



ผลของเส้นใยธรรมชาติและการปรับปรุงผิวที่มีต่อสมบัติทาง
ความร้อนและกายภาพของพอลิแลคติกแอซิด

Effect of Natural Fiber and Surface Treatment on
Thermal and Physical Properties of Polylactic Acid

โดย

ผศ.ดร.กัลทิมา เช่าว์ชาณชัยกุล
ดร.วนุช ดีละมัน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๖๔ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมสีเส้นในป้านครนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้น ด้วยสารอีพอกซี่ไซเลนที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของพอลิแลคติกแอชิด ชั้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอชิดและวัสดุเชิงประกอบที่มีการจัดเรียงตัวเส้นในทิศทางเดียวกันขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแรงดัน และถูกประเมินผลของการเติมสีเส้นในป้านครนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นโดยการทดสอบการดูดซับน้ำและการวิเคราะห์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิทรี จากการทดลองพบว่า ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมสีเส้นในป้านครนารายณ์ ในขณะที่การปรับปรุงผิวเส้นในป้านครนารายณ์ด้วยสารอีพอกซี่ไซเลนช่วยปรับปรุงความทนต่อน้ำของวัสดุเชิงประกอบ ค่าการดูดซับน้ำสำหรับเวลาในการแช่น้ำ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง มีค่าเท่ากับ 0.89, 1.13 และ 1.26 % สำหรับกรณีพอลิแลคติกแอชิด วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสีเส้นที่ผ่านการปรับปรุงผิว และวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมสีเส้นที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ สำหรับผลของสมบัติทางความร้อน พบว่า การเติมสีเส้นในป้านครนารายณ์มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และปริมาณผลลัพธ์ของพอลิแลคติกแอชิดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการมีอยู่ของสีเส้นที่มีความยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเกิดผลลัพธ์ของพอลิแลคติกแอชิด การปรับปรุงผิวเส้นที่มีความยาวต่อเนื่องด้วยสารอีพอกซี่ไซเลนมีผลทำให้การเกิดผลลัพธ์ของพอลิแลคติกแอชิดเกิดได้ยากมากขึ้น เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีอาจยิ่งไปขัดขวางการจัดเรียงตัวเป็นผลลัพธ์มากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: พอลิแลคติกแอชิด/สีเส้น/การปรับปรุงผิว/การดูดซับน้ำ/สมบัติทางความร้อน

Abstract

This research work aimed to study the effects of the addition of sisal fiber and surface treatment by epoxy silane on the physical and thermal properties of polylactic acid (PLA). Specimens of PLA and unidirectional fiber-reinforced composite were processed by a compression molding machine and evaluated the physical and thermal properties by water absorption measurement and differential scanning calorimetry (DSC) analysis, respectively. The result showed that water absorption tended to increase by adding sisal fiber whereas surface treatment of sisal fiber by epoxy silane improved water resistance of composites. The water absorption values at immersion time of 5 days were 0.89, 1.13, and 1.26 % for PLA, PLA/treated sisal fiber composite, and PLA/untreated sisal fiber composite, respectively. For thermal properties, the addition of sisal fiber led to decreases in glass transition temperature and crystallinity. These were because the presence of continuous fiber might interfere with the crystallization of PLA. The surface treatment of continuous fiber with epoxy silane led to difficult crystallization. The good interfacial adhesion interrupted PLA alignment.

Keywords: Polylactic acid/natural fiber/surface treatment/thermal properties/water absorption

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ภายใต้ทุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 และขอขอบคุณสาขาวิชาสังคมศาสตร์อุตสาหกรรมที่ให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือวิจัย

คณะวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บัญชีตราง	จ
บัญชีรูป	ฉ
 บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พอลิแลคติกแอซิด	3
2.2 ป่านศรนารายณ์	8
2.3 การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติตัวยสารไซเลน	11
2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	13
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	15
3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	15
3.2 แผนการดำเนินการวิจัย	16
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	17
4. ผลการทดลองและอภิปรายผล	21
4.1 ผลการทดสอบการดูดซึบน้ำ	21
4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	23
5. สรุปและวิเคราะห์ผล	25
เอกสารอ้างอิง	26
ประวัตินักวิจัย	28

บัญชีตราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์	8
2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์	10
2.3 ค่ามอดุลส์จำเพาะของเส้นใยธรรมชาติที่สำคัญ เปรียบเทียบกับเส้นใยแก้ว	11
4.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว	24

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัย “ผลของเส้นใยธรรมชาติและการปรับปรุงพืชที่มีต่อสมรรถภาพทางความร้อนและการภาพของพอลิแลคติกแอซิด” โดย ผศ.ดร.กัลทิมา เจริญชาญญาล และ ดร.วรนงค์ ดีละมั่น

บัญชีรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด	3
2.2 โครงสร้างของกรดแลคติก รูปแบบบี- และแอล-ไอโซเมอร์	4
2.3 กระบวนการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง	6
2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	9
2.5 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของไฮเดลลูโลส	9
2.6 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	10
3.1 เม็ดพอลิแลคติกแอซิด เกรด 4043D จากบริษัท Nature Works LLC	15
3.2 ลักษณะของเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ใช้ในการวิจัย	15
3.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารอีพอกซีไซเลน KBM403	16
3.4 แผนภาพการดำเนินงานวิจัยการศึกษาผลของเส้นใยปานศรนารายณ์และการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของพอลิแลคติกแอซิด	16
3.5 เครื่องอัดด้วยความดัน รุ่น QC-601T ของบริษัท Cometech ประเทศไทย	18
3.6 ลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์	18
3.7 ชั้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอซิด และชั้นงานทดสอบวัสดุเชิงประกอบ	18
3.8 เครื่อง Thermogravimetric analyzer รุ่น TGA/DSC3+ ของบริษัท Mettler-Toledo จำกัด	20
4.1 ค่าการดูดซับน้ำของชั้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ เวลาในการแข็ง化 0 ถึง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	21
4.2 ค่าการดูดซับน้ำของชั้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชั้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ เวลาในการแข็ง化 0 ถึง 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง	22
4.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดในชั้นงานพอลิแลคติกแอซิด วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิว ด้วยสารอีพอกซีไซเลน และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคไฟฟ้าเรโนเซียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี สำหรับการให้ความร้อนครั้งที่ 2	23

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

ปัจจุบันขยายพลาสติกได้กลายเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เพราะขยายพลาสติกโดยเฉพาะขยายพลาสติกที่มาจากการบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวได้ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอย่างรุนแรง สหประชาชาติได้ประเมินว่าขยายพลาสติกที่ถูกปล่อยทิ้งลงสู่มหาสมุทรมีปริมาณมากถึง 5-13 ล้านตันต่อปี และได้สำรวจพบเศษพลาสติกในระบบทางเดินอาหารของนก และสัตว์ทะเลที่อยู่บริเวณทะเลและมหาสมุทร [1] ซึ่งถ้าเรานำสัตว์เหล่านั้นมาบริโภคจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายเราไปด้วย ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาขยายพลาสติก คือ การเลือกใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)

โพลีแลคติกแอซิด (Polylactic acid) จัดเป็นพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ และได้รับความนิยมมากยิ่งขึ้นในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ทดแทนการใช้พลาสติกทางการค้า (Commodity plastics) ที่สังเคราะห์มาจากน้ำมันบิโตรเลียมซึ่งย่อยสลายได้ยาก เพราะโพลีแลคติกแอซิดผลิตได้จากวัตถุดิบที่มาจากพืช มีสมบัติทางการรับประทานที่ดี ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ สามารถถูกขึ้นรูปได้ง่ายด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบพลาสติกทั่วไป และสามารถนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ และทางด้านการแพทย์ แต่อย่างไรก็ตาม โพลีแลคติกแอซิดยังคงมีข้อด้อยในเรื่องของราคาที่ค่อนข้างสูง และมีความเนียนยว่าตัว [2] จากงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะวิจัยได้ทำการศึกษาผลของการใช้เส้นใยธรรมชาติ เติมลงในโพลีแลคติกแอซิดเพื่อลดต้นทุน โดยได้ทำการศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใย และผลของทิศทางการจัดเรียงเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกล [3] เพื่อให้เกิดความเข้าใจสมบัติของโพลีแลคติกแอซิดที่มีการเติมเส้นใยธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบ พอลีแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ เนื่องจากสมบัติตั้งกล่าวถือว่าเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้งาน เช่นเดียวกับสมบัติทางกล และเนื่องจากความไม่เข้ากันทางโครงสร้างเคมีระหว่างพอลีแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic material) และวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic material) ตามลำดับ ทางคณะวิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารคุณภาพไซเลนเพิ่มเติมด้วย

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของพอลีแลคติกแอซิด โดยการประเมินผลสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) และสมบัติทางกายภาพด้วยการวัดค่าการดูดซับน้ำซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่มีความเกี่ยวข้องกับการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ที่อาจต้องสัมผัสน้ำหรือความชื้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของเส้นใยปานศนารายณ์ และสารไซเลนที่มีต่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิด และค่าการดูดซับน้ำ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย พอลิแลคติกแอซิด และเส้นใยปานศนารายณ์
- 1.3.2 เครื่องมือที่ใช้การทดสอบและขึ้นรูปชิ้นงาน คือ เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความดัน
- 1.3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ การเติมและไม่เติมเส้นใยปานศนารายณ์ และการปรับปรุงผิว และการไม่ปรับปรุงผิวเส้นใยปานศนารายณ์ด้วยสารไซเลน
- 1.3.4 สมบัติที่ทำการทดสอบ มีดังนี้
 - สมบัติทางความร้อน ด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมท หรือ
 - ค่าการดูดซับน้ำ

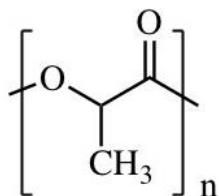
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี – ทราบผลของเส้นใยปานศนารายณ์และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารไซเลนที่ต่อสมบัติทางความร้อนและกายภาพของพอลิแลคติกแอซิด ควบคู่ไปกับการเสริมสร้างความรู้และทักษะทางการวิจัยให้กับนักวิจัยไทย
- 1.4.2 ด้านวิชาการ – เพยแพร่องค์ความรู้ที่ได้รับในงานนิทรรศการ หรือการประชุมวิชาการแก่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ภายหลังการเสริมสร้างโครงการวิจัย

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิแลคติกแอซิด

พอลิแลคติกแอซิดเป็นหนึ่งในพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการทางชีวภาพ หรือด้วยวิธีการฝังดิน โดยจัดอยู่ในตระกูลของพอลิเอสเทอร์แบบสายโซ่ต่าง (Aliphatic polyester) พอลิแลคติกแอซิดมีสูตรโครงสร้างเคมี ดังรูปที่ 2.1 พอลิแลคติกแอซิดสามารถสังเคราะห์ได้จากการดัดแลคติก (Lactic acid) ซึ่งเกิดได้จากการนำแบ়งหรือน้ำตาลจากพืช เช่น แบ়งข้าวโพด หรือแบ়งมันสำปะหลัง ข้าวสาลี หรืออ้อยมาผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์จนกระทั่งเกิดการย่อยกลາຍเป็นกรดแลคติก [4] พอลิแลคติกแอซิดเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semi-crystalline polymer) มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) อยู่ในช่วง 55-59 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 174-184 องศาเซลเซียส พอลิแลคติกแอซิดมีค่าความแข็งแรงทางกลและค่ามอดุลสสูง แต่มีความเหนียวต่ำ สามารถขึ้นรูปได้ง่ายด้วยกระบวนการขึ้นรูปทั่วไปที่ใช้ในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูป (injection moulding) กระบวนการอัดรีด (Extrusion) และกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression moulding) เป็นต้น [2,4]



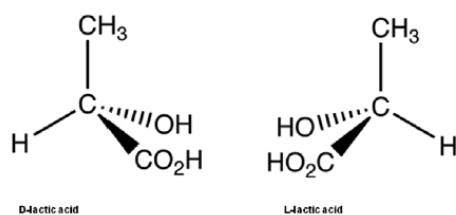
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด [5]

พอลิแลคติกแอซิดสามารถย่อยสลายได้โดยการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction) ของพันธะเอสเทอร์ และไม่จำเป็นต้องมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการสลายตัวของพอลิแลคติกแอซิด ขึ้นอยู่กับ ขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน อัตราส่วนระหว่างแอล- และดี-ไอโซเมอร์ และอุณหภูมิของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส พอลิแลคติกแอซิดสามารถเกิดการเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป พอลิแลคติกแอซิดอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 185-190 องศาเซลเซียส ณ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ล่า พอลิแลคติกแอซิดจะเกิดปฏิกิริยาการเปิดออกของซิป (unzipping) และการขาดของสายโซ่ (Chain scission) นำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักโมเลกุลซึ่งเป็นการเสื่อมสภาพทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด ดังนั้นพอลิแลคติกแอซิดจึงมีช่วงอุณหภูมิการขึ้นรูปที่แคบ วิธีการปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูปของพอลิแลคติกแอซิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ การปรับลดจุดหลอมเหลวให้ลดลงโดยการทำให้เกิดแลคไตรดอิenantiomeric (Lactide enantiomers) จำนวนเล็กน้อยภายในโครงสร้างให้มีการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม การลดลงของจุดหลอมเหลวเกิดขึ้นพร้อมกับการลดลงของ

ปริมาณผลึก และอัตราการเกิดผลึก พอลิแลคติกแอดีดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีสมบัติที่คล้ายคลึงกับพอลิสไตรีน (PS) คือ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีสี มีความมันเงา และคงรูปร่าง พอลิแลคติกแอดีดมีอายุการใช้งานที่เหมาะสมกับการนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว และเมื่อถูกกำจัดทิ้งอย่างเหมาะสมจะเกิดการไฮโดรไลซิสไปเป็นสารธรรมชาติที่ไม่อันตราย พอลิแลคติกแอดีดสามารถเกิดผลึกได้ในสภาพที่ทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างช้าๆ หรือทำการบ่ม ณ ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว หรือการทำให้เกิดผลึกโดยการดึงยืด [5]

การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอดีด

พอลิแลคติกแอดีดถูกสังเคราะห์ขึ้นมาจากการลดแลคติก หรือกรดอัลฟ้าไฮดรอกซี (α -Hydroxy acids) กรดแลคติกสามารถถูกผลิตขึ้นจากการหมักสารคาร์บอไฮเดรต หรือการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี ปัจจุบันวิธีการหมักได้รับความนิยมมากกว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี การหมักจะทำการเปลี่ยนจากน้ำตาลหรือแป้งให้กลายเป็นกรดแลคติกโดยใช้แบคทีเรีย [6-7] กรดแลคติกมีชื่อทางเคมี คือ 2-ไฮดรอกซี โพรพิโอนิกแอดีด (2-Hydroxy propionic acid) เป็นโครงสร้างรูปแบบหนึ่งของกรดอัลฟ้าไฮดรอกซี กรดแลคติกมีไอโซเมอร์ 2 รูปแบบ คือ แบบดี และแบบแอล ดังรูปที่ 2.2 โดยทั้งแบบดี และแอลอิเอนanti-ไอโซเมอร์ (enantiomers) มีความต่างไวต่อแสงแตกต่างกัน กล่าวคือ มีสูตรเคมีที่เหมือนกันแต่มีการจัดเรียงตัวในสามมิติแตกต่างกัน และบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ในธรรมชาติพบในรูปแบบแอล-ไอโซเมอร์ หรือพบรูปของผสมระหว่างแอล- และดี-ไอโซเมอร์ เรียกว่า ของผสมราชมิก (Racemic mixture, อัตราส่วน = 1:1 เชียนแทนด้วย DL) หรือสารประกอบมีโซ (meso-compound) ซึ่งไม่มีสมบัติบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ พอลิแลคติกแอดีดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงที่ดี ถูกผลิตได้จากการหมักสารคาร์บอไฮเดรตให้กลายเป็นกรดแลคติกโดยการหมัก [4]

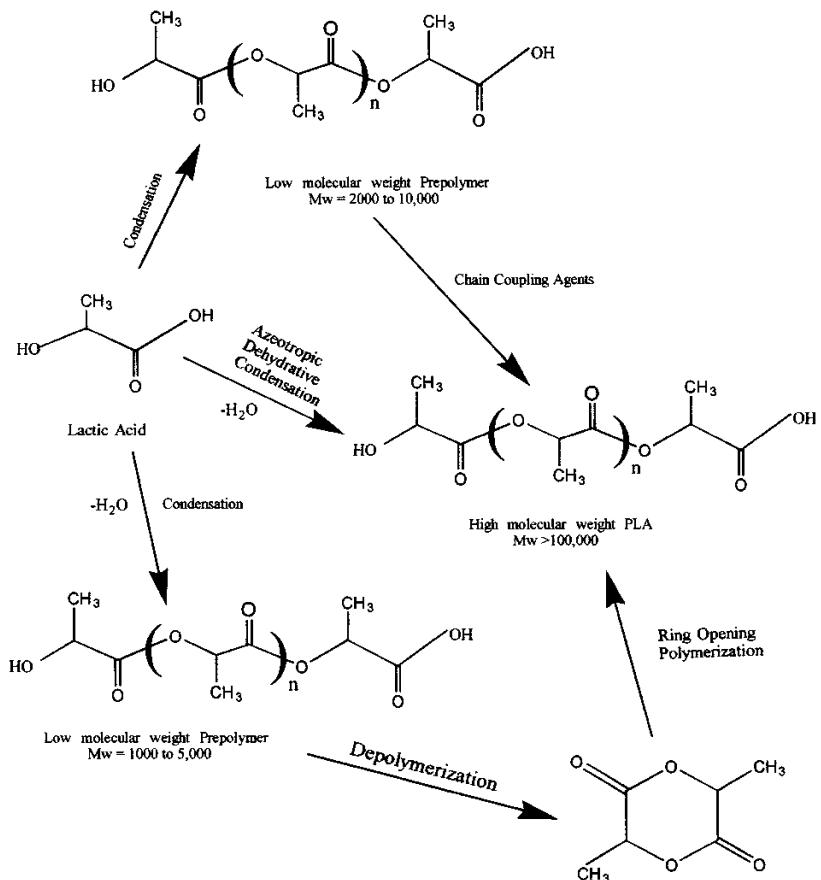


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดแลคติก รูปแบบดี- และแอล-ไอโซเมอร์ [4]

การสังเคราะห์กรดแลคติกให้กลายเป็นพอลิแลคติกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสามารถสังเคราะห์ได้จากการกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน 3 วิธี แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ได้แก่ ปฏิกิริยาการควบแน่นแบบโดยตรง (Direct condensation) และการใช้สารคู่ควบ (coupling agent) และ/หรือการสังเคราะห์โดยผ่านการเกิดแลคไทด์ (Lactide formation) และการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอดีดผ่านปฏิกิริยาควบแน่นแบบอะซิโตรปิก (Azeotropic dehydrative condensation)

- การเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแบบควบแน่นโดยตรง กรณดแลคติกจะถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยา การควบแน่นจนกระทั่งได้เป็นพอลิเมอร์สมบัติคล้ายแก้วที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีเสถียรภาพต่ำ ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ดังนั้นการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำโดยการใช้สารคู่ควบ (coupling agent) สาเหตุที่ทำให้พอลิเมอร์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาการ ควบแน่นมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเนื่องมาจากการมีอยู่ของน้ำ สารปนเปื้อน และการมีหมุนที่มีความ ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาต่ำ [4-5]
- การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดโดยผ่านการเกิดแลคไทด์ คือ การเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน ก็เป็นพรีพอลิเมอร์ (Prepolymer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ นำพรีพอลิเมอร์ไปผ่านกระบวนการ แตกตัวย้อนกลับ (Depolymerization) ทำให้เกิดเป็นแลคไทด์ที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น จากนั้นทำ ให้แลคไทด์เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันแบบการเปิดวง (Ring opening polymerization) เกิด เป็นพอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง ($M_w > 100,000$) วิธีการสร้างแลคไทด์เป็น วิธีการเดียวเท่านั้นที่ทำให้ได้พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและความบริสุทธิ์สูง [4-5]
- การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดผ่านปฏิกิริยาควบแน่นแบบอะซิโอะโรบิค คิดค้นโดย บริษัท Mitsui Toatsu Chemical เพื่อใช้ในการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดในทางการค้า โดยการใช้ กรณดแลคติกและตัวเร่งปฏิกิริยาผ่านกระบวนการควบแน่น และการกำจัดน้ำออก (dehydration) ภายใต้สภาวะลดความดัน จนกระทั่งได้พอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยมากกว่า 300,000 [4-5]

กรณดแลคติกมีไอโซเมอร์ 2 รูปแบบ คือ แบบดี และแบบแอล ดังนั้นพอลิแลคติกแอซิดที่สังเคราะห์ ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจากโมโนเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด (พอลิแอล-แลคติกแอซิด (PLLA)) หรือประกอบขึ้นจากโมโนเมอร์ที่เป็นของผสมราชาธิมิก (พอลิดี-แอล-แลคติกแอซิด (PDLLA)) ใน ปัจจุบันการผลิตดี-ไอโซเมอร์ของกรณดแลคติกที่บริสุทธิ์นั้นทำได้ยาก ดังนั้นการผลิตพอลิแลคติกแอซิดที่มี สายโซ่ที่ลักษณะของโมโนเมอร์ชนิด ดี หรือพอลิดี-แลคติกแอซิด (PDLA) ในเชิงพาณิชย์จึงยังไม่ เกิดขึ้น พอลิแลคติกแอซิดมีโครงสร้างผลึก 3 รูปแบบ ได้แก่ แอลfa (α) เบตา (β) และแกรมมา (γ) ขึ้นอยู่ กับองค์ประกอบของอิวนนิโซเมอร์แอล หรือดี-แอล โครงสร้างแบบแอลfa เป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุด สามารถหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ในขณะที่โครงสร้างเบต้าหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส [4]



รูปที่ 2.3 กระบวนการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอชิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง [5]

สมบัติของพอลิแลคติกแอชิด [4]

ปริมาณแอล-ไอโโซเมอร์ และ ดี-ไอโโซเมอร์ในสายโซ่พอลิแลคติกแอชิดมีผลต่อสมบัติทางกล ทางความร้อน และสมบัติความต้านการซึมผ่านของแก๊สและของเหลว (Barrier properties) รวมถึงปริมาณการเกิดผลึก พอลิแลคติกแอชิดที่มีสัดส่วนของแอล-ไอโโซเมอร์สูงกว่าร้อยละ 90 มีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก มีอุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูง ในขณะที่พอลิแลคติกแอชิดที่มีดี-ไอโโซเมอร์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สัดส่วนความเป็นผลึกลดลง อุณหภูมิการหลอมเหลว และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของแอล-ไอโโซเมอร์ที่ลดลงด้วย ดังนั้น การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอชิดให้มีสัดส่วนของไอโโซเมอร์ที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ได้พอลิแลคติกแอชิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นในการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอชิดจึงสามารถปรับโครงสร้างของพอลิแลคติกแอชิดเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการนำไปใช้งาน

- สมบัติด้านการละลาย

ความสามารถในการละลายของพอลิแลคติกแอชิด ขึ้นอยู่กับ สัดส่วนของไอโโซเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในสายโซ่พอลิแลคติกแอชิด และระดับความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) พอลิแลคติกแอชิดไม่ละลายในน้ำ และก่ออหlost และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น เอกเซน

(Hexane) และเสปเทน (Heptane) ตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิแลคติกแอชิด กรณีพอลิเออล-แลคติกแอชิด สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มคลอรีโนเรนเตหและฟลูออรีโนเรนเตห (Chlorinated or fluorinated organic solvents) ไดออกโซเซน (Dioxane) ไดออกโซเลน (Dioxolane) และฟูเรน (Furan) ส่วนราซิมิกพอลิแลคติกแอชิดสามารถละลายได้ดีในกลุ่มตัวทำละลายข้างต้นแล้ว ยังสามารถละลายได้ดีในอะซิtone (Acetone) ไพริดีน (Pyridine) เอทิลแลคเตห (Ethyl lactate) เอทิลอะซิเตห (Ethyl acetate) เตトラไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran) ไซลีน (Xylene) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide) เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (N,N-dimethylformamide) และเมทิลเอทิลคิโตน (Methyl ethyl ketone)

- สมบัติทางกล

กรณีพอลิแลคติกแอชิดที่ไม่ผ่านการดึงยืดมีความคงรูป และความแข็งแรงสูง แต่มีความเปราะค่อนข้างมาก แต่เมื่อนำพอลิแลคติกแอชิดไปผ่านการดึงยืด พอลิแลคติกแอชิดมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไป โดยมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต แต่ดีกว่าพอลิสไตรีนที่ผ่านการดึงยืด ค่ามอดุลส์ความต้านทานแรงดึงและแรงดัด (Tensile and flexural moduli) ของพอลิแลคติกแอชิดมีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพริลีน และพอลิสไตรีน แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) มีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

- สมบัติความต้านการซึมผ่านของก๊าซและของเหลว

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจนผ่านได้ของพอลิแลคติกแอชิดมีค่าน้อยกว่าพอลิสไตรีน แต่สูงกว่าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ส่วนการยอมให้อน้ำซึมผ่านมีค่าใกล้เคียงกันกับพอลิสไตรีน และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต นอกจากนี้พอลิแลคติกแอชิดยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของกลีนได้ดี โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของสารประกอบอินทรีย์ เช่น เอทิลอะซิเตห และตีไลโนเนน (D-linonene) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

การเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอชิด [4]

การเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอชิดส่วนใหญ่เกิดจากการขาดออกของสายโซ่ เนื่องจากการถูกกระตุนด้วยความร้อน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส การเสื่อมสภาพด้วยวิธีทางชีวภาพ (เอนไซม์) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเสื่อมสภาพด้วยแสงหรือด้วยรังสี ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอชิดมีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัย เช่น ระดับความเป็นกรด-เบส อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น การเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิแลคติกแอชิดมักเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป ถ้าไม่นำพอลิแลคติกแอชิดไปอบไليس่ความชื้นก่อน การนำมาขึ้นรูปพอลิแลคติกแอชิดจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำ ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปทำให้เกิดกรดแลคติก ส่วนการเสื่อมสภาพของพอลิแลคติกแอชิดด้วยการย่อยสลายทางชีวภาพเนื่องจากเอนไซม์ที่ขับออกมายากลินทรีย์ ได้แก่ เอนไซม์กลุ่มเอสเทอเรส (Esterase) โปรตีอีส (Protease) และไลเปส

(Lipase) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์สามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา และแบคทีเรีย

2.2 ป่านศรนารายณ์

ป่านศรนารายณ์เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ อะกาเว ไซซาลานา (*Agave sisalana*) มีลำต้นหนา ปล้องถี่ มีรากอยู่ใต้พื้นดิน มีลักษณะใบเป็นใบเดี่ยว (simple leaf) เส้นยาว กว้างเป็นพุ่มแข็งเวียนรอบลำต้นอย่างหนาแน่น สีเขียวเข้ม มีไข (waxy bloom) คลุมตลอดใบ ปลายใบมีหนามแข็งสีดำ ปริมาณของเส้นใย อยู่ระหว่าง 3.5-5 % เส้นใยป่านศรนารายณ์ได้มาจากการส่วนใบของต้นป่านศรนารายณ์ [8-9] สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 ประกอบด้วย เชลลูโลส (Cellulose) ประมาณ 65.8 % เอมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ประมาณ 12.0 % ลิกนิน (Lignin) ประมาณ 9.9 % เพกติน (Pectin) ประมาณ 0.8% องค์ประกอบที่ละลายน้ำ ประมาณ 1.2% แวกซ์ (wax) ประมาณ 0.3 % และน้ำ ประมาณ 10.0% [10] สำหรับคุณภาพของเส้นใยป่านศรนารายณ์ ขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมของเส้นใยป่านศรนารายณ์ เช่น แหล่งเพาะปลูก ปริมาณน้ำและอาหารที่พืชได้รับ และอายุของพืช เป็นต้น [9]

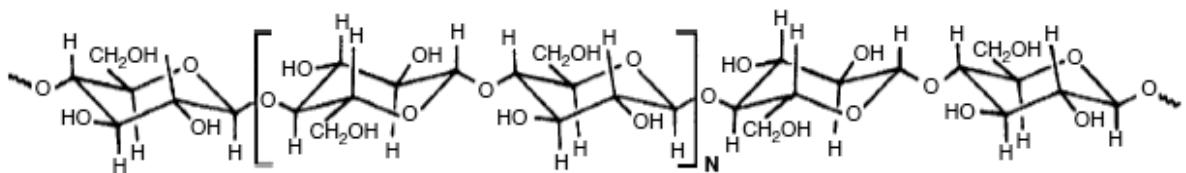
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยป่านศรนารายณ์ [10]

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
เชลลูโลส	65.8
เอมิเซลลูโลส	12.0
ลิกนิน	9.9
เพกติน	0.8
องค์ประกอบที่ละลายน้ำ	1.2
แวกซ์	0.3
น้ำ	10.0

ลักษณะโครงสร้างทางเคมีและสมบัติขององค์ประกอบทางเคมีหลักที่มีอยู่ในเส้นใยป่านศรนารายณ์ [11-12] มีดังนี้

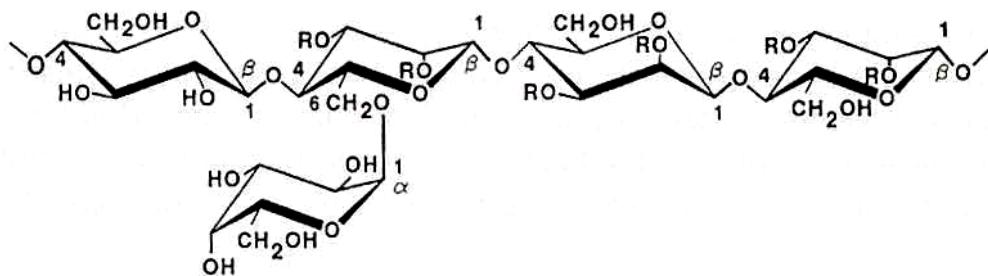
1. เชลลูโลส: จัดเป็นพวกลูโคโนโพลิแซคcharide (homopolysaccharide) เชิงเส้นตรง ประกอบด้วยหน่วยของ β -D- glucopyranose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1,4- β -D-glucosidic bonds ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เนื่องจากเชลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและมีแรงดึงดูดระหว่างกันทั้งภายในและภายนอกที่แข็งแรง ด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เชลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง การรวมตัวเป็นกลุ่มของโมเลกุลเชลลูโลสเกิดเป็นไมโครไฟบริล (microfibrils) และไมโครไฟบริลรวมตัวกันเป็นไฟบริล (fibril) และในท้ายที่สุดได้

เป็นเส้นใยเซลลูโลส โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงของเซลลูโลสส่งผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติความทนแรงดึงที่แข็งแรงและทนต่อตัวทำลายได้ดี



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [12]

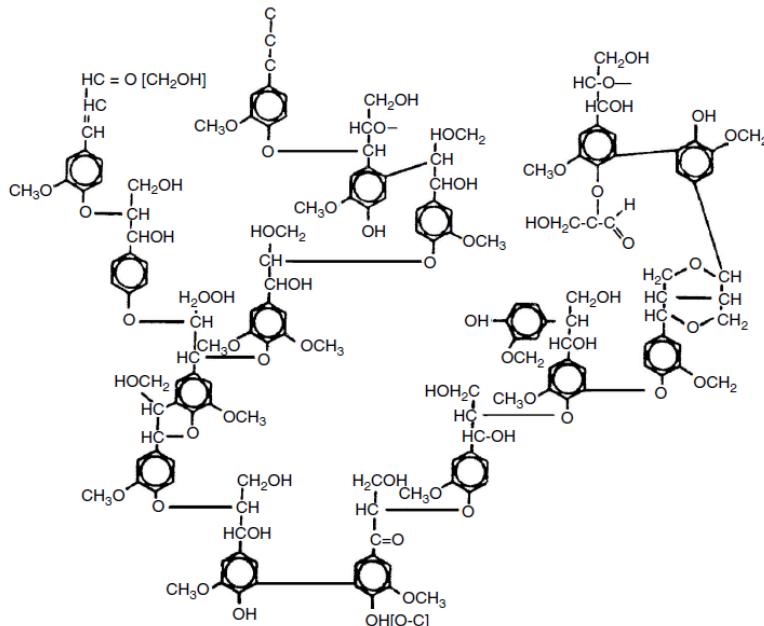
2. เอมิเซลลูโลส: จัดอยู่ในกลุ่มของไฮโพลิแซคคาไรด์ (heteropolysaccharides) แบบ อสัณฐาน มีลักษณะโครงสร้างแบบกึ่ง เอมิเซลลูโลส ประกอบด้วย ส่วนของน้ำตาลโมเลกุลเดียวหลาย ชนิดเชื่อมต่อกัน เอมิเซลลูโลสสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายด้วยกรดได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดียว เช่น D-glucose, D-galactose, D-xylose, L-arabose เป็นต้น ความแตกต่างระหว่างเอมิเซลลูโลสและ เซลลูโลสเมื่อยู่ด้วยกัน 3 ประการ ประการแรก คือ เอมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดียว หลายชนิดแต่เซลลูโลสเมื่อเพียง 1,4- β -D-glucopyranose เชื่อมต่อกันเท่านั้น ประการที่สอง คือ ภายในโครงสร้างของเอมิเซลลูโลสเมื่อส่วนที่เป็นกึ่งก้านในขณะที่เซลลูโลสเมื่อโครงสร้างเป็นเส้นตรง ส่วน ประการที่สาม คือ องค์การเกิดพอลิเมอไรเซชันของเซลลูโลสโดยธรรมชาติแล้วมีค่ามากกว่าเอมิ เซลลูโลสประมาณ 10 ถึง 100 เท่า เอมิเซลลูโลสส่วนมากมีองค์การเกิดพอลิเมอไรเซชันประมาณ 200 เท่านั้น รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างของโครงสร้างทางเคมีของเอมิเซลลูโลส



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของเอมิเซลลูโลส [11]

3. ลิกนิน: พอลิเมอร์เชิงซ้อน แบบอสัณฐาน ซึ่งมีโครงสร้างที่มีความซับซ้อนค่อนข้างมากและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ภายในโครงสร้างประกอบด้วยส่วนของอะลิฟติก (aliphatic) และอะโรมาติก (aromatic) โมโนเมอร์ของลิกนิน คือ ฟениลโพรแพน (phenylpropane) สมบัติเชิงกลของลิกนินมีค่าต่ำกว่าของ เซลลูโลส ลิกนินมีผลทำให้เส้นใยธรรมชาติมีความแข็งสูง ลิกนินสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์

ลิกนีส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา โครงสร้างทางเคมีของ ลิกนิน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [10]

สำหรับสมบัติของเส้นใยปานศรนารายณ์ สมบัติทางกายภาพของเส้นใยปานศรนารายณ์ มี รายละเอียดดังตารางที่ 2.2 โดยมีค่าความหนาแน่นจำเพาะ เท่ากับ 1.327 มีความยาวของเส้นใยประมาณ ไม่เกิน 1.5 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร แอปอร์เซนต์การดูดซับน้ำ 170 % [8] ส่วน สมบัติทางกลของเส้นใยปานศรนารายณ์ถือว่าเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีสมบัติทางกลค่อนข้างดี โดยมีค่า ความทนแรงดึง 511-635 MPa ค่ามอดุลลสของยังก์ 9.4 – 22.0 GPa และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด 2.0- 2.5% [8] และเมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลลสกับเส้นใยชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 2.3 พบร้า เส้นใยปาน ศrnarayn มีค่ามอดุลลสจำเพาะต่ำกว่าเพียงเส้นใยกัญชง และปานลินินเท่านั้น แต่มีค่ามอดุลลสจำเพาะ เท่ากันกับเส้นใยแก้ว นอกจากนี้เส้นใยปานศrnarayn ยังเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย ราคาไม่แพง และสามารถ ย่อยสลายได้ด้วยวิธีตามธรรมชาติ จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้มีการนำเส้นใยปาน ศrnarayn มาทำเป็นสารเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ [9]

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยปานศrnarayn [8]

สมบัติทางกายภาพ	
ค่าความถ่วงจำเพาะ	1.327
ความยาวเส้นใย (มิลลิเมตร)	1200 - 1500
เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (มิลลิเมตร)	0.15 – 0.20
ปริมาณการดูดซับน้ำ (%)	170

ตารางที่ 2.3 ค่ามอดุลส์จำเพาะของเส้นใยธรรมชาติที่สำคัญ เปรียบเทียบกับเส้นใยแก้ว [9]

ชนิดของเส้นใย	ค่าความหนาแน่น	ค่ามอดุลส์จำเพาะ
เส้นใยแก้ว	2.55	29
เส้นใยกัญชง	1.48	47
เส้นใยปานลินิน	1.4	43-57
เส้นใยปอกระเจา	1.46	7-21
เส้นใยปานศรนารายณ์	1.33	29
เส้นใยเปลือกกลุ่มมะพร้าว	1.25	5
เส้นใยผ้าย	1.51	8

สำหรับการนำเส้นใยปานศรนารายณ์ไปใช้ประโยชน์ นิยมนำเส้นใยปานศรนารายณ์มาทำเป็นเชือกขนาดใหญ่สำหรับลากจูงเรือและใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร ทอเป็นผ้ารองพรม ทำพรม และงานหัตถกรรมต่างๆ เช่น หมวด กระเปา เป็นต้น สำหรับการนำมาทำเป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์ ปานศรนารายณ์สามารถนำมาทำเป็นสารเสริมแรงได้ทั้งในเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต [9]

2.3 การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติตัวยสารไซเลน [10, 13-14]

สารไซเลนที่มีหมู่สารอินทรีย์ (organofunctional silane) คือ สารไซเลนที่เป็นของผสมระหว่างซิลิโคนและสารอินทรีย์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับพอลิเมอร์หรือเรซิน จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารช่วยในการยึดเกาะกันที่ดีขึ้นหรือสารคุ้คุวะระหว่างพอลิเมอร์และสารเสริมแรงที่เป็นพวกแร่ธาตุหรือเส้นใยธรรมชาติเนื่องจากภายในโครงสร้างไม่เลกุลของสารไซเลนมีส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำเปลี่ยนไปเป็นหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ และมีหมู่ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์เมทริกซ์ ดังนั้นการใช้สารไซเลนเป็นสารคุ้คุวะจึงมีผลทำให้พันธะระหว่างเฟสมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

โครงสร้างทางเคมีของสารไซเลนโดยทั่วไป คือ

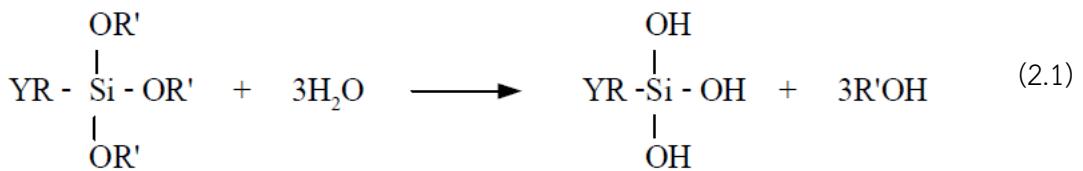


โดยที่ X คือ ตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysable groups หรือ alkoxy groups) โดย X เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำเกิดเป็นสารไซลanol (silanol) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสได้และสามารถทำปฏิกิริยาควบแน่นกันเองได้ (self condensation)

Y คือ หมู่ที่รองไว้ต่อการเกิดปฏิกิริยาหรือสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ (organofunctional group)

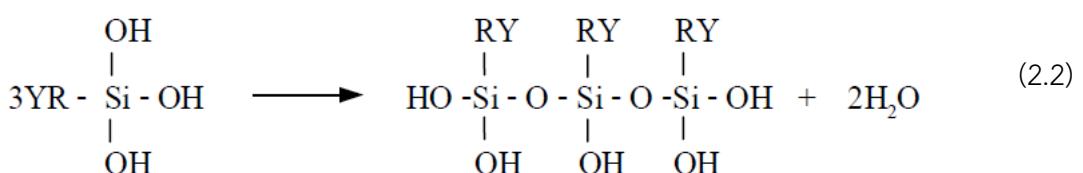
กลไกการสร้างพันธุ์ของสารไซเลนกับเส้นใยธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ



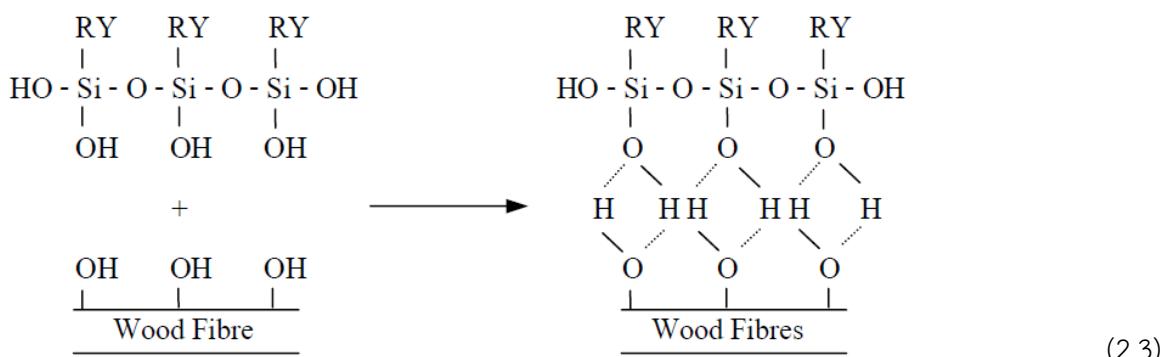
จากสมการที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารไฮเลนกับน้ำ โดยทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งของหมู่ alkoxy (X หรือ OR') เกิดเป็นสารไฮลานอลซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิโลยูในโครงสร้าง ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์อาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย

ขั้นตอนที่ 2: การเกิดปฏิกิริยาควบแหน่น

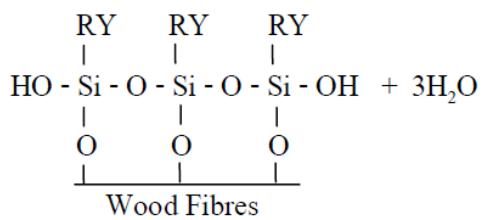


จากสมการที่ 2.2 แสดงปฏิกริยาการควบแน่นกันเองของสารไซนอล ซึ่งการเกิดปฏิกริยาอาจใช้ตัวเร่งปฏิกริยาร่วมด้วย โดยที่ว่าไปแล้วเป็นตัวเร่งปฏิกริยาตัวเดียวกับของกรณีการเกิดไฮโดรไลซิส

ขั้นตอนที่ 3: การสร้างพันธะระหว่างสารไซลานอลและเส้นใยเซลลูโลส



Bond formation



จากสมการที่ 2.3 แสดงการสร้างพันธะระหว่างสารไฮดราโนลและเส้นใย โดยการสร้างพันธะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะกรดหรือเบส เพื่อเร่งให้กลไกการสร้างพันธะเกิดได้เร็วขึ้น และให้ความร้อนในระหว่างการทำปฏิกิริยา นอกจากการทำปฏิกิริยาของไฮดราโนลกับหนูไฮดรอกซิลของพื้นผิวเส้นใยแล้วยังมีการสร้างพอลิไซลโคลเซนก็ขึ้นด้วย

ขั้นตอนที่ 4: การเกิดแรงกระทำ ระหว่างกันของพอลิเมอร์และสารไฮเดน

ในขั้นตอนนี้พอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์สามารถเข้ากับเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารไฮเดนได้มากขึ้น เนื่องจากการปรับปรุงผิวด้วยสารไฮเดนมีผลทำให้หนูไฮดรอกซิลของเส้นใยลดลง และสารไฮเดน ณ ตำแหน่ง Y ซึ่งเป็นหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์หรือมีความสามารถในการเข้ากันกับพอลิเมอร์ได้ ทำให้มีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีขึ้น

2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Buasri และคณะ (2012) [15] ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยผักตบชวาและการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางกลและทางความร้อนของพอลิแลคติกแอชิด การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 15 %w/v ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากงานวิจัยพบว่า การเติมเส้นใยผักตบชวา มีผลทำให้ค่ามอดูลัสแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น แต่ลดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยปรับปรุงความสามารถในการรับแรงให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มแรงกระทำระหว่างเฟสและเพิ่มความสามารถในการเปียกผิวของเมทริกซ์บนผิวเส้นใย ปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอชิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น นี้แสดงว่า เส้นใยผักตบชวาทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึกของพอลิแลคติกแอชิด

Sujaritjun และคณะ (2013) [16] ได้ทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณเส้นใยธรรมชาติและการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยอีพอกซิไดซ์พอลิบิวตะไดอีน (Epoxidized polybutadiene) ที่มีต่อพอลิแลคติกแอชิด จากรายงานวิจัยพบว่า เส้นใยไฟเม็ดสีเทาเป็นสารเสริมแรงให้กับพอลิแลคติกแอชิดที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยจากหญ้าแฝกและเส้นใยมะพร้าว การเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติมีผลทำให้ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยอีพอกซิไดซ์พอลิบิวตะไดอีนสามารถปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดึงเฉพาะกรณีเส้นใยไไฟและเส้นใยมะพร้าวเท่านั้น แต่กรณีเส้นใยหญ้าแฝกไม่สามารถสังเกตเห็นผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยได้ชัดเจนมากนัก

Manshor และคณะ (2014) [17] ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 % ที่มีต่อค่าความต้านทานแรงกระแทกและสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอชิด จากรายงานวิจัยพบว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยเปลือกทุเรียนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยปรับปรุงค่าความต้านทานแรงกระแทก โดยทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกกรณีการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนที่ผ่านการปรับปรุงผิว ปริมาณเส้นใย 30 %โดยน้ำหนัก มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีค่า

ใกล้เคียงกับกรณีพอลิแลคติกแอชิด และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังมีส่วนช่วยในการปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุเชิงประจุบพอลิแลคติกแอชิดและเส้นใยเปลือกทุเรียน และการเพิ่มน้ำหนักของค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิการเกิดผลึก และอุณหภูมิจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประจุบพที่เติมเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว จากผลดังกล่าว ชี้ว่า การปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเสริมแรงของเส้นใยเปลือกทุเรียน

González-López และคณะ (2019) [18] ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยมะพร้าวที่มีต่อการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยมะพร้าวและพอลิแลคติกแอชิด วิธีการปรับปรุงผิวทางเคมีที่เลือกมาทำการศึกษา คือ การปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโโคพอลิเมอร์แบบกิงของพอลิแลคติกแอชิดที่ถูกกราฟท์ด้วยมาลิอิกแอนไฮดราย (maleic anhydride grafted to poly(lactic acid), MAPLA) และการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโโคพอลิเมอร์แบบสลับระหว่างพอลิเมทธิลไวนิลเอทอเรลและมาลิอิกแอนไฮดราย (poly(methyl vinyl ether-alt-maleic anhydride), MA-c-PMVE) จากงานวิจัยพบว่า การปรับปรุงผิวด้วย MA-c-PMVE มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่าการปรับปรุงผิวด้วย MAPLA นอกจากนี้การปรับปรุงผิวยังมีส่วนช่วยลดการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประจุบพ

สุพรรษา นพวงศ์ และคณะ (2563) [3] ได้ทำการศึกษาผลของการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ ทิศทางการจัดเรียงของเส้นใย และผลของการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี่ไซเลนที่มีต่อสมบัติการรับแรงดึงแรงดัด และแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอชิด จากงานวิจัยพบว่า การเติมเส้นใยปานศรนารายณ์มีผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดึงแรงดัด และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเมื่อค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าเบอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด และค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซี่ไซเลนมีส่วนช่วยปรับปรุงค่ามอดุลัสของแรงดึงและแรงดัดให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยสารอีพอกซี่ไซเลนอาจช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสด้วยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างวงแหวนออกซิเรนของสารไซเลนและหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแลคติกแอชิด ส่วนผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใย พบว่า วัสดุเชิงประจุบพที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 0 องศา มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงได้สูงกว่ากรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 45 องศา

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เม็ดพอลิแลคติกแอซิด เกรด 4043D สำหรับผลิตฟิล์มแบบจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง (Biaxially oriented films) จากบริษัท Nature Works LLC (USA) ดังรูปที่ 3.1



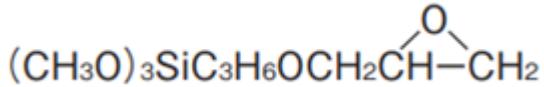
รูปที่ 3.1 เม็ดพอลิแลคติกแอซิด เกรด 4043D จากบริษัท Nature Works LLC

3.1.2 เส้นใยปานครนารายณ์ จากสหกรณ์หุบกะพง จังหวัดเพชรบุรี มีลักษณะเป็นเส้นไயา ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะของเส้นใยปานครนารายณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.3 สารอีพอกซี่ไซเลน (Epoxy silane) จากบริษัท Shin-Etsu Silicones (ประเทศไทย) จำกัด ถูกใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยปานครนารายณ์ โดยมีชื่อทางการค้า คือ KBM403 และมีชื่อทางเคมี คือ 3-ไกลซิดอกซี่พรอพิล ไตรเมทอกซี่ไซเลน (3-Glycidoxypropyl trimethoxysilane) และมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 3.3

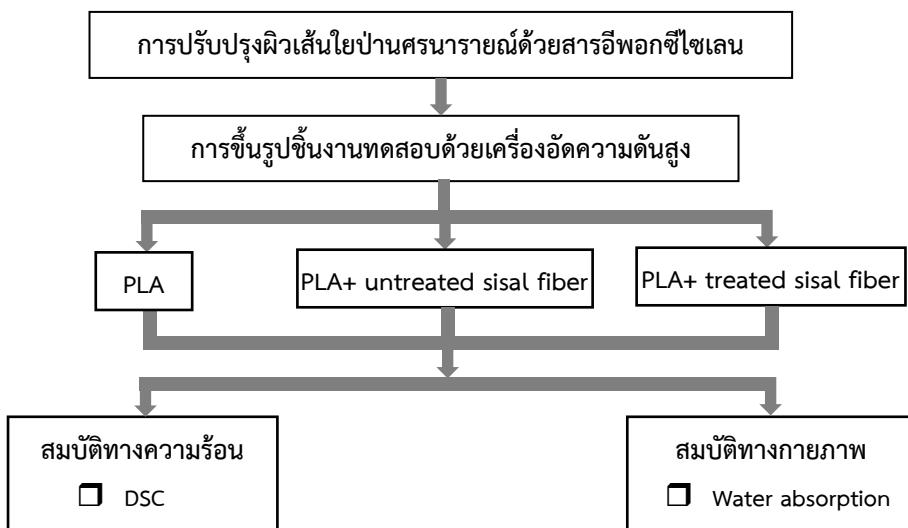


รูปที่ 3.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารอีพอกซีไซเลน KBM403

3.1.4 กรดอะซิติก (Acetic acid) จากบริษัท แกรมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด ถูกใช้ในการปรับค่า pH ใน การขันตอนการเกิดปฏิกิริยาไออกไซด์ไฮดรอลิซิสระหว่างสารอีพอกซีไซเลนและน้ำกลั่น

3.2 แผนการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัยของโครงการวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.4 เริ่มจากการปรับปรุงผิวเส้นใยปานศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลน หลังจากนั้นทำการขันรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดความดันสูง ด้วยทำการขันรูปพอลิแลคติกแอซิด วัสดุเชิงประกายระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ ที่มีการปรับผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และที่ไม่มีการปรับปรุงผิว และสุดท้ายนำชิ้นงานมาทำการทดสอบ วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ และทำการทดสอบวัดค่า การดูดซับน้ำ และทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



รูปที่ 3.4 แผนภาพการดำเนินงานวิจัยการศึกษาผลของเส้นใยปานศรนารายณ์และการปรับปรุงผิวเส้นใยที่ มีต่อสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพของพอลิแลคติกแอซิด

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยปานศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซี่ไซเลน

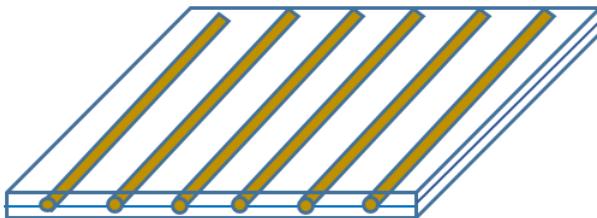
- ทำการอบไอล์คาวาชีนเส้นใยปานศรนารายณ์ด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
- ทำการเตรียมสารละลายอีพอกซี่ไซเลน KBM403 ความเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนักของสารละลาย โดยใช้น้ำกลั่น และมีการเติมกรดอะซิติกเพื่อทำการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 3 ทำการกวนสารละลายตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำให้สารอีพอกซี่ไซเลนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์กับน้ำกลั่น
- ทำการปรับปรุงผิวเส้นใยปานศรนารายณ์ โดยการนำเส้นใยปานศรนารายณ์มาแช่ในสารละลายอีพอกซี่ไซเลน โดยสัดส่วนของสารอีพอกซี่ไซเลน 1.0 % โดยน้ำหนักของเส้นใย และนำของผสมไปอบ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยและสารอีพอกซี่ไซเลน จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการอบมาล้างสารอีพอกซี่ไซเลนส่วนเกินออกจากผิวเส้นใยด้วยน้ำกลั่น และสุดท้ายอบไอล์คาวาชีนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

3.3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดความดันสูง

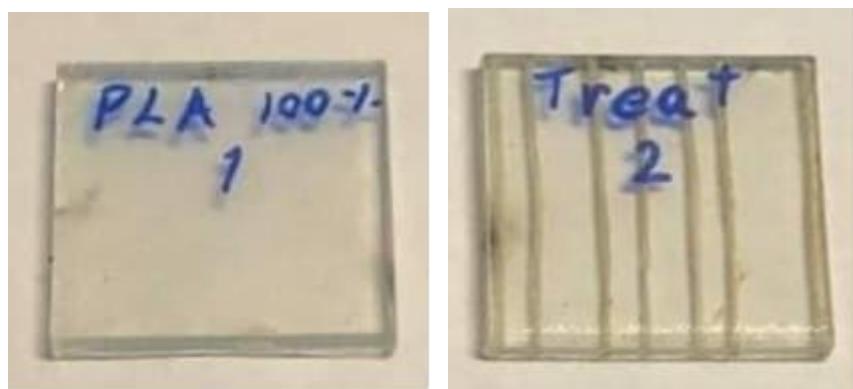
- ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นชิทพอลิแลคติกแอชิด เริ่มต้นจากการนำเม็ดพลาสติกพอลิแลคติก แอชิดมาทำการอบไอล์คาวาชีน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำเม็ดพอลิแลคติกแอชิดมาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นพอลิแลคติกแอชิด ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความดันสูง ยี่ห้อ Cometech รุ่น QC-601T ของบริษัท Cometech ประเทศไทย ดังรูปที่ 3.5 โดยใช้แมพิมพ์ ขนาด $130 \times 130 \times 1$ มิลลิเมตร³ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 185 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป คือ 2,000 psi เวลาที่ใช้ในการอุ่นความร้อน (Pre-heat) 5 นาที เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 5 นาที และทำการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็น เป็นเวลา 4 นาที
- ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ กรณีการขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอชิด และเส้นใยปานศรนารายณ์เริ่มต้นจากการนำแผ่นชิทพอลิแลคติกแอชิด จำนวน 2 แผ่น มาทำการประกอบบนล่างกับเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ทำการตรึงเส้นใยให้จัดเรียงเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 3.6 สัดส่วนของปริมาณเส้นใย อยู่ที่ประมาณ 0.34 % โดยน้ำหนัก และนำมาทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความดันสูง โดยใช้อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 1,200 psi เวลาที่ใช้ในการอุ่นความร้อน 12 นาที เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 12 นาที และทำการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็น เป็นเวลา 6 นาที ส่วนกรณีการเตรียมชิ้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอชิดมีขั้นตอนและสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูป เช่นเดียวกับชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ หลังจากนั้นนำแผ่นชิ้นงานมาทำการตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 มีขนาดชิ้นงานทดสอบ 20×20 มิลลิเมตร²



รูปที่ 3.5 เครื่องยัดด้วยความตัน รุ่น QC-601T ของบริษัท Cometech ประเทศไทยได้หัวน้ำ



รูปที่ 3.6 ลักษณะการจัดเรียงตัวของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานทดสอบวัสดุเชิงประกอบ

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติ

- สมบัติทางกายภาพ

การทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) ดำเนินการโดยนำชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประจักษ์เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ขนาด 20×20 มิลลิเมตร² สูตรละ 3 ชิ้นงาน นำมาอบไว้ก่อนความชื้นในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการซับน้ำหนักชิ้นงานแห้งด้วยเครื่องซับดิจิตอล แบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำชิ้นงานที่ผ่านการอ้อมาแซมน้ำทีกลับ หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างชิ้นงานที่เวลาแซ่น้ำต่างๆ กัน คือ 0 0.5 1 2 4 8 24 48 72 96 และ 120 ชั่วโมง เพื่อทำการซับน้ำหนักชิ้นงานเปรียก โดยนำชิ้นงานทดสอบออกจากน้ำ และทำการซับด้วยกระดาษซับก้อนซับน้ำหนัก และทำการคำนวนหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ดังสมการที่

3.1

$$\% \text{water absorption} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ W_t คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการแซ่น้ำ ณ เวลา t

W_0 คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลแคลอริเมเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC)

ทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้ Differential scanning calorimeter รุ่น TGA/DSC3+ ของบริษัท Mettler-Toledo (ประเทศไทย) จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.8 สามารถที่ใช้ในการทดสอบ คือ ทำการทดสอบภายใต้สภาวะในโตรเจน และมีการให้ความร้อน 2 ครั้ง การให้ความร้อนครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 25-200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นทำการลดอุณหภูมิจาก 200 ถึง 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการลดความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และทำการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 25-200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที หลังจากนั้นนำรูปให้ความร้อนครั้งที่ 2 มาทำการวิเคราะห์หาค่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิการเกิดผลึกขณะให้ความร้อน (Cold crystallization temperature, Tc) จุดหลอมเหลว (Melting temperature, Tm) และปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดในชิ้นงานทดสอบ สำหรับการหาค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก (Percentage crystallinity, Xc) สามารถคำนวนได้ดังสมการที่ 3.2

$$X_c = \frac{(H_m - H_{cc})}{H_m^\circ} \times \frac{100}{W_{PLA}} \quad (3.2)$$

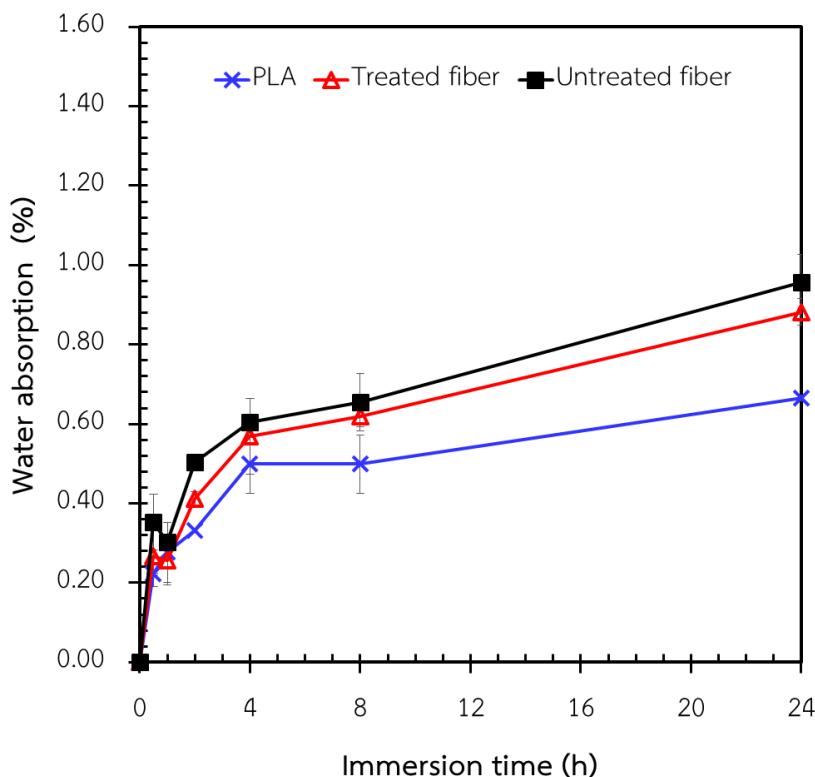
โดยที่ H_m คือ ค่าเอนทัลปีในการหลอมเหลว (Melting enthalpy) ของชิ้นงานทดสอบ
 H_m° คือ ค่าเอนทัลปีในการหลอมเหลว สำหรับกรณี PLA ที่มีปริมาณผลึก 100 % ซึ่งมีค่าเท่ากับ 97.2 J/g [19]
 H_{cc} คือ ค่าเอนทัลปีในการเกิดผลึกในระหว่างการทดสอบ
 w_{PLA} คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด



รูปที่ 3.8 เครื่อง Thermogravimetric analyzer รุ่น TGA/DSC3+ ของบริษัท Mettler-Toledo จำกัด

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

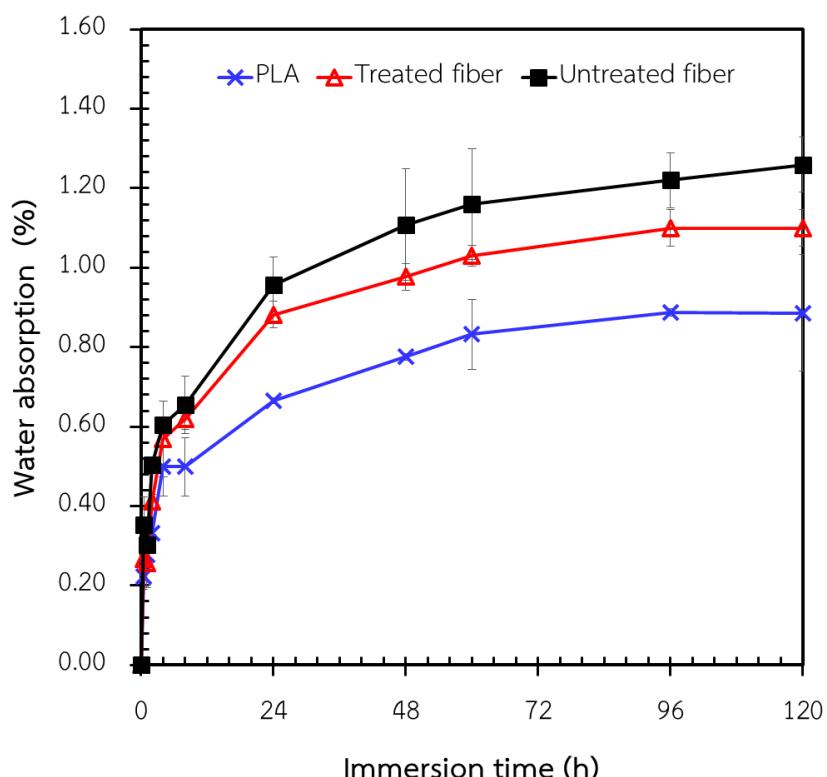
4.1 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำ



รูปที่ 4.1 ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอชิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอชิด และเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว เวลาในการแข็ง 0 ถึง 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอชิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอชิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ค่าการดูดซับน้ำทั้งกรณีพอลิแลคติกแอชิด และวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาการแข็งเริ่มต้น คือ ช่วงเวลาในการแข็ง 0 – 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำเริ่มมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ลดลง เมื่อเวลาในการแข็งชิ้นงานมากกว่า 4 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบผลของส่วนผสมในชิ้นงานที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำ พบว่า พอลิแลคติกแอชิดมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะพอลิแลคติกแอชิดมีหมู่เอสเตอร์ (ester group, COO) ใน

โครงสร้างซึ่งเป็นหน้ำที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนสันไยปานศนารายณ์มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบชั้นหน้ำไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, OH) ซึ่งเป็นหน้ำที่ชอบน้ำ สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า การปรับปรุงเส้นไยปานศนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีส่วนช่วยทำให้การดูดซับน้ำของวัสดุเชิง ประกอบลดลง ทั้งนี้ เพราะสารอีพอกซีไซเลนจะเข้าทำปฏิกิริยา กับหน้ำไฮดรอกซิลของเซลลูโลสจึงช่วยลดหมู่ ที่ชอบน้ำลง และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน มีส่วนช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างไฟเบอร์ โพลิแลคติกแอซิดและเส้นไยปานศนารายณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงช่วยการเกิดช่องระหว่างระหว่างไฟเบอร์ที่ อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความไม่เข้ากันทางโครงสร้างทางเคมีระหว่างโพลิแลคติกแอซิดและเส้นไยปาน ศนารายณ์

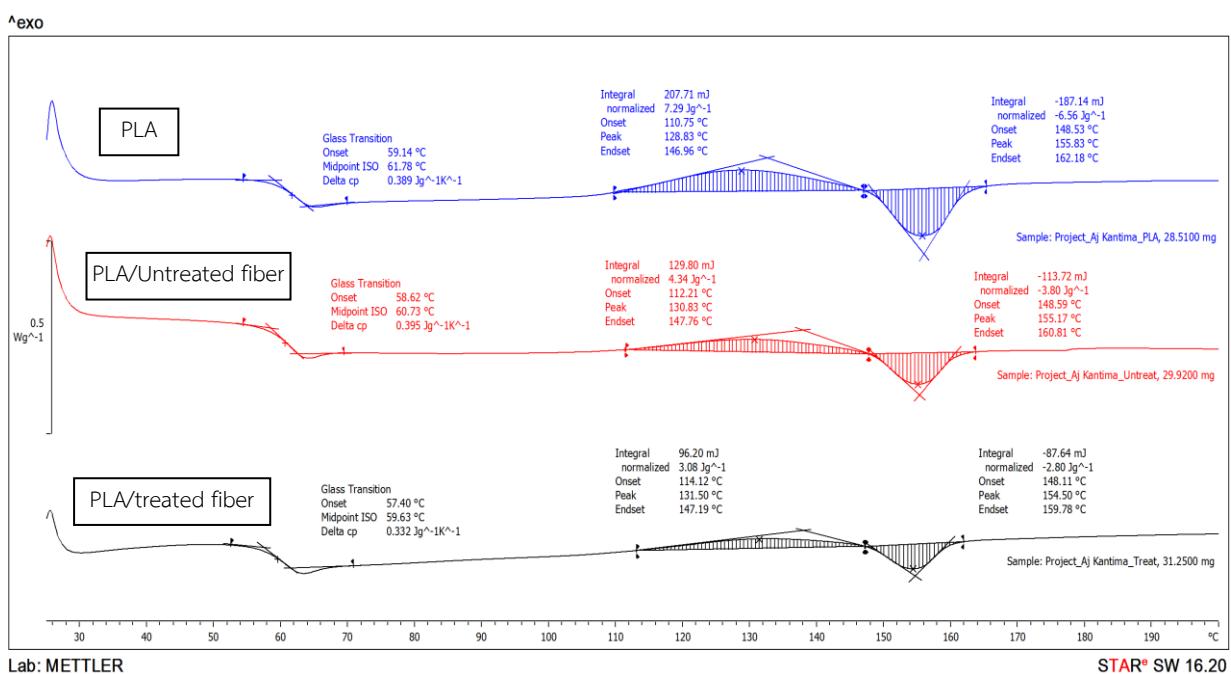


รูปที่ 4.2 ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานโพลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบโพลิแลคติกแอซิด และเส้นไยปานศนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว เวลา ในการแข็ง 0 ถึง 120 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

รูปที่ 4.2 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานโพลิแลคติกแอซิด และวัสดุ เชิงประกอบโพลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมเส้นไยปานศนารายณ์ที่ผ่านแลไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอี พอกซีไซเลน ภายในเวลา 5 วัน หรือ 120 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาการแข็งเพิ่มขึ้น มีผล ทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูง และโพลิแลคติกแอซิดมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ วัสดุเชิง ประกอบที่มีการเติมเส้นไยปานศนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และวัสดุเชิง

ประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ ผลที่ได้มีแนวโน้ม เช่นเดียวกับกรณีการแข็ง化งานที่เวลา 24 ชั่วโมง แต่ผลที่แตกต่างกัน คือ เมื่อเวลาการแข็ง化นานขึ้น ตั้งแต่ 24 ชั่วโมงขึ้นไป พบว่า ค่าการดูดซับน้ำระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และวัสดุเชิงประจักษ์ที่เป็นผลมา จากการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน มีค่าแตกต่างกันอย่าง ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเวลาในการแข็ง化นานมากกว่า 24 ชั่วโมง และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซับน้ำ เริ่มลดลง โดยสามารถสังเกตเห็นว่า ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิดและชิ้นงานวัสดุเชิง ประจักษ์ที่มีการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีแนวโน้มค่าการดูด ซับน้ำเริ่มคงที่ เมื่อเวลาในการแข็ง化น้ำ 96 ชั่วโมง ผลดังกล่าววนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับที่อธิบายไว้ใน คำอธิบายรูปที่ 4.1 แต่ผลของการมีอยู่ของเส้นใยปานศรนารายณ์ และผลของการปรับปรุงผิวด้วยสารอี พอกซีไซเลนจะเห็นผลอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเวลาในการแข็ง化นานมากกว่า 24 ชั่วโมง

4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดในชิ้นงานพอลิแลคติกแอ ซิด วัสดุเชิงประจักษ์พอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซ เลน และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี สำหรับการให้ความ ร้อนครั้งที่ 2

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด และวัสดุเชิงประจักษ์ประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

Formulations	Tg (°C)	Tc (°C)	ΔHcc (J/g)	Tm (°C)	ΔHm (J/g)	%Crystallinity
PLA	59.14	128.83	155.83	7.29	6.56	1.03
PLA/treated sisal fiber composite	57.40	131.50	154.50	3.08	2.80	0.29
PLA/untreated sisal fiber composite	58.62	130.83	155.17	4.34	3.80	0.56

รูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์และการปรับปรุงผิวเส้นใยปานศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดจากการตรวจสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี จากการให้ความร้อนครั้งที่ 2 สำหรับผลของการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ พบร้า การมีอยู่ของเส้นใยปานศรนารายณ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวแบบต่อเนื่องมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และจุดหลอมเหลวพลีกมีค่าลดลงไม่มากนัก แต่มีผลต่อการเกิดพลีกเกิดได้ยากมากขึ้น โดยพิจารณาจากผลของการค่าอุณหภูมิการเกิดพลีกที่เพิ่มสูงขึ้น และปริมาณพลีกของพอลิแลคติกแอซิดลดลง เมื่อมีการเติมเส้นใยปานศรนารายณ์ ลดลงกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่า การมีอยู่ของเส้นใยปานศรนารายณ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเกิดพลีกของพอลิแลคติกแอซิด ผลที่ได้นี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Seong และคณะ [20] ซึ่งพบว่า การเติมเส้นใยที่มีความยาวเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้การเกิดพลีกของพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลง สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด พบร้า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวพลีกสำหรับกรณีวัสดุเชิงประจักษ์ที่เติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีวัสดุเชิงประจักษ์ที่เติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว แต่มีผลทำให้การเกิดพลีกของพอลิแลคติกแอซิดมีแนวโน้มเกิดได้ยากขึ้น เมื่อวัสดุเชิงประจักษ์ประกอบที่เติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน โดยพบว่า สำหรับกรณีวัสดุเชิงประจักษ์ที่เติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีค่าอุณหภูมิการเกิดพลีกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และปริมาณพลีกของพอลิแลคติกแอซิดมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีวัสดุเชิงประจักษ์ที่เติมเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ลดลงกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่า การยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีขึ้นสำหรับกรณีเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเกิดพลีกของพอลิแลคติกแอซิด

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผล

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ และผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อการดูดซับน้ำ และสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอชิด จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ผลของการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ พบว่า การมีอยู่ของเส้นใยปานครนารายณ์มีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยปานครนารายณ์เป็นวัสดุที่ซับน้ำ โดยสามารถสังเกตเห็นผลขัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเวลาในการแข็งตัวมากกว่า 24 ชั่วโมง และการเติมเส้นใยปานครนารายณ์มีผลทำให้การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอชิดเกิดได้ยากมากขึ้น
- ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า ช่วยลดค่าการดูดซับน้ำของวัสดุ เชิงประกอบให้มีค่าลดลง และมีผลทำให้การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอชิดเกิดได้ยากมากขึ้น เนื่องจากการยึดเกาะที่ดีระหว่างเฟสของเส้นใยยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิแลคติกแอชิด

เอกสารอ้างอิง

1. ไทยร่วมกับ 3 ชาติเอเชียจับมือลดขยะพลาสติกในมหาสมุทร สืบคันข้อมูลจาก <https://www.bbc.com/thai/amp/international-40199329>
2. Auras, R., Lim, L. T., Selke, S. E. M. and Tsuji, H., 2010, **Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications**, John Wiley & Sons, Inc.
3. สุพรรษา นพวงศ์, อรวรณ มีไย และก้าลทิมา เขาวชากูชัยกุล, 2563, “การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากการใช้ชีวภาพและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมี”, รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 3 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 31 สิงหาคม 2563.
4. Pankaew, P., Klumdoung, P. and Naemchanthara, K., 2015, “A Study of the Preparation of Silk Sericin/chitosan Composite Film for Future Wound Dressing Applications”, **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 804, pp. 179-82.
5. Garlotta, D., 2001, “A Literature Review of Poly(Lactic Acid)”, **Journal of Polymers and the Environment**, Vol. 9, pp. 63-84.
6. Adsul, M. G., Varmab, A. J. and Gokhale, D. V., 2007, “Lactic Acid Production from Waste Sugarcane Bagasse Derived Cellulose”, **Green Chemistry**, Vol. 9, pp. 58-62.
7. Gupta, B., Revagade, N. and Hilborn, J., 2007, “Poly(lactic acid) Fiber: An Overview” **Progress in Polymer Science**, Vol. 34, pp. 455-482.
8. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์, กษมา จาธุกำจร และยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, 2554, รายงานการวิจัย เรื่อง การศึกษาผลการดัดแปลงด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา, ทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสุรนารี ปีงบประมาณ 2554.
9. ปราณี ชุมสำโรง และนิธินาถ ศุภกาญจน์, 2553, รายงานการวิจัย เรื่อง การศึกษาการใช้เส้นใยป่านครนารายณ์เสริมแรงอีพอกซีเรซินที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ, ทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยสุรนารี ปีงบประมาณ 2553.
10. Bledzki, A.K. and Gassan, J., 1999, “Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibers”, **Progress in Polymer Science**, Vol. 24, pp. 225-228.
11. Sjöström, E., 1993, **Wood Chemistry Fundamentals and Application**, 2nd ed., Academic Press, INC., New York, pp. 55-89.
12. Rowell, R.M., 2005, **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**, Chapter 3, CRC Press, Danvers, pp. 1-12.

13. Plueddemann, E.P., 1991, *Silane Coupling Agents*, Plenum Press, New York, pp. 1-31.
14. Grossman, R.F., 2001, "Coupling agents" In **Polymer Modifiers and Additives**, Lutz, J.T. and Grossman, R.F. (Ed.), Marcel Dekker, New York, pp. 95-99.
15. Buasri, A., Chaiyut, N., Petsungwan, T., Boonyuen, Y. and Moonmanee, S., 2012, "Effect of Surface Treatment on Interfacial and Properties of Water Hyacinth Fiber Reinforced Poly(Lactic Acid) Composites", **Advanced Materials Research**, Vol. 463-464, pp. 449-452.
16. Sujaritjun, W., Uawongsuwan, P., Pivsa-Art, W. and Hamada, Hiroyuki, 2013, "Mechanical Property of Surface Modified Natural Fiber Reinforced PLA Biocomposites", **Energy Procedia**, Vol. 34, pp. 664-672.
17. Manshor, M.R., Anuar, H., Nur Aimi, M.N., Ahmad Fitrie, M.I., Wan Nazri, W.B., Sapuan, S.M., El-Shekeil, Y.A., Wahit, M.U., 2014, "Mechanical, Thermal and Morphological Properties of Durian Skin Fibre Reinforced PLA Biocomposites", **Materials and Design**, Vol. 59, pp. 279-286.
18. González-López, M.E., Pérez-Fonseca, A.A., Manríquez-González, R., Arellano, M., Rodrigue, D., Robledo-Ortíz, J.R., 2019, "Effect of Surface Treatment on the Physical and Mechanical Properties of Injection Molded Poly(Lactic Acid)-Coir Fiber Biocomposites", **Polymer Composites**, Vol. 40, pp. 2132–2141.
19. Vasanthan, N. and Ly, O., 2009, "Effect of Microstructure on Hydrolytic Degradation Studies of Poly(l-lactic acid) by FTIR Spectroscopy and Differential Scanning Calorimetry", **Polymer Degradation and Stability**, Vol. 94, pp. 1364–1372.
20. Seong, D.G., Kang, C., Pak, S.Y., Kim, C.H., Song, Y.S., 2019, "Influence of Fiber Length and its Distribution in Three Phase Poly(propylene) Composites", **Composite Part B: Engineering**, Vol. 168, pp. 218–225.

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล

(ภาษาไทย) ผศ.ดร. กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล
(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Dr. Kantima Chaochanchaikul

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาสัมฤทธิศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาธิรักษ์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 02 836 3000
E-mail : kantima.c@rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(วัสดุศาสตร์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วศ.ม. (เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปร.ด. (เทคโนโลยีวัสดุ)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Wood/Natural Fiber Plastic Composites
Polymer Composites
Polymer Degradation
Bioplastics

6. ประสบการณ์งานวิจัย

1. Chaochanchaikul, K., 2019, "Improvement of Mechanical Properties and Water Absorption in Wheat Gluten by Epoxidized Natural Rubber", **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 891, pp. 163-168.
2. Hachana, N., Wongwanchai, T., Chaochanchaikul, K. and Harnnarongchai, W., 2017, "Influence of Crosslinking Agent and Chain Extender on Properties of Gamma-Irradiated PLA", **Journal of Polymers and the Environment**, Vol. 25, pp. 323-333.
3. Tomyangkul, S., Pongmuksuwan, P., Harnnarongchai, W. and Chaochanchaikul K., 2016, "Enhancing Sound Absorption Properties of Open-cell Natural Rubber Foams with Treated Bagasse and Oil Palm Fibers", **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Vol. 35, pp. 672-681.
4. Harnnarongchai, W. and Chaochanchaikul, K., 2015, "Effect of Blowing Agent on Cell Morphology and Acoustic Absorption of Natural Rubber Foam", **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 804, pp. 25-29.
5. Chaochanchaikul, K. and Harnnarongchai, W., 2015 "Influence of Multifunctional Monomers on Gamma Irradiated Polylactic Acid", **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 804, pp. 59-62.
6. Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2013, "Photodegradation and UV Penetration Profiles of PVC Compound and Wood/PVC Composites under UV Weathering", **Express Polymer Letters**, Vol. 7, No. 2, pp. 146-160.
7. Chaochanchaikul, K., Jayaraman, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2012, "Influence of Lignin Content on Photodegradation in Wood/HDPE Composites under UV Weathering", **BioResources**, Vol. 7, No. 1, pp. 38-55.
8. Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2011, "Structural and Thermal Stabilizations of PVC and Wood/PVC Composites by Metal Sterates and Organotin", **BioResources**, Vol. 6, No. 3, pp. 3115-3131.
9. Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2011, "Stabilizations of Molecular Structures and Mechanical Properties of PVC and Wood/PVC Composites by Tinuvin and TiO₂ Stabilizers", **Polymer Engineering and Science**, Vol. 51, No. 6, pp. 1354-1365.
10. Pattamasattayasonti, N., Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. and Sombatsompop, N., 2010, "Effects of UV-Weathering Aging and CeO₂ Based Coating Layer on

- Mechanical and Structural Changes in Wood/PVC Composites”, **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 17, No. 1, pp. 9-16.
11. Pulngern, T., Choocheepsakul, S., Padyenchean, C., Rosarpitak, V., Prapruit, W., Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2010, “Effects of Cross-section Design and Loading Direction on Creep and Fatigue Properties of Wood/PVC Composite Beams”, **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 16, No. 1, pp. 42-49.
 12. Sombatsompop, N., Prapruit, W., Chaochanchaikul, K., Pulngern, T. and Rosarpitak, V., 2010, “Effect of Cross-section Design and Testing Conditions on Flexural Properties of Wood/PVC Composite Beams”, **Journal of Vinyl & Additive Technology**, Vol. 16, No. 1, pp. 33-41.
 13. Chaochanchaikul, K., Kositchaiyong, A., and Sombatsompop, N., 2009, “Blending Techniques Affecting Mechanical and Morphological Properties of Fly Ash/LDPE and CaCO₃/LDPE Composites”, **Polymers & Polymer Composites**, Vol. 17, No. 5, pp. 281-290.
 14. Sombatsompop, N., Taptim, K., Chaochanchaikul, K., Thongpin, C. and Rosarpitak, V., 2008, “Improvement of Structural and Thermal Stabilities of PVC and Wood/PVC Composites by Pb and Zn Stearates, and Zeolite”, **Journal of Macromolecular Science. Part A: Pure and Applied Chemistry**, Vol. 45, No. 7, pp. 534-541.
 15. Tungjitpornkull, S., Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2007, “Mechanical Characterization of E-Chopped Strand Glass Fiber Reinforced Wood/PVC Composites”, **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, Vol. 20, No. 6, pp. 535-550.
 16. Chotirat, L., Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2007, “On Adhesion Mechanisms and Interfacial Strength in ABS/Wood Sawdust Composites”, **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Vol. 27, No. 8, pp. 669-678.
 17. Sombatsompop, N., Uawongsuwan, P. and Chaochanchaikul, K., 2007, “Effect of Molecular Structure on Extrudate Swell Behavior for Different Thermoplastic Melts in an Electro-magnetized Die”, **Polymer Engineering and Science**, Vol. 47, No. 3, pp. 270-280.
 18. Prachayawarakorn, J., Kumsri, J., Chaochanchaikul, K. and Sombatsompop, N., 2006, “Effects of Compatibilizer Type and Rubber-Wood Sawdust Content on the

- Mechanical, Morphological and Thermal Properties of PVC/LDPE Blend”, **Journal of Applied Polymer Science**, Vol.102, No. 1, pp. 598-606.
19. Sombatsopop, N. and Chaochanchaikul, K., 2005, “Average Mixing Torque, Tensile and Impact Properties and Thermal Stability of PVC/Sawdust Composites with Different Silane Coupling Agents”, **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 96, No. 1, pp. 213-221.
20. Sombatsopop, N. and Chaochanchaikul, K., 2004, “Effect of Moisture Content on Mechanical Properties, Thermal and Structural Stability, and Extrudate Texture of PVC/Wood Sawdust Composites”, **Polymer International**, Vol. 53, No. 9, pp. 1210-1218.
21. Sombatsopop, N., Chaochanchaikul, K., Phromchirasuk, C. and Thongsang, S., 2003, “Effect of Wood Sawdust Content on Rheological and Structural Changes, and Thermo-Mechanical Properties of PVC/Sawdust Composites”, **Polymer International**, Vol. 52, No. 12, pp. 1847-1855.

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล

(ภาษาไทย) ดร.วรนุช ดีละมัน
(ภาษาอังกฤษ) Dr.Woranuch Deelaman

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาธิรักษ์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 02-8363016 หรือ 081-0677254
E-mail : woranuch.d @rmutp.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วท.บ.(วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยทักษิณ
วท.ม.(การจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ปร.ด. (การจัดการสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Environmental managemet
Sediment
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

6. ประสบการณ์งานวิจัย

1. Apiratikul, R., Pongpiachan, S. and Deelaman, W., 2021, “Spatial Distribution, Sources and Quantitative Human Health Risk Assessments of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban and Suburban Soils of Chile”, *Environmental Geochemistry and Health.*

2. Deelaman, W., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Choochuay, C., ladtem, N., Suttinun, O., Wang, Q.Y., Xing, L., Li, G.H., Han, Y.M., Hashmi, M.Z. and Cao, J.J., 2020, “Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Terrestrial Soils in Chile”, *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 99, 102514.
3. Deelaman, W., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Suttinun, O., Choochuay, C., ladtem, N., Charoenkalunyuta, T. and Promdee, K., 2020, “Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Terrestrial Soils of King George Island, Antarctica”, *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 104, 102832.
4. ChooChuay, C., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Deelaman, W., ladtem, N., Suttinun, O., Wang, Q., Xing, L., Li, G., Han, Y., Hashmi, M.Z., Palakun, J., Poshyachinda, S., Aukkaravittayapun, S., Surapipith, V. and Cao, J., 2020, “Effects of Agricultural Waste Burning on pm2.5-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Carbonaceous Compositions, and Water-Soluble Ionic Species in the Ambient Air of Chiang-Mai, Thailand. *Polycyclic Aromatic Compound*, pp. 1–22.
5. ChooChuay, C., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Deelaman, W., Suttinun, O., Wang, Q., Xing, L., Li, G., Han, Y., Palakun, J., Poshyachinda, S., Aukkaravittayapun, S., Surapipith, V. and Cao, J., 2020, “Long-range Transboundary Atmospheric Transport of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Carbonaceous Compositions, and Water-soluble Ionic Species in Southern Thailand”, *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 20, pp. 1591–1606.
6. ChooChuay, C., Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Suttinun, O., Deelamana, W., Wang, Q., Li, X., Li, G., Han, Y., Palakun, J., Cao, J., 2020, “Impacts of PM_{2.5} sources on Variations in Particulate Chemical Compounds in Ambient Air of Bangkok, Thailand”, *Atmospheric Pollution Research*, Vo. 11, pp. 1657-1667.
7. Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Choochuay, C., Hattayanone, M., Deelaman, W., ladtem, N., Bunsomboonsakul, S., Palakun, J., Poshyachinda, S., Leckngam, A., Somboonpon, P., Panyaphirawat, T., Aukkaravittayapun, S., Wang, Q.Y., Xing, L., Li, G.H. and Han, Y.M., 2019, “Vertical Profile of Organic and Elemental Carbon in Sediments of Songkhla Lake, Thailand”, *Limnology*, Vol. 20, pp. 203–214.
8. Pongpiachan, S., Deelaman, W., Choochuay, C., ladtem, N., Surapipith, V., Hashmi, MZ., Latif, M., Sohail, M., Eqani, SAMAS., Charoenkalunyuta, T. and Promdee, K., 2019, “Data Relating to Spatial Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in

- Terrestrial Soils of Pakistan and King George Island, Antarctica”, **Journal Data in Brief**, Vol. 25, 104327.
9. Deelaman, W., Chaochanchaikul, K. and Tungsudjawong, K., 2018, “Effect of Banana Fibers on Mechanical and Physical Properties of Light Weight Concrete Blocks”, **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 879, pp. 151–155.
 10. Deelaman, W., Lakthandee, M., Inchan, W., Srilarat, P. and Panthong, N., 2017, “Development Plant Pots from Carbon Powder and Oil Palm Fiber”, **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 866, pp. 176–179.
 11. Deelaman, W., Lakthandee, M., Inchan, W., Srilarat, P. and Panthong, N., 2017, “Development Plant Pots from Carbon Powder and Oil Palm Fiber”, **Applied Mechanics and Materials**, Vol. 866, pp. 176–179.
 12. Pongpiachan, S., Tipmanee, D., Deelaman, W., Muprasit, J., Feldens, P. and Schwarzer, K., 2013, “Risk Assessment of the Presence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Areas of Thailand Affected by the 2004 tsunami”, **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 76, pp. 370-378.
 13. Tipmanee, D., Deelaman, W., Pongpiachan, S., Schwarzer, K. and Sompongchaiyakul, P., 2012, “Using Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) as a Chemical Proxy to Indicate Tsunami 2004 Backwash in Khao Lak Coastal Area”, **Thailand. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, Vol. 12, pp. 1441–1451.