

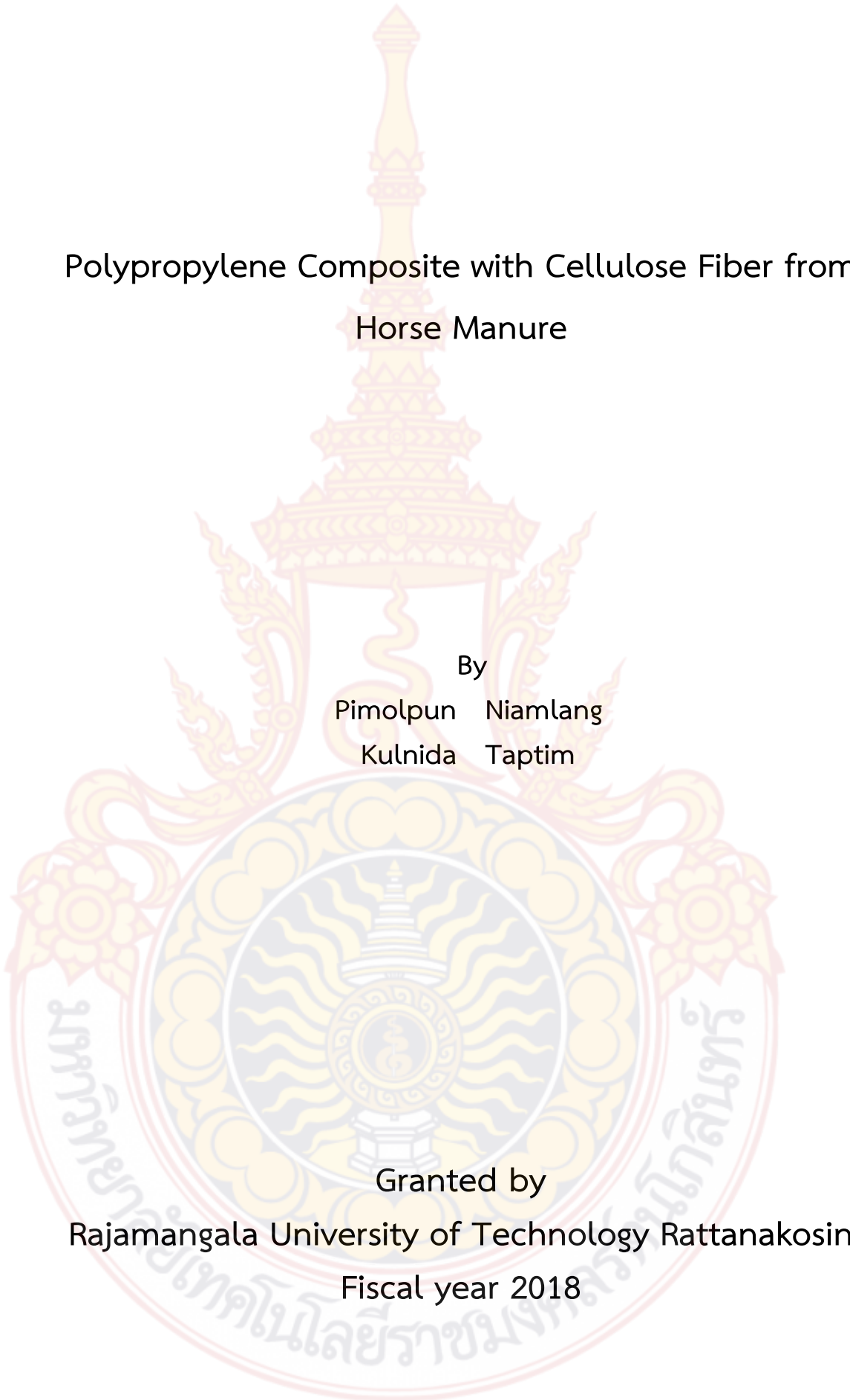


วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส
ที่ได้จากมูลม้า

โดย

พิมลพรรณ เนียมกลาง
กุลนิดา เทพทิม

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2561



Polypropylene Composite with Cellulose Fiber from
Horse Manure

By
Pimolpun Niamlang
Kulnida Taptim

Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2018

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2561 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ โดยได้รับการประเมินข้อเสนอจากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ในการอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานด้านต่างๆ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ที่เกี่ยวข้องและบุคคลที่สนใจสำหรับนำไปศึกษา พัฒนา เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ ต่อไป

พิมลพรรณ เนียมกลาง และคณะ

ตุลาคม 2561



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A55 / 2561

ชื่อโครงการ : วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากมูลม้า

ชื่อนักวิจัย : ดร.พิมลพรรณ เนียมกลาง และ ดร.กุลนิดา เทพทิม

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากมูลม้า โดยเส้นใยที่ได้จะผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมคือการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนจะถูกเตรียมโดยใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (HMF) และเส้นใยที่ปรับสภาพแล้ว (THMF) เป็นเส้นใยเสริมแรงที่สัดส่วน 10, 20, 30, 40 และ 50 phr โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งในการผสมและขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก จากผลการทดลองพบว่าค่า ความทนทานต่อแรงดึงของวัสดุผสมทั้ง PP/HMF และ PP/THMF มีค่าน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน ในทางกลับกัน ค่ามอดูลัสของยังก์ ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็ง ของวัสดุผสมมีค่าสูงกว่า พอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ สัดส่วนของปริมาณเส้นใยส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่ามอดูลัสของยังก์ และความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย ส่วนค่าความทนทานต่อแรงดึง และความแข็ง มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติม HMF และ THMF ในวัสดุผสมพอลิโพรพิลีน พบว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม PP/THMF จะมีค่าความทนทานต่อแรงดึง ค่ามอดูลัสของยังก์ ความทนทานต่อแรงกระแทก และความแข็ง ที่สูงกว่าวัสดุผสม PP/HMF ในทุกสัดส่วนเส้นใย

คำสำคัญ : พอลิโพรพิลีน; วัสดุผสม; สมบัติเชิงกล; เส้นใยเซลลูโลส; มูลม้า

E-mail Address : pimolpun.kam@rmutr.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ. 2560 – กันยายน พ.ศ. 2561

Abstract

Code of project : A55/ 2561
Project name : Polypropylene Composite with Cellulose Fiber from Horse Manure
Researcher name : Dr.Pimolpun Niamlang and Dr.Kulnida Taptim

This research aimed to study mechanical properties of polypropylene composite reinforced with cellulose fiber from horse manure. The fibers obtained from horse manure were chemical treated with sodium hydroxide solution by varying concentrations. The optimal fiber treatment condition was using 4%w/w NaOH solution for 8 hours at room temperature. For comparison, treated and untreated horse manure fibers (THMF and HMF) were used as reinforcing fiber. Polypropylene composites were prepared with fiber content of 10, 20, 30, 40 and 50 phr by using a two-roll mill and then the test specimens were molded by compression molding machine. The result shows that tensile strength of both PP/HMF and PP/THMF were lower than polypropylene. In contrast, Young's modulus, impact strength and hardness of composites were higher than those of polypropylene. The effect of fiber contents on mechanical properties indicated that Young's modulus and impact strength were increase with increasing of fiber content but tensile strength and hardness were not significant difference. When compared between the addition of HMF and THMF in polypropylene composites, the mechanical properties of PP/THMF composites were higher than PP/HMF composites at all of the fiber contents.

Keywords : polypropylene; composite; mechanical property; cellulose fiber; horse manure

E-mail Address : pimolpun.kam@rmutr.ac.th

Period of project : October 2017 – September 2018

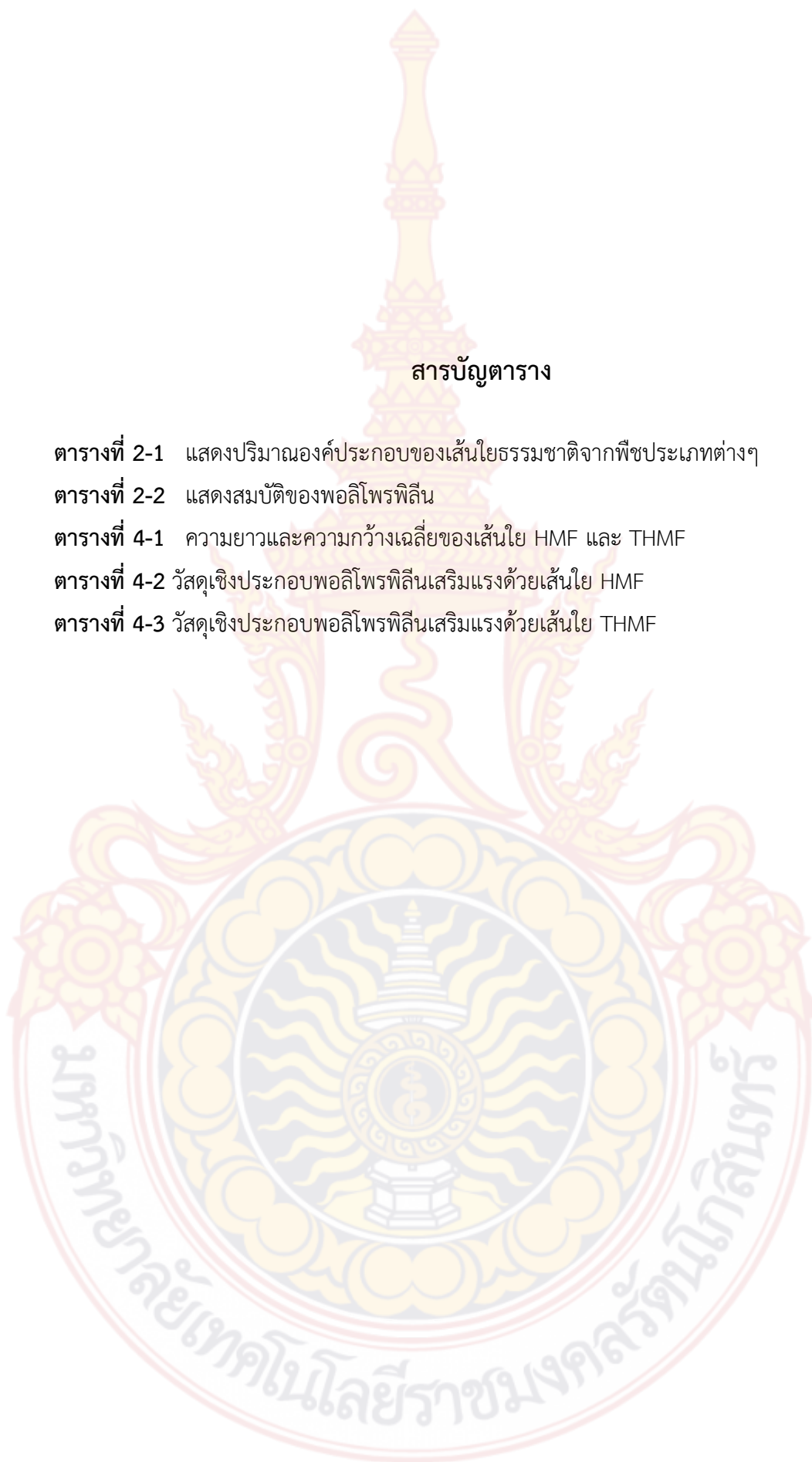
สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์การวิจัย	2
3. ขอบเขตการวิจัย	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
5. กรอบแนวคิดการวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มูลม้า	4
2.2 เส้นใยธรรมชาติจากพืช	5
2.3 วิธีปรับสภาพเส้นใย	7
2.4 เทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยตัวอย่าง	8
2.5 พอลิพรพิลีนคอมโพสิต	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	14
3.1.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์	14
3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน	14

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	14
3.2 วิธีการทดลอง	14
3.2.1 ขั้นตอนในการเตรียมเส้นใย	14
3.2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูป	15
สารบัญ (ต่อ)	
	หน้า
3.3 วิธีการศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ	15
3.3.1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ	15
3.3.2 ทดสอบสมบัติเชิงกล	17
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การเตรียมเส้นใยที่ได้จากมูลม้า	20
4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า	21
4.2.1 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR	21
4.2.2 ผลการทดลองด้วยเทคนิค XRD	22
4.3 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า	23
4.4 สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมูลม้า	26
4.4.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง	26
4.4.2 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก	27
4.4.3 ผลการทดสอบความแข็ง	27
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	28
บรรณานุกรม	29
ประวัติผู้วิจัย	31

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติจากพืชประเภทต่างๆ	6
ตารางที่ 2-2 แสดงสมบัติของพอลิโพรพิลีน	10
ตารางที่ 4-1 ความยาวและความกว้างเฉลี่ยของเส้นใย HMF และ THMF	21
ตารางที่ 4-2 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใย HMF	24
ตารางที่ 4-3 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใย THMF	25



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1-1	แสดงกรอบแนวคิดในงานวิจัย 3
ภาพที่ 2-1	โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติจากพืช [8] 5
ภาพที่ 2-2	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่ประกอบโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก [8] 6
ภาพที่ 2-3	ลักษณะปรากฏของเส้นใยไฟเบอร์หลังจากผ่านกระบวนการ Hydrothermal treatment 10
ภาพที่ 2-4	แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปจาก (a) ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% โดยน้ำหนัก (b) ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยวิธีระเบิดด้วยไอน้ำที่ 15 บาร์ 12
ภาพที่ 3-1	(ก) มุลม่า (ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม่า 15
ภาพที่ 3-2	(ก) เส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว (ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ผ่านการปรับสภาพผิว 16
ภาพที่ 3-3	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) 16
ภาพที่ 3-4	เครื่อง X-ray diffractometer (XRD) 17
ภาพที่ 3-5	(ก) เครื่องทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (ข) ชิ้นงานทดสอบสมบัติการทนแรงดึง 17
ภาพที่ 3-6	เครื่องทดสอบความแข็ง 18
ภาพที่ 3-7	(ก) เครื่องบากชิ้นงาน (ข) ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกแบบ Izod 18
ภาพที่ 4-1	(ก) มุลม่า (ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว (ค) เส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ผ่านการปรับสภาพผิว 20
ภาพที่ 4-2	FTIR สเปกตรัมของเส้นใยธรรมชาติที่ใช้เป็นอาหารม้า(NF) เส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (HMF) และเส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ 22
ภาพที่ 4-3	XRD สเปกตรัมของเส้นใยที่ได้จากอาหารม้า (NF) เส้นใยที่ได้จากมูลม่าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว (HMF) และ เส้นใยจากมูลม่าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย NaOH 4%w/w เวลา 8 ชั่วโมง (THMF) 23
ภาพที่ 4-4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง a) ความต้านทานต่อแรงดึง และ โมดูลัสของยังก์

	ของ PP/HMF และ PP/THMF ต่อปริมาณเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40, 50 phr	26
ภาพที่ 4-5	ความทนต่อแรงกระแทกของ PP/HMF และ PP/THMF	27
ภาพที่ 4-6	ความแข็งของ PP/HMF และ PP/THMF	27



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มูลสัตว์ ส่วนใหญ่เป็นของแข็งประกอบไปด้วยเศษของพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมดจึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปในบางส่วนแล้วตามทางเดินอาหาร มูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นกินเข้าไปเป็นปัจจัยสำคัญ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร รวมทั้งการจัดการรวบรวมมูลหรือการเก็บรักษา ส่วนใหญ่มูลสัตว์มักถูกรวบรวมและนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น การนำมาผลิตเป็นปุ๋ยคอก หมักเพื่อผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ และกระดาษสา เป็นต้น

ม้า มีระบบการย่อยที่แตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่น แตกต่างจากวัวและควาย เนื่องจากม้าเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว โดยมีลำไส้ที่ความจุมาก การย่อยในส่วนนี้อาศัยจุลินทรีย์ในลำไส้หมักอาหาร ปกติจะหมักอาหารหยาบ (ฟาง/หญ้า/หญ้าแห้ง) ทำให้เกิดการย่อยเบื้องต้นแต่ไม่สามารถย่อยสลายเส้นใยได้หมด นอกจากนี้การให้อาหารสำหรับม้ามีความจำเพาะไม่เหมือนกับสัตว์ชนิดอื่น โดยธรรมชาติแล้วม้าเป็นสัตว์ที่เล็มกินหญ้า 16-20 ชั่วโมงต่อวัน การที่ม้ามีหญ้ากินตลอดจะช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อโรคแผลในกระเพาะอาหาร ทั้งยังช่วยให้ลำไส้ของม้ามีการเคลื่อนที่ทำงานได้ตามปกติ หญ้าที่เรามักเห็นตามฟาร์มให้กันบ่อยๆ ได้แก่ หญ้าแพงโกล่า หญ้าขน หญ้าอัลฟาฟา หญ้าที่โมที และหญ้าเนเปียร์ เป็นต้น จากที่กล่าวมาข้างต้นว่ามูลสัตว์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอาหาร และระบบการย่อยอาหารของสัตว์ ทำให้มูลม้าที่ได้ออกมามีปริมาณเส้นใยค่อนข้างสูง

พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นมากที่สุดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยเหตุผลหลายประการ อาทิ เช่น ราคาถูก และสามารถขึ้นรูปทำได้ง่าย ใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปต่ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสูงเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำ ซึ่งวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยสั้นจะช่วยปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงดึงมีความเสถียรทางความร้อน และสามารถดูดซึมน้ำและน้ำมันได้ดี

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะนำมูลม้าซึ่งเป็นของเสียที่มีปริมาณมาก (ข้อมูลจากกองพันทหารม้าที่ 29 รักษาพระองค์, กรุงเทพมหานคร) และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด มาใช้ประโยชน์และการสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยการนำมูลม้าที่ได้มาแยกเส้นใยและปรับสภาพเพื่อใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุผสมพอลิโพรพิลีน จากนั้นศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกล เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาต่อยอดเชิงพาณิชย์ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ ยังเป็น

การลดต้นทุนในการผลิตแก่ภาคอุตสาหกรรม เป็นการรักษาส่งแวดล้อมโดยการลดปริมาณขยะอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการสกัดและประเมินคุณลักษณะเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากมูลม้า
- 2.2 เพื่อศึกษาการขึ้นรูปวัสดุผสมพอลิพรพิลีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากมูลม้า
- 2.3 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่เตรียมได้

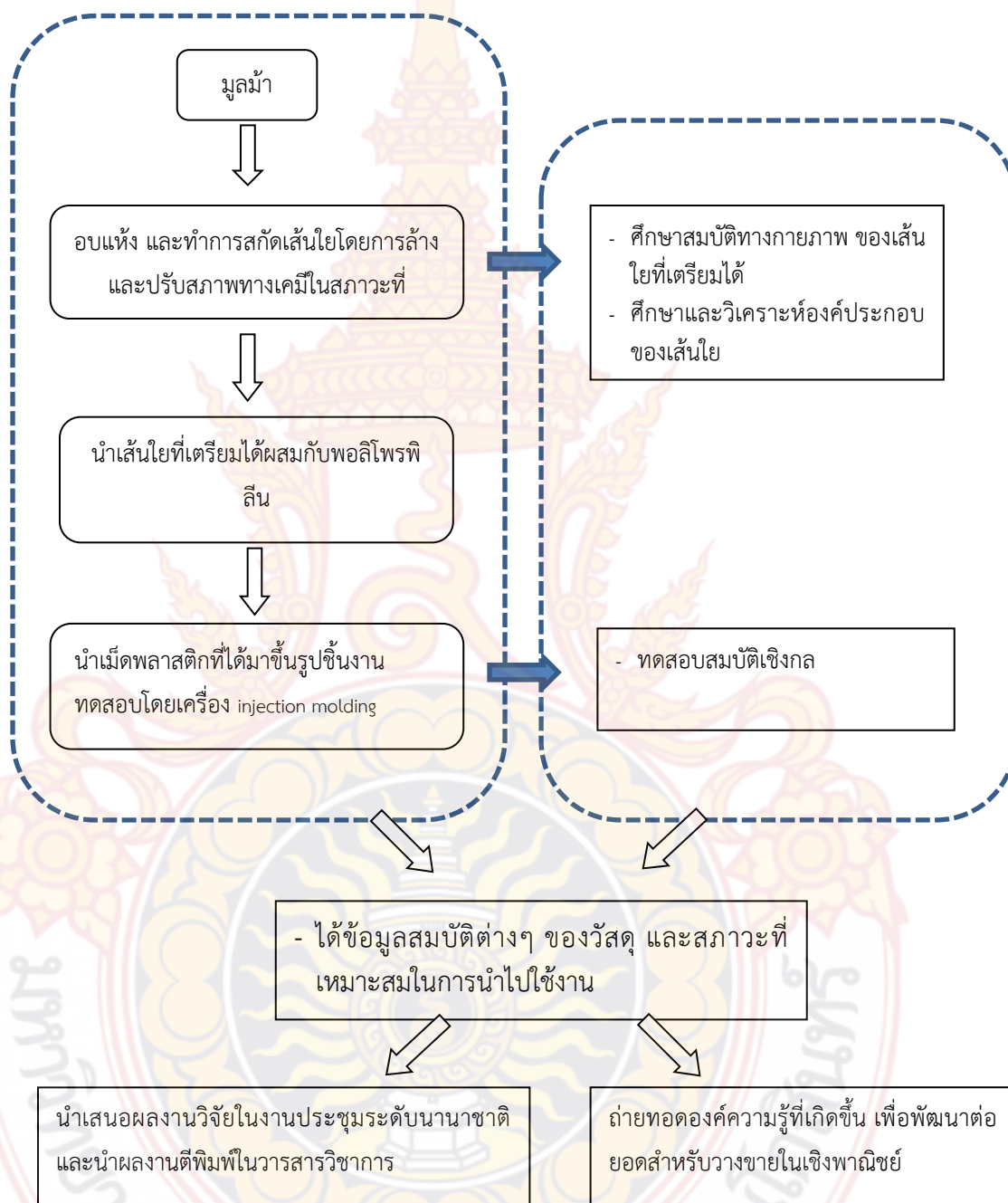
3. ขอบเขตการวิจัย

- 3.1 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและปรับสภาพเส้นใยเซลลูโลสจากมูลม้าโดยใช้มูลม้าได้รับความอนุเคราะห์จากกองพันทหารม้าที่ 29 รักษาพระองค์
- 3.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของและคุณลักษณะของเส้นใยเซลลูโลสที่สกัดได้
- 3.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมระหว่างพอลิพรพิลีนและเส้นใยเซลลูโลส โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใย สภาวะทางความร้อนและเวลาในการขึ้นรูป
- 3.4 ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่เตรียมได้

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้วัสดุผสมพอลิพรพิลีนที่มีเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากมูลม้า
- 4.2 ได้วัสดุผสมที่เสริมแรงโดยใช้เส้นใยที่ได้มาจากธรรมชาติ ทดแทนการใช้ไม้ หรือลดการใช้สารเคมีรุนแรงในการสกัดเส้นใยจากพืชชนิดอื่น

5. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1-1 แสดงกรอบแนวคิดในงานวิจัย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มูลม้า

2.1.1 ระบบย่อยอาหารของม้า เป็นระบบที่มีความแตกต่างจากสัตว์ชนิดอื่น แตกต่างจากวัวและควาย ส่วนใหญ่มักเข้าใจผิดว่าม้าและวัวมีความใกล้เคียงกัน แต่ในความเป็นจริงมีความแตกต่างเป็นอย่างมาก โดยระบบทางเดินอาหารของม้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ทางเดินอาหารส่วนต้น ประกอบด้วย

- กระเพาะอาหาร(Stomach) ม้าเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว และมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว (ม้าเล็กจู่ 8-10ลิตร, ม้าใหญ่ 16-20ลิตร) ถ้ามีการอุดตันด้วยอาหาร น้ำหรือแก๊ส กระเพาะจะแตกได้ เพราะม้าไม่สามารถอาเจียนได้ และเรอไม่ได้
- ลำไส้เล็ก(Small intestine) (ความยาว 19-30เมตร) มีหน้าที่ย่อยและดูดซึมคาร์โบไฮเดรต(แป้ง) ไขมัน โปรตีน ในส่วนนี้จะมีการใช้น้ำย่อยเพื่อย่อยอาหาร ถึงต้องมีความยาวมากให้น้ำย่อยสัมผัสอาหารได้ทั่วถึง

ทางเดินอาหารส่วนท้าย ประกอบด้วย

- ไส้ตัน(Caecum) ความยาว 0.8-1.3 เมตร ความจุ 33.4 ลิตร
- ลำไส้ใหญ่ส่วนแรก(Large colon) ความยาว 3-4 เมตร ความจุ 81.2 ลิตร
- ลำไส้ใหญ่ส่วนหลัง(Small colon) ความยาว 2.5-4 เมตร ความจุ 14.8 ลิตร
- ไส้ตรง (Rectum)

ลำไส้ใหญ่ของม้าแตกต่างจากลำไส้เล็ก เพราะไม่มีน้ำย่อย การย่อยในส่วนนี้อาศัยจุลินทรีย์ในลำไส้หมักอาหาร ดังนั้นความจุในส่วนนี้จึงมีความจุมาก ปกติจะหมักอาหารหยาบ (ฟาง/หญ้า/หญ้าแห้ง) โภชนาการสำหรับม้าก็มีความจำเพาะไม่เหมือนกับสัตว์ชนิดอื่น และทำให้มูลม้าที่ได้มีปริมาณเส้นใยค่อนข้างสูง [1]

2.1.2 อาหารม้า

หลักการให้อาหารม้าแบ่งตามลักษณะอาหารมีสองแบบ คือ อาหารหยาบ (เช่น หญ้าชนิดต่างๆ) และ อาหารข้น (อาหารเม็ดที่มีการเสริมคุณค่าทางอาหาร) สำหรับอาหารหยาบ โดย

ธรรมชาติแล้วมันเป็นสัตว์ที่เล็มกินหญ้า 16-20 ชั่วโมงต่อวัน เดินไปเล็มหญ้าไปเรื่อยๆ ดังนั้นเราควรจัดสรรให้มันมีหญ้ากินเกือบตลอด 24 ชั่วโมง การที่มันมีหญ้ากินตลอดจะช่วยลดโอกาสเสี่ยงต่อโรคแผลในกระเพาะอาหาร ทั้งยังช่วยให้ลำไส้ของมันมีการเคลื่อนที่ทำงานได้ตามปกติ หญ้าที่เรามักเห็นตามฟาร์มให้กินบ่อยๆ ได้แก่

- หญ้าแพงโกล่า หญ้าขน ข้อดีของหญ้าสองชนิดนี้คือ ราคาไม่แพงมาก ปลูกขึ้นง่าย มีสารอาหารพอประมาณ ส่วนหญ้าอัลฟาฟา

- หญ้าอัลฟาฟา หญ้าทิโมที เป็นหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารสูงแต่ราคาแพง

- หญ้าเนเปียร์ โดยปกติมักใช้สำหรับเลี้ยงวัว เป็นหญ้าที่มียางเหนียว มันไม่สามารถเคี้ยวให้ขาดละเอียดด้วยตัวเองและจะทำให้หญ้าอุดตันในกระเพาะอาหาร ส่งผลให้มันเกิดการเสียดท้องและเสียชีวิตได้ ก่อนให้หญ้าเนเปียร์คนเลี้ยงจำเป็นต้องสับเป็นท่อนเล็กๆ ก่อนให้มันกิน [2]

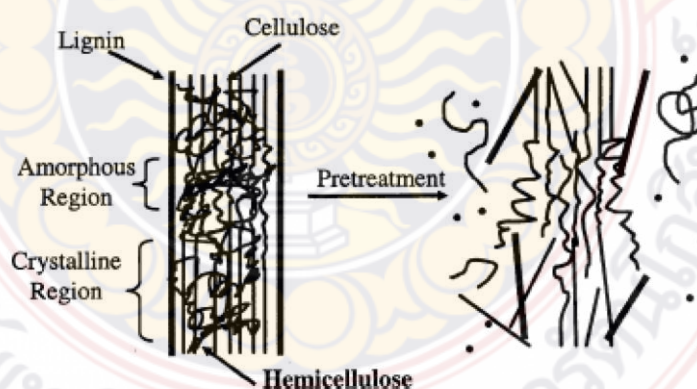
2.1.3 การนำมูลม้าไปใช้ประโยชน์

ในปัจจุบันมีการนำเอามูลม้าไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้แก่

- ปุ๋ยหมัก [3]
- เชื้อเพลิงชีวภาพ [4]
- ถ่านชีวภาพ [5]
- กระจายสาจากมูลม้า [6]

2.2 เส้นใยธรรมชาติจากพืช

ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (ภาพที่ 2-1) ในอัตราส่วนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ตารางที่ 2-1) โดยทั่วไปพบเซลลูโลสร้อยละ 40-60 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 20-30 และลิกนินร้อยละ 15-30 [7] ดังตัวอย่างในตารางที่ 1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติจากพืช [8]

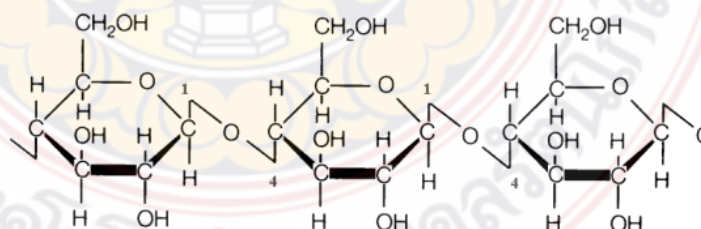
ตารางที่ 2-1 แสดงปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติจากพืชประเภทต่างๆ

ชนิดพืช	เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เอกสารอ้างอิง
เส้นใยป่านศรนารายณ์	65.8	12.0	9.9	[9]
ชานอ้อย	41.23	19.78	22.91	[10]
ฟางข้าว	37.70	22.06	21.00	[10]
ผักตบชวา	24.37	19.83	25.34	[10]
เปลือกข้าวโพด	32.0	35.7	32.3	[11]
เปลือกมะพร้าว	24.0	12.0	64.0	[11]
หญ้าแพงโกล่า	40.7	34.2	4.8	[12]
หญ้านาเปียร์	12.3	68.2	10.7	[13]

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืช อยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เช่น เนื้อไม้พบประมาณร้อยละ 40-50 และเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 98

เซลลูโลสเป็นโฮโมโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-D-กลูโคไพราโนส (β -D-Glucopyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-glycosidic bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (glucan) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยทั่วไปในธรรมชาติพบเซลลูโลส 2 แบบ คือ crystalline cellulose และ amorphous cellulose โดยส่วนของ crystalline cellulose จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า amorphous cellulose สำหรับโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส แสดงในรูปที่ 2



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก [8]

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นเฮเทอโรโพลิเมอร์ของน้ำตาลชนิดต่างๆ หลายชนิดผสมกัน เช่น กลูโคส แมนโนส ไซโลส และอะราบินอส ซึ่งพบอยู่ในรูปโพลิเมอร์ไซแลน แมนแนน กาแลกแตน และอะราบินแนน มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย โดยในพอลิเมอร์ไวแลน ดี-ไซโลสมีปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 85-93 ส่วนองค์ประกอบอื่น เช่น กลูโคส กรดกลูควิโรนิก กรดกาแลกตุโรนิก จะพบปริมาณน้อย โดยไซโลสที่พบจะเชื่อมด้วยพันธะเบตา 1,4 ไกลโคซิดิก [8]

2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติกที่พบในส่วนผนังเซลล์ของพืช พบในปริมาณที่แตกต่างไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ลิกนินเป็นเฮเทอโรพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติ ไม่แตกผลึก ประกอบด้วยสารประกอบอะโรมาติก 3 ชนิด ประกอบด้วย tran-p-coumaryl alcohol, trans-coniferyl alcohol และ trans-p-sinapyl alcohol นอกจากนี้โมเลกุลของลิกนินยังเชื่อมต่อกับสารประกอบอะโรมาติกอื่นอีกมากมาย [8]

2.3 วิธีปรับสภาพเส้นใย

2.3.1 การสกัดเส้นใยโดยใช้สารเคมี (Chemical treatment)

เตรียมโดยการตัดตัวอย่างให้มีขนาดความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นทำความสะอาดและอบให้แห้งอย่างน้อย 8 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ในถังกวนด้วยสารละลายเบสตัวอย่างเช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) ตามเวลาที่เหมาะสม จากนั้นก็ล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างความเป็นด่าง และทำให้แห้งโดยการอบที่ 100 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง กลไกการทำงานของด่างนั้นเชื่อว่าจะไปเพิ่มการพองตัวของใยในโมเลกุลภายในต่อสายพันธะภายในของไซแลนในเฮมิเซลลูโลส ความพรุนของวัสดุจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อทำการกำจัดสายโซ่ที่เชื่อมต่อภายใน การใช้ด่างเจือจางในวัสดุลิกโนเซลลูโลสมีผลทำให้เกิดการบวมภายในเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยาทำให้วัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้นได้ ลดความเป็นโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส ลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ และสามารถแยกสายโครงสร้างระหว่างลิกนินและคาร์โบไฮเดรต และเป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน [8]

2.3.2 การสกัดด้วยการระเบิดด้วยน้ำ (Thermal steam explosion หรือ Hydrothermal treatment)

วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการปรับสภาพวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสการปรับสภาพด้วยวิธีการนี้ใช้ตัวอย่างเส้นใยที่มีขนาด 1-3 เซนติเมตร โดยให้แรงดันไอน้ำที่ 10-20 บาร์ 190-250°C ใช้เวลา ประมาณ 5 นาที ในถึงปฏิกิริยา วัตถุดิบจะถูกผสมกับไอน้ำอิมตัวที่ความดันสูง แล้วทำการลดความดันอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดการแยกเอาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินออกจากกันที่อุณหภูมิสูง โดยส่วนของเฮมิเซลลูโลสจะละลายในน้ำที่ควบแน่นจากไอน้ำปัจจัยที่มีผลในกระบวนการปรับสภาพด้วยวิธีนี้คือ เวลาที่ใช้ อุณหภูมิ ขนาดของวัสดุตั้งต้นที่ใช้ และ ปริมาณความชื้นที่อยู่ในวัตถุดิบ[8, 14]



ภาพที่ 2-3 ลักษณะปรากฏของเส้นใยไผ่หลังจากผ่านกระบวนการ Hydrothermal treatment [15]

2.4 เทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในเส้นใยตัวอย่าง

เทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของเส้นใยมีความจำเป็น เนื่องจากการเตรียมเส้นใยเซลลูโลสที่กล่าวมาในข้างต้นมีผลทำให้องค์ประกอบของเส้นใยเปลี่ยนไป จึงต้องมีการวิเคราะห์เพื่อทราบองค์ประกอบที่มีอยู่ในเส้นใยนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 เทคนิคได้แก่

2.4.1 วิธีวิเคราะห์เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน โดยวิธี Detergent [10] ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ชั้น คือ

(1) สกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย Neutral detergent (เพื่อหา % Neutral Detergent Fibers หรือ %NDF)

ชั่งตัวอย่างที่แห้ง ประมาณ 1 กรัม ทำการเติมสารละลาย Neutral detergent 100 มิลลิตร Sodium sulfate 0.5 กรัม และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิตร นำไปต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วไปกรอง ล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน 3 – 4 ครั้ง แล้วล้างด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง ดูดสารละลายออกด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ (vacuum pump) จนแห้งจากนั้นนำ

ตัวอย่างใส่ถ้วยเผาไปอบที่ 100 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำถ้วยเผาออกมาทิ้งให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือ ปริมาณ Neutral detergent (NDF)

(2) สกัดตัวอย่างด้วยสารละลาย Acid Detergent (เพื่อหา %เฮมิเซลลูโลส)

นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วย Neutral detergent มาต้มด้วย Acid Detergent โดยเติม Acid Detergent 20 มิลลิลิตร และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร เป็น เวลา 1 ชั่วโมงหลังจากเดือด กรอง แล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วย 80% เอทานอล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร 2 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ถ้วยเผา ไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวางในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้คือ น้ำหนักของ Acid Detergent fiber (ADF) โดยน้ำหนักที่แตกต่างระหว่าง NDF กับ ADF คือ น้ำหนักเฮมิเซลลูโลส

(3) วิธีวิเคราะห์หา Permanganate Lignin (PML) (เพื่อหา % ลิกนิน)

เติมสารละลาย combined permanganate 25 มิลลิลิตร ลงใน Sintered glass crucible โดยวาง Sintered glass crucible ในภาชนะที่มีน้ำเย็นสูงประมาณ 2 เซนติเมตร คน ด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้ 45 นาที โดยคนเป็นบางครั้ง จากนั้นดูดสารละลายออกจนหมดด้วย เครื่อง ดูดสุญญากาศ (vacuum pump) ทำซ้ำ 2 ครั้ง แล้วจึงเติมสารละลาย Demineralizing ลงใน crucible แต่ละถ้วยใช้เวลา 5 นาที แล้วดูดสารละลายออกโดย เครื่องดูดสุญญากาศ (vacuum pump) ทำซ้ำจนได้ตัวอย่างพีชสีขาวภายใน 20 นาที จากนั้นล้างด้วย 80% เอทานอล และอะซิโตน แล้วดูดออกให้แห้งด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ (vacuum pump) นำถ้วยเผาไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไป วางใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง Acid Detergent fiber (ADF) และน้ำหนักพีชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก คือ น้ำหนักลิกนิน

(4) วิธีวิเคราะห์หาเซลลูโลสโดยการเผาเถ้า (เพื่อหา % เซลลูโลส)

นำถ้วยเผาที่มีตัวอย่างพีชซึ่งผ่านการสกัดลิกนินออกแล้ว ไปเผาในเครื่องเผาเถ้าที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวางในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่างน้ำหนักพีชหลังสกัดลิกนินออกและน้ำหนักหลังการเผาเถ้า คือ น้ำหนักเซลลูโลส

2.4.1 วิธีวิเคราะห์และสกัด เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน โดย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) [15]

นำตัวอย่างเส้นใยที่อบแห้งแล้วไปบดด้วยเครื่องปั่นและกรองและผ่านตะแกรงร่อน เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีขนาด 150 ไมโครเมตร วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่อง FTIR ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4,000-400\text{ cm}^{-1}$

จากการทดลองสามารถจำแนกช่วงในการวิเคราะห์ได้ 5 ช่วง ตามหมู่ฟังก์ชันเป็นส่วนประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน และสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของจุดยอดของกราฟในแต่ละช่วงโดยลักษณะของจุดยอดในแต่ละช่วงสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

- ในช่วงความยาวคลื่น $3,600 - 3,200\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงการสั่นของหมู่ $-OH$ และ ช่วงความยาวคลื่น $3,000-2,800\text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ aliphatic $-CH_x$ ในเซลลูโลส จุดยอด
- ในช่วงความยาวคลื่น $1,765 - 1,715\text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ $C=O$ ในเฮมิเซลลูโลส
- ในช่วงความยาวคลื่น $1,100 - 1,000\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงวิเคราะห์ของเฮมิเซลลูโลส
- ที่จุดยอดช่วง $1,100 - 1,000\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงการโค้งงอ (Bending) ของหมู่ฟังก์ชัน $C-OH$ ในเฮมิเซลลูโลส
- จุดยอดของกราฟที่ความยาวคลื่น $1,250\text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ $C-O-C$ ใน Arty-alkyl ether ของลิกนิน

2.5 พอลิโพรพิลีนคอมโพลีท

ตารางที่ 2-2 แสดงสมบัติของพอลิโพรพิลีน

สมบัติ	รายละเอียด
โครงสร้าง	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_2 \end{array} \right]_n$
Chemical formula	$(C_3H_6)_n$
Density	0.855 g/cm ³ , amorphous 0.946 g/cm ³ , crystalline
Melting point	130 to 171 °C (266 to 340 °F; 403 to 444 K)

พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตพอลิเมอร์คอมโพลีทที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นมากที่สุดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะผลิตเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยเหตุผลหลายประการ อาทิ เช่น

ราคาถูก และสามารถขึ้นรูปทำได้ง่าย ใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปต่ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสูงเนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำ การเตรียมพอลิเมอร์คอมพอสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยธรรมชาติ ทำโดยการผสมเส้นใยที่เตรียมได้ตามวิธีที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ผสมกับพอลิเมอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (อยู่ในช่วง 20-40% โดยน้ำหนัก) โดยในเครื่องบดผสม (Internal Mixture) โดยใช้ Melt temperature เท่ากับ 175 องศาเซลเซียส และเวลาในการผสมประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องบดให้เป็นเม็ดเพื่อฉีดเป็นชิ้นงานต่อไป สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบสมบัติการดึงยึดและการกระแทก จะขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีด (Injection molding) โดยอุณหภูมิในการฉีดในแต่ละโซน เป็น 170 175 175 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันเป็นตัวหล่อเย็น ความเร็วของสกรูเท่า 80 เปอร์เซนต์ ความดันที่ใช้ในการฉีดเท่ากับ 80 เปอร์เซนต์ ความดันคงค้าง เท่ากับ 50 เปอร์เซนต์ [9,16]

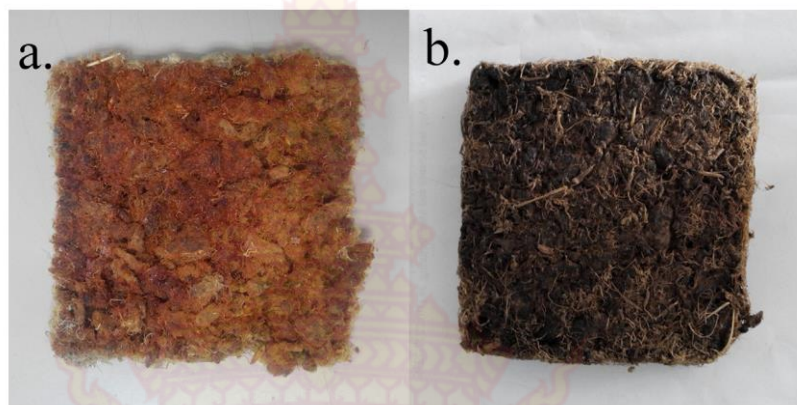
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ.2013 Robinson G. และคณะ [17] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมูลม้ามาใช้เป็นสำหรับผลิตภัณฑ์กระดาษ โดยการนำมูลม้าที่ตากแห้งแล้วมาแช่ให้ในถังที่บรรจุสารละลายต่างโซเดียมคาร์บอเนต และมีการเติมคลอรีนในปริมาณต่างๆ (50, 100 และ 150 กรัม) จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มากัดอัดในแม่พิมพ์ให้เป็นแผ่น พบว่าปริมาณคลอรีนมีผลต่อความขาวของกระดาษ เมื่อปริมาณคลอรีนมากขึ้นกระดาษที่ได้ก็จะมีสีขาวมากขึ้นโดยไม่กระทบต่อความหยาบของผิวกระดาษ

ในปี ค.ศ. 2015 Wasin Tuntragul และคณะ [15] ศึกษาผลของอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการ Hydrothermal treatment (HTT) ในการสกัดเส้นใยไผ่ โดยใช้อุณหภูมิ 160 180 200 และ 220 องศาเซลเซียส และตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบภายในของเส้นใยไผ่ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เป็นการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ในตัวอย่างจากการวัดค่าความดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดเพื่อใช้ในการสั่น (Vibration) ของโมเลกุลในรูปแบบต่างๆของตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว และไม่ต้องการการเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อน และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ

ต่อมาในปี ค.ศ. 2016 Makarawat Boonterm และคณะ [14] ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าว โดยเปรียบเทียบการสกัด 2 วิธีได้แก่ การปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมีและการปรับสภาพด้วยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ (thermal steam explosion) สำหรับการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ จะถูกนำมาใช้ในการปรับสภาพเส้นใยจากผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยพบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นมีผลต่อ

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของเส้นใย สำหรับการปรับสภาพด้วยวิธีการระเปิดด้วยไอน้ำ เส้นใยที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2-4 แสดงชิ้นงานที่ขึ้นรูปจาก (a) ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% โดยน้ำหนัก

(b) ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยวิธีระเปิดด้วยไอน้ำที่ 15 บาร์

วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ [9] ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน และการตัดแปรทางเคมี โดยใช้ยาง EPDM และยางธรรมชาติเพื่อปรับปรุงสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตถูกเตรียมด้วยเครื่องบดผสมภายใน และขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปทดสอบที่ได้จะถูกนำมาศึกษาผลของประเภทของการตัดแปรเส้นใย ชนิดของยางและปริมาณยางต่อสมบัติทางกลต่างๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิโพรพิลีนกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อน และการตัดแปรทางเคมี มีค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเค้น ๓ จุดครากและค่ามอดูลัสของยังก็มากกว่าพอลิโพรพิลีน ในทางตรงข้ามค่าความยืดหยุ่น ๓ จุดแตกหักและค่าความทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตจะมีค่าน้อยกว่าพอลิโพรพิลีน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผ่านการตัดแปรทั้งสองวิธีจะเห็นว่าค่าใกล้เคียงกัน

และในปีปัจจุบัน (ค.ศ.2016) M.A. Abdullah และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมวัสดุผสมชีวภาพ (biocomposite) ระหว่างเส้นใยเซลลูโลสกับพอลิโพรพิลีน โดยเส้นใยเซลลูโลสได้จากทะเลสาบปลาสดมแปล่าโดยการปรับสภาพด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) และอัลตราโซนิคในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อทดแทนการใช้คลอรีน การขึ้นรูปขึ้นรูปทดสอบด้วยเครื่องฉีด

สัดส่วนเส้นใย 25% โดยไม่มีการใส่สารช่วยประสานใดๆ พบว่าได้ผลการทนต่อแรงดึงสูงถึง 27 MPa, วัสดุผสมเซลลูโลส/พอลิพรพิลีนที่ได้มีความเสถียรทางความร้อน และสามารถดูดซึมน้ำและน้ำมันได้ต่ำ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผู้วิจัยสามารถพัฒนาเทคนิคโดยผสมความร้อนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการสกัดเส้นใยลิกโนเซลลูโลสจากของเหลือทิ้งจากการเกษตร และสามารถนำไปต่อยอดในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ฉนวนไฟฟ้าสำหรับวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์กีฬา และอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ



บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

- 1) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรด UN1823 บริษัท Carlo Erba reagents
- 2) พอลิโพรพิลีน บริษัท Inno Plus เกรด HP500N
- 3) มูลม้าได้รับจากกองพันทหารม้าที่ 29 รักษาพระองค์
- 4) ตู้อบ บริษัท JEIO TECH รุ่น OF-11E

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

- 1) เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) บริษัท LAB TECH ENGINEERING CO., LTD
- 2) การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Molding) บริษัท LAB TECH ENGINEERING CO., LTD

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) บริษัท JEOL รุ่น JSM-5410LV
- 2) เครื่อง Fourier Transform Infraed (FTIR) Spectroscopy รุ่น Spectrum TWO
- 3) เครื่อง X-ray Drefractometer (XRD) บริษัท Bruker Corporation รุ่น D8 Advance
- 4) เครื่องทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง บริษัท อินโทรเอ็นเตอร์พรี จำกัด
- 5) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore Hardness ยี่ห้อ PTC@INSTRUMENTS
- 6) การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบ Izod Impact ยี่ห้อ CEAST

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนในการเตรียมเส้นใย

นำมูลม้าที่ได้จากกองพันทหารม้าที่ 29 รักษาพระองค์ มาทำความสะอาดโดยการล้างน้ำและอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อได้เส้นใยแล้วนำมาปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8, 10 %w/w แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ทำการบดเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเครื่องปั่น ล้างเส้นใยด้วยน้ำกลั่นจนมี

ค่า pH เป็น 7 โดยวัดค่า pH จากกระดาษลิตมัส นำเส้นใยที่ได้มากรองเพื่อแยกขนาด และนำเข้าเตาอบเพื่อทำการอบไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และ XRD เพื่อทำการเลือกสถานะในการปรับปรุงผิวเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการเตรียมเส้นใยสำหรับนำไปผสมกับพอลิโพรพิลีน



(ก) มูลม้า



(ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม้า

ภาพที่ 3-1 (ก) มูลม้า (ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม้า

3.2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูป

ขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมเม็ดพลาสติกผสมกับเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ได้เตรียมไว้ โดยเส้นใยที่นำมาผสมกันมี 2 ประเภท ได้แก่ เส้นใยที่ได้จากมูลม้าแบบยังไม่ผ่านการปรับสภาพ (HMF) และเส้นใยที่ได้จากมูลม้าแบบผ่านการปรับสภาพ (THMF) นำเม็ดพลาสติกผสมกับเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ได้เตรียมไว้ตามปริมาณดังนี้ คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 PHR ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ในการผสมระหว่าง PP/HMF และ PP/THMF ใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 160 องศาเซลเซียส หลังจากที่ผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิค (Compression Molding) ที่ความดัน 90 MPa อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำการลดอุณหภูมิของชิ้นงานด้วยการหล่อเย็นเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

3.3 วิธีการศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.3.1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

3.3.1.1 วัดขนาดเส้นใยด้วยโปรแกรม image J

ใช้ตรวจสอบขนาดของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่เตรียมได้ โดยนำภาพที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความยาวเส้นใยด้วยโปรแกรม image J (n=50) ดังภาพที่ 3-2



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-2 (ก) เส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว

(ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิว

3.3.1.2 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

ใช้สำหรับตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี ของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิวและเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิว โดยวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)

3.3.1.3 X-ray diffractometer (XRD)

ใช้สำหรับวิเคราะห์การเกิดผลึกภายในเส้นใยโดยตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ หล้าตัวอย่างที่เป็นอาหารของม้า เส้นใยที่ได้จากมูลม้าและ เส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับปรุง

สภาพผิวแล้ว โดยเตรียมตัวอย่างเป็นผงและนำมาอัดบนแผ่นเพลท จากนั้นนำเข้าเครื่องและทำการกำหนดองศาในการศึกษาที่ 5 ถึง 80 องศา วิเคราะห์ที่ 1 องศา ต่อ 2 นาที



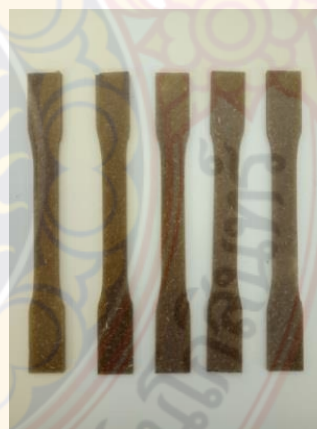
ภาพที่ 3-4 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

3.3.2 ทดสอบสมบัติเชิงกล

3.3.2.1 ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile Test)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-5 (ก) เครื่องทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (ข) ชิ้นงานทดสอบสมบัติการทนแรงดึง ในการทดสอบนี้เป็นการหาค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบหาความสามารถในการทนแรงดึงของชิ้นงานโดยวิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM D638 ในการทดสอบนี้จะทำให้ทราบถึงค่าการทนแรงดึงของชิ้นงาน ในการทดสอบนี้จะต้องทำการเตรียมชิ้นงานตามขนาด กว้าง 2.2 ซม. ยาว 16.5 ซม. ดังภาพที่ 3-5

3.3.2.2 ทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

ทดสอบความสามารถของแผ่นอัดที่ทำการผสมกับเส้นใยที่ได้จากมูลม้า โดยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนา 3 มิลลิเมตร และผิวเรียบ วิธีการทดสอบกดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนหัวเข็มถึงจุดหยุดจับเวลาประมาณ 10 วินาที แล้วอ่านค่าความแข็งของชิ้นงานจากหน้าปัดดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 เครื่องทดสอบความแข็ง

3.3.2.3 การทดสอบการทนแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 การเตรียมชิ้นงานทดสอบขนาดความกว้าง 1.2 เซนติเมตร ยาว 6.3 เซนติเมตร และหนา 0.3 เซนติเมตร จากนั้นนำไปทำการบากที่มุม 45 องศา ลึก 2 มิลลิเมตร เมื่อได้ชิ้นงานจึงนำมาทดสอบโดยใช้น้ำหนัก 4.4 จูล ใช้ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 5 ชิ้นงาน ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบดังภาพที่ 3-7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3-7 (ก) เครื่องบากชิ้นงาน (ข) ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกแบบ Izod

ค่าความทนต่อแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Impact strength} = E/A$$

เมื่อ E คือ พลังงานดูดซับ (kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

$$* \quad \frac{E}{A} = \frac{\text{พลังงานดูดซับ}}{6.35 \times 10^{-3}}$$



บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าประกอบไปด้วย การศึกษาเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวและไม่ผ่านการปรับสภาพผิว การศึกษาสัดส่วน วิทยาของวัสดุเชิงประกอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี วิเคราะห์ องค์ประกอบทางแร่วิทยา ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก และ ทดสอบความแข็ง เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ทำการขึ้นรูป สำหรับใช้เป็นวัสดุทดแทนจากธรรมชาติ ผลการทดลองที่ได้ดังต่อไปนี้

4.1 การเตรียมเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ภาพที่ 4-1 แสดงลักษณะเส้นใยที่ได้จากมูลม้า มีขั้นตอนในการเตรียมเส้นใยดังนี้ ทำการล้าง มูลม้าด้วยน้ำสะอาดให้เหลือเฉพาะเส้นใย นำเส้นใยที่ได้ไปตากให้แห้ง และนำมาทำการปรับสภาพของ เส้นใยที่ได้จากมูลม้าโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10% w/w แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อทำการแยกกลืนออกจากเส้นใย จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาล้างให้มีค่า pH เป็น 7 แล้วนำไปบดโดยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ หลังจากบดแล้วนำเส้นใยไปบดที่อุณหภูมิ 80 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-1 (ก) มูลม้า (ข) เส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว
(ค) เส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิว

เมื่ออบเสร็จแล้วนำมาบดอีกครั้งและทำการร่อนเพื่อแยกขนาดของเส้นใยที่ได้จากมูลม้า โดยเส้นใยที่เตรียมได้มีความยาวและความกว้างเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4-1 ผลจากการปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่เตรียมได้มีขนาดความกว้างลดลงเนื่องจากลิกนินได้ถูกกำจัดออกทำให้เส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสภายในแยกออกจากกัน

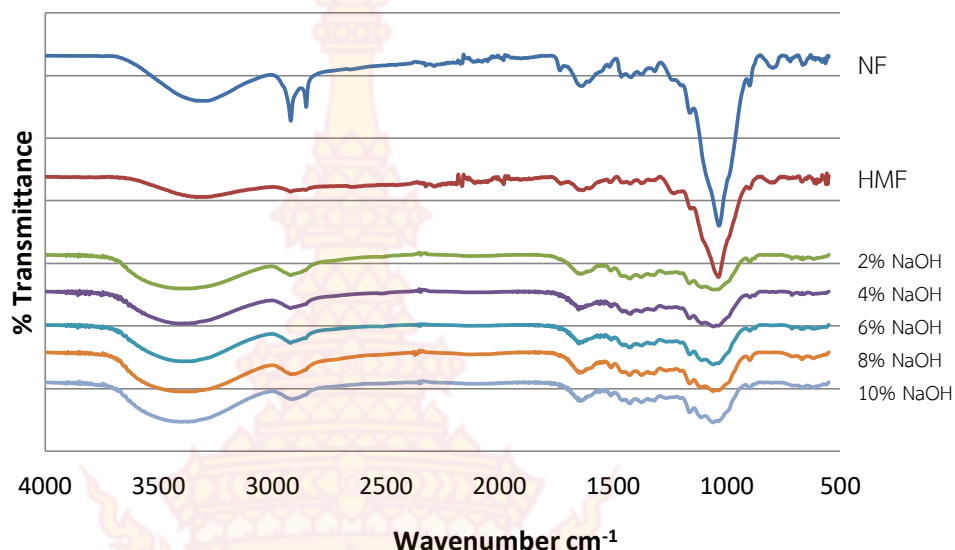
ตารางที่ 4-1 ความยาวและความกว้างเฉลี่ยของเส้นใย HMF และ THMF

	ความยาว (mm)	ความกว้าง (mm)
HMF	2.23 ± 0.70	0.65 ± 0.22
THMF	2.43 ± 0.88	0.42 ± 0.29

4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า

4.2.1 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR

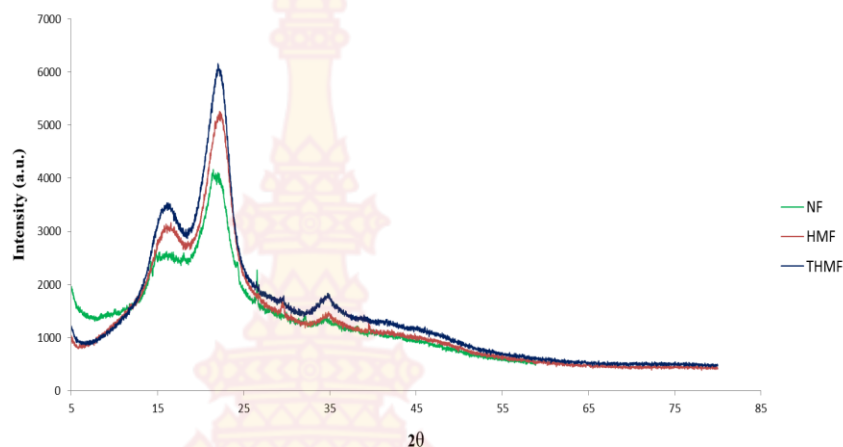
จากการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR พบว่าสเปกตรัมของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ (HMF) จะมีหมู่ $-CH_3$ asymmetric และ C-H symmetric ของลิกนินอยู่ในตำแหน่งคลื่น 1720 cm^{-1} และเมื่อทำการปรับสภาพเส้นใยมูลม้าจากการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 %w/w ที่เวลา 8 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของลิกนินลดลงตั้งแต่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการลดลงของลิกนินเริ่มคงที่ที่ 4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกันของปริมาณลิกนินโดยงานวิจัยของอาดิลละห์ ศิริวัลลภ [26] ที่ทำการกำจัดลิกนิน ด้วยการแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และการปรับสภาพเส้นใยที่ 6, 12 และ 24 ชั่วโมง จะเห็นว่าพีคที่เลขคลื่น $1600-1733\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณ C=O stretching จากหมู่คาร์บอนิลซึ่งอยู่ในโครงสร้างของลิกนิน จากการทดสอบข้างต้นจึงได้เลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่ 2, 4, 6, 8, และ 10% w/w ที่เวลา 8 ชั่วโมง ผลที่ได้เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นปริมาณของลิกนินที่มีการลดลงและเริ่มคงที่ เพื่อเป็นการใช้ปริมาณความเข้มข้นน้อยที่สุดในการปรับสภาพผิวเส้นใยที่ได้จากมูลม้า จึงเลือกใช้ความเข้มข้นที่ 4% w/w แช่เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นความเข้มข้นที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยที่ได้จากมูลม้า



ภาพที่ 4-2 FTIR สเปกตรัมของเส้นใยธรรมชาติที่ใช้เป็นอาหารม้า(NF) เส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (HMF) และเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 ผลการทดลองด้วยเทคนิค XRD

จากการทดสอบด้วยเทคนิค XRD เพื่อเป็นการยืนยันของการเพิ่มของเซลลูโลส ของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิวและที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย NaOH ที่ 4% w/w เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าที่ 2θ พิกที่ 22.1 องศา พบเซลลูโลสสูงขึ้นถึง 6130.5 เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ได้ธรรมชาติและเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธวัชน์สร้อยทอง [27] ที่มีการพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ 2θ พิกที่ 15 องศา และ 22 องศา พบปริมาณเซลลูโลสเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเส้นใยปกติ



ภาพที่ 4-3 XRD สเปกตรัมของเส้นใยที่ได้จากอาหารม้า (NF) เส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิว (HMF) และ เส้นใยจากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วย NaOH 4%w/w เวลา 8 ชั่วโมง (THMF)

4.3 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้า

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยที่ได้จากมูลม้ามาเพิ่มมูลค่าและนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการตกแต่งภายในและภายนอกอาคาร เป็นวัสดุทดแทนวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ โดยการนำพอลิเมอร์พอลิพรพิลีน (PP) มาผสมกับเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 PHR จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ได้ชิ้นงานขนาด 20x20x0.3 มิลลิเมตร ที่มีลักษณะและสีเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ใส่ลงไปตามลำดับ

ตารางที่ 4-2 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใย HMF

Fiber content (PHR)	Sample	ลักษณะชิ้นงาน
0 PHR		มีสีขาวโปร่งแสง, แข็ง
10 PHR		มีสีน้ำตาล, แข็งและมีเส้นใย กระจายทั่วทั้งแผ่น
20 PHR		มีสีน้ำตาลเข้ม, แข็งและมีเส้นใย กระจายทั่วทั้งแผ่น
30 PHR		มีสีน้ำตาลเข้ม, แข็งและมีเส้นใย กระจายทั่วทั้งกระจายแผ่น
40 PHR		มีสีน้ำตาลเข้ม, แข็งและมีเส้นใย จับตัวเป็นกลุ่ม
50 PHR		มีสีน้ำตาลเข้ม, แข็งและมีเส้นใย จับตัวเป็นกลุ่ม

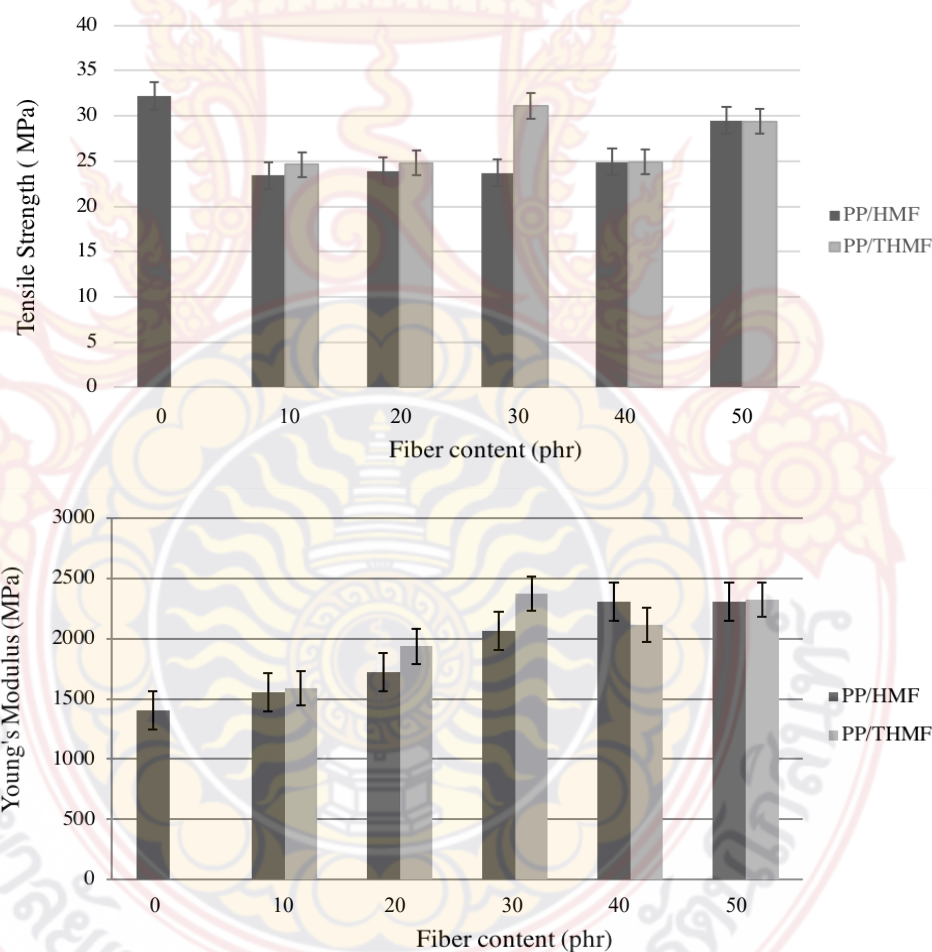
ตารางที่ 4-3 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใย THMF

Fiber content (PHR)	Sample	ลักษณะชิ้นงาน
0 PHR		มีสีขาวโปร่งแสง, แข็ง
10 PHR		มีสีน้ำตาล, แข็งและมีเส้นใยกระจายทั่วทั้งแผ่น
20 PHR		มีสีน้ำตาล, แข็งและมีเส้นใยกระจายอยู่ทั่วทั้งแผ่น
30 PHR		มีสีน้ำตาล, แข็งและมีเส้นใยกระจายทั่วทั้งแผ่น
40 PHR		มีสีน้ำตาลเข้ม, แข็งและมีเส้นใยเริ่มจับตัวเป็นกลุ่ม
50 PHR		มีสีน้ำตาลเข้ม, แข็งและมีเส้นใยเริ่มจับตัวเป็นกลุ่ม

4.4 สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยมูลม้า

4.4.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึง

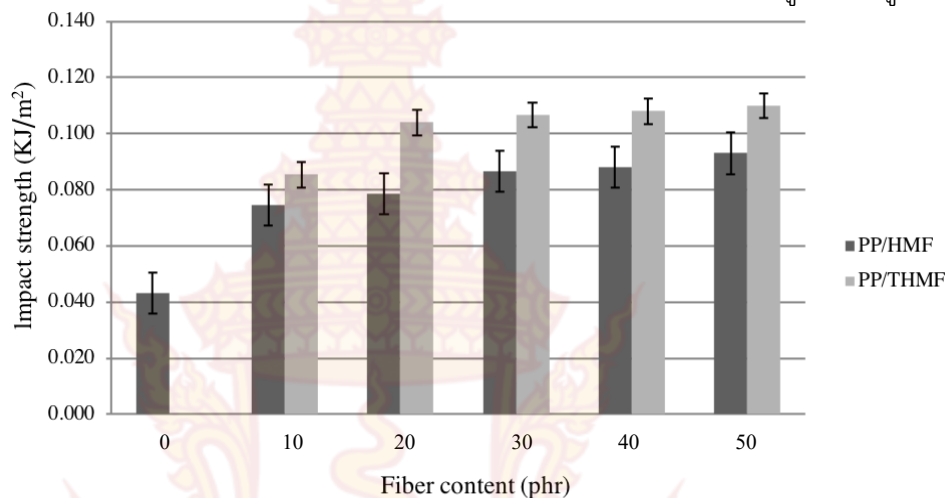
วัสดุคอมโพสิตพอลิพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใย HMF และเส้นใย THMF โดยขึ้นงานทดสอบจะมีปริมาณเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr ตามลำดับ รูปที่ 1a แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength, MPa) กับปริมาณเส้นใยทั้ง 2 ชนิด (phr) พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงของ PP/THMF มีค่าความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับ PP/HMF และพบว่าค่า Young's Modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 1b) จากการศึกษาพบว่าที่ปริมาณเส้นใย 30 phr ของ PP/THMF มีค่า Young's Modulus สูงถึง 2374.43 MPa เมื่อเปรียบเทียบกับ PP/HMF เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพ THMF จะมีพื้นผิวขรุขระมากกว่าเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ HMF ทำให้การยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์พอลิเมอร์ดีกว่า



ภาพที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง a) ความต้านทานต่อแรงดึง และ โมดูลัสของยังก์ ของ PP/HMF และ PP/THMF ต่อปริมาณเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40, 50 phr

4.4.2 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก

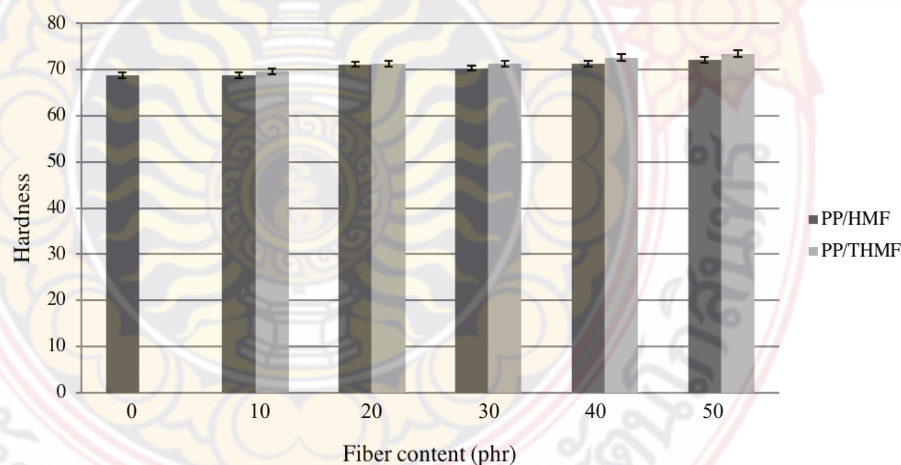
จากการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ HMF และที่ผ่านการปรับสภาพ THMF โดยมีอัตราส่วนผสมที่ 10 20 30 40 50 phr มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2



ภาพที่ 4-5 ความทนต่อแรงกระแทกของ PP/HMF และ PP/THMF

4.4.3 ผลการทดสอบความแข็ง

จากการทดสอบความแข็งของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ HMF และที่ผ่านการปรับสภาพ THMF โดยมีปริมาณเส้นใย 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 phr มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 3



ภาพที่ 4-6 ความแข็งของ PP/HMF และ PP/THMF

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะการวิจัย

1. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

เส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์แสดงให้เห็นถึงปริมาณของลิกนินที่ลดลงตั้งแต่ 2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำความเข้มข้นมาเปรียบเทียบกับพบว่าที่ 4% w/w มีการลดลงของลิกนินเริ่มคงที่ จากการทดสอบความทนต่อแรงดึงพบว่าค่า Young's Modulus มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณเส้นใยที่เติมลงไปตั้งแต่ 10 - 30 PHR เนื่องจากมีการสกัดลิกนินออกทำให้เส้นใยการยึดเกาะกับเนื้อเมตริกซ์ที่ดีขึ้น จากทดสอบการต้านทานแรงกระแทกและความแข็งแรงของวัสดุที่ผสมเส้นใยที่ได้จากมูลม้าที่ผ่านปรับสภาพTHMF ผสมกับพอลิโพรพิลีน มีแนวโน้มของค่าต้านทานแรงกระแทกและความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิโพรพิลีนโดยสัดส่วนปริมาณที่ 10-50 PHR และยังพบว่าค่าการต้านทานแรงกระแทกและค่าความแข็งแรงของ PP/THMF มีค่าสูงกว่า PP/HMF

2. ข้อเสนอแนะการวิจัย

- 1) ขั้นตอนการบดเส้นใยทำได้ยาก เพราะถ้าบดจนเปียกแล้วนำไปอบจะทำให้เส้นใยที่ได้มีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน แต่ถ้าทำการบดเส้นใยตอนแห้งทำให้เกิดการฟุ้งกระจายบดไม่ค่อยละเอียด
- 2) การเตรียมเส้นใยให้ได้ขนาดทำได้ยากเนื่องจากการร่อนผ่านตะแกรงควบคุมได้ยาก
- 3) ในการผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยที่ได้จากมูลม้า มีการผสมแบบเปิดทำให้เกิดความร้อนสูงและอันตรายหากผู้ปฏิบัติสัมผัสโดนลูกกลิ้งโดยตรง

บรรณานุกรม

- [1] การทำงานของระบบทางเดินอาหารของม้า, โรงพยาบาลม้า [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก Web site: <http://www.thehorsepital.com/article/89-2012-09-12-11-18-03> (5 สิงหาคม 2560)
- [2] ณัฐวุฒิ นุชประยูร, การจัดการอาหารม้าเบื้องต้น: เรื่องยากที่คิดว่าง่าย [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก Web site: <http://www.vs.mahidol.ac.th/th/index.php/basic-food-handling-horses> (5 สิงหาคม 2560)
- [3] อุทัย คั่นโธ, การใช้ประโยชน์มูลสัตว์เป็นปุ๋ยให้กับพืชอย่างมีประสิทธิภาพ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก Web site: http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/08-intregation/Uthai/intregation_00.html (5 สิงหาคม 2560)
- [4] สมบัติ สุวนานนท์, การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก Web site: <http://kongkraitat-sukhothai.kasetbay.com/23-คลังความรู้-อื่นๆ/86-การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์> (5 สิงหาคม 2560)
- [5] ซี้ม้่าติดไฟได้ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก Web site: <http://ความรู้รอบตัว.com/เกร็ดความรู้/ซี้ม้่าติดไฟได้.html> (5 สิงหาคม 2560)
- [6] “กระต่ายมูลสัตว์” กระต่าย (รักษ์) โลก [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก Web site: http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1312284635&gripid=no&catid&subcatid (5 สิงหาคม 2560)
- [7] Vittaya Punsuvon, Chemical Component Determination of Non Wood Raw Material for Pulp and Paper Industry, Proceedings of the 36th Kasetsart University Annual Conference (1998) 271-279
- [8] Ratchapol Pawongrat, Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes, Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University 2 (2015) 143-157.
- [9] ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และวิมลลักษณ์ สุตะพันธ์, พอลิโพรพิลีนคอมโพสิตจากเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน, สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2554
- [10] วิทวัส จิรัฐพงศ์ และ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์, การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ, การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21

- [11] Watcharee Katinonku and Jenjira Phuriragpitikhon, Pretreatment of corn husk and coconut husk using ionic liquid to enhance glucose recovery, *Bulletin of Applied Science* 2 (2013) 26-34.
- [12] Daryl Codron, Julia A. Lee-Thorp, Matt Sponheimer, Jacqui Codron, Nutritional content of savanna plant foods: implications for browser/grazer models of ungulate diversification, *Eur J Wildl Res* 53 (2007) 100–111.
- [13] Zawawi Daud, Mohd Zainuri Mohd Hatta, Angzzas Sari Mohd Kassim, Ashuvila Mohd Aripin, Halizah Awang, Analysis of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) as a potential alternative fibre in paper industry, *Materials Research Innovations* 18 (2014) 18-20.
- [14] Makarawat Boonterm, Surakan Sunyadeth, Suchada Dedpakdee, Panaake Athichalinthorn, Somjate Patcharaphun, Rattanawan Mungkung, Ratchatee Techapiesancharoenkij, Characterization and comparison of cellulose fiber extraction from rice straw by chemical treatment and thermal steam explosion, *Journal of Cleaner Production* 134 (2016) 592-599.
- [15] Wasin Tuntragul, Wichai Siwakosit and Maliwan Haruthaithanasan, Influences of temperature in bamboo fiber extraction in hydrothermal treatment process using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), *Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Science, Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industry, Natural Resources and Environment* (2015) 396-403.
- [16] M.A. Abdullah, M.S. Nazir, M.R. Raza, B.A. Wahjoedi, A.W. Yussof, Autoclave and ultra-sonication treatments of oil palm empty fruit bunch fibers for cellulose extraction and its polypropylene composite properties, *Journal of Cleaner Production* 126 (2016) 686-697.
- [17] Robinson G. Cabardo Jr., Michelle L. Dano, Farrah I. Equipelag, Mara K. Gabilan, Suwanee Gonzales, Richie B. Solomon, The Feasibility Of Horse (*equus ferus caballus*) Manure as an Alternative Source of Paper, *The Science Department of Cebu City Don Carlos A. Gothong Memorial National High School* (2013)

ประวัติคณะผู้วิจัย



ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - สกุล ดร.พิมลพรรณ เนียมกลาง (กำพลานนท์วัฒน์)
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ พื้นที่ศาลายา ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม
73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2696 โทรสาร 02-889-
4585-7 ต่อ 2621
E-mail address: pimolpun.kam@rmutr.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบัน
2555	Ph.D.	Polymer Science	วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2549	B.Eng.	Petrochemical and Polymeric Material	มหาวิทยาลัยศิลปากร

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ นอกเหนือจากการศึกษา

Electrospinning, Surface Modification, Nanofibers, Chelating Material,
Ultrathin-layer Chromatography

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย "ใส่ชื่อผลงานวิจัยที่ผ่านมา พร้อมระบุปีที่ ได้รับการสนับสนุน" หน่วยงานที่ให้ทุน/แหล่งทุน

6.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :

1. โครมาโตกราฟีแบบชั้นบางโดยใช้แผ่นเส้นใยนาโนพอลิอะครีโลไนไตรล์เป็นวัสดุภาค
คงที่ (สกว.)
2. การศึกษาความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะด้วยแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินพอลิ
อะครีโลไนไตรล์ที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิว(วช.)
3. การประยุกต์ใช้แผ่นเส้นใยนาโนพอลิอะครีโลไนไตรล์ที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็น
ระเบียบ สำหรับการวิเคราะห์วัตถุกันเสียในอาหารด้วยเทคนิคโครมาโต กราฟีแบบชั้นบาง(วช.)
4. การพัฒนาวัสดุไฮโดรเจลกึ่งแข็งจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล
(มทร.รัตนโกสินทร์)
5. วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากมูลม้า(วช.)

6.2 ผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่

1. Pongpol Ekabutr, Teeraseth Ariyathanakul, Sudkate Chaiyo, **Pimolpun Niamlang**, Santi Rattanaveeranon, Orawon Chailapakul, Pitt Supaphol. (2018). Carbonized electrospun polyvinylpyrrolidone/metal hybrid nanofiber composites for electrochemical applications. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018 ;135: 45639.
2. **Pimolpun Niamlang**, Titiyaporn Tongrain, Pongpol Ekabutr, Piyachat Chuysinuan, Pitt Supaphol. Preparation, characterization and biocompatibility of poly(vinyl alcohol) films containing tetracycline hydrochloride-loaded quaternized chitosan nanoparticles. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2017 ;38: 36-44.
3. **Pimolpun Niamlang**, Pitt Supaphol, Gertrud E. Morlock. Performance of Electropun Polyacrylonitrile Nanofibrous Phases, Shown for the Separation of Water-Soluble Food Dyes via UTLC-Vis-ESI-MS. *Nanomaterials*. 2017 ;7: 218.
4. Saikhim Panawes, Pongpol Ekabutr, **Pimolpun Niamlang**, Prasit Pavasant, Piyachat Chuysinun, Pitt Supaphol. Antimicrobial mangosteen extract infused alginate-coated gauze wound dressing. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2017 ;41: 182-190.
5. **Pimolpun Kampalanonwat** and Pitt Supaphol. The Study of Competitive Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Aminated Polyacrylonitrile Nanofiber Mats. *Energy Procedia*. 2014 ;56: 142 – 151.
6. **Kampalanonwat, P.**; Supaphol, P.; Morlock, G.E.. Electrospun nanofiber layers with incorporated photoluminescence indicator for chromatography and detection of UV-active compounds. *Journal of Chromatography A*. 2013 ;1299: 110-117.
7. S. Jitjaicham*, **P. Kampalanonwat**, P. Supaphol. Metal Adsorption Behavior of 2,4-Dinitrophenyl Hydrazine Modified Polyacrylonitrile Nanofibers. *eXPRESS Polymer Letters*. 2013 ;7(10): 832–841.[
8. **Kampalanonwat, P.**; Supaphol, P.; Morlock, G.E.. Electrospun nanofiber layers with incorporated photoluminescence indicator for chromatography and detection of UV-active compounds. *Journal of Chromatography A*. 2013 ;1299: 110-117.[IF : 4.612]

9. **Kampalanonwat, P.**; Supaphol, P.. Preparation of Hydrolyzed Electrospun Polyacrylonitrile Fiber Mats as Chelating Substrates: a Case Study on Copper(II) Ions. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011 ;50(21): 11912-11921.[IF : 2.206]

10. **Kampalanonwat, P.**; Supaphol, P.. Preparation and Adsorption Behavior of Aminated Electrospun Polyacrylonitrile Nanofiber Mats for Heavy Metal Ion Removal. ACS Applied Materials & Interfaces. 2010 ;2(12): 3619–3627.[IF : 5.008]

