

การผลิตภาพยนตร์ด้วยวิธีทางชีวภาพจากกากกล้วย



นางสาวมลสุดา ลิ่วไชสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**PRODUCTION OF BIODEGRADABLE FOOD
PACKAGING FROM BANANA SHEATH**

Monsuda Liwthaisong



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2013**

การผลิตภาพยนตร์จากภาพถ่ายทางชีวภาพจากกล้อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานำผลงานชิ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.ธีรศักดิ์ คลวัชชัย)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ปราณี ชุมคำโรง)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปัญญา)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มลสุดา ลิ่วไชสง : การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย (PRODUCTION OF BIODEGRADABLE FOOD PACKAGING FROM BANANA SHEATH)

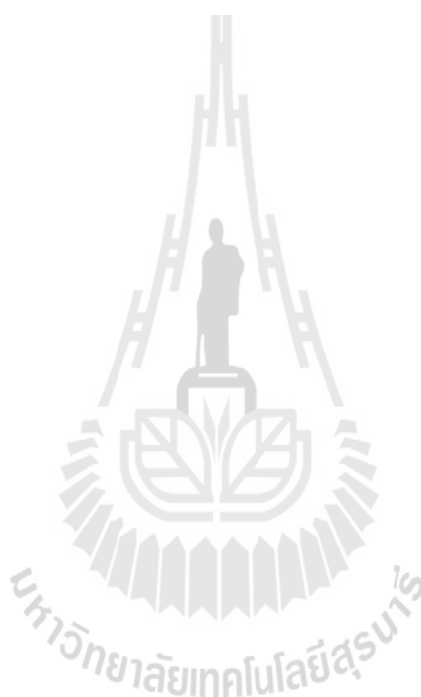
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์, 111 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นคิดค้นเกี่ยวกับการผลิตภาชนะจากแหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ โดยเป็นงานวิจัยเชิงทดลองซึ่งจะเลือกใช้กาบกล้วยที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่นเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเส้นใย และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ด้วยอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 75 : 25 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก กำหนดให้ความยาวของเส้นใยที่ใช้ในการศึกษามีสามขนาด คือ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร การขึ้นรูปใช้วิธีการอัดขึ้นรูปร้อน (Hot compression process) ที่อุณหภูมิ 150°C ความดัน 500 psi และใช้เวลาในการอัด 15 นาที จากนั้นจึงนำไปศึกษาอิทธิพลของความยาวเส้นใย ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของภาชนะ เพื่อจะได้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตภาชนะ

จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบการต้านแรงดัดโค้ง การทดสอบการต้านแรงดึง การทดสอบการต้านแรงกระแทก การทดสอบหาค่าความหนาแน่น การทดสอบหาค่าการซึมน้ำ การทนความร้อนและการศึกษาลักษณะวิทยาของวัสดุ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าปริมาณของเส้นใยมีผลกระทบต่อสมบัติทางกลอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือส่งผลให้ค่าสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง สมบัติการต้านแรงดึงมีค่าลดลง ในขณะที่สมบัติการต้านแรงกระแทกจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเมื่อปริมาณเส้นใยมีค่า 75% หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง อีกทั้งการเพิ่มปริมาณเส้นใยจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่าการซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่วนอิทธิพลของความยาวของเส้นใยนั้น พบว่าเมื่อเส้นใยมีความยาวเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้สมบัติการต้านแรงดัดโค้ง สมบัติการต้านแรงดึง สมบัติการต้านแรงกระแทกและค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการซึมน้ำของชิ้นงานจะมีค่าลดลง โดยชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพดีที่สุด คือ กรณีที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 โดยน้ำหนัก และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร สำหรับการศึกษาโครงสร้างลักษณะวิทยาพบว่าชิ้นงานที่มีการผสมตัวประสานจะมีผิวหน้าเรียบ แต่จะมีรูพรุนเกิดขึ้นภายในชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังศึกษาเกี่ยวกับสายพันธุ์มันสำปะหลังที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นคือ พันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เพื่อนำหัวมันสำปะหลังมาผลิตเป็นตัวประสาน โดยทำการสกัดแป้งด้วยวิธีอย่างง่าย จากนั้นจะทำการทดสอบเปรียบเทียบความหนืดของแป้งที่สกัดได้กับแป้งที่ทำซื้อได้ตามท้องตลาด จากผลทดสอบสมบัติของชิ้นงานที่ใช้ตัวประสานทั้งสามชนิด

เปรียบเทียบกัน พบว่าชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังที่ขายตามท้องตลาดจะมีค่าความหนืด และคุณสมบัติทางกลดีที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นงานที่ใช้ตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และแป้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ตามลำดับ



สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

MONSUDA LIWTHAISONG : PRODUCTION OF BIODEGRADABLE
FOOD PACKAGING FROM BANANA SHEATH. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. TAWIT CHITSOMBOON, Ph.D., 111 PP.

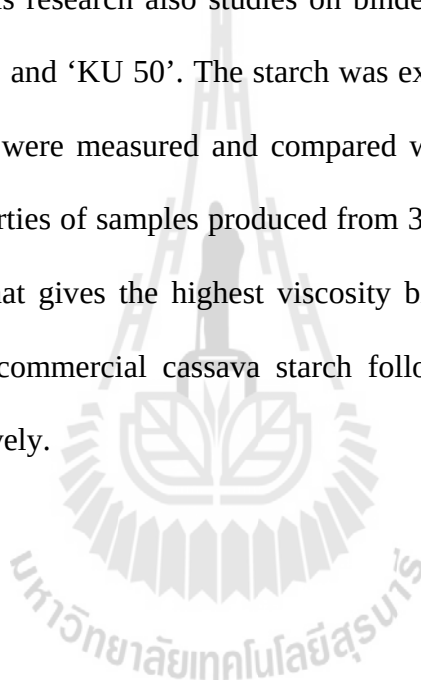
BIO-DEGRADABLE FOOD CONTAINER/BANANA SHEATH/CASSAVA
STARCH/MECHANICAL PROPERTIES/PHYSICAL PROPERTIES

This research aims to study biodegradable food container production from renewable resources with emphasis on experimentation. Food containers were produced and tested using local banana sheath as a main raw material and commercial cassava starch were used as binder. The ratio between banana fiber and binder were 66.67: 33.33 75: 25 and 100: 0 by weight. Three sizes of fiber length used in this study were 2, 5, and 10 millimeters. The biodegradable food containers were prepared by hot compression molding process at a temperature of 150°C and pressure of 500 psi with 15 minutes compression. Then mechanical and physical properties of products that affected by fiber content and fiber length were studied in order to determine the best condition for production process.

The mechanical and physical properties including flexural testing, tensile testing, impact testing, density measurement, water absorption, thermal stability and morphological observation were tested and measured. Results indicated that fiber content affects the mechanical properties significantly. As the fiber content increase, flexural and tensile properties decreased, in contrast impact properties reached its maximum value of impact strength at 75% of fiber content then decreased thereafter. Increasing in fiber content course the increasing in density and water absorption, while

increasing in fiber length cause increasing in flexural, tensile and impact properties and density but decreasing water absorption property. The results also showed that the best banana fiber to binder ratio for production process was 66.67 : 33.33 by weight with 10 millimeters of banana fiber length. From morphology observation, It's found that samples with binder mixed have more smooth surface but more porous than those without binder.

In addition, this research also studies on binder extracted from local cassava starch 'Huay bong 60' and 'KU 50'. The starch was extracted by simple method, and their binder viscosity were measured and compared with commercial starch binder. The mechanical properties of samples produced from 3 binders were tested and found that the best starch that gives the highest viscosity binder and the best mechanical properties sample is commercial cassava starch following by Huay bong 60, and KU 50 starch respectively.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ หากไม่ได้รับความกรุณาจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย และคอยเคียงข้างผู้วิจัยจนทำให้สามารถก้าวผ่านอุปสรรคต่าง ๆ ได้อย่างภาคภูมิใจ ตลอดจนเป็นแบบอย่างที่ดีให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยซาบซึ้งในความปรารถนาดีและจักได้นำแบบอย่างของท่าน ไปใช้ในการทำงานการดำรงชีวิต ตลอดจนจักเผยแพร่ และเป็นแบบอย่างที่ดีแก่สังคมในภายภาคหน้าต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรลักษณ์ รอดทอง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการทดลอง และคอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณบุคคลดังต่อไปนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอระลึกไว้ตลอดไป

คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์และคุณอาภรณ์พรรณ ศรีอัครวิทยา เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไปของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ช่วยอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับงานทางด้านเอกสารต่าง ๆ

อาจารย์พรสวรรค์ ทองใบ คุณจารุวรรณ ตั้งต้นสกุลวงศ์ คุณวิกันดา ศรีเดช คุณสุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ คุณวิโรจน์ แบบพิมายและคุณธีรวัฒน์ คล้ายคล้าย ผู้ร่วมกลุ่มวิจัย ซึ่งคอยเป็นที่ปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยและให้กำลังใจเสมอมา

คุณจิรทีป สุทธิลักษณ์ และคุณศรัณย์ ดอกไม้กุล เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมพอลิเมอร์และวิศวกรรมเคมี ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในงานวิจัย

คุณนที ฐานมั่น คุณบัญชา คนฉลาด และคุณพิชญ์ สุวรรณสิงห์ ทั้งสามท่านนี้ช่วยในการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย และคอยช่วยเหลือในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานและเป็นที่ปรึกษาในการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะรวมไปถึงกระบวนการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงาน

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูบูชาแด่คุณพ่อสุรยุทธ ลิวโรตงและคุณแม่กมลวรรณ ลิวโรตง บิดาและมารดาผู้เป็นที่รักยิ่ง จวบจนครุบาอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาตั้งแต่เล็กจนเติบโต

มลสุดา ลิวโรตง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ณ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ต

บทที่

1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3	ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2	ปริทรรศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1	ปริทรรศน์วรรณกรรม.....	4
2.2	พลาสติกย่อยสลายได้.....	8
2.2.1	พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradable plastics)	8
2.2.2	พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation plastics)	9
2.2.3	พลาสติกย่อยสลายด้วยแสง (photodegradable plastics).....	9
2.2.4	พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis degradation plastics)	9
2.3	พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastics)	10
2.3.1	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	11
2.3.2	ตัวอย่างพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3	การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....	15
2.3.4	ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	15
2.4	กล้วย.....	16
2.4.1	กล้วยน้ำว้า.....	17
2.4.2	กล้วยหอมทอง.....	18
2.4.3	กล้วยไข่.....	18
2.5	เส้นใย.....	18
2.5.1	เส้นใยจากธรรมชาติ (natural fibers)	18
2.5.2	เส้นใยสังเคราะห์ (synthetic fibers)	20
2.5.3	สมบัติของเส้นใย	21
2.6	กาว (adhesive)	22
2.7	มันสำปะหลัง (cassava)	23
2.7.1	มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60	23
2.7.2	มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50	23
2.8	แป้ง (starch).....	24
2.8.1	อะไมโลส (amylose)	24
2.8.2	อะไมโลเพกติน (amylopectin).....	24
2.9	กระบวนการขึ้นรูป	28
2.9.1	การอัดขึ้นรูป (compression molding)	28
2.9.2	แม่พิมพ์ (mold).....	29
2.10	การทดสอบทางกล.....	31
2.10.1	การทดสอบแรงดัดโค้ง (bending test).....	31
2.10.2	การทดสอบแรงดึง (tensile test)	34
2.10.3	การทดสอบแรงกระแทก (impact test)	36
2.11	กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	38
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1	กล่าวนำ.....	41
3.2	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	42
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	43
3.4	วิธีการทดลอง	44
3.4.1	การเตรียมเส้นใยกล้วย.....	44
3.4.2	การเตรียมตัวประสาน	45
3.4.3	การเตรียมแป้งจากหัวมันสำปะหลัง	45
3.4.4	การเตรียมขึ้นทดสอบโดยการขึ้นรูปแบบอัดด้วยความร้อน.....	46
3.4.5	วิธีการทดสอบแรงดัดโค้ง	47
3.4.6	วิธีการทดสอบแรงดึง	48
3.4.7	วิธีการทดสอบแรงกระแทก.....	48
3.4.8	การทดสอบหาค่าความหนาแน่น.....	49
3.4.9	การทดสอบสมบัติการซึมน้ำ.....	49
3.4.10	การทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	49
3.4.11	การศึกษาสัณฐานวิทยา.....	50
3.4.12	การวัดความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง	50
4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	51
4.1	กล่าวนำ.....	51
4.2	สภาวะการอัดขึ้นรูปวัสดุที่เหมาะสม	51
4.2.1	อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปวัสดุ	52
4.2.2	อิทธิพลของความดันที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปวัสดุ.....	52
4.2.3	อิทธิพลของระยะเวลาที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปวัสดุ.....	52
4.3	ผลการทดสอบสมบัติทางกล.....	53
4.3.1	ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุ.....	53
4.3.2	ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ.....	55
4.3.3	ผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุ	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ	62
4.4.1 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ	63
4.4.2 ผลการทดสอบหาค่าการซึมผ่านของวัสดุ	65
4.4.3 ผลการทดสอบการทนความร้อนของวัสดุ	67
4.4.4 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา	69
4.5 ผลการเปรียบเทียบสายพันธุ์มันสำปะหลังในท้องตลาด ที่มีสมบัติเป็นกาวเหนียวที่ดี	74
4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต	79
4.6.1 การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต	79
4.6.2 การประมาณค่าวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต	80
4.6.3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพระหว่าง ภาชนะโพลีและภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย	81
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	82
5.1 กล่าวนำ	82
5.2 สรุปผล	82
5.3 ข้อเสนอแนะ	83
รายการอ้างอิง	84
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะและแม่พิมพ์	88
ภาคผนวก ข. อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบ	94
ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	101
ประวัติผู้เขียน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของกากกล้วย.....	17
2.2	สมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....	25
2.3	องค์ประกอบของแป้งชนิดต่าง ๆ	26
2.4	อุณหภูมิการเกิดเจลลิตในซ์ของแป้งชนิดต่างๆ	27
3.1	แสดงอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป.....	47
4.1	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วย และผลการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุ.....	53
4.2	ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 % ของค่าความแข็งแรงดัดโค้ง	54
4.3	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วย และผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ.....	56
4.4	ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 % ของค่าความแข็งแรงดึง	57
4.5	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วย และผลการทดสอบแรงกระแทกของวัสดุ.....	60
4.6	ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 % ของค่าความแข็งแรงกระแทก	60
4.7	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วย และผลการค่าความหนาแน่นของวัสดุ.....	63
4.8	ผลการคำนวณทางสถิติของค่าความหนาแน่นด้วยการวิเคราะห์ ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 %	63
4.9	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วย และผลการค่าการซึมน้ำของวัสดุ.....	65
4.10	ผลการคำนวณทางสถิติของค่าการซึมน้ำด้วยการวิเคราะห์ ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น95%	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11	แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของแป้งมันสำปะหลังทั่วไปตามท้องตลาด และที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 75
4.12	แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต ภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย 79
4.13	อัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้า เฉลี่ยในเวลา 15 นาที สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้า เครื่องเดียว (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2555)..... 79
4.14	แสดงการคำนวณค่าวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตภาชนะ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย..... 80
4.15	แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพระหว่าง ภาชนะโฟมและภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย..... 81



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วัฏจักรพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ 8
2.2	โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด (PLA)..... 12
2.3	โครงสร้างทางเคมีของพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs) 13
2.4	โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)..... 14
2.5	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 19
2.6	โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส..... 20
2.7	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส..... 24
2.8	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน 25
2.9	ลักษณะของเครื่องอัด (Compression molding) 29
2.10	แม่พิมพ์แบบบวก (Fully positive mold) 30
2.11	แม่พิมพ์แบบกึ่งบวก (Semi-positive mold) 30
2.12	แม่พิมพ์แบบบาง (Flash mold) 31
2.13	หลักการทดสอบแรงดัดโค้ง 32
2.14	หลักการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด 33
2.15	หลักการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด 34
2.16	แสดงขั้นตอนทดสอบแรงดึงแบบแผ่นก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ 36
2.17	ขั้นตอนทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีและแบบไอซอด 37
3.1	แสดงแผนผังกระบวนการทำงานโดยสังเขป 41
3.2	ภาพกล้วยสด..... 42
3.3	แป้งมันสำปะหลังแบบไม่ดัดแปร 43
3.4	เส้นใยกล้วยน้ำว้า..... 45
3.5	แป้งที่สกัดได้จากหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60..... 46
3.6	ขั้นตอนทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง..... 47
3.7	ขั้นตอนทดสอบสมบัติการต้านแรงดึง..... 48
3.8	ขั้นตอนทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทก 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (a) ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (b) ความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยของวัสดุ 55
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ 57
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (a) และค่าร้อยละการยืด (b) ความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยของวัสดุ 58
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทก ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ 61
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความความหนาแน่น ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ 64
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมผ่าน ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ 66
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมวลเทียบกับอุณหภูมิ ของชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยเท่ากับ 66.67 : 33.33 75 : 25, 100 : 0 และแป้งมันสำหรั่ง 68
4.8	แสดงภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 2 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 (a) 75 : 25 (b) และ 100 : 0 (c) ตามลำดับ 70
4.9	แสดงภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 (a) 75 : 25 (b) และ 100 : 0 (c) ตามลำดับ 71
4.10	แสดงภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 (a) 75 : 25 (b) และ 100 : 0 (c) ตามลำดับ 72
4.11	ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 2 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใย 66.67 % 73
4.12	ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใย 66.67 % 74
4.13	ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใย 66.67 % 74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและตัวประสาน จากแป้งมันสำหหลังจากสายพันธุ์ต่าง ๆ.....	75
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดัดโค้ง(a) ค่าความแข็งแรงดึง(b) และตัวประสานจากแป้งมันสำหหลังจากสายพันธุ์ต่าง ๆ	77
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกและตัวประสาน จากแป้งมันสำหหลังจากสายพันธุ์ต่าง ๆ.....	78
ก.1 แผนภาพเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน.....	89
ก.2 เครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะ.....	90
ก.3 แผนภาพแม่พิมพ์ตัวเมีย	91
ก.4 แผนภาพแม่พิมพ์ตัวผู้.....	91
ก.5 แม่พิมพ์ตัวเมีย.....	92
ก.6 แม่พิมพ์ตัวผู้.....	92
ก.7 ตัวอย่างภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย.....	93
ก.8 ตัวอย่างการใช้งานภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย.....	93
ข.1 เครื่องปั่น.....	95
ข.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบ 4 ตำแหน่ง.....	95
ข.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบ 2 ตำแหน่ง.....	96
ข.4 เวอร์เนียร์ดิจิตอล.....	96
ข.5 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ขนาด 30 ตัน.....	97
ข.6 เตาอบ.....	97
ข.7 แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นงานทดสอบ.....	98
ข.8 แผ่นเทฟลอน	98
ข.9 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ขนาด 5 kN	99
ข.10 เครื่องทดสอบการต้านแรงกระแทกแบบไอซอด	99
ข.11 เครื่องวัดความหนืด.....	100
ข.12 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA 7)	100

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

%	=	Percent
°C	=	Degree Celsius
g	=	Gram
J	=	Joule
kJ	=	Kilo joule
kN	=	Kilo Newton
kPa	=	Kilopascal
cm	=	Centimeter
mm	=	Millimeter
cm ²	=	Square Centimeter
m ²	=	Square Meter
cm ³	=	Cubic Centimeter
MPa	=	Megapascal
PLA	=	Polylactic acid
PVOH	=	Polyvinyl alcohol
EPS	=	Expanded polystyrene

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เริ่มต้นจากน้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ ไปสู่กระบวนการผลิตสังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง และพัฒนาไปสู่วัสดุพอลิเมอร์ เส้นใย หรือพลาสติกชนิดต่าง ๆ ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มานานกว่าร้อยปี แต่ด้วยข้อจำกัดด้านปริมาณของวัตถุดิบน้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ ซึ่งประมาณการได้ว่าจะต้องหมดไปในที่สุด และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีโดยเฉพาะการเผาไหม้ยังก่อให้เกิดการสะสมของมลภาวะ ซึ่งได้ขยายไปในวงกว้างต่อระบบนิเวศน์ของโลก ทำให้เกิดการคิดค้นและพัฒนากระบวนการใหม่ รวมถึงการสร้างนวัตกรรมเพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีอย่างครบวงจรภายในเวลาอันรวดเร็ว

พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิต หากเราได้มีโอกาสไปเดินซื้อสินค้าไม่ว่าที่ใดก็ตามจะพบว่าผลิตภัณฑ์เกือบทุกชนิดที่เราซื้อ อาหารส่วนใหญ่ที่เรารับประทานและเครื่องใช้จำนวนมากที่เราสัมผัสอยู่ ในภาชนะที่เรียกว่าพลาสติกด้วยกันทั้งสิ้น การใช้พลาสติกมีปริมาณสูงขึ้นตามจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี ในทำนองเดียวกันของเหลือทิ้งที่มาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกก็ย่อมมีมากตามไปด้วย สมบัติของพลาสติกที่มีการย่อยสลายช้ากลายเป็นปัญหาไปทั่วโลก เพราะถ้าไม่มีการกำจัดที่ถูกต้องก็จะมีแต่ทับถมกันมากขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นพลาสติกที่ย่อยสลายขึ้นมาในรูปแบบต่าง ๆ

พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastics) เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการกำจัด ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งจากนักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนนักอุตสาหกรรมชั้นนำทั่วโลก โดยพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้นั้นผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (renewable resource) ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและสารชีวมวล ได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน

เมื่อพิจารณาประเทศหรือกลุ่มประเทศธุรกิจหลักแล้ว จะเห็นได้ว่าการตื่นตัวด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพทั้งด้านนโยบาย การวิจัยและพัฒนา อุตสาหกรรม และการสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อเร่งรัดให้เกิดการทดแทนพลาสติกทั่วไปนั้นเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีขั้นตอนชี้ทิศทางอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ในระดับนโยบาย ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ตั้งเป้าหมายที่จะให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์จากชีวมวล (biomass) จากปริมาณ 5% ในปี 2002 เพิ่มขึ้นเป็น 12 % ในปี 2010 และ 20% ในปี 2030 กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปได้ออกมาตรการให้รถยนต์ในกลุ่มประเทศยุโรปต้องประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่สามารถใช้ซ้ำ (reuse) หรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycled) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 โดยน้ำหนักภายในวันที่ 1 มกราคม 2549 ทั้งนี้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งสอดคล้องกับนโยบายดังกล่าว

ปัจจุบันได้มีการคิดค้นภาชนะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมขึ้นมา เรียกว่า ภาชนะบรรจุภัณฑ์อาหารชีวฐาน (Bio-based food packaging) โดยจะทำขึ้นจากวัสดุธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable resource) และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์อาหารชีวฐาน คือ แป้ง (starch) ซึ่งมีอยู่มากใน มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ข้าวโพด เป็นต้น แต่ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติที่ผลิตจากแป้ง (starch) ราคาต้นทุนยังสูงอยู่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่นำออกมาขายนั้นมีราคาแพงกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์อยู่หลายเท่า ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาหาผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารจากวัสดุธรรมชาติโดยในทีนี้จะเป็นการผลิตจากกากกล้วยแทน ซึ่งจะนำมาบดแล้วอัดขึ้นรูปร้อนจนได้ภาชนะออกมา เพื่อที่จะใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากปิโตรเลียม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นจะมีการนำไปทดสอบสมบัติทางกล สมบัติการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น สมบัติทนทานต่อความร้อน ซึ่งเมื่อผ่านการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุย่อยสลายได้นี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ สามารถนำไปใช้งานทดแทนกันได้ เพื่อจะช่วยให้มลภาวะของโลกลดน้อยลงและลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนนั่นเอง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษากรรมวิธีการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วยโดยใช้ตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของขนาดความยาวของชิ้นกากกล้วยป่นละเอียด ปริมาณของกากกล้วยและปริมาณของตัวประสานจากธรรมชาติ สำหรับใช้ในการขึ้นรูป

1.2.3 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

1.2.4 เพื่อเพิ่มหาสายพันธุ์มันสำปะหลังในท้องตลาดที่สามารถนำมาทำเป็นกาวเหนียวที่ดี

1.2.5 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปรีออนและแม่พิมพ์สำหรับการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ระบบการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดความดัน (Compression process)

1.3.2 ใช้กากกล้วยน้ำว้าผสมกับตัวประสานจากธรรมชาติ คือ กาวแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.3.3 เปรียบเทียบสายพันธุ์มันสำปะหลังในท้องตลาดที่มีสมบัติเป็นกาวเหนียวที่ดีอย่างน้อย 2 สายพันธุ์

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของวัสดุด้วยมาตรฐาน ASTM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้กรรมวิธีการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วยและสามารถนำไปพัฒนาในภาคอุตสาหกรรมต่อไปได้

1.4.2 สามารถใช้กากกล้วยซึ่งเป็นวัตถุดิบราคาถูกที่สามารถปลูกทดแทนขึ้นใหม่ได้ (Renewable resource) มาผลิตเป็นภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพแทนวัตถุดิบจากปิโตรเลียม

1.4.3 ช่วยเพิ่มมูลค่าของกากกล้วยด้วยการนำมาผลิตเป็นภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.4.4 สามารถลดการก่อปัญหาการปล่อยมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อมเนื่องจากการใช้โฟมและพลาสติกสังเคราะห์

บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริทรรศน์วรรณกรรม

ปัจจุบันภาชนะสำหรับบรรจุอาหารชนิด “ใช้แล้วทิ้ง” ส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัสดุโฟมหรือพลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่สามารถที่จะย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติหรือถ้าสลายได้ก็อาจจะต้องใช้เวลาหลายร้อยปีก่อนให้เกิดปัญหาขยะพลาสติก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการคิดค้นภาชนะบรรจุอาหารสำหรับใช้ครั้งเดียว จากกากกล้วยที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตและการทดสอบคุณสมบัติคล้าย ๆ กับภาชนะที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ทำจากแป้ง (Starch) ซึ่งส่วนมากจะผลิตออกมาในรูปของถาดโฟม

Siracusa (2008) ได้กล่าวถึงภาพรวมของภาชนะบรรจุภัณฑ์อาหารย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable food packaging) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบ คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum – based biodegradable) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากวัตถุดิบธรรมชาติ ซึ่งกระบวนการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ (1) การย่อยสลายด้วยวิธีการทางชีวภาพ (2) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (3) การย่อยสลายด้วยแสง และ (4) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายเรียบร้อยแล้วได้ผลผลิตเป็นน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และสารชีวมวลที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้บทความยังกล่าวถึงการทดสอบสมบัติทางกล สมบัติการส่งผ่านออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และความชื้น ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย

ส่วนมากในการผลิตภาชนะสำหรับบรรจุอาหารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นมักจะใช้กรรมวิธี โดยการอัดขึ้นรูปร้อน Tiefenbacher (1993) วิจัยเกี่ยวกับการผลิตถาดโฟมโดยมีส่วนผสมเป็นแป้งและน้ำ ผ่านการขึ้นรูปโดยการอัดด้วยแม่พิมพ์ร้อน ผลที่ได้คือถาดโฟมที่ได้ออกมาค่อนข้างมีความเปราะ ไม่มีความยืดหยุ่น และมีความสามารถในการต้านทานน้ำไม่ดี จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในการบรรจุอาหารที่มีความชื้นมากหรือเปียกได้

งามทิพย์ ภู่วโรดม และ สายสนม ประดิษฐ์ดวง (2540) ได้จัดทำเครื่องขึ้นรูปต้นแบบพร้อมแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาสูตรแป้งที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปแบบอัดร้อน เครื่องขึ้นรูปต้นแบบทำงานโดยระบบไฮดรอลิก มีแม่พิมพ์พร้อมแผ่นความร้อนฝังในแม่พิมพ์สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส ปรับตั้งเวลาการให้ความร้อนได้ในหน่วยวินาที ซึ่งพบว่าการขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับแป้งจะใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ตัวผู้ 180 องศาเซลเซียส แม่พิมพ์ตัวเมีย 200 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอัด 2 นาที

นอกจากนี้ยังได้มีผู้วิจัยคิดค้นเกี่ยวกับการเสริมแรง การเพิ่มคุณสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานน้ำให้กับภาชนะที่ผลิตจากแป้ง ด้วยเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติและสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ

Shorgen et al. (2002) ศึกษาเกี่ยวกับภาชนะสำหรับบรรจุอาหารแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งหรือที่เรียกว่าถาดโฟมแป้ง จากแป้งดัดแปร (modified starches) และแป้งไม่ดัดแปร (unmodified starch) ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง (potato amylopectin) แป้งข้าวโพดพันธุ์เหนียว (waxy corn starch) และแป้งข้าวโพด (corn starch) อีกทั้งยังมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ของถาดโฟมแป้งให้ดีขึ้น จากการศึกษาพบว่าถาดโฟมแป้งที่ทำจากแป้งดัดแปรจะใช้เวลาในการอบน้อยกว่า มีน้ำหนักเบากว่า และมีการยืดตัว ณ จุดขาดมากกว่าถาดโฟมแป้งที่ทำจากแป้งไม่ดัดแปร และที่ค่าความชื้นต่ำ ๆ ถาดโฟมแป้งที่ทำขึ้นจากแป้งดัดแปรผสมกับ polyvinyl alcohol จะให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่าแป้งไม่ดัดแปรที่ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ การเพิ่มเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อนเข้าไปจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของถาดโฟมแป้ง และการเพิ่มโมโนสเตียริลซิเตรท (Monostearyl citrate) ช่วยเพิ่มความต้านทานน้ำของถาดโฟม ถาดโฟมที่ทำจากแป้งมันฝรั่งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน และโมโนสเตียริลซิเตรท จะให้ค่าความยืดหยุ่น ค่าความสามารถในการต้านทานน้ำของถาดโฟมที่เหมาะสม

Soykeabkaew et al. (2004) ศึกษาลักษณะของโฟมแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาและเส้นใยป่าน โดยทำการอัดขึ้นรูปโฟมแป้งด้วยแม่แบบร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 150 วินาที พบว่าเมื่อทำการเติมเส้นใยร้อยละ 5 – 10 จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง ค่ามอดุลัสแรงดัดโค้งของโฟมแป้งมีค่ามากขึ้น โดยเส้นใยปอกระเจาจะมีความต้านทานแรงดัดโค้งได้มากกว่าเส้นใยป่านและค่าความชื้นที่มีค่าอยู่ระหว่าง 8 – 10% จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดัดโค้งและค่ามอดุลัสแรงดัดโค้งสูงที่สุด

Cinelli (2005) ทำการศึกษาโฟมที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อจะใช้แทนโฟมที่ทำจากพอลิสไตรีน โดยถาดโฟมจะมีองค์ประกอบหลัก คือ แป้งมันฝรั่ง เส้นใยข้าวโพด และโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบขึ้นรูปในแม่แบบที่มีอุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 120 – 180 วินาที จากการศึกษาปรากฏว่าเมื่อมีการเพิ่มเส้นใยข้าวโพดเข้าไปในส่วนผสม เส้นใยข้าวโพดช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโฟมเท่านั้น ไม่ได้เป็นวัสดุช่วยเสริมแรงของโครงสร้างถาดโฟมเลย และเมื่อเพิ่มเส้นใยข้าวโพดในปริมาณมากจะมีผลทำให้เวลาในการอบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนการเพิ่มโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปนั้น จะทำให้มีความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงดัดของถาดโฟมเพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการต้านทานการดูดซับน้ำของถาดโฟมเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบโมเลกุลหนักจะทำหน้าที่ได้ดีกว่าโพลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบโมเลกุลเบา

Kinnoshita et al. (2009) ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุกรีนคอมโพสิตด้วยวัสดุชีวภาพและมีการเสริมแรงด้วยเส้นใยไฟเบอร์และใช้เรซินแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Landy CP - 100) เป็นตัวประสานจากการศึกษาพบว่าการใช้เส้นใยไฟเบอร์เข้าไปช่วยเสริมแรงและการเติมเรซินแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพช่วยปรับปรุงสมบัติทางด้านความแข็งแรงและการต้านทานน้ำของวัสดุคอมโพสิต คือเมื่อมีการเติมตัวประสานและเพิ่มความยาวของเส้นใยไฟเบอร์จาก 10 มิลลิเมตรเป็น 30 มิลลิเมตร จะช่วยให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งของวัสดุคอมโพสิตมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำวัสดุคอมโพสิตไปทดสอบการต้านแรงกระแทกยังพบว่ามีการเติมตัวประสานจะช่วยทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาการเพิ่มของความยาวเส้นใยจะช่วยปรับปรุงค่าความแข็งแรงกระแทกและค่าการต้านทานน้ำของวัสดุให้ดียิ่งขึ้น จากการทดสอบพบว่าความยาวของเส้นใยไฟเบอร์ที่ให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งและค่าความแข็งแรงกระแทกสูงที่สุด คือ 30 มิลลิเมตร

Sumaila et al. (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของความยาวเส้นใย (5 - 25 มิลลิเมตร) ที่มีต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยกล้วย ผลที่ได้คือ ค่าการดูดซับน้ำและช่องโหว่ภายในชิ้นงานที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความยาวเส้นใย ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของวัสดุมีค่าลดลงตามไปด้วย ในส่วนของสมบัติทางกลการเพิ่มความยาวเส้นใยจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส และค่าร้อยละการยืด มีค่าสูงสุดเมื่อเส้นใยยาว 15 มิลลิเมตร โดยมีค่าเท่ากับ 67.2 MPa 653.07 MPa และ 5.9% ตามลำดับ อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของความยาวเส้นใยถึง 25 มิลลิเมตร ยังส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งและค่าความแข็งแรงกดมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่ในทางกลับกันค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลง

ณัฐพล ไช้แสงศรี และคณะ (2553) ได้พัฒนากรดโพลีแอมไนด์สำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ในการบรรจุส้มโอตัดแต่งสด โดยนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับไฟเบอร์จากเยื่อคราฟท์และไคโตแซน โดยใช้เทคนิค Baking in hot mold ที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 3 นาที พบว่ากรดโพลีแอมไนด์ที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 80 กรัม ผสมกับเยื่อคราฟท์ 30% ของแป้ง และไคโตแซนที่มีความเข้มข้น 4 % มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงใกล้เคียงกับโพลีเอทิลีนจากพอลิโพรพิลีน แต่การดูดซับน้ำและการละลายน้ำของโพลีแอมไนด์มีค่าสูงกว่าโพลีเอทิลีนจากพอลิโพรพิลีน จึงมีการพัฒนาประสิทธิภาพของกรดโพลีแอมไนด์โดยการเติมสารเติมแต่งเข้าไป 2 ชนิด คือ น้ำมันถั่วเหลือง และ polyvinyl alcohol (PVOH) พบว่าไม่มีผลต่อแรงต้านทานการดึงขาดและการยืดตัวของโพลีแอมไนด์ แต่ทำให้การดูดซับน้ำและการละลายน้ำลดลง เมื่อนำกรดโพลีแอมไนด์ผสมไฟเบอร์ และไคโตแซนที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองและ PVOH 10% มาใช้บรรจุส้มโอตัดแต่งสด พบว่ากรดโพลีแอมไนด์ที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองมีสมบัติที่ดีกว่ากรดโพลีแอมไนด์ที่เติม PVOH

แสงสุริย์ โรจน์สกุลวงศ์ (2540) ได้สกัดเส้นใยจากใบสับปะรดแห้ง ที่มีความชื้น 2.5 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งประกอบไปด้วย เซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า ร้อยละ 35.84 6.09 และ 7.15 ตามลำดับ แล้วนำเส้นใยสับปะรดที่ได้ไปผลิตถาด ปริมาณ 2 กรัม โดยผสมกับแป้งมันสำปะหลังคัด แปร 26 กรัม และสารยึดเหนี่ยวโกล์สปีนัม ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแป้ง จะให้ถาดที่มีผิวเรียบ แฉวฉว มีสีเหลืองอ่อนหรือสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะที่บวมหนาและน้ำหนักเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และ 26 กรัม ให้ค่าการต้านแรงคดโค้งและการต้านแรงกด มีค่ามากกว่าของถาดที่ผลิตจากแป้งมัน สำปะหลังที่ผสมกับสารยึดเหนี่ยวอื่น ๆ และเมื่อคิดเทียบกับปริมาณแป้งที่ใช้ผลิต 1 ถาด จะให้ค่า การดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าถาดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

ปราณี ชุมสำโรง (2547) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย ธรรมชาติที่มีในประเทศไทย โดยเส้นใยธรรมชาติที่เลือกใช้ ได้แก่ เส้นใยกล้วยและเส้นใยป่าน สรนารายณ์ ซึ่งพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ทำการศึกษเตรียมโดยผสมพอลิโพรพิลีนเข้ากับเส้นใยใน อัตราส่วน 1 -10% จากผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลซึ่งประกอบด้วยการทดสอบสมบัติการดึงและ การทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก พบว่า ค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ประกอบจากเส้นใย ทั้งสองชนิดมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้ปริมาณเส้นใยต่ำ (1 - 5%) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย มากขึ้นค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงลดลง ที่เปอร์เซ็นต์เส้นใยเท่ากับพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้น ใยกล้วยน้ำว้ามีค่ามอดูลัสและค่าความแข็งแรงในเชิงการดึงสูงกว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้น ใยป่าน สรนารายณ์เล็กน้อย ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์เชิงประกอบจากเส้นใย ทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าลดลงตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากการตรวจสอบลักษณะ โครงสร้างของพอลิเมอร์เชิงประกอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าพอลิเมอร์เชิงประกอบที่ใช้ปริมาณเส้น ใยสูงมีแนวโน้มที่จะเกิดรอยโหว่ภายในชิ้นงาน

วลัย หุตะโกวิท และคณะ (2543) ศึกษาและผลิตกระดาษจากกากกล้วยโดยใช้สารเคมีผสม กับแป้งมันสำปะหลัง เพื่อช่วยให้เนื้อกระดาษมีความมันเงางาม มีความเหนียวพอสมควร สามารถ พับและม้วนตัวได้ด้วยความร้อน โดยกระดาษที่ได้จากกากกล้วยนั้นสามารถนำไปใช้ในงาน ประดิษฐ์ได้ในระดับหนึ่ง เช่น ปกสมุด บัตรอวยพร ผลิตภัณฑ์เปเปอร์มาเช่ ดอกไม้ประดิษฐ์ กรอบ รูป เป็นต้น

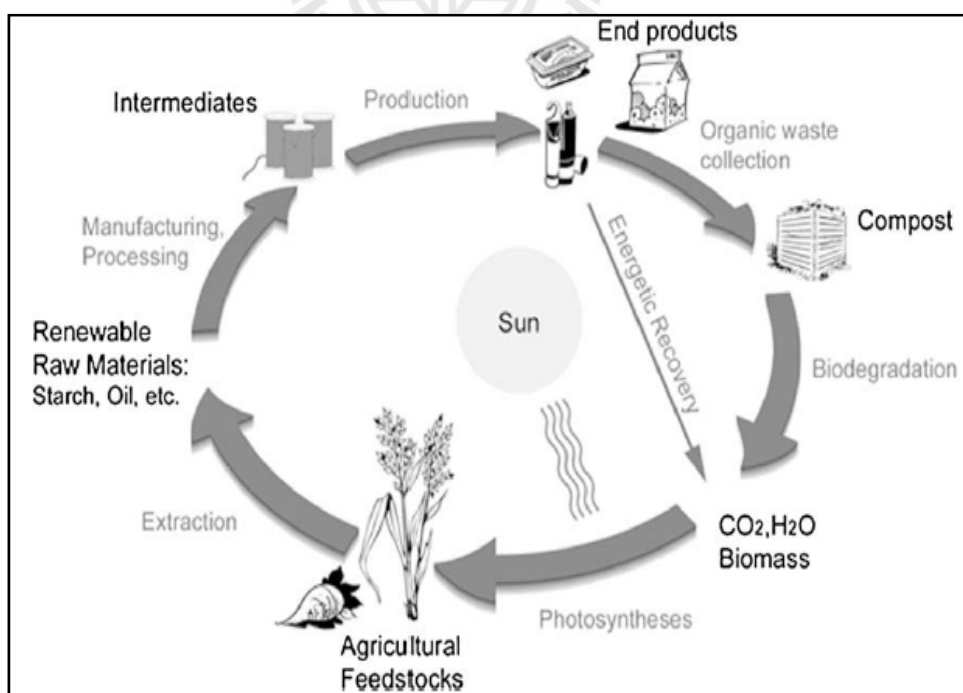
บุษบา สร้อยระย้า และคณะ (2554) ได้คิดค้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมจากเส้น ใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปขึ้นมา ได้แก่ ซอง กล่องกระดาษ ถ้วยกระดาษ และถุงกระดาษ โดยทำการแปรรูปกากกล้วยให้อยู่ในรูปของกระดาษก่อน แล้วจึงนำกระดาษที่ได้ ไปออกแบบบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ

2.2 พลาสติกย่อยสลายได้

พลาสติกย่อยสลายได้เป็นพลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ พลาสติกที่ย่อยสลายได้สามารถจำแนกตามกลไกของการย่อยสลายได้ ดังต่อไปนี้

2.2.1 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradable plastics)

เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดหนึ่งที่มีกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และแบคทีเรียในธรรมชาติ เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ ชีวมวล ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืช รวมถึงมันสำปะหลังและข้าวโพด ที่เป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับผลิตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนั้นวงจรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงมีรูปแบบ คือ มีสมบัติในการใช้งานเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม คือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นก็จะเกิดการย่อยสลายได้ โดยเฉพาะเมื่อถูกฝังกลบ และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการย่อยสลาย โดยพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ผลิตขึ้นโดยใช้กระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยนสภาพจากแป้งที่ได้จากมันสำปะหลังและข้าวโพดให้เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



รูปที่ 2.1 วงจรพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Siracusa et al., 2008)

2.2.2 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative degradation plastics)

บางครั้งเรียกว่า พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยไม่ต้องพึ่งพาลินทรีย์ (bioerodable plastics) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงไปโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้า ๆ โดยมีออกซิเจนและความร้อน แสงยูวีหรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์

(hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียรของแสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้มีการวิจัยขึ้นมาในปัจจุบัน ทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชันซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการแตกตัวของสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ ทำให้สายพอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว

2.2.3 พลาสติกย่อยสลายด้วยแสง (photodegradable plastics)

การย่อยสลายด้วยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสียูวี โดยการย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อกลบฝังขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง ประเทศฝรั่งเศสใช้พลาสติกประเภทนี้ ขนาดกว้าง 1 เมตร ปลูกบนทุ่งนาเพื่อกักเก็บความร้อนในดินและเร่งผลผลิต อายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 1 – 3 ปี ก่อนพองปนไปกับดิน แต่พลาสติกชนิดนี้ต้องใช้ในภูมิประเทศที่มีแสงแดดสม่ำเสมอเพื่อให้สลายตัวตามอัตราที่คาดการณ์ได้

2.2.4 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic degradation plastics)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอโนไฮไดรด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์โดยทั่วไปปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (non-catalyst hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (external catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่าง ๆ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยา

ที่ไม่ใช่เอนไซม์ ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิลของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายพอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable plastics)

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจมากในปัจจุบัน ในช่วงแรกของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้มีการนำแป้ง (Starch) ชนิดต่าง ๆ มาใช้เป็นสารผสมร่วมกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการปิโตรเคมี เพื่อเป็นการลดสัดส่วนของการย่อยสลายได้ยากในวัสดุ และเพิ่มคุณสมบัติการสลายตัวของวัสดุให้มากขึ้น เนื่องจากแป้งเป็นวัสดุเพียงชนิดเดียวที่สามารถขึ้นเป็นรูปพร้อมกับวัสดุชนิดอื่นได้โดยการใช้ความร้อน แต่วัสดุที่ใช้จะพบปัญหาในเรื่องของการซึมผ่านของน้ำและการบวมหรือการคงตัวของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เมื่อได้รับความชื้น ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแป้งนิ่มง่ายและไม่คงรูป จึงทำให้การใช้แป้งเพียงอย่างเดียวไม่ได้ผลเท่าที่ควร วงจรพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเริ่มต้นจากพืชผลทางเกษตรถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ ตามลำดับ จากนั้นพอลิเมอร์ที่ได้จะผ่านการปรับปรุงสมบัติและขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ เมื่อหมดอายุการใช้งานหรือไม่เป็นที่ต้องการแล้วการนำไปทิ้งในสภาวะที่เหมาะสม จะทำให้พลาสติกเหล่านี้ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารชีวมวล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช

ผลผลิตจากการเกษตรที่ให้แป้ง เช่น ข้าวเจ้า อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด และปาล์มน้ำมัน ฯลฯ เมื่อผ่านกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพแล้วจะเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล และเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นมอนอเมอร์ แล้วจึงผ่านกระบวนการปฏิกิริยาเคมีที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (catalytic polymerization) หรือจากแป้งเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ประเภทต่าง ๆ โดยตรงด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs) เป็นต้น ในอนาคตมีแนวโน้มการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น มีการค้นพบและพัฒนากระบวนการผลิตใหม่ ๆ ทำให้พลาสติกมีราคาต่ำลงและมีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น มีกฎข้อบังคับรวมถึงการที่มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะที่สูงขึ้น ทำให้บริษัทต่าง ๆ ทำการผลิตพลาสติกย่อยสลายที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายแตกต่างกัน บางครั้งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการทางชีวภาพอย่างแท้จริง เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ปัจจุบันจึงมีหลายองค์กรทั่วโลกได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) ขึ้น และให้คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยไว้ ดังนี้

- ASTM D883 - 12 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย
- ISO 472:1998 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ เป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกและการใช้งาน ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น
- BPS Japan (1994) พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ วัสดุพอลิเมอร์ ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลงได้ โดยมีอย่างน้อย 1 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ
- DIN FNK103.2 (1993) วัสดุพลาสติกจะได้อ้างว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม และมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน
- CEN (1993) วัสดุย่อยสลายได้ คือ วัสดุที่การย่อยสลายเป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ หรือ แก๊สมีเทน และมวลชีวภาพใหม่ เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย

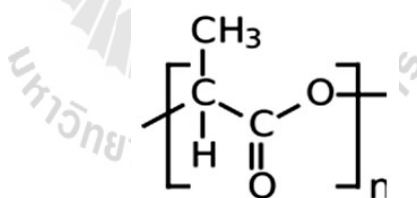
2.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

- วัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้ ได้แก่ พืชผลทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง อ้อย หัวบีท ข้าวสาลี และปาล์ม ในประเทศสหรัฐอเมริกาพืชผลทางการเกษตรหลักที่ใช้ในการผลิตสารตั้งต้น ได้แก่ ข้าวโพด ในขณะที่น้ำตาลจากหัวบีทถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป นอกจากพืชผลทางการเกษตรแล้วยังมีการนำผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมนมโค ได้แก่ หางนม มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตมอนอเมอร์ (กรดแลคติก) เนื่องจากความต้องการในการลดต้นทุนการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จึงมีการแสวงหามวลชีวภาพประเภทอื่นที่มีศักยภาพและราคาต่ำมาใช้เป็นวัตถุดิบนอกเหนือจากแป้งและน้ำตาล ได้แก่ เซลลูโลส และลิกโนเซลลูโลซิก ที่มีอยู่ในพืชซึ่งสามารถนำไปย่อยเป็นน้ำตาลได้ ซึ่งกำลังพัฒนาอยู่ในขณะนี้
- วัตถุดิบปิโตรเลียม เช่น น้ำมันดิบ แก๊สธรรมชาติ แนฟทา และถ่านหิน ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ไม่สามารถทดแทนได้ นอกจากจะใช้แล้วหมดไปกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมอีกด้วย แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าดึงดูดใจถึงการนำไปใช้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งผลิต

วัตถุดิบในการผลิตวัสดุ โดยเฉพาะวัสดุประเภทพลาสติกเพื่อลดการใช้วัตถุดิบปิโตรเลียมลง นอกจากวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนได้สามารถแก้ปัญหาเรื่องการขาดแคลนด้านวัตถุดิบแล้วยังช่วยบรรเทาเรื่องผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมด้วย

2.3.2 ตัวอย่างพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

- พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid หรือ PLA) ผลิตจากกรดแลคติกซึ่งได้จากระบวนการหมักพืชจำพวกแป้ง ซึ่งกำลังกลายเป็นทางเลือกใหม่มาแทนที่พลาสติกจากปิโตรเลียม PLA เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการแพร่ของปรากฏการณ์แก๊สเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อนขึ้น และ PLA ยังไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกเผาเป็นถ่าน กระบวนการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดยนักวิจัยของบริษัท Dupont ประเทศสหรัฐอเมริกา หลังจากนั้นได้มีการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากราคาของ PLA ค่อนข้างสูงทำให้การนำไปใช้มุ่งเน้นไปที่ทางด้านการแพทย์และเภสัชกรรม กระบวนการผลิตพอลิแลคติกแอซิดเริ่มต้นจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบโดยการปลูกข้าวโพดซึ่งใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นวัตถุดิบ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ได้ผลผลิตเป็นแป้ง จากนั้นจึงนำเอาแป้งข้าวโพดมาผ่านกระบวนการหมักบ่มโดยใช้จุลินทรีย์เฉพาะ เพื่อย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ของแป้งและน้ำตาลเป็นกรดแลคติก (lactic acid, $C_3H_6O_3$) ซึ่งใช้เป็นมอนอเมอร์ในขั้นตอนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ เพื่อให้ได้พอลิแลคติกแอซิดต่อไป

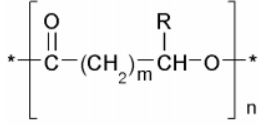


รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) (NIA, 2551)

สมบัติของ PLA มีลักษณะใส และมีความแวววาวสูง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ PLA มีสมบัติเชิงกลและสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก PLA สามารถกักเก็บกลิ่นและรสชาติได้ดี มีความต้านต่อน้ำมันและไขมันสูง ในขณะที่ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี มีความคงทนต่อแรงกระแทกต่ำ การย่อยสลายทางชีวภาพจะสามารถย่อยสลายได้ดีในโรงหมักขยะอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า เนื่องจาก PLA มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้ว (glass-transition temperature, T_g) ใกล้เคียง

60 องศาเซลเซียส โดยขั้นตอนแรก PLA จะถูกย่อยสลายไปเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้และกรดแลคติกโดยการไฮโดรไลซิสซึ่งจะเกิดขึ้นภายใน 2 สัปดาห์ สารประกอบและกรดแลคติกที่ได้จะถูกย่อยต่อไปด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยกระบวนการ metabolisation อย่างรวดเร็วไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสารชีวมวล

- พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (polyhydroxyalkanoates, PHAs) เป็น กลุ่มพอลิเมอร์ ประเภทพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ทางธรรมชาติโดยจุลินทรีย์หลากหลายชนิด ถึงแม้ปัจจุบันมีการค้นพบอนุพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่มนี้มากกว่า 100 ชนิด แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย PHAs ประกอบด้วยมอนอเมอร์หลัก คือ กรดไฮดรอกซีอัลคาโนอิก (hydroxyalkanoic acids) และสามารถจำแนกอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 กลุ่มตามความยาวสายโซ่ของหมู่แทนที่ (R) ในหน่วยมอนอเมอร์

	m	R	PHAs
	1	ไฮโดรเจน (H) เมทิล (CH ₃) เอทิล (C ₂ H ₅) โพรพิล (C ₃ H ₇) เพนทิล (C ₅ H ₁₁) โนนิล (C ₉ H ₁₉)	พอลิ(ไฮดรอกซีโพรพิโนเอต) พอลิ(3-ไฮดรอกซีบิวไทเรต) (P3HB) พอลิ(3-ไฮดรอกซีวาลเอร์เรต) (P3HV) พอลิ(3-ไฮดรอกซีเฮกซาโนเอต) (P3HH) พอลิ(3-ไฮดรอกซีออกทาโนเอต) พอลิ(3-ไฮดรอกซีโดเดคาโนเอต)
	2	ไฮโดรเจน (H) เมทิล (CH ₃)	พอลิ(4-ไฮดรอกซีบิวไทเรต) พอลิ(4-ไฮดรอกซีวาลเอร์เรต)
	3	ไฮโดรเจน (H) เมทิล (CH ₃)	พอลิ(5-ไฮดรอกซีวาลเอร์เรต) พอลิ(5-ไฮดรอกซีเฮกซาโนเอต)
	4	เฮกซิล (C ₆ H ₁₃)	พอลิ(6-ไฮดรอกซีโดเดคาโนเอต)

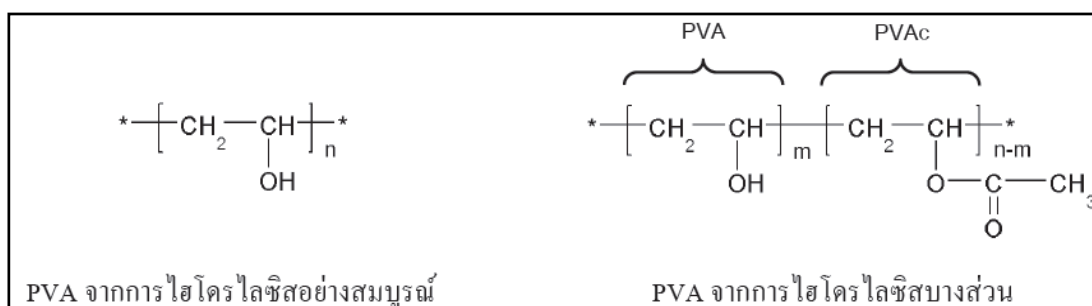
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs) (NIA, 2551)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต PHAs เป็นวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนได้ใหม่ ได้แก่ พืชผลทางการเกษตรจำพวกแป้ง เช่น ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ข้าวสาลี และข้าว ในระยะแรกของการพัฒนาระบบการผลิต PHAs ได้ใช้เชื้อแบคทีเรีย *Alcaligenes eutrophus* H16 โดยมีน้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งพลังงาน ปัจจุบันมีการศึกษาเชื้อชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติที่ดีเด่นในการผลิตหรือการใช้วัสดุอื่น ๆ เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน รวมไปถึงการศึกษาการกระจายตัวของยีนส์ที่สำคัญในระบบการสร้าง PHAs ในเซลล์แบคทีเรียหรือการนำยีนส์ที่สำคัญไปใส่ในจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิต PHAs ได้แก่ ความคงตัวของระบบการผลิต ปริมาณเซลล์สะสม การสกัดได้ของ PHAs ซึ่งผลิตได้จากการนำแป้งหรือน้ำตาลมาหมักด้วยจุลินทรีย์ชนิดพิเศษ

Escherichia coli ซึ่งจุลินทรีย์ชนิดนี้จะทำการผลิต PHAs ภายในตัวของจุลินทรีย์เอง หลังจากนั้นจึงทำการแยกเอา PHAs ออกด้วยการทำลายเปลือกนอกหุ้มของจุลินทรีย์ โดย PHAs เป็นพลาสติกชีวภาพที่มีความสามารถขึ้นรูปได้ สมบัติทางความร้อนและทางกลใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) หรือ (polypropylene, PP) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน และเป็นพลาสติกชีวภาพที่ได้รับความสนใจจากตลาดเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย

การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของ PHAs สามารถนำมาผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์และพอลิเมอร์ธรรมชาติได้ PHAs สามารถย่อยสลายได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ในดิน น้ำ สิ่งเน่าเปื่อย และในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อย เช่น โรงบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้อัตราการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น พื้นที่ผิวหน้าของพลาสติก ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณสารอาหาร และปริมาณออกซิเจน

- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly vinyl alcohol, PVA) เป็นพลาสติกสังเคราะห์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถละลายน้ำได้ดีและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ มีความหนาแน่น 1.298 g/cm³ มีสมบัติคล้ายแป้ง คือเกิดสีน้ำเงินกับไอโอดีน น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 25,000 – 250,000 เมื่อมาผสมกับสตาร์ชซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงมีความสามารถในการเข้ากันได้สูง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีลักษณะเป็นผงสีขาวที่ได้จากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิไวนิลแอซีเตต (polyvinyl acetate) ลักษณะโครงสร้างโดยส่วนใหญ่เป็นสายโซ่แบบเส้นตรงที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีสมบัติที่พร้อมละลายน้ำได้ โดยเฉพาะจากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันแบบสารละลายเป็นวิธีการผลิตที่สะดวกและนิยมใช้ เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ซึ่งสามารถแยกตะกอนของ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ออกมาได้โดยตรง ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษและการเคลือบต่าง ๆ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

คุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะมีลักษณะโมเลกุลแบบอะแทกติกซึ่งไม่มีความเป็นผลึก จึงมีลักษณะอ่อนนิ่มมากจนเป็นของเหลวข้นหนืดสีขาวขุ่น เมื่อแห้งจะใสเนื่องจากความอ่อนนิ่มจนมีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด จึงไม่สามารถหล่อขึ้นรูปด้วยวิธีแม่พิมพ์ใด ๆ ได้ สมบัติโดยทั่วไป คือ อ่อนนิ่ม ง่ายต่อการทำเป็นอิมัลชัน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เมื่อแห้งจะมีความโปร่งใสและมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถละลายน้ำได้ดี มีความต้านทานต่อน้ำมัน ไขมัน และสารละลายต่าง ๆ ดีเยี่ยมรวมทั้งมีความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีก ความทนต่อการกระแทก อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นและการกันแพร่ผ่านของออกซิเจนสูง โดยสมบัติพื้นฐานของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณของผลึก ระดับการไฮโดรไลซิสและมวลโมเลกุลของพอลิเมอร์ การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของ PVA ขึ้นอยู่กับปริมาณผลึกและน้ำหนักโมเลกุล โดย PVA สามารถละลายในน้ำ และย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ดีในบ่อน้ำบาดน้ำเสียแต่จะย่อยสลายได้ช้าในดิน

2.3.3 การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีด้วยกันหลากหลาย ส่วนมากจะนิยมใช้ในงานทางการแพทย์เนื่องจากในช่วงแรก ๆ ที่มีการผลิตออกมาราคาของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง พลาสติกย่อยสลายที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวน้ำเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้า ๆ ภายในร่างกายช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรูและแผ่นดามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย ในปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาดสำหรับห่อแสมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง ฟิล์มคลุมดินและวัสดุทางการเกษตร ซึ่งช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีถุงสำหรับใส่ของถุงสำหรับใส่เศษอาหารรวมไปถึงบรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค ซึ่งปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่นิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูงทำให้ไม่สะดวกในการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

2.3.4 ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การลดอัตราการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมนับว่าเป็นจุดเด่นสำคัญของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นอกจากจะสามารถลดอัตราการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์และขึ้นรูปเพื่อมาใช้ประโยชน์แล้ว จะเห็นว่าในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ คือ แป้งข้าวโพดนั้น ต้นข้าวโพด

จะดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศมาใช้ในการสังเคราะห์แสงปริมาณมาก ดังนั้น ผลที่ได้จากสองปัจจัยนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ สามารถช่วยลดปริมาณของแก๊สดังกล่าวในชั้นบรรยากาศได้ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ผลจากการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทำให้เกิดการแตกตัวของสายโซ่ยาวได้เป็นสารโมเลกุลเล็กกลับมามีเดิม ซึ่งกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดขึ้นได้ในสภาวะต่าง ๆ และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายก็จะแตกต่างกันไปตามสภาวะนั้น ๆ การประเมินผลกระทบด้านบวกต่อสภาวะแวดล้อมของการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้แทนพลาสติกทั่วไป สามารถทำได้โดยการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment : LCA) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไปที่ผลิตจากปิโตรเคมี นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพยังช่วยลดเนื้อที่ในการฝังกลบ ช่วยเพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์ในบ่อฝังกลบ และเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในกรณีที่บ่อฝังกลบได้ถูกออกแบบมาให้ผลิตและใช้ประโยชน์จากแก๊สมีเทน อีกทั้งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ยังใช้น้อยกว่ากระบวนการผลิตพลาสติกทั่วไป

2.4 กล้วย

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa sapientum* Linn

ชื่อวงศ์ : Musaceae

ชื่อสามัญ : Banana

กล้วยเป็นพืชล้มลุกขนาดใหญ่มีอายุหลายปีจัดอยู่ในตระกูล Musaceae โดยพืชในตระกูล Musaceae จัดแบ่งออกได้เป็น 2 สกุล ตามลักษณะของการแตกกอ คือ สกุลกล้วยโทน ได้แก่ กล้วยที่ไม่มีการแตกกอจะขึ้นเป็นต้นเดี่ยว ๆ มีอายุประมาณ 2 ปี ผลรับประทานไม่ได้เมื่อให้เมล็ดแล้วต้นก็จะตายไปใช้ทำแป้งหรือเอาเส้นใย ส่วนอีกสกุลหนึ่งคือสกุลกล้วยแตกกอ ได้แก่ กล้วยที่มีการปลูกกันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน มีการแตกกอหรือหน่อผลสามารถรับประทานได้และยังสามารถนำมาประกอบอาหารได้อีกด้วย กล้วยมีถิ่นกำเนิดในแถบตะวันออกเฉียงใต้ เจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด โดยเฉพาะอากาศอบอุ่นและชุ่มชื้น เป็นพืชปลูกง่าย ไม่ยุ่งยากในการบำรุงรักษาและให้ผลผลิตตลอดปี จึงมีการขยายพันธุ์อย่างแพร่หลาย สำหรับประเทศไทยมีการปลูกกล้วยเพื่อบริโภคตั้งแต่ระดับครัวเรือนจนถึงการปลูกเพื่อการจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรม จัดเป็นพืชเศรษฐกิจพืชหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรทั่วทุกภาคของประเทศ

การใช้ประโยชน์จากกล้วยนั้น พบว่า กล้วยให้ประโยชน์ในทุกส่วนตั้งแต่ลำต้น ใบ และผล ในส่วนของลำต้นใช้เป็นอาหารสัตว์ แปรรูปเป็นเชือกกล้วยและปุย ส่วนใบใช้ประดิษฐ์งานด้านศิลปะและเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ผลของกล้วยอุดมด้วยวิตามิน และเกลือแร่ที่ให้ประโยชน์แก่

ร่างกาย ใช้รับประทานสดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้หลายชนิด ในบางฤดูกาลผลผลิตของกล้วยจะมากกว่าการบริโภค ทำให้บริโภคไม่ทันและราคาตกเป็นผลให้ใช้ประโยชน์จากกล้วยได้น้อยลง การแปรรูปกล้วยจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถจะแก้ปัญหาผลผลิตมากเกินไปได้ และต้นกล้วยที่เหลือทิ้งจากการถูกตัดเอาผลไปใช้บริโภคหมดแล้วนั้น สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้โดยการนำมาทำเป็นเส้นใยและกระดาษ กาบกล้วยพบว่าเป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอยู่มาก เดิมมีการใช้ประโยชน์ของกาบกล้วยในรูปของเชือกกล้วย หรือที่เรียกว่า เชือกมะนิลา ซึ่งมีคุณสมบัติเหนียวเป็นพิเศษเมื่อได้รับความชื้น และทนต่อน้ำทะเลได้ดี เส้นใยจากกล้วยยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านสิ่งทอและเป็นผลิตภัณฑ์งานประดิษฐ์ได้อีกด้วย กล้วยที่สามารถพบได้ทั่วไปและนิยมปลูกกันมากในประเทศไทย ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยหอมทอง กล้วยไข่ กล้วยหักมุก เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กาบกล้วยเป็นวัสดุหลักในการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของกาบกล้วยกล้วยแสดงดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกาบกล้วย (วิทยา ปั่นสุวรรณ)

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ
เซลลูโลส	40.72
เฮมิเซลลูโลส	14.78
ลิกนิน	19.43
เถ้า	15.34
สารแทรก	10.34

2.4.1 กล้วยน้ำว้า

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa* (ABB group) “Kluai Nam wa”

ชื่อสามัญ : Pisang Awak

ลักษณะทั่วไป ลำต้นสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวอ่อน มีประดำบ้างเล็กน้อย ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบเส้นกลางใบมีสีเขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างป้อม ปลายป้านด้านนอกสีแดงอมม่วงมีนวลหนา ด้านในมีสีแดงเข้ม ผลเครือหนึ่งมี 7 – 10 หวี หวีหนึ่งมี 10 – 16 ผล ก้านผลยาวเปลือกหนา สุกมีสีเหลืองเนื้อสีขาวรสหวานได้กลิ่นมีสีเหลือง ชมพูหรือขาว ทำให้เป็นแบ่งออกเป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว

2.4.2 กล้วยหอมทอง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa* (AAA group) “Kluai Hom Thong”

ชื่อสามัญ : Gros Michel

ลักษณะทั่วไป มีลำต้นสูงประมาณ 2.5 – 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีประคำ ด้านในสีเขียวอ่อนและมีเส้นลายสีชมพู ก้านใบมีร่องค่อนข้างกว้างและมีปีกเส้นกลางใบสีเขียว ก้านเครือมีขน ปลีรูปไข่ ค่อนข้างยาว ปลายแหลม ด้านบนมีสีแดงอมม่วง มีไขด้านในสีแดงซีด ผลเครือหนึ่งมี 4 – 6 หวี หวีหนึ่งมี 12 – 16 ผล กว้าง 3 – 4 เซนติเมตร ยาว 21 – 25 เซนติเมตร ปลายผลมีจุด เห็นชัดเปลือกบางเมื่อสุกจะเปลี่ยนเป็นสีทอง แต่ที่ปลายจุดจะมีสีเขียวแล้วเปลี่ยนสีภายหลัง เนื้อสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสหวาน

2.4.3 กล้วยไข่

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Musa* (AA group) “Kluai Khai”

ชื่อสามัญ : Pisang Mas

ลักษณะทั่วไป ลำต้นสูงประมาณ 2.5 – 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 – 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวปนเหลือง มีประสีน้ำตาลอ่อน ด้านในสีชมพูอมแดง ก้านใบมีสีเขียวอมเหลือง มีร่องกว้างโคนก้านมีครีบลีชมพู ก้านช่อดอกมีขนอ่อน ปลีรูปไข่มีวงจั่นปลายแหลมด้านนอกสีแดงอมม่วง ด้านในที่โคนกลีบสีซีด เครือหนึ่งมี 6 – 7 หวี หวีหนึ่งประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก ก้านผลสั้น เปลือกบางเมื่อผลสุก มีสีเหลืองสดใสบางครั้งมีจุดดำเล็ก ๆ กระจาย เนื้อสีครีมอมส้มรสหวาน

2.5 เส้นใย

เส้นใย หมายถึง วัสดุหรือสารใด ๆ ทั้งที่เกิดจากธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) เท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถแบ่งได้ตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์

2.5.1 เส้นใยจากธรรมชาติ (natural fibers) เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญที่หาได้ง่ายจากธรรมชาติ ได้จากพืช สัตว์ หรือธาตุ มีปริมาณมากและสามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อย ๆ มีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สามารถนำมาทำประโยชน์ในการทำคอมโพสิต (Composite) มีประโยชน์อย่างมากต่อการเสริมประสิทธิภาพและความแข็งแรงของพอลิเมอร์ เส้นใยธรรมชาติสามารถแบ่งได้เป็น

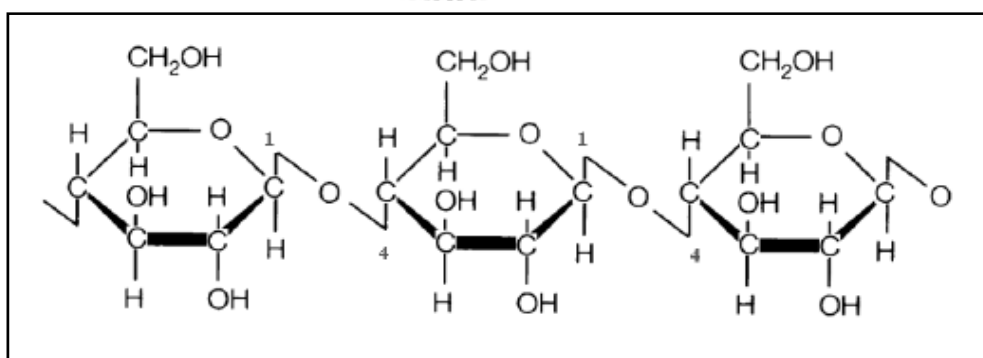
- เส้นใยจากพืช ได้แก่ เส้นใยจากเซลลูโลส เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ไยสับปะรด ไยมะพร้าว ฝ้าย นุ่น เป็นต้น

- เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ เส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์ (wool) ไหม (silk) ผม (hair) เล็บ เขา ไหม เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้ มีสมบัติ คือ เมื่อเปียกน้ำ ความเหนียวและความแข็งแรงจะลดลงถ้าสัมผัสแสงแดดนาน ๆ จะสลายตัว

- เส้นใยจากหินแร่ เช่น แร่ใยหิน (asbestos) ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทนไฟ ไม่นำไฟฟ้า

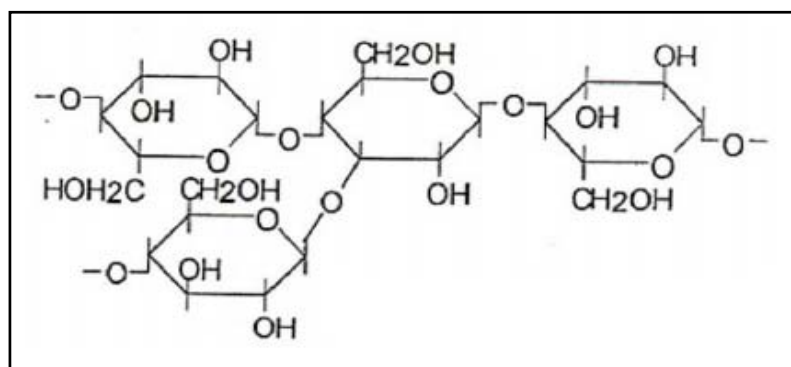
- เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืชส่วนใหญ่มีโครงสร้างและองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin)

- เซลลูโลส (Cellulose) เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภท เซลลูโลสที่มีองค์ประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยซ้ำพื้นฐานเรียกว่า Anhydro-d-Glucose ($C_6H_{10}O_5$)_n ยึดเกาะด้วย 1,4-B-D-Anhydroglucosidic Bonding ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้เหมือนกับที่เกิดขึ้นกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนี้นับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย และลักษณะของการเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว จะทำให้มีความแข็งแรงสูงไปด้วย เซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในกรดเข้มข้น และถ้ามีความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และส่วนใหญ่จะมีการดูดซับความชื้นโดยปริมาณความชื้นที่เซลลูโลสดูดซับมีผลต่อสมบัติกายภาพบางประการของเส้นใย เช่น เมื่อความชื้นสูงเส้นใยจะมีค่าทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น เป็นต้น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (Campbell, 2002)

- เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งคล้ายกับเซลลูโลส มีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เฮมิเซลลูโลสสามารถพบได้ในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารประกอบอื่น ๆ เช่น ลิกนินและเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสจะมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยและถูกไฮโดรไลซิสได้ง่ายในกรดเจือจาง มีสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ คือ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และสามารถแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange) ได้ในกระเพาะอาหารและลำไส้ของมนุษย์



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส (อังศุมา บุญไชยสุริยา, 2554)

- ลิกนิน (Lignin) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของพืชในไม้เนื้อแข็ง จะมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 17-25 ในไม้เนื้ออ่อนจะมีสัดส่วนประมาณ 24-32 ในเส้นใยเปลือกลำต้น ลิกนินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ไม่มีรูปผลึกจะกั้นอยู่ในชั้นระหว่างเส้นใยซึ่งทำหน้าที่ยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกัน และมีบางส่วนผสมอยู่ในเส้นใยด้วย ลิกนินเป็นสารประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสายอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น ลิกนินและอนุพันธ์ของลิกนินสามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นสารยึดติด (Adhesives) ด้านเคมีภัณฑ์เกษตร ใช้ในอุตสาหกรรมยางเป็นสารเติมแต่ง สารเร่งปฏิกิริยา สารช่วยให้มีการยึด และสารช่วยให้เป็นพลาสติกดีขึ้น (plasticizer)

2.5.2 เส้นใยสังเคราะห์ (synthetic fibers)

เป็นเส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจากสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใช้ทดแทนเส้นใยจากธรรมชาติ แบ่งเป็น 4 ประเภท

- เส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น เทโทรอน ใช้บรรจุในหมอน เพราะมีความฟูยืดหยุ่นไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง สำหรับดาครอน (Dacron) เป็นเส้นใยสังเคราะห์พวกพอลิเอสเตอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mylar มีประโยชน์ทำเส้นใยทำเชือก และฟิล์ม

- เส้นใยพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน (Nylon) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น ไนลอน 6,6 ไนลอน 6,10 ไนลอน 6 ซึ่งตัวเลขที่เขียนกำกับหลังชื่อจะแสดงจำนวนคาร์บอนอะตอมในมอนอเมอร์ของเอมีนและกรดคาร์บอกซิลิก ไนลอนจัดเป็นพวกเทอร์มอพลาสติก มีความแข็งแรงมากกว่าพอลิเมอร์แบบเดิมชนิดอื่นเพราะมีแรงดึงดูดที่แข็งแรงของพันธะ เพปไทด์ เป็นสารที่ติดไฟยากเพราะไนลอนมีพันธะ C-H ในโมเลกุลน้อยกว่าพอลิเมอร์แบบเดิมชนิดอื่น ประโยชน์ของไนลอน ใช้ในการทำเสื้อผ้า ถุงเท้า ถุงน่อง ขนแปรงต่าง ๆ สายกีตาร์ สายเอ็น ไม่แฉีกแตกเป็นต้น

- เส้นใยอะคริลิก ใช้ในการทำเสื้อผ้า ผ่านววม ผ้าขนแกะเทียม ร่มชายหาด หลังคา กันแดด ผ้าม่าน พรม เป็นต้น

- เซลลูโลสแอซิเตด เป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากการใช้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสอะซิเตด เช่น ผลิตเป็นเส้นใยอาร์แนล 60 ผลิตเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ทำแผงสวิตช์และหุ้มสายไฟ

2.5.3 สมบัติของเส้นใย

- โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใย โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างทางลักษณะ (Morphology) ของเส้นใยสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึง ความยาว ขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปร่าง ภาคตัดขวาง (Cross sectional shape) รูปร่างของผิวเส้นใย และความหยักของเส้นใย

- ความยาวของเส้นใย เส้นใยมีทั้งชนิดสั้นและยาว ซึ่งความยาวของเส้นใยจะมีผลต่อสมบัติและการนำไปใช้งาน ลักษณะของเส้นใยสั้นจะเป็นเส้นใยที่ความยาวอยู่ระหว่าง 2-46 เซนติเมตร หรือ 18 นิ้ว เส้นใยธรรมชาติทั้งหมดยกเว้นไหมเป็นเส้นใยสั้น ส่วนเส้นใยสั้นที่มาจากเส้นใยประดิษฐ์มักจะทำเป็นเส้นยาวก่อนแล้วค่อยตัดเป็นเส้นใยสั้นตามกำหนด เส้นใยยาวส่วนใหญ่จะเป็นเส้นใยประดิษฐ์ ยกเว้นไหมซึ่งเป็นเส้นใยยาวที่มาจากธรรมชาติ เส้นใยยาวอาจเป็นชนิดเส้นใยเดี่ยว (monofilament) ที่มีเส้นใยเพียงเส้นเดียว หรือเส้นใยยาวกลุ่ม (multifilament) ซึ่งจะมีเส้นใยมากกว่า 1 เส้นรวมอยู่ด้วยกันตลอดความยาว

- ขนาดของเส้นใย เส้นใยที่มีขนาดใหญ่จะให้ความรู้สึกที่หยาบและแข็ง แต่ในขณะเดียวกันก็ให้ความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีขนาดเล็กกว่า ขนาดของเส้นใยจึงมีผลต่อสมรรถนะการใช้งานและสมบัติทางผิวสัมผัส เส้นใยธรรมชาตินั้นมักมีขนาดไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของเส้นใยธรรมชาติมักจะวัดจากความละเอียดของเส้นใย เส้นใยที่มีความละเอียด (ขนาดเล็ก) จะมีคุณภาพที่ดีกว่า ส่วนเส้นใยประดิษฐ์ขนาดของเส้นใยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของรูในหัวฉีด การดึงยืดขณะที่ปั่นเส้นใยและหลังการปั่นเส้นใย รวมไปถึงปริมาณและความเร็วของการอัดน้ำพลาสติกผ่านหัวฉีดในกระบวนการปั่นเส้นใย เส้นใยประดิษฐ์

สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของเส้นใยได้ดีกว่าเส้นใยธรรมชาติ แต่ก็ยังมีส่วนที่ไม่สม่ำเสมอบ้างเนื่องจากความไม่คงที่ (irregularity) ของกระบวนการผลิต

- รูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใย เส้นใยมีรูปร่างหน้าตัดที่หลากหลาย เช่น วงกลม สามเหลี่ยม ทรงคล้ายกระดูก (dog bone) ทรงรูปถั่ว (bean shaped) เป็นต้น รูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยมีผลต่อความเป็นมันวาวและสมบัติต่อผิวสัมผัส ความแตกต่างของรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติ เกิดจากลักษณะการสร้างเซลล์โลสในขณะที่พืชเจริญเติบโต ส่วนเส้นใยประดิษฐ์รูปร่างหน้าตัดของเส้นใยขึ้นอยู่กับรูปร่างของรูในหัวฉีด

- องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียกว่า พอลิเมอร์ ที่เกิดจากการเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็ก ๆ คือ มอนอเมอร์และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ขนาดของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลซึ่งบอกได้จากจำนวนของมอนอเมอร์ที่อยู่ในพอลิเมอร์นั้น พอลิเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าพอลิเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลสั้น เนื่องจากจำนวนมอนอเมอร์ที่มากกว่านั่นเองซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่พอลิเมอร์นั้นเป็นองค์ประกอบอยู่ โมเลกุลหรือพอลิเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยจะมีการเรียงตัวแตกต่างกัน เมื่อแต่ละโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไรทิศทาง ก็จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนในบริเวณที่โมเลกุลมีการเรียงซ้อนขนานอย่างเป็นระเบียบก็จะเป็นผลึกเกิดขึ้น เส้นใยที่มีความเป็นผลึกมากก็จะมี ความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย การจัดเรียงตัวโมเลกุลที่อยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามความยาวของเส้นใย ก็จะช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย

2.6 กาว (adhesive)

กาวหรือตัวประสาน คือ ส่วนผสมของของเหลวหรือวัสดุแข็งของเหลวที่สามารถเชื่อมติดหรือประสานวัสดุ 2 ชนิดให้ติดกัน กาวมีอยู่หลากหลายรูปแบบทั้งมาจากธรรมชาติและจากสารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งการใช้งานมักจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำมาติดกัน กาวที่ได้จากสารเคมีสังเคราะห์ ได้แก่ epoxy, polyurethane, cyanoacrylate, acrylic polymers เป็นต้น กาวที่ได้จากธรรมชาติ เช่น กาวจากแป้ง (กาวแป้ง), กาวจากน้ำยางธรรมชาติ เป็นต้น ในส่วนของงานวิจัยนี้เลือกใช้กาวที่ได้จากธรรมชาติ คือ กาวแป้ง เป็นตัวประสานในการทำให้อวบน้ำเข้ากันได้ดีและมีความเหนียวมากขึ้นนั่นเอง

กาวแป้ง เป็นกาวที่มีความนิยมนำใช้กันอย่างมากในอดีต เพราะยังไม่มีสารเคมีสังเคราะห์มากนัก กาวแป้งมักจะทำขึ้นจากการนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำแล้วนำไป

กวนโดยใช้ไฟอ่อน ๆ จนกระทั่งมีความเหนียว ใส จึงจะนำไปใช้เป็นกาวได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น นำไปใช้ในการติดแสตมป์ ใช้ในงานประดิษฐ์ต่าง ๆ เป็นต้น ในปัจจุบันกาวแป้งยังมีการใช้งานอยู่เนื่องจากเป็นกาวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะกาวที่ผลิตจากสารเคมีสังเคราะห์ส่วนมากจะมีส่วนผสมของฟอร์มาลดีไฮด์ (จิรัชทร์ พุทธสุขขา และ พรรณนิภา เชาวณะ, 2555) มีผู้คิดค้นการนำกาวแป้งไปใช้เป็นตัวประสานในการทำไม้อัด โดยมีการนำแป้งหลายชนิดมาผสมกัน ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว แป้งท้าวยายม่อม และแป้งถั่วเขียว (พรชัย ราชชนะพันธุ์ และคณะ, 2553) เพื่อช่วยเพิ่มความเหนียวและความแข็งแรงให้แก่ตัวประสาน นอกจากนี้กาวแป้งยังเป็นตัวสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอีกด้วย

2.7 มันสำปะหลัง (cassava)

2.7.1 มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 เป็นผลงานร่วมพัฒนามากว่า 10 ปี ระหว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับมูลนิธิสถาบันฯ เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 กับพันธุ์ระยอง 5 ในปี 2534 และได้ทำการคัดเลือก ทดสอบ เปรียบเทียบพันธุ์ จนถึงปี 2544 ได้รับรองพันธุ์เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงพระราชทานชื่อพันธุ์ "ห้วยบง 60" โดยมีความหมายดังต่อไปนี้

ห้วยบง หมายถึง ที่ตั้งสถานที่หลักในการพัฒนาพันธุ์ คือ สถาบันพัฒนา มันสำปะหลัง ตำบลห้วยบง อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา

60 หมายถึง การครบรอบ 60 ปี ของการสถาปนามหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 5.7 ตัน/ไร่ ซึ่งให้ผลผลิตหัวสดและหัวแห้งสูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ประมาณ 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีปริมาณแป้งสูงโดยเฉลี่ยแป้งในหัวสดประมาณ 25.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง ที่ละลายน้ำได้ (เช่น น้ำตาล) อยู่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณแป้งต่อหัวมากเพราะการมีน้ำตาลมากจะทำให้แป้งที่จะสกัดได้จากหัวมันสำปะหลังลดลง แป้งมีความหนืดสูงเหมาะสำหรับนำไปใช้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องได้หลายชนิด ท่อนพันธุ์ แข็งแรง เปอร์เซ็นต์ความงอกและความอยู่รอดสูง ด้านทานโรคใบจุดปานกลาง

2.7.2 มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

เป็นพันธุ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลำต้น โกงเล็กน้อย สีเขียวเงิน สูง 180 - 150 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่สูง 80 - 150 เซนติเมตร ผลผลิตเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน และ 28 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้นานประมาณ 30 วัน หลังจากตัดต้น มีลักษณะเด่น คือ ผลผลิตสูง มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ (ในฤดูฝน) และ 28 เปอร์เซ็นต์ (ในฤดูแล้ง)

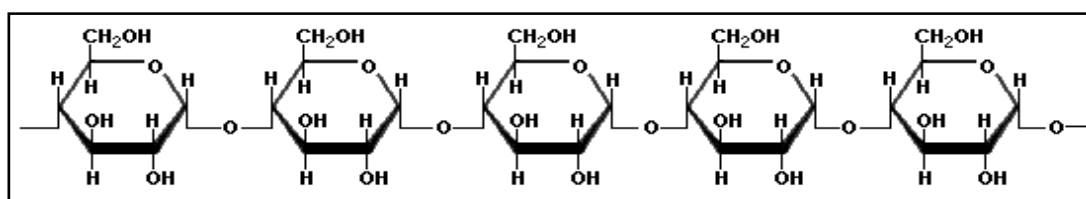
2.8 แป้ง (starch)

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว แป้งในกระบวนการผลิต หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน กลีเซอรอล น้อยมาก แป้งที่ผลิตทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่สูงก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เมื่อสิ่งเจือปนจำพวก โปรตีน ไขมัน กลีเซอรอลอื่นถูกสกัดออกไป จนเหลือแต่แป้งบริสุทธิ์จะเรียกว่า แป้งสตาร์ช (Starch) สำหรับแป้งมันสำปะหลังปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีที่ทันสมัยมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ดัดแปรหรือแปรรูป เรียกว่า แป้งดิบ (Native starch) ส่วนแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้วจะเรียกว่า โมดิไฟด์สตาร์ช (Modified starch) หรือแป้งดัดแปร

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) มีสูตรเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดด้วยกัน คือ อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นและ อะไมโลเพกติน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง วางตัวอยู่ในแนวรัศมีแสดงระดับ โครงสร้างของเม็ดแป้ง องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งมีดังนี้

2.8.1 อะไมโลส (Amylose)

เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิดแอลฟา-1,4 (α -1,4) แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง จะมีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% ส่วนแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่ไม่มีอะไมโลสเลย แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ที่ต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้น จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง

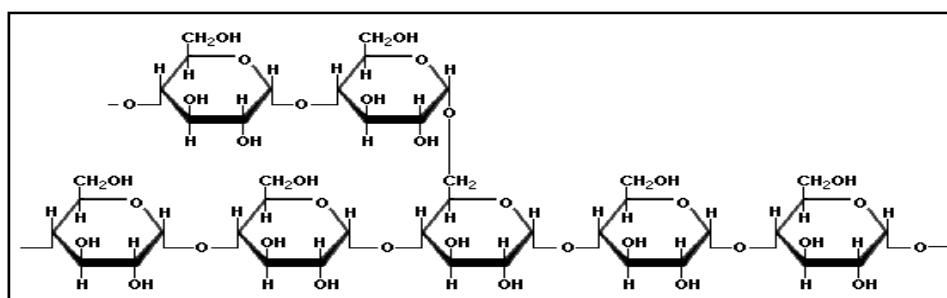


รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส (Vandamme, 2002)

2.8.2 อะไมโลเพกติน (Amylopectin)

คือพอลิแซ็กคาไรด์ประเภท homopolysaccharide ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสตาร์ช เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา โดยพันธะไกลโคซิดิกสอง

แบบ คือ ส่วนที่เป็นเส้นตรงเป็นพันธะชนิดแอลฟา 1-4 (α -1,4) เหมือนกับอะไมโลส แต่มีส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาเชื่อมต่อด้วยพันธะแอลฟา 1-6 (α -1,6) อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสและมีอัตราการการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะ โครงสร้าง เป็นกิ่ง อะไมโลเพคตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งด้าน โครงสร้าง หน้าที่และการนำไปใช้งานด้านกา



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน (Vandamme, 2002)

ตารางที่ 2.2 สมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส (Amylose)	อะไมโลเพคติน (Amylopectin)
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกัน เป็นเส้นตรงด้วยพันธะแอลฟา 1-4 (α -1,4)	1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกัน เป็นเส้นตรงด้วยพันธะแอลฟา 1-4 (α -1,4) และมีการแตกกิ่งด้วยพันธะแอลฟา 1-6 (α -1,6)
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อยกว่าเกิดเรทโทรเกรเดชั่นได้ง่าย	4. ข้นหนืดและใสมากเกิดเรทโทรเกรเดชั่นยาก
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง
7. แป้งที่มีอะไมโลสสูง ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด	7. แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูง ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่าง ๆ (อังศุมา บุญไชยสุริยา, 2554)

ชนิดแป้ง	ความชื้น	% ไขมัน	% โปรตีน	% เถ้า	% ฟอสฟอรัส
แป้งข้าวโพด	13	0.6	0.35	0.1	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.4	0.08
แป้งสาลี	14	0.8	0.4	0.15	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.1	0.1	0.2	0.01
แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว	13	0.2	0.25	0.07	0.007
แป้งข้าวฟ่าง	13	0.7	0.3	0.08	-
แป้งข้าวเจ้า	-	0.8	0.45	0.5	0.01
แป้งสาคู	-	0.1	0.1	0.2	0.02
แป้ง Amylomaize	13	0.4	-	0.2	0.07
แป้งมันเทศ	13	-	-	0.1	-

สมบัติของแป้ง แป้งแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ การดูดซับน้ำ การพองตัว การละลาย ความหนืด การเกิดเจลลิตในเซชัน และการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยแสดงดังต่อไปนี้

- การดูดซับน้ำ การพองตัว และการละลาย เมื่อมีการเติมน้ำเข้าไปในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเมล็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่จะเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10-17 % แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตไนซ์ (Gelatinize temperature) เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มจนสูงกว่าอุณหภูมิเจลลิตไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวขึ้นทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้งและการตัดแปรทางเคมี ซึ่งกำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ

- ความหนืด ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้งและการตัดแปร

ทางกายภาพ เช่น แป้งพรีเจลาตินไนซ์หรืออัลฟา สตาร์ช คัดแปรโดยให้ความร้อนแก่แป้งทำให้แป้งสุกหรือเกิด เจลาตินไนซ์แล้วทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้ง แป้งที่ได้เมื่อนำไปกระจายตัวในน้ำเย็น จะให้ความหนืดทันทีและไม่เกิดเจล

- การเกิดเจล (Gelatinization) โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เมื่อนำแป้งไปผสมกับน้ำที่อุณหภูมิห้องแป้งจะยังไม่เกิดการละลายหรือพองตัว แต่เมื่อนำน้ำแป้งไปให้ความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย สายพอลิเมอร์อะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่อัดแน่นอยู่ในเม็ดแป้ง จะเกิดการคลายตัว เม็ดแป้งจะดูดน้ำเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวยากขึ้นทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินไนเซชัน (Gelatinization) และอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า gelatinization temperature หรือ pasting temperature อยู่ในช่วง 60-70 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เช่น แป้งจากพืชหัวจำพวก แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีอุณหภูมิเจลาตินไนเซชันต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช ช่วงนี้เม็ดแป้งยังคงมีสภาพอยู่ได้โดยไม่แตกออก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นและมีความหนืดสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเกิดลักษณะของน้ำแป้งข้น (starch paste) ความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวสูงสุดและให้ความหนืดสูงสุด (maximum viscosity) จากนั้นเม็ดแป้งจะแตกถึงจุดสูงสุดซึ่งจะไม่สามารถกลับคืนสภาพได้

ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิการเกิดเจลาตินไนซ์ของแป้งชนิดต่าง ๆ (อังศุมา บุญไชยสุริยา, 2554)

Type of starch	Gelatinization at 95 °C		
	Temperature range (°C)	Swelling power ¹	Solubility (%)
Potato	56 – 66	1,000	82
Tapioca	58.5 – 70	71	48
Corn	62 – 72	24	25
Sorghum	68.5 – 75	22	22
Wheat	52 – 63	21	41
Rice	61 – 77.5	19	18
Waxy maize	63 – 72	64	23
Waxy sorghum	67.5 - 74	49	19

- การเกิดเรโทรเกรเดชัน (Retrogradation) เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิเจลต์ไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง
- เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างนี้สามารถอุ้มน้ำได้ดีและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้นเกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มผลึก เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า การเรโทรเกรเดชัน (Retrogradation) หรือ การอยู่ตัว (Setback) ซึ่งการกินตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของ อะไมโลส อะไมโลเพคติน และองค์ประกอบอื่น ๆ ทางเคมี

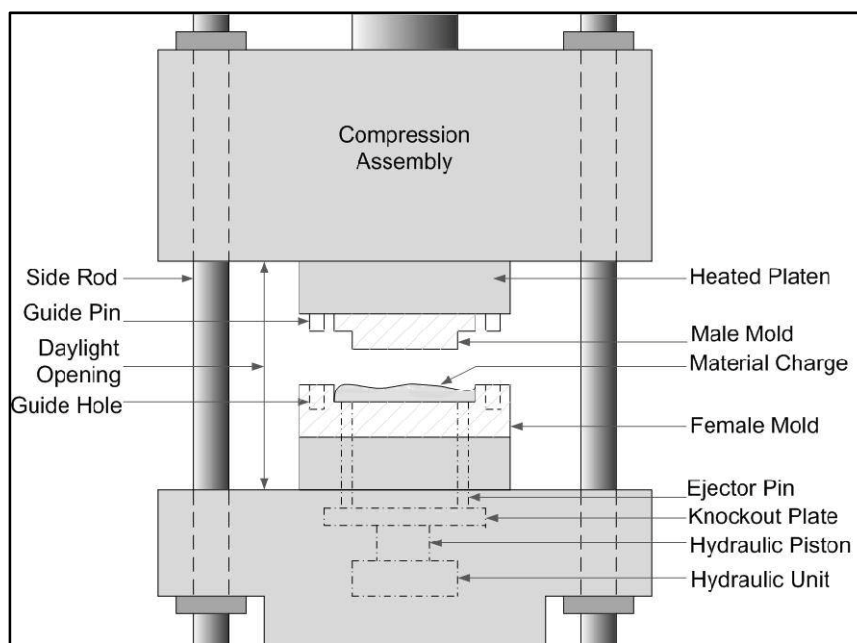
2.9 กระบวนการขึ้นรูป

2.9.1 การอัดขึ้นรูป (Compression molding)

เทคนิคการอัดเป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์ที่เก่าแก่ที่สุด แต่ยังมีการใช้แปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคนี้ในการอัดพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซตและยาง นอกจากนี้ยังนิยมใช้เทคนิคนี้ในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกที่ขึ้นรูปโดยเทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่มีการผสมไฟเบอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น เส้นใยแก้ว และเส้นใยคาร์บอน เป็นต้น นอกจากนี้การแปรรูปพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers) ก็นิยมใช้การอัดในการแปรรูป พลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้การอัดในการแปรรูป คือ พลาสติกชนิดเทอร์โมเซต ในเทคนิคการอัดใช้เครื่องอัดที่ไม่มีความซับซ้อน ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้และอีกแผ่นจะถูกยึดติดอยู่กับที่ ทำให้สามารถทำการปิดและเปิดเบาได้เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่น ๆ ของเครื่องอัด คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอาจจะมีอุปกรณ์หล่อเย็น

เครื่องอัดส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัดขึ้นลงโดยใช้ระบบไฮดรอลิก แต่มีเครื่องอัดบางชนิดที่เคลื่อนที่โดยใช้แรงลม นอกจากทำหน้าที่ให้แผ่นเหล็กอัดเคลื่อนที่แล้ว ระบบขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ในการให้แรงดันในการอัดซึ่งจะให้แรงดันอยู่ในช่วง 5 - 100 ตัน ส่วนระบบให้ความร้อนจะมีการให้ความร้อนอยู่ 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่คอมปาวด์ก่อนอัด และการให้ความร้อนแก่เบ้าอัดโดยตรงขณะที่ทำการอัด ซึ่งระบบการให้ความร้อนแก่เบ้าอัดนั้นยังสามารถทำได้หลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีที่มีความนิยมมาก เนื่องจากง่ายในการออกแบบและติดตั้ง หรือจะเป็นการให้ความร้อนด้วยระบบไอน้ำ ซึ่งมีข้อดีคือ

ให้ความร้อนที่สม่ำเสมอมาก แต่ไม่สามารถให้ความร้อนได้เกิน 180 องศาเซลเซียส นอกจากระบบการให้ความร้อนแล้วในเครื่องอัดบางเครื่องอาจจะมีระบบหล่อเย็นเพิ่มเข้ามาด้วย เพื่อช่วยให้งานที่ได้จากการอัดมีการเย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นส่วนใหญ่จะใช้น้ำเย็นไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของแม่พิมพ์

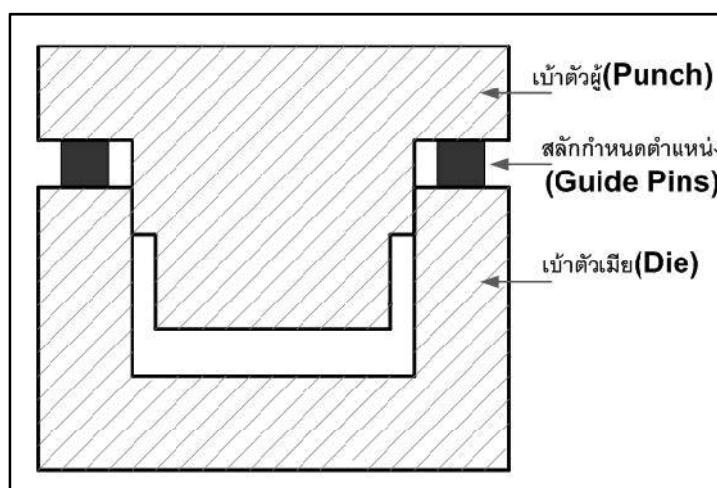


รูปที่ 2.9 ลักษณะของเครื่องอัด (Compression molding) (http://www.milmour.com/milmour/compression_molding_images.asp)

2.9.2 แม่พิมพ์ (Mold)

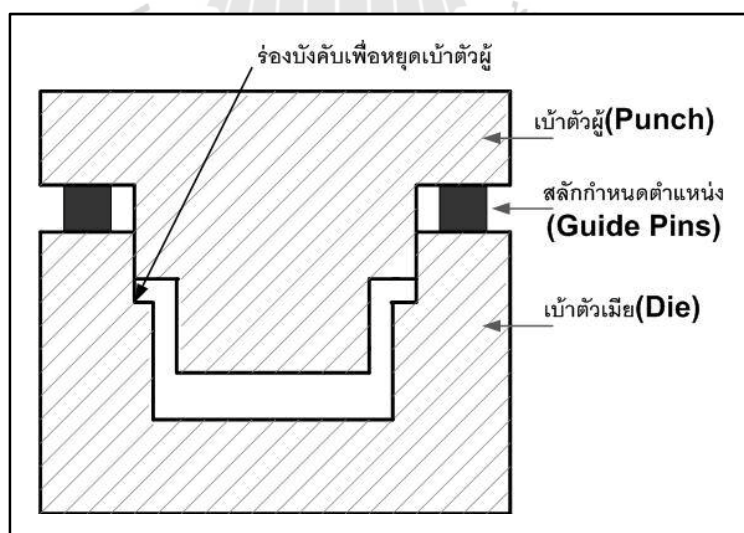
แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ แม่พิมพ์แบบบวก (Fully positive mold) แม่พิมพ์แบบกึ่งบวก (Semi-positive mold) และแม่พิมพ์แบบบาง (Flash mold)

- แม่พิมพ์แบบบวก (Fully positive mold) ในการอัดโดยใช้แม่พิมพ์แบบบวก คอมปาวด์ (สารที่ใช้ในการผลิต) จะรับแรงทั้งหมดและยอมให้คอมปาวด์ละลายไหลออกน้อยที่สุด หรือไม่ให้ออกเลย ชิ้นงานที่ได้จึงมีเนื้อแน่นและแข็งแรงมาก ข้อเสียคือ หากใส่ผงคอมปาวด์มากเกินไปแรงอัดจะทำให้แม่แบบแตกร้าวได้ ผลลัพท์ที่ได้อาจจะมีความหนาและความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้มีความลำบากในการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานให้สม่ำเสมอ แม่พิมพ์ชนิดนี้จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้งานที่ต้องการความละเอียด



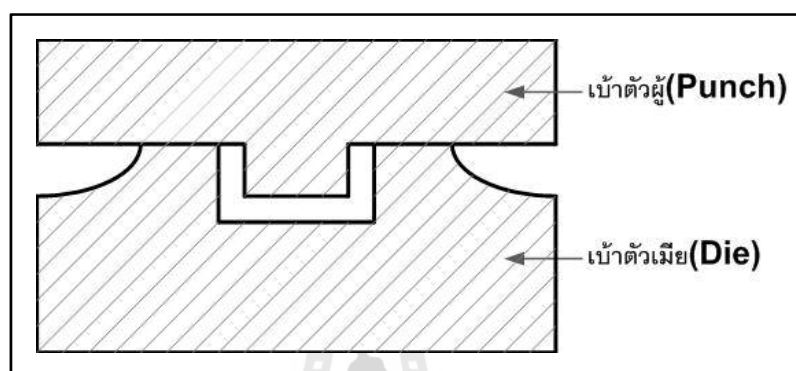
รูปที่ 2.10 แม่พิมพ์แบบบวก (Fully positive mold) (เจริญ นาคะสวรรค์, 2542)

- แม่พิมพ์แบบกึ่งบวก (Semi-positive mold) มีการเจาะร่องในแม่พิมพ์ตัวเมียเพื่อเป็นแนวบังคับให้แม่พิมพ์ตัวผู้เคลื่อนที่ลงมาเพื่ออัดแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะมีการเคลื่อนตัวระยะหนึ่งแล้วจึงหยุด นอกจากนี้ยังมีร่องให้วัสดุที่มากเกินไปไหลออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นในการอัดแบบนี้จึงต้องมีการชั่งวัสดุที่จะอัดให้มากเกินไปเล็กน้อยแต่ไม่ควรมากเกินไป แม่พิมพ์ชนิดนี้เหมาะสมกับงานทั่วไป ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงพอสมควร



รูปที่ 2.11 แม่พิมพ์แบบกึ่งบวก (Semi-positive mold) (เจริญ นาคะสวรรค์, 2542)

- แม่พิมพ์แบบบาง (Flash mold) แม่พิมพ์แบบบางเป็นแม่พิมพ์ที่มีลักษณะคล้ายแม่พิมพ์แบบกึ่งบวก กล่าวคือ มีจุดรองรับแม่พิมพ์เพื่อให้หยดในขณะทำการอัด แต่เบ้าแบบนี้จะมีลักษณะง่ายกว่าแม่พิมพ์แบบกึ่งบวกมาก โดยแม่พิมพ์ชนิดนี้จะใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะอัดแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่า และการออกแบบและทำแม่พิมพ์จะง่ายกว่า เบากว่า และราคาถูกกว่าเบ้าแบบกึ่งบวก



รูปที่ 2.12 แม่พิมพ์แบบบาง (Flash mold) (เจริญ นาคะสวรรค์, 2542)

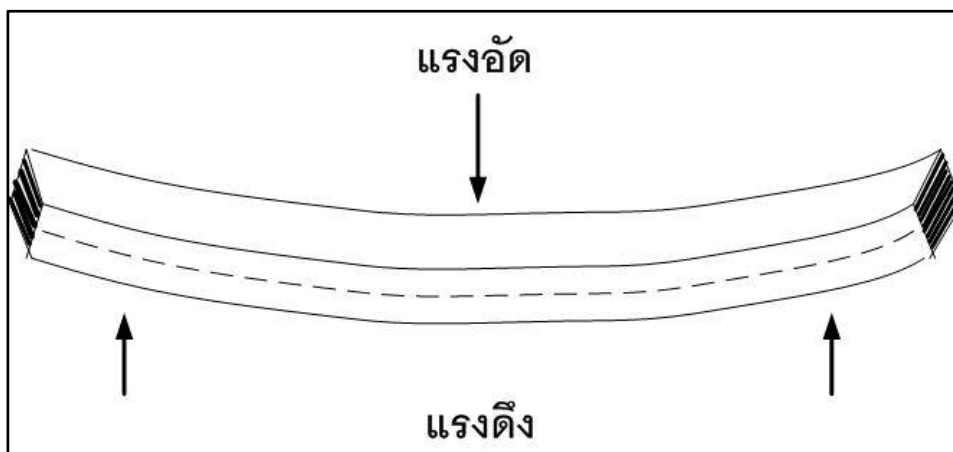
2.10 การทดสอบสมบัติทางกล

2.10.1 การทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending test)

การทดสอบแรงดัดโค้งเป็นอีกวิธีหนึ่งสำหรับการทดสอบแบบอัตราเร็วคงที่ ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบพลาสติก และมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ เนื่องจากวิธีนี้จะไม่ค่อยมีปัญหาซึ่งเกิดจากการเยื้องศูนย์ระหว่างชิ้นงาน นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรงยังถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณที่จะเสียหายอีกด้วย ในการทดสอบแรงดัดโค้งชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากการทดสอบจะใส่แรงกระทำกับชิ้นงานแล้วทำให้เกิดแรงเค้นอัดที่บริเวณด้านบนของหน้าตัดชิ้นงาน และเกิดแรงเค้นดึงที่บริเวณด้านล่างของหน้าตัดชิ้นงาน การดัดโค้งอาจจะกระทำด้วยแรงเค้นตรง แรงเค้นเฉือนดัด หรือแรงเค้นเฉือนบิดโดยชิ้นงานที่มีลักษณะการใช้ในลักษณะที่มีการรับแรงแบบสวนทางมักจำทำการทดสอบแบบดัดโค้ง ซึ่งชิ้นงานจะมีการโค้งงอเกิดขึ้น ณ จุดหนึ่งบนพื้นผิวบริเวณที่มีการรับแรง การดัดโค้งเป็นการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานซึ่งสามารถใช้เป็นฟังก์ชันในส่วนของความแข็งแรงของวัสดุ

โดยทั่วไปแล้วการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดโค้งนี้จะถูกต้องในกรณีที่การเปลี่ยนแปลง

รูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดโค้งล้วน ๆ เท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช่ทดสอบชิ้นงานที่มีระดับความเครียดเกิน 5%



รูปที่ 2.13 หลักการทดสอบแรงดัดโค้ง (<http://www.mtec.or.th/laboratory/mech/index.php/knowledge/20--bending-test>)

โดยทั่วไปการทดสอบดัดโค้งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three-pointed bending) และการดัดโค้งแบบ 4 จุด (Four-pointed bending)

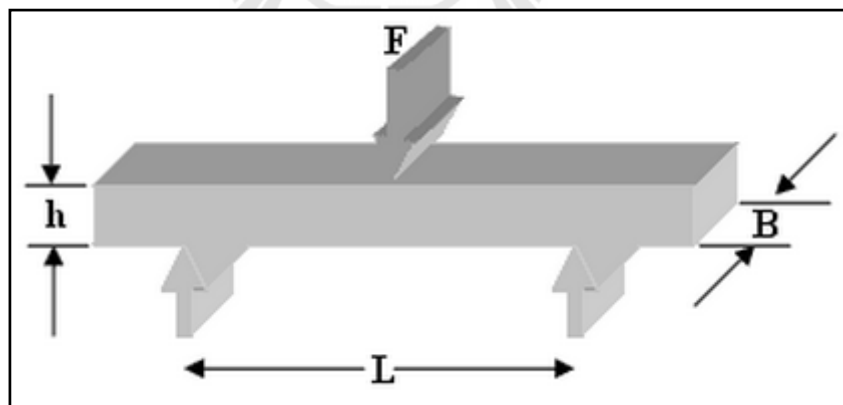
- การทดสอบการดัดโค้งแบบ 3 จุด การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้าม บริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ใช้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (round knife edges) หรือเพลาลอยแข็งก็ได้ รัศมีของหัวกดและชุดให้แรงกระทำต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับหัวกด และ 1.5 เท่าของความหนาชิ้นงานทดสอบสำหรับชุดรองรับ การที่ชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสดังกล่าวเพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของความเค้น (stress concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัสดังกล่าว และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างจากจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นงานทดสอบโดยมีค่าระหว่าง 16:1 ถึง 60:1 ซึ่งความแข็งแรงการดัดโค้งและค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ (อรรถพล ตะระ)

$$\text{ความแข็งแรงดัดโค้ง } (N/m^2) = \frac{3FL}{2Bh^2} \quad (2.1)$$

- เมื่อ F คือ แรงกระทำ (นิวตัน)
 L คือ ระยะห่างระหว่างสองจุดของฐานรองรับชิ้นงาน (เมตร)
 B คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ (เมตร)
 h คือ ความสูงของชิ้นทดสอบ (เมตร)

$$\text{มอดูลัสของความยืดหยุ่น } (N/m^2) = \frac{L^3 F}{4Wt^3 \delta} \quad (2.2)$$

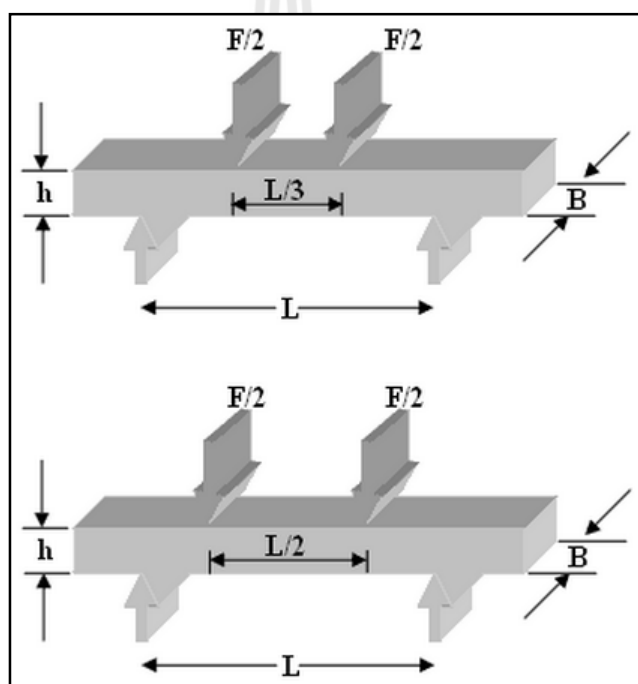
- เมื่อ F คือ น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์ (นิวตัน)
 L คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง (เมตร)
 W คือ ความกว้างของตัวอย่าง (เมตร)
 t คือ ความสูงของตัวอย่าง (เมตร)
 δ คือ ระยะที่ตัวอย่างเกิดการโค้งงอเมื่อถูกกดด้วยแรง F (เมตร)



รูปที่ 2.14 หลักการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด

- การทดสอบการดัดโค้งแบบ 4 จุด การทดสอบแบบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่ 2 จุดในบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้าม บริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูงกว่าในกรณีของการทดสอบการดัดโค้งแบบ 3 จุด หัวกดที่ใช้ภาระและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน

หรือเพลาลอยหะแข็งเช่นเดียวกับการทดสอบแบบ 3 จุด แต่รัศมีของหัวกดและชุดให้ภาระจะมีค่าเท่ากัน โดยจะต้องมีรัศมีอย่างต่ำ 3.2 มิลลิเมตร และมีรัศมีสูงสุดไม่เกิน 1.5 เท่าของความหนาของชิ้นงานทดสอบ ระยะห่างระหว่างชุดกดและชุดรับรองในการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบ 1/3 และแบบ 1/4 การจัดระยะ 1/3 หมายถึง ระยะห่างระหว่างจุดรองรับและจุดกดทั้งสองมีค่าเท่ากันคือ $1/3$ ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่การจัดระยะแบบ 1/4 หมายถึงระยะห่างระหว่างจุดรองรับและจุดกดมีค่าเท่ากับ $1/4$ ของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ในขณะที่ระยะห่างระหว่างจุดกดทั้งสองเท่ากับ $2/4$ เท่าของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสอง ทั้งนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จาก อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นงานทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1



รูปที่ 2.15 หลักการทดสอบแรงดัด โค้งแบบ 4 จุด

2.10.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้ทดสอบสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ปกติการทดสอบแรงดึงจะใช้ชิ้นทดสอบตามแบบมาตรฐาน แต่ขณะเดียวกันก็สามารถใช้ชิ้นทดสอบแบบอื่นที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณใน

การทดสอบแรงดึงโดยทั่วไป ได้แก่ จีดจำกัดการยืดหยุ่น (Elastic limit) ร้อยละการยืด (percent elongation) โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) จีดจำกัดแบบสัดส่วน (proportional limit) ร้อยละการลดลงของพื้นที่หน้าตัด (percent reduction in area) ความแข็งแรงดึง (tensile strength) จุดจำนน (yield point) และความแข็งแรงจำนน (yield strength) เป็นต้น กระบวนการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM มีดังนี้ E8 สำหรับวัสดุโลหะ D638 สำหรับวัสดุพลาสติก D2343 สำหรับวัสดุไฟเบอร์ D897 สำหรับวัสดุแก้ว D987 สำหรับวัสดุกระดาษ และ D412 สำหรับวัสดุยาง

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตกอยู่ได้สภาวะการยืดและเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดเริ่มต้น นั่นคือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (gauge length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ โดยความยาวระยะทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงปกติเท่ากับ 2 นิ้ว โดยสามารถคำนวณหาค่าแรงเค้นและความเครียดของชิ้นทดสอบได้จากสมการ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

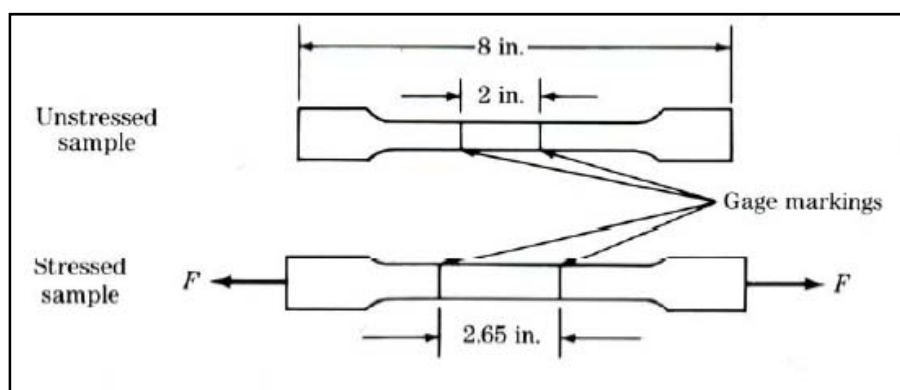
$$\sigma = \frac{F}{WD} \quad (2.3)$$

เมื่อ σ = แรงเค้น
 F = แรงกระทำ
 W = ความกว้างของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ
 D = ความยาวของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.4)$$

เมื่อ l_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ
 l = ความยาวชิ้นทดสอบหลังการดึง

โดยกำหนดความยาวช่วงของการทดสอบเรียกว่าระยะทดสอบ (gauge length) ปกติยาว 2 นิ้ว และความยาวของชิ้นทดสอบทั้งหมดประมาณ 8 นิ้ว ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงขั้นตอนทดสอบแรงดึงแบบแผ่นก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ
(อรรถพล ตะระะ)

2.10.3 การทดสอบแรงกระแทก (Impact test)

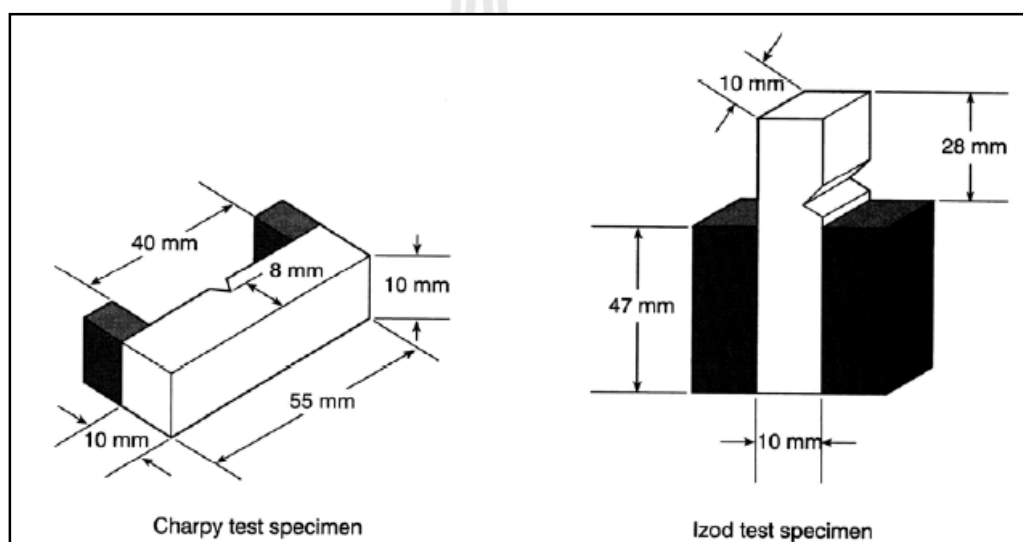
การทดสอบการกระแทกเป็นการวัดการส่งถ่ายพลังงานที่จำเป็นในการแตกหักของวัสดุ ค่าความแข็งแรงการกระแทกจะบ่งบอกถึงความสามารถในการรับแรงฉับพลัน (shock load) แม้พลังงานไม่สามารถสร้างและทำลายได้แต่พลังงานการกระแทกจะสูญเสียไปในหลายลักษณะ เช่น ถูกใช้ในการเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวรของวัสดุ และแรงเสียดทานจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ เป็นต้น ในการทดสอบแรงกระแทกจะใช้พลังงานของลูกตุ้มกระแทกให้ชิ้นทดสอบแตกหัก โดยพลังงานจะนิยามเป็นงานซึ่งเป็นแรงที่กระทำเป็นระยะทางหนึ่ง ดังสมการ 2.5

$$W = FD \quad (2.5)$$

- เมื่อ
- W คือ งาน (ปอนด์ฟุตหรือนิวตันเมตร)
 - F คือ แรงที่กระทำ (ปอนด์หรือนิวตัน)
 - D คือ ระยะทางในช่วงที่แรงกระทำ (นิ้วหรือเมตร)

สมบัติของวัสดุที่สัมพันธ์กับการแตกหักเรียกว่าความแกร่ง (toughness) โดยสาเหตุของการแตกหักมาจากการกระแทกหรือแรงกระทำโดยฉับพลัน โดยความเหนียวและความแข็งแรงจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อความแกร่งของวัสดุ และโดยทั่วไปจะใช้การทดสอบการกระแทกในการวัดความแกร่งของวัสดุ

อย่างไรก็ตามการทดสอบที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ การทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีและแบบไอซอด (Charpy and Izod impact tests) โดยการทดสอบทั้งคู่นี้จะทำการใส่แรงกระทำด้วยการเหวี่ยงลูกตุ้มและใช้ชิ้นทดสอบที่มีร่องบากและมีขนาดเล็ก และการทดสอบจะเป็นการใส่แรงด้วยการดัดงอ การทดสอบทั้งสองแบบนี้แตกต่างกันที่การออกแบบชิ้นทดสอบและความเร็วของลูกตุ้มในการกระแทกชิ้นทดสอบ ในการทดสอบแบบชาร์ปีชิ้นทดสอบจะถูกยึดในลักษณะของคานเดี่ยว แล้วตีกระแทกที่บริเวณด้านหลังของร่องบาก ส่วนในการทดสอบแบบไอซอดจะยึดชิ้นงานในรูปของคานโยกและตีกระแทกที่ปลายอีกข้างหนึ่งด้านหน้าร่องบาก โดยความเร็วมาตรฐานในการเหวี่ยงลูกตุ้มในการทดสอบแบบไอซอดมีค่าเท่ากับ 11.5 ฟุตต่อวินาที ในขณะที่การทดสอบแบบชาร์ปีจะใช้ความเร็วของลูกตุ้มเท่ากับ 17.5 ฟุตต่อวินาที



รูปที่ 2.17 ชิ้นทดสอบการกระแทกแบบชาร์ปีและแบบไอซอด (อรรถพล ตะระ)

สำหรับวัสดุไม้จะใช้การทดสอบแบบฮัททิจูลเนอร์ โดยการทดสอบแบบนี้จะเป็นการทดสอบการกระแทกที่ใส่แรงกระทำในลักษณะการดัดงอด้วยการปล่อยก้อนน้ำหนักคงที่ค่าหนึ่งจากระยะความสูงต่าง ๆ โดยความสูงของลูกตุ้มจะเริ่มต้นที่ 1 นิ้ว จากนั้นจะทำการเพิ่มความสูงขึ้นครั้งละ 1 นิ้ว ไปเรื่อย ๆ โดยความสูงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าความแข็งแรงของวัสดุ

ซึ่งจากผลการทดสอบจะทำให้ทราบค่าพลังงานดูดซับ (Absorbed energy, E) เป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้วัสดุแตกหัก ซึ่งอ่านได้จากหน้าปัดของเครื่องทดสอบ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าการกระแทกจากสมการ 2.6

$$\text{Impact strength} = \frac{E}{A} \quad (2.6)$$

เมื่อ E คือ พลังงานดูดซับ (จูล)

A คือ พื้นที่หน้าตัดบริเวณร่องบาก (ตารางเซนติเมตร)

2.11 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้กันอย่างทั่วไปในการตัดสินใจทางสถิติ คือ การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (hypothesis testing) เช่น การทดสอบค่าเฉลี่ย (t-test) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยทั่วไปการทดสอบสมมติฐานจะสันนิษฐานว่าสิ่งที่เราสนใจนั้นเป็นจริงก่อนแล้วจึงทำการพิสูจน์ด้วยข้อมูลจากตัวอย่าง

ความแปรปรวน (Variance) เป็นมาตรการวัดการกระจายข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากความแปรปรวนสามารถคำนวณได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง ความแปรปรวนจึงเป็นการวัดการกระจายข้อมูลในรูปของพื้นที่ สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) หรือเรียกอย่างย่อว่า ANOVA เป็นวิธีหนึ่งในการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรมากกว่าสองกลุ่มขึ้นไปพร้อม ๆ กัน โดยความแตกต่างระหว่างกลุ่มจะถูกวัดในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนซึ่งในที่นี้ก็คือค่าเฉลี่ยของความแปรผัน ในการทดสอบสมมติฐานโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ตัวแปรที่ศึกษาอาจมีเพียงตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปรที่ศึกษาพร้อม ๆ กันได้ แต่ละตัวแปรอาจแยกออกได้หลายระดับหรือหลายชนิด โดยตัวแปรที่ต้องการศึกษาจะมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

- ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีเพียงตัวเดียวหรือมากกว่าหนึ่งตัว แต่ตัวแปรตามต้องมีตัวเดียวเท่านั้น
 - ลักษณะของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจจะจำแนกออกเป็นระดับต่าง ๆ หรือจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ
 - ลักษณะของตัวแปรตามต้องมีค่าต่อเนื่อง
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.11.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวเดียวกับตัวแปรตามตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่จำแนกออกเป็นระดับต่าง ๆ เช่น เก่ง - ปานกลาง - อ่อน

เป็นต้น ส่วนตัวแปรตามอาจมีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตามตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

2.11.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรต้นที่เป็นสิ่งทดลองจำนวน 2 ตัวกับตัวแปรตามเพียงตัวเดียว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเชิงคุณภาพที่จำแนกออกเป็นระดับหรือประเภทต่าง ๆ ส่วนตัวแปรตามมีลักษณะเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้โดยที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง นอกจากจะสามารถศึกษาผลของตัวแปรทั้งสองตัวไปพร้อม ๆ กันแล้ว ยังสามารถศึกษาผลร่วม (Interaction) ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวด้วยว่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวหนึ่งนอกจากจะส่งผลต่อตัวแปรตามแล้วยังส่งผลใด ๆ ต่อตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอีกตัวหนึ่งหรือไม่

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางจะต้องทำการวิเคราะห์ผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบนค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง หรือที่เรียกว่า ผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares) ของการแปรผันทั้งหมด โดยกำหนดให้

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_W \quad (2.7)$$

เมื่อ SS_T คือ ผลรวมของการแปรผันทั้งหมด (Total Sum of Squares)

SS_A คือ ผลรวมของการแปรผันจากตัวแปรอิสระตัวที่ 1 ซึ่งคำนวณได้จาก

$$SS_A = \frac{\sum aT_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{N}$$

SS_B คือ ผลรวมของการแปรผันจากตัวแปรอิสระตัวที่ 2 ซึ่งคำนวณได้จาก

$$SS_B = \frac{\sum aT_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{N}$$

SS_{AB} คือ ผลรวมของการแปรผันร่วม (หรือปฏิสัมพันธ์) ระหว่างตัวแปรอิสระตัวที่ 1 กับตัวที่ 2 ซึ่งคำนวณได้จาก

$$SS_{AB} = \sum a \sum b T_{ij}^2 - \frac{\sum aT_i^2}{n_i} - \frac{\sum bT_j^2}{n_j} + \frac{T^2}{N}$$

SS_W คือ ผลรวมของการแปรผันภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Squares) ซึ่งคำนวณได้

$$\text{จาก } SS_W = \frac{\sum NX_{ij}^2 - \sum a \sum b T_{ij}^2}{n_{ij}}$$

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางมีเงื่อนไขที่เป็นข้อตกลงเบื้องต้นว่า กลุ่มตัวอย่างที่จะต้องคัดเลือกมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ โดยมีความแปรปรวนเท่ากันและกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาจะต้องเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งในการคำนวณหาผลรวมของความแปรผันทั้งหมดมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาประกอบ คือ รูปแบบของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่จะวิเคราะห์ โดยสูตรในการหาค่า F สำหรับตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่กำหนดเอง มีดังนี้

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_W} \quad (2.8)$$

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_W} \quad (2.9)$$

$$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_W} \quad (2.10)$$

โดย $MS_A = SS_A/(a-1)$

$MS_B = SS_B/(b-1)$

$MS_{AB} = SS_{AB}/(a-1)(b-1)$

$MS_W = SS_W/(N-ab)$

เมื่อ MS_A คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของ A

MS_B คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของ B

MS_{AB} คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง A กับ B

MS_W คือ ค่าเฉลี่ยของความแปรปรวนภายในกลุ่ม

$a - 1$ คือ Degree of Freedom ของการแปรผันของ A (df_A)

$b - 1$ คือ Degree of Freedom ของการแปรผันของ B (df_B)

$(a-1)(b-1)$ คือ Degree of Freedom ของการแปรผันของปฏิสัมพันธ์ระหว่าง A และ B (df_{AB})

$N - ab$ คือ Degree of Freedom ของการแปรผันภายในกลุ่ม (df_W)

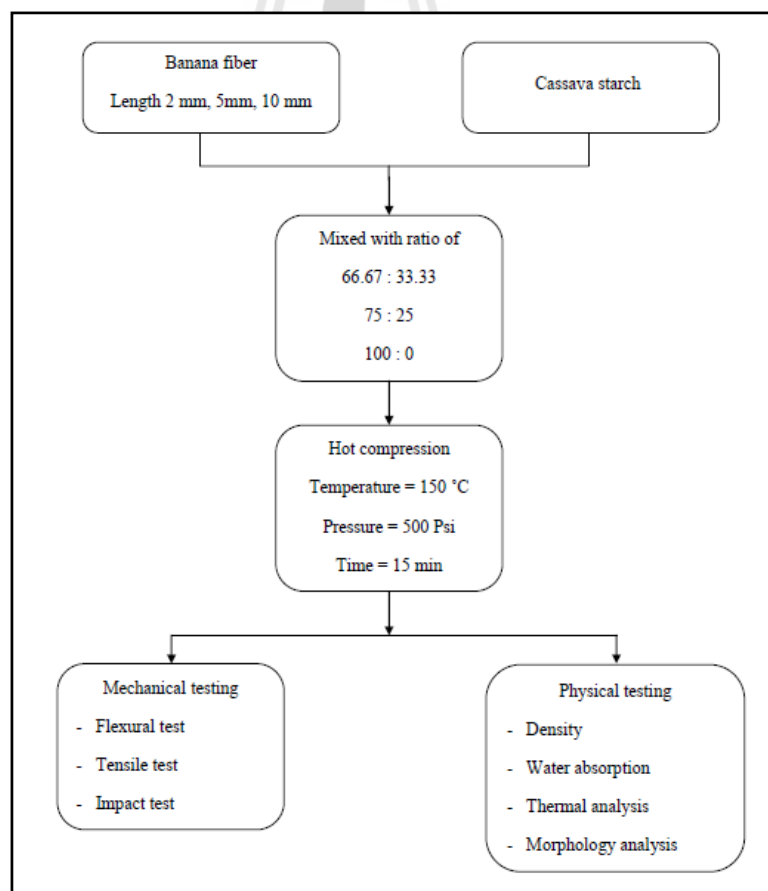
$N - 1$ คือ Degree of Freedom ของการแปรผันทั้งหมด (df_T)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีการผลิตภาชนะโดยใช้วัสดุดิบจากธรรมชาติ เพื่อช่วยลดปริมาณขยะจากภาชนะพลาสติกและภาชนะโฟมแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยสาระสำคัญของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงกระบวนการทำงานทั้งหมด ตั้งแต่กระบวนการเตรียมวัสดุ กระบวนการอัดขึ้นรูป รวมไปถึงกระบวนการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ซึ่งกระบวนการทำงานทั้งหมดแสดงดังแผนผังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังกระบวนการทำงานโดยสังเขป

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- 1) กาบกล้วยน้ำว้าสด ซึ่งจะนำมาผลิตเป็นเส้นใยกล้วยเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยได้มาจากสวนข้างอาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 กาบกล้วยสด

- 2) แป้งมันสำปะหลัง โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังแบบไม่ดัดแปร ยี่ห้อปลาไทย 5 ดาวเนื่องจากสามารถซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดและมีราคาไม่สูงนัก ซึ่งแป้งมันสำปะหลังนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานสำหรับการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ



รูปที่ 3.3 แป้งมันสำปะหลังแบบไม่ดัดแปร

3) น้ำเปล่า ใช้สำหรับผสมกับแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นตัวประสานในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) อุปกรณ์สับ
- 2) เครื่องปั่น ผลิตโดยบริษัท Waring commercial
- 3) ตะแกรง
- 4) ปีกเกอร์
- 5) ถาด
- 6) ถุงซิปล็อค (Zip lock bag)
- 7) คัตเตอร์
- 8) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบ 2 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 1,100 กรัม ผลิตโดยบริษัท Denver Instrument
- 9) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบ 4 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 230 กรัม ผลิตโดยบริษัท Denver Instrument
- 10) เครื่องผสมอาหารขนาด 2.8 ลิตร ผลิตโดยบริษัท House worth
- 11) แม่พิมพ์และแผ่นรองสำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

12) ถู้งมือกันความร้อน

13) แผ่นเทฟลอน (Teflon sheet)

14) เตาอบรุ่น MCP - Vacuum - Casting - System

15) เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนขนาด 30 ตัน รุ่น Gotech Testing Machine INC

16) เวอร์เนียร์คิิตอลผลิตโดยบริษัท Mitutoyo

17) เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ขนาด 5 kN (Universal Testing Machine) ผลิตโดยบริษัท Instron (Thailand) Limited

18) เครื่องทดสอบการต้านแรงกระแทกแบบไอซอด (Basic Pendulum Impact Tester) ผลิตโดยบริษัท Atlas Polymer Evaluation Product

19) เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA 7)

20) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

21) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Stereo Optical Microscope)

22) เครื่องวัดความหนืด รุ่น HAAKE Viscotester 550 Rotational Viscometer

23) เครื่องชั่งมวล

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมเส้นใยกล้วย

1) นำต้นกล้วยน้ำว้าที่ตัดมาลอกกาบกล้วยออกเป็นแผ่นแล้วหั่นให้เป็นลูกเต๋าขนาดประมาณ 2x2 มิลลิเมตร 5x5 มิลลิเมตร และ 10x10 มิลลิเมตร

2) นำกาบกล้วยที่หั่นเรียบร้อยแล้วไปปั่นเป็นเวลา 1 นาที โดยเติมน้ำเปล่าลงไปด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยติดในเครื่องปั่น

3) กรองน้ำออกจากเส้นใยออกด้วยตะแกรง จากนั้นจะได้เส้นใยกล้วยที่มีความยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อคเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผสมและอัดขึ้นรูป



รูปที่ 3.4 เส้นใยกล้วยน้ำว้า

3.4.2 การเตรียมตัวประสาน

ตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ น้ำแป้งมันสำปะหลัง สาเหตุที่เลือกใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเนื่องจากว่าน้ำแป้งสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับเส้นใยกล้วยมากกว่าวุ้นเปียก โดยในการทดลองจะใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังแบบไม่ดัดแปรผสมกับน้ำเปล่าในอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 4 ซึ่งอัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่ทำการทดลองมาแล้วจากโครงการงานของนักศึกษาปริญญาตรีว่าเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทำเป็นตัวประสาน

3.4.3 การเตรียมแป้งจากหัวมันสำปะหลัง

ในงานวิจัยนี้มีการเฟ้นหาหัวมันสำปะหลังที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งจะนำมาสกัดเป็นผงแป้งเพื่อนำไปใช้เป็นตัวประสานในกระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยในการทดลองทำการสกัดแป้งด้วยวิธีการไม่ยุ่งยากง่ายเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในจังหวัดนครราชสีมา โดยกระบวนการสกัดแป้งมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1) นำหัวมันสำปะหลังมาหั่นเป็นชิ้นยาวประมาณ 8 – 10 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้น

- 2) นำหัวมันสำปะหลังที่แห้งแล้วไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องขูดมะพร้าว
- 3) นำหัวมันสำปะหลังแห้งที่บดเรียบร้อยแล้วมาคัดแยกด้วยตะแกรงร่อน โดยแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นแป้งถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการ



รูปที่ 3.5 แป้งที่สกัดได้จากหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60

3.4.4 การเตรียมขึ้นทดสอบโดยการขึ้นรูปแบบอัดด้วยความร้อน

- 1) นำเส้นใยกล้วยที่เตรียมไว้มาผสมกับตัวประสาน (น้ำแป้งมันสำปะหลัง) ให้เข้ากันตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1 แล้วผสมวัสดุให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหารเป็นเวลา 15 นาที
- 2) เตรียมแม่พิมพ์และแผ่นรองแม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูป ตัดแผ่นเทฟลอนขนาดเท่ากับแม่พิมพ์เพื่อใช้สำหรับป้องกันการเกาะติดของแม่พิมพ์
- 3) ตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส แล้วให้ความร้อนกับแม่พิมพ์เปล่าเป็นเวลา 10 นาที จึงนำวัสดุที่ผสมเรียบร้อยแล้วใส่ลงในแม่พิมพ์ทำการกดได้อากาศ 10 ครั้งแล้วจึงเพิ่มความดันจนถึง 500 Psi อัดขึ้นงานคงไว้ที่ความดันดังกล่าวเป็นเวลา 15 นาที
- 4) ปลดแม่พิมพ์ให้เย็นตัวภายใต้อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ไปเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อคเพื่อรอการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

Sample	Fiber size (mm)	Fiber content (%by weight)	Binder (%by weight)
Case 1	2	66.67	33.33
Case 2	2	75	25
Case 3	2	100	0
Case 4	5	66.67	33.33
Case 5	5	75	25
Case 6	5	100	0
Case 7	10	66.67	33.33
Case 8	10	75	25
Case 9	10	100	0

3.4.5 วิธีการทดสอบแรงดัดโค้ง

การทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้งจะทดสอบแบบจุดรองรับสามจุด (Three point bending) ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ของ INSTRON ตามมาตรฐาน ASTM D790-92 โดยจะตัดชิ้นงานให้มีขนาด 12.7 x 60 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง โดยใช้สภาวะทดสอบดังต่อไปนี้

- ค่าความเร็วในการทดสอบ(Compression speed) 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที
- คาระยะวางตัวอย่าง (Span length) เท่ากับ 48 มิลลิเมตร
- โหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลนิวตัน

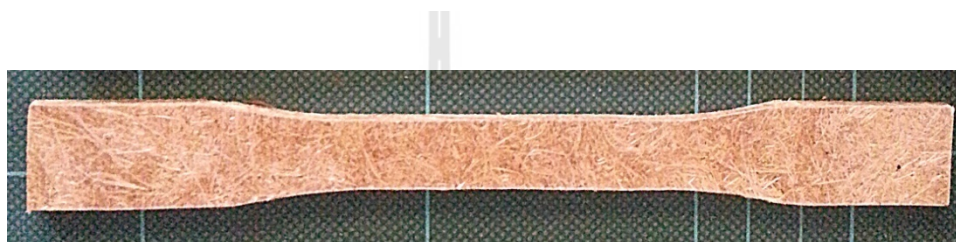


รูปที่ 3.6 ชิ้นทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง

3.4.6 วิธีการทดสอบแรงดึง

การทดสอบสมบัติการต้านแรงดึงทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ของ INSTRON ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยจะตัดชิ้นงานให้เป็นรูปคัมเบลล์มีขนาดความยาว 165 มิลลิเมตร ความกว้าง 19 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง โดยใช้สภาวะทดสอบดังต่อไปนี้

- อัตราการดึงคงที่ (test speed) 5 มิลลิเมตรต่อนาที
- ความยาวของเกจ (gauge length) 50 มิลลิเมตร
- โหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลนิวตัน



รูปที่ 3.7 ชิ้นทดสอบสมบัติการต้านแรงดึง

3.4.7 วิธีการทดสอบแรงกระแทก

การทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทกตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความต้านแรงกระแทก (Basic Pendulum Impact Tester, Atlas Polymer Evaluation Product) ต ามมาตรฐาน ASTM D256 โดยใช้การทดสอบแบบไอซอด (Izod) ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้น้ำหนักกระแทกขนาด 2.7 จูลน์ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง ขนาด 63.5 x 12.7 x 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 ชิ้นทดสอบสมบัติการต้านแรงกระแทก

3.4.8 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น

การทดสอบหาความหนาแน่นเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชิ้นงาน โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร ความหนาเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นงานและบันทึก โดยค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น
 m คือ มวล
 V คือ ปริมาตร

3.4.9 การทดสอบสมบัติการซึมน้ำ

การทดสอบการซึมน้ำของชิ้นงานจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ABNT NM ISO 535,1999 ซึ่งจะตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบอย่างน้อย 5 ตัวอย่างทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (m_1) จากนั้นนำชิ้นงานแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (m_2) บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบและคำนวณหาร้อยละการซึมน้ำจากสมการที่ (3.2)

$$\% \text{ การซึมน้ำ} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \quad (3.2)$$

3.4.10 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาพฤติกรรมการสลายตัวของชิ้นงาน ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ทำได้โดยอาศัยเทคนิคการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนภายใต้บรรยากาศที่สามารถควบคุมได้ โดยใช้เครื่องมือ Thermogravimetric analyzer (TGA 7) เตรียมปริมาณตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิกรัม ซึ่งการทดสอบจะทำภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน โดยเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารตัวอย่างมีอัตราเร็ว (Heating rate) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที เริ่มจากอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสถึง 600 องศาเซลเซียส น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประมาณ 10 ถึง 15 มิลลิกรัม

3.4.11 การศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุจะศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Stereo Optical Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) เพื่อศึกษาลักษณะผิวหน้าของชิ้นงานและลักษณะโครงสร้างภายในของชิ้นงาน โดยทำการตัดชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีความกว้างเท่ากับ 2 มิลลิเมตร สำหรับการนำวัสดุไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ก่อนการนำชิ้นงานไปตรวจสอบจะต้องนำชิ้นงานไปเคลือบผิวหน้าด้วยทองคำเป็นเวลา 30 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ

3.4.12 การวัดความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

การวัดความหนืดของแป้งมันสำปะหลังจะใช้เครื่องมือวัดความหนืดรุ่น HAAKE Viscometer 550 Rotational Viscometer โดยจะทำการผสมแป้งมันกับน้ำเปล่าในอัตราส่วนแป้งต่อน้ำเปล่าเท่ากับ 1 : 4 จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำแป้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วกวนน้ำแป้งจนมีลักษณะใสและหนืด ต่อมาเลือกเซนเซอร์วัดความหนืดและกระบอกวัดสำหรับทดสอบโดยจะเลือกเซนเซอร์วัดความหนืดระดับกลาง (MV1) จากนั้นนำกาวแป้งที่กวนเสร็จเรียบร้อยแล้วใส่ในกระบอกวัดและทำการเลือกความเร็วในการทดสอบที่เหมาะสม (level 5) และทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง บันทึกผลที่ได้และหาค่าเฉลี่ย



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาหากรรมวิธีการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน โดยจะศึกษาหาสภาวะการอัดขึ้นรูปวัสดุที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป อีกทั้งทำการเปรียบเทียบขนาดความยาวของเส้นใยโดยเปรียบเทียบความยาวที่ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป แบ่งออกเป็นสามระดับโดยมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยต่อกาวแบ่งเท่ากับ (1) 66.67 : 33.33 (2) 75 : 25 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดัด (Flexural test) การทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact test) การทดสอบหาค่าความหนาแน่น การทดสอบการซึมน้ำ การทดสอบการทนความร้อน และศึกษาฐานฐานวิทยาของวัสดุ อีกทั้งผู้วิจัยยังได้ศึกษาเกี่ยวกับการเฟ้นหาสายพันธุ์มันสำปะหลังที่หาได้ง่ายในท้องตลาดมาสกัดเป็นแป้งด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยเลือกใช้มันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และ เกษตรศาสตร์ 50 เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในจังหวัดนครราชสีมา จากนั้นทำการทดสอบหาค่าความหนืดของกาวแป้งแต่ละชนิด และทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกลของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปโดยใช้แป้งชนิดต่าง ๆ เป็นตัวประสาน

4.2 สภาวะการอัดขึ้นรูปวัสดุที่เหมาะสม

การดำเนินการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย จัดทำขึ้นด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (Compression molding) โดยในการผลิตนั้นจะใช้กากกล้วยสดเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีความชื้นค่อนข้างสูง และใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปจึงมีน้ำเป็นส่วนประกอบค่อนข้างมาก ดังนั้นการหาสภาวะการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญต่อวัสดุที่ผลิตได้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสภาวะการอัดขึ้นรูปเบื้องต้นของวัสดุ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปจะศึกษาอยู่ในช่วง 120 - 180 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปจะศึกษาอยู่ในช่วง 200 - 800 psi และระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปจะศึกษาอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 นาที

4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปวัสดุ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการทำให้น้ำระเหยออกจากแม่พิมพ์กลายเป็นไอ โดยทำการทดลองอัดขึ้นงานที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 150 องศาเซลเซียสและ 180 องศาเซลเซียสโดยกำหนดให้ในการทดลองใช้ความดันในการอัดเท่ากับ 500 psi และใช้เวลาในการอัดเท่ากับ 15 นาทีเท่ากันทุกอุณหภูมิ พบว่าในกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูง 180 องศาเซลเซียส ระหว่างการอัดขึ้นงานน้ำเกิดการระเหยไปเป็นไออย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีปริมาณฟองอากาศเกิดขึ้นภายในชิ้นงานสูงและทำให้บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานเปราะและมีการแตกหักเกิดขึ้นได้อย่างง่ายดาย โดยเฉพาะบริเวณขอบของชิ้นงานบางส่วนเกิดการไหม้เนื่องจากชิ้นงานมีส่วนผสมของเส้นใยค่อนข้างมาก ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิต่ำคือ 120 องศาเซลเซียส ชิ้นงานสามารถขึ้นรูปได้ตามปกติแต่เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้น้ำระเหยเป็นไอได้อย่างช้า ๆ ส่งผลให้น้ำบางส่วนภายในชิ้นงานยังไม่เกิดการระเหยทำให้ชิ้นงานไม่แห้งทั่วทั้งแผ่น โดยเฉพาะบริเวณตรงกลางของชิ้นงาน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปคือ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งไอน้ำในชิ้นงานสามารถระเหยออกหมดทั่วทั้งแผ่น และสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ทุกการทดลอง บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานมีความเรียบและไม่เกิดรอยแตกบนพื้นผิว

4.2.2 อิทธิพลของความดันที่มีผลต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปวัสดุ

ในกระบวนการอัดขึ้นรูปความดันที่ใช้ในการอัดแม่พิมพ์มีผลต่อการกระจายตัวของวัสดุให้เกิดการกระจายตัวอย่างสมบูรณ์เต็มแม่พิมพ์ และวัสดุที่เป็นส่วนเกินก็จะถูกดันออกมาตามขอบของแม่พิมพ์ ในการทดลองนี้จะทำการอัดขึ้นงานที่ความดัน 200 psi 500 psi และ 800 psi โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการอัดคงที่เท่ากับ 15 นาที จากการทดลองพบว่า การอัดขึ้นงานที่ความดัน 200 psi วัสดุมีการกระจายตัวไม่เต็มแม่พิมพ์และชิ้นงานที่อัดได้มีการเกาะตัวกันได้ไม่มั่นคงเนื่องจากแรงอัดที่กระทำน้อยเกินไป ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบมีหลุมเล็ก ๆ กระจายตัวเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าชิ้นงาน ส่วนการอัดที่ความดัน 800 psi พบว่าบริเวณผิวหน้าของชิ้นงานเกิดรอยแตกอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากการได้รับแรงอัดมากเกินไปและมีไอน้ำประทุออกมาในบางการทดลองทำให้ชิ้นงานที่อัดได้เกิดรอยแตกที่ผิวหน้าอย่างรุนแรง ดังนั้น ความดันที่เหมาะสมกับการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน คือ 500 psi เนื่องจากชิ้นงานที่อัดได้มีการกระจายตัวเต็มแม่พิมพ์ มีผิวหน้าที่เรียบสม่ำเสมอและไม่มียอยแตกเกิดขึ้น

4.2.3 อิทธิพลของระยะเวลาที่มีผลต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปวัสดุ

ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปนั้นมีผลต่อความแห้งของชิ้นงานอย่างมาก เนื่องจากชิ้นงานมีส่วนผสมจากเส้นใยกล้วยและน้ำแป้งซึ่งมีความชื้นสูงมาก ในการทดลองนี้จะทำการทดลองอัดขึ้นงานที่ความดัน 500 psi และอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และอัดที่เวลา 10 นาที

15 นาทีและ 20 นาที จากการศึกษพบว่าเมื่อใช้เวลาอัดที่น้อยเกินไปคือ 10 นาที จะส่งผลให้น้ำภายในชิ้นงานมีการระเหยออกไปไม่หมด ทำให้ชิ้นงานบางส่วนยังไม่แห้งเนื่องจากยังมีความชื้นสะสมอยู่ แต่เมื่อทดลองอัดชิ้นงานโดยใช้เวลา 20 นาที พบว่าชิ้นงานแห้งทั่วทั้งแผ่นแต่บริเวณผิวหน้าของชิ้นงานแห้งเกินไปทำให้ชิ้นงานมีความเปราะมากและเกิดการไหม้ที่บริเวณขอบของชิ้นงาน ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการอัดขึ้นรูป คือ 15 นาที

4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล

4.3.1 ผลการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุ

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วยและผลการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุ

Fiber length (mm)	% by weight of fiber	% by weight of binder	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
2	66.67	33.33	1.49 (0.52)	152.89 (10.57)
	75	25	1.28 (0.44)	121.85 (11.72)
	100	-	0.35 (0.15)	31.68 (6.85)
5	66.67	33.33	2.02 (0.39)	205.68 (16.70)
	75	25	1.68 (0.46)	159.79 (20.69)
	100	-	0.76 (0.46)	115.02 (11.01)
10	66.67	33.33	4.29 (0.90)	488.24 (33.08)
	75	25	2.78 (0.68)	223.51 (26.44)
	100	-	1.54 (0.47)	150.43 (12.89)

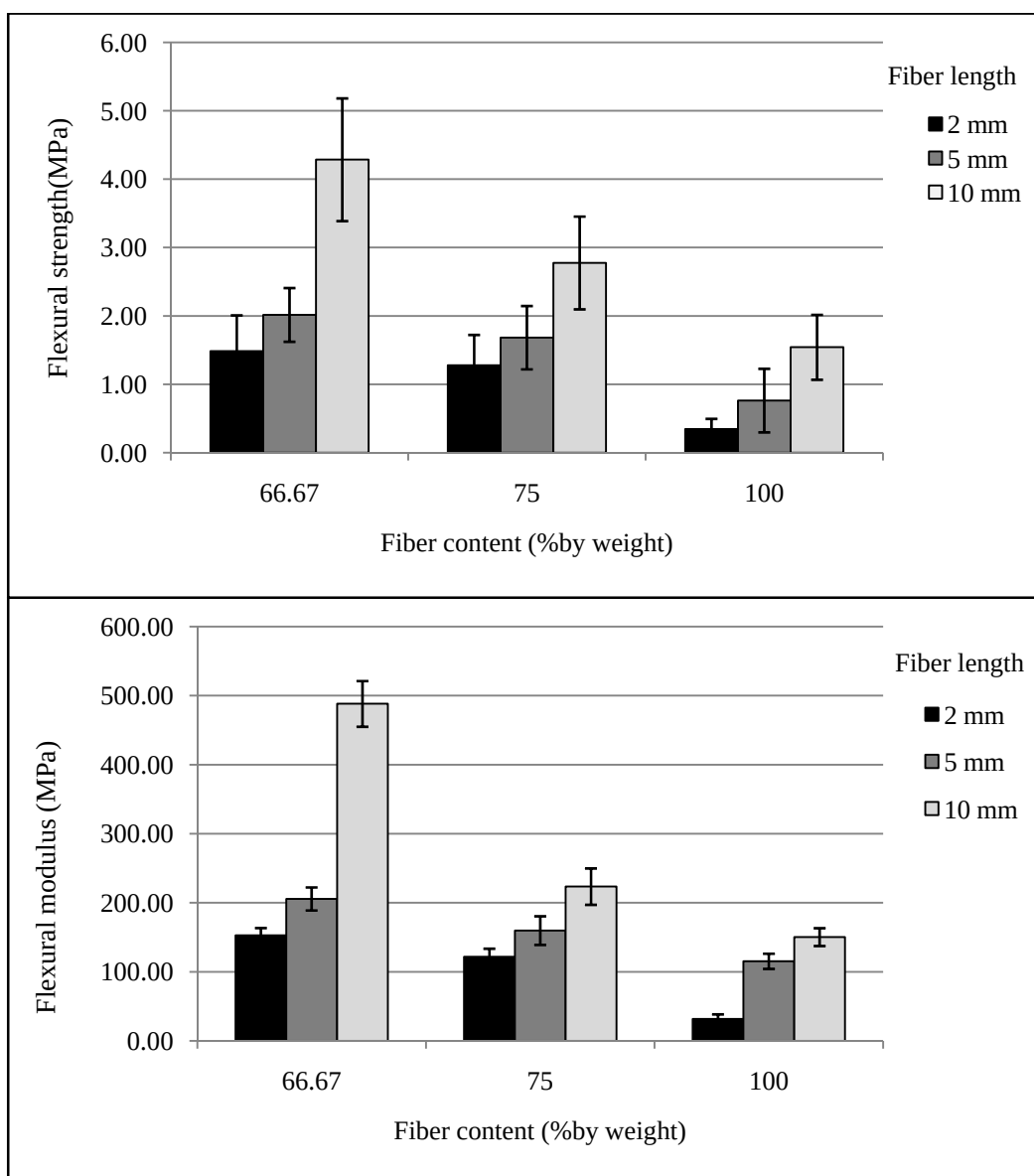
หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 % ของค่าความแข็งแรงดัดโค้ง

Source	DF	SS	MS	F	P
Fiber content	2	35.668	17.8340	62.46	0.000
Fiber length	2	43.711	21.8553	76.54	0.000
Interaction	4	7.191	1.7979	6.30	0.000
Error	63	17.988	0.2855	-	-
Total	71	104.558	-	-	-
S = 0.5343 R-Sq = 82.80 % R-Sq = 80.61 %					

ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้งแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าการเพิ่มความยาวของเส้นใยนั้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งและมอดูลัสแรงดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เนื่องจากการเพิ่มความยาวเส้นใยจะช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างตัวประสานและเส้นใยให้มากขึ้น อีกทั้งเส้นใยกล้วยและโมเลกุลของแป้งมีโครงสร้างของเซลลูโลสที่เหมือนกันจึงสามารถเข้ากันได้ดี และทำให้เกิดการยึดเกาะตัวกันดีมากยิ่งขึ้นทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรงดัดโค้งได้ดีตามไปด้วย แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณเส้นใยจะส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งมีค่าลดลง เนื่องจากการเติมเส้นใยนั้นถ้าเติมในปริมาณน้อย ๆ จะช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุ แต่การเติมปริมาณเส้นใยมากเกินไปนั้นจะมีผลทำให้สมบัติการต้านทานแรงดึงลดลงเนื่องจากเมื่อเส้นใยได้รับความร้อนแล้วจะมีสมบัติแข็งแต่เปราะ จึงส่งผลทำให้ชิ้นงานที่มีส่วนผสมของเส้นใยมากขึ้นรับแรงดัดได้น้อยลง โดยเฉพาะในกรณีที่ชิ้นงานมีเส้นใย 100 % คือไม่มีตัวประสานเลยจะสามารถรับแรงดัดได้น้อยมาก เนื่องจากไม่มีตัวประสานช่วยยึดเกาะระหว่างเส้นใย จากผลการทดสอบแรงดัดโค้งจะพบว่าชิ้นงานที่ให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งสูงที่สุด คือ ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยมีค่าความแข็งแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเท่ากับ 4.29 MPa และ 488.24 MPa ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าโฟมพอลิสไตรีนที่มีค่าความแข็งแรงดัดโค้งเท่ากับ 1.3 MPa (อังคนาบุญ ไชยสุริยา, 2554) ดังนั้นชิ้นงานที่ผลิตได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้แทนโฟมพอลิสไตรีนได้

จากผลการคำนวณทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยปริมาณเส้นใย ความยาวเส้นใย และผลกระทบริ้ว (interaction) ระหว่างสองปัจจัยมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่าแอลฟา (0.05) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยความยาวเส้นใย ปริมาณเส้นใยและอิทธิพลของผลกระทบริ้วมีผลต่อสมบัติการต้านแรงดัดโค้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (a) ค่ามอดูลัส แรงดัดโค้ง (b) ความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยของวัสดุ

4.3.2 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ

การทดสอบแรงดึง (Tensile test) เป็นการทดสอบพื้นฐานที่สุดอย่างหนึ่ง ที่ใช้ทดสอบสมบัติของวัสดุต่าง ๆ โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจจับพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณในการทดสอบแรงดึงได้จากการทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ซึ่งผลทดสอบแรงดึงประกอบไปด้วย ความแข็งแรงดึง (tensile strength) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Young's modulus) และ ร้อยละการยืด (percent elongation) ซึ่งผลทดสอบแสดงดังในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วยและผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ

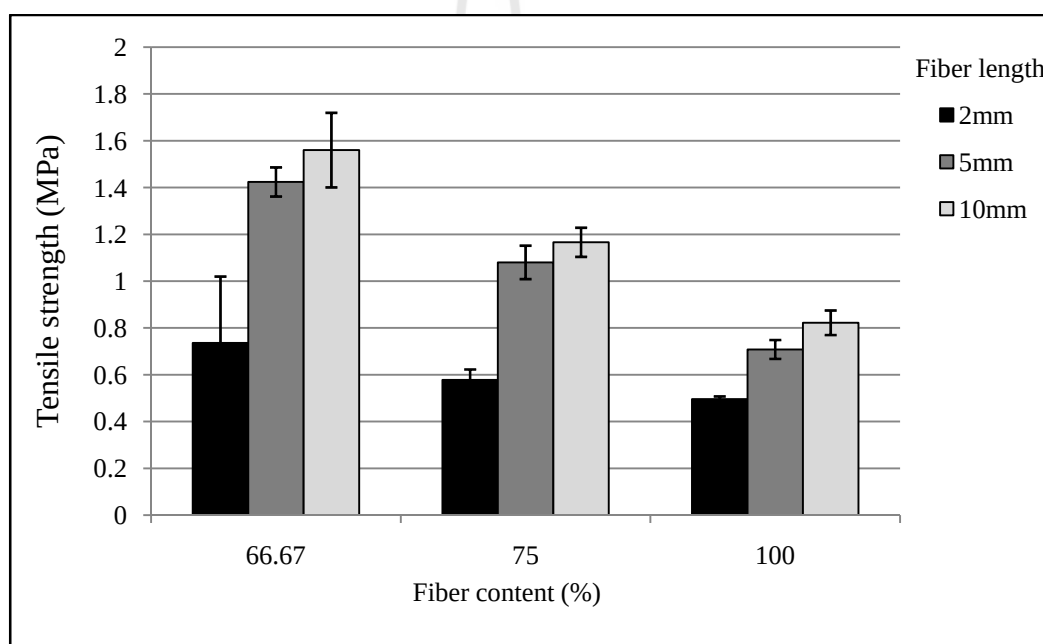
Fiber length (mm)	% by weight of fiber	% by weight of binder	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Elongation at break (%)
2	66.67	33.33	0.74 (0.28)	146.59 (8.05)	3.14 (0.37)
	75	25	0.58 (0.04)	130.72 (10.96)	2.71 (0.44)
	100	-	0.49 (0.01)	123.41 (14.64)	2.27 (0.40)
5	66.67	33.33	1.43 (0.06)	316.17 (11.88)	3.68 (1.15)
	75	25	1.08 (0.07)	239.67 (7.11)	3.27 (0.66)
	100	-	0.71 (0.04)	167.18 (6.52)	3.06 (0.36)
10	66.67	33.33	1.56 (0.16)	362.32 (9.39)	5.55 (1.5)
	75	25	1.17 (0.06)	263.31 (12.85)	5.01 (0.65)
	100	-	0.82 (0.05)	210.30 (10.13)	4.52 (0.27)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

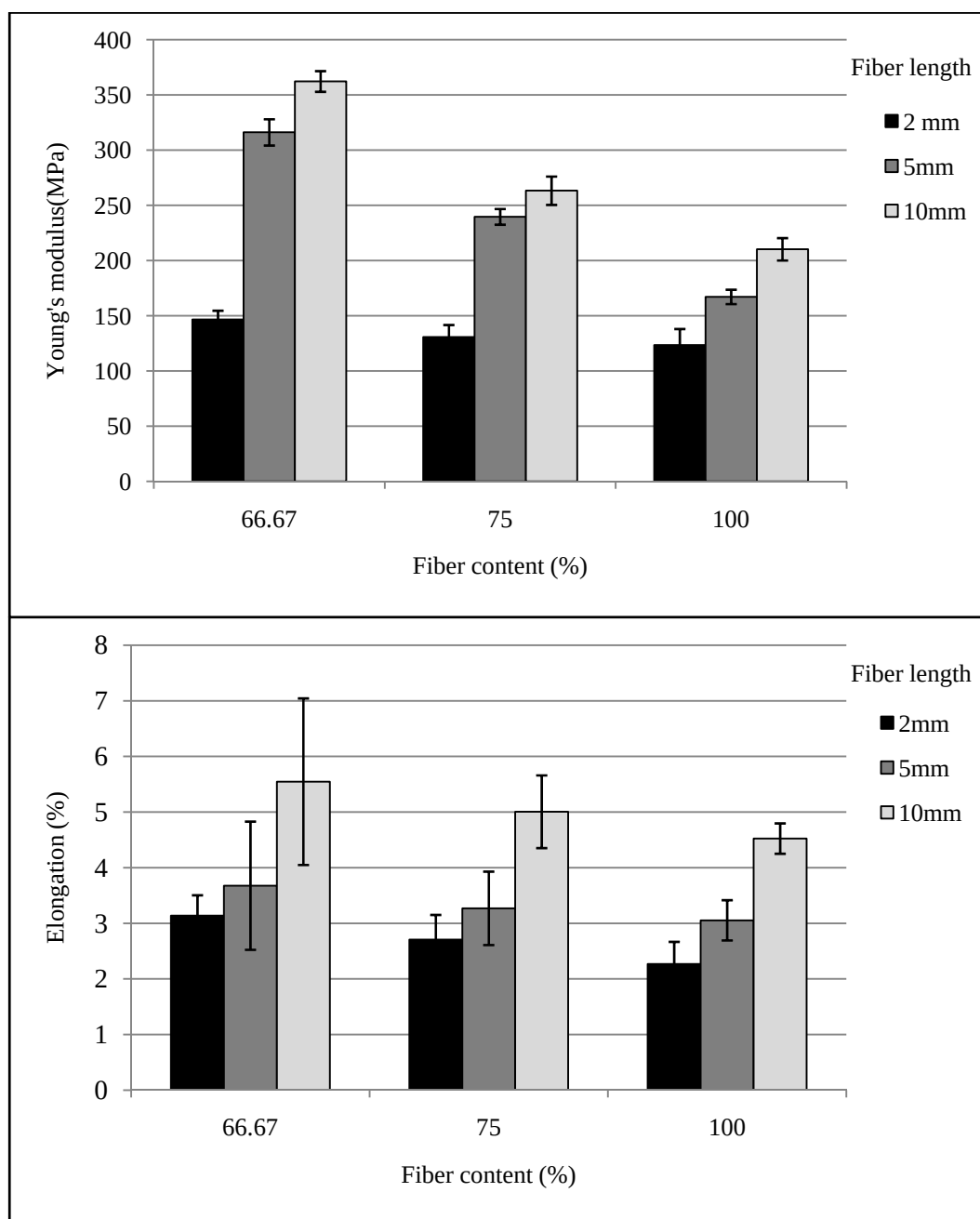
ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 % ของค่าความแข็งแรงดึง

Source	DF	SS	MS	F	P
Fiber content	2	0.1892	0.0946	6.81	0.003
Fiber length	2	0.0650	0.0325	2.34	0.011
Interaction	4	0.0148	0.0037	0.27	0.897
Error	36	0.5000	0.0139	-	-
Total	44	0.7697	-	-	-

S = 0.1179 R-Sq = 98.64 % R-Sq = 98.33 %



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (a) และค่าร้อยละการยืด (b) ความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยของวัสดุ

จากผลการทดสอบการต้านแรงดึงพบว่า ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และร้อยละการยืด มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อเส้นใยกล้วยมีความยาวเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้สมบัติการต้านแรงดึงทั้งหมดมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยพบว่าชิ้นงานที่มีสมบัติการต้านแรงดึงมากที่สุดคือชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใยกล้วยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร (พิจารณา

ปริมาณเส้นใยที่ 66.67%) เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเส้นใยที่มีความยาวมากกว่าจะสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดีกว่าเส้นใยสั้นเนื่องจากมีผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยมาก จึงสามารถรับแรงได้ดีเมื่อมีแรงมากระทำ และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยแล้วจะส่งผลทำให้สมบัติการต้านแรงดึงมีค่าลดลง เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชิ้นงานที่จัดทำขึ้นมีปริมาณเส้นใยมากกว่า 50% ซึ่งถือว่าเส้นใยกลายเป็นองค์ประกอบหลักของชิ้นงาน เมื่อเส้นใยกล้วยได้รับความร้อนจะทำให้เส้นใยเปลี่ยนสมบัติจากเหนียวเป็นแข็งเปราะ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเส้นใยกล้วยมากขึ้นจะยิ่งส่งผลให้ค่าความแข็งแรงน้อยลง โดยเฉพาะชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสานเลย นอกจากจะมีสมบัติแข็งเปราะยังไม่มีตัวช่วยยึดเกาะระหว่างเส้นใย และเมื่อมีแรงไปกระทำจะยิ่งทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย ซึ่งชิ้นงานที่มีสมบัติการต้านแรงดึงดีที่สุดคือ ชิ้นงานในกรณีที่มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 66.67% (พิจารณาความยาวเส้นใย 10 มิลลิเมตร) โดยมีค่า ความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และค่าร้อยละการยืดเท่ากับ 1.56 MPa 362.32 MPa และ 5.55 % ตามลำดับ

จากผลการคำนวณทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยปริมาณเส้นใย ความยาวเส้นใย มีค่าเท่ากับ 0.003 และ 0.011 ซึ่งน้อยกว่าค่าแอลฟา (0.05) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยปริมาณเส้นใยและความยาวเส้นใย มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ผลกระทบร่วม (interaction) ระหว่างสองปัจจัยมีค่า P-value เท่ากับ 0.897 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา (0.05) จึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าผลกระทบร่วมระหว่าง สองปัจจัย มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงดึง ซึ่งค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นและค่าร้อยละการยืดมีผลการคำนวณทางสถิติไปในทิศทางเดียวกัน

4.3.3 ผลการทดสอบความแข็งแรงกระแทกของวัสดุ

ค่าการต้านแรงกระแทกเป็นสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงสำหรับวัสดุที่มีการใช้งานเกี่ยวกับการรับแรง การวัดค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกเป็นการวัดปริมาณพลังงานที่วัสดุดูดกลืนก่อนที่จะเกิดการแตกหักโดยใช้แรงที่ตกกระทบวัสดุอย่างรวดเร็ว โดยผลการทดสอบแรงกระแทกแสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4

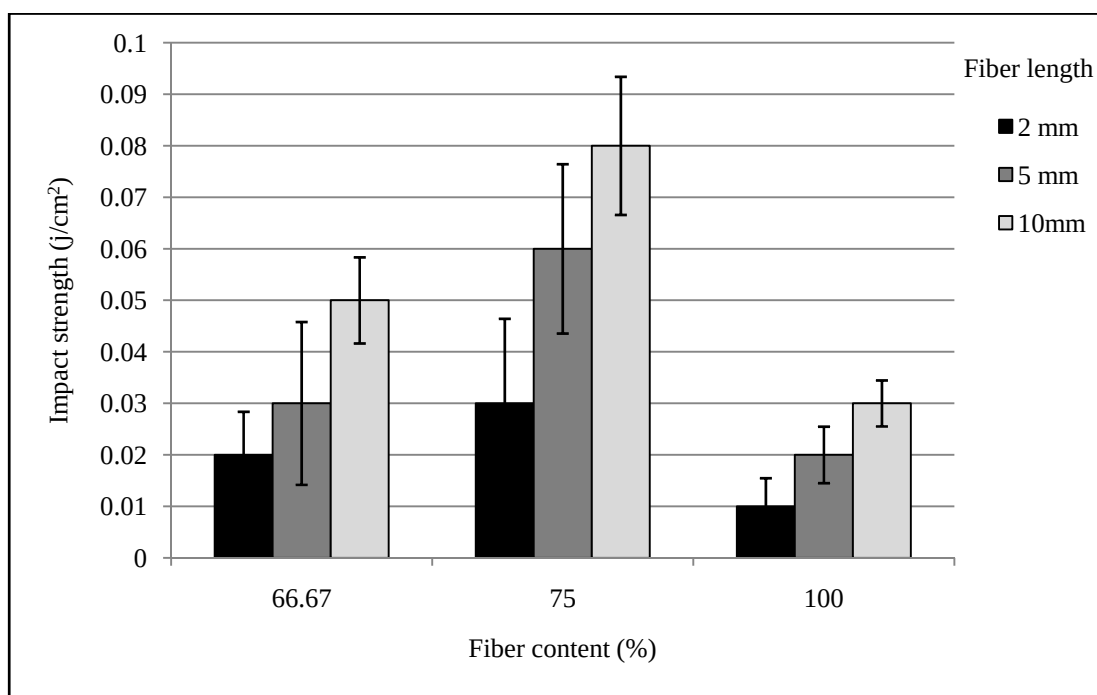
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วยและผล
การ ทดสอบแรงกระแทกของวัสดุ

Fiber length	% by weight of fiber	% by weight of binder	Impact strength
2	66.67	33.33	0.02 (0.01)
	75	25	0.03 (0.02)
	100	-	0.01 (0.01)
5	66.67	33.33	0.03 (0.02)
	75	25	0.06 (0.02)
	100	-	0.02 (0.01)
10	66.67	33.33	0.05 (0.01)
	75	25	0.08 (0.01)
	100	-	0.03 (0.01)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 % ของค่าความแข็งแรงกระแทก

Source	DF	SS	MS	F	P
Fiber content	2	0.0109	0.0055	23.63	0.000
Fiber length	2	0.0072	0.0036	15.54	0.000
Interaction	4	0.0012	0.0003	1.27	0.292
Error	63	0.0146	0.0002	-	-
Total	71	0.0339	-	-	-
S = 0.01521 R-Sq = 56.97 % R-Sq = 51.51 %					



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทก ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4 แสดงผลทดสอบหาค่าแรงกระแทกซึ่งได้จากการทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอดโดยใช้เครื่องมือทดสอบความแข็งแรงกระแทกรุ่น Atlas Polymer Evaluation Product จากผลการทดสอบเมื่อทำการพิจารณาชิ้นงานที่มีตัวประสานจะมีค่าความแข็งแรงกระแทกมากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน เนื่องจากเมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นงานที่มีตัวประสานจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยมากกว่า จึงทำให้สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีตัวประสานจะพบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณเส้นใยที่มากกว่าจะสามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่า เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติสามารถช่วยดูดซับแรงได้ดี และเมื่อพิจารณาชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใยเพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลงานของ Hiroyuki et al.(2009) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับวัสดุคอมโพสิตซึ่งผลิตขึ้นจากวัสดุพืชโดยมีการเสริมแรงด้วยเส้นใยไผ่ จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของเส้นใยไผ่จาก 10 มิลลิเมตร ถึง 30 มิลลิเมตร จะช่วยทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเส้นใยไผ่ที่ยาวจะทำให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างเส้นใยและวัสดุพืชมากขึ้นจึงสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดี อีกทั้งเส้นใยไผ่ยังช่วยเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตเมื่อมีแรงมากระทำกับวัสดุจึงสามารถรับแรงได้ดี โดยจากการทดลองนี้พบว่าชิ้นงานที่มี

ค่าความแข็งแรงกระแทกมากที่สุด คือ ชิ้นงานมีความยาวเส้นใยกล้วยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และมีปริมาณเส้นใยกล้วยเท่ากับ 75 % โดยมีค่าความแข็งแรงกระแทกเท่ากับ 0.08 จูลน์ต่อตารางเซนติเมตร

จากผลการคำนวณทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยปริมาณเส้นใยและความยาวเส้นใย มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่าแอลฟา (0.05) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยปริมาณเส้นใยและความยาวเส้นใย มีผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ผลกระทบรวม (interaction) ระหว่างสองปัจจัยมีค่า P-value เท่ากับ 0.292 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา (0.05) จึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าผลกระทบรวมระหว่างสองปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก และเมื่อพิจารณาว่า R-sq พบว่ามีค่าน้อยกว่า 95% อาจมีสาเหตุเนื่องจากว่าผลการทดสอบแรงกระแทกนั้นมีค่าน้อยเกินไป จึงทำให้ความน่าเชื่อถือของข้อมูลลดน้อยลงและไม่ถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 95%

4.4 ผลการทดสอบทางกายภาพ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงานถือว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ที่จะให้ทราบว่าคุณสมบัติที่จัดทำขึ้นมาสามารถนำไปใช้งานจริงในสภาวะใดได้บ้าง ซึ่งการทดสอบทางกายภาพของชิ้นงานจะประกอบไปด้วย การทดสอบหาค่าความหนาแน่น การทดสอบหาค่าการซึมน้ำ การทดสอบการทนความร้อน และการศึกษาสัณฐานวิทยา

4.4.1 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ

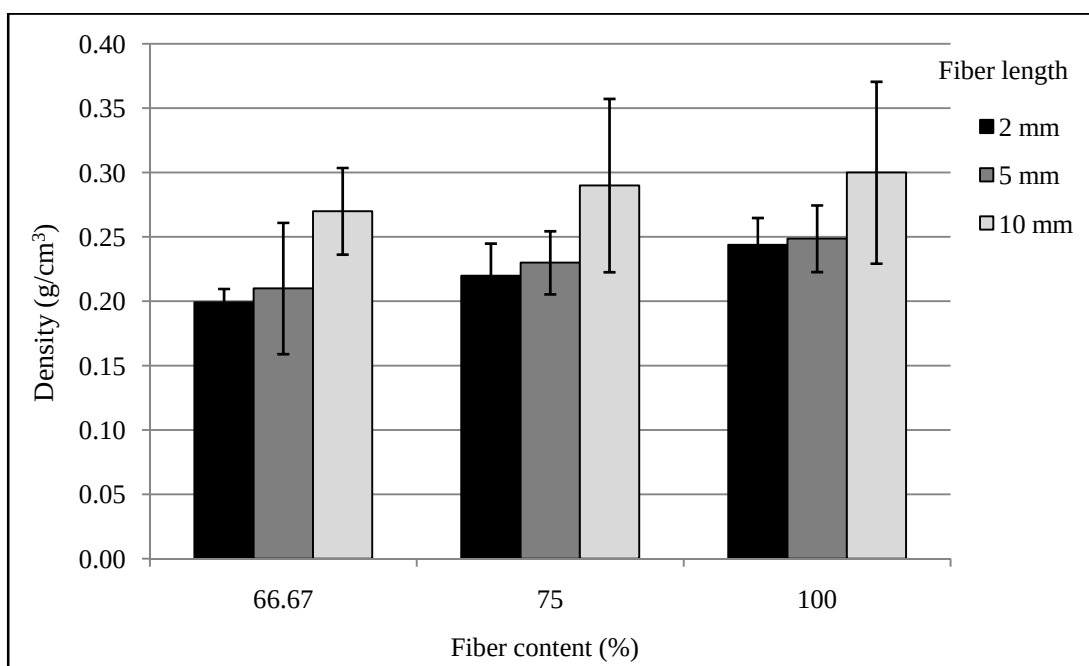
ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วยและผลการหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ

Fiber length (mm)	% by weight of fiber	% by weight of binder	Density (g/cm ³)
2	66.67	33.33	0.20 (0.01)
	75	25	0.22 (0.03)
	100	-	0.24 (0.02)
5	66.67	33.33	0.21 (0.05)
	75	25	0.23 (0.02)
	100	-	0.25 (0.03)
10	66.67	33.33	0.27 (0.03)
	75	25	0.29 (0.07)
	100	-	0.30 (0.07)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณทางสถิติของค่าความหนาแน่นด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95 %

Source	DF	SS	MS	F	P
Fiber content	2	0.0021	0.0011	0.61	0.550
Fiber length	2	0.0639	0.0319	18.32	0.000
Interaction	4	0.0078	0.0019	1.12	0.359
Error	45	0.0786	0.0017	-	-
Total	53	0.1525	-	-	-
S = 0.1179 R-Sq = 98.64 % R-Sq = 98.33 %					



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น ความยาวเส้นใย และ ปริมาณเส้นใยของวัสดุ

จากผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงานพบว่าชิ้นงานที่มีเส้นใย 100% และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดเท่ากับ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยสาเหตุที่ชิ้นงานที่มีส่วนผสมของตัวประสาน (น้ำแป้งมันสำปะหลัง) มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าชิ้นงานที่มีเส้นใย 100 % เนื่องจากว่าชิ้นงานมีองค์ประกอบหลักคือเส้นใยกล้วยซึ่งเป็นเส้นใยจากธรรมชาติทำให้มีความสามารถในการดูดซับชื้นสูง อีกทั้งตัวประสานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำแป้งมันสำปะหลัง จึงส่งผลให้ระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานมีไอน้ำระเหยออกมามาก จึงก่อให้เกิดโพรงอากาศขึ้นภายในชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานที่มีตัวประสานมีรูพรุนเกิดขึ้นภายในชิ้นงานและมีความหนาแน่นน้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน แต่เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วถือว่าชิ้นงานในแต่ละกรณีมีค่าความหนาแน่นไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของความยาวของเส้นใยกล้วยจาก 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร จะพบว่าชิ้นงานที่มีเส้นใยยาวจะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าเส้นใยสั้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.24 0.25 และ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (พิจารณาจากชิ้นงานในกรณีที่มีปริมาณเส้นใย 100 %) ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soykabkeaw (2004) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมแรงถาดโคมแป้งด้วยเส้นใยป่านและปอกระเจา ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อมีการเพิ่ม

ความยาวของเส้นใยจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของภาคโฟมแข็งเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยจะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่ความยาวเส้นใยเท่ากับ 20 mm

จากผลการคำนวณทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยความยาวเส้นใย มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าค่าแอลฟา (0.05) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยความยาวเส้นใย มีผลต่อค่าความหนาแน่นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ปัจจัยปริมาณเส้นใยและผลกระทบร่วม (interaction) ระหว่างสองปัจจัยมีค่า P-value เท่ากับ 0.550 และ 0.359 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา (0.05) จึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสนับสนุนว่าปัจจัยปริมาณเส้นใยและผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่น

4.4.2 ผลการทดสอบหาค่าการซึมน้ำของวัสดุ

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นใยกล้วย ปริมาณเส้นใยกล้วยและผลการหาค่าการซึมน้ำของวัสดุ

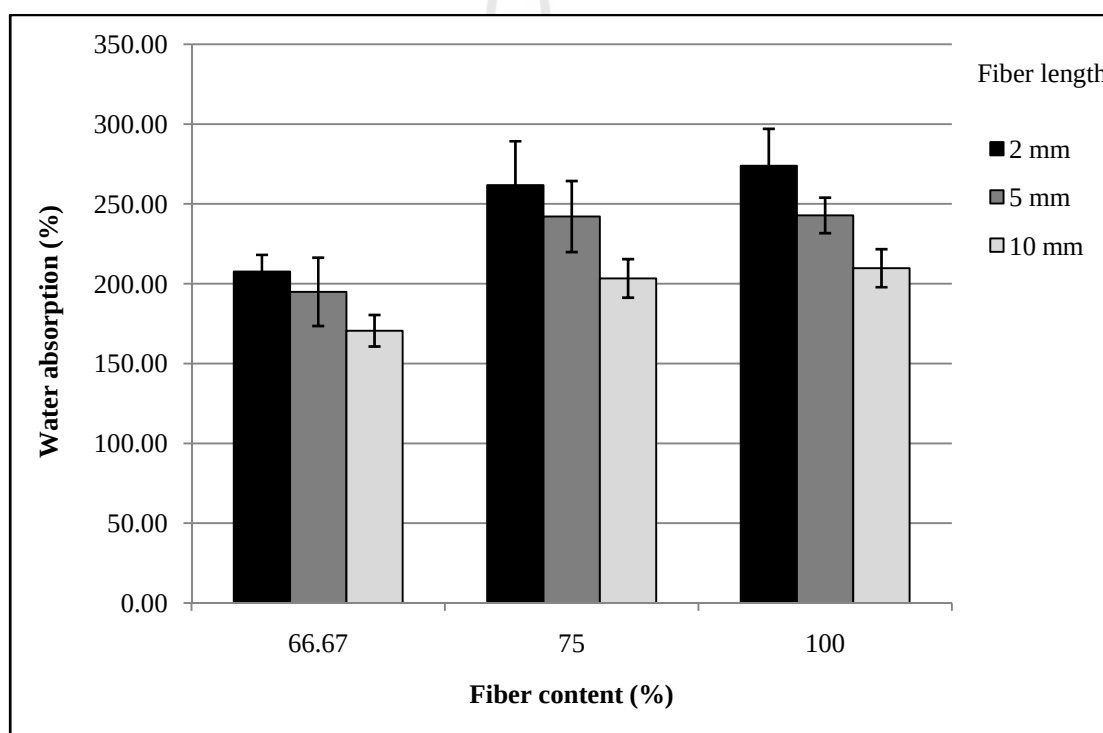
Fiber length (mm)	% by weight of fiber	% by weight of binder	Increasing weight (%)
2	66.67	33.33	207.60 (10.46)
	75	25	261.75 (27.52)
	100	-	273.93 (23.12)
5	66.67	33.33	194.89 (21.40)
	75	25	242.09 (22.25)
	100	-	242.80 (11.14)
10	66.67	33.33	170.53 (9.89)
	75	25	203.35 (12.09)
	100	-	209.73 (11.90)

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณทางสถิติของค่าการซึมน้ำด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two – Way ANOVA) ที่ความเชื่อมั่น 95%

Source	DF	SS	MS	F	P
Fiber content	2	4654	2327.0	9.33	0.002
Fiber length	2	138885	69442.3	278.32	0.000
Interaction	4	68919	17229.9	69.06	0.000
Error	18	4491	249.5	-	-
Total	26	216949	-	-	-

S = 15.80 R-Sq = 97.93 % R-Sq = 97.01 %



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมน้ำ ความยาวเส้นใย และปริมาณเส้นใยของวัสดุ

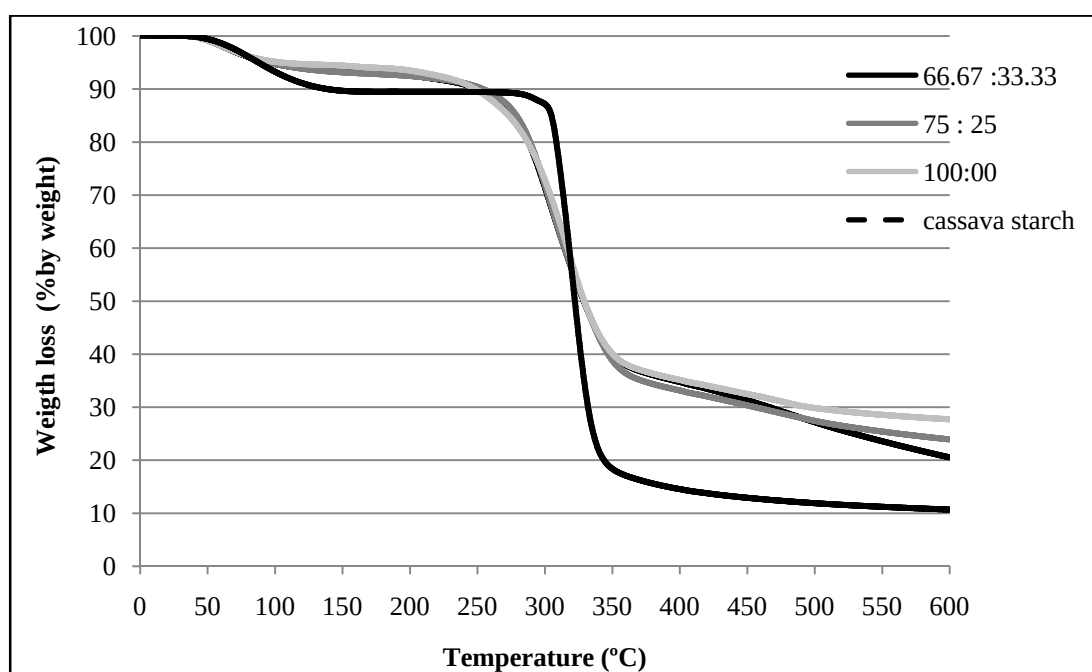
จากผลการทดสอบการซึมน้ำของวัสดุพบว่าชิ้นทดสอบมีค่าการซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากชิ้นงานมีองค์ประกอบหลักคือเส้นใยกล้วยและมีตัวประสานคือน้ำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งโดยปกติเส้นใยธรรมชาติจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเส้นใยกล้วยมีเซลลูโลส

ประมาณ 63-64 % (Joseph S. et al., 2002) ซึ่งเซลลูโลสมีสมบัติเฉพาะคือชอบน้ำ ทำให้ดูดซับความชื้นได้ง่าย อีกทั้งแป้งมันสำปะหลังที่นำมาเป็นตัวประสานมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เช่นกัน จึงส่งผลให้ชิ้นงานสามารถดูดซับความชื้นได้ง่าย การต้านทานน้ำของชิ้นงานจึงมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่าชิ้นงานที่มีตัวประสานจะสามารถต้านการซึมน้ำได้ดีกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน เนื่องจากชิ้นงานที่มีตัวประสานจะมีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเคลือบผิวออก เมื่อชิ้นงานสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกตัวเข้าไปภายในชิ้นงานได้ยาก และเมื่อพิจารณาการเพิ่มความยาวของเส้นใยจะสังเกตได้ว่าชิ้นงานที่มีเส้นใยยาวจะมีค่าการซึมน้ำที่น้อยกว่า จากผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน (หัวข้อ 4.4.1) จะพบว่าเส้นใยยาวมีผลทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ทำให้โมเลกุลของน้ำที่จะพยายามแทรกตัวเข้าไปภายในชิ้นงานเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น โดยชิ้นงานที่สามารถต้านทานการซึมน้ำได้ดีที่สุด คือ ชิ้นงานที่มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 66.67 % และมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยมีค่าการซึมน้ำเท่ากับ 170.53 %

จากผลการคำนวณทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยปริมาณเส้นใย ความยาวเส้นใยและผลกระทบรวม (interaction) ระหว่างสองปัจจัยมีค่าเท่ากับ 0.002, 0.000 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าแอลฟา (0.05) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนได้ว่าปัจจัยปริมาณเส้นใย ความยาวเส้นใย และผลกระทบรวม (interaction) ระหว่างสองปัจจัยมีผลต่อสมบัติการซึมน้ำที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.4.3 ผลการทดสอบการทนความร้อนของวัสดุ

การทดสอบการทนความร้อนของวัสดุศึกษาจากการสลายตัวของวัสดุ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) โดยทำการศึกษาการสลายตัวของวัสดุภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารเมื่อได้รับความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 35 – 600 องศาเซลเซียส โดยผลการทดสอบการสลายตัวของวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมวลเทียบกับอุณหภูมิของ
ชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยเท่ากับ 66.67 : 33.33,
75 : 25, 100 : 0 และแป้งมันสำหรั่ง

จากรูปที่ 4.7 แสดงภาพเทอร์โมแกรมของชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใยเท่ากับ 5 มิลลิเมตรและมีอัตราส่วนระหว่างปริมาณเส้นใยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 75 : 25 100 : 0 และภาพเทอร์โมแกรมของแป้งมันสำหรั่ง จากผลทดสอบจะเห็นได้ว่าชิ้นงานทั้ง 3 กรณีมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีตำแหน่งการสลายตัวปรากฏอยู่ 2 ตำแหน่ง คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการระเหยของความชื้นที่สะสมอยู่ภายในชิ้นงาน โดยมีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 5% และเกิดการสลายตัวอีกครั้งที่อุณหภูมิประมาณ 270 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 65 % ซึ่งจะเป็นการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกล้วย และจากผลการทดสอบยังพบว่าชิ้นงานที่นำมาทดสอบมีปริมาณเถ้าคงเหลือประมาณ 20 – 30 % โดยจะพบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณเส้นใยมากจะมีปริมาณเถ้าคงเหลือมากตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวไม่หมดขององค์ประกอบภายในของเส้นใยกล้วยนั่นเอง ในขณะที่แป้งมันสำหรั่งมีการสลายตัว 2 ตำแหน่งเช่นเดียวกันกับชิ้นงาน คือ มีการสลายตัวตำแหน่งแรก ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 10% ซึ่งเป็นผลมาจากแป้งมีการสูญเสียความชื้น และมีการสลายตัวตำแหน่งที่ 2 ที่อุณหภูมิประมาณ 310 องศา

เซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่แป่งเกิดการสลายตัว (Ch. Ashok Kumer Varma et al., 2014) โดยมีความการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 85 % และมีปริมาณเถ้าคงเหลือประมาณ 10 %

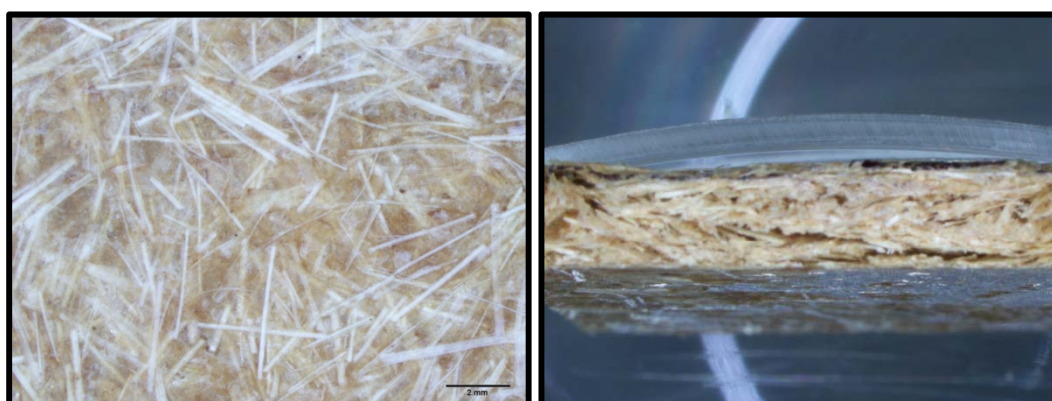
4.4.4 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาลักษณะทางกายภาพในส่วน of สัณฐานวิทยาของชิ้นงานจะทำการศึกษาร่วมกัน 2 แบบ คือ ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

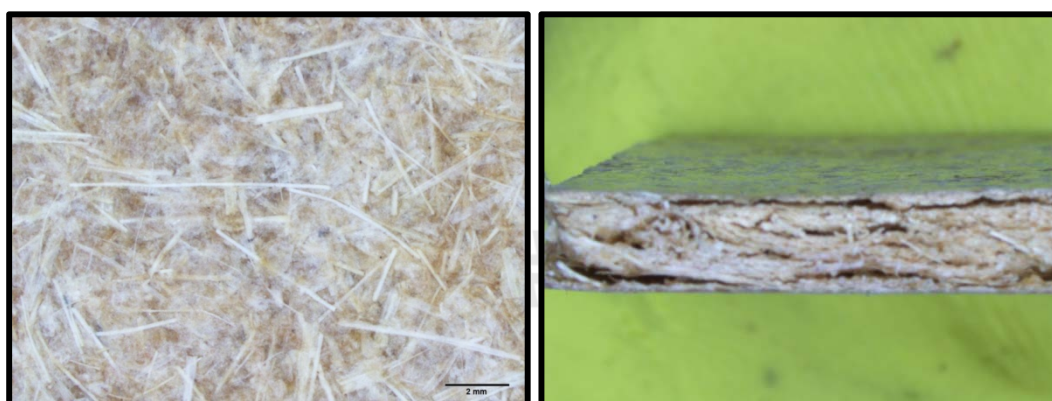
- กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Stereo Optical Microscope)

ผลการตรวจสอบภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใย 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตรและมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 75 : 25 และ 100 : 0 แสดงดังรูปที่ 4.8 รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ

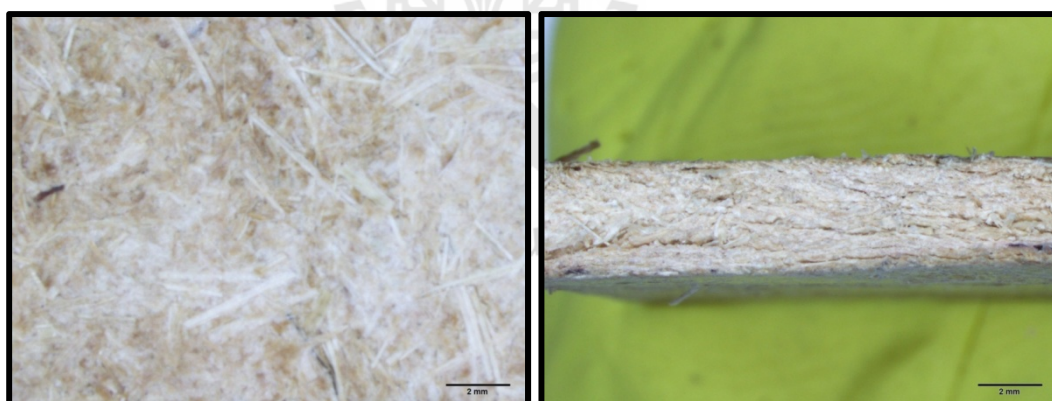




(a)

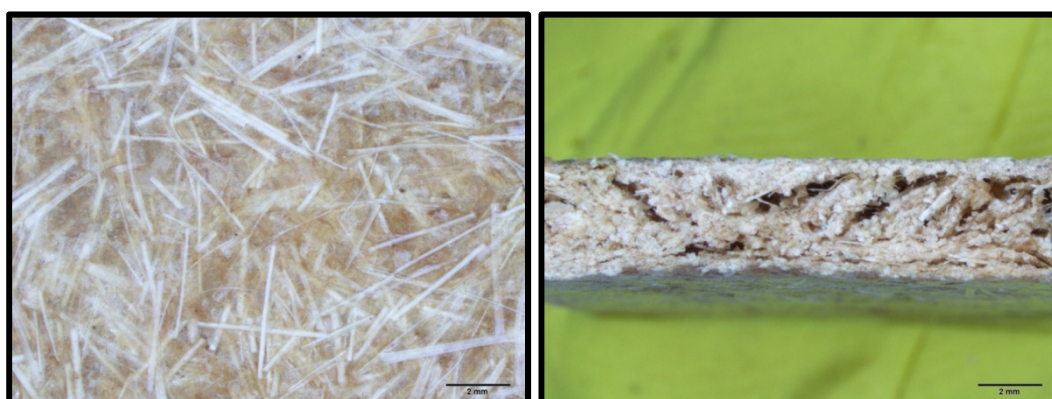


(b)

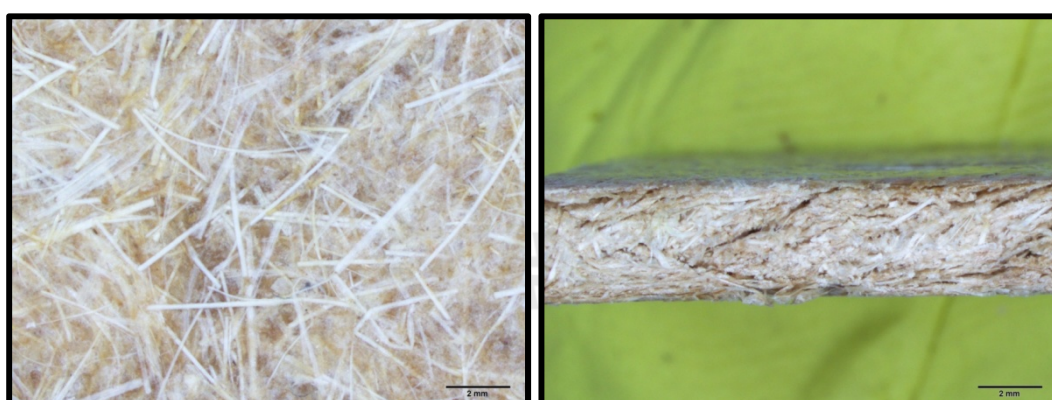


(c)

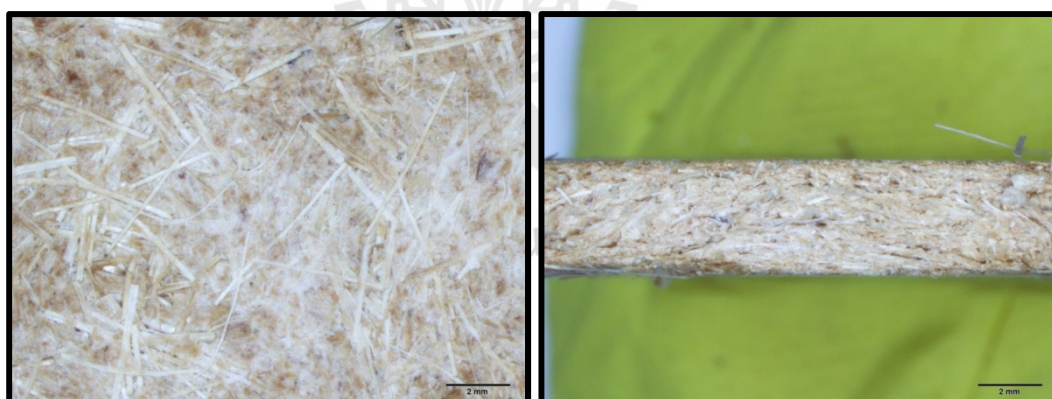
รูปที่ 4.8 แสดงภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 2 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 (a) 75 : 25 (b) และ 100 : 0 (c) ตามลำดับ



(a)

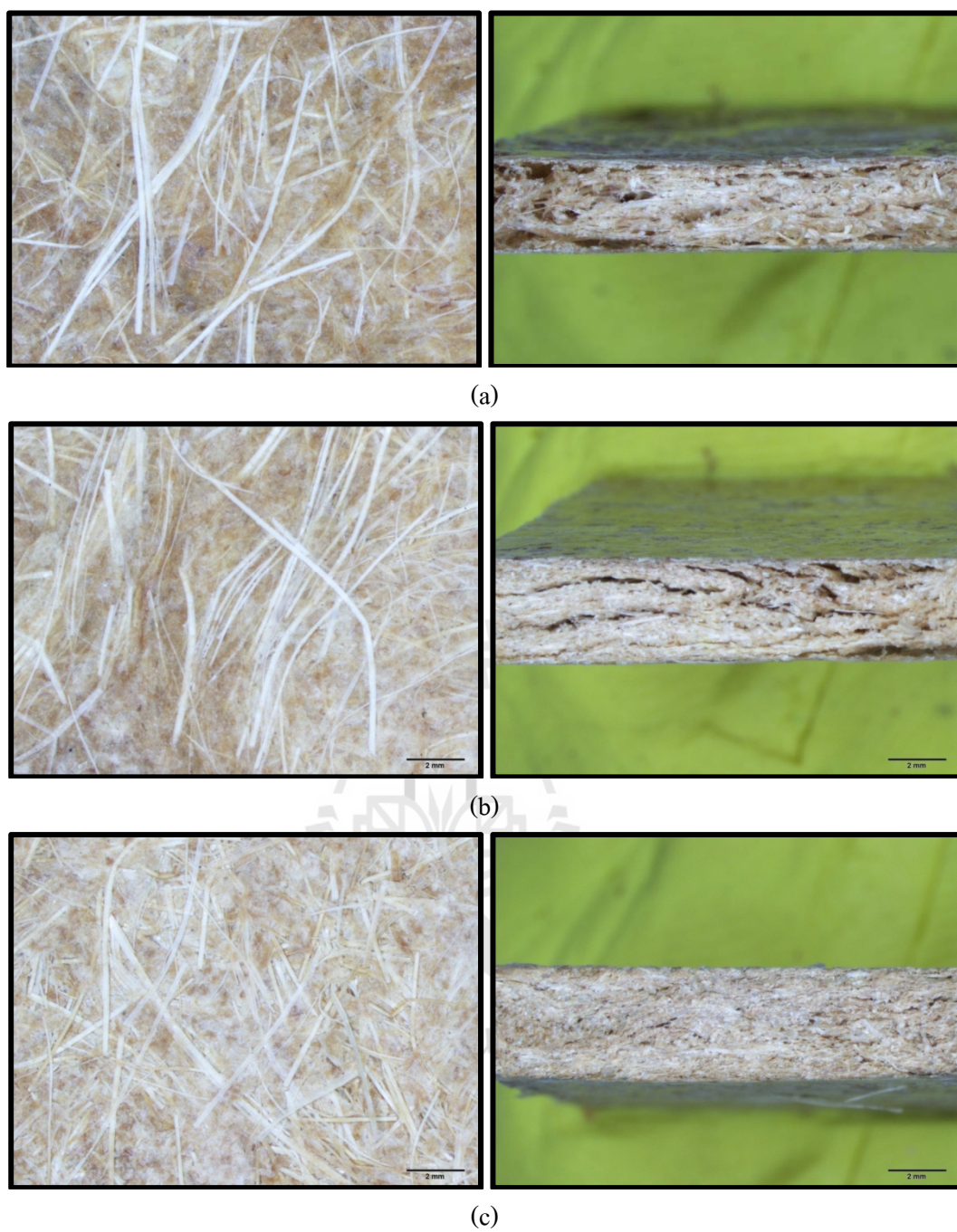


(b)



(c)

รูปที่ 4.9 แสดงภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 (a) 75 : 25 (b) และ 100 : 0 (c) ตามลำดับ

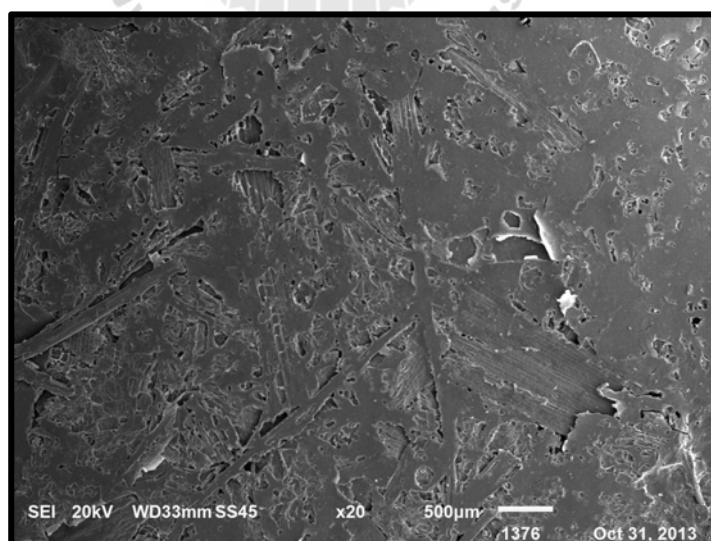


รูปที่ 4.10 แสดงภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยและตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 (a) 75 : 25 (b) และ 100 : 0 (c) ตามลำดับ

จากผลการตรวจสอบภาพผิวหน้าและภาพตัดขวางของชิ้นงานทั้งหมด (รูปที่ 4.8 4.9 และ 4.10) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า ชิ้นงานทั้งหมดมีผิวหน้าที่ค่อนข้างเรียบ และแสดงให้เห็นเส้นใยคล้ายอย่างชัดเจนเนื่องจากชิ้นงานมีองค์เป็นเส้นใยคล้ายในปริมาณมากกว่า 50% และเมื่อสังเกตจากภาพตัดขวางพบว่าชิ้นงานที่มีตัวประสานจะเกิดรูพรุนภายในชิ้นงาน มากกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน (หัวข้อ 4.4.1) โดยชิ้นงานที่มีตัวประสานจะเกิดการระเหยของไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดชิ้นงาน มากกว่า เนื่องจากชิ้นงานที่มีตัวประสานจะมีองค์ประกอบหลัก คือ เส้นใยคล้ายซึ่งเป็นเส้นใยจากธรรมชาติที่มีความชื้นสูงอยู่แล้วประกอบกับใช้ตัวประสานเป็นน้ำมันส่าปะหลัง เมื่อถูกอัดด้วยความร้อนจึงมีไอน้ำระเหยออกจากชิ้นงานเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้บริเวณขอบและภายในของชิ้นงานเกิดรูพรุนขึ้นดังแสดงในภาพตัดขวางของชิ้นงาน

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

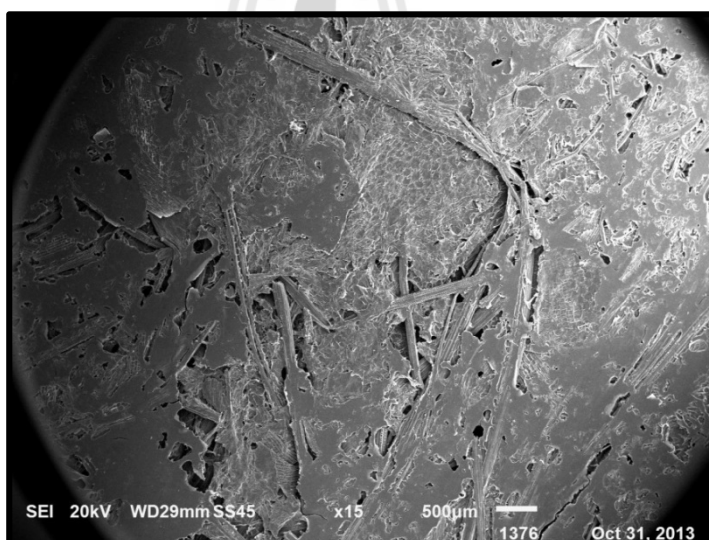
ผลการตรวจสอบลักษณะผิวหน้าของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงดังรูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 พบว่าชิ้นงานถูกเคลือบผิวหน้าด้วยแป้งมันส่าปะหลังและมีรอยโหว่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้า ซึ่งรอยโหว่ดังกล่าวนี้จะเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อชิ้นงานมีความยาวเส้นใยเพิ่มมากขึ้น โดยรอยโหว่นี้เกิดจากการระเหยตัวของไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งบริเวณรอยโหว่นี้จะก่อให้เกิดจุดกำเนิดของการแตกหักของชิ้นงานเมื่อวัสดุมีแรงมากระทำ



รูปที่ 4.11 ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 2 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใย 66.67 %



รูปที่ 4.12 ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใย 66.67 %



รูปที่ 4.13 ภาพผิวหน้าของชิ้นงานที่มีเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตร ปริมาณเส้นใย 66.67 %

4.5 ผลการเปรียบเทียบสายพันธุ์มันสำปะหลังในท้องตลาดที่มีสมบัติเป็นกาบเหนียวที่ดี

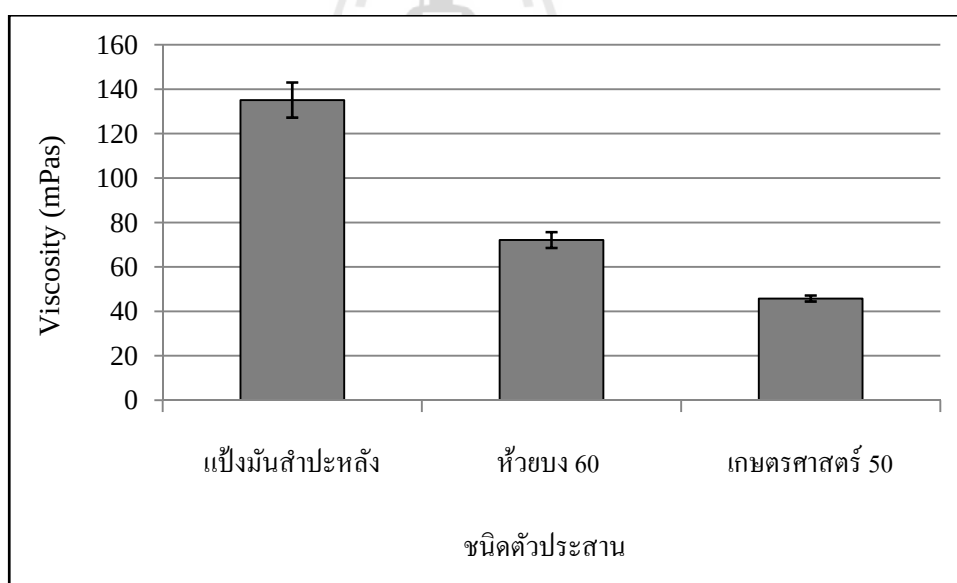
ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำหัวมันสำปะหลังที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นมา สกัดเป็นแป้งเพื่อใช้เป็นตัวประสานใช้การอัดขึ้นรูปภาชนะ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกหัวมัน

ลำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกในจังหวัด นครราชสีมา และมีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ประกอบไปด้วย สมบัติความหนืด สมบัติการต้านแรง ดัดโค้ง สมบัติการต้านแรงดึง และสมบัติการต้านแรงกระแทก

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของแป้งมันสำปะหลังทั่วไปตามท้องตลาด และ ที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50

สมบัติ	แป้งมันสำปะหลัง	มันสำปะหลังสายพันธุ์ ห้วยบง 60	มันสำปะหลังสายพันธุ์ เกษตรศาสตร์ 50
Viscosity (mPas)	135.10 (7.91)	72.10 (3.56)	45.78 (1.36)
Flexural Strength (Mpa)	4.29 (0.90)	1.54 (0.64)	1.07 (0.43)
Tensile strength (Mpa)	1.56 (0.22)	0.77 (0.19)	0.59 (0.21)
Impact strength (J/cm ²)	0.05 (0.01)	0.04 (0.03)	0.03 (0.02)

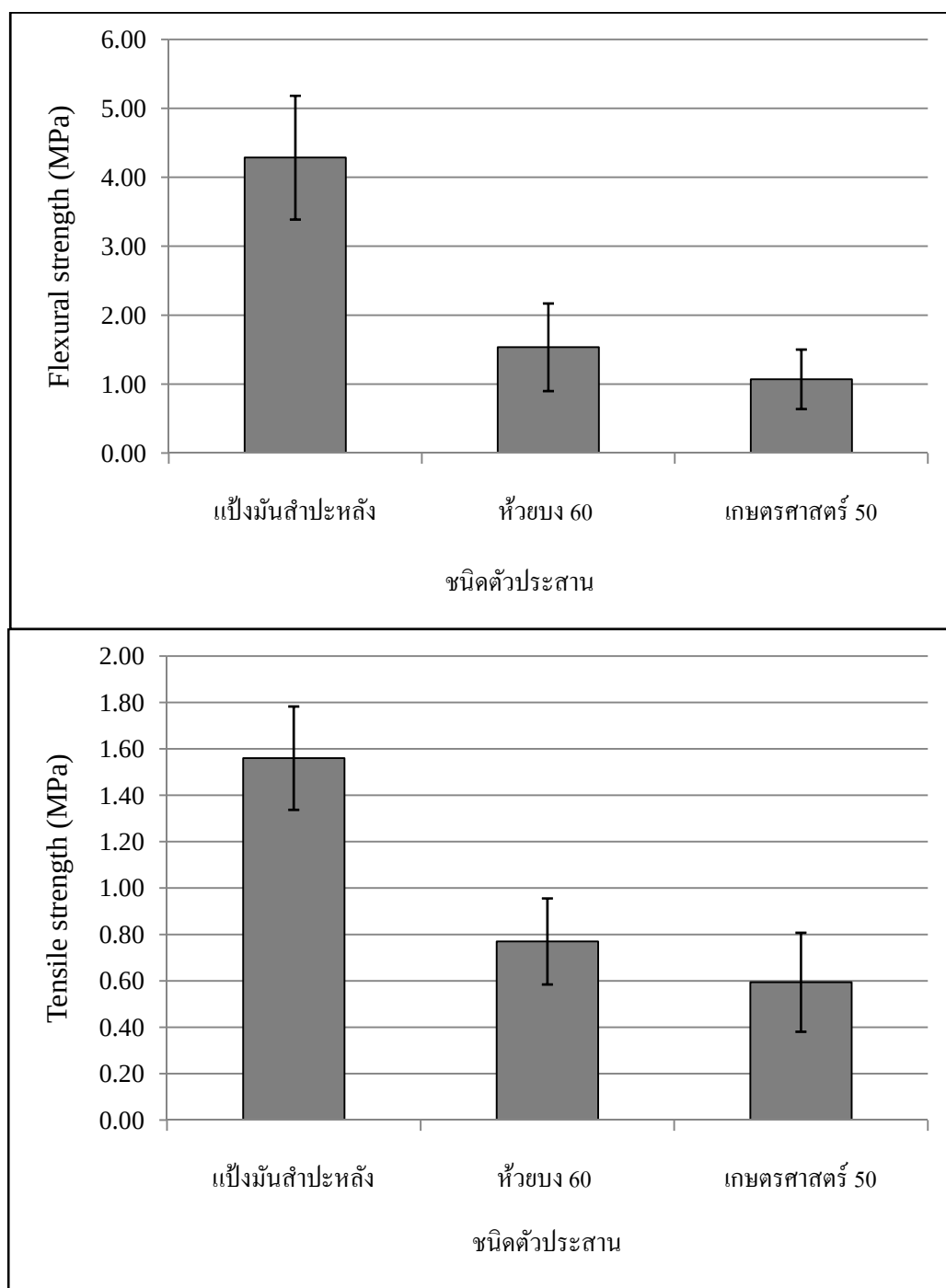
หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บคือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



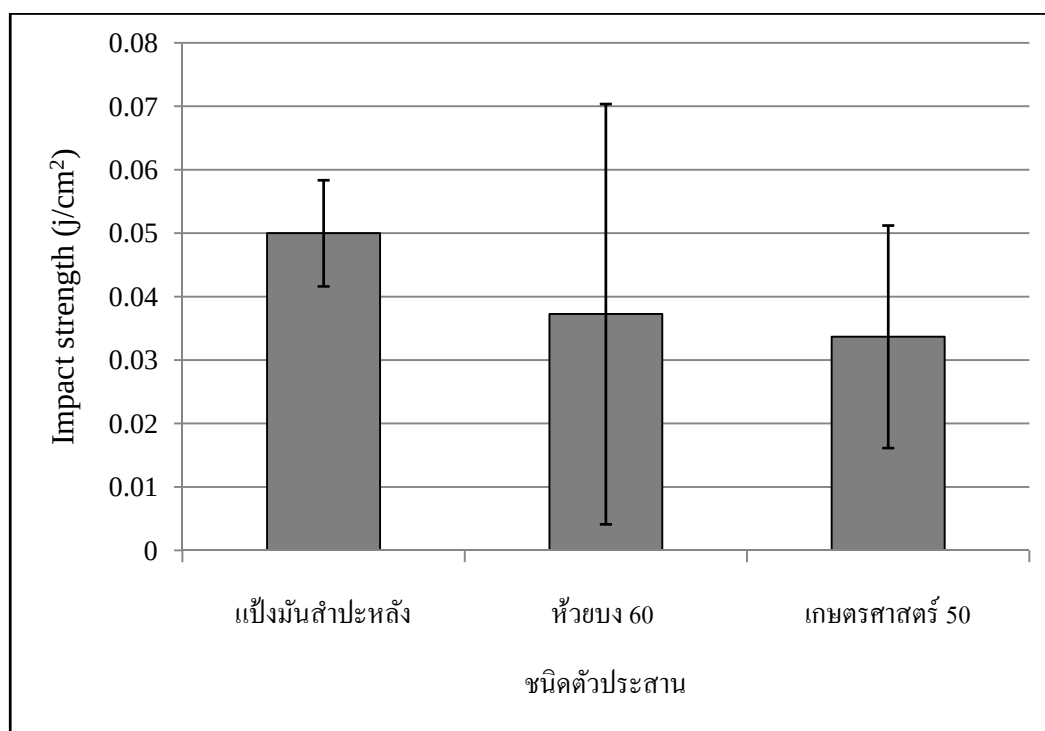
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและตัวประสาน จากแป้งมันสำปะหลังสายพันธุ์ต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบหาค่าความหนืดที่ทดสอบจากเครื่อง Viscosity meter จากผลการทดสอบพบว่าตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดให้ค่าความหนืดสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดผ่านกระบวนการสกัดแป้งออกมาดีกว่า โดยไม่มีองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่แป้งในหัวมันสำปะหลังปนออกมาด้วย ซึ่งการสกัดแป้งจากหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 ทางผู้วิจัยใช้วิธีสกัดแป้งที่สะดวกและง่ายเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ ซึ่งอาจจะทำให้แป้งที่สกัดออกมานั้นมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน น้ำตาล เป็นต้น ปะปนออกมาด้วย จึงทำให้ความเหนียวของแป้งลดลง และเมื่อพิจารณาความหนืดของแป้งที่สกัดเองจากหัวมันสำปะหลังสายพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 พบว่าแป้งจากหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบงมีค่าความหนืดมากกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เนื่องจากหัวมันพันธุ์ห้วยบง 60 มีสมบัติพิเศษ คือ เป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ (น้ำตาล) อยู่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณแป้งต่อหัวมากและแป้งที่สกัดได้มีความหนืดสูง (ศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้แป้งที่สกัดออกมาจากหัวมันพันธุ์ห้วยบง 60 มีความหนืดสูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50





รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (a) ค่าความแข็งแรงดึง (b) และตัวประสานจากน้ำมันสำหรับละลาย จากสายพันธุ์ต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทก และตัวประสาน
จากปังมันสำปะหลังจากสายพันธุ์ต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.11 รูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 แสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบทางกลของ
ชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปโดยใช้ปังมันสำปะหลังที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด และแป้งที่สกัดจากหัวมัน
สำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และเกษตรศาสตร์ 50 โดยกำหนดให้อัตราส่วนที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมี
ปริมาณเส้นใยกล้วยต่อปริมาณตัวประสานเท่ากับ 66.67 : 33.33 โดยน้ำหนัก และเส้นใยกล้วยมี
ความยาวเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ซึ่งค่าสมบัติทางกลเหล่านี้ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ
อเนกประสงค์และเครื่องทดสอบแรงกระแทก ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง ค่าความ
แข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงกระแทก ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าผลการทดสอบทางกล
ทั้งหมดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลดีที่สุดคือชิ้นงานที่ใช้ปังมัน
สำปะหลังจากท้องตลาดเป็นตัวประสาน โดยมีค่าความแข็งแรงดัดโค้ง ค่าความแข็งแรงดึง และค่า
ความแข็งแรงกระแทก เท่ากับ 4.29 MPa 1.56 MPa และ 0.05 จูล์นต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ
รองลงมาคือ ชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสานจากปังมันสำปะหลังที่สกัดจากหัวมันพันธุ์ห้วย
บง 60 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ายิ่งตัวประสาน (ปังมัน
สำปะหลัง) มีความหนืดมากยิ่งส่งผลทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรงได้มากตามไปด้วย เนื่องจากตัว

ประธานจะช่วยทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยได้ดี เมื่อมีแรงมากระทำก็จะทำให้สามารถรับแรงได้มากตามไปด้วย

4.6 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

4.6.1 การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การประมาณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในกระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย ทำโดยการประเมินจากค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย เครื่องปั่น เครื่องผสมอาหาร และเครื่องอัดความดัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	ระยะเวลาการใช้ งาน (นาทิต)	หน่วยการใช้ ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ ชั่วโมง)
เครื่องปั่น	0.864	0.01	0.0086
เครื่องผสมอาหาร	0.250	0.15	0.038
เครื่องอัดความดัน	2	0.15	0.30
อัตราการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด		0.35	

ตารางที่ 4.13 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็ก ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในเวลา 15 นาที สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2555)

อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 -150)	2.7628
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	3.7362
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361

$$\text{Cost} = W \times C \quad (4.1)$$

เมื่อ C = ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)

W = หน่วยการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

จากตารางที่ 4.12 แสดงค่าการคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย 1 ชั่น มีอัตราการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.35 หน่วย ซึ่งเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดเล็กซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้า 150 หน่วยแรก มีค่าเท่ากับ 2.7628 บาทต่อหน่วย และเมื่อทำการคำนวณค่าไฟฟ้างวดสมการที่ 4.1 จะพบว่าภาชนะ 1 ชั่น จะต้องเสียค่าไฟฟ้าในการผลิตเท่ากับ 0.97 บาท (ในกรณีการคำนวณค่าไฟฟ้าไม่รวมถึงค่าบริการรายเดือน ค่า Ft และภาษีมูลค่าเพิ่ม)

4.6.2 การประมาณค่าวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4.14 แสดงการคำนวณค่าวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

วัตถุดิบ	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	คิดเป็นเงิน (บาท)
เส้นใยกล้วย	2.5	20	0.05
แป้งมันสำปะหลัง	13.4	10	0.134
หัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60	2.8	10	0.028
หัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50	2.8	10	0.028

จากผลการประเมินค่าวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอัดขึ้นรูปภาชนะ คือ ใช้อัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อหัวมันสำปะหลัง 66.67 : 33.33 จะพบว่าราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ใช้หัวมันสำปะหลังที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดเท่ากับ 0.74 บาทต่อชั่น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้หัวมันสำปะหลังที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังจะมีราคาต้นทุนเท่ากับ 0.028 บาทต่อชั่น

4.6.3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพระหว่างภาชนะโฟมและภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

จากผลการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย พบว่ามีค่าสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกับภาชนะโฟมที่ขายตามท้องตลาดดังแสดงในตารางที่ 4.15 โดยสามารถนำภาชนะไปใช้บรรจุอาหารได้ ยกเว้นเรื่องของการซึมน้ำของภาชนะซึ่งยังมีค่าค่อนข้างสูงมาก คือ 170 – 270 % จึงไม่เหมาะกับการนำไปบรรจุอาหารที่มีความชื้นสูงหรืออาหารเปียก

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพระหว่างภาชนะโฟมและภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

Properties	EPS Foam	Biodegradable food container from banana sheath
Flexural strength (MPa)	0.075 – 3.17	0.35 – 4.29
Flexural modulus (MPa)	6.28 – 67.6	31.68 – 488.24
Tensile strength (MPa)	0.08 – 0.911	0.49 – 1.56
Young's modulus (MPa)	6.5 – 40	123.41 – 362.32
Elongation at break (%)	5 -13.4	2.27 – 5.55
Density (g/cm ³)	0.008 – 1.10	0.2 – 0.3
Water absorption (%)	0.2 - 9	170 -270
Decomposition Temperature (°C)	220	270

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย ซึ่งใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยจะทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปภาชนะซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความดันและเวลาที่ใช้ในกระบวนการอัด และยังคำนึงถึงอิทธิพลของความยาวเส้นใยกล้วยและปริมาณการเติมเส้นใยกล้วยที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดัด (Flexural test) การทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบความแข็งแรงกระแทก (Impact test) การทดสอบหาค่าความหนาแน่น การทดสอบการซึมน้ำ การทดสอบการทนความร้อน และศึกษาพื้นฐานวิทยาของวัสดุ อีกทั้งมีการเฟ้นหาสายพันธุ์มันสำปะหลังที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นมาสกัดเป็นแป้งเพื่อใช้สำหรับเป็นตัวประสานในกระบวนการอัดขึ้นรูป จากผลการทดลองสามารถสรุปผลและประมวลผลเป็นข้อเสนอแนะที่จะขยายผลสำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผล

5.2.1 จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการอัดขึ้นรูป คือ ใช้อุณหภูมิเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ความดันเท่ากับ 500 Psi และใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 15 นาที ซึ่งชิ้นงานที่ผลิตออกมาจะแห้งตลอดทั่วทั้งแผ่นและมีผิวหน้าที่เรียบ

5.2.2 การเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใย ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (Flexural strength) ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Young's modulus) และค่าร้อยละการยืด (% Elongation) มีค่าลดลง แต่จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการรับแรงกระแทกให้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจนถึง 75% นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นและค่าการซึมน้ำของวัสดุสูงมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใย ซึ่งอัตราส่วนระหว่างเส้นใยและตัวประสานที่เหมาะสมต่อกระบวนการอัดขึ้นรูป คือ 66.67 : 33.33 โดยน้ำหนัก

5.2.3 การเพิ่มขึ้นของความยาวเส้นใย มีผลกระทบโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (Flexural strength) ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Young's modulus) ค่าร้อยละการยืด (% Elongation) ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และค่าความหนาแน่น อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงสมบัติการด้านการซึมผ่านของชิ้นงานให้ดีขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความยาวของเส้นใยที่เหมาะสมต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปและช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของชิ้นงานให้ดีขึ้น คือ เส้นใยที่มีความยาวเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

5.2.4 จากการตรวจสอบลักษณะฐานวิทยาของชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานที่มีตัวประสานจะมีผิวหน้าที่เรียบกว่าชิ้นงานที่ไม่มีตัวประสาน แต่จะมีแนวโน้มของการเกิดรูพรุนภายในชิ้นงานมากกว่า

5.2.5 จากการเฟ้นหาสายพันธุ์มันสำปะหลังในท้องตลาดที่สามารถนำมาทำเป็นกาวเหนียวที่ดี พบว่าตัวประสานจากแป้งมันสำปะหลังที่ขายตามท้องตลาดจะมีค่าความหนืด สมบัติสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง สมบัติการต้านแรงดึง และสมบัติการต้านแรงกระแทกดีที่สุด รองลงมาคือ ชิ้นงานที่ใช้ตัวประสานจากแป้งที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 และแป้งที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ได้จากการทดลองยังมีข้อจำกัดทางด้านการใช้งานกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นในปริมาณมาก จึงควรศึกษาเกี่ยวกับสารเติมแต่งที่มีสมบัติในการทนต่อน้ำเพิ่ม หรือศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเคลือบผิวภาชนะด้วยพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายยิ่งขึ้น

5.3.2 ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับมันสำปะหลังพันธุ์ข้าวเหนียวเพื่อนำมาผลิตเป็นตัวประสานที่ดีสำหรับการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

5.3.3 กระบวนการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็น การวิจัยเชิงทดลองซึ่งใช้เวลาในกระบวนการอัดขึ้นรูปค่อนข้างมาก คือ 15 นาที ซึ่งถ้าต้องการผลิตภาชนะเพื่อจำหน่ายควรจะศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการอัดขึ้นรูปและการผลิตแม่พิมพ์ เพื่อช่วยลดเวลาในกระบวนการผลิตภาชนะให้ลดลง

5.3.4 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการอายุการใช้งานของภาชนะและอัตราการย่อยสลายของภาชนะหลังจากมีการใช้งานแล้ว

รายการอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2543). ประชุมสัมมนากล้วยนาชาติ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). **ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.**
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2540). การพัฒนาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง. รายงานผลการวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, โครงการวิจัยรหัส พิเศษ 16.40.
- เจริญ นาคะสวรรค์. (2542). กระบวนการแปรรูปพลาสติก. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : นิติธรรม.
- จิรภัทร์ พุทธสุขาและพรรณนิภา เชาวนะ. (2555). ผลกระทบของปริมาณสารดักจับฟอर्मัลดีไฮด์ต่อสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากกาวยูเรียฟอर्मัลดีไฮด์, การประชุมวิชาการวาลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 4.
- ชินรัตน์ ลาภพลชนะอนันต์. (2554). กาวจากน้ำยางธรรมชาติ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.rubbercenter.org/files/latex_adhesives.pdf
- ณัฐพล ไช้แสงศรี, อรพิน เกิดชูชื่น, ณัฏฐา เลากุลจิตต์, และสุพจน์ ประทีปถิ่นทอง. (2552). อิทธิพลของเส้นใยต่อคุณสมบัติทางกลและการต้านทานน้ำของโฟมแป้งมันสำปะหลัง, ว.วิทยาศาสตร์เกษตร.40(3), 61 - 64.
- ณัฐพล ไช้แสงศรี, อรพิน เกิดชูชื่น, ณัฏฐา เลากุลจิตต์, และสุพจน์ ประทีปถิ่นทอง. (2553). การพัฒนาถาดโฟมจากแป้งมันสำปะหลังในการบรรจุส้มโอตัดแต่งสด, ว.วิทยาศาสตร์เกษตร. 41(3/1), 669 - 672.
- ชนาวดี ลีจากภัย. (2551). พลาสติกย่อยสลายได้: อดีต ปัจจุบัน อนาคต [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.vcharkarn.com/varticle/38245>
- บุษบา สร้อยระย้า, ชมพูนุช เพื่อนพิภพ, ดวงกมล ตั้งสถิตพร, อชชา ศิริพันธุ์, และประพาพรรณ ชีรมงคล. (2554). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมจากเส้นใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป, งานวิจัยคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- ปราณี ชุมสำโรง. (2545). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติที่มีในประเทศไทย. รายงานการวิจัย สาขาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พรชัย ราชชนะพันธุ์, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ, และดำรง ใจเขื่อนแก้ว. (2553). ผลของปริมาณกากแป้งผสมและขนาดผงจากเปลือกมะขามต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด, **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48**, 117-123.

มนต์ชัย เทียนทอง. การวิเคราะห์ความแปรปรวน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://home.dsd.go.th/kamphaengphet/km/information/RESEARCH/013Analysis_of_Vari.pdf

วิจารณ์ วิชชกิจ, และเจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. (2548). เกษตรศาสตร์ 50 และ ห้วยบง 60. **รายงานประจำปี สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**, 40 - 43.

วิทยา ปั่นสุวรรณ. การวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. **ภาควิชาเคมี ธรวิทยาาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.

วลัย หุตะโกวิท, บุญบา สร้อยระย้า, ดวงแข สุขโข, เพ็ญฟ้า เมฆเกรียงไกร, รัมภา สุวรรณพฤษ, จุฑา วิริยะ, และคณะ. (2543). ผลิตภัณฑ์จากกล้วย. **ประชุมสัมมนากล้วยนานาชาติครั้งที่ 1**, 163 – 174.

สิรภา ตีระแสง, กฤตณุ อัมพรพิทักษ์, และทวิช จิตรสมบูรณ์. (2555). การผลิตภาชนะสำหรับบรรจุอาหารจากกากกล้วย. **โครงการทางวิศวกรรม, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**.

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR12.pdf>

แสงสุริย์ โรจน์สกุลวงศ์. (2540). การผลิตถาดจากเส้นใยใบสับปะรด. **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**.

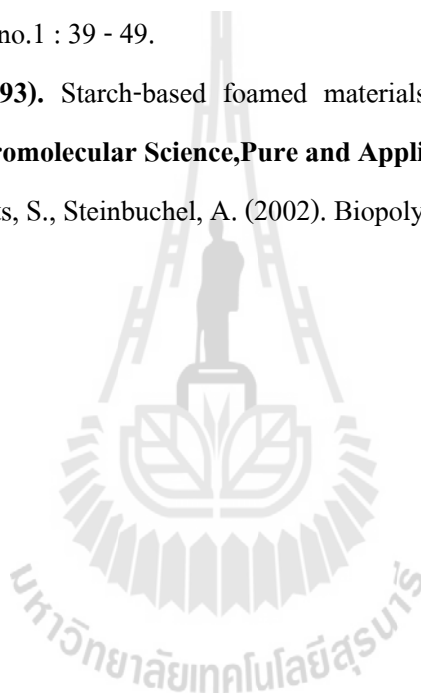
อังศุมา บุญไชยสุริยา. (2554). การผลิตโฟมย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน. **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**.

อรรถพล ตะเระ. คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ(Properties and Testing of Materials). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=MY318\(51\)](http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=MY318(51))

Abera, S., and Rakshit, S.K. (2003). Processing technology comparison of physicochemical and functional properties of cassava starch extracted from fresh root and dry chips. **Starch/starke**. 55 : 287 - 296.

- Ashok Kumar Varma, Ch., Panpalia, S.G., and Jayaram Kumar, K., (2014). Physicochemical and release kinetics of natural and retrograded starch of Indian palmyrah shoots. **International Journal of Biological Macromolecules**. 66 : 33 - 39.
- Campbell, N.A., Reece, J.B. (2002). Biology (sixth edition) ; **Benjamin-Cummings Pub. Co.**
- Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J.W., Imam, S.H. (2006). Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol). **Polymer Degradation and Stability**, Vol.91, pp.1147-1155.
- Eliasson, A. (2004). Starch in food: Structure function and application (First edition) : **Wood head.**
- Food network Solution. (2553). เซลลูโลส (cellulose) [ออนไลน์]. เข้าได้ถึงจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/wordcap/Cellulose>
- Guimaraes, J.L., Wypych, F., Saul, C.K., Ramos, L.P., and Satyanarayana, K.G. (2010). Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fiber from Brazil. **Carbohydrate Polymers**. 80 : 130 - 138.
- Kaisangsri, N., Kredchoechuen, O., and Laohakunjit, N. (2012). Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. **Industrial Crops and Products**. 37 : 542 - 546.
- Kinnoshita, H., Kaizu, K., Fukuda, M., Tokunaga, H., Koga, K., and Ikeda, K. (2009). Development of green composite consist of woodchips, bamboo fibers and biodegradable adhesive. **Composites : Part B**. 40 : 607 - 612.
- National innovation agency. (2551). เทคโนโลยีของประเทศผู้นำด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.nia.or.th>
- National metal and materials technology center. (2550). พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www2.mtec.or.th>
- Sapuan, S.M., Leenie, A., Harimi, M., and Beng, Y.K. (2006). Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites. **Materials and design**. 27 : 689 - 693.
- Shogren, R.L., Lawton, J.W., Tiefenbacher, K.F. (2002). Baked starch foams : starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. **Industrial Crop and Products**, Vol. 16, pp. 69-79.

- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Rosa, M.D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Vol.19, pp. 634-643.
- Soykeabkaew, N., Supaphol, P., Rujiravanit, R. (2004). Preparation and characterization of jute- and flax-reinforced starch-based composite foams. **Carbohydrate Polymers**, Vol.58, pp. 53-63.
- Sumaila, M., Amber, I., and Bawa, M. (2013). Effect of fiber length on the physical and mechanical properties of random oriented, non woven short banana (MUSA BALBISIANA) Fiber/Epoxy composite. **Asian Journal of Natural and Applied Sciences**. Vol.2, no.1 : 39 - 49.
- Tiefenbacher, K.F. (1993).** Starch-based foamed materials-use and degradation properties. **Journal of Macromolecular Science,Pure and Applied Chemistry**. A30, pp. 727-731.
- Vandamme, E.J., De Beats, S., Steinbuchel, A. (2002). Biopolymers (sixth edition): **John Wiley and sons**.



ภาคผนวก ก

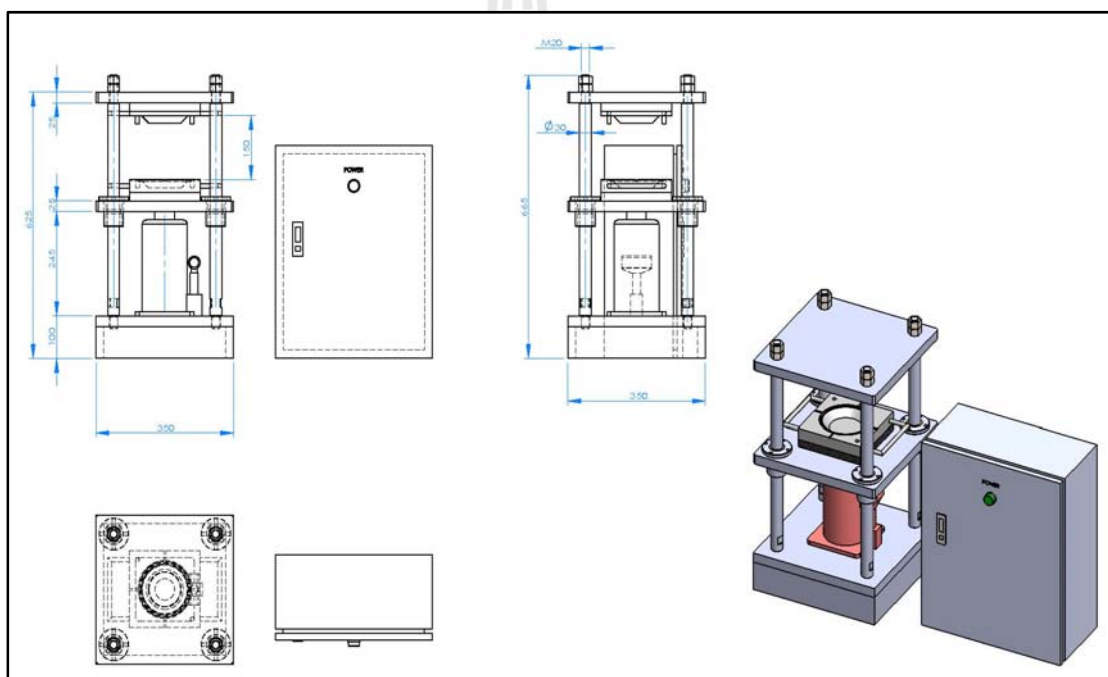
การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะและแม่พิมพ์



ก.1) การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะ

การขึ้นรูปภาชนะในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการอัดในการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งเครื่องอัดขึ้นรูปจะใช้ระบบไฮดรอลิกเนื่องจากเป็นระบบที่สามารถควบคุมแรงดันได้ดี ซึ่งเครื่องอัดขึ้นรูปประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- แม่แรงไฮดรอลิก ขนาด 20 ตัน
- โครงสร้าง (รายละเอียดดังภาพ ก.1)
- ฮีตเตอร์แท่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร 250 วัตต์ จำนวน 8 แท่ง
- ตู้ไฟฟ้าสำหรับควบคุมอุณหภูมิ (รายละเอียดดังภาพ ก.1)



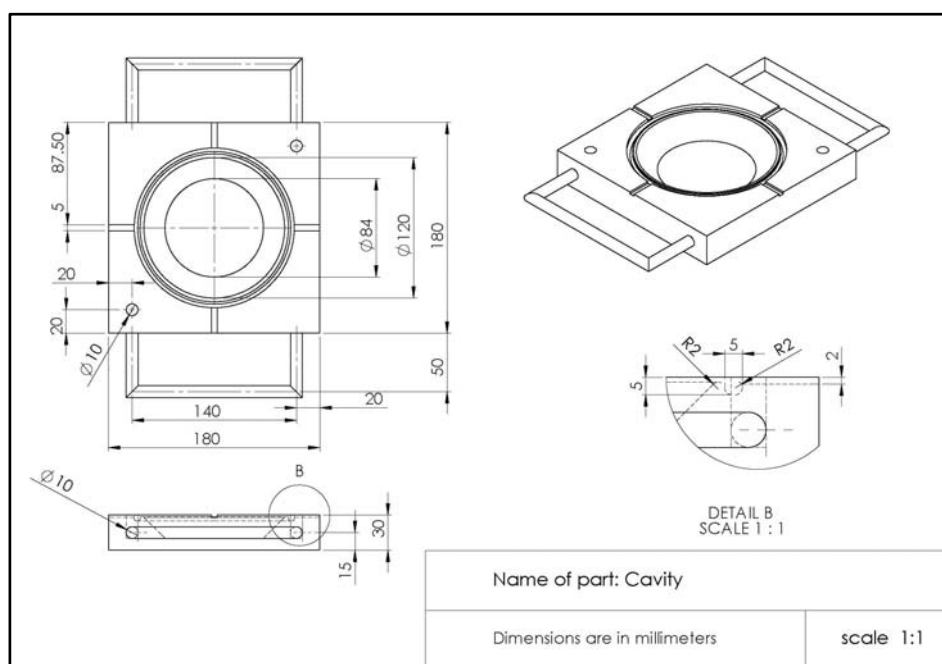
รูปที่ ก.1 แผนภาพเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน



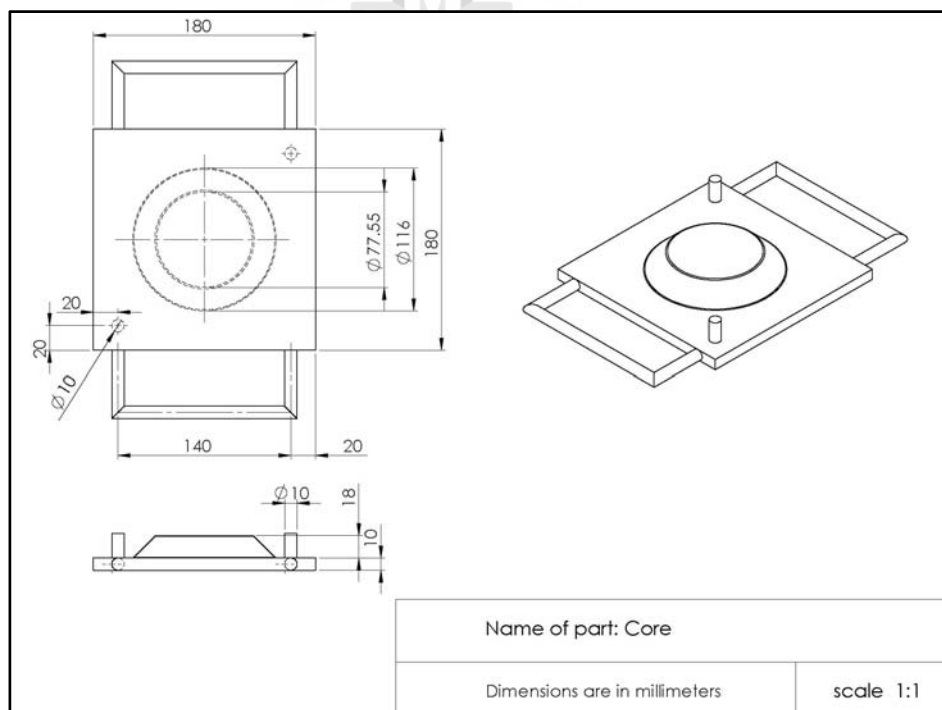
รูปที่ ก.2 เครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะ

ก.2) การออกแบบแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปภาชนะ กำหนดให้ภาชนะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร ความหนาและความสูงของภาชนะเท่ากับ 2 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีรูล้นสำหรับให้วัสดุส่วนเกินไหลออกมาและมีรูระบายความชื้นบริเวณผิวหน้าของแม่พิมพ์เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในกระบวนการอัดก่อนข้างมีความชื้นสูง โดยบริเวณผิวหน้าของแม่พิมพ์มีการขัดมันและชุบด้วยโครเมียมเพื่อช่วยทำให้การถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ง่ายยิ่งขึ้นและช่วยเพิ่มความแข็งแรงทนทานให้กับผิวหน้าของแม่พิมพ์



รูปที่ ก.3 แผนภาพแม่พิมพ์ตัวเมีย



รูปที่ ก.4 แผนภาพแม่พิมพ์ตัวผู้



รูปที่ ก.5 แม่พิมพ์ตัวเมีย



รูปที่ ก.6 แม่พิมพ์ตัวผู้



รูปที่ ก.7 ตัวอย่างภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย



รูปที่ ก.8 ตัวอย่างการใช้งานภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

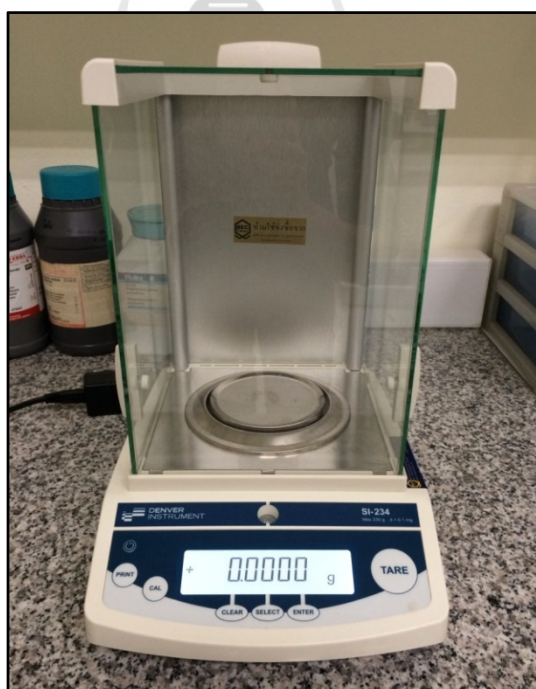
ภาคผนวก ข

อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย และวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบ





รูปที่ ข.1 เครื่องปั่น



รูปที่ ข.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลแบบ 4 ตำแหน่ง



รูปที่ ข.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลแบบ 2 ตำแหน่ง



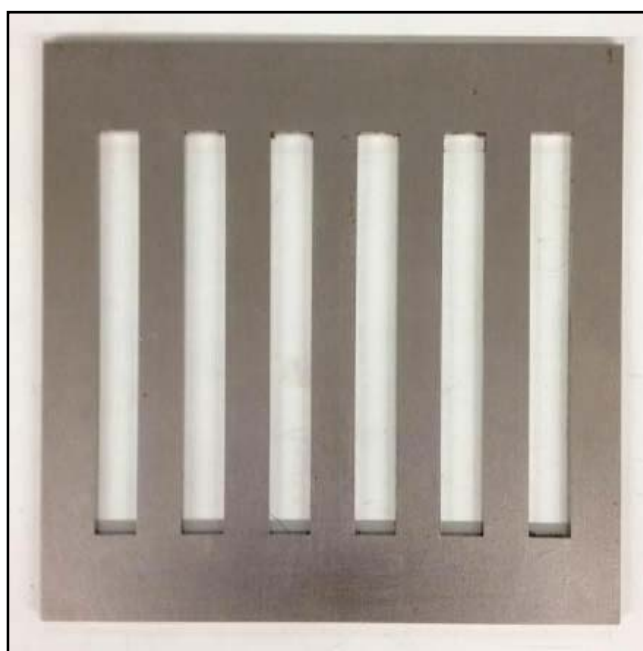
รูปที่ ข.4 เวอร์เนียดิจิทัล



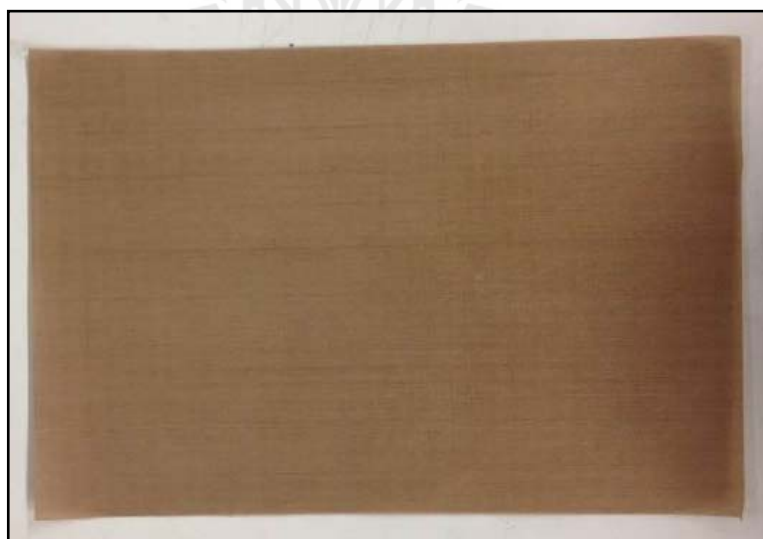
รูปที่ ข.5 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ขนาด 30 ตัน



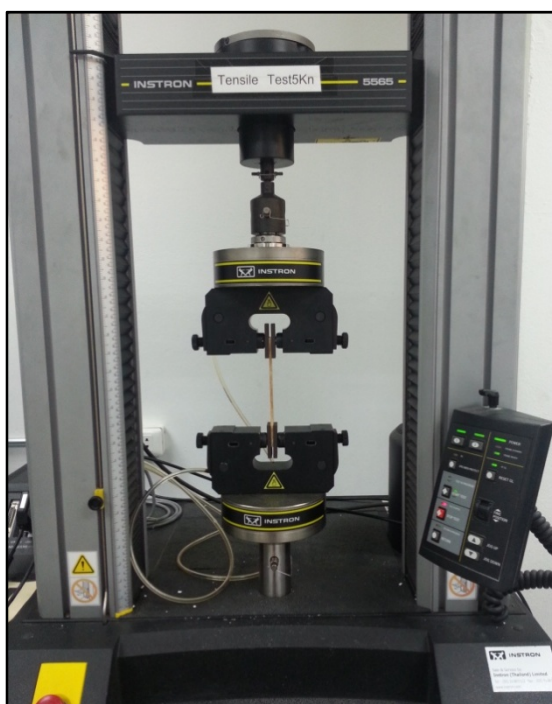
รูปที่ ข.6 เตาทอบ



รูปที่ ข.7 แม่พิมพ์สำหรับอัดชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ ข.8 แผ่นเทฟลอน



รูปที่ ข.9 เครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 5 kN



รูปที่ ข.10 เครื่องทดสอบการต้านแรงกระแทกแบบไอซอด



รูปที่ ข.11 เครื่องวัดความแข็ง

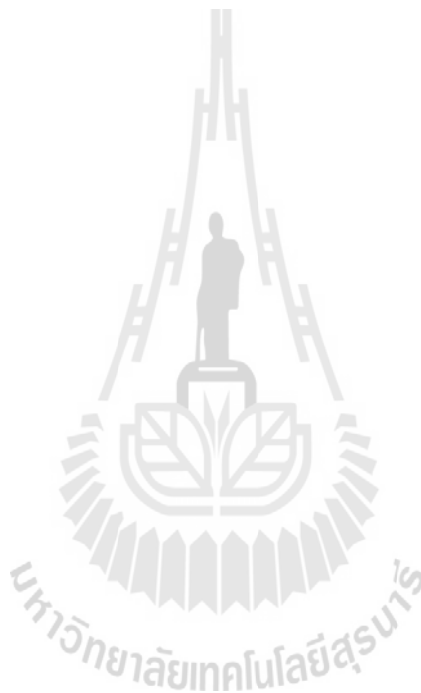


รูปที่ ข.12 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer (TGA 7)

ภาคผนวก ค
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มลสุดา ลิ่วโชสง และ ทวิช จิตรสมบบูรณ์ (2556). การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจาก
กากกล้วย. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27.
จังหวัดชลบุรี.



AMM-2010

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27
16-18 ตุลาคม 2556 พัทยา จังหวัดชลบุรี



การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย

Production of food container from banana tree stalk

มลสุดา ลิ่วไสย¹, ทวีชจิตร์สมบุญ^{1*}

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย

ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

*ผู้ติดต่อ: lawit.boon@gmail.com และ tabon@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 044 224 410-1, เบอร์โทรสาร: 044 224 4613

บทคัดย่อ

ภาชนะสำหรับบรรจุอาหารในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ผลิตด้วยวัสดุจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งนอกจากจะเป็นการไม่ยั่งยืนแล้ว ภาชนะเหล่านี้ยังไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ หรือต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานหลายร้อยปีซึ่งเป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงได้คิดค้นและทดลองผลิตภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้กากกล้วยเป็นส่วนผสมหลักและใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบให้ความร้อนไปในตัว จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยการผลิตต่างๆ คือ ความหนา ความละเอียดของเส้นใยกล้วย อุณหภูมิและแรงดันที่ใช้ในการอัดอัตราส่วนผสมระหว่างกากกล้วยและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งจะใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังให้น้อยที่สุดเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุ ซึ่งสมบัติที่จะทำการศึกษาได้แก่ สมบัติการต้านแรงดัดโค้ง โมดูลัสแรงดัดโค้งค่าความหนาแน่น และสมบัติการซึมน้ำ

คำหลัก: ภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ภาชนะชีวภาพจากกากกล้วย กระบวนการอัดขึ้นรูป ภาชนะจากกากกล้วย สมบัติทางกลของภาชนะจากกล้วย

Abstract

Food container produced from the petro-chemical industry is not sustainable and non-degradable in the environment; it takes several hundred years to decompose and thus harmful to the environment. This research proposes to produce food container from banana tree stalk by using cassava starch as binder. The food container will be formed in a mold by a hot-pressed process. Various parameters will be studied such as the size of banana fiber, temperature and pressure used in the compression process as well as the ratio between banana fiber and cassava starch. Material properties affected by the mentioned parameters will be studied such as flexural strength, flexural modulus, density and water absorption.

Keywords: Bio-degradable container, Bio-degradable container from banana tree stalk, Compression process of bio-degradable container, Mechanical properties of banana tree stalk container.

AMM-2010



1. บทนำ

อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เริ่มต้นจากน้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติ ไปสู่กระบวนการผลิตสังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องและพัฒนาไปสู่วัสดุพอลิเมอร์ เส้นใย หรือพลาสติกชนิดต่างๆ ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มานานกว่าร้อยปี แต่ปริมาณของน้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติจะต้องหมดไปในที่สุด และยิ่งก่อให้เกิดการสะสมของมลภาวะจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งได้ขยายไปในวงกว้างต่อระบบนิเวศของโลก

พลาสติกเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิต หากเราได้มีโอกาสไปเดินซื้อสินค้าไม่ว่าที่ใดก็ตามจะพบว่าผลิตภัณฑ์เกือบทุกชนิดที่เราซื้ออาหารส่วนใหญ่ที่เรารับประทานและเครื่องใช้จำนวนมากที่เราได้สัมผัสถูกบรรจุอยู่ในภาชนะที่เรียกว่าพลาสติกด้วยกันทั้งสิ้น [3,9]

การใช้พลาสติกมีปริมาณสูงขึ้นตามจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี ในทำนองเดียวกันของเหลือทิ้งที่มาจากผลิตภัณฑ์พลาสติกก็ย่อมมีมากตามไปด้วย สมบัติของพลาสติกที่มีการย่อยสลายช้ากลายเป็นปัญหาไปทั่วโลก เพราะถ้าไม่มีการกำจัดที่ถูกต้องก็จะมีแต่ทับถมกันมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นวัสดุทดแทนที่ย่อยสลายได้ขึ้นมาในรูปแบบต่างๆ ตัวอย่างเช่น ภาชนะบรรจุภัณฑ์อาหารฐานชีวภาพ (Bio-based food packaging) ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิตและกระบวนการกำจัด โดยภาชนะเป็นสารชีวภาพที่ย่อยสลายได้และสามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (renewable resource) ซึ่งวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตภาชนะบรรจุภัณฑ์อาหารเทคโนโลยีชีวภาพ คือ แป้ง (starch) ซึ่งจะมีอยู่มากใน มันสำปะหลังมันฝรั่งและข้าวโพด เป็นต้นโดยจะใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และผลิตภัณฑ์สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์

ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งานกลายเป็น น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมูลชีวภาพ [4,10]

ปัจจุบันภาชนะฐานชีวภาพย่อยสลายได้ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งจากนักวิจัย ตลอดจนนักอุตสาหกรรมชั้นนำทั่วโลก ในช่วงแรกมีการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งผลิตออกมาในรูปแบบของถาดโฟมโดยมีส่วนผสมเป็นแป้งและน้ำเท่านั้น ผ่านการขึ้นรูปโดยกระบวนการอัดด้วยแม่พิมพ์ร้อน ผลที่ได้คือถาดโฟมที่ได้ออกมาค่อนข้างมีความเปราะ ไม่มีความยืดหยุ่น และมีความสามารถในการต้านทานน้ำไม่ดี จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในการบรรจุอาหารที่มีความชื้นสูงหรือเปียกได้ [7]

จากนั้นนักวิจัยอีกหลายท่านได้ทำการปรับปรุงสมบัติของภาชนะย่อยสลายได้ ไม่ว่าจะเป็นการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มอนอสเตียริลซิติเรท เป็นต้น และมีการเติมเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมเพื่อช่วยเสริมแรงให้กับภาชนะ ตัวอย่างเช่นการศึกษาและผลิตโฟมที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยถาดโฟมจะมีองค์ประกอบหลัก คือ แป้งมันฝรั่ง เส้นใยข้าวโพด และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบขึ้นรูปจากการศึกษาปรากฏว่าเส้นใยข้าวโพดช่วยเพิ่มความหนาแน่นของถาดโฟม ส่วนการเพิ่มโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปนั้น จะทำให้มีความแข็งแรงความสามารถในการรับแรงดัดของถาดโฟมเพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการต้านทานการดูดซับน้ำของถาดโฟมเพิ่มขึ้นด้วย[1]และมีงานวิจัยเกี่ยวกับลักษณะของโฟมแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยปอกระเจาและเส้นใยป่านพบว่าเมื่อทำการเติมเส้นใยร้อยละ 5 – 10 จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของโฟมแป้งมีค่ามากขึ้น[6]

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ฐานชีวภาพ โดยใช้กากบดเป็นวัตถุดิบหลักและใช้กากแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานสาเหตุที่ใช้เส้นใยจากกากบดเป็นวัตถุดิบหลักเนื่องจากว่ากากบดเป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอยู่

AMM-2010

มาก เดิมมีการใช้ประโยชน์ของกากกล้วยในรูปของ เชือกกล้วยหรือที่เรียกว่า เชือกมะนิลา ซึ่งมีคุณสมบัติ เหนียวและมีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ ซึ่ง องค์ประกอบทางเคมีของกากกล้วยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของกากกล้วย[2]

Sl.no	Constituents	Percentage
1	Cellulose	31.27±3.61
2	Hemicellulose	14.98±2.03
3	Lignin	15.07±0.66
4	Extractives	4.46±0.11
5	Moisture	9.74±1.42
6	Ashes	8.65±0.10

จากนั้นนำกากกล้วยที่ผสมกับแป้งมันสำปะหลัง เรียบร้อยแล้วไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน แล้ว ทำการทดสอบหาสมบัติทางกลและทางกายภาพของ วัสดุซึ่งประกอบไปด้วย สมบัติการต้านแรงดัดโค้ง และ มอดูลัสแรงดัดโค้งซึ่งเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญสำหรับการ ผลิตภาชนะ เพราะการทดสอบแรงดัดโค้งเป็นการ ใส่แรงกระทำกับชิ้นทดสอบแล้วทำให้เกิดแรงเค้นอัดที่ บริเวณหน้าตัดของชิ้นงาน และเกิดแรงดึงที่บริเวณ ด้านล่างของชิ้นงาน ซึ่งการทดสอบแรงดัดโค้งเป็นการ ทดสอบพื้นฐานที่ดีที่สุดในการทดสอบชิ้นงานที่มี รูปแบบต่างๆในการนำไปใช้งาน หาค่าความหนาแน่น และสมบัติการซึมน้ำซึ่งสามารถบ่งชี้ว่าวัสดุที่ผลิต ขึ้นมาสามารถนำไปบรรจุเครื่องดื่มหรืออาหารที่มีความ ชื้นสูงได้หรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการ คิดค้นและพัฒนาวัสดุที่นำมาใช้ผลิตเป็นภาชนะแบบ ใช้แล้วทิ้งจากธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ทาง ชีวภาพ เพื่อทดแทนภาชนะแบบใช้แล้วทิ้งที่ผลิตจาก พลาสติก และช่วยเพิ่มมูลค่าของกากกล้วยให้มากขึ้น ด้วยการนำมาผลิตเป็นภาชนะ

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุประกอบไปด้วยกากกล้วยสดแป้งมัน สำปะหลังไม่ดัดแปร (Native starch) น้ำเปล่าส่วนของ อุปกรณ์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สับและปั่นผ้าขาวบาง ตะแกรงบีกเกอร์ เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องอัดขึ้น รูปแบบให้ความร้อนในตัว ผลิตโดยบริษัท Gotech Testing Machine INC (ขนาด 30 ตัน) แม่พิมพ์ สำหรับอัดขึ้นรูป

2.2 กระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วยและตัว

ประสาน

การเตรียมเส้นใยกล้วยเริ่มจากนำกากกล้วยสดมา หั่นให้เป็นลูกเต๋าขนาดประมาณ 2x2 mm 5x5 mm และ 10x10 mm แล้วนำกากกล้วยไปปั่นโดยเติมน้ำเปล่าลงไปด้วยเพื่อไม่ให้เส้นใยติดในเครื่องปั่น นำ เส้นใยกล้วยที่ปั่นเสร็จมากรองน้ำออกด้วยผ้าขาวบาง จนเหลือแต่เส้นใย เส้นใยกากกล้วยที่ได้จะมีความยาว ประมาณ 2 mm 5 mm และ 10 mm จากนั้นเตรียมตัว ประสานโดยนำแป้งมันสำปะหลัง(ไม่ดัดแปร)ไปผสม กับน้ำเปล่าในอัตราส่วนแบ่งต่อน้ำเท่ากับ 1:4 คนให้ แป้งและน้ำเข้ากันจนได้น้ำแป้ง จึงนำไปผสมกับเส้นใย กล้วยที่เตรียมไว้ในอัตราส่วนตามที่กำหนดไว้ดัง ตารางที่ 2 ซึ่งจะมีกรณีศึกษาทั้งหมด 9 กรณี แล้วนำ วัสดุไปเข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูป



รูปที่ 1 เส้นใยจากกากกล้วยที่ผ่านกระบวนการสับและ ปั่นเรียบร้อยแล้ว

AMM-2010

2.3. กระบวนการอัดขึ้นรูป

นำวัสดุที่ผสมตามอัตราส่วนเรียบร้อยแล้วมาซึ่งให้ได้ปริมาณ 140 g แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยเครื่องอัด(Compression molding machine) โดยจะใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ รองแม่พิมพ์ทั้งด้านบนและด้านล่างเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานติดแม่พิมพ์ จากนั้นตั้งค่าอุณหภูมิในการอัด 150 °C และตั้งค่าความดันในการอัดเท่ากับ 500 psi ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานในแม่พิมพ์ขนาด 19x19 mmหนา 3 mm โดยจะใช้เวลาอัดชิ้นงานทั้งหมด 15 min

ตารางที่ 2 ค่าอัตราส่วนของวัสดุสำหรับอัดขึ้นรูป

Sample	Fiber size (mm)	Fiber content (%by weight)	Binder (%by weight)
Case 1	2	66.67	33.33
Case 2	2	75	25
Case 3	2	100	0
Case 4	5	66.67	33.33
Case 5	5	75	25
Case 6	5	100	0
Case 7	10	66.67	33.33
Case 8	10	75	25
Case 9	10	100	0



รูปที่ 2 กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยเครื่อง
Compression molding machine

2.4. กระบวนการทดสอบวัสดุ

นำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วเตรียมสำหรับการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ สำหรับทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้งจะทดสอบแบบThree point bending ตามมาตรฐาน ASTM D790-92 โดยจะตัดชิ้นงานให้มีขนาด 12.7 x 60 mmจำนวน 5 ชิ้นต่อกรณีและกำหนดให้ค่าความเร็วในการทดสอบเท่ากับ 1.3 mm/min และค่าระยะวางตัวอย่างเท่ากับ48 mmส่วนการทดสอบการซึมน้ำของชิ้นงานจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ABNT NM ISO 535,1999 ซึ่งจะตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดกว้าง 2.5 cm ยาว 5 cmจำนวน 5 ชิ้นต่อกรณีทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ(m_1)นำชิ้นงานแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 secจากนั้นนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ(m_2) บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบและคำนวณหาค่าร้อยละซึ่งค่าร้อยละการซึมน้ำจะหาได้จากสมการที่ (1)

$$\% \text{ การซึมน้ำ} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \cdot 100(1)$$

การทดสอบหาความหนาแน่นของชิ้นงานโดยการวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาเข้าสมการที่ (2) เพื่อหาความหนาแน่น

$$\rho = \frac{m}{V}(2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นm คือ มวล และ V คือ ปริมาตร ตามลำดับ



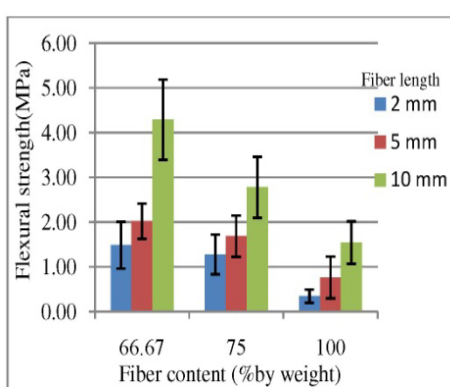
รูปที่ 3 ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป
เรียบร้อยแล้ว

AMM-2010

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง

ผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้งแสดงดังรูปที่ 4 และตารางที่ 3 ซึ่งมีการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบการต้านแรงดัดโค้งกับปริมาณเส้นใยกล้วยและความยาวเส้นใยกล้วย



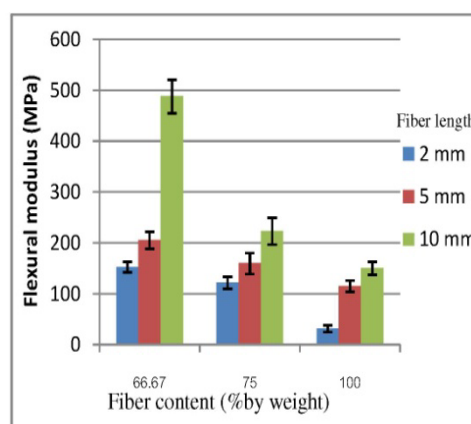
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการต้านแรงดัดโค้งของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย ความยาวเส้นใยและปริมาณการเติมเส้นใย

ตารางที่ 3 สมบัติการต้านแรงดัดโค้งของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย

Fiber length (mm)	Fiber content (%by weight)	Flexural strength (MPa)
2	66.67	1.49
	75	1.28
	100	0.35
5	66.67	2.02
	75	1.68
	100	0.76
10	66.67	4.29
	75	2.78
	100	1.54

จากรูปที่ 4 และตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าความยาวของเส้นใยนั้นมียุทธผลต่อสมบัติการต้านแรงดัดโค้งอย่างมาก โดยเมื่อเส้นใยมีความยาวมากขึ้นจะทำให้สมบัติการต้านแรงดัดโค้งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มขนาดความยาวของเส้นใยนั้นจะช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสของเส้นใยมากขึ้น ทำให้เส้นใยมีการผสานตัวกับแป้งได้ดี จึงส่งผลให้สามารถทนแรงดัดโค้งได้มาก ส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยนั้นจะทำให้สมบัติการต้านแรงดัดโค้งมีค่าลดน้อยลงเนื่องจากว่าไม่มีตัวประสาน (น้ำแป้งมันสำปะหลัง) ที่คอยยึดเหนี่ยววัสดุไว้นั่นเอง ซึ่งชิ้นงานในกรณีที่มีเส้นใยยาว 10 mm และมีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 66.67 % จะให้มีสมบัติการต้านแรงดัดโค้งสูงที่สุดเท่ากับ 4.54 MPa

3.2 ผลการหาค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย ความยาวเส้นใยและปริมาณการเติมเส้นใย

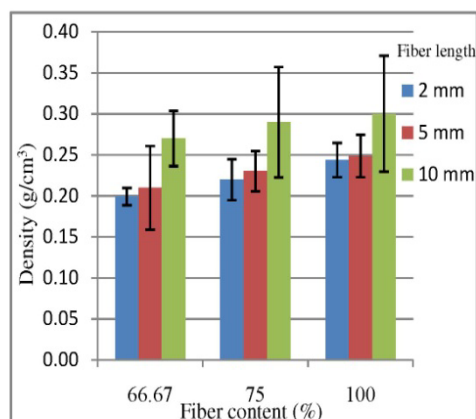
AMM-2010

ตารางที่ 4 มอดูลัสแรงดัดโค้งของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกบกล้วย

Fiber length (mm)	Fiber content (%by weight)	Flexural modulus (MPa)
2	66.67	152.89
	75	121.85
	100	31.68
5	66.67	205.68
	75	159.79
	100	115.02
10	66.67	488.24
	75	223.51
	100	150.43

จากรูปที่ 5 และตารางที่ 4 แสดงค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกบกล้วย ที่ความยาวเส้นใยและปริมาณเส้นใยต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความยาวของเส้นใยนั้นมียผลทำให้ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติการต้านแรงดัดโค้ง ส่วนปริมาณการเติมเส้นใยนั้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มเส้นใยในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้มอดูลัสแรงดัดโค้งมีค่าลดลง ยกเว้นในกรณีที่ชิ้นงานมีความยาวเส้นใย 5 mm ที่มีปริมาณเส้นใย 100 % จะมีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งมากกว่า กรณีที่มีปริมาณเส้นใย 75 % อาจจะมีสาเหตุเนื่องจากชิ้นงานที่มีปริมาณเส้นใย 100% มีความเครียดเกิดขึ้นกับชิ้นงานมากกว่า จึงส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งลดลงเพราะค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดโดยจากการทดสอบมีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งสูงสุดเท่ากับ 463.64MPa ซึ่งปรากฏในกรณีที่ชิ้นงานมีความยาวเส้นใยเท่ากับ 10 mm และมีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 66.67 %

3.3 ผลการหาค่าความหนาแน่น



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกบกล้วย ความยาวเส้นใยและปริมาณการเติมเส้นใย

ตารางที่ 5 ค่าความหนาแน่นของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกบกล้วย

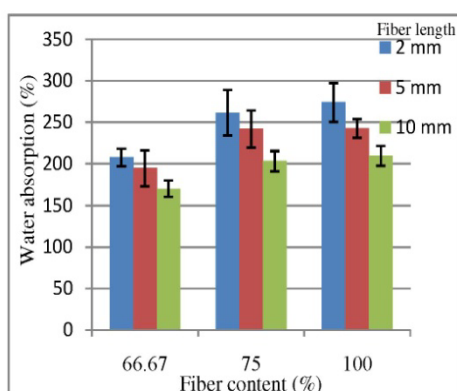
Fiber length (mm)	Fiber content (%by weight)	Density (g/cm ³)
2	66.67	0.20
	75	0.22
	100	0.24
5	66.67	0.21
	75	0.23
	100	0.25
10	66.67	0.27
	75	0.29
	100	0.30

จากผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นพบว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นงานในแต่ละกรณีมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและจากผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความยาวเส้นใยนั้นทำให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่มีความยาวมากกว่าจะช่วยลดช่องว่างระหว่างโมเลกุลทำให้มีรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานน้อยตามไปด้วยซึ่งผลการ

AMM-2010

ทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Soykabkeaw (2004) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมแรงภาคโคมแบ่งด้วยเส้นใยป่านและปอกระเจา ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อมีการเพิ่มความยาวของเส้นใยจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของภาคโคมแบ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยจะมีความหนาแน่นมากที่สุดในความยาวเส้นใยเท่ากับ 20 mm ส่วนการเพิ่มปริมาณของเส้นใยนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของชิ้นงานมากเท่าใดนักซึ่งผลการทดลองที่ได้อาจจะไม่ค่อยสอดคล้องกัน เนื่องจากว่าชิ้นงานที่ได้ นั้นอาจจะมีความพรุนที่แตกต่างกัน เนื่องจากวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกันและระหว่างการอัดอาจจะมีการไหลของเส้นใยกล้วยไปได้ไม่สิ้นก ซึ่งอาจจะต้องศึกษาและปรับปรุงในส่วนของหัวข้อนี้ต่อไป ส่วนสาเหตุที่ชิ้นงานที่มีส่วนผสมของตัวประสาน (น้ำแป้งมันสำปะหลัง) มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าชิ้นงานที่มีเส้นใย 100 % เนื่องจากว่าน้ำแป้งที่ผสมไปเป็นตัวประสานมีส่วนผสมของน้ำ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจึงมีการระเหยตัวออกไป ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนในชิ้นงานมากกว่า โดยจากการทดสอบหาความหนาแน่นพบว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นสูงที่สุดในกรณีที่มีเส้นใยยาว 10 mm และมีปริมาณเส้นใย 100 % (0.31g/cm^3) ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความหนาแน่นของโคมพอลิเอสไทรนเล็กน้อย ($0.05 - 0.19\text{g/cm}^3$) [11]

3.4 ผลการทดสอบการซึมน้ำ



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการซึมน้ำ ความยาวเส้นใยและปริมาณการเติมเส้นใย

ตารางที่ 6 ค่าการซึมน้ำของภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย

Fiber length (mm)	Fiber content (%by weight)	Increase weight (%)
2	66.67	207.60
	75	261.75
	100	273.93
5	66.67	194.89
	75	242.09
	100	242.80
10	66.67	170.53
	75	203.35
	100	209.73

จากการทดสอบการซึมน้ำของชิ้นงานซึ่งจะนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 60 sec แสดงให้เห็นว่าค่าการซึมน้ำของทุกกรณีมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าการซึมน้ำที่สูงมากและน่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการทดสอบ ซึ่งชิ้นงานที่มีค่าการซึมน้ำมากที่สุดคือ กรณีที่มีปริมาณเส้นใย 100% สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากชิ้นงานมีองค์ประกอบของเส้นใยจากธรรมชาติซึ่งมีเซลล์โลสที่มีสมบัติดูดซับความชื้นได้ง่าย จึงทำให้ชิ้นงานมีความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มมากยิ่งขึ้น โดยชิ้นงานที่มีความยาวเส้นใยที่สั้นที่สุด (2 mm) มีค่าการซึมน้ำมากที่สุด เมื่อสังเกตจากผลการทดสอบการหาความหนาแน่นของชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานที่มีเส้นใยยาว 2 mm มีค่าความหนาแน่นที่น้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเคลื่อนตัวแทรกเข้าไปในโครงสร้างภายในของชิ้นงานได้ง่าย

4. สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นคิดค้นและพัฒนาวัสดุจากธรรมชาติเพื่อนำมาผลิตเป็นภาชนะแบบใช้แล้วทิ้งทดแทนภาชนะที่ผลิตขึ้นจากพลาสติกซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากงานวิจัยนี้มีการทดสอบสมบัติที่สำคัญของวัสดุทั้งสมบัติทางกลและทางกายภาพ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความยาวของเส้นใยมีอิทธิพลต่อการต้านแรงดัด

AMM-2010

โค้งและค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งชิ้นงานที่มีความยาวของเส้นใยเท่ากับ 10 mm มีสมบัติการต้านแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเจน และการเพิ่มความยาวเส้นใยนั้นยังมีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน พบว่าการเพิ่มความยาวเส้นใยกล้วยจะทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการซึมผ่านของชิ้นงานมีค่าลดลง แต่ก็ยังถือว่าชิ้นงานมีการซึมผ่านที่ค่อนข้างสูงมาก จึงต้องคิดค้นและพัฒนางานวิจัยเพื่อหาวิธีลดค่าการซึมผ่านของชิ้นงานต่อไป ไม่ว่าจะเป็นการเติมสารเติมแต่งที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือเคลือบด้วยพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J.W., Imam, S.H. (2006). Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly(vinyl alcohol), *Polymer Degradation and Stability*, Vol.91, pp. 1147-1155.
- [2] Mukhopadhyay, S., Figueiro, R., Arpac Y., Sentrck, R. (2008). Banana Fibers-Variability and Fracture Behaviour, *Journal of Engineering Fibers and Fabrics*, Vol. 3, pp. 39-45.
- [3] National innovation agency (2551). เทคโนโลยีของประเทศผู้นำด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.nia.or.th/download/document/chapter3.pdf>
- [4] National metal and materials technology center. (2550). พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/bio_de_plas.html
- [5] Shorgren, R.L., Lawton, J.W., Tiefenbacher, K.F. (2002). Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties, *Industrial Crop and Products*, Vol. 16, pp. 69-79.
- [6] Soykeabkaew, N., Supaphol, P., Rujiravanit, R. (2004). Preparation and characterization of jute-and flax-reinforced starch-based composite foams, *Carbohydrate Polymers*, Vol.58, pp. 53-63.
- [7] Tiefenbacher, K. (1993). Starch-based foamed materials-use and degradation properties, *J. Macromol.Sci., Pure Appl. Chem.* A30, pp. 727-731.
- [8] ณัฐพล ไช้แสงศรี, อรพิน เกิดชูชื่น, ณัฏฐาเลหกุลจิตต์, และสุพจน์ ประทีปทอง. (2553). การพัฒนาถาดโฟมจากแป้งมันสำปะหลังในการบรรจุส้มโอตัดแต่งสด, *ว.ว.ท.ย.กษ.*41(3/1), 669 - 672.
- [9] ธนาวิลี ลี้จากภัย(2551). พลาสติกย่อยสลายได้: อดีต ปัจจุบัน อนาคต, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/varticle/38245>
- [10] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(2553). พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://siweb.ass.go.th/repack/fulltext>
- [11] อังศุมา บุญไชยสุริยา(2554). การผลิตโฟมย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวมลสุดา ลิ่วไสง เกิดเมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530 ที่อำเภอเมือง จังหวัดเลย บิดาชื่อ นายสุรยุทธ ลิ่วไสง มารดาชื่อ นางกมลวรรณ ลิ่วไสง สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนเมืองเลย จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเลยพิทยาคม จังหวัดเลย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2552 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2554 ขณะศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตนั้น ได้มีประสบการณ์เป็นผู้สอนรายวิชาของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล ได้แก่ วิชาการเขียนแบบวิศวกรรม 1 วิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1, 2, 3 วิชาปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ 1 วิชาปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 1 และวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมอากาศยาน 1 ในปัจจุบันทำงานอยู่ที่สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ตำแหน่งวิศวกรระบบควบคุม

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27 เรื่องการผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกากกล้วย ระหว่างวันที่ 16 - 18 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ณ จังหวัดชลบุรี ดังแสดงในภาคผนวก ค.