รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิแลคไทด์คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล

Improvement of mechanical properties of Polylactide (PLA) composites reinforced with carbon materials prepared from biomass

โดย

ผศ.ดร. กมลวรรณ อูปเงิน

ผศ.ดร. ใหม่ น้อยพิทักษ์

สังกัดศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้ความร่วมมือจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ (องค์การมหาชน) (วช.-สพภ.)

พ.ศ. 2562

แบบสรุปผู้บริหาร

[Executive Summary]

1. รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย

1.1 ชื่อเรื่อง

(ภาษาไทย) การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิแลคไทด์คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล

(ภาษาอังกฤษ) Improvement of mechanical properties of Polylactide (PLA) composites reinforced with carbon materials prepared from biomass

1.2 ชื่อคณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. กมลวรรณ อูปเงิน (หัวหน้าโครงการ)

หน่วยงานที่สังกัด หน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย

ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

209 ม.1 ต.รางบัว อ.จอมบึง จ.ราชบุรี 70150

หมายเลขโทรศัพท์ 0-2470-9965 โทรสาร -

ผศ.ดร. ใหม่ น้อยพิทักษ์ (ผู้ร่วมงานวิจัย)

หน่วยงานที่สังกัด หน่วยวิจัยวัสดุและการทดสอบโดยไม่ทำลาย

ศูนย์บริการทางการศึกษาราชบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

209 ม.1 ต.รางบัว อ.จอมบึง จ.ราชบุรี 70150

หมายเลขโทรศัพท์ 0-2470-9987 โทรสาร -

1.3 งบประมาณและระยะเวลาทำวิจัย

ได้รับงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 งบประมาณที่ได้รับ 410,000 บาท

ระยะเวลาทำวิจัย ตั้งแต่ มีนาคม พ.ศ. 2561 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2562

2. สรุปโครงการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีกิจกรรมและผลผลิตทางการเกษตรเกิดขึ้นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ โดยทั่วไปหากไม่มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรไปใช้ต่อก็จะนิยมเผาทำลาย ทำให้เกิดภาวะฝุ่นควัน PM 2.5 รวมถึงเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชากรในพื้นที่ ดังนั้นการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาศึกษาเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นการเพิ่มมูลค่า และส่งผลดีต่อระบบเศรษฐกิจภายในประเทศชาติ โครงการวิจัยนี้

จึงศึกษาแนวทางพัฒนาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิแลคไทด์คอมโพสิต โดยใช้วัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลภายในประเทศเป็นสารเสริมแรงหรือสารเติมแต่ง โดยคาดหวังที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรและลดต้นทุนการผลิตวัสดุผสมพอลิแลคไทด์คอมโพสิต

การเตรียมวัสดุคาร์บอนทำโดยการเผาวัตถุดิบชีวมวล 6 ชนิด คือ ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง กะลามะพร้าว ชานอ้อย ไม้ไผ่ และเปลือกทุเรียน ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิ 600 °C เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นบดวัสดุคาร์บอนที่เตรียมได้และร่อนผ่านตะแกรง จึงได้ผงวัสดุคาร์บอนที่มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัสดุคาร์บอนที่เตรียมได้โดยเทคนิค SEM และ EDS วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุคาร์บอนโดยเทคนิค TGA และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวอนุภาคคาร์บอนโดยเทคนิค FTIR วัตถุดิบชีวมวลหลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิส มีลักษณะรูปร่างคงตัวประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากวัตถุดิบชีวมวลสูญเสียสารระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิตั้งแต่ 200 °C จนถึง 600 °C และคงเหลือธาตุคาร์บอนคงตัวในวัสดุเมื่อสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิส

เมื่อชีวมวลผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ณ อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จนกลายเป็นวัสดุคาร์บอน จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุคาร์บอนโดยเทคนิค TGA ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน พบว่าวัสดุคาร์บอนมีการสลายตัวที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยเริ่มสลายตัวกลายเป็นเถ้าตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 900 °C เมื่ออยู่ในสภาวะบรรยากาศแก๊สไนโตรเจน จากการคำนวณโดยวิธีการ proximate analysis ทำให้ทราบว่าวัสดุคาร์บอนที่เตรียมจากไม้ไผ่สามารถดูดซับความชื้นไว้ค่อนข้างสูงกว่าวัสดุคาร์บอนจากชีวมวลชนิดอื่น

จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย SEM และเทคนิค EDS แสดงถึงสัณฐานวิทยาของผงคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการบดและร่อนผ่านตะแกรง โครงสร้างวัสดุคาร์บอนมีขนาดเล็กลงระดับไมครอนเนื่องจากการบด เมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิส องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอนในปริมาณมากกว่า 80% atomic ปริมาณธาตุคาร์บอนในวัสดุหลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้นหากเปรียบเทียบกับวัตถุดิบชีวมวลตั้งต้น เนื่องจากธาตุองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ออกซิเจนและไฮโดรเจน สลายตัวออกจากโครงสร้างคาร์บอนไปในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิส ในวัสดุคาร์บอนที่เตรียมจากเปลือกทุเรียนปรากฏธาตุโพแทสเซียมเนื่องจากเป็นธาตุองค์ประกอบในวัตถุดิบชีวมวลเปลือกทุเรียน หลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อสารอินทรีย์ระเหยได้สลายตัวไปเหลือแต่คาร์บอนคงตัว จึงอาจปรากฏในปริมาณที่ตรวจวัดได้โดยเทคนิค EDS เช่นเดียวกันกับการตรวจพบธาตุแมกนีเซียมของผงวัสดุคาร์บอนที่เตรียมจากกะลามะพร้าว หลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิสธาตุแมกนีเซียมจึงปรากฏในปริมาณที่ตรวจวัดได้

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวของวัสดุคาร์บอนจากซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง กะลา ชานอ้อย ไม้ไผ่ และเปลือกทุเรียน โดยเทคนิค FTIR พบว่าวัสดุคาร์บอนจากวัตถุดิบชีวมวลที่แตกต่างกันมีโครงสร้างคาร์บอนคล้ายคลึงกัน แต่ที่บริเวณผิวของอนุภาคคาร์บอนอาจประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยในปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งกำเนิดของวัตถุดิบชีวมวล ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชัน –OH หมู่ฟังก์ชัน –CH หมู่ฟังก์ชัน –C=O หมู่ฟังก์ชัน –C-C หมู่ฟังก์ชัน –C-O และหมู่ฟังก์ชัน =C-H วัสดุเนื้อพื้น PLA เกรด 2003D และวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลต่างชนิดกัน อาจประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของ

อนุภาคคาร์บอนแตกต่างกัน แรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของ PLA กับอนุภาคคาร์บอน จึงอาจมีความแข็งแรงไม่เท่ากันเนื่องจากสมบัติทางเคมีของหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นของชิ้นงาน PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอนจากวัตถุดิบชีวมวลพบว่ามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ PLA ที่ไม่เติมวัสดุคาร์บอน การเติมวัสดุคาร์บอนจึงช่วยเพิ่มเนื้อ ช่วยลดต้นทุนการผลิตชิ้นงาน ป้องกันการหดตัวของชิ้นงานและค่าความแข็งผิวหน้าชิ้นงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ชิ้นงาน PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ชานอ้อย และไม้ไผ่ โดยใช้ปริมาณวัสดุคาร์บอน 1% โดยมวล เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต พบว่าวัสดุมีค่าความต้านทานแรงดึงและความทนต่อแรงดัดลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ PLA ที่ไม่ได้เติมวัสดุคาร์บอน แต่วัสดุคอมโพสิตยังคงมีพฤติกรรมความเค้นและความเครียดแบบมีจุดคราก ซึ่งเป็นพฤติกรรมในวัสดุเหนียวและแข็งแรง การลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงและความทนต่อแรงดัด เนื่องจากการถ่ายเทภาระกรรมแรงดึงระหว่างอนุภาคคาร์บอนกับพอลิเมอร์เนื้อพื้น PLA อาจยังไม่ดีพอในวัสดุคอมโพสิต ขนาดอนุภาคคาร์บอนที่อยู่ในระดับไมโครเมตร การตกตะกอนของอนุภาคคาร์บอนหรือการกระจายตัวที่ไม่ดีพออาจทำให้ความเข้มของความเค้นในวัสดุคอมโพสิตมีค่าสูง

การศึกษาสมบัติทางด้านความร้อนและสมบัติทางแสงของวัสดุคอมโพสิตพบว่า การเติมวัสดุคาร์บอนในวัสดุ PLA คอมโพสิต ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกึ่งผลึกของ PLA คอมโพสิตและส่งผลต่ออุณหภูมิ Tg Tm และ Td วัสดุ PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากซังข้าวโพดในปริมาณ 1% โดยมวล มีค่าอุณหภูมิ Tg และ Td มีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ PLA ที่ไม่เติมวัสดุคาร์บอน เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล PLA กับอนุภาคคาร์บอนมีค่าน้อย ในขณะที่ค่าอุณหภูมิ Tm เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และสังเกตพบค่าอุณหภูมิ Tc ซึ่งปรากฏในวัสดุ PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอน แต่ไม่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ DSC ของวัสดุ PLA นอกจากนั้นยังพบว่าอนุภาคคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลสามารถใช้เป็นสารทำให้เสถียร โดยอนุภาคคาร์บอนสามารถดูดกลืนแสงช่วงคลื่นกว้างตั้งแต่แสงยูวี แสงขาว และอินฟาเรด วัสดุคาร์บอนสามารถนำมาใช้เป็นสารสีซึ่งให้สีดำได้ และเม็ดพลาสติก PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล โดยเติมวัสดุคาร์บอนปริมาณ 1 %โดยมวล สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานภาชนะด้วยกระบวนการ injection molding ที่อุณหภูมิ 185 °C

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะให้ทำการปรับปรุงสมบัติของวัสดุคาร์บอน โดยการปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุคาร์บอนให้มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่สูงขึ้น ซึ่งคาดว่าจะสามารถช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคคาร์บอนกับพอลิเมอร์ PLA ซึ่งอาจช่วยให้การส่งผ่านแรงภาระกรรมระหว่างวัสดุเสริมแรงกับเนื้อพื้น PLA ดีขึ้น ซึ่งส่งผลต่อไปยังสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ดีขึ้น การเตรียมอนุภาคคาร์บอนให้มีขนาดอนุภาคในระดับนาโน อาจช่วยให้การกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนในเนื้อพื้นดีขึ้น และอาจส่งผลให้สมบัติทางกลของวัสดุ PLA คอมโพสิตดีขึ้นได้

งานวิจัยนี้ได้ข้อมูลความเป็นไปได้ในการผลิตเม็ดพลาสติก PLA คอมโพสิตที่ผสมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล 4 ชนิด (ซังข้าวโพด เหง้ามันสำปะหลัง ชานอ้อยและไม้ไผ่) ซึ่งข้อมูลสามารถใช้เป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในการนำองค์ความรู้ไปปรับใช้ในกระบวนการผลิตให้สามารถผลิต

พลาสติกชีวภาพที่มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำลง อีกทั้งยังได้ข้อมูลความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบชีวมวลภายในประเทศและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่ม โดยการผลิตเป็นวัสดุคาร์บอน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรและสร้างมูลค่าในเชิงเศรษฐกิจ

3. บทคัดย่อภาษาไทย และบทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)

บทคัดย่อภาษาไทย

การใช้พลาสติกชีวภาพมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความกังวลเกี่ยวกับภาวะโลกร้อนซึ่งเกิดจากการใช้พลาสติกที่ผลิตจากปิโตรเลียม งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวัตถุดิบชีวมวลที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อใช้ประโยชน์ในการเตรียมวัสดุคาร์บอนที่มีต้นทุนราคาต่ำ จากนั้นนำวัสดุคาร์บอนที่เตรียมได้มาใช้ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิแลคไทด์คอมโพสิตซึ่งเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน วัสดุ PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลเหง้ามันสำปะหลัง ซังข้าวโพด ไม้ไผ่ และชานอ้อย โดยใช้ปริมาณวัสดุคาร์บอน 1 %โดยมวล ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด มีค่าความต้านทานแรงดึงและความทนต่อแรงดัดลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวัสดุ PLA ที่ไม่ได้เติมวัสดุคาร์บอน แต่วัสดุคอมโพสิตยังคงมีพฤติกรรมความเค้นและความเครียดแบบมีจุดคราก การเติมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากซังข้าวโพดในวัสดุพอลิแลคไทด์คอมโพสิต ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกึ่งผลึกของ PLA คอมโพสิต โดยค่าอุณหภูมิ Tg และค่าอุณหภูมิ Td มีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ PLA ที่ไม่เติมวัสดุคาร์บอน ค่าอุณหภูมิ Tm ของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และสังเกตพบค่าอุณหภูมิ Tc ซึ่งปรากฏในวัสดุ PLA คอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอน แต่ไม่ปรากฏในผลการวิเคราะห์ DSC ของวัสดุ PLA นอกจากนั้นวัสดุคอมโพสิตที่เติมวัสดุคาร์บอนซึ่งผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล มีสมบัติดูดกลืนแสงได้ช่วงคลื่นกว้างตั้งแต่แสงยูวี แสงขาวและอินฟาเรด และวัสดุคาร์บอนสามารถนำมาใช้เป็นสารสีซึ่งให้สีดำแก่ชิ้นงานได้

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

Utilization of bioplastic became increasingly important due to the concern about global warming from petroleum-based plastic usages. In this research, agricultural biomass residues were studied for the preparation of low cost carbon materials. Then, the prepared carbon material was used to improve the mechanical properties of polylactide (PLA) composites, which are biodegradable plastics that are constantly increasing in demand. The PLA composites filled with 1 % weight carbon materials produced from biomass residues (cassava rhizomes, corncob, bamboo and bagasse), forming with extrusion process, exhibit a slightly lower tensile strength and flexural strength compared to PLA matrix without carbon addition. However, the PLA composites still have tensile stress-strain behavior with yield point. The addition of carbon materials which are produced from corncobs in PLA composites resulted in changing of the

semi-crystalline structure of composites materials and the slightly decreasing of Tg and Td temperature compared to PLA matrix without carbon. The Tm temperature of PLA composites increased and the Tc temperature was observed which does not found in the DSC analysis of PLA polymer. Composite materials with the addition of carbon materials produced from agricultural biomass residues show a wide range of light absorption property from UV, visible and infrared. Moreover, carbon materials could be utilized as a color pigments that appeared black color for the specimen.