



การพัฒนาและตรวจสอบโฟม PLA/PBS/เส้นใยเปลือกทุเรียน สำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรองนอนสำหรับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ

Development and Investigation of PLA/PBS/Durian Rind Fiber foam for Laboratory Animal Bedding Materials Application

กชกร จิตรธาดู\*

Kodchakon Jittreetat

ชिरาวุฒิ เพชรเย็น\*\*

Chiravoot Pechyen

เบญญา เชิดHIRัณูกร\*\*

Benya Cherdhirunkorn

สุรเชษฐ์ คุ้มมี\*\*\*

Surachet Toommee

Received : May 29, 2023

Revised : May 30, 2024

Accepted : June 25, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตวัสดุรองนอนจากเส้นใยเปลือกทุเรียนผสมกับพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโดยมีการเติมอินดิเคเตอร์ตรวจวัดปริมาณยูเรียที่ปลดปล่อยมาของสัตว์ทดลองเพื่อใช้ในการเปลี่ยนวัสดุรองนอน โดยวัสดุรองนอนพอลิเมอร์เชิงประกอบนี้เตรียมด้วยกระบวนการหลอมผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวहनอนคู่ โดยมีส่วนผสมของ PLA:PBS:DRF ที่อัตราส่วน 100:0:0, 0:100:0, 40:60:0, 40:60:5, 40:60:10 และ 40:60:15 โดยกำหนดปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน (phr) ตามลำดับ และมีการเติมแอนโทไซยานิน 3.8%WV และมีศึกษาสมบัติทางเคมี สมบัติทางเชิงกล สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติทางความร้อนและการดูดซับสารคัดหลั่ง จากผลการวิเคราะห์พบว่า วัสดุรองนอนพอลิเมอร์เชิงประกอบที่อัตราส่วน 40:60:15

\*นักศึกษาลัทธิสุตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Master of sciences program students Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University

\*\*อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University (Corresponding Author) e-mail: Chiravoot.p@gmail.com

\*\*\*อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer at Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

มีความสามารถในการรักษาคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุรองนอนพอลิเมอร์เชิงประกอบ สำหรับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ

**คำสำคัญ :** พอลิแลคติกแอซิด/ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต/ เส้นใยเปลือกทุเรียน/ แอนโทไซยานิน

#### ABSTRACT

This research aims to produce foamed for laboratory animal bedding from biodegradable poly Lactic acid (PLA) and Polybutylene succinate (PBS) blend with Durian Rind Fiber (DRF) for to change the animal bedding material by adding an indicator to measure the released urea content of laboratory animals. This assembly polymer composite is prepared with the twin screw extruder with PLA:PBS:DRF with a ratio of 100:0:0, 0:100:0, 40:60:0, 40:60:5, 40:60:10, 40:60:15 by specifying the amount of Durian Rind Fiber (phr) respectively and with anthocyanin 3.8%WV and has study a physical, chemical, thermal properties and Absorbing secretions. The results, it was found that animal bedding from polymer composite at the ratio 40:60:15 have the ability to maintain various properties. That is appropriate to be used as a animal bedding for animals in the laboratory.

**Keywords :** Poly Lactic Acid / Polybutylene Succinate / Durian Rind Fiber / Anthocyanin

#### บทนำ

งานวิจัยชิ้นนี้มีขึ้นเพื่อศึกษาปัญหาขยะจากเปลือกทุเรียน โดยเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่พบปริมาณมากในฤดูกาลเก็บเกี่ยว และปัจจุบันยังมีการพัฒนาให้ทุเรียนเกิดผลผลิตตลอดทั้งปีส่งผลให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในปริมาณมหาศาล โดยเปลือกทุเรียนที่นำมาศึกษาจะเป็นเปลือกทุเรียนจากตลาดไอยราเนื่องจากเกิดผลกระทบจากขยะที่เกิดจากเปลือกทุเรียน เพื่อนำไปศึกษาพัฒนาวัสดุรองนอนจากเปลือกทุเรียนโดยมีการเติมอินดิเคเตอร์ และเพื่อศึกษาแนวทางการแก้ไขและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการขยะเปลือกทุเรียนในพื้นที่

จากการศึกษาวิจัยพบว่าสภาพปัญหาขยะเปลือกทุเรียนในพื้นที่ตลาดไอยรา ยังคงสร้างปัญหาและผลกระทบต่อตลาดไอยรา สืบเนื่องมาจากทางตลาดไอยรามีนงบประมาณที่ไม่เพียงพอต่อการบริหารจัดการในการแก้ไขปัญหาเรื่องขยะเปลือกทุเรียนในพื้นที่ อีกทั้งคนในพื้นที่ไม่ให้ความร่วมมือในการแก้ไข ทำให้ปัญหาขยะเปลือกทุเรียนในพื้นที่ยังคงเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ ในส่วนของผลกระทบจากขยะเปลือกทุเรียนที่มีต่อตลาดไอยรา จากการศึกษาพบว่าผลกระทบมีหลายด้านไม่ว่าจะเป็นในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียมลพิษทางอากาศ เกิดการเน่าเหม็น และยังเป็นบ่อเกิดของพาหะนำโรค ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อคนในตลาดไอยราโดยตรง ไม่ว่าจะเป็นคนในชุมชน ผู้ประกอบการ รวมไปถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องซึ่งจะต้องประชุมกัน หาหรือเพื่อหาทางออกในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อให้เกิดการจัดการขยะเปลือกทุเรียนได้อย่างยั่งยืน

ซึ่งประเทศไทยยังไม่ได้การผลิตวัสดุรองนอนดังกล่าว จึงทำให้เกิดการนำเข้าโดยมีราคาที่สูงเมื่อเทียบกับปริมาณที่ใช้ในสัตว์พื้นแทะแต่ละตัว แต่การหาวัสดุอื่นมาทดแทนก็เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากทางศูนย์วิจัยสัตว์ให้ความสนใจและตระหนักถึงปัญหาของการนำเข้าวัสดุรองนอนของหนู โดยเมื่อปัจจุบันได้มีการใช้ผลิตภัณฑ์นำเข้าที่เป็นวัสดุรองนอน ซึ่งทำให้เกิดมีต้นทุนในการดูแลสัตว์แต่ละตัวค่อนข้างสูง เนื่องจากมีระยะเวลาในการใช้งานที่จำกัดและต้องเปลี่ยนประจำทุกสัปดาห์ ส่งผลทำให้เกิดวัสดุรองนอนที่เป็นขยะ หากยังไม่มีการพัฒนาและวิจัยด้านนี้จะทำให้เกิดผลเสียในอนาคตเมื่อมีความจำเป็นต้องใช้และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. การทดสอบสมบัติกายภาพ (physical properties)

1.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยการทดสอบหาค่าดัชนีการไหล MFI เป็นการบอกให้ทราบถึงมวลของพลาสติกเหลวที่มีอุณหภูมิตามที่กำหนดเป็นกรัมที่ถูกกดผ่านหัวฉีดมาตรฐานออกมาโดยแรงกดของลูกสูบที่มีขนาดมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ในเวลา 10 นาที ตามมาตรฐาน ASTM D1238 โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ ค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของการทดสอบ

1.2 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยการทดสอบความสามารถในการดูดซับของโพรพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิবিที่ลินซ์ซินเอนต์ที่มีการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนและไม่มีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D570 โดยนำตัวอย่างชิ้นงานลักษณะเป็นเม็ดที่ได้จากกระบวนการอัดรีดแล้วผ่านการตัดมาแช่ในสารละลายแอมโมเนีย แล้วทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ วัน เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับ

#### 2. การทดสอบสมบัติทางเคมี (chemical properties)

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared: FTIR) เป็นเครื่องมือที่มีเทคนิคการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงช่วงแสงอินฟราเรด (Infrared light) ที่ความยาวคลื่นต่างๆ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกทุเรียนและโพรพอลิเมอร์เชิงประกอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Spectrum two ยี่ห้อ Perkin Elmer โดยใช้โหมด ATR-FTIR ในช่วงคลื่น 4000 ถึง 550  $\text{cm}^{-1}$

#### 3. การทดสอบสมบัติเชิงกล (mechanical properties)

3.1 วิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยการวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึง (tensile strength) โดยใช้เครื่อง Universal testing machine เตรียมชิ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell shape) ตามมาตรฐาน ASTM D638 จำนวน 4 ซ้ำ โดยใช้ความเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทำการดึงจนตัวอย่างเกิดการแตกหัก ค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของการทดสอบ โดยเปรียบเทียบโพรพอลิเมอร์เชิงประกอบก่อนและหลังแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงกล โดยการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อทำการวัดค่า Impact Energy และศึกษาผิวรอยแตก (Fracture Surface) ของวัสดุโดยการตีขึ้นงานทดสอบเป็นแท่งยาว มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีรอยบากรูปตัว V อยู่ตรงกลาง มีวิธีการทดสอบแบบ Izod Test ประเภทการทดสอบ Type A ตามมาตรฐาน ASTM D256 จนเกิดการแตกหัก

#### 4. การทดสอบสมบัติทางความร้อน (thermal properties)

4.1 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนเชิงพลังงาน (DSC) เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermal transition) ของสารตัวอย่าง ทดสอบอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของเส้นใยเซลลูโลสและโพลีเมอร์เชิงประกอบ โดยทำการเตรียมตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม บรรจุตัวอย่างลงในถ้วย (Pan) ทำการอัดแน่นแล้วทำการทดสอบที่อัตราการให้ความร้อนคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ -40-200 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จากนั้นให้ความร้อนอีกครั้งด้วยอัตราเดิมจนถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหลของแก๊ส 50 ml/min

4.2 วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermal Gravimetric Analysis, TGA) ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวสูง โดยทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ โดยทำการทดสอบด้วยอัตราการคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30-600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนอัตราการไหลของแก๊ส 20 มิลลิตรต่อนาที

### ผลการวิจัย

กระบวนการผลิตและกระบวนการเตรียมการพัฒนาและตรวจสอบโพลี PLA/PBS/เส้นใยเปลือกทุเรียน สำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรองนอนสำหรับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ ต้องตรวจสอบ สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) สมบัติทางเคมี (Chemical properties) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และสมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

#### 1. ผลการทดสอบดัชนีการไหล (MFI)

การทดสอบดัชนีการไหลของเม็ดโพลีเมอร์เป็นค่าที่บอกถึงการไหลของพลาสติก ซึ่งถ้ามีค่าดัชนีการไหลสูง แสดงว่าพลาสติกนั้นมีความหนืดต่ำและมีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งค่าดัชนีการไหลจะมีความสำคัญต่อกระบวนการขึ้นรูปของวัสดุ ค่าที่เหมาะสมกับกระบวนการขึ้นรูปด้วยการฉีด จะมีค่าโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 10 กรัม ต่อ 10 นาที จากการทดสอบดัชนีการไหลของโพลีเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณ 0 ถึง 15 phr ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1238 ซึ่งค่าดัชนีการไหลของโพลีเมอร์เชิงประกอบกับเส้นใยเปลือกทุเรียน แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าค่าดัชนีการไหลของโพลีเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณ 0 5 10 และ 15 phr มีค่าเท่ากับ  $33.23 \pm 0.57$ ,  $35.633 \pm 3.95$ ,  $44.20 \pm 1.52$ ,  $71.47 \pm 3.33$ ,  $103.02 \pm 1.11$  และ  $126.18 \pm 2.96$  กรัมต่อ 10 นาที ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 10 กรัมต่อ 10 นาที จึงเหมาะ

กับกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด จากผลของการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ลงในพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PLA/PBS/DRF) จะทำให้ค่าดัชนีการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นหรือมีความหนืดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน (PLA/PBS) เมื่อปริมาณของเส้นใยเปลือกทุเรียนเพิ่มมากขึ้นจาก 5phr เป็น 10phr และ 15phr จะทำให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์เชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง แสดงว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดของพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับเส้นใยเปลือกทุเรียน มีค่าลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เส้นใยเปลือกทุเรียนและพอลิเมอร์ผสมมีสถานะเป็นของไหล จึงทำให้ความหนืดมีค่าลดลง แต่เมื่อปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น จะไปเร่งการเสื่อมสภาพ (Acceleration of Degradation) ของสายโซ่พอลิเมอร์ผสมทั้งสองชนิด ทำให้เกิดปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสแบบสุ่ม (Random Degradation) ที่ตำแหน่งหมู่เอสเทอร์ของ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง ส่งผลทำให้สายโซ่เกิดการเลื่อนผ่านได้ง่ายขึ้น ค่า MFI จึงมีแนวโน้มที่สูงขึ้น

**ตารางที่ 1** แสดงค่าดัชนีการไหลของเม็ดพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่แตกต่างกัน

Sample	Load (Kg)	T(°C)	ค่าดัชนีการไหล (กรัม/10 นาที)
PBS	2.16	190	33.23±0.57
PLA	2.16	190	35.63±3.95
PLA/PBS	2.16	190	44.20±1.52
PLA/PBS/DRF5	2.16	190	71.47±3.33
PLA/PBS/DRF10	2.16	190	103.02±1.11
PLA/PBS/DRF15	2.16	190	126.18±2.96

## 2. ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับ (Absorption)

จากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับของโฟมพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่มีการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนและไม่มีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D โดยนำตัวอย่างชิ้นงานลักษณะเป็นเม็ดที่ได้จากกระบวนการอัดรีดแล้ว 570 ผ่านการตัดมาแช่ในสารละลายแอมโมเนีย แล้วทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ วัน เป็นเวลา สัปดาห์ และทำการคำนวณหา 1 เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับของโฟมพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่มีการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนและไม่มีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน จากตารางที่ แสดงความสามารถในการดูดซับของพอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เส้นใยเปลือกทุเรียน และพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน ก่อนและหลังการใช้งาน พบว่า ที่พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ก่อนใช้งานมีน้ำหนัก 9266.49 กรัม ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 71.24 กรัม และหลังใช้งานหนักเพิ่มขึ้น 15.50 พอลิแลคติกแอซิด ก่อนใช้งานมีน้ำหนัก 40.49 กรัม ซึ่งลดลงถึง 40.49 กรัม และหลังใช้งานน้ำหนักลดลงไป 17

50 เมื่อผสมพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ก่อนใช้งานมีน้ำหนัก %66.98.กรัม และหลังใช้งาน 00 และพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่มีการเติมเส้น %71.40 กรัมซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 36.20 หนักเพิ่มขึ้น 10 5 ใยเปลือกทุเรียน ที่และ 29.50 ก่อนใช้งานมีน้ำหนัก 15, กรัม ตามลำดับ และหลังใช้ 04.50 และ 09.50 71.20 งานหนักเพิ่มขึ้น 10.24% 10.24และ %18.41 กรัม ตามลำดับ ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 05.25, และ %12.48 50.ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียน จะยิ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการดูด %05 ซับได้ดียิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่า เส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีหน้าที่ในการดูดซับของเหลว

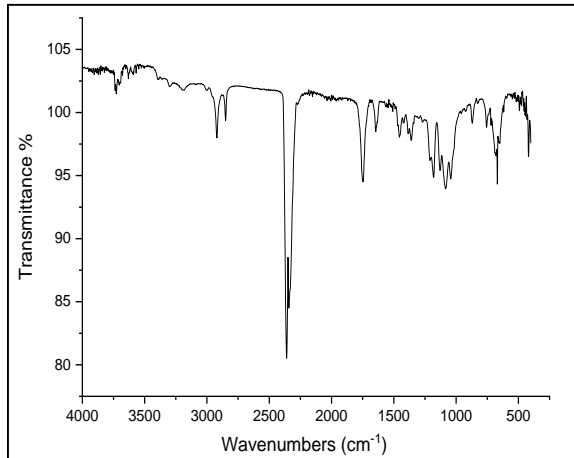
**ตารางที่ 2** แสดงความสามารถในการดูดซับของพอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เส้นใยเปลือกทุเรียน และพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน ก่อน และหลังการใช้งาน

Sample	Weight when clean (g)	Weight after use (g)	Weight increase %
PBS	50.15	24.71	49.26
PLA	50.17	-49.40	-98.66
PLA/PBS	50.00	20.36	40.71
PLA/PBS/DRF5	50.29	20.71	41.18
PLA/PBS/DRF10	50.09	24.10	48.12
PLA/PBS/DRF15	50.04	25.05	50.05

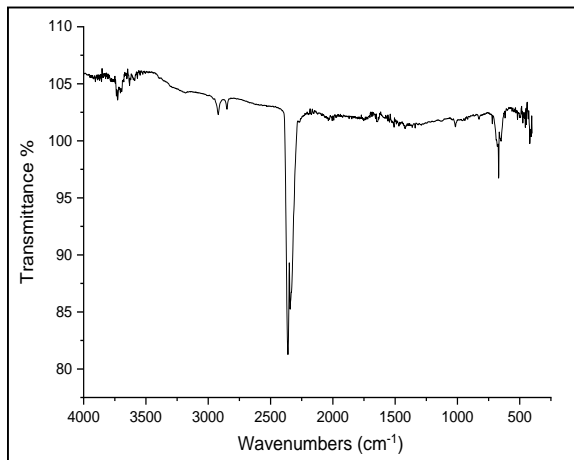
### 3. ผลการทดสอบการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี (FTIR)

จากผลการทดสอบการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ของโฟมพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตทั้งที่ไม่เติม เส้นใยเปลือกทุเรียน ภาพที่ 4.1 แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิแลคติกแอซิดที่เลขคลื่น  $3299\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ O-H (O-H stretching) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1749\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหด C=O (C=O stretching) จากภาพที่ 4.2 แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $3300\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ O-H (O-H stretching) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1712\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบ ยืดหดของ C=O (C=O stretching) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1155\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ C-O (C-O stretching) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $2919\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ C-H (C-H stretching) และจาก ภาพที่ 4.3 แสดงการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเส้นใยเปลือกทุเรียน ที่ผ่านการเตรียมด้วยกระบวนการ ไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่เลขคลื่น  $3333\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ O-H (O-H stretching) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $2897\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ C-H (C-H stretching) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $1031\text{ cm}^{-1}$  คือ การสั่นแบบยืดหดของ C-O (C-O stretching) สำหรับโฟมพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติก แอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน จากภาพที่ 4.4 แสดงการดูดกลืนรังสี อินฟราเรดของพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตทั้งที่ไม่เติมเส้นใยเปลือกทุเรียนและมีการเติมเส้นใย

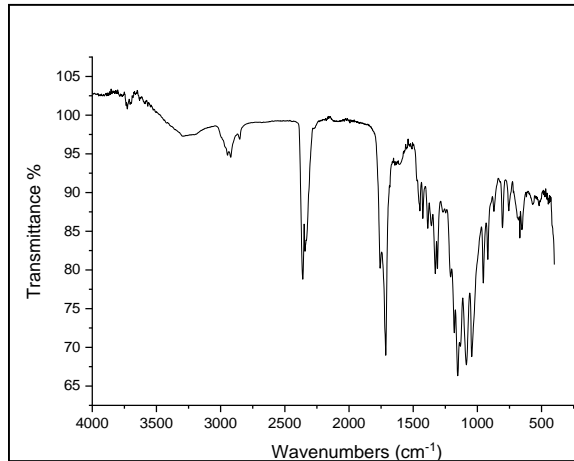
เปลือกทุเรียน ในปริมาณที่ต่างกัน พบตำแหน่งของเลขคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกันกับพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต โดยไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นที่ตำแหน่งใหม่



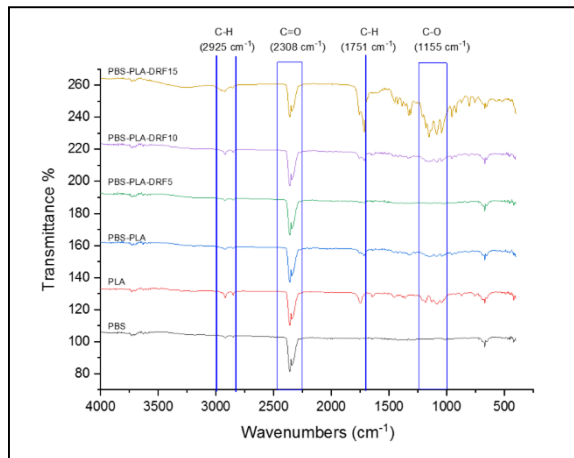
ภาพที่ 1 FTIR สเปกตรัมของโพลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิด



ภาพที่ 2 FTIR สเปกตรัมของโพลิเมอร์เชิงประกอบพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต



ภาพที่ 3 FTIR สเปกตรัมของเส้นใยเปลือกทุเรียน



ภาพที่ 4 FTIR สเปกตรัมของโพลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่แตกต่างกัน

#### 4. ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile test)

การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ของโพลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน จากค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของโพลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน แสดงดังตารางที่ พบว่าโพลิแลคติกผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีค่ามอดูลัสเท่ากับ  $3.437.1744 \pm 57.576$  และ  $73.98 \pm 77.36$  MPa ตามลำดับ เมื่อเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนในปริมาณ 15 ถึง 5phr พบว่ามีค่ามอดูลัสลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเปลือกทุเรียนเพิ่มขึ้น ตามลำดับ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับปริมาณพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่มีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน แสดงค่ามอดูลัส และค่าความต้านทานแรงดึง ของโพลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ที่ไม่มีและมีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน (DRF) ที่อัตราส่วน 5%,



10% และ 15% โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น แนวโน้มของค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด ที่มีความแข็งแรงสูง รวมถึงคุณสมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ที่มีความเหนียวที่สูงกว่า นอกเหนือจากนั้น เมื่อพิจารณาผลของการ เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนพบว่าที่อัตราส่วนเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่มากกว่า แนวโน้มของค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลงที่ 10% และ 15% โดยน้ำหนัก และกลับมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก นั้นแสดงให้เห็นว่า เส้นใยจากเปลือกทุเรียนเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตได้ไม่ดี (Poor Adhesion) ส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าความต้านทานแรงกระแทกที่มีค่าที่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่ 5% โดยน้ำหนัก อนุภาคของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่มีความแข็งที่มากกว่า จะไปทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้น และไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่ในระหว่างกระบวนการทดสอบ จึงทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่สูงขึ้น นั้น แสดงให้เห็นว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตและพอลิแลคติกแอซิด เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเข้ากันกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียนได้ไม่ดี เนื่องจากอนุภาคของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนโดยทั่วไป ซึ่งทำให้เส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นอนุภาคที่มีความเป็นขั้วที่สูง (High Polarity) แต่พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เป็นโครงสร้างที่มีสภาพขั้วที่ต่ำกว่า จึงทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมากขึ้น ค่ามอดูลัสลดลง

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบแรงดึงของโพลีเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ที่ไม่เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนในปริมาณที่ต่างกัน

Sample	Modulus (MPa)	Ultimate Stress (MPa)	Elongation at Break (mm)
PBS	576.57±36.77	41.74±1.24	16.27±0.26
PLA	1744.37±98.73	54.80±4.62	3.99±0.27
PLA/PBS	878.10±112.53	38.43±2.44	17.31±0.79
PLA/PBS-DRF5	908.27±86.07	38.08±1.83	7.72±0.2
PLA/PBS-DRF10	878.76±97.26	30.10±0.51	6.066±0.41
PLA/PBS-DRF15	857.71±85.68	35.37±3.87	10.75±5.48

5. ความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

จากตารางที่ ) แสดงค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมและมีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกของ neat PLA และ neat PBS จะอยู่ที่ 91.1±59.0kJ/m<sup>2</sup> และ 01.2± 52.0kJ/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่ ในสัดส่วนที่มากขึ้นในพอลิเมอร์ผสมพบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่ 5%, 10% และ 15% โดยน้ำหนัก เมื่อ

เปรียบเทียบกับที่ไม่มี การเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน แต่กลับมีแนวโน้มของค่าความต้านทานแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้น ของพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถกระจายแรงภายในเนื้อพอลิเมอร์ผสมได้เนื่องจากมีเกาะกลุ่มกันของเส้นใยจากเปลือกทุเรียน จึงส่งผ่านแรงภายในพอลิเมอร์ผสมได้ไม่ดี

**ตารางที่ 4** แสดงผลการทดสอบแรงกระแทกของโพลีพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสม พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียนในปริมาณที่แตกต่างกัน

Sample	Break (KJ/m <sup>2</sup> )	Str.1 (KJ/m <sup>2</sup> )	Str.2 (J/m)
PBS	0.079±0.3	2.01±0.52	26.07±6.72
PLA	0.09±0.02	1.91±0.59	24.32±7.69
PLA/PBS	0.14±0.02	3.36±0.47	43.69±6.19
PLA/PBS-DRF5	0.09±0.03	2.08±0.67	26.96±8.61
PLA/PBS-DRF10	0.09±0.03	2.02±0.61	30.62±18.03
PLA/PBS-DRF15	0.07±0.02	1.72±0.59	20.71±6.24

#### 6. ผลการทดสอบค่าความต่างความร้อนของสาร (DSC)

จากการทดสอบค่าความต่างความร้อนของสารของพอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เส้นใยเปลือกทุเรียน พอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่ได้เติมและเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่แตกต่างกัน ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อน (DSC) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของตัวอย่าง โดยวัดพลังงานความร้อนของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหลอมเหลว หรือการเปลี่ยนรูปผลึก แล้วเกิดการคายความร้อนหรือดูดความร้อนจากระบบ วัสดุพอลิเมอร์ที่มีผลึกเมื่อได้รับความร้อน ผลึกจะถูกทำลายทำให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว การทำลายโครงสร้างผลึกนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน พิกของช่วงอุณหภูมิที่เกิดการดูดความร้อนนั้นสามารถรายงานเป็นอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์แต่ละชนิดนั้นมีอุณหภูมิในการหลอมเหลวไม่เท่ากัน นอกจากนี้พื้นที่ใต้กราฟระหว่างการถ่ายเทความร้อนของตัวอย่าง (Heat flow) กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถบอกถึงปริมาณความร้อนที่ตัวอย่างใช้ในการหลอมเหลวหรือการเกิดผลึกได้ โดยการทดสอบนี้ทดสอบเริ่มที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการเพิ่มความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลที่ได้จากการทดสอบนี้แสดงดังตารางที่ 4.5 จากตารางที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพอลิแลคติกแอซิด มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเท่ากับ 60.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 152.9 องศาเซลเซียส พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่ากับ 115.6 องศาเซลเซียส สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ที่ไม่มีและมีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ที่อัตราส่วน 5%, 10% และ 15% โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มี การเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน จะพบอุณหภูมิ Glass Transition ใน neat PLA และ พอลิเมอร์ผสมที่มีการ

เติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน นั้นแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะจากแข็งคล้ายแก้วเป็นอ่อนนิ่มคล้ายยางของพอลิแลคติกแอซิดลดลง เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของการตกผลึกของพอลิเมอร์ผสมในระหว่างกระบวนการ Cooling พบว่าจะไม่พบช่วงอุณหภูมิในการตกผลึก (Crystallization Temperature;  $T_c$ ) ของ neat PLA แต่เมื่อเติมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ในพอลิเมอร์ผสมกลับพบว่า มีการปรากฏขึ้นของอุณหภูมิในการตกผลึก นั้นแสดงให้เห็นว่า neat PLA มีการตกผลึกที่ยากกว่า พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ในระหว่างขั้นตอนการเย็นตัว และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการตกผลึกซ้ำ (Cold Crystallization Temperature;  $T_{cc}$ ) และอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสม (Melting Temperature;  $T_m$ ) ในระหว่างกระบวนการขึ้นตอนให้ความร้อนครั้งที่ 2 (2<sup>nd</sup> Heating) พบว่า จะปรากฏตำแหน่งพิก  $T_{cc}$  อยู่ 2 ช่วงตำแหน่งในช่วงอุณหภูมิ 95-104 องศาเซลเซียส และ 115-120 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นลักษณะ (Characteristic) การตกผลึกซ้ำของพอลิแลคติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ตามลำดับ รวมถึงปรากฏตำแหน่งพิก  $T_m$  อยู่ 2 ช่วงตำแหน่งเช่นกัน ในช่วง

**ตารางที่ 5** แสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิในการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่เติมและไม่เติมเส้นใยเปลือกทุเรียน

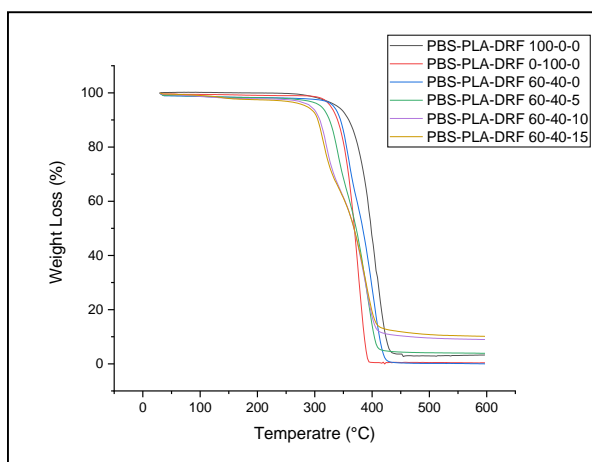
Sample	$T_g$	$T_c$	$T_{cc1}$	$T_{m1}$	% $X_{c1}$	$T_{cc2}$	$T_{m2}$	% $X_{c2}$	% $X_c$
PBS	-	66.3	95.0	115.6	79.81	-	-	-	79.81
PLA	60.3	-	-	-	-	123.4	152.9	1.55	1.55
PLA/PBS	60.3	79.8	101.7	117.9	11.41	-	150.5	29.12	40.52
PLA/PBS/DRF5	56.3	78.5	96	118.3	19.44	128.2	156.1	40.29	59.73
PLA/PBS/DRF10	55.9	76.6	102.7	118.5	59.25	125.3	156.9	40.75	100.00
PLA/PBS/DRF15	49.1	79.2	103.8	117.3	23.71	122.5	156.2	55.38	79.09

อุณหภูมิ 116-120 องศาเซลเซียส และ 150-157 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะของพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตไม่ได้ส่งผลต่ออุณหภูมิการหลอมเหลวของผลึก พอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต นอกเหนือจากนั้น พอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีความเข้ากันได้ไม่ดี (Immiscible) จึงทำให้มีการปรากฏของพิกทั้งสองเกิดขึ้น นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาปริมาณผลึก (%Crystallinity) พบว่าปริมาณผลึกของ neat PLA และ neat PBS จะมีปริมาณอยู่ที่ 79% 81% ตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่าพอลิแลคติกแอซิดมีการตกผลึกได้ยากกว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต แต่เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสมกลับพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ในพอลิเมอร์ผสม ปริมาณผลึกของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีแนวโน้มลดลงที่อัตราส่วน 5% และ 10% การตกผลึกของพอลิเมอร์ผสม จะถูกขัดขวางจากเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ทำให้ปริมาณผลึกในพอลิเมอร์ผสม มีปริมาณผลึกที่ลดลง แต่เมื่อเพิ่มเส้นใยจากเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วน 15% และ 10% นั้นแสดงให้เห็นว่า

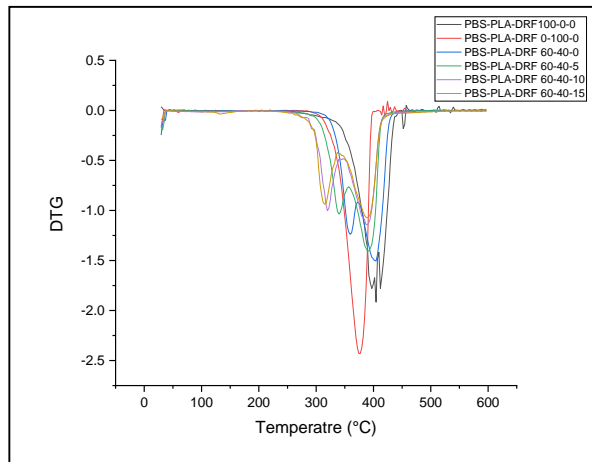
พอลิเมอร์ผสมมีการตกผลึกเพิ่มขึ้น โดย เส้นใยจากเปลือกทุเรียนจะทำหน้าที่เป็น Nucleating Site สำหรับพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต จึงมีการตกผลึกเพิ่มขึ้น ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่ม

### 7. Thermogravimetric Analysis (TGA)

จากภาพที่ 4 แสดงค่าน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) และภาพที่ 5 Derivative Thermogravimetric (DTG) เทียบกับอุณหภูมิ (Temperature) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับพอลิแลกติกแอซิดที่ไม่มีและมีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า พอลิแลกติกแอซิดมีอุณหภูมิในการสลายตัวสูงสุดที่ 407 องศาเซลเซียส และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีอุณหภูมิในการสลายตัวสูงสุดอยู่ที่ 376 องศาเซลเซียส นั้นแสดงให้เห็นว่า พอลิแลกติกแอซิดมีเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal Stability) ที่สูงกว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเริ่มต้นในการสลายตัว (Onset Temperature) พบว่าพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการสลายตัวที่ 323 องศาเซลเซียสและ 320 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกเหนือจากนั้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายตัว (End Temperature) พบว่าพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายตัวที่ 386 องศาเซลเซียส และ 420 องศาเซลเซียส นั้นแสดงให้เห็นว่า ช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวของพอลิแลกติกแอซิด มีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวที่แคบกว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และเมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ที่มีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียนในอัตราส่วนแตกต่างกัน พบว่าตำแหน่งของอุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดในพอลิแลกติกแอซิด และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต อยู่ในช่วง 360-376 องศาเซลเซียส และ 393-407 องศาเซลเซียส นอกเหนือจากนั้นจะพบลักษณะของ Peak DTG ที่มีลักษณะค่าความสูงของกราฟที่สามารถบอกถึงปริมาณพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในพอลิเมอร์ผสมได้



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักคงเหลือ (%Weight Residue) กับอุณหภูมิ (Temperature) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับพอลิแลกติกแอซิดที่ไม่มีและมีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน



ภาพที่ 6 แสดง Derivative Thermogravimetry (DTG) ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่มีและมีการเติมเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

### อภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการผลิตโฟมเชิงประกอบจากพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรองนอนสำหรับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการใส่เส้นใยเปลือกทุเรียน เพื่อเสริมแรงและเพิ่มความต้านทานทางความร้อน โฟมเชิงประกอบเตรียมโดยการหลอมผสมด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ (Twin screw extruder) และนำไปฉีดขึ้นรูปโฟมโดยใช้สารโซเดียม-ไบคาร์บอเนตเป็นสารก่อโฟมให้กับกระบวนการผลิตวัสดุรองนอน เพื่อนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ โดยผลของการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่แตกต่างกันสามารถสรุปได้ ดังนี้ 1) ผลการทดสอบแรงดึง พบว่าการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในโฟมพอลิเมอร์ผสม ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึง และค่ามอดูลัสเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน จะช่วยเสริมแรงให้กับโฟมพอลิเมอร์ผสมทำให้โฟมมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น พบว่าค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับโฟมพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน 2) ผลจากการทดสอบดัชนีการไหล (MFI) พบว่าเมื่อเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ในพอลิเมอร์ผสมพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตทำให้ค่าดัชนีการไหลเพิ่มขึ้น หรือมีความหนืดน้อยลงไหลได้ดีมากขึ้น 3) ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าการผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเสริมแรงด้วยเส้นใยเปลือกทุเรียน ไม่พบหมู่ฟังก์ชันใหม่เกิดขึ้น 4) ผลการทดสอบค่าความต่างความร้อนของสาร พบว่าการเติมเส้นใยเปลือกทุเรียน ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและอุณหภูมิการหลอมเหลวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเปรียบเทียบกับก่อนใส่เส้นใยเปลือกทุเรียน 5) โฟมพอลิเมอร์เชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียนในปริมาณ 15 phr (15 PLA/PBS-DRF) มีสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลจากการศึกษาข้างต้นผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยในอนาคต คือ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใส่เส้นใยเปลือกทุเรียน ในโฟมเชิงประกอบจากพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในปริมาณที่มากขึ้น ศึกษาฝุ่นละอองของวัสดุรองนอนสัตว์ก่อนและหลังการใช้

งาน และนำไปศึกษากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อดูพื้นผิวของวัสดุรองนอนจากโฟมซึ่งประกอบจากพอลิแลคติกแอซิดผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยเปลือกทุเรียน ในปริมาณที่แตกต่างกันว่ามีการสร้างเป็นแบบโฟมเซลล์เปิด (Open-Cell Foam) เป็นโฟมที่มีรูพรุนภายในเนื้อพลาสติกแต่ละเซลล์มีช่องทางเชื่อมต่อระหว่างกัน จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งอย่างที่ต้องการหรือไม่

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชिरารุณี เพชรเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยสัตว์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และสำนักงานเครื่องมือชั้นสูง ในการให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย และงบประมาณสนับสนุนในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณทางตลาดไอยรา ในการให้วัสดุและอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย และประสานงานในการขนส่งเปลือกทุเรียนในงานวิจัย ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง และ คณะอาจารย์ที่ช่วยเหลือในงานวิจัย และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบเครื่องมือเครื่องใช้ในการวิจัย ตลอดจนให้ข้อมูลแนะนำต่างๆ เป็นอย่างดี

### References

- Beg, M.D.H. & Pickering, K.L. (2008). Accelerated weathering of unbleached and bleached Kraft wood fibre reinforced polypropylene composites. **Polymer Degradation and Stability**, **93**(10), 1939-1946.
- Beg, M. D. H. & Pickering, K. L. (2008). Mechanical performance of Kraft fibre reinforced polypropylene composites: Influence of fibre length, fibre beating and hygrothermal ageing. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, **39**(11), 1748-1755.
- Bhatia, A., Gupta, R.K. Bhattacharya, S. & Choi, H.J. (2007). Compatibility of Biodegradable Poly (lactic acid) (PLA) and Poly (butylene succinate) (PBS) Blends for Packaging Application. **Korea-Australia Rheology Journal**, **19**(3), 125-131.
- Mengxia, D., Shan, Y., Jishuai, S., Haixin, J., Jianbo, Z., Cailing, T., Yaqin, H., Jie, P. & Chunhua, W. (2021). Development and characterization of electrospun nanofibers based on pullulan/chitin nanofibers containing curcumin and anthocyanins for active-intelligent food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, **187**, 332-340.
- Joseph, P.V., Marcelo, S.R., Mattoso, L., Kuruvilla, J. & Sabu, T. (2002). Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, **62**, 1357-1372.
- Kaliste, E., Linnainmaa, M., Meklin, T., Torvinen, E. & Nevalainen, A. (2004). The bedding of laboratory animals as a source of airborne contaminants. **Laboratory Animals Ltd. Laboratory Animals**, **38**, 25-37.
- Patpen, P., Russly, B., Rosnita, A. & Khalina, A. (2014). Extraction and Characterization of Cellulose from Durian Rind. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, **2**, 237-243.
- Vorawongsagul, S., Pratumpong, P. & Pechyen, C. (2021). Preparation and foaming behavior of poly (lactic acid)/poly (butylene succinate)/cellulose fiber composite for hot cups packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, **27**, 100608.
- Peng, Y., Hao, Y.M., An, H., Li, H.G., Bin, Y.C., Tai, R.K., Wen, J.M. & Xiang, F.P. (2015). Effect of Poly (butylenes succinate) on Poly(lactic acid) Foaming Behavior: Formation of Open Cell Structure. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, **54**(23), 6199-6207.