการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติต้องการเส้นพิมพ์ที่ยาวและมีความต่อเนื่อง ดังนั้นในการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลของสูตรผสมเส้นใยกล้วยที่ 1, 2.5, 5 และ 10%wt จึงทำโดยการอัดเม็ดพลาสติกในแม่พิมพ์และตัดให้มีรูปร่างตามมาตรฐานการทดสอบที่ต้องการ ซึ่งได้ค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลเป็นดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยกล้วยทำให้ค่าความทนแรงดึง และมอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดตัวที่จุดขาดลดลง และค่าความทนการดัดงอไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งก็คือขึ้นงานที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยกล้วยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในขณะที่ความยืดหยุ่นลดลง ความเปราะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sawpan และคณะ (2009) [13] ที่ทำการเสริมแรง เส้นใยกล้วยใน PLA และพบว่า ค่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่ความยืดหยุ่นลดลง ในส่วนของสมบัติความทนการดัดงอพบว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shibata และคณะ (2003) [14] ซึ่งรายงานสมบัติความทนการดัดงอของวัสดุเส้นใยธรรมชาติเสริมแรง PLA ไว้ว่า ค่าความทนการดัดงอที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติ ในขณะที่มอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับ Shin และ Masatoshi (2006) [15] และ Huda และคณะ (2005a) [16] ที่พบว่า ค่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติ ใน PLA ทำให้ความทนการดัดงอของคอมโพสิตลดลง ในขณะที่มอดูลัสแรงดึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน

สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากเส้นใยกล้วยที่ใช้เป็นสารเสริมแรงมีสถานะเป็นของแข็งมีค่า Young's modulus ที่สูงกว่าพลาสติก (Mwaikambo, 2006) [17] เมื่อผสมลงในพลาสติก PLA จะได้ของผสมที่มีความแข็งแรงมากขึ้น เปลี่ยนรูปร่างได้ยาก เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยกล้วยจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น มีการโก่งตัวได้น้อยลง หรือไม่สามารถที่จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเพื่อลดความเค้นที่ได้รับ ความแข็งที่เพิ่มขึ้นสังเกตได้จาก Flexural modulus ที่สูงขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 1 สมบัติความทนแรงดึงและความทนการดัดงอของเม็ด PLA ผสมใยกล้วยที่อัตราส่วน 1%, 2.5%, 5% และ 10%wt

สูตร	ความทนแรงดึง		ความทนการดัดงอ	
	ความทนแรงดึง, MPa	ความยืดตัวที่จุดขาด, %	ความทนการดัดงอ, MPa	มอดูลัสแรงดึง, GPa
Pure PLA	53±3.10	2.50±0.18	65±4.55	3.45±0.295
PLA + 1%wt Hemp	95±2.80	2.15±0.14	79±3.65	3.65±0.180
PLA + 2.5%wt Hemp	115±3.55	1.50±0.18	75±4.20	3.88±0.240
PLA + 5%wt Hemp	135±2.50	1.35±0.15	71±2.85	4.04±0.225
PLA + 10%wt Hemp	130±2.22	0.90±0.13	74±2.56	4.25±0.255

การปรับเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่คอมโพสิตด้วยพลาสติกไซเซอร

เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความเปราะของคอมโพสิตซึ่งมีการทดลองเติมพลาสติกไซเซอร คือ พอลิเอทิลีน ไกลคอล (PEG) ลงไปที่ปริมาณ 2.5 และ 5%wt จากการศึกษาผลที่ได้จากการเติมพลาสติกไซเซอร PEG ลงไปเพื่อปรับเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่วัสดุตามตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าความทนแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุเพิ่มขึ้น ในขณะที่การศึกษาสมบัติความทนแรงดึงของวัสดุพบว่า ความทนแรงดึงและมอดูลัสแรงดึงของวัสดุคงที่และมีแนวโน้มลดลง

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li และคณะในปี 2018 [18] ที่ทำการศึกษาผลของการเติม PEG ลงในเมทริกซ์ของ PLA พบว่า ค่าความทนแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ความยืดที่จุดขาดเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่า PEG ที่เติมลงไปทำให้วัสดุมีสภาพของพลาสติกเพิ่มขึ้นมีสภาพผลึกที่ลดลง ซึ่งทำให้ความแข็งของวัสดุลดลง นอกจากนี้ ก็ยังส่งผลให้สมบัติความทนแรงดึงอมีแนวโน้มด้อยลงด้วย ซึ่งการด้อยลงของสมบัติความทนแรงดึงอาจเกิดได้หลายปัจจัย เช่น วัสดุเข้ากันได้ไม่ดี เนื่องจากไม่มีการปรับสภาพของพอลิเมอร์ก่อนทำการผสม หรือ ชนิดของ PEG ที่ใช้ อาจมีน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะได้มีการศึกษาในลำดับต่อไป

ตารางที่ 2 สมบัติความทนแรงดึงและความทนแรงดึงของสูตร 1%wt Hemp/PLA ผสมพลาสติกไซเซอร PEG

สูตร	ความทนแรงดึง		ความทนการดัดงอ	
	ความทนแรงดึง, MPa	ความยืดตัวที่จุดขาด,%	ความทนการดัดงอ, MPa	มอดูลัสแรงดึง, GPa
Pure PLA	53±3.10	2.50±0.18	65±4.55	3.45±0.295
1%wt Hemp/PLA without additive	95±2.80	2.15±0.14	79±3.65	3.65±0.180
1%wt Hemp/PLA with 2.5%wt PEG	108±2.55	4.58±2.60	71±2.84	3.54±0.210
1%wt Hemp/PLA with 5.0%wt PEG	105±2.75	6.48±2.45	68±2.59	2.95±0.305

ในการทดลองขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ พบว่า เครื่องพิมพ์สามารถพิมพ์ได้ต่อเนื่องจนจบเมื่อใช้เส้นใยสูตร 1%wt Hemp/PLA/5.0%wt PEG เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความยืดตัวที่จุดขาดสูงที่สุดในการวิจัยนี้ เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปเส้นใยสามมิติจากเส้นใยกล้วยของไทยและพอลิเมอร์ชีวภาพ จึงจะมีการศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลในการขึ้นรูปในโอกาสต่อไป

4. สรุป (Conclusion)

อัตราส่วนของกล้วยที่เหมาะสมกับกระบวนการคอมปาวด์ไปโอพลาสติกร่วมกับ PLA ในงานวิจัยนี้ คือ 1%wt เนื่องจากสามารถขึ้นรูปเป็นเส้นพิมพ์สามมิติได้ นอกจากนี้สารเสริมแรงเส้นใยกล้วยที่เติมลงไปสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่วัสดุได้ แต่ก็ทำให้เกิดข้อด้อยในเรื่องความเปราะ ซึ่งสามารถปรับเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับวัสดุโดยการเติมพลาสติกไซเซอรในอัตราส่วน 2.5 และ 5% ซึ่งพบว่า ทำให้ค่าความยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุเพิ่มขึ้นแต่ทำให้สมบัติความทนแรงดึงด้อยลงและเมื่อขึ้นรูปเป็นเส้นใยสามมิติแล้วตัวเส้นใยมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นและสามารถพิมพ์ได้ต่อเนื่อง

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

1. สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (ISMED) สนับสนุนเส้นใยกัญชงบด
2. กลุ่มวัสดุขั้นสูงและเซรามิกสมัยใหม่ กองวัสดุวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Calin C.E. (2020). *Where hemp meets the road : Automotive bioplastics*. [online]. [viewed 19 January 2021]. Available from: <https://newfrontierdata.com/cannabis-insights/where-hemp-meets-the-road-automotive-bioplastics/>
- [2] กฎกระทรวง การขออนุญาตและการอนุญาตผลิต นำเข้า ส่งออก จำหน่าย หรือมีไว้ในครอบครองซึ่งยาเสพติดให้โทษในประเภท 5 เฉพาะกัญชง (Hemp) พ.ศ. 2563. *ราชกิจจานุเบกษา* 30 ธันวาคม 2563. *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 137 ตอนที่ 107 ก.
- [3] มูลนิธิสถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม. *บทสรุปผู้บริหารโครงการส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมเฮมพ์อย่างสร้างสรรค์แบบครบวงจร. การประชุมระดมความคิดเห็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากกัญชง*. 2562.
- [4] SAWPAN, M.A., K.L. PICKERING and ALAN FERNY-HOUGH. Hemp fibre reinforced poly (lactic acid) composites. *Advanced Materials Research*. 2007, **29-30**, 337-340.
- [5] AL-MULLA, E.A.J., W.Md.Z.W. YUNUS, N.A.B. IBRAHIM and M.Z.Ab. RAHMAN. Properties of epoxidized palm oil plasticized polylactic acid. *Journal of Materials Science*. 2010, **45**, 1942–1946
- [6] MARTINO, V.P., A. JIMENEZ and R.A. RUSECKAITE. Processing and characterization of poly (lactic acid) films plasticized with commercial adipates. *Journal of Applied Polymer Science*. 2009, **112**(4), 2010–2018.
- [7] WIMMER, R., B. STEYRER, J. WOESS, T. KODDENBERG and N. MUNDIGLER. 3D printing and wood. *International Conference Wood Science and Engineering in the Third Millenium*. Brasov, Rumania. 10th edition, 2015, pp. 145–150.
- [8] OU-YANG, Q., B. GUO and J. XU. Preparation and characterization of poly (butylene succinate)/ polylactide blends for fused deposition modeling 3D printing. *ACS Omega*. 2018, **3**(10), 14309–14317.
- [9] CHIULAN, I., A. FRONE, C. BRADABUR and D.M. PANAITESCU. Recent advances in 3D printing of aliphatic polyesters. *Bioengineering (Basel)*. 2017, **5**(1), 2.
- [10] KARIZ, M., M. SERNEK, M. OBUCINA and M.K. KUZMAN. Effect of wood content in FDM filament on properties of 3D printed parts. *Materials Today Communications*. 2018, **14**, 135–140.
- [11] GUO, R., Z. REN, H. BI, Y. SONG and M. XU. Effect of toughening agents on the properties of poplar wood flour/poly (lactic acid) composites fabricated with fused deposition modeling. *European Polymer Journal*. 2018, **107**, 34–45.
- [12] RASSELET, D., A.S. CARO-BRETELLE, A. TAGUET and JOSE-MARIE LOPEZ-CUESTA. Reactive compatibilization of PLA/PA11 blends and their application in additive manufacturing. *Materials*. 2019, **12**(3), 485.
- [13] SAWPAN, M.A., K.L. PICKERING and ALAN FERNY-HOUGH. Characterisation of hemp fibre reinforced Poly(Lactic Acid). *International Journal of Materials and Product Technology*. 2009, **36**(1-4).
- [14] SHIBATA, M., K. OZAWA, N. TERAMOTO, R. YOSOMIYA and H. TAKEISHI. Biocomposites made from short abaca fiber and biodegradable polyesters. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2003, **288**(1), 35-43.
- [15] SERIZAWA, SHIN., KAZUHIKO INOUE and MASATOSHI IJI. Kenaf-fiber-reinforced poly (lactic acid) used for electronic products.

Journal of Applied Polymer Science. 2006, **100**(1), 618–624.

- [16] HUDA, M.S., A.K. MOHANTY, L.T. DRZAL, M. MISRA, K. WILLIAMS and D.F. MIELEWSKI. *Mechanical and thermo-mechanical studies of poly (lactic acid) PLA/talc/recycled newspaper fiber hybrid composites*. Atlanta, GA, United States, 2005, pp. 469.
- [17] MWAIKAMBO, L.Y. and M.P. ANSELL. Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. Hemp fibres. *Journal of Materials Science*. 2008, **41**, 2483-2496.
- [18] LI, D., Y. JIANG, S. LV, X. LIU, J. GU, Q. CHEN and Y. ZHANG. Preparation of plasticized poly (lactic acid) and its influence on the properties of composite materials. *PLOS ONE*. 2018, **13**(3), e0193520.