สำนักวิทยบริการฯ
จำนวน 1 เล่ม
- 3 มี.ค. 2562

รายงานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

Feasibity Study of Bioplastic Film Production Made from Starch of Wild Yam Mixed with Cassava

ราตรี ใบโส๊ะ
สุริยะ เมาน้ำพราย

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
2561

ใบรับรองงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่องงานวิจัย การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง
Feasibility Study of Bioplastic Film Production Made from Starch of Wild Yam Mixed with Cassava

ชื่อผู้ทำงานวิจัย ราตรี ใบโส๊ะ และสุริยะ เมาน้ำพราย

คณะกรรมการสอบโครงการวิจัย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....ประธานกรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สายสิริ ไชยชนะ)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์ ดร.สิธิพร บริรักวิสิฐศักดิ์)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร)

.....กรรมการสอบ
(อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์)

.....ประธานหลักสูตร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุมัติ เดชนะ)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เมื่อวันที่ 28 ธ.ค. 2561 เดือน.....พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อเรื่อง	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง
ชื่อผู้ทำงานวิจัย	นางสาวราตรี ใบโส๊ะ รหัสนักศึกษา 574232022
	นายสุริยะ เมาน้ำพราย รหัสนักศึกษา 574232035
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต	สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
สถาบัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ปีการศึกษา	2561

- 1 พ.ค. 2562

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะจากถุงพลาสติกสังเคราะห์เป็นปัญหาที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ ในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาพลาสติกชีวภาพด้วยแป้งจากพืชหลายชนิด เนื่องจากในพืชเหล่านี้มีองค์ประกอบของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังจำนวน 11 อัตราส่วน (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100) ขึ้นรูปด้วยวิธีการให้ความร้อนแป้ง แล้วทดสอบสมบัติทางกายภาพ และเคมี พร้อมทั้งการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มโดยวิธีการฝัง

ผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 40:60 เหมาะสมในการผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพสูงสุดเนื่องจากมีการอ่อนตัวสูง ไม่เปราะหรือฉีดขาด และฟองอากาศน้อย มีสมบัติเชิงกลในด้านค่าความหนา ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าการต้านทานแรงดึง เป็นตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D638 มีค่าเท่ากับ 0.2667±0.0231 มิลลิเมตร, 97.50±0.001 และ 6.1900±0.0001 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$) กับพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ยกเว้นด้านความหนา ส่วนแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:100, 10:90, 20:80 และ 30:70 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D638 เช่นเดียวกันแต่พบว่ามีปัญหาในเรื่องฟองอากาศและการอ่อนตัว และค่าร้อยละความชื้นของแผ่นฟิล์มชีวภาพมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งส่วนทางกับค่าการดูดซับน้ำ ในส่วนของการทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังแผ่นฟิล์มจะแตกหักมากขึ้น ซึ่งสัปดาห์ที่ 5 แผ่นฟิล์มชีวภาพอัตราส่วน 0:100 มีร้อยละการสลายตัวทางชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 89.62 แผ่นฟิล์มมีลักษณะเกือบเป็นเนื้อเดียวกับดิน และอัตราส่วน 40:60 มีร้อยละการสลายตัว 75.33

คำสำคัญ : แผ่นฟิล์มชีวภาพ, กลอย, มันสำปะหลัง และการสลายตัวทางชีวภาพ

Study Title	Feasibility Study of Bioplastic Film Production made from Starch of Wild Yam Mixed with Cassava
Authors	Miss Ratree Baisoh Student Code 574232022
	Mr. Suriya Maonamprai Student Code 574232035
Advisor	Miss Hirunwadee Suviboon
Bachelor of Science	Environmental Science
Institution	Songkhla Rajabhat University
Academic Year	2018

Abstract

Plastic bag wastes present many problems to the world. It was solve this problem by analyzing bioplastics to replace conventional plastics. Bioplastics are biodegradable and environment-friendly products. Bioplastics can be generated from different starches such as bean and root crop because granule consists of amylose and amylopectin molecules. This research was aimed to investigate the production of starch-based bioplastics from the combination of wild yam and cassava starch. In this study, 11 ratios of wild yam starch and cassava starch (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 and 0:100 were studied). Samples were gelatinization heating of starch. The chemical and physical properties of bioplastics this ware indicated. Additionlly, the burial test was also.

The results indicated that the optimal ratio between wild yam and cassava starch was 40:60, as this ratio any high modulus. Percentage of elongation at break and tensile strength were standard ASTM D638 adapted in this study; results were equal to 0.2667±0.0231 mm, 97.50±0.001% and 6.1900±0.0001 MPa, respectively. Comparing to LDPE plastics, these results were not significant differences at 95% confident intervals ($P>0.05$) except a thickness. The produced film platics at 0:100, 10:90, 20:80 and 30:70 also standard ASTM D638 high air bubbles and a reduction of tensile strength incaded to be improved. The moisture of bioplastic film products decreased with the addition of cassava starch. The Biodegradable plastic test in the fifth week reported an increase in cassava starch associated with rising in elongation

at break. The ratio of bioplastic film product between wild yam and cassava at 0:100 shared the highest biodegradability at 89.62%, followed by 40:60 (75.33%).

Keyword: Bioplastic film, Wild Yam, Cassava, Biodegradability

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาการวิจัยสิ่งแวดล้อม (4453503) รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากความกรุณาจากอาจารย์ หิรัญวดี สุวิบูรณ์ ที่ได้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาในการดำเนินการทดลอง และให้คำแนะนำเพิ่มเติม และอ่านแก้ไขข้อบกพร่องในรายงานการวิจัยเพื่อปรับปรุงให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญกมล ขุนพิทักษ์ อาจารย์นัดดา โปดำ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ ดร.สายสิริ ไชยชนะ ดร.สิริพร บริรักวิสิฐศักดิ์ และอาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณวรรณฤดี หมื่นพล เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ และห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการทางานวิจัยในครั้งนี้ไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และมีส่วนช่วยเหลืองานวิจัยในครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อุปถัมภ์กำลังทรัพย์และคอยให้กำลังใจในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ที่พึงได้จากงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้มอบเป็นรางวัลแห่งความภาคภูมิใจแด่ บิดา มารดาและคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ราตรี ใบโสะ และสุริยะ เมาน้ำพราย

ธันวาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ช
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ตัวแปร	3
1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 สมมติฐาน	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 พลาสติกชีวภาพ และแผ่นฟิล์มชีวภาพ	6
2.2 การพัฒนาพลาสติกและแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้ง	11
2.3 พลาสติกพอลิเอทิลีน	13
2.3 ข้อมูลที่เกี่ยวกับกลอย	14
2.4 ข้อมูลที่เกี่ยวกับมันสำปะหลัง	17
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	20
3.1 กรอบแนวคิดการศึกษา	20
3.2 ขอบเขตการวิจัย	21
3.3 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา	21

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.4 การเก็บและเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ	19
	3.5 วิธีการวิเคราะห์	20
บทที่ 4	**ผลและการอภิปรายผลการวิจัย**	27
	4.1 ผลการทดสอบปริมาณแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ	27
	4.2 ผลการพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	30
	4.3 ผลการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	39
บทที่ 5	**สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ**	46
	5.1 สรุปผลการวิจัย	46
	5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม		
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก โครงร่างวิจัย	ผก-1
	ภาคผนวก ข วิธีการทดสอบ	ผข-1
	ภาคผนวก ค ภาพประกอบการวิจัย	ผค-1
	ภาคผนวก ง ผลการทดลอง	ผง-1
	ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย	ผจ-1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.7-1	ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย	4
2.1.2-1	การเปรียบเทียบสมบัติของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน	9
2.1.2-2	ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	10
2.3.2-1	สมบัติเชิงกลบางประการของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	14
3.5.2-1	การศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรีนที่เหมาะสม	23
3.5.3-1	อัตราส่วนแผ่นฟิล์มจากแป้งกลอยผสมกลีเซอรีนและแป้งมันสำปะหลัง	24
3.5.4-1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา	25
4.1.1-1	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง	28
4.1.2-1	ผลการทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง	29
4.2.1-1	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	31
4.2.3-1	ผลการทดสอบร้อยละความชื้นและการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	39
4.3.2-1	ผลการทดสอบร้อยละการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	45

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1.2-1	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส	8
2.1.2-2	โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน	9
2.1.3-1	กลไกการย่อยสลายทางชีวภาพของแป้ง	11
2.4.1-1	ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของกลอย	15
2.4.3-1	ลักษณะของหัวกลอย	16
2.5.1-1	ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง	17
2.5.4-1	ลักษณะของหัวมันสำปะหลัง	19
3.1-1	กรอบแนวความคิดการศึกษา	20
3.5.2-1	วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ	24
3.5.5-1	ขั้นตอนการทดสอบการย่อยสลาย	26
4.1.1-1	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง	28
4.2.1-1	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	31
4.2.2-1	ความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	33
4.2.2-2	ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	34
4.2.2-3	การต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	35
4.2.2-4	แรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	36
4.2.2-5	ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง	37
4.3.1-1	ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 1	40
4.3.1-2	ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 2	41
4.3.1-3	ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 3	42
4.3.1-4	ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 4	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.3.1-5	ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 5	44

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ถุงพลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้น เนื่องจากสะดวกกับการใช้งาน หาได้ง่าย และราคาถูก จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษพบว่า มีการใช้งานถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งประมาณ 281,683 ใบต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยจากถุงพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล รัฐจำเป็นต้องสูญเสียรายได้จากถุงพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งรัฐมีการจัดสรรงบประมาณในการจัดการขยะมูลฝอยประมาณ 4,161.07 ล้านบาท (สำนักงบประมาณของรัฐสภา, 2560) ถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งเป็นพลาสติกประเภท พอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) และพอลิโพรพิลีน (polypropylene; PP) มีระยะในการย่อยสลายนานถึง 450 ปี (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2561) นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตพลาสติกยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ และทางอากาศ แม้แต่กระบวนการย่อยสลายยังอาจมีการปนเปื้อนของสารประกอบที่ไม่ย่อยสลาย และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่สิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

ในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาพลาสติกด้วยวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น แป้ง (starch) โปรตีนจากถั่ว (soy protein) และโปรตีนพืช (plant protenin) เพื่อผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ เนื่องจากในพืชเหล่านี้มีองค์ประกอบของอะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เส้นตรง และอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบกิ่งก้านสาขา เมื่อให้ความร้อน ทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน และเมื่อสารละลายแป้งสุกมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลงโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันเคลื่อนที่เข้าหากัน และจับตัวกัน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ (จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร, 2557) และเมื่อแป้งเหล่านี้ถูกทับถมในดินจะเกิดการทำงานร่วมกันของปัจจัยภายนอกที่ทำให้แผ่นฟิล์มชีวภาพแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ จุลินทรีย์ในดินจะปล่อยเอนไซน์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายพอลิเมอร์ของแผ่นฟิล์มชีวภาพจนกลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง และเกิดเป็น

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ในที่สุด (ชนกชนม์ แสงจัน และดวงฤทัย เขมะไชเวช, 2559) จากการศึกษาของสุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ์ (2558) ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำยางธรรมชาติอยู่ที่ กลีเซอรีนร้อยละ 20 และอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำยางธรรมชาติ 90/10 ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 15.08 MPa ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 7.00 และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 3.35 MPa จากการศึกษาของจริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557) พบว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเลือดที่ปริมาณแป้ง 3.30 กรัม กลีเซอรีนร้อยละ 1.65 และสารลดแรงตึงผิวที่ร้อยละ 1 แผ่นฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติที่ทนทาน แข็งแรง และมีความยืดหยุ่นที่ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งจากข้อมูลงานวิจัยข้างต้นจะพบว่าแป้งที่นำมาใช้ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพจะมีปริมาณอะไมโลสสูง โดยแป้งมันสำปะหลังและมันเลือดมีอะไมโลสร้อยละ 23.5 และ 18.98 ตามลำดับ

สำหรับหัวกลอย เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Dioscoreae มีหัวอยู่ใต้ดินเช่นเดียวกับหัวมัน สามารถนำมาผลิตเป็นแป้งได้โดยแป้งที่ผลิตจากหัวกลอยมีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 2.39 ไขมันร้อยละ 0.11 เถ้าร้อยละ 0.18 ฟอสฟอรัส 52.10 ppm อะไมโลสร้อยละ 19.7 (สันทณีย์ ปัญจอานนท์ วิทวัส จิรนันทกูล และดุษฎี อุตภาพ, 2557) แป้งมันสำปะหลัง มีโปรตีนร้อยละ 1.57 เถ้าร้อยละ 1.20 เยื่อใยร้อยละ 1.77 อะไมโลสร้อยละ 23.5 (กล้าณรง ศรีรอต, 2549) ซึ่งสูงกว่ามันเลือดจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทดสอบขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จากงานวิจัยของชนกชนม์ แสงจันทร์ และดวงฤทัย เขมะไชเวช (2559) ซึ่งศึกษาการเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู พบว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคู

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้แป้งจากหัวกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังโดยและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D638 และเพื่อศึกษาสภาวะในการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งพลาสติกที่ได้อาจมีประโยชน์นำไปสู่การพัฒนาเป็นพลาสติกชีวภาพทดแทนพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) ได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาการย่อยสลายแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

1.3 ตัวแปร

ตัวแปรต้น	:	อัตราส่วนของแป้งกลอยและแป้งมันสำปะหลัง
ตัวแปรตาม	:	สมบัติของแผ่นฟิล์มและอัตราการการย่อยสลาย
ตัวแปรควบคุม	:	อุณหภูมิ และเวลาในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 กลอย หมายถึง พืชที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Dioscorea hispida* อยู่ในสกุล Dioscorea L. วงศ์ Dioscoreaceae มีลักษณะเป็นพืชใบเลี้ยงเดียว ลำต้นมีหนามแหลม เป็นไม้เถาล้มลุก มีหัวอยู่ใต้ดิน และมีใบยาว 3 แฉก มีขอบเขตการกระจายกว้างทั้งในบริเวณเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน (สันทณีย์ ปัญจอานนท์ วิทวัส จิรนันทกูล และดุษฎี อุตภาพ, 2557)

1.4.2 แป้งมันสำปะหลัง หมายถึง ลักษณะของแป้งสีขาว เนื้อละเอียด ลื่นเป็นมัน เหมาะแก่การผลิตแผ่นฟิล์มหรือพลาสติกชีวภาพได้ ซึ่งมีอะไมโลสถึงร้อยละ 23.5 (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

1.4.3 แผ่นฟิล์มชีวภาพ (bioplastic film) หมายถึง การนำแป้งจากพืช (ธัญพืช และพืชหัว) มาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยวิธีทางความร้อน (thermal gelatinization) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และใช้กลีเซอรีนเป็นพลาสติไซเซอร์ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.4.4 กลีเซอรีน หมายถึง สารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ เพื่อเพิ่มลักษณะความเป็นพลาสติกให้กับแป้ง (ภิเษก รุ่งโรจน์ชยพร, 2557)

1.4.5 แผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง หมายถึง การนำแป้งหัวกลอยและมันสำปะหลังมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยวิธีทางความร้อน (thermal gelatinization) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และใช้กลีเซอรีนเป็นพลาสติกไซเซอร์ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

1.5 สมมติฐาน

แป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

16.1 แผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

1.6.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาการใช้วัสดุจากธรรมชาติสร้างผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.6.3 สามารถนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นนำมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรในภาคเกษตรกรรม

1.7 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย

การศึกษานี้มีระยะเวลาดำเนินการวิจัยระหว่างวันที่ 13 มกราคม 2560 – 30 พฤศจิกายน 2561 ซึ่งมีแผ่นการดำเนินงานตลอดโครงการแสดงไว้ใน **ตารางที่ 1.7-1** สำหรับโครงร่างวิจัยแสดงรายละเอียดไว้ใน **ภาคผนวก ก**

ตารางที่ 1.7-1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560											2561								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร	▬	▬	▬	▬	▬	▬	▬										▬	▬	▬	
สอบโครงร่างวิจัย				●																
การทดลองในห้องปฏิบัติการ					▬	▬	▬	▬	▬	▬										
สอบรายงานความก้าวหน้าทางวิจัย										●										
วิเคราะห์และสรุปผล															▬	▬	▬	▬		

ตารางที่ 1.7-1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560										2561								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
สอบรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์																			●	
แก้ไขรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์																			▬	▬

หมายเหตุ

▬▬ หมายถึง ช่วงระยะเวลาดำเนินการวิจัย

- - - หมายถึง ช่วงระยะเวลาดำเนินการวิจัย

● หมายถึง ช่วงระยะเวลาสอบ

▒ หมายถึง ช่วงเวลาฝึกประสบการณ์วิชาชีพทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกชีวภาพ และแผ่นฟิล์มชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพ (bioplastic) และแผ่นฟิล์มชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ จำพวกพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อน และสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายจนหมดจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ ซึ่งวัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่น แป้ง โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด (พิชาภัค สมยูรทรัพย์, 2553) สำหรับแผ่นฟิล์มชีวภาพในการศึกษาครั้งนี้ผลิตจากแป้งกลอยและแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนและผสมกลีเซอรีน เมื่อเย็นลงจะเกิดการคืนตัวของแป้งสุกจนได้เป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพลักษณะคล้ายกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE)

2.1.1 ประเภทของพลาสติกชีวภาพ

การแบ่งประเภทของพลาสติกชีวภาพตามกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) พอลีแลคติคแอซิด (Polylactic Acid: PLA)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต polylactic acid (PLA) คือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น มีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ให้เกิดเป็นแลคติคแอซิด (lactic acid) และนำมาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่าแลคติค (lactide) หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นโพลิเมอร์ของแลคติค (lactide) ที่เป็นสายยาวขึ้น เรียกว่าพอลีแลคติคแอซิด (polylactic acid: PLA) ยังมีคุณสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบ (พิสิฐ น้อยวังคลัง, 2553)

2) พอลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates: PHAs)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต polyhydroxyalkanoates (PHAs) คือแป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ *Eschericia coli* ซึ่งกินน้ำตาลเป็นอาหาร และสามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลภายในตัวจุลินทรีย์เองเป็น PHAs ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยการกะเทาะแยกเปลือกนอกหุ้มจุลินทรีย์ออก คุณสมบัตินี้มีจุดหลอมเหลวกว้าง 50 – 180 องศาเซลเซียส นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลาย เช่น การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม การฉีดและการเป่า (พิสิฐ น้อยวังคลัง, 2553)

3) โพรเพนไดออล (Propanediol: PDO)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต propanediol (PDO) คือแป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตคล้ายกับการผลิต PLA โดยเริ่มจากการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และทำการใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดชีวภาพ (biocatalyst) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็น PDO ซึ่งสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเส้นใยชีวภาพที่เรียกว่า sorona TM ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี มีความอ่อนนุ่ม แห้งได้เร็ว และสามารถย้อมติดสีได้ดี (พิสิฐ น้อยวังคลัง, 2553)

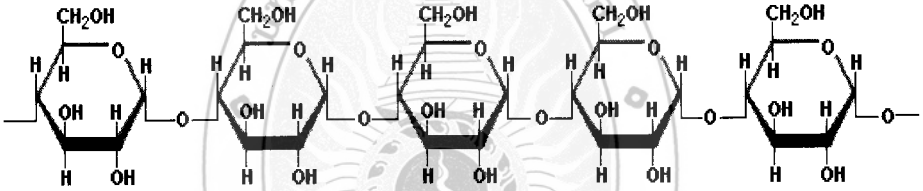
2.1.2 สมบัติของแป้งที่นำมาผลิตพลาสติกชีวภาพ

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพาสต์ และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ด และหัว แป้งในกระบวนการผลิต หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนใหญ่มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ แป้งที่ผลิตทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวร์ (flour) เช่น แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่สูงก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เมื่อสิ่งเจือปนจำพวกโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นถูกสกัดออกไป จนเหลือแต่แป้งบริสุทธิ์จะเรียกว่าแป้งสตาร์ช (starch) สำหรับแป้งมันสำปะหลังปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีที่ทันสมัยมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ดัดแปรหรือแปรรูป เรียกว่า แป้งดิบ ส่วนแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้วจะเรียกว่า แป้งดัดแปร (modified starch) แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งจะประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic Linkage) มีสูตรเคมีทั่วไป

คือ ($C_6H_{10}O_5$) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดด้วยกัน คือ อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น และอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งวางตัวอยู่ในแนวรัศมี แสดงระดับโครงสร้างของเม็ดแป้ง องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งมีดังนี้

1) อะไมโลส (Amylose)

เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด **α**-1, 4 (**α**-1, 4) แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง ซึ่งจะมีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณร้อยละ 28 ส่วนแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่ไม่มีอะไมโลสเลย แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ที่ต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง รายละเอียดดังแสดงใน**ภาพที่ 2.1.2-1**

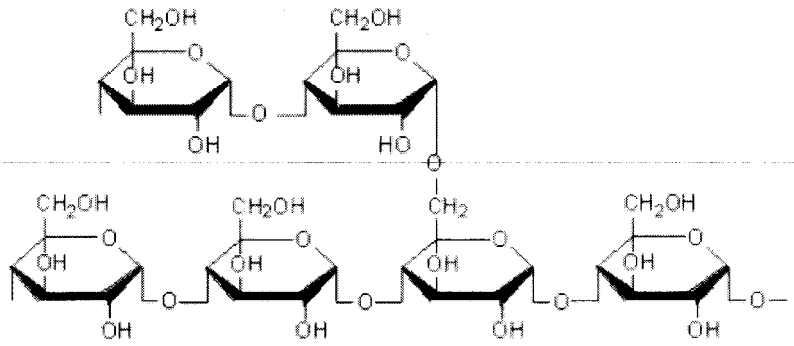


ภาพที่ 2.1.2-1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส

ที่มา: Vandamme et al. (2002) อ้างถึงใน จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557)

2) อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

พอลิแซคคาร์ไรด์ประเภท homopolysaccaride ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสตาร์ช เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา โดยพันธะไกลโคซิดิกสองแบบ คือ ส่วนที่เป็นเส้นตรงเป็นพันธะชนิด **α**-1,(**α**-1, 4) เหมือนกับอะไมโลส แต่มีส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาเชื่อมต่อด้วยพันธุ **α**-1, 6 (**α**-1, 6) อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสและมีอัตราการคืนตัวต่ำ (การคืนตัวของแป้งสุกนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกมีอุณหภูมิลดต่ำลง เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่และการนำไปใช้งาน รายละเอียดดัง**ภาพที่ 2.1.2-2** สำหรับการเปรียบเทียบสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลสเพคตินดังแสดงใน**ตารางที่ 2.1.2-1**



ภาพที่ 2.1.2-2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Vandamme et al. (2002) อ้างถึงใน จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557)

ตารางที่ 2.1.2-1 การเปรียบเทียบสมบัติของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
(1) โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,(α-1, 4)	(1) โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ ชนิด α-1,(α-1, 4) และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะ α-1, 6 (α-1, 6)
(2) มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	(2) มีขนาดสูงกว่าแต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
(3) ละลายน้ำได้น้อยกว่า	(3) ละลายน้ำได้ดีกว่า
(4) ต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อยกว่าเกิดเรทโทรเกรเดชั่นได้ง่าย	(4) ข้นหนืดมากและใสมาก เกิดเรทโทรเกรเดชั่นยาก
(5) ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	(5) ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
(6) ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	(6) ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง
(7) แป้งที่มีอะไมโลสสูง ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า	(7) แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูง ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว

ที่มา: Beynum and Roels (1985) อ้างถึงใน กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณร้อยละ 22-30 ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วงร้อยละ18-24 น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจาก

แป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลสยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง (จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร, 2557) ปริมาณและสมบัติของอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดัง**ตารางที่ 2.1.2-2**

ตารางที่ 2.1.2-2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ

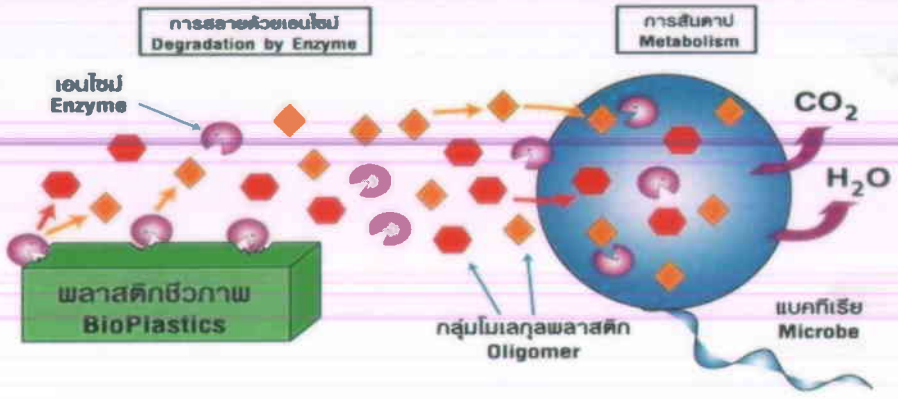
แป้ง	**ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง) Apparent**	**ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง) Absolute**
ข้าวสาลี [1]	28.8	25.8
ข้าวโพด [1]	29.4	22.5
ข้าวเจ้า [1]	25.0	20.5
มันสำปะหลัง [1]	23.5	17.8
มันมือเสือ [2]	18.98	18.89
กลอย [2]	19.77	19.74

ที่มา [1] Kasemsuwan และคณะ (1995) อ้างถึงใน จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557)

[2] สันทณีย์ ปัญจอานนท์, วิทวัส จิรนันทกูล, และดุษฎี อุตภาพ (2557)

2.1.3 การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้ง

กลไกการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้ง เริ่มจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ขั้นตอนนี้เรียกว่า การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodeterioration) หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายพอลิเมอร์ของพลาสติกชีวภาพขั้นตอนนี้เรียกว่า กระบวนการทำลายการโพลีเมอร์ไรเซชั่น (depolymerisation) กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเหล่านี้จะถูกซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ ผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ส่งเข้าสู่กระบวนการสันดาป เพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงานและมวลชีวภาพขั้นตอนนี้เรียกว่าการดูด ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลาย คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) แสดงดัง**ภาพที่ 2.1.3-1**



ภาพที่ 2.1.3-1 กลไกการย่อยสลายทางชีวภาพของแป้ง

ที่มา: วชิระ ยมาภัย และคณะ (2555)

2.2 การพัฒนาพลาสติกและแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้ง

จากสมบัติของพลาสติกชีวภาพหรือแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ย่อยสลายได้ง่าย จึงเป็นแนวทางของพลาสติกสมัยใหม่ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาพลาสติกชีวภาพหรือแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งที่มีอยู่ในท้องถิ่น อาทิ เช่น

การศึกษาของจริยาภรณ์ มากล้ำ และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557) ที่ศึกษา การประยุกต์ใช้มันเลือดเพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากมันเลือด และภาวการณ์ย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม อันเนื่องมาจากปริมาณขยะมูลฝอย นับวันจะมีเพิ่มมากขึ้นตามจานวนของประชากร ถ้าหากไม่มีการจัดการขยะมูลฝอยให้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ปัญหาความสกปรกต่างๆ ที่เกิดจากขยะ มูลฝอยอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก และจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จึงได้เกิดการคิดค้นวิธีที่จะช่วยลดปริมาณขยะเหล่านี้ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตร แผ่นฟิล์มถูกทดแทนด้วยสตาร์ชจากมันเลือด โดยแปรปริมาณเป็นพลาสติไซเซอร์ กลีเซอรีนสองระดับคือ 1.65 และ 2.00 มิลลิลิตร ปริมาณแป้ง 3.30 กรัม และปริมาณสารลดแรงตึงผิว (span80) ร้อยละ 0.5, 1.00 และ 1.5 เตรียมด้วยวิธี thermal gelatinization แผ่นฟิล์มที่ได้นำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการ พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยมีความเข้มข้นของกลีเซอรีน 1.65 มิลลิลิตร แป้ง 3.30 กรัม สารลดแรงตึงผิวที่ร้อยละ 1 มีค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 28 มีแรงดึง 0.16 นิวตัน และแรงกด 0.95 นิวตันต่อมิลลิเมตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีคุณสมบัติดีที่สุดและถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ซึ่งพบว่าความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์มที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแผ่นฟิล์มจะขึ้นอยู่กับระดับกลีซอรีนที่เพิ่มขึ้น ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาของชนกชนม์ แสงจันทร์ และดวงฤทัย เขมะไชเวช (2559) ที่ศึกษาการเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลายและศึกษาหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ ซึ่งจะเตรียมพลาสติกชีวภาพในรูปแผ่นฟิล์มโดยใช้เทคนิคสารละลาย การย่อยสลายทางชีวภาพจึงถูกพิจารณาในการกำหนดระดับการย่อยสลายและอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนต่อการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมด้วยปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการดัดแปลงมาจาก ASTM D5538-98 จากการศึกษาพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีระยะเวลาในการย่อยสลายตัวได้น้อยและมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าแป้งสาคู เนื่องจากปริมาณอะไมโลสเป็นโครงสร้างที่เป็นโซ่ตรงถ้ามีปริมาณอะไมโลสน้อยจะย่อยสลายได้เร็ว และมีปริมาณอะไมโลสมากจะย่อยสลายได้ช้า ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณอะไมโลสที่น้อยกว่าของแป้งมันสำปะหลังและมากกว่าของแป้งสาคู ผลการวิจัยนี้ยังสามารถทำนายระยะเวลาในการใช้ประโยชน์ของฟิล์มพลาสติกชีวภาพได้

การศึกษาของแก้วตา แก้วตาทิพย์ (2556) ที่ศึกษา พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี กลูเตนข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจอย่างมากในการนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ราคาถูก มีปริมาณมาก และย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ และเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีร่วมกับพลาสติไซเซอร์สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เหมือนการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป โครงสร้างของกลูเตนข้าวสาลีประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด แต่กรดอะมิโนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างและสมบัติของกลูเตนข้าวสาลี คือ ซีสทีน เนื่องจากซีสทีนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไทออลที่สามารถสร้างพันธะไดซัลไฟด์ทั้งภายในและภายนอกสายโซ่ของโปรตีนหรือเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีน โดยการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนจะส่งผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีน เช่น อุณหภูมิในการขึ้นรูป ชนิดของพลาสติไซเซอร์ และชนิดของสารเติมแต่ง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมการเกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนให้มีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีสมบัติที่ดีและสม่ำเสมอเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

การศึกษาของ Sani and Soykeabkaew (2015) ที่ศึกษา การย่อยสลายทางชีวภาพของคอมโพสิตชีวภาพ ได้ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมโพสิตชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย ขี้เลื่อย (SD) เสริมในเมทริกซ์ (WG) ข้าวสาลี (กลูเตน) และกลีเซอรอล) โดยมีอัตราส่วน 50:50 (SD50) และอัตราส่วน 70:30 (SD70) โดยน้ำหนัก จึงนำไปเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยปอตามมาตรฐาน ASTM D5988-03 หลังจาก 3 เดือนแป้งย่อยสลายมากกว่าเส้นใยปอ เนื่องจากเส้นใยปอมีบริเวณของผลึกมากขึ้น สำหรับการย่อยสลายของไบโอคอมโพสิตในอัตราส่วนที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วน 50:50 สลายตัวได้เร็วกว่าอัตราส่วน 70:30 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสลายตัวอยู่ประมาณร้อยละ 22 เพราะอัตราส่วน 50:50 มีเมทริกซ์ของกลูเตนและกลีเซอรอลมากขึ้นซึ่งจะเกิดการสลายตัวได้ง่ายอัตราสูงสุดของการย่อยสลายทางชีวภาพสาหรับแต่ละวัสดุที่เป็นข้อสังเกตหลังจาก 14 วัน เพราะส่วนใหญ่น้ำได้ซึมเข้าไปในห่วงโซ่และเอนไซม์ยึดห่วงโซ่ที่จะมีขนาดเล็กลงอย่างต่อเนื่อง จากนั้นจึงวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจึงมีการเกิดก๊าซไหลเข้าสู่สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามมาตรฐาน ASTM D5338-03 (มาตรฐานดังที่กล่าวมา คือ วิธีการทดสอบสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนจากวัสดุเชิงประกอบภายใต้ที่มีปุ๋ยหมัก)

2.3 พลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)

พอลิเอทิลีน (PE) ผลิตจาก กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (Metal catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะสายโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้พอลิเอทิลีนที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2556) พอลิเอทิลีนแบ่งเป็น 3 ประเภท

1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene หรือ LDPE) มีโครงสร้างแบบกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก จึงทำให้มีปริมาตรสูง มีความหนาแน่นต่ำมีความโปร่งแสง นิยมนำมาถุงใส่ของ ถุงเย็นบรรจุอาหาร แผ่นฟิล์ม เป็นต้น

2) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene หรือ HDPE) มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และปริมาณโครงสร้างผลึกสูง มีความขุ่น ทนกรดและด่างได้ดี จึงนิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุสารเคมี ถังขยะ ถังน้ำ เป็นต้น

3) พอลิเอทิลีนเทเรฟฟธอลเลต (polyethylene terephthalate หรือ PET) เป็นพอลิเมอร์ใสไม่มีสี แข็งทนทานต่อแรงกระแทก จึงนิยมใช้ในการผลิตขวดน้ำ

โดยสมบัติเชิงกลบางประการของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2556) แสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 2.3.2-1**

ตารางที่ 2.3.2-1 สมบัติเชิงกลบางประการของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

สมบัติ	หน่วย	ASTM	LDPE
ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด	%	D638	90-800
การต้านทานแรงดึง	MPa	D638	4.10-16.0
ความหนา	mm	D638	0.05-0.30
อุณหภูมิหลอมเหลว	℃	-	98.0-120.0
ความแข็งแรงกระแทก	$J.m^{-1}$	D256	-
ความเป็นผลึก	%	-	50.0-70.0

ที่มา: สมศักดิ์ วรมงคลชัย (2556)

2.4 ข้อมูลที่เกี่ยวกับกลอย

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของกลอย (เกศริน มณีนูน และพวงเพ็ญ ศิริรักษ์, 2551)

1) กลอยเป็นพืชที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Dioscorea hispida* อยู่ในสกุล Dioscorea L. วงศ์ไดออสคอเรียซีอี (Dioscoreaceae) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในเครือ Dioscorea L. และอยู่ในพันธุ์ Dioscoreahispida

2) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของกลอย กลอยมีลำต้นเป็นเถาไม่สามารถตั้งตรงได้ต้องพันกับต้นไม้อื่น ลำต้นมีหนามแหลม (สุพรรษา ขำพวง และปรีชา วันเพ็ญ, 2545) เป็นไม้เถาล้มลุก มีหัวอยู่ใต้ดินเช่นเดียวกับหัวมัน เถาอ่อนสีเขียว เถาแก่สีน้ำตาล มีหนามแข็งรอบเถา มักจะพันเลื้อยไปบนต้นไม้สูงและไปได้ไกล ส่วนหัวค่อนข้างกลม สีน้ำตาลอมเหลือง มีรากเล็กๆ กระจายทั่วทั้งหัวทำหน้าที่สะสมอาหาร ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.4.1-1**

ภาพที่ 2.4.1-1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของกลอย

ที่มา: กรมป่าไม้ (2550)

3) แหล่งกำเนิดกลอย กลอยพบตามธรรมชาติในประเทศอินเดีย จีนตอนใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และนิวกินี เป็นพืชที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารหรือนำมาผลิตแป้ง

4) การเก็บกลอยนิยมทำกันในหน้าร้อน เพราะกลอยจะมีหัวใหญ่ โผล่พ้นดิน และเถาแห้งตาย ทำให้เก็บง่าย ประมาณเดือนเมษายน

2.4.2 สายพันธุ์ของกลอย

กลอยมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เช่น กลอยมัน กลอยข้าวเหนียว กลอยข้าวเจ้า กลอยหัว และกลอยนก เป็นต้น ในประเทศไทยมีกลอยประมาณ 32 ชนิด พบมากทางภาคเหนือ และภาคอีสาน ในช่วงฤดูฝนจนถึงฤดูหนาว สำหรับชาวบ้านจะแบ่งประเภทของกลอยตามลักษณะของลำต้นและตามสีในเนื้อหัวกลอยได้ 2 ชนิด คือ

1) กลอยข้าวเจ้า จะมีลักษณะของเถาและก้านใบสีเขียว และจะมีเนื้อสีขาวนวลและเนื้อหยาบกว่ากลอยข้าวเหนียว

2) กลอยข้าวเหนียว มีเถาสีน้ำตาลอมดำ และมีสีเหลืองอ่อนถึงเหลืองเข้ม (สีทอง) เนื้อเหนียวและรสชาติดีกว่ากลอยข้าวเจ้า (มีเนื้อที่ร่วนซุย) ดังนั้น ชาวบ้านหรือเกษตรกรจึงมักจะนิยมกินกลอยข้าวเหนียวมากกว่ากลอยข้าวเจ้า

2.4.3 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของหัวกลอย

หัวกลอย มีลักษณะกลมรีๆ มีรากเล็กๆ อยู่รอบๆ หัว กลอยต้นหนึ่งจะมีหัวกลอยประมาณ 4–5 หัว หัวกลอยมีเปลือกบางสีน้ำตาลแกมเหลืองเนื้อภายใน หัวกลอย มี 2 ชนิด คือเนื้อสีขาวเรียกกันว่ากลอยหัวเหนียว และเนื้อสีครีมเรียกกันว่ากลอยไข่หรือกลอยเหลือง ดังแสดงใน **ภาพที่ 2.4.3-1**

ภาพที่ 2.4.3-1 ลักษณะของหัวกลอย

ที่มา: กรมป่าไม้ (2550)

กลอยมีส่วนประกอบทางเคมีคือ ความชื้นร้อยละ 78 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 18 ไขมันร้อยละ 0.16 โปรตีนร้อยละ 1.18 เยื่อใยร้อยละ 0.93 และเถ้าร้อยละ 0.69 อะไมโลสร้อยละ 19.77 และยังพบสารพิษร้อยละ 0.44 เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มอัลคาลอยมีสูตร คือ $C_{13}H_{19}O_2N$ สารอีกชนิดหนึ่ง คือ Diosgenin อยู่ในกลุ่ม Saponin สารทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณสูงมากในฤดูฝนและค่อยๆ ต่ำลงจนกระทั่งต่ำสุดในฤดูร้อน (สุพรรษา ขำพวง และปรีชา วันเพ็ญ, 2545)

2.4.4 ความเป็นพิษและวิธีการล้างพิษ

กลอยมีสารพิษที่ชื่อว่า ไดออสคอรีน (Dioscorine) และ ไดออสจีนีน (Diosgenine) เป็นสารในกลุ่มอัลคาลอยด์ สารพิษชนิดนี้มีผลให้เกิด อาการใจสั่น วิงเวียน คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อออกตัวเย็น ตาพร่ามัว ชีพจรเต้นเบา

กลอย เป็นพืชที่มีพิษแต่ด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านก็ได้คิดค้นวิธีในการกำจัดสารพิษในหัวกลอย โดยวิธีที่นิยม คือ การนำกลอยมาปอกเปลือก ฝานเป็นชิ้นบางๆ หนาประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ตากให้แห้ง จะเก็บไว้ได้นานหลายเดือน ก่อนนำกลอยมาปรุงอาหารให้นำไปแช่ในน้ำไหลเป็นเวลานาน 1 วัน กับ 1 คืน แต่หากเป็นกลอยที่เก็บในช่วงหน้าฝนซึ่งมีพิษมาก ต้องแช่ในน้ำไหลนาน 3 วัน 3 คืน พร้อมทั้งใช้ใบชุมเห็ดเทศวางทับด้านบน แล้วนำมานวดให้นุ่ม ก่อนนำไปผึ่งแดด

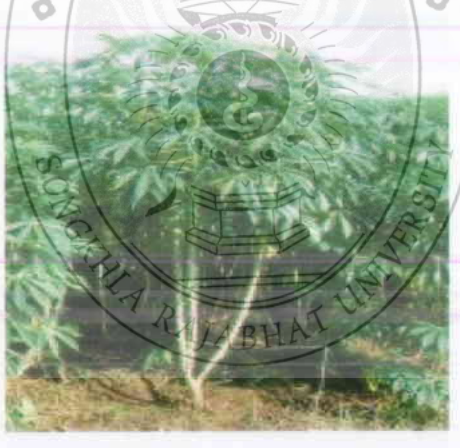
และนำกลับมาใส่ภาชนะแช่น้ำเช่นเดิมทำซ้ำกัน 2-3 ครั้ง จึงนำมารับประทานได้ (เกศริน มณีนูน และพวงเพ็ญ ศิริรักษ์, 2551)

2.5 ข้อมูลที่เกี่ยวกับมันสำปะหลัง

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลัง (กล้าณรง ศรีรอต, 2549)

1) มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Manihot esculenta (L.) Crantz* ชื่อสามัญเรียกหลายชื่อเช่น Cassava, Yuca, Mandioa, Manioc, Tapioca

2) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่ม สูง 1.3-5 เมตร รากแบบสะสมอาหาร (tuberous root) สายพันธุ์ที่นิยมปลูกสูงประมาณ 2.5 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10-1.5 เซนติเมตร ใบมีร่องลึก 3-7 ร่อง มีหูใบ ก้านใบยาว ดอกเป็นช่อดอก ผลแบบแคปซูลทรงกลม ประมาณ 1.2 เซนติเมตร การจำแนกสายพันธุ์ใช้คุณลักษณะหลายอย่างช่วยในการจำแนกเช่น สีของใบอ่อน สีก้านใบ สีลำต้น ขนที่ยอดอ่อน ลักษณะทรงต้น หูใบ ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.5.1-1**



ภาพที่ 2.5.1-1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

3) แหล่งกำเนิดมันสำปะหลัง มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส และบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มายังฟิลิปปินส์ ประมาณ ค.ศ.17 และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนิเซีย ประมาณ ค.ศ.18

4) มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ทุกเดือน โดยทั่วไปมักเริ่มในช่วงต้นฤดูฝนเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือระหว่างเดือนมีนาคม-เดือนพฤษภาคม ส่วนการปลูกในช่วงปลายฤดูฝนสามารถเริ่มในเดือนพฤศจิกายน ฤดูกาลเพาะปลูกนั้นถูกกำหนดโดยช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวและความชื้นที่มีอยู่ในดิน

2.5.2 มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1) ชนิดหวาน (sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขมใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่ม และชนิดเนื้อแน่น เหนียว แต่มีจำนวนน้อย

2) ชนิดขม (bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีกรดไฮโดรไซยานิคสูง เป็นพิษ และมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์ หรือใช้หัวมันสำปะหลังสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ เป็นต้น เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศ ไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

2.5.3 วิธีการปลูกมันสำปะหลัง

ใช้ท่อนพันธุ์ที่มีอายุ10-12 เดือน ตัดทิ้งไว้ไม่เกินประมาณ 15 วัน โดยตัดให้มีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีตาไม่น้อยกว่า 5 ตา เพื่อป้องกันเชื้อราและแมลง ควรจุ่มท่อนพันธุ์ในยาแคปแทน 1.6 ขีด (160 กรัม) ผสมร่วมกับมาลาไธออน 20 ซีซีใน น้ำ 20 ลิตร ประมาณ 5 นาทีก่อนปลูก ปลูกเป็นแถวแนวตรง เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษาและกำจัดวัชพืช โดยใช้ระยะระหว่างแถว 1.20 เมตร ระยะระหว่างต้น 80 เซนติเมตร และปักท่อนพันธุ์ให้ตั้งตรงลึกในดินประมาณ 10 เซนติเมตร (กล้าณรง ศรีรอต, 2549)

2.5.4 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีมันสำปะหลัง

หัวของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณร้อยละ 15–40 มีกรดไฮโดรไซยานิกหรือกรดพรัสซิกซึ่งมีพิษจะมีอยู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัว หัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวางมีส่วนประกอบเปลือกชั้นนอก มีสีขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ หรือสีชมพู เปลือกชั้นใน มีสีขาว ความหนา 0.1-0.3 เซนติเมตร เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน เรียกรวมกันว่าเปลือก ส่วนแกนกลางหรือส่วนสะสมแป้งมีสีขาว เหลือง หรือสีชมพู ดังแสดงใน**ภาพที่ 2.5.4-1**

ภาพที่ 2.5.4-1 ลักษณะของหัวมันสำปะหลัง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

มันสำปะหลังมีองค์ประกอบของหัว คือน้ำร้อยละ 60.21 เปลือกร้อยละ 4.08 แป้งร้อยละ 25.87 ไซยาไนด์ 2.85 ส่วนในล้านส่วน จะมีองค์ประกอบในแป้ง คือ แป้งร้อยละ 71.9 โปรตีนร้อยละ 1.57 เยื่อใยร้อยละ 1.77 เถ้าร้อยละ 1.20 ไขมันร้อยละ 0.06 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งร้อยละ 3.59 อะไมโลสร้อยละ 23.5 (กล้าณรง ศรีรอต, 2549)

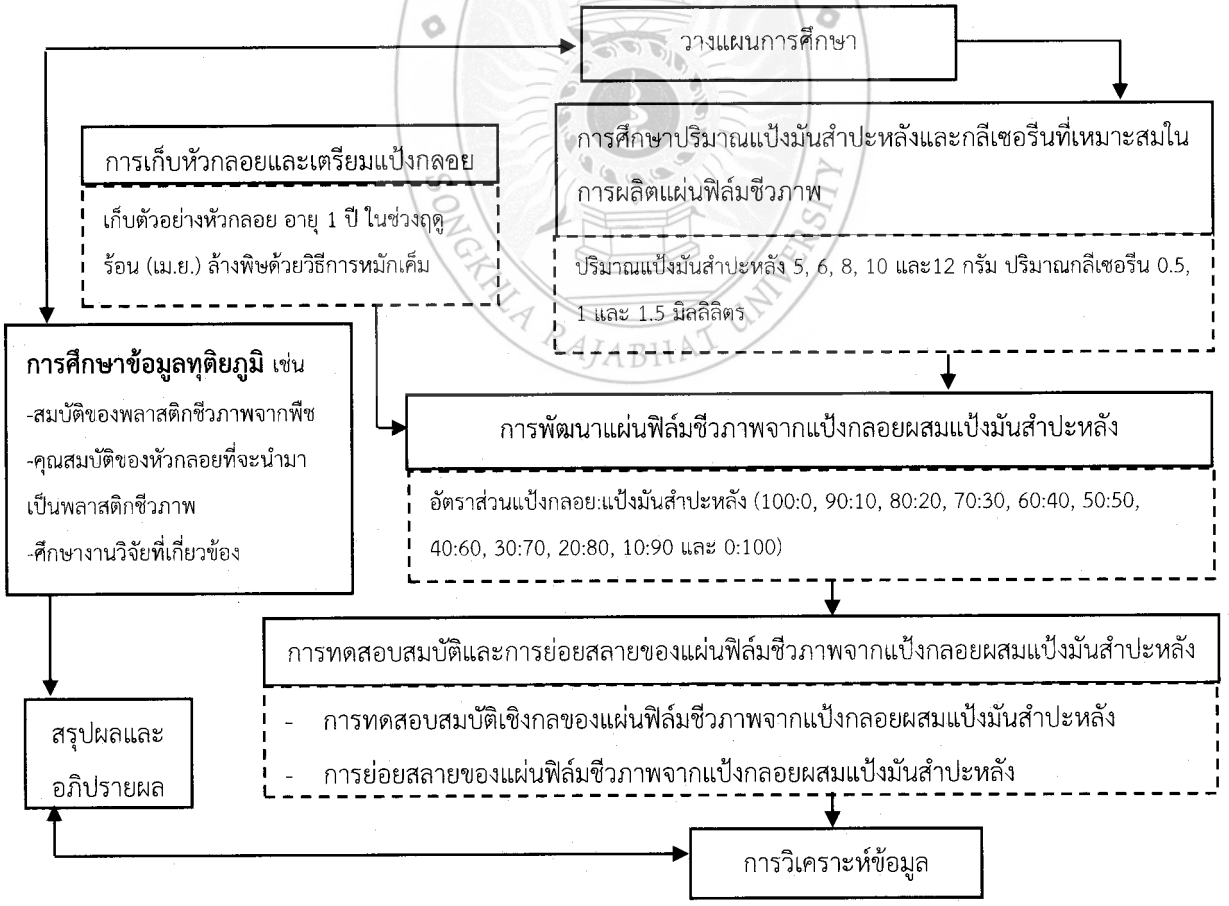
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังมาผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยวิธีการทางความร้อนของแป้ง (thermal gelatinization) ซึ่งใช้กลีเซอรีนเป็นพลาสติกไซเซอร์ นำผลมาทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มโดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ASTM D638 และคุณสมบัติของถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) และทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

3.1 กรอบแนวคิดของการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง กรอบแนวความคิดการศึกษาแสดงไว้ดัง**ภาพที่ 3.2-1**



ภาพที่ 3.1-1 กรอบแนวความคิดการศึกษา

3.2 ขอบเขตการศึกษา

3.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

แป้งที่ผลิตจากหัวกลอย และแป้งมันสำปะหลัง ตรานิวเกรด

3.2.2 พื้นที่ศึกษา

1) พื้นที่เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างกลอยอายุประมาณ 1 ปี โดยสังเกตลักษณะของต้นที่แห้งตาย หัวของกลอยโผล่พ้นดิน ในพื้นที่ชุมชนหมู่ที่ 6 บ้านวังเลน ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

2) พื้นที่ทำการทดลอง

- ทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทดสอบการดูดซับน้ำ ความชื้น และการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทาลัยราชภัฏสงขลา

- ทดสอบสมบัติเชิงกล ณ ห้องปฏิบัติการยางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทาลัยราชภัฏสงขลา

3.3 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

- หัวกลอย
- แป้งมันสำปะหลัง ตรา นิวเกรด ผลิตโดย Thai Wah Food Products Public Company Limited ขนาดบรรจุ 400 กรัม
- น้ำมันปาล์ม ตรา มรกต (MORAKOT) ขนาด 1 ลิตร
- ดินที่ผสมปุ๋ย ตรา ทรัพย์ในดิน ร้านต้านไม้ อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
- ผ้าขาวบาง

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Heraeus รุ่น MIKRC 22 R
- ตู้อบความร้อน (Hot air Oven) ยี่ห้อ Memmert
- เครื่องปั่นน้ำผักผลไม้ (KASHIWA) รุ่น KW-999
- เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal Testing Machine) Narin รุ่น NRI-TS500-30B 20kN
- โกร่งบดสาร (Mortar and Pestle)

- เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electrical Balance) ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Adventurer
- พิมพ์สะดึง (Embroidery Hoop) 6.5 นิ้ว
- มีด
- ตะแกรงร่อนขนาด 65 และ 170 ไมโครเมตร
- บีกเกอร์ ขนาด 200 มิลลิลิตร
- ขาตั้ง
- เทอร์โมมิเตอร์
- แท่งแก้วคน
- ถาด และตะกร้า
- ช้อนตักสาร

3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- กลีเซอรีน (Glycerine) เกรด AR บริษัท Thermo fisher scientific

3.4 การเก็บและเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

3.4.1 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างหัวกลอยสำหรับฤดูนี้นิยมเก็บหัวกลอยเป็นช่วงฤดูร้อน เนื่องจากกลอยจะมีหัวใหญ่ โผล่พ้นดินและเถาแห้งตาย ทำให้เก็บง่าย และไม่ควรเก็บหัวกลอยในช่วงที่มีดอก (ฤดูฝน ประมาณเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม) เนื่องจากหัวกลอยจะมีพิษมากและจะลดลงเมื่อกลอยเริ่มลงหัวในช่วงฤดูร้อน ประมาณเดือนเมษายน (เกศริน มณีนูน และพวงเพ็ญ สิริรักษ์, 2551)

3.4.2 การเตรียมตัวอย่าง

1) การล้างพิษจากหัวกลอย ดัดแปลงมาจาก (กรมป่าไม้, 2550) ปอกเปลือกหัวกลอย และหั่นเป็นแผ่นบางๆ นำไปหมักเค็มในน้ำเกลือโดยใช้อัตราส่วนของเกลือ 10 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นเวลา 4 วัน นำไปล้างน้ำให้หมดความเค็ม โดยทำติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน นำไปผึ่งแดดหรือตากให้แห้ง เป็นเวลา 2-3 วัน

2) วิธีการทำแป้งจากหัวกลอยโดยวิธีโม่เปียก ดัดแปลงมาจาก โอรส (2548) อ้างถึงในจริยาภรณ์ มากล้ำ และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557) นำกลอยที่ผ่านการล้างพิษแล้วไปปั่นละเอียดกับน้ำในอัตราแป้งกลอยต่อน้ำ 1 : 2 ส่วน เป็นเวลา 2 นาที นำตัวอย่างน้ำแป้งที่ได้กรองผ่านผ้าขาวบางและกรองผ่านตะแกร่งร่อนขนาด 65 ไมโครเมตร ทำการแยกแป้งจากสารละลายโดยเครื่อง Centrifuge 15 นาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราหมุน 1500 รอบต่อนาที

จะได้แป้งจากหัวกลอย นำแป้งที่ได้ไปอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 15 ชั่วโมง บดให้เป็นผงด้วยโกร่งบดสาร แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 170 ไมโครเมตร ใช้ในการทดลองต่อไป

3.5 วิธีการวิเคราะห์

3.5.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากพืชหัว โดยศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเตรียมและสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ การประยุกต์ใช้มันเลือดเพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ และการเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู

2) ศึกษาคุณสมบัติของหัวกลอยที่จะนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยศึกษาจากปริมาณของอะไมโลสในหัวกลอยและศึกษาขั้นตอนวิธีการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ ศึกษาวิธีการทดสอบคุณสมบัติพลาสติก และศึกษามาตรฐานในการทดสอบแผ่นพลาสติก

3.5.2 การศึกษาปริมาณแป้งและกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

1) การเตรียมอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรีนโดยในการศึกษานี้ทำการทดสอบทั้งหมด 15 สูตร มีรายละเอียดดังแสดงใน**ตารางที่ 3.5.2-1**

ตารางที่ 3.5.2-1 การศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรีนที่เหมาะสม

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (g)	ปริมาณกลีเซอรีน (ml)			ปริมาณน้ำกลั่น (ml)
5	0.5	1.0	1.5	100
6	0.5	1.0	1.5	100
8	0.5	1.0	1.5	100
10	0.5	1.0	1.5	100
12	0.5	1.0	1.5	100

2) การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธีการทางความร้อนของแป้ง (Thermal Gelatinization) ละลายแป้งในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยแช่ในอ่างน้ำมันพืชร้อนที่มีช่วงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส กวนโดยใช้แท่งแก้วคน เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที แป้งจะมีลักษณะเป็นแป้งเปียกใส แล้วจึงหยดกลีเซอรีนในปริมาณที่ระบุไว้ใน**ตารางที่ 3.5.2-1**

กวนต่อจนกระทั่งครบ 30 นาที เทใส่ลงภาชนะ จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดการเกิดฟองอากาศ และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงใน**ภาพที่ 3.5.2-1**

ภาพที่ 3.5.2-1 วิธีการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ

3.5.3 การพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

1) การเตรียมอัตราส่วนของแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังกับปริมาณกลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.5.3-1

ตารางที่ 3.5.3-1 อัตราส่วนแผ่นฟิล์มจากแป้งกลอยผสมกลีเซอรีนและแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย: แป้งมันสำปะหลัง	ปริมาณแป้ง (g)		กลีเซอรีน (ml)	น้ำกลั่น(ml)
	แป้งกลอย	แป้งมันสำปะหลัง		
100:0	6.0	0.0	1.5	100
90:10	5.4	0.6	1.5	100
80:20	4.8	1.2	1.5	100
70:30	4.2	1.8	1.5	100
60:40	3.6	2.4	1.5	100
50:50	3.0	3.0	1.5	100
40:60	2.4	3.6	1.5	100
30:70	1.8	4.2	1.5	100
20:80	1.2	4.8	1.5	100
10:90	0.6	5.4	1.5	100
0:100	0.0	6.0	1.5	100

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2) การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีวิธีการทางความร้อนของแป้ง (Thermal Gelatinization) เช่นเดียวกับขั้นตอนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในข้อ 3.5.2

3.5.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษานี้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม ได้มีการทดสอบในพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ใน**ตารางที่ 3.5.4-1** สำหรับวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแสดงรายละเอียดไว้ใน**ภาคผนวก ค**

ตารางที่ 3.5.4-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา	วิธีทดสอบ	เอกสารอ้างอิง
1.) สมบัติของแผ่นฟิล์มจากกลอย		
1.1) ค่าความต้านทานแรงดึง*	เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง	สมศักดิ์ วรมงคลชัย (2556)
1.2) ค่าแรงดึงสูงสุด		
1.3) ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด*		
1.4) ความหนาของแผ่นฟิล์ม*	เครื่อง Micrometer	
1.5) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น	ASTM D882	
1.6) ร้อยละการดูดซับน้ำ	ดัดแปลงจาก TAPPI T 412	สุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ์. (2559)
1.7) ความชื้น	ดัดแปลงจาก TAPPI T 412	
2.) การย่อยสลายของถุงเพาะชำ	การหาน้ำหนักถุงที่หายไป	พรฤดี สงวนสุข (2552)

หมายเหตุ

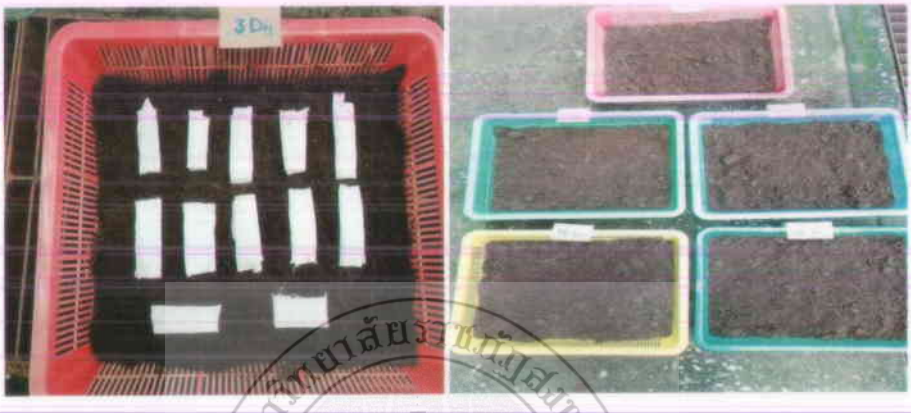
* หมายถึง มาตรฐาน ASTM D638 สมบัติแรงดึงขาดของพลาสติกและพลาสติกเสริมแรง

3.5.5 การศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ตัดชิ้นทดสอบจากแผ่นฟิล์ม ขนาด 2x4 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น เพื่อทำการทดสอบ 3 ซ้ำ นำมาห่อด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมผ้าขาวบางเป็นน้ำหนักตั้งต้น (m_0) ทำการทดสอบการย่อยสลายโดยวิธีการฝัง (Burial Test) ในสภาพธรรมชาติ ดัดแปลงจาก วิธีการศึกษาของ พรฤดี สงวนสุข (2552) มีขั้นตอนดังนี้

668.495
ว2ส1
- 1 พ.ค. 2562

1) เตรียมแปลงทดสอบ โดยนำตะกร้าขนาด 28x37.5x9.5 เซนติเมตร มาใส่ดินผสมปุ๋ย (ที่มีขายตามร้านค้าทั่วไป) จนระดับความสูงถึง 6 เซนติเมตร แบ่งระยะห่างเป็น 3 แถว ต่างกัน 3 เซนติเมตร ดังแสดงใน**ภาพที่ 3.5.5-1** แล้วนำดินผสมปุ๋ยมากลบจนเกือบเต็มตะกร้า ทำการรดน้ำครั้งที่ 1 และรดน้ำต่อเนื่อง 2 วันต่อครั้ง จนครบระยะทดสอบที่ 5 สัปดาห์



ภาพที่ 3.5.5-1 ขั้นตอนการทดสอบการย่อยสลาย

2) ทำการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มทุกๆ สัปดาห์ โดยขุดชิ้นทดสอบจากตะกร้า เมื่อได้ชิ้นทดสอบที่ห่อด้วยผ้าขาวบาง นำมาล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อทำความสะอาดและกำจัดดินที่ติดอยู่กับผ้า และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำชิ้นทดสอบไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และทำการบันทึกน้ำหนัก (m_1) หลังฝังดินนำมาคำนวณ ร้อยละการย่อยสลาย ดัง**สมการที่ 1**

สมการที่ 1 การคำนวณร้อยละการย่อยสลาย

$$M = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

หมายเหตุ

M = ร้อยละการย่อยสลาย, m_0 = น้ำหนักเริ่มต้น (mm), m_1 = น้ำหนักหลังย่อยสลาย (mm)

3.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) วิเคราะห์ด้วยสถิติแบบพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติแบบอ้างอิงวิธี Independent Sample T-Test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE)

บทที่ 4
ผลและอภิปรายผลการวิจัย

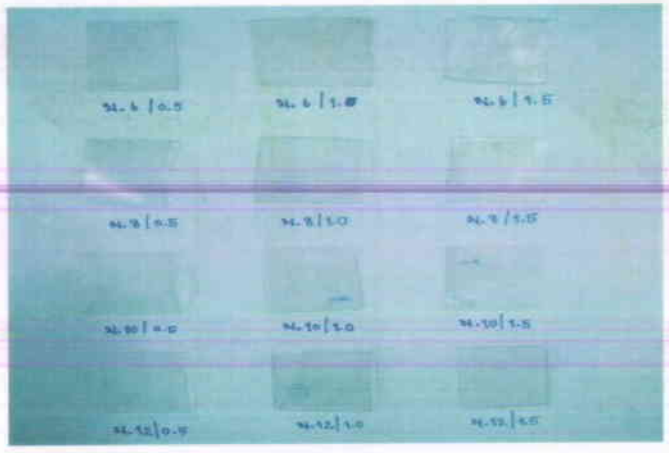
สำหรับผลการศึกษาเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อใช้อัตราส่วนที่ได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพ การพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพ เพื่อทดสอบระยะเวลาในการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

4.1 ผลการทดสอบปริมาณแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์ชีวภาพ

ในการนี้จะทดสอบปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 5 สูตร (5, 6, 8, 10 และ 12 กรัม) ต่อกลีเซอรีน 3 สูตร (0.5, 1 และ 1.5 มิลลิลิตร) รวมทั้งสิ้น 15 ชุดทดสอบ ทำการทดสอบชุดทดสอบละ 3 ซ้ำ ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยวิธีการทางความร้อน (Thermal Gelatinization) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส คนต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำสารละลายไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง จากการสังเกตการแตกหัก ปริมาณฟองอากาศ ด้วยตาเปล่า และความอ่อนตัวของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากการสัมผัส ผลการศึกษาพบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณสูง (10 และ 12 กรัม) จะมีการอ่อนตัวต่ำ (เปราะง่าย) แผ่นฟิล์มมีการแตกหัก และมีฟองอากาศเนื่องจากปริมาณแป้งที่สูงจะมีผลทำให้ตอนกวนจะหนืดเกิดเป็นฟองอากาศได้ง่าย และส่วนที่มีปริมาณแป้ง 5, 6 และ 8 กรัม จะมีลักษณะเป็นแผ่นที่ไม่มีรอยแตก แต่ที่ปริมาณแป้ง 8 กรัม จะมีฟองอากาศที่สูงกว่าแป้ง 5 และ 6 กรัม โดยยิ่งเพิ่มปริมาณกลีเซอรีนแผ่นฟิล์มที่ได้จะมีความนิ่ม และยืดได้มาก เป็นผลมาจากสัณฐานวิทยาของโครงสร้าง ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.1.1-1** และ**ภาพที่ 4.1.1-1**



ภาพที่ 4.1.1-1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.1.1-1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (g)	ปริมาณกลีเซอรีน (ml)	ลักษณะทางกายภาพ			
		แผ่นแตก	ฟองอากาศ	แผ่นเรียบ	การอ่อนตัว
5	0.5	√	เล็กน้อย	√	เล็กน้อย
	1	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
	1.5	×	เล็กน้อย	√	เล็กน้อย
6	0.5	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
	1	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
	1.5	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
8	0.5	×	ปานกลาง	√	ปานกลาง
	1	×	ปานกลาง	√	เล็กน้อย
	1.5	√	มาก	×	เล็กน้อย
10	0.5	√	มาก	×	เล็กน้อย
	1	√	มาก	×	เล็กน้อย
	1.5	√	มาก	×	เล็กน้อย
12	0.5	√	มาก	×	เล็กน้อย
	1	√	มาก	×	เล็กน้อย
	1.5	√	มาก	×	เล็กน้อย

หมายเหตุ

ฟองอากาศ: เล็กน้อย คือ ใน 1 ตารางเซนติเมตร มี 1-9 ฟอง, ปานกลาง คือ ใน 1 ตารางเซนติเมตร มี 10-15 ฟอง และมาก คือ ใน 1 ตารางเซนติเมตร มี 15 ฟองขึ้นไป

การอ่อนตัว: เล็กน้อย คือ แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็งเปราะ, ปานกลาง คือ แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็งมีการยืดตัวเล็กน้อย และมาก คือ แผ่นฟิล์มมีลักษณะอ่อนตัวมีการยืดตัวอย่างเห็นได้ชัด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง พบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีปริมาณแป้ง 8 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร ปริมาณแป้ง 10 และ 12 กรัม กลีเซอรีน 0.5, 1 และ 1.5 มิลลิลิตร แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะแข็งเปราะแตกหักง่าย ไม่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดที่ต่ำ ส่วนในสูตรที่มีปริมาณแป้ง 5 และ 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 220.67 และ 203.33 ตามลำดับ ซึ่งค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุดแสดงให้เห็นถึงความเหนียวและการยืดออกได้ของวัสดุฟิล์ม และเมื่อพิจารณาในส่วนของค่าการต้านทานแรงดึง พบว่าสูตรที่มีปริมาณแป้ง 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร มีค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุด (5.1833 MPa) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สูตรที่มีปริมาณแป้ง 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร เป็นสูตรที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกล้วยผสมแป้งมันสำปะหลัง ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.1.2-1**

ตารางที่ 4.1.2-1 ผลการทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (g)	ปริมาณกลีเซอรีน (ml)	ความหนา (mm)	แรงดึงสูงสุด (N)	การต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
5	0.5	0.2333	9.5671	0.0767	2.83
	1.0	0.2267	19.3133	16.8633	7.16
	1.5	0.2400	1.7167	1.4000	220.67
6	0.5	0.2300	3.6033	3.0700	3.02
	1.0	0.2333	1.3967	0.9733	122.21
	1.5	0.2333	2.1357	5.1833	203.33
8	0.5	0.3667	13.6833	7.2533	8.87
	1.0	0.3800	6.3967	3.1400	2.66
	1.5	0.3300	1.2500	0.7633	104.74
10	0.5	0.5300	9.9900	0.0400	2.16
	1.0	0.3900	10.8333	5.4500	5.84
	1.5	0.5233	4.5767	1.7800	5.84
12	0.5	0.3567	6.3967	3.1400	2.69
	1.0	0.8400	17.1700	4.0567	6.85
	1.5	0.7367	1.9467	0.4600	1.68

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ สุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ (2558) ที่ศึกษาการเตรียมและสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ ทำการศึกษาโดยใช้แป้ง 5 กรัม กลีเซอรีน 5 อัตราส่วน (ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 50) และสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อยางธรรมชาติ คือ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 พบว่าสัดส่วนของแป้งและกลีเซอรีนที่เหมาะสม คือ กลีเซอรีนร้อยละ 25 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนของกลีเซอรีนในการศึกษานี้ (กลีเซอรีนร้อยละ 20)

4.2 ผลการพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ในการศึกษานี้เลือกใช้ปริมาณแป้งและกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง จากการศึกษาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในสูตรที่ดีที่สุด ซึ่งใช้แป้ง 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร มาทำการทดสอบหาอัตราส่วนผสมระหว่างแป้งกลอยและแป้งมันสำปะหลัง 11 อัตราส่วน (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100) ขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยวิธีการทางความร้อน (Thermal Gelatinization) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส คนต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำสารละลายไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง จากการสังเกต การแตกหัก ปริมาณฟองอากาศ ด้วยตาเปล่า และความอ่อนตัวของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากการสัมผัส ผลการศึกษาพบว่า ในอัตราส่วนระหว่างแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ไม่มีฟองอากาศ การอ่อนตัวของแผ่นฟิล์มจะลดลงตามปริมาณแป้งกลอยที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้น พบว่า แผ่นฟิล์มที่ได้จะมีปริมาณฟองอากาศมากขึ้นโดยสูงสุดที่อัตราส่วน 0:100 แสดงรายละเอียดใน **ตารางที่ 4.2.1-1** และ**ภาพที่ 4.2.1-1**

ภาพที่ 4.2.1-1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.2.1-1 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย: แป้งมันสำปะหลัง	ลักษณะทางกายภาพ			
	แผ่นแตก	ฟองอากาศ	แผ่นเรียบ	การอ่อนตัว
100:0	×	ไม่มี	√	ปานกลาง
90:10	×	ไม่มี	√	ปานกลาง
80:20	×	ไม่มี	√	ปานกลาง
70:30	×	ไม่มี	√	ปานกลาง
60:40	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
50:50	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
40:60	×	เล็กน้อย	√	มาก
30:70	×	เล็กน้อย	√	ปานกลาง
20:80	×	ปานกลาง	√	ปานกลาง
10:90	×	มาก	√	ปานกลาง
0:100	×	มาก	√	ปานกลาง

หมายเหตุ

ฟองอากาศ: เล็กน้อย คือ ใน 1 ตารางเซนติเมตร มี 1-9 ฟอง, ปานกลาง คือ ใน 1 ตารางเซนติเมตร มี 10-15 ฟอง และมาก คือ ใน 1 ตารางเซนติเมตร มี 15 ฟองขึ้นไป

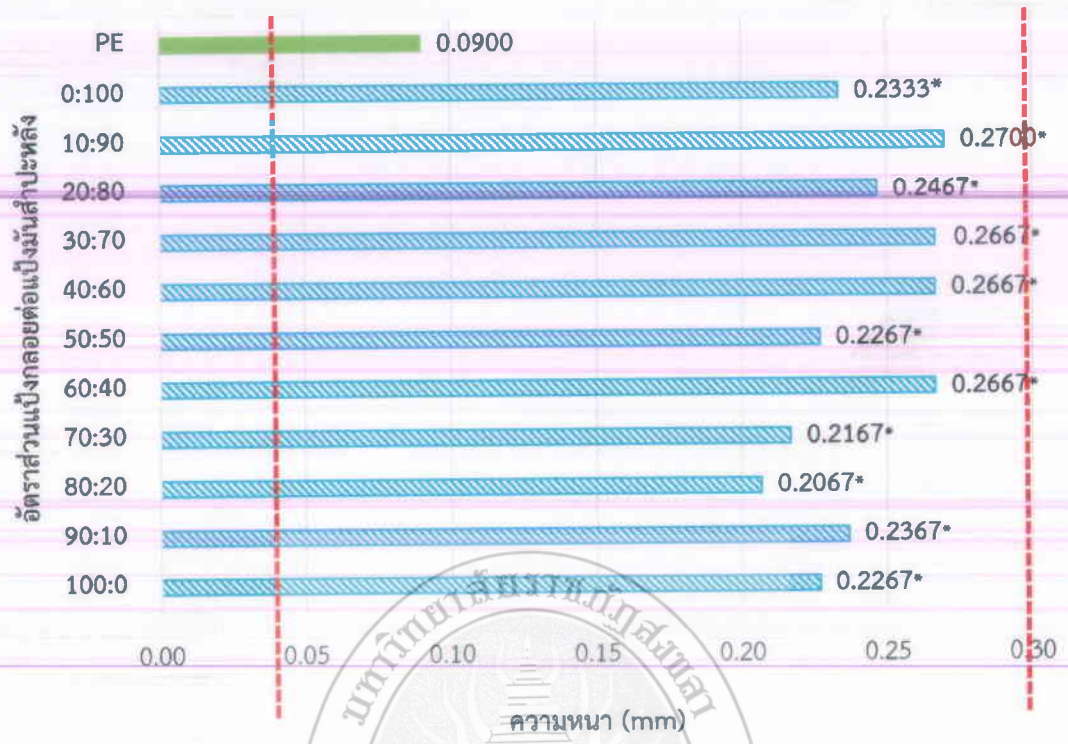
การอ่อนตัว: เล็กน้อย คือ แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็งเปราะ, ปานกลาง คือ แผ่นฟิล์มมีลักษณะแข็งมีการยืดตัวเล็กน้อย และมาก คือ แผ่นฟิล์มมีลักษณะอ่อนตัวมีการยืดตัวอย่างเห็นได้ชัด

4.2.2 ผลการทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

การทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอนผสมแป้งมันสำปะหลัง ในการวิจัยนี้ได้ทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง ทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความหนาของแผ่นฟิล์ม ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ค่าการต้านทานต่อแรงดึง แรงดึงสูงสุด มอดุลัสยืดหยุ่น และเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE สำหรับผลการศึกษามีรายละเอียดดังนั้น

1) ความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

สำหรับการทดสอบความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่อง ไมโครมิเตอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D638 ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน 10:90 มีค่าความหนาสูงสุดเท่ากับ 0.2700±0.01 mm และที่อัตราส่วน 80:20 มีค่าความหนาต่ำสุดเท่ากับ 0.2067±0.0058 mm โดยทุกอัตราส่วนมีค่าความหนาต่างกันเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาของแผ่นฟิล์มกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE พบว่าทุกอัตราส่วนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) โดยความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังทุกอัตราส่วนเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ซึ่งระบุไว้ในช่วง 0.05–0.30 มิลลิเมตร และค่าความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ (2558) ที่ศึกษาการเตรียมและสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ ทำการศึกษาโดยใช้แป้ง 5 กรัม กลีเซอรีน 5 อัตราส่วน (ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 50) และสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อยางธรรมชาติ คือ 100/0, 90/10, 80/20 และ 70/30 มีความหนาเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร ดังแสดงใน**ภาพที่ 4.2.2-1**



หมายเหตุ

- - - หมายถึง ค่ามาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

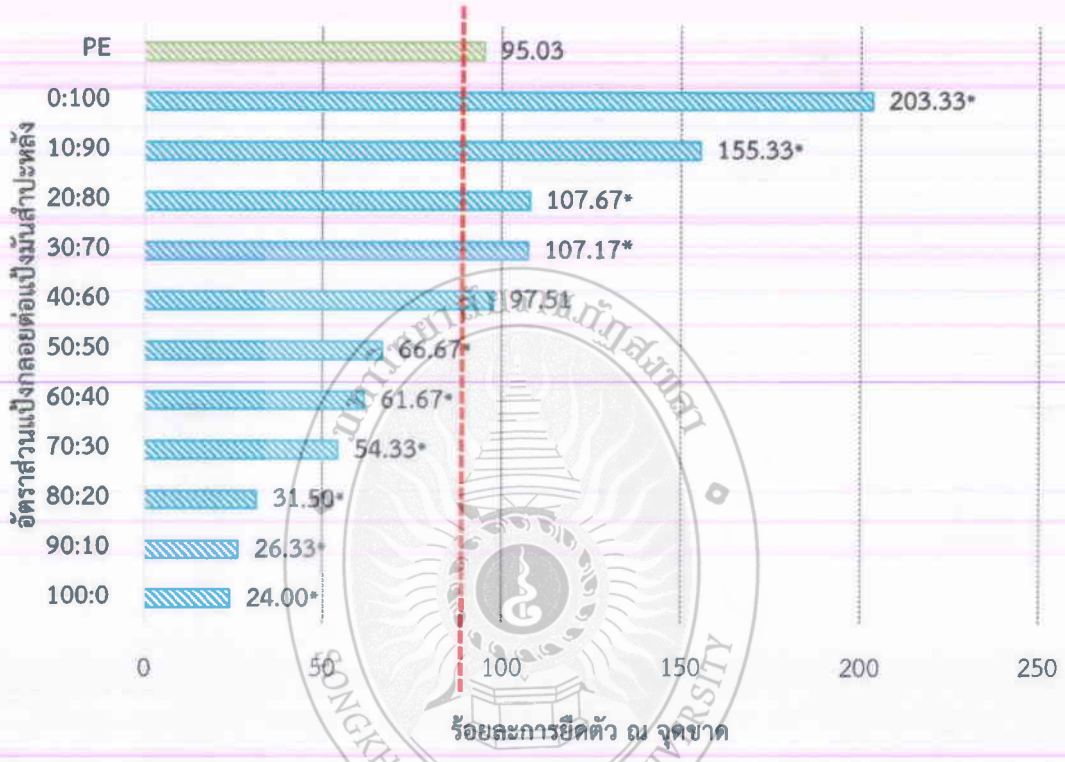
* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

ภาพที่ 4.2.2-1 ความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

2) ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับการทดสอบค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Maching รุ่น NRI-TS500-30B ใช้ Load cell ที่ 1 kN ความเร็ว 50 mm min^{-1} ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยเปรียบเทียบกับค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน 0:100 มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุดเท่ากับ 203.33±0.0001 และที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดต่ำสุดเท่ากับ 24.00±0.14799 โดยร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดแสดงให้เห็นถึงลักษณะการยืดตัวของแผ่นฟิล์มซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการต้านทานแรงดึง และค่าความเครียดอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE พบว่าทุกอัตราส่วนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ยกเว้นอัตราส่วน 40:60 โดยค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ซึ่งระบุไว้ในช่วง 90 – 800 รายละเอียดดังภาพที่ 4.2.2-2



หมายเหตุ

– – – หมายถึง ค่ามาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

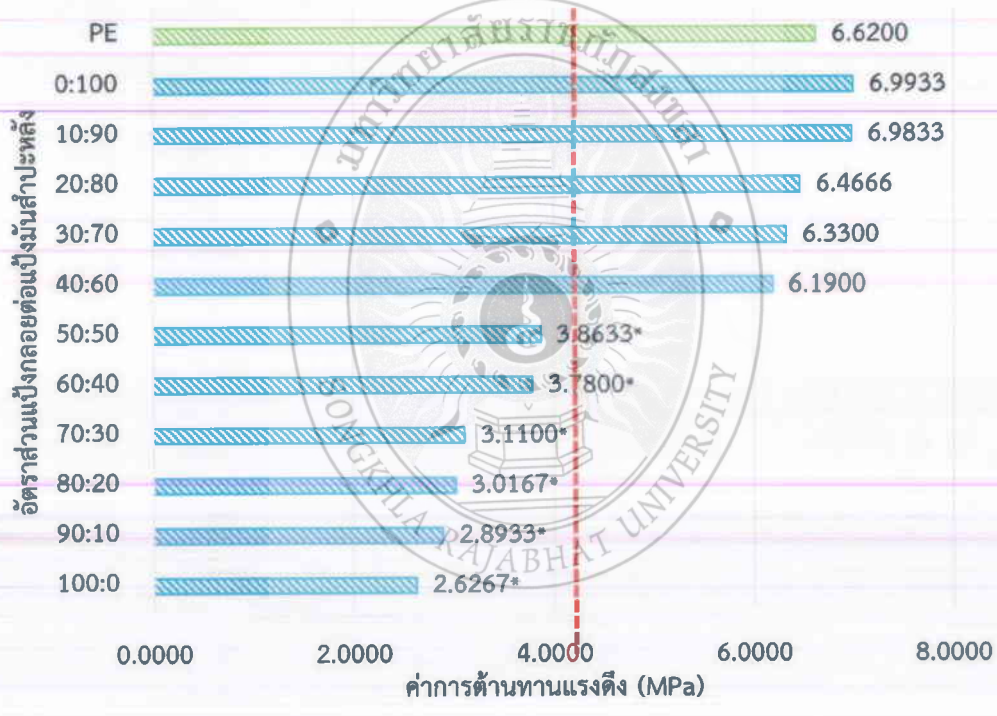
* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

ภาพที่ 4.2.2-2 ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

3) การต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับการทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Maching รุ่น NRI-TS500-30B ใช้ Load cell ที่ 1 kN ความเร็ว 50 mm min^{-1} ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยเปรียบเทียบกับค่าการต้านทานแรงดึงของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ผลการศึกษาพบว่า 0:100 มีค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 6.9933±0.0010 MPa และที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าการต้านทานแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ

2.6267±0.4257 MPa โดยค่าการต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ค่าการต้านทานแรงดึงแสดงให้เห็นถึงลักษณะการยืดตัวของแผ่นฟิล์มซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความเครียดอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE พบว่าทุกอัตราส่วนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ยกเว้นอัตราส่วน 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 โดยการต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ซึ่งระบุไว้ในช่วง 4.1–16 MPa รายละเอียด **ดังภาพที่ 4.2.2-3**



หมายเหตุ

– – – หมายถึง ค่ามาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

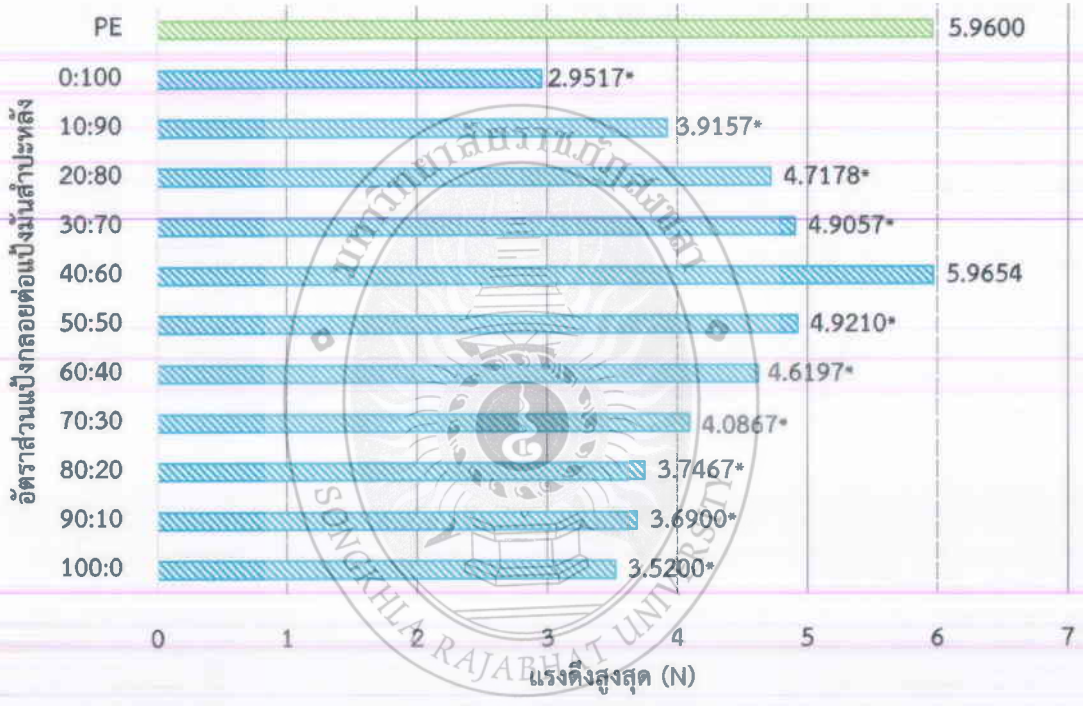
* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

ภาพที่ 4.2.2-3 การต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

4) แรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์ม

สำหรับการทดสอบค่าแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Maching รุ่น NRI-TS500-30B ใช้ Load cell ที่ 1 kN

ความเร็ว 50 mm min $^{-1}$ ตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงสูงสุดของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ผลการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วน 40:60 มีค่าแรงดึงสูงสุดสูงสุดเท่ากับ 5.9654±0.0001 N และที่อัตราส่วน 0:100 มีค่าแรงดึงสูงสุดต่ำสุดเท่ากับ 2.9517± 0.001 N ค่าแรงดึงสูงสุดแสดงให้เห็นถึงลักษณะของแรงที่ใช้ในการดึงแผ่นฟิล์มก่อนถึงจุดขาด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความเค้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE พบว่าทุกอัตราส่วนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ยกเว้นอัตราส่วน 40:60 รายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.2.2-4**



หมายเหตุ

– – – หมายถึง ค่ามาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

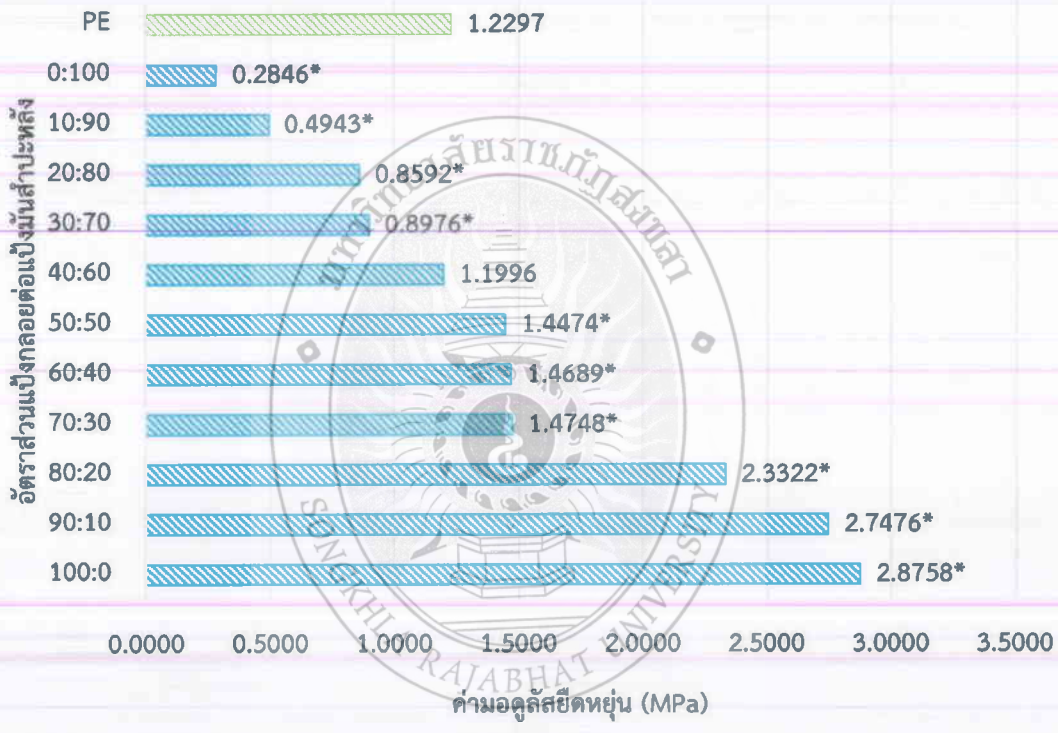
* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

ภาพที่ 4.2.2-4 แรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

5) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับการทดสอบค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Maching รุ่น NRI-TS500-30B ใช้ Load cell ที่ 1 kN ความเร็ว 50 mm min $^{-1}$ ตามมาตรฐาน ASTM D-638 โดยเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ผลการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วน 0:100

มีค่าแรงดึงสูงสุดสูงสุดเท่ากับ 2.7858±0.0013 MPa และที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าแรงดึงสูงสุดต่ำสุดเท่ากับ 0.2846±0.3083 MPa โดยค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นแสดงให้เห็นถึงลักษณะของแรงที่ใช้ในการยืดแผ่นฟิล์มต่อระยะในการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความเครียดและค่าความเค้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE พบว่าทุกอัตราส่วนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ยกเว้นอัตราส่วน 40:60 รายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.2.2-5**



หมายเหตุ

– – – หมายถึง ค่ามาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE

ภาพที่ 4.2.2-5 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ผลกาศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง พบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ใช้ปริมาณแป้ง 6 กรัม และกลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 40:60 แผ่นฟิล์มที่ได้มีการอ่อนตัวมาก ในอัตราส่วน 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 แผ่นฟิล์มที่ได้มีการอ่อนตัวปานกลาง มีฟองอากาศเล็กน้อยและมากตามลำดับ และมีค่าความหนา ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าการต้านทานแรงดึง อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ซึ่งค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุดแสดงให้เห็นถึงความเหนียวและการยืดออกได้ของวัสดุฟิล์ม แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของการอ่อนตัวของแผ่นฟิล์ม พบว่าในอัตราส่วน 40:60 มีการอ่อนตัวมากสุด เนื่องจากการอ่อนตัวน้อยมีผลทำให้แผ่นฟิล์มเกิดการเปราะและแตกหัก และเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลีเอทิลีน (PE) พบว่ามีอัตราส่วน 40:60 มีผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (97.50±0.001) ค่าการต้านทานแรงดึง (6.1900±0.0001 MPa) และแรงดึงสูงสุด (5.9654±0.0001 N) ที่ใกล้เคียงกับพลาสติกพอลิเอทลีน (PE) ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (95.03±0.1850) ค่าการต้านทานแรงดึง (6.6200±0.0001 MPa) และแรงดึงสูงสุด (5.9600±0.0006 N) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 40:60 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ รายละเอียดแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ง**

4.2.3 ร้อยละความชื้น และการดูดซับน้ำ

สำหรับการทดสอบความชื้นของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง เปรียบเทียบร้อยละโดยน้ำหนักที่หายไป ชิ้นตัวอย่างขนาด 2×2 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ส่วนร้อยละการดูดซับน้ำ จะใช้ชิ้นทดสอบขนาดเท่ากัน ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการแช่น้ำ ทุกๆ 1 นาที จนตัวอย่างเกิดการฉีกขาด ผลการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าร้อยละความชื้นสูงสุดแต่ค่าร้อยละการดูดซับน้ำต่ำสุดเท่ากับ 21.16 และ 6.77 ที่อัตราส่วน 0:100 มีค่าร้อยละความชื้นต่ำสุดแต่ค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงสุดเท่ากับ 6.77 และ 50.69 โดยค่าร้อยละความชื้นของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นซึ่งสวนทางกับค่าการดูดซับน้ำ และแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังมีการดูดซับน้ำสูงจะฉีกขาดได้ง่าย รายละเอียดแสดงไว้ใน**ตารางที่ 4.2.3-1**

ตารางที่ 4.2.3-1 ผลการทดสอบร้อยละความชื้นและการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ความชื้น (%)	การดูดซับน้ำ (%)
100:0	21.16	50.69
90:10	20.64	51.17
80:20	19.91	53.11
70:30	18.33	62.05
60:40	16.57	62.05
50:50	16.42	62.34
40:60	15.66	63.65
30:70	12.42	63.77
20:80	11.24	68.03
10:90	8.19	77.65
0:100	6.77	79.78

4.3 ผลการศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับผลการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการหาร้อยละของน้ำหนักแผ่นฟิล์มที่หายไปโดยการตัดแผ่นฟิล์มเป็นแผ่นขนาด 2×4 เซนติเมตร นำแผ่นฟิล์มไปอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนัก นำไปฝังดิน นำมาชั่งหาน้ำหนักที่หายไปทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 49 วันเพื่อศึกษาการย่อยสลาย คือ หาน้ำหนักที่หายไป มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

1) ลักษณะการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 1

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังระหว่างการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 1 จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มเริ่มมีการพองตัวและมีการแตกหักของชิ้นส่วนโดยเฉพาะที่อัตราส่วนของแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังที่ 0:100 แสดงในภาพที่ 4.3.1-1 (ฎ)

ภาพที่ 4.3.1-1 ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

2) ลักษณะการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 2

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังระหว่างการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 2 จะเห็นลักษณะของแผ่นฟิล์มที่มีการแตกหักเพิ่มขึ้นแยกเป็นชิ้นส่วนอย่างชัดเจน และมีชิ้นเล็กลงกว่าสัปดาห์ที่ 1 แสดงรายละเอียดดัง **ภาพที่ 4.3.1-2**

ภาพที่ 4.3.1-2 ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 2

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

3) ลักษณะการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 3

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังระหว่างการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 3 จะเห็นลักษณะของแผ่นฟิล์มที่มีการแตกหักเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินมีการแทรกซึมเข้าไปทำลายโครงสร้างของแผ่นฟิล์มแล้วทำให้ชิ้นทดสอบมีขนาดเล็กลงกว่าสัปดาห์ที่ 2 แสดงรายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.3.1-3**

(จ) อัตราส่วน 100:0 (ฉ) อัตราส่วน 90:10 (ค) อัตราส่วน 80:20 (ง) อัตราส่วน 70:30

(จ) อัตราส่วน 60:40 (ฉ) อัตราส่วน 50:50 (ช) อัตราส่วน 40:60 (ซ) อัตราส่วน 30:70

(ฌ) อัตราส่วน 20:80 (ญ) อัตราส่วน 10:90 (ฎ) อัตราส่วน 0:100

ภาพที่ 4.3.1-3 ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 3

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4) ลักษณะการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 4

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังระหว่างการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 4 จะเห็นลักษณะของแผ่นฟิล์มที่มีการแตกหักเยอะขึ้น แผ่นฟิล์มจะเป็นชิ้นส่วนที่ละเอียด อาจเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินมีการแทรกซึมเข้าไปทำลายโครงสร้างของแผ่นฟิล์ม โดยเฉพาะอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 0:100 มีลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบสูงสุด โดยจะมีลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบจะลดลงตามปริมาณของแป้งกลอยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่วนอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 100:0 มีการแตกหักของชิ้นทดสอบน้อยสุด แสดงให้เห็นว่าแป้งกลอยมีสภาพคงทนต่อการย่อยสลายมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง รายละเอียดดัง**ภาพที่ 4.3.1-4**

(ข) อัตราส่วน 100:0 (ค) อัตราส่วน 90:10 (ค) อัตราส่วน 80:20 (ง) อัตราส่วน 70:30

(จ) อัตราส่วน 60:40 (ฉ) อัตราส่วน 50:50 (ช) อัตราส่วน 40:60 (ซ) อัตราส่วน 30:70

(ฌ) อัตราส่วน 20:80 (ญ) อัตราส่วน 10:90 (ฎ) อัตราส่วน 0:100

ภาพที่ 4.3.1-4 ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 4

5) ลักษณะการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 5

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังระหว่างการย่อยสลายในสัปดาห์ที่ 5 จะเห็นลักษณะของแผ่นฟิล์มที่การย่อยสลายเป็นเนื้อเดียวกับดิน เนื่องจากการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยเฉพาะอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 0:100 มีชิ้นทดสอบเหลือน้อยมากจนแทบจะเป็นเนื้อเดียวกับผ้าขาวบางที่ห่อ ส่วนอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง100:0 มีการแตกหักออกเป็นชิ้นเล็กมากกว่าสัปดาห์ที่ 4 แต่ยังมีชิ้นทดสอบเหลือเยาะที่สุด รายละเอียดดังภาพที่ 4.3.1-5

(ฌ) อัตราส่วน (ญ) อัตราส่วน (ค) อัตราส่วน 80:20 (ง) อัตราส่วน 70:30

(จ) อัตราส่วน 60:40 (ฉ) อัตราส่วน 50:50 (ช) อัตราส่วน 40:60 (ซ) อัตราส่วน 30:70

(ฌ) อัตราส่วน 20:80 (ญ) อัตราส่วน 10:90 (ฎ) อัตราส่วน 0:100

ภาพที่ 4.3.1-5 ลักษณะการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังในสัปดาห์ที่ 5

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.3.2 ร้อยละการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

สำหรับผลการศึกษาร้อยละการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยพิจารณาจากน้ำหนักที่หายไปของแผ่นฟิล์มเป็นเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์ โดยทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:100 มีร้อยละการย่อยสลายสูงสุดร้องลงมาเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีโครงสร้างที่จัดตัวไม่เป็นระเบียบมากว่าแป้งกลอยจุลิทรีย์จึงเข้าไปทำลายโครงสร้างได้ง่าย (ชนกชนม์ แสงจันทร์ และดวงฤทัย เขมะไชเวช, 2559) ดังแสดงรายละเอียดไว้ใน**ตารางที่4.3.2-1**

ตารางที่ 4.3.2-1 ผลการทดสอบร้อยละการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม

อัตราส่วน	สัปดาห์ที่1 (กรัม)	สัปดาห์ที่2 (กรัม)	สัปดาห์ที่3 (กรัม)	สัปดาห์ที่4 (กรัม)	สัปดาห์ที่5 (กรัม)
0:100	27.20	42.16	58.23	59.77	59.87
10:90	27.73	42.31	59.70	60.03	62.52
20:80	30.37	43.17	63.93	64.02	66.83
30:70	34.74	44.47	65.41	70.95	74.11
40:60	36.51	46.10	68.20	71.49	75.33
50:50	38.62	46.43	71.55	72.32	77.05
60:40	39.30	48.15	72.69	74.86	78.21
70:30	44.62	52.09	76.88	77.55	78.80
80:20	48.17	56.50	79.97	82.55	85.35
90:10	57.33	67.28	83.14	85.20	86.80
100:0	59.68	68.24	83.28	88.59	89.62

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ผลการทดสอบการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพแป้งมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาพบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพแป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังสูง 10 และ 12 กรัม แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะแตกและเปราะง่าย ส่วนแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ผสมแป้งมันสะหลังปริมาณ 5, 6 และ 8 กรัม จะขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ และยิ่งมีปริมาณกลีเซอรีนสูงจะยิ่งมีความอ่อนตัว เมื่อมาพิจารณาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วนที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 5 และ 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 220.67 และ 203.25 ตามลำดับ ซึ่งค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดแสดงให้เห็นถึงความเหนียวและการยืดออกได้ของวัสดุฟิล์ม และเมื่อพิจารณาในส่วนของค่าการต้านทานแรงดึง พบว่าสูตรที่มีปริมาณแป้ง 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร จะมีค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุด (5.1833 MPa) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สูตรที่มีปริมาณแป้ง 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร เป็นสูตรที่นำมาพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

5.1.2 ผลการศึกษาการพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง 15 อัตราส่วน (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100) พบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 40:60 มีการอ่อนตัวมากที่สุด ไม่เปราะหรือฉีดขาด และฟองอากาศน้อย มีสมบัติเชิงกลในด้านค่าความหนา ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าการต้านทานแรงดึง มีค่าเท่ากับ 0.2667±0.0231 mm, 97.50±0.001 และ 6.1900±0.0001 MPa ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE สำหรับอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 50:50, 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ไม่ผ่านมาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ในด้านค่าความหนา ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าการต้านทานแรงดึง และที่อัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 0:100, 10:90, 20:80 และ 30:70 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D638 ของพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ซึ่งมีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่าพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

แต่ที่อัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 0:100, 10:90 และ 20:80 มีฟองอากาศในปริมาณปานกลางถึงมาก และที่อัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 30:70 มีการอ่อนตัวที่ต่ำกว่าอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 40:60 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 40:60 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดและมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ จากสมบัติดังกล่าวแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 40:60 สามารถใช้งานแบบพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE แต่ควรมีการศึกษาเพื่อทดสอบการนำไปใช้ประโยชน์จริงเพิ่มเติม หรือนำมาทำถุงเพาะชำทดแทนถุงเพาะชำที่ย่อยสลายได้

5.1.3 ผลการศึกษาร้อยละการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมัน

การศึกษาอัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังจำนวน 15 อัตราส่วน โดยการฝังดินเป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าที่อัตราส่วนแป้งกลอยต่อแป้งมันสำปะหลัง 0:100 มีลักษณะทางกายภาพของการย่อยสลายเกิดขึ้นโดยสัปดาห์ 1 ชิ้นทดสอบทุกสูตรเริ่มมีการแตกหักเป็นชิ้นเล็กๆ แต่ยังคงสภาพอยู่ เมื่อครบ 5 สัปดาห์ชิ้นทดสอบเหลือน้อยมากจนแทบเป็นเนื้อเดียวกันกับผ้าขาวบาง (การย่อยสลายสมบูรณ์) โดยลักษณะการแตกหักของชิ้นทดสอบจะลดลงตามปริมาณแป้งกลอยที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าร้อยละการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง (พิจารณาจากร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของแผ่นฟิล์ม) ที่อัตราส่วนแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง 0:100 สัปดาห์ที่ 5 มีร้อยละการสลายตัวสูงสุดเท่ากับ 89.62 และต่ำสุดที่อัตราส่วนแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง 100:0 มีค่าร้อยละการสลายตัวเท่ากับ 59.87 และที่อัตราส่วนแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง 40:60 ค่าร้อยละการสลายปานกลางตัวเท่ากับ 75.33

5.2 ข้อเสนอแนะ

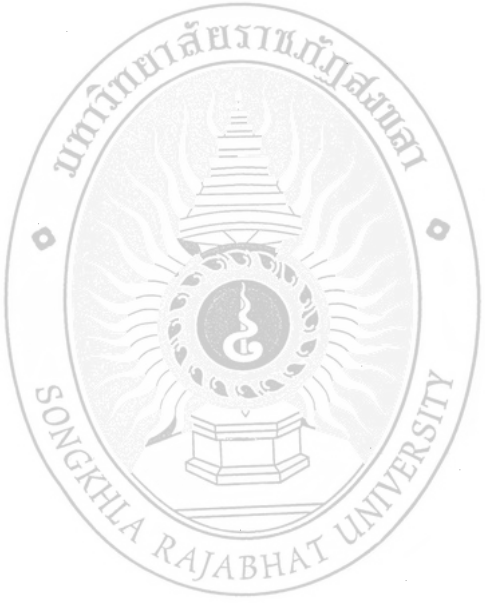
สำหรับข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไปมีรายละเอียด ดังนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นโดยเติมสารลดแรงตึงผิวหรือใช้ยางธรรมชาติผสม

5.2.2 ควรศึกษาเพื่อนำแผ่นฟิล์มชีวภาพไปทดลองใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งาน อาทิ เช่น การผลิตเป็นถุงเพาะชำ

5.2.3 ควรมีการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพในสภาวะควบคุม เช่น อุณหภูมิ แสงแดด และปริมาณน้ำ เป็นต้น

5.2.4 ควรศึกษาพืชชนิดอื่นที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ



บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2561). **รายงานสถานการณมลพิษของประเทศไทยป 2560** (Online). http://www.pcd.go.th/file/02-03-60.pdf, 15 ตุลาคม 2561.

กรมป่าไม้. (2550). **การขจัดสารเบื่อเมาออกจากหัวกลอย**. สำนักงานกรมป่าไม้ (Online). www.forest.go.th/pachumchon/index.php?option=com, 15 เมษายน 2560.

กรมวิชาการเกษตร. (2547). **มันสำปะหลัง**. เอกสารวิชาการ. โรงพิมพ์โอเดียลสแควร์. กรุงเทพฯ: 20(4) 124.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2561). **คู่มือธนาคารขยะรีไซเคิล.** (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. (2549). **การพัฒนาการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงการย่อยแป้งดิบด้วยเอนไซม์** (Online). https://mgronline.com, 15 เมษายน 2560.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกศริน มณีนูน และ พวงเพ็ญ ศิริรักษ์. (2551). **กลอย (Dioscorea) พืชอาหารหลักของชนเผ่าซาไก** (Online). https://www.nstda.or.th/th/nstda-knowledge/2085-dioscorea, 10 พฤศจิกายน 2561.

แก้วตา แก้วตาทิพย์. (2556). พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี. **วารสารวิทยาศาสตร์ มข**, 41(2), 309-319.

จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร. (2557). **การประยุกต์ใช้มันเลือด (Dioscoreaalata) เพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.** ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ชนกชนม์ แสงจัน และดวงฤทัย เขมะไชเวช. (2559). **การเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

พรฤดี สงวนสุข. (2552). **การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้.** ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชาภัค สมยูรทรัพย์. (2553). พลาสติกชีวภาพ:นวัตกรรมของผลิตภัณฑ์สีเขียว. **วารสารวิทยาศาสตร์** มศว, 26(2) หน้า 177-195.

บรรณานุกรม (ต่อ)

พิสิฐ น้อยวังคลัง (2553) **ประเภทของพลาสติก** (Online). www.green-bioplastic.blogspot.com/2010/03/bioplastic.htm, 16 ตุลาคม 2561.

ภิเษก รุ่งโรจน์ชยพร. (2557). **กลีเซอรอล:การใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน**. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 23(2).

วชิระ ยมาภัย, ปราณี ชาวกล้า และนัฐกานต์ ไตรอุโฆษ. (2555). **กระบวนการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ** (Online). https://enchemcom1po.wordpress.com, 1 มกราคม 2561.

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2556). **การสังเคราะห์วัสดุผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและแคลเซียม ฟอสเฟตโมโนไฮเดรต**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต: มหาวิยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สันทณีย์ ปัญจอานนท์, วิทวัส จิรนันทกูล และดุษฎี อุตภาพ. (2557). สมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างโมเลกุลของแป้งกลอย (Dioscoreahispida Dennst.) และแป้งมันมือเสือ (Dioscoreaesculenta (Lour.) Burkill). **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ**, 37(2), 185-198.

สุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ์. (2559). **การเตรียมและสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ.** ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

สุพรรษา ขำพวง และปรีชา วันเพ็ญเกษตร. (2545). **การผลิตแป้งกลอย**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

สำนักงบประมาณของรัฐสภา. (2560). **รายงายวิเคราะห์ของสำนักงบประมาณของรัฐสภา**. สำนักงบประมาณของรัฐสภา.

สำนักงานสิ่งแวดล้อม. (2551), **ถุงพลาสติกกับภาวะโลกร้อน** (Online). http://reo06.mnre.go.th/home/index.php?option=com, 1 พฤษภาคม 2560.

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). **มันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์** (Online). http://siweb.dss.go.th/repack/repack_list.asp, 1 มกราคม 2561.

Sani, A. and Soykeabkaew, N. (2015). **Aerobic biodegradation of bio-composite in soil**. M.E. Thesis, Mae Fah Luang University.

ภาคผนวก ก

โครงร่างวิจัย

โครงการวิจัยเฉพาะทางสิ่งแวดล้อม

1. ชื่อโครงการ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการแผ่นฟิล์มผลิตชีวภาพจากหัวกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

2. สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

3. ชื่อผู้วิจัย

นางสาวราตรี ใบโส๊ะ รหัส 574232022
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
นางสาวสุริยะ เมาน้ำพราย รหัส 574232035
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

4. คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

5. ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ถุงพลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวางและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้น เนื่องจากสะดวกกับการใช้งาน หาได้ง่าย และราคาถูก จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษพบว่า มีการใช้งานถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งประมาณ 281,683 ใบต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยจากถุงพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล รัฐจำเป็นต้องสูญเสียรายได้จากถุงพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งรัฐมีการจัดสรรงบประมาณในการจัดการขยะมูลฝอยประมาณ 4,161.07 ล้านบาท (สำนักงบประมาณของรัฐสภา, 2560) ถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งเป็นพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (polyethylene: PE) และพอลิโพรพิลีน (polypropylene; PP)

มีระยะในการย่อยสลายนานถึง 450 ปี (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2561) นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตพลาสติกยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ และทางอากาศ แม้แต่กระบวนการย่อยสลายยังอาจมีการปนเปื้อนของสารประกอบที่ไม่ย่อยสลาย และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่สิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาพลาสติกด้วยวัตถุดิบจากธรรมชาติ เช่น แป้ง (starch) โปรตีนจากถั่ว (soy protein) และโปรตีนพืช (plant protenin) เพื่อผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ เนื่องจากในพืชเหล่านี้มีองค์ประกอบของอะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เส้นตรง และอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบกิ่งก้านสาขา เมื่อให้ความร้อนทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่าการเกิดเจลาติไนเซชัน และเมื่อสารละลายแป้งสุกมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลงโมเลกุลของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันเคลื่อนที่เข้าหากัน และจับตัวกัน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลใหม่ที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ (จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร, 2557) และเมื่อแป้งเหล่านี้ถูกทับถมในดินจะเกิดการทำงานร่วมกันของปัจจัยภายนอกที่ทำให้แผ่นฟิล์มชีวภาพแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ จุลินทรีย์ในดินจะปล่อยเอนไซน์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายพอลิเมอร์ของแผ่นฟิล์มชีวภาพ (depolymer starch) จนกลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง และเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ในที่สุด(ชนกชนม์ แสงจันและดวงฤทัย เขมะไชเวช, 2559) จากการศึกษาของสุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ์ (2558) ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำยางธรรมชาติอยู่ที่ กลีเซอรีนร้อยละ 20 และอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อน้ำยางธรรมชาติ 90/10 ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 15.08 MPa ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 7.00 และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 3.35 MPa จากการศึกษาของ

จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557) พบว่าแผ่นฟิล์มจากแป้งมันเลือดที่ปริมาณแป้ง 3.30 กรัม กลีเซอรีนร้อยละ 1.65 และสารลดแรงตึงผิวที่ร้อยละ 1 แผ่นฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติที่ทนทาน แข็งแรง และมีความยืดหยุ่นที่ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งจากข้อมูลงานวิจัยข้างต้นจะพบว่าแป้งที่นำมาใช้ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพจะมีปริมาณอะไมโลสสูง โดยแป้งมันสำปะหลังและมันเลือดมีอะไมโลสร้อยละ 23.5 และ 18.98 ตามลำดับ สำหรับหัวกลอย เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Dioscoreae มีหัวอยู่ใต้ดินเช่นเดียวกับหัวมัน สามารถนำมาผลิตเป็นแป้งได้โดยแป้งที่ผลิตจากหัวกลอยมีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 2.39 ไขมันร้อยละ 0.11 เถ้าร้อยละ 0.18 ฟอสฟอรัส 52.10 ppm อะไมโลสร้อยละ 19.7 (สันทณีย์ ปัญจอานนท์ วิทวัส จิรนันทกูล และดุษฎี อุตภาพ, 2557) แป้งมันสำปะหลัง มีโปรตีนร้อยละ 0.3 เถ้าร้อยละ 0.15 เยื่อใยร้อยละ 2.2 อะไมโลสร้อยละ 23.5 (พรจิตรา จันทร์เจริญ, 2557) ซึ่งสูงกว่ามันเลือดจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทดสอบขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จากงานวิจัยของชนกชนม์ แสงจันทร์ และดวงฤทัย เขมะไชเวช (2559) ซึ่งศึกษาการเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู พบว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการย่อยสลายได้เร็วกว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคู

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้แป้งจากหัวกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ โดยวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังโดยและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D638 และเพื่อศึกษาสภาวะในการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งพลาสติกที่ได้อาจมีประโยชน์นำไปสู่การพัฒนาเป็นพลาสติกชีวภาพทดแทนพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) ได้ในอนาคต

6. วัตถุประสงค์

6.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

6.2 เพื่อศึกษาการย่อยสลายแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

7. ตัวแปร

ตัวแปรต้น : อัตราส่วนของแป้งกลอยและแป้งมันสำปะหลัง

ตัวแปรตาม : สมบัติของแผ่นฟิล์มและอัตราการการย่อยสลาย

ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิ และเวลาในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

8. สมมติฐาน

แป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพได้

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 แผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

9.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาการใช้วัสดุจากธรรมชาติสร้างผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

9.3 สามารถนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นนำมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรในภาคเกษตรกรรม

10. ขอบเขตกรวิจัย

10.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

แป้งที่ผลิตจากหัวกลอย และแป้งมันสำปะหลัง ตรานิวเกรด

10.2 พื้นที่ศึกษา

1) พื้นที่เก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างกลอยอายุประมาณ 1 ปี โดยสังเกตลักษณะของต้นที่แห้งตาย หัวของกลอยโผล่พ้นดิน ในพื้นที่ชุมชนหมู่ที่ 6 บ้านวังเลน ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง

2) พื้นที่ทำการทดลอง

- ทำการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ ทดสอบการดูดซับน้ำ ความชื้น และการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ณ ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทาลัยราชภัฏสงขลา

- ทดสอบสมบัติเชิงกล ณ ห้องปฏิบัติการยางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทาลัยราชภัฏสงขลา

11. นิยามศัพท์เฉพาะ

11.1 กลอย หมายถึง พืชที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ Dioscorea hispida อยู่ในสกุล Dioscorea L. วงศ์ Dioscoreaceae มีลักษณะเป็นพืชใบเลี้ยงเดียว ลำต้นมีหนามแหลม เป็นไม้เถาล้มลุก มีหัวอยู่ใต้ดิน และมีใบยาว 3 แฉก มีขอบเขตการกระจายกว้างทั้งในบริเวณเขตร้อน และเขตกึ่งร้อน (สันทณีย์ ปัญจอานนท์ วิทวัส จิรนันทกูล และดุษฎี อุตภาพ, 2557)

11.2 แป้งมันสำปะหลัง หมายถึง ลักษณะของแป้งสีขาว เนื้อละเอียด ลื่นเป็นมัน เหมาะแก่การผลิตแผ่นฟิล์มหรือพลาสติกชีวภาพได้ ซึ่งมีอะไมโลสถึงร้อยละ 23.5 (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

11.3 แผ่นฟิล์มชีวภาพ (bioplastic film) หมายถึง การนำแป้งจากพืช (ธัญพืช และพืชหัว) มาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยวิธีทางความร้อน (thermal gelatinization) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และใช้กลีเซอรีนเป็นพลาสติไซเซอร์ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

11.4 กลีเซอรีน หมายถึง สารจำพวกพอลิไฮดริกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ เพื่อเพิ่มลักษณะความเป็นพลาสติกให้กับแป้ง (ภิเษก รุ่งโรจน์ชยพร, 2557)

11.5 แผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง หมายถึง การนำแป้งหัวกลอยและมันสำปะหลังมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยวิธีทางความร้อน (thermal gelatinization) ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และใช้กลีเซอรีนเป็นพลาสติกไซเซอร์ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

12. ตรวจสอบเอกสาร

12.1 พลาสติกชีวภาพ และแผ่นฟิล์มชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพ (bioplastic) และแผ่นฟิล์มชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติจำพวกพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อน และสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายจนหมดจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ ซึ่งวัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่น แป้ง โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด (พิชาภัค สมยูรทรัพย์, 2553) สำหรับแผ่นฟิล์มชีวภาพในการศึกษาครั้งนี้ผลิตจากแป้งกลอยและแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนและผสมกลีเซอรีน เมื่อเย็นลงจะเกิดการคืนตัวของแป้งสุกจนได้เป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพลักษณะคล้ายกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE)

12.3 ประเภทของพลาสติกชีวภาพ

การแบ่งประเภทของพลาสติกชีวภาพตามกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) พอลีแลคติคแอซิด (Polylactic Acid: PLA)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต polylactic acid (PLA) คือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เป็นต้น มีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ให้เกิดเป็นแลคติคแอซิด (lactic acid) และนำมาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่าแลคติค (lactide) หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นโพลิเมอร์ของแลคติค (lactide) ที่เป็นสายยาวขึ้น เรียกว่าพอลีแลคติคแอซิด (polylactic acid: PLA) ยังมีคุณสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบ (พิสิฐ น้อยวังคลัง, 2553)

2) พอลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates: PHAs)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต polyhydroxyalkanoates (PHAs) คือแป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ *Eschericia coli* ซึ่งกินน้ำตาลเป็นอาหาร และสามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลภายในตัวจุลินทรีย์เองเป็น PHAs ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยการกะเทาะแยกเปลือกนอกหุ้มจุลินทรีย์ออก คุณสมบัตินี้มีจุดหลอมเหลวกว้าง 50 – 180 องศาเซลเซียส นำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลาย เช่น การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม การฉีดและการเป่า (พิสิฐ น้อยวังคลัง, 2553)

3) โพรเพนไดออล (Propanediol: PDO)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต propanediol (PDO) คือแป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตคล้ายกับการผลิต PLA โดยเริ่มจากการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และทำการใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดชีวภาพ (biocatalyst) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็น PDO ซึ่งสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเส้นใยชีวภาพที่เรียกว่า sorona TM ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี มีความอ่อนนุ่ม แห้งได้เร็ว และสามารถย้อมติดสีได้ดี (พิสิฐ น้อยวังคลัง, 2553)

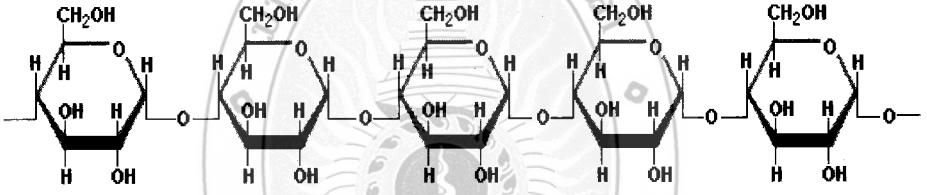
12.4 สมบัติของแป้งที่นำมาผลิตพลาสติกชีวภาพ

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพาสต์ และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ด และหัว แป้งในกระบวนการผลิต หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจน ส่วนใหญ่มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ แป้งที่ผลิตทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มากจะเรียกว่า ฟลาวร์ (flour) เช่น แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่สูงก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เมื่อสิ่งเจือปนจำพวกโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นถูกสกัดออกไป จนเหลือแต่แป้งบริสุทธิ์จะเรียกว่าแป้งสตาร์ช (starch) สำหรับแป้งมันสำปะหลังปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีที่ทันสมัยมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ดัดแปรหรือแปรรูป เรียกว่า แป้งดิบ ส่วนแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้วจะเรียกว่า แป้งดัดแปร (modified starch) แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งจะประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic Linkage)

มีสูตรเคมีทั่วไปคือ ($C_6H_{10}O_5$) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดด้วยกัน คือ อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น และอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งวางตัวอยู่ในแนวรัศมีแสดงระดับโครงสร้างของเม็ดแป้ง องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้งมีดังนี้

1) อะไมโลส (Amylose)

เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด **α**-1, 4 (**α**-1, 4) แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง ซึ่งจะมีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณร้อยละ 28 ส่วนแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่ไม่มีอะไมโลสเลย แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ที่ต่างกัน แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง รายละเอียดดังแสดงใน**ภาพที่ 12.4-1**

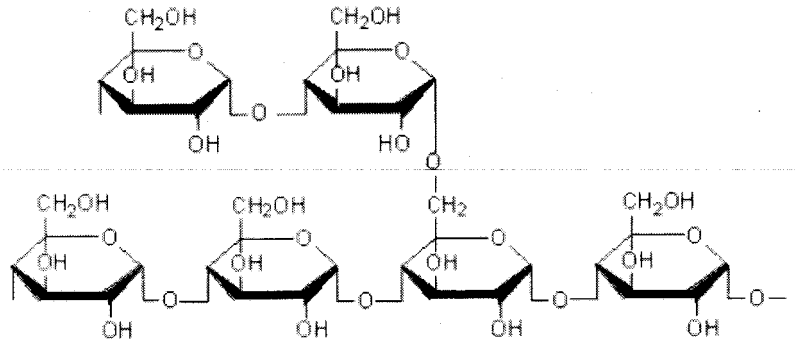


ภาพที่ 12.4-1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส

ที่มา: Vandamme et al. (2002) อ้างถึงใน จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557)

2) อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

พอลิแซคคาร์ไรด์ประเภท homopolysaccaride ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสตาร์ช เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา โดยพันธะไกลโคซิดิกสองแบบ คือ ส่วนที่เป็นเส้นตรงเป็นพันธะชนิด **α**-1,(**α**-1, 4) เหมือนกับอะไมโลส แต่มีส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาเชื่อมต่อด้วยพันธุ **α**-1, 6 (**α**-1, 6) อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสและมีอัตราการคืนตัวต่ำ (การคืนตัวของแป้งสุกนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกมีอุณหภูมิลดต่ำลง เนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่และการนำไปใช้งาน รายละเอียดดัง**ภาพที่ 12.4-2** สำหรับการเปรียบเทียบสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลสเพคตินดังแสดงใน**ตารางที่ 12.4-1**



ภาพที่ 12.4-2 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน

ที่มา: Vandamme et al. (2002) อ้างถึงใน จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557)

ตารางที่ 12.4-1 การเปรียบเทียบสมบัติของอะไมโลส และอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
(1) โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,(α-1, 4)	(1) โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ ชนิด α-1,(α-1, 4) และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะ α-1, 6 (α-1, 6)
(2) มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	(2) มีขนาดสูงกว่าแต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
(3) ละลายน้ำได้น้อยกว่า	(3) ละลายน้ำได้ดีกว่า
(4) ต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อยกว่าเกิดเรทโทรเกรเดชั่นได้ง่าย	(4) ข้นหนืดมากและใสมาก เกิดเรทโทรเกรเดชั่นยาก
(5) ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	(5) ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
(6) ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	(6) ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง
(7) แป้งที่มีอะไมโลสสูง ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า	(7) แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูง ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเหนียว

ที่มา: Beynum and Roels (1985) อ้างถึงใน กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณร้อยละ 22-30 ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วงร้อยละ18-24 น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป

เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลสยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน(retrogradation) ลดลง (จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร, 2557) ปริมาณและสมบัติของอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดแสดงดัง**ตารางที่ 12.4-2**

ตารางที่ 12.4-2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ

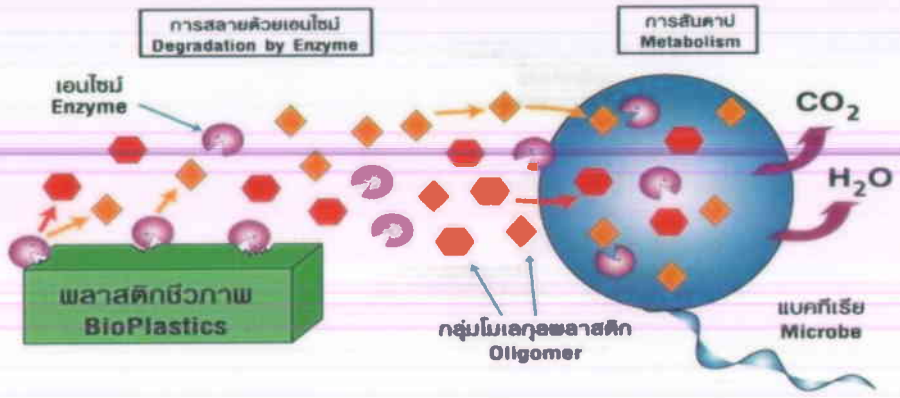
แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง) Apparent	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง) Absolute
ข้าวสาลี [1]	28.8	25.8
ข้าวโพด [1]	29.4	22.5
ข้าวเจ้า [1]	25.0	20.5
มันสำปะหลัง [1]	23.5	17.8
มันมือเสือ [2]	18.98	18.89
กลอย [2]	19.77	19.74

ที่มา [1] Kasemsuwan และคณะ (1995) อ้างถึงใน จริยาภรณ์ มากล้า และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557)

[2] สันทณีย์ ปัญจอานนท์, วิทวัส จิรนันทกูล, และดุษฎี อุตภาพ (2557)

12.5 การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้ง

กลไกการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้ง เริ่มจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ขั้นตอนนี้เรียกว่า การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodeterioration) หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายพอลิเมอร์ของพลาสติกชีวภาพขั้นตอนนี้เรียกว่า กระบวนการทำลายการโพลีเมอร์ไรเซชั่น (depolymerisation) กลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเหล่านี้จะถูกซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ ผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ส่งเข้าสู่กระบวนการสันดาป เพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงานและมวลชีวภาพขั้นตอนนี้เรียกว่าการดูด ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลาย คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) แสดงดัง**ภาพที่ 12.5-1**



ภาพที่ 12.5-1 กลไกการย่อยสลายทางชีวภาพของแป้ง

ที่มา: วชิระ ยมาภัย และคณะ (2555)

12.6 การพัฒนาพลาสติกและแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้ง

จากสมบัติของพลาสติกชีวภาพหรือแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ย่อยสลายได้ง่าย จึงเป็นแนวทางของพลาสติกสมัยใหม่ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาพลาสติกชีวภาพหรือแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งที่มีอยู่ในท้องถิ่น อาทิ เช่น

การศึกษาของจริยาภรณ์ มากล้ำ และภารนิมมิตวดี พร้อมมิตร (2557) ที่ศึกษา การประยุกต์ใช้มันเลือดเพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์มจากมันเลือด และภาวการณ์ย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม อันเนื่องมาจากปริมาณขยะมูลฝอย นับวันจะมีเพิ่มมากขึ้นตามจานวนของประชากร ถ้าหากไม่มีการจัดการขยะมูลฝอยให้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ปัญหาความสกปรกต่างๆ ที่เกิดจากขยะ มูลฝอยอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก และจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จึงได้เกิดการคิดค้นวิธีที่จะช่วยลดปริมาณขยะเหล่านี้ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ได้จากผลิตผลทางการเกษตร แผ่นฟิล์มถูกทดแทนด้วยสตาร์ชจากมันเลือด โดยแปรปริมาณเป็นพลาสติไซเซอร์ กลีเซอรีนสองระดับคือ 1.65 และ 2.00 มิลลิลิตร ปริมาณแป้ง 3.30 กรัม และปริมาณสารลดแรงตึงผิว (span80) ร้อยละ 0.5, 1.00 และ 1.5 เตรียมด้วยวิธี thermal gelatinization แผ่นฟิล์มที่ได้นำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการ พบว่าฟิล์มที่เตรียมโดยมีความเข้มข้นของกลีเซอรีน 1.65 มิลลิลิตร แป้ง 3.30 กรัม สารลดแรงตึงผิวที่ร้อยละ 1 มีค่าเฉลี่ยความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 28 มีแรงดึง 0.16 นิวตัน และแรงกด 0.95 นิวตันต่อมิลลิเมตร ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีคุณสมบัติดีที่สุดและถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ซึ่งพบว่าความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของฟิล์มที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแผ่นฟิล์มจะขึ้นอยู่กับระดับกลีซอรีนที่เพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาของชนกชนม์ แสงจันทร์ และดวงฤทัย เขมะไชเวช (2559) ที่ศึกษาการเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลายและศึกษาหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มพลาสติกชีวภาพ ซึ่งจะเตรียมพลาสติกชีวภาพในรูปแผ่นฟิล์มโดยใช้เทคนิคสารละลาย การย่อยสลายทางชีวภาพจึงถูกพิจารณาในการกำหนดระดับการย่อยสลายและอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนต่อการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมด้วยปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ภายใต้สภาพห้องปฏิบัติการดัดแปลงมาจาก ASTM D5538-98 จากการศึกษาพบว่าแป้งมันสำปะหลังมีระยะเวลาในการย่อยสลายตัวได้น้อยและมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าแป้งสาคู เนื่องจากปริมาณอะไมโลสเป็นโครงสร้างที่เป็นโซ่ตรงถ้ามีปริมาณอะไมโลสน้อยจะย่อยสลายได้เร็ว และมีปริมาณอะไมโลสมากจะย่อยสลายได้ช้า ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณอะไมโลสที่น้อยกว่าของแป้งมันสำปะหลังและมากกว่าของแป้งสาคู ผลการวิจัยนี้ยังสามารถทำนายระยะเวลาในการใช้ประโยชน์ของฟิล์มพลาสติกชีวภาพได้

การศึกษาของแก้วตา แก้วตาทิพย์ (2556) ที่ศึกษา พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี กลูเตนข้าวสาลีเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจอย่างมากในการนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ราคาถูก มีปริมาณมาก และย่อยสลายได้ง่ายในธรรมชาติ และเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีร่วมกับพลาสติไซเซอร์สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เหมือนการขึ้นรูปพลาสติกทั่วไป โครงสร้างของกลูเตนข้าวสาลีประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด แต่กรดอะมิโนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างและสมบัติของกลูเตนข้าวสาลี คือ ซีสทีน เนื่องจากซีสทีนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไทออลที่สามารถสร้างพันธะไดซัลไฟด์ทั้งภายในและภายนอกสายโซ่ของโปรตีนหรือเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีน โดยการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนจะส่งผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลี ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีน เช่น อุณหภูมิในการขึ้นรูป ชนิดของพลาสติไซเซอร์ และชนิดของสารเติมแต่ง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องควบคุมการเกิดการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนให้มีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้พลาสติกชีวภาพจากกลูเตนข้าวสาลีที่มีสมบัติที่ดีและสม่ำเสมอเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

การศึกษาของ Sani and Soykeabkaew (2015) ที่ศึกษา การย่อยสลายทางชีวภาพของคอมโพสิตชีวภาพ ได้ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของคอมโพสิตชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย ขี้เลื่อย (SD) เสริมในเมทริกซ์ (WG) ข้าวสาลี (กลูเตน) และกลีเซอรอล) โดยมีอัตราส่วน 50:50 (SD50) และอัตราส่วน 70:30 (SD70) โดยน้ำหนัก จึงนำไปเปรียบเทียบกับแป้งมันสาปะหลังและเส้นใยปอ ตามมาตรฐาน ASTM D5988-03 หลังจาก 3 เดือนแป้งย่อยสลายมากกว่าเส้นใยปอ เนื่องจากเส้นใยปอมีบริเวณของผลึกมากขึ้น สำหรับการย่อยสลายของไบโอคอมโพสิตในอัตราส่วนที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วน 50:50 สลายตัวได้เร็วกว่าอัตราส่วน 70:30 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสลายตัวอยู่ประมาณร้อยละ 22 เพราะอัตราส่วน 50:50 มีเมทริกซ์ของกลูเตนและกลีเซอรอลมากขึ้นซึ่งจะเกิดการสลายตัวได้ง่ายอัตราสูงสุดของการย่อยสลายทางชีวภาพสาหรับแต่ละวัสดุที่เป็นข้อสังเกตหลังจาก 14 วัน เพราะส่วนใหญ่น้ำได้ซึมเข้าไปในห่วงโซ่และเอนไซม์ยึดห่วงโซ่ที่จะมีขนาดเล็กลงอย่างต่อเนื่อง จากนั้นจึงวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจึงมีการเกิดก๊าซไหลเข้าสู่สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามมาตรฐาน ASTM D5338-03 (มาตรฐานดังที่กล่าวมา คือ วิธีการทดสอบสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนจากวัสดุเชิงประกอบภายใต้ที่มีปุ๋ยหมัก)

12.7 พลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)

พอลิเอทิลีน (PE) ผลิตจาก กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ของก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงโดยอยู่ในสภาวะปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ(Metal catalyst) การจับตัวของโมเลกุลในลักษณะสายโซ่สั้นและยาวจะส่งผลให้พอลิเอทิลีนที่ได้ออกมามีความหนาแน่นแตกต่างกัน (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2556) พอลิเอทิลีนแบ่งเป็น 3 ประเภท

1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene หรือ LDPE) มีโครงสร้างแบบกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก จึงทำให้มีปริมาตรสูง มีความหนาแน่นต่ำมีความโปร่งแสง นิยมนำมาถุงใส่ของ ถุงเย็นบรรจุอาหาร แผ่นฟิล์ม เป็นต้น

2) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene หรือ HDPE) มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และปริมาณโครงสร้างผลึกสูง มีความขุ่น ทนกรดและด่างได้ดี จึงนิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุสารเคมี ถังขยะ ถังน้ำ เป็นต้น

3) พอลิเอทิลีนเทเรฟฟธอลเลต (polyethylene terephthalate หรือ PET) เป็นพอลิเมอร์ใสไม่มีสี แข็งทนทานต่อแรงกระแทก จึงนิยมใช้ในการผลิตขวดน้ำ

โดยสมบัติเชิงกลบางประการของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene หรือ LDPE) (สมศักดิ์ วรมงคลชัย, 2556) แสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 12.7-1**

ตารางที่ 12.7-1 สมบัติเชิงกลบางประการของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

สมบัติ	หน่วย	ASTM	LDPE
ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด	%	D638	90-800
การต้านทานแรงดึง	MPa	D638	4.10-16.0
ความหนา	mm	D638	0.05-0.30
อุณหภูมิหลอมเหลว	°C	-	98.0-120.0
ความแข็งแรงกระแทก	$J.m^{-1}$	D256	-
ความเป็นผลึก	%	-	50.0-70.0

ที่มา: สมศักดิ์ วรมงคลชัย (2556)

12.8 ข้อมูลที่เกี่ยวกับกลอย

1) ลักษณะทั่วไปของกลอย (เกศริน มณีนูน และพวงเพ็ญ ศิริรักษ์, 2551) กลอยเป็นพืชที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Dioscorea hispida* อยู่ในสกุล Dioscorea L. วงศ์ไดออสคอเรียซีอี (Dioscoreaceae) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในเครือ Dioscorea L. และอยู่ในพันธุ์ Dioscoreahispida

2) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของกลอย กลอยมีลำต้นเป็นเถาไม่สามารถตั้งตรงได้ ต้องพันกับต้นไม้อื่น ลำต้นมีหนามแหลม (สุพรรษา ขำพวง และปรีชา วันเพ็ญ, 2545) เป็นไม้เถาล้มลุก มีหัวอยู่ใต้ดินเช่นเดียวกับหัวมัน เถาอ่อนสีเขียว เถาแก่สีน้ำตาล มีหนามแข็งรอบเถา มักจะพันเลื้อยไปบนต้นไม้สูงและไปได้ไกล ส่วนหัวค่อนข้างกลม สีน้ำตาลอมเหลือง มีรากเล็กๆ กระจายทั่วทั้งหัวทำหน้าที่สะสมอาหาร ดังแสดงใน**ภาพที่ 12.8-1**

ภาพที่ 12.8-1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของกลอย

ที่มา: กรมป่าไม้ (2550)

3) แหล่งกำเนิดกลอย กลอยพบตามธรรมชาติในประเทศอินเดีย จีนตอนใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และนิวกินี เป็นพืชที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารหรือนำมาผลิตแป้ง

4) การเก็บกลอยนิยมทำกันในหน้าร้อน เพราะกลอยจะมีหัวใหญ่ โผล่พ้นดิน และเถาแห้งตาย ทำให้เก็บง่าย ประมาณเดือนเมษายน

12.9 สายพันธุ์ของกลอย

กลอยมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น เช่น กลอยมัน กลอยข้าวเหนียว กลอยข้าวเจ้า กลอยหัว และกลอยนก เป็นต้น ในประเทศไทยมีกลอยประมาณ 32 ชนิด พบมากทางภาคเหนือ และภาคอีสาน ในช่วงฤดูฝนจนถึงฤดูหนาว สำหรับชาวบ้านจะแบ่งประเภทของกลอยตามลักษณะของลำต้นและตามสีในเนื้อหัวกลอยได้ 2 ชนิด คือ

1) กลอยข้าวเจ้า จะมีลักษณะของเถาและก้านใบสีเขียว และจะมีเนื้อสีขาวนวลและเนื้อหยาบกว่ากลอยข้าวเหนียว

2) กลอยข้าวเหนียว มีเถาสีน้ำตาลอมดำ และมีสีเหลืองอ่อนถึงเหลืองเข้ม (สีทอง) เนื้อเหนียวและรสชาติดีกว่ากลอยข้าวเจ้า (มีเนื้อที่ร่วนซุย) ดังนั้น ชาวบ้านหรือเกษตรกรจึงมักจะนิยมกินกลอยข้าวเหนียวมากกว่ากลอยข้าวเจ้า

12.10 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของหัวกลอย

หัวกลอย มีลักษณะกลมรีๆ มีรากเล็กๆ อยู่รอบๆ หัว กลอยต้นหนึ่งจะมีหัวกลอยประมาณ 4–5 หัว หัวกลอยมีเปลือกบางสีน้ำตาลแกมเหลืองเนื้อภายใน หัวกลอย มี 2 ชนิด คือเนื้อสีขาวเรียกกันว่ากลอยหัวเหนียว และเนื้อสีครีมเรียกกันว่ากลอยไข่หรือกลอยเหลือง ดังแสดงใน **ภาพที่ 12.10-1**

ภาพที่ 12.10-1 ลักษณะของหัวกลอย

ที่มา: กรมป่าไม้ (2550)

กลอยมีส่วนประกอบทางเคมีคือ ความชื้นร้อยละ 78 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 18 ไขมันร้อยละ 0.16 โปรตีนร้อยละ 1.18 เยื่อใยร้อยละ 0.93 และเถ้าร้อยละ 0.69 อะไมโลสร้อยละ 19.77 และยังพบสารพิษร้อยละ 0.44 เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มอัลคาลอยมีสูตร คือ $C_{13}H_{19}O_2N$ สารอีกชนิดหนึ่ง คือ Diosgenin อยู่ในกลุ่ม Saponin สารทั้งสองชนิดนี้มีปริมาณสูงมากในฤดูฝนและค่อยๆ ต่ำลงจนกระทั่งต่ำสุดในฤดูร้อน (สุพรรษา ขำพวง และปรีชา วันเพ็ญ, 2545)

12.11 ความเป็นพิษและวิธีการล้างพิษ

กลอยมีสารพิษที่ชื่อว่า ไดออสคอรีน (Dioscorine) และ ไดออสจีนีน (Diosgenine) เป็นสารในกลุ่มอัลคาลอยด์ สารพิษชนิดนี้มีผลให้เกิด อาการใจสั่น วิงเวียน คลื่นไส้ อาเจียน เหงื่อออกตัวเย็น ตาพร่ามัว ชีพจรเต้นเบา

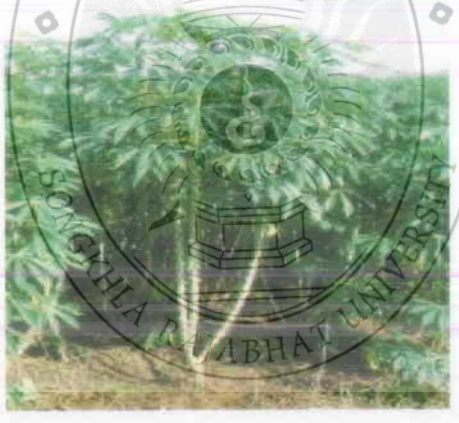
กลอย เป็นพืชที่มีพิษแต่ด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านก็ได้คิดค้นวิธีในการกำจัดสารพิษในหัวกลอย โดยวิธีที่นิยม คือ การนำกลอยมาปอกเปลือก ฝานเป็นชิ้นบางๆ หนาประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ตากให้แห้ง จะเก็บไว้ได้นานหลายเดือน ก่อนนำกลอยมาปรุงอาหารให้นำไปแช่ในน้ำไหลเป็นเวลานาน 1 วัน กับ 1 คืน แต่หากเป็นกลอยที่เก็บในช่วงหน้าฝนซึ่งมีพิษมาก ต้องแช่ในน้ำไหลนาน 3 วัน 3 คืน พร้อมทั้งใช้ใบชุมเห็ดเทศวางทับด้านบน แล้วนำมานวดให้นุ่ม ก่อนนำไปผึ่งแดด

และนำกลับมาใส่ภาชนะแช่น้ำเช่นเดิมทำซ้ำกัน 2-3 ครั้ง จึงนำมารับประทานได้ (เกศริน มณีนูน และพวงเพ็ญ ศิริรักษ์, 2551)

12.12 ข้อมูลที่เกี่ยวกับมันสำปะหลัง

1) **ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลัง** (กล้าณรง ศรีรอต, 2549) มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Manihot esculenta (L.) Crantz* ชื่อสามัญเรียกหลายชื่อเช่น Cassava, Yuca, Mandioa, Manioc, Tapioca

2) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่ม สูง 1.3-5 เมตร รากแบบสะสมอาหาร (tuberous root) สายพันธุ์ที่นิยมปลูกสูงประมาณ 2.5 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10-1.5 เซนติเมตร ใบมีร่องลึก 3-7 ร่อง มีหูใบ ก้านใบยาว ดอกเป็นช่อดอก ผลแบบแคปซูลทรงกลม ประมาณ 1.2 เซนติเมตร การจำแนกสายพันธุ์ใช้คุณลักษณะหลายอย่างช่วยในการจำแนกเช่น สีของใบอ่อน สีก้านใบ สีลำต้น ขนที่ยอดอ่อน ลักษณะทรงต้น หูใบ ดังแสดงใน**ภาพที่ 12.12-1**



ภาพที่ 12.12-1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

3) แหล่งกำเนิดมันสำปะหลัง มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส และบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มายังฟิลิปปินส์ ประมาณ ค.ศ.17 และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนิเซีย ประมาณ ค.ศ.18

4) มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ทุกเดือน โดยทั่วไปมักเริ่มในช่วงต้นฤดูฝนเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือระหว่างเดือนมีนาคม-เดือนพฤษภาคม สวนการปลูกในช่วงปลายฤดูฝนสามารถเริ่มในเดือนพฤศจิกายน ฤดูกาลเพาะปลูกนั้นถูกกำหนดโดยช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวและความชื้นที่มีอยู่ในดิน

12.13 มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1) ชนิดหวาน (sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขมใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่ม และชนิดเนื้อแน่น เหนียว แต่มีจำนวนน้อย

2) ชนิดขม (bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีกรดไฮโดรไซยานิคสูง เป็นพิษ และมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์ หรือใช้หัวมันสำปะหลังสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ เป็นต้น เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศ ไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

12.14 วิธีการปลูกมันสำปะหลัง

ใช้ท่อนพันธุ์ที่มีอายุ10-12 เดือน ตัดทิ้งไว้ไม่เกินประมาณ 15 วัน โดยตัดให้มีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีตาไม่น้อยกว่า 5 ตา เพื่อป้องกันเชื้อราและแมลง ควรจุ่มท่อนพันธุ์ในยาแคปแทน 1.6 ขีด (160 กรัม) ผสมร่วมกับมาลาไธออน 20 ซีซีใน น้ำ 20 ลิตร ประมาณ 5 นาทีก่อนปลูก ปลูกเป็นแถวแนวตรง เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษาและกำจัดวัชพืช โดยใช้ระยะระหว่างแถว 1.20 เมตร ระยะระหว่างต้น 80 เซนติเมตร และปักท่อนพันธุ์ให้ตั้งตรงลึกในดินประมาณ 10 เซนติเมตร (กล้าณรง ศรีรอต, 2549)

12.15 ลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีมันสำปะหลัง

หัวของมันสำปะหลัง คือส่วนรากที่ขยายใหญ่เพื่อสะสมอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรต รากสะสมอาหารมีปริมาณแป้งประมาณร้อยละ 15–40 มีกรดไฮโดรไซยานิกหรือกรดพรัสซิกซึ่งมีพิษจะมีอยู่มากในส่วนของเปลือกมากกว่าเนื้อของหัว หัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวางมีส่วนประกอบเปลือกชั้นนอก มีสีขาว หรือสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ หรือสีชมพู เปลือกชั้นใน มีสีขาว ความหนา 0.1-0.3 เซนติเมตร เปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน เรียกรวมกันว่าเปลือก ส่วนแกนกลางหรือส่วนสะสมแป้งมีสีขาว เหลือง หรือสีชมพู ดังแสดงใน**ภาพที่ 12.15-1**

ภาพที่ 12.15-1 ลักษณะของมันสำปะหลัง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2547)

มันสำปะหลังมีองค์ประกอบของหัว คือน้ำร้อยละ 60.21 เปลือกร้อยละ 4.08 แป้งร้อยละ 25.87 ไซยาไนด์ 2.85 ส่วนในล้านส่วน จะมีองค์ประกอบในแป้ง คือ แป้งร้อยละ 71.9 โปรตีนร้อยละ 1.57 เยื่อใยร้อยละ 1.77 เถ้าร้อยละ 1.20 ไขมันร้อยละ 0.06 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งร้อยละ 3.59 อะไมโลสร้อยละ 23.5 (กล้าณรง ศรีรอต, 2549)

13. วิธีการดำเนินการวิจัย

13.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

1) ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากพืชหัว โดยศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเตรียมและสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ การประยุกต์ใช้มันเลือดเพื่อผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ และการเปรียบเทียบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู

2) ศึกษาคุณสมบัติของหัวกลอยที่จะนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ โดยศึกษาจากปริมาณของอะไมโลสในหัวกลอยและศึกษาขั้นตอนวิธีการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพมันสำปะหลังผสมยางธรรมชาติ ศึกษาวิธีการทดสอบคุณสมบัติพลาสติก และศึกษามาตรฐานในการทดสอบแผ่นพลาสติก

13.2 การศึกษาปริมาณแป้งและกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

1) การเตรียมอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรีนโดยในการศึกษานี้ทำการทดสอบทั้งหมด 15 สูตร มีรายละเอียดดังแสดงใน**ตารางที่ 13.2-1**

ตารางที่ 13.2-1 การศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังและปริมาณกลีเซอรีนที่เหมาะสม

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (g)	ปริมาณกลีเซอรีน (ml)			ปริมาณน้ำกลั่น (ml)
5	0.5	1.0	1.5	100
6	0.5	1.0	1.5	100
8	0.5	1.0	1.5	100
10	0.5	1.0	1.5	100
12	0.5	1.0	1.5	100

2) การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธีการทางความร้อนของแป้ง (Thermal Gelatinization) ละลายแป้งในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยแช่ในอ่างน้ำมันพืชร้อนที่มีช่วงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส กวนโดยใช้แท่งแก้วคน เป็นเวลา 30 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที แป้งจะมีลักษณะเป็นแป้งเปียกใส แล้วจึงหยดกลีเซอรีนในปริมาณที่ระบุไว้ใน**ตารางที่ 3.5.2-1** กวนต่อจนกระทั่งครบ 30 นาที เทใส่ลงภาชนะ จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อลดการเกิดฟองอากาศ และอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

13.3 การพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

1) การเตรียมอัตราส่วนของแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังกับปริมาณกลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร ดังแสดงใน**ตารางที่ 13.3-1**

ตารางที่ 13.3-1 อัตราส่วนแผ่นฟิล์มจากแป้งกลอยผสมกลีเซอรีนและแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ปริมาณแป้ง (g)		กลีเซอรีน (ml)	น้ำกลั่น(ml)
	แป้งกลอย	แป้งมันสำปะหลัง		
100:0	6.0	0.0	1.5	100
90:10	5.4	0.6	1.5	100
80:20	4.8	1.2	1.5	100
70:30	4.2	1.8	1.5	100
60:40	3.6	2.4	1.5	100
50:50	3.0	3.0	1.5	100
40:60	2.4	3.6	1.5	100
30:70	1.8	4.2	1.5	100
20:80	1.2	4.8	1.5	100
10:90	0.6	5.4	1.5	100
0:100	0.0	6.0	1.5	100

2) การผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีวิธีการทางความร้อนของแป้ง (Thermal Gelatinization) เช่นเดียวกับขั้นตอนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในข้อ 3.5.2

13.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

การศึกษานี้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม ได้มีการทดสอบในพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ใน**ตารางที่ 13.4-1**

ตารางที่ 13.4-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา	วิธีทดสอบ	เอกสารอ้างอิง
1.) สมบัติของแผ่นฟิล์มจากกลอย		
1.1) ค่าความต้านทานแรงดึง*	เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง	สมศักดิ์ วรมงคลชัย (2556)
1.2) ค่าแรงดึงสูงสุด		
1.3) ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด*		
1.4) ความหนาของแผ่นฟิล์ม*	เครื่อง Micrometer	
1.5) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น	ASTM D882	
1.6) ร้อยละการดูดซับน้ำ	ดัดแปลงจาก TAPPI T 412	สุนิษา โระศรี และเจนจิรา สุวรรณ์. (2559)
1.7) ความชื้น	ดัดแปลงจาก TAPPI T 412	
2.) การย่อยสลายของถุงเพาะชำ	การหาน้ำหนักถุงที่หายไป	พรฤดี สงวนสุก (2552)

หมายเหตุ

* หมายถึง มาตรฐาน ASTM D638 สมบัติแรงดึงขาดของพลาสติกและพลาสติกเสริมแรง

13.5 การศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

ตัดชิ้นทดสอบจากแผ่นฟิล์ม ขนาด 2x4 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น เพื่อทำการทดสอบ 3 ซ้ำ นำมาห่อด้วยผ้าขาวบาง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมผ้าขาวบางเป็นน้ำหนักตั้งต้น (m_0) ทำการทดสอบการย่อยสลายโดยวิธีการฝัง (Burial Test) ในสภาพธรรมชาติ ดัดแปลงจาก วิธีการศึกษาของ พรฤดี สงวนสุก (2552) มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมแปลงทดสอบ โดยนำตะกร้าขนาด 28x37.5x9.5 เซนติเมตร มาใส่ดินผสมปุ๋ย (ที่มีขายตามร้านค้าทั่วไป) จนระดับความสูงถึง 6 เซนติเมตร แบ่งระยะห่างเป็น 3 แถว ต่างกัน 3 เซนติเมตร แล้วนำดินผสมปุ๋ยมากลบจนเกือบเต็มตะกร้า ทำการรดน้ำครั้งที่ 1 และรดน้ำต่อเนื่อง 2 วันต่อครั้ง จนครบระยะทดสอบที่ 5 สัปดาห์

2) ทำการศึกษาการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มทุกๆ สัปดาห์ โดยขุดชิ้นทดสอบจากตะกร้า เมื่อได้ชิ้นทดสอบที่ห่อด้วยผ้าขาวบาง นำมาล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อทำความสะอาดและกำจัดดินที่ติดอยู่กับผ้า และนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำชิ้นทดสอบไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และทำการบันทึกน้ำหนัก (m_1) หลังฝังดินนำมาคำนวณ ร้อยละการย่อยสลาย ดัง**สมการที่** 1

สมการที่ 1 การคำนวณร้อยละการย่อยสลาย

$$M = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

หมายเหตุ

M = ร้อยละการย่อยสลาย, m_0 = น้ำหนักเริ่มต้น (mm), m_1 = น้ำหนักหลังย่อยสลาย (mm)

13.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1) วิเคราะห์ด้วยสถิติแบบพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติแบบอ้างอิงวิธี Independent Sample T-Test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE)

14. ระยะเวลาการทำวิจัย

การศึกษานี้มีระยะเวลาดำเนินการวิจัยระหว่างวันที่ 13 มกราคม 2560 – 30 พฤศจิกายน 2561 ซึ่งมีแผ่นการดำเนินงานตลอดโครงการแสดงไว้ใน **ตารางที่ 14-1**

ตารางที่ 14 -1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560											2561								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11-3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
รวบรวมข้อมูลและตรวจเอกสาร	———	———	———	———	– – –	– – –	– – –										———	———	———	
สอบโครงร่างวิจัย				●																
การทดลองในห้องปฏิบัติการ					———	———	———	———	———	———										
สอบรายงานความก้าวหน้าทางวิจัย										●										
วิเคราะห์และสรุปผล															———	———	———	———		
สอบรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์																			●	
แก้ไขรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์																			———	———

หมายเหตุ

——— หมายถึง ช่วงระยะเวลาดำเนินการวิจัย

– – – หมายถึง ช่วงระยะเวลาดำเนินการวิจัย

● หมายถึง ช่วงระยะเวลาสอบ

▭ หมายถึง ช่วงเวลาฝึกประสบการณ์วิชาชีพทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาคผนวก ข

วิธีการทดสอบ

สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

โดยการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D-638M-93 โดยใช้เครื่อง Universal Testing Maching รุ่น NRI-TS500-30B ใช้ load cell ที่ 1 kN ความเร็ว 50 mm min^{-1} และวิเคราะห์ความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength) แรงดึงสูงสุด มอดูลัสยืดหยุ่น (Young'sModulus) และเปอร์เซ็นการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break)

1. ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) คือ ทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (stress : σ) และความเครียด (strain : ε)

2. จุดคราก (Yield point) คือ จุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield stress) หรือความแข็งแรงจุดคราก (Yield strength) เป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับการคงรูปของวัสดุ

3. ความเค้น (stress : σ) คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ซึ่งมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

4. ความเครียด (strain : ε) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น มีหน่วยเป็น m/m คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

5. มอดุลัสยืดหยุ่น (Young'sModulus) คือ เมื่อวัสดุได้รับความเค้นเกินกว่าค่าความเค้นคราก การเปลี่ยนแปลงของวัสดุจะเข้าสู่ช่วงพลาสติกซึ่งไม่สามารถคืนรูปได้

6. การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation) คือความสามารถในการยืดตัวออกจนถึงจุดที่เกิดการแตกหักของชิ้นงาน

สมบัติการดูดซึมน้ำ

ศึกษาโดยการตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 2×2 ตารางเซนติเมตร ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่ โดยชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทุกๆ 1 นาที จนชิ้นตัวอย่างเกิดการฉีกขาด (ห้ามซับน้ำด้วยกระดาษซับเนื่องจากจะทำให้แผ่นฟิล์มติดกระดาษและเกิดการฉีกขาดง่าย)

ศึกษาการย่อยสลายของถุงเพาะ

สมการที่ 1 การคำนวณร้อยละการย่อยสลาย

$$M = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

หมายเหตุ M = ร้อยละการย่อยสลาย

m_0 = น้ำหนักเริ่มต้น

m_1 = น้ำหนักหลังย่อยสลาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบการวิจัย

ปอกเปลือกหัวกลอย และหั่นเป็นแผ่นบางๆ

นำไปหมักเค็มในน้ำเกลือ

ก่อนล้างพิษมีสีเหลือง หลังล้างพิษมีสีขาว

นำไปผึ่งแดดหรือตากให้แห้ง

ภาพที่ ค1 การล้างพิษหัวกลอย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

นำกลอยปั่นละเอียดกับน้ำกลั่น

นำตัวอย่างน้ำแป้งที่ได้ กรองผ่านผ้าขาวบาง และตะแกรง

นำแยกโดยใช้เครื่อง Centrifuge 15 นาที

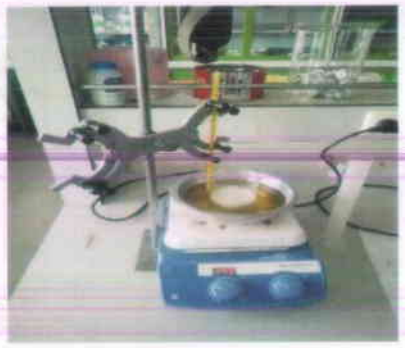
อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

บดแป้งเป็นผง

ภาพที่ ค2 การทำแป้งจากหัวกลอยหัวกลอย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ชั่งแป้งมาในอัตราส่วนต่างๆ แล้วเติมน้ำกลั่น 100 ml



คนให้เข้ากันโดยให้ความร้อน เป็นเวลา 10 นาที

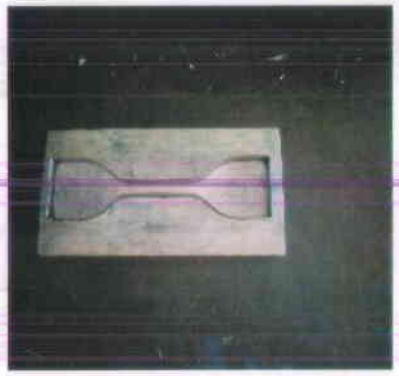
เติม Glycerol ให้ความร้อนต่อจนครบ 30 นาที

อบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นำสารละลายเทใส่ภาชนะขึ้นรูป

ภาพที่ ค3 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มชีวภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

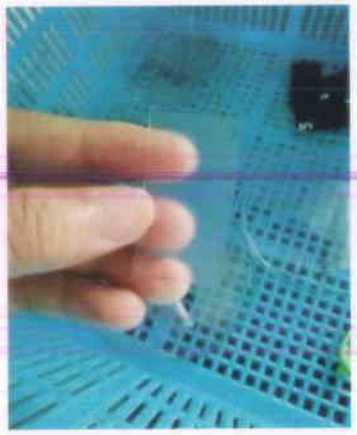


เครื่องตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล

วัดความหนา โดยใช้เครื่อง วัดแรงดึง โดยใช้เครื่องต้านทานแรง

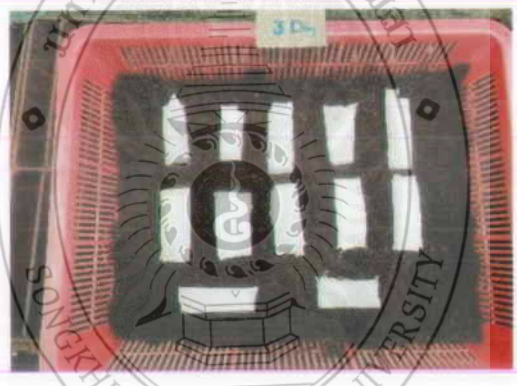
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาพที่ ค4 การทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพ



ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 2x4 ซ.ม.

ชั่งหาน้ำหนักก่อนฝังดิน



นำชิ้นทดสอบไปฝังดินลึกลึกประมาณ 5 ซม.

ภาพที่ ค5 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLANAKARIN RAJABHAT UNIVERSITY

ภาพที่ ค6 การการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพในสัปดาห์ที่ 1

ภาพที่ ค7 การการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพในสัปดาห์ที่ 2

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

อัตราส่วน 100:0 อัตราส่วน 90:10 อัตราส่วน 80:20 อัตราส่วน 70:30

อัตราส่วน 60:40 อัตราส่วน 50:50 อัตราส่วน 40:60 อัตราส่วน 30:70

อัตราส่วน 20:80 อัตราส่วน 10:90 อัตราส่วน 0:100

ภาพที่ ค8 การการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพในสัปดาห์ที่ 3

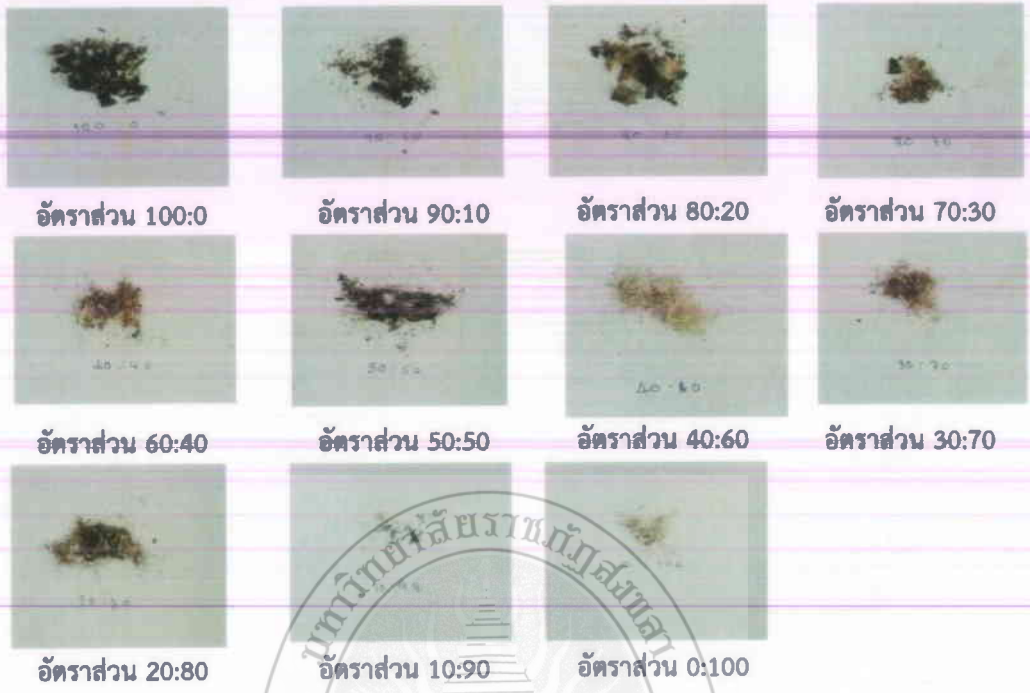
อัตราส่วน 100:0 อัตราส่วน 90:10 อัตราส่วน 80:20 อัตราส่วน 70:30

อัตราส่วน 60:40 อัตราส่วน 50:50 อัตราส่วน 40:60 อัตราส่วน 30:70

อัตราส่วน 20:80 อัตราส่วน 10:90 อัตราส่วน 0:100

ภาพที่ ค9 การการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพในสัปดาห์ที่ 4

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



ภาพที่ ค10 การการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มชีวภาพในสัปดาห์ที่ 5

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 5, 6, 8, 10 และ12 กรัม กลีเซอรีน 0.5, 1 และ 1.5 มิลลิลิตร

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (g)	ปริมาณกลีเซอรีน (ml)	ความหนา (mm)	แรงดึงสูงสุด (N)	การต้านทานแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
5	0.5	0.2333	9.5671	0.0767	2.8330
	1.0	0.2267	19.3133	16.8633	7.1667
	1.5	0.2400	1.7167	1.4000	220.6690
6	0.5	0.2300	3.6033	3.0700	3.0167
	1.0	0.2333	1.3967	0.9733	122.2067
	1.5	0.2333	2.1357	5.1833	203.3337
8	0.5	0.3667	13.6833	7.2533	8.8750
	1.0	0.3800	6.3967	3.1400	2.6655
	1.5	0.3300	1.2500	0.7633	104.7417
10	0.5	0.5300	9.9900	0.0400	2.1611
	1.0	0.3900	10.8333	5.4500	5.8388
	1.5	0.5233	4.5767	1.7800	5.8377
12	0.5	0.3567	6.3967	3.1400	2.6900
	1.0	0.8400	17.1700	4.0567	6.8517
	1.5	0.7367	1.9467	0.4600	1.6817

ผลการทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

การทดสอบเชิงกลของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้ง 6 กรัม กลีเซอรีน 1.5 มิลลิลิตร มาทำการทดสอบ 11 อัตราส่วน (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ0:100)

ตารางที่ 2 ความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ครั้งที่				
	1	2	3	เฉลี่ย	SD
100:0	0.2500	0.2200	0.2100	0.2267	0.0208
90:10	0.2300	0.2400	0.2400	0.2367	0.0058
80:20	0.2000	0.2100	0.2100	0.2067	0.0058
70:30	0.2300	0.2100	0.2100	0.2167	0.0115
60:40	0.2700	0.2800	0.2500	0.2667	0.0153
50:50	0.2300	0.2300	0.2200	0.2267	0.0058
40:60	0.2400	0.2800	0.2800	0.2667	0.0231
30:70	0.3000	0.2500	0.2500	0.2667	0.0289
20:80	0.2400	0.2300	0.2700	0.2467	0.0208
10:90	0.2600	0.2700	0.2800	0.2700	0.0100
0:100	0.2400	0.2200	0.2400	0.2333	0.0115
PE	0.0900	0.0900	0.0900	0.0900	0.0000

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 3 แรงดึงสูงสุดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ครั้งที่				
	1	2	3	เฉลี่ย	SD
100:0	3.8100	2.8700	3.8800	3.5200	0.5640
90:10	3.6000	3.7700	3.7000	3.6900	0.0854
80:20	3.5800	4.4400	3.2200	3.7467	0.6268
70:30	4.0100	4.1100	4.1400	4.0867	0.0681
60:40	4.6196	4.6198	4.6197	4.6197	0.0001
50:50	4.9210	4.9211	4.9209	4.9210	0.0001
40:60	5.9653	5.9654	5.9655	5.9654	0.0001
30:70	4.9058	4.9056	4.9057	4.9057	0.0001
20:80	4.7178	4.7179	4.7178	4.7178	0.0001
10:90	3.9159	3.9157	3.9154	3.9157	0.0003
0:100	2.9530	2.9511	2.9510	2.9517	0.0011
PE	5.9599	5.9600	5.9610	5.9603	0.0006

ตารางที่ 4 การต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ครั้งที่				
	1	2	3	เฉลี่ย	SD
100:0	2.8100	2.1400	2.9300	2.6267	0.4257
90:10	3.0500	2.1000	3.5300	2.8933	0.7278
80:20	3.0167	3.0166	3.0167	3.0167	0.0001
70:30	3.1101	3.1100	3.1100	3.1100	0.0001
60:40	3.8400	3.7500	3.7500	3.7800	0.0520
50:50	3.8200	3.9000	3.8700	3.8633	0.0404
40:60	6.1900	6.1900	6.1900	6.1900	0.0000
30:70	4.3301	4.3300	4.3299	6.3300	0.0001
20:80	6.4670	6.4666	6.4650	6.4666	0.0011
10:90	6.9810	6.9800	6.9833	6.9833	0.0017
0:100	6.9940	6.9933	6.9920	6.9933	0.0010
PE	6.6200	6.6200	6.6200	6.6200	0.0000

ตารางที่ 5 ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ครั้งที่				
	1	2	3	เฉลี่ย	SD
100:0	25.00	22.30	24.70	24.00	1.4799
90:10	25.91	26.20	26.89	26.33	0.5034
80:20	32.20	31.20	31.10	31.50	0.6083
70:30	56.05	54.22	52.92	54.40	1.5725
60:40	66.67	66.67	66.67	66.67	0.0001
50:50	66.67	66.67	66.67	66.67	0.0001
40:60	102.50	102.51	102.51	102.51	0.0001
30:70	107.17	107.17	107.17	107.17	0.0001
20:80	107.67	107.67	107.67	107.67	0.0001
10:90	155.33	155.33	155.33	155.33	0.0001
0:100	203.33	203.33	203.33	203.33	0.0001
PE	95.88	96.04	96.25	96.06	0.1856

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ความหนา (mm)	แรงดึงสูงสุด (N)	การต้านทานแรงดึง (MPa)	ความเครียด	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ความเค้น (N/m^2)	ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)
100:0	0.2267	3.5200	2.6267	0.2400	24.0000	0.6902	2.8758
90:10	0.2367	3.6900	2.8933	0.2633	26.3333	0.7235	2.7476
80:20	0.2067	3.7467	3.0167	0.3150	31.5000	0.7346	2.3322
70:30	0.2167	4.0867	3.1100	0.5433	54.3333	0.8013	1.4748
60:40	0.2667	4.6197	3.7800	0.6167	61.6670	0.9058	1.4689
50:50	0.2267	4.9210	3.8633	0.6667	66.6667	0.9649	1.4474
40:60	0.2667	5.9654*	6.1900*	0.9751*	97.5050*	1.1697*	1.1996*
30:70	0.2667	4.9057	6.3300*	1.0717	107.1667	0.9619	0.8976
20:80	0.2467	4.7178	6.4666*	1.0767	107.6667	0.9251	0.8592
10:90	0.2700	3.9157	6.9833*	1.5533	155.3333	0.7678	0.4943
0:100	0.2333	2.9517	6.9933*	2.0333	203.3333	0.5788	0.2846
PE	0.0900	5.9600	6.6200	0.9503	95.0318	1.1686	1.2297
มาตรฐาน ASTM D638	0.05 – 0.30	-	4.1 - 16	-	90 - 800	-	-

หมายเหตุ: * หมายถึง เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) แบบ LDPE ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

ตารางที่ 6 ความชื้นของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	น้ำหนักก่อนชั่ง (กรัม)				น้ำหนักหลังชั่ง (กรัม)			
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	เฉลี่ย
100:0	0.1662	0.2118	0.1585	0.1788	0.1315	0.166	0.1255	0.1410
90:10	0.235	0.2652	0.2589	0.2530	0.207	0.2041	0.1913	0.2008
80:20	0.3017	0.267	0.2307	0.2665	0.2436	0.2132	0.1834	0.2134
70:30	0.25	0.2634	0.2729	0.2621	0.2039	0.2158	0.2225	0.2141
60:40	0.3554	0.3493	0.3212	0.3420	0.2973	0.2927	0.2659	0.2853
50:50	0.2938	0.2548	0.3184	0.2890	0.2457	0.2128	0.2661	0.2415
40:60	0.2977	0.3919	0.3463	0.3453	0.2503	0.3317	0.2917	0.2912
30:70	0.2905	0.2724	0.2993	0.2874	0.2638	0.2498	0.2415	0.2517
20:80	0.3538	0.3536	0.3749	0.3608	0.3237	0.3246	0.3123	0.3202
10:90	0.2875	0.5052	0.3728	0.3885	0.263	0.466	0.341	0.3567
0:100	0.3596	0.3285	0.2802	0.3228	0.3371	0.3052	0.2604	0.3009

ตารางที่ 7 การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	น้ำหนักก่อน			เฉลี่ย	น้ำหนักหลัง			เฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
100:0	0.1401	0.1423	0.1220	0.1348	0.2525	0.2843	0.2834	0.2734
90:10	0.1205	0.1167	0.1417	0.1263	0.2823	0.2478	0.2459	0.2587
80:20	0.1739	0.1745	0.1733	0.1739	0.3703	0.3712	0.3711	0.3709
70:30	0.1310	0.1309	0.1559	0.1393	0.4389	0.3311	0.3310	0.3670
60:40	0.1374	0.1367	0.1375	0.1372	0.3423	0.3734	0.3689	0.3615
50:50	0.1374	0.1367	0.1375	0.1372	0.3423	0.3734	0.3689	0.3615
40:60	0.1873	0.1867	0.1312	0.1684	0.3305	0.5099	0.5012	0.4472
30:70	0.1388	0.1367	0.1503	0.1419	0.4950	0.3413	0.3389	0.3917
20:80	0.1509	0.1512	0.1356	0.1459	0.3785	0.4960	0.4948	0.4564
10:90	0.1515	0.1521	0.1509	0.1515	0.6778	0.6789	0.6765	0.6777
0:100	0.1374	0.1367	0.1372	0.1371	0.6789	0.6776	0.6775	0.6780

ตารางที่ 8 ร้อยละความชื้นและการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งกลอย:แป้งมันสำปะหลัง	ความชื้น %	การดูดซับน้ำ (%)
100:0	21.16	50.69
90:10	20.64	51.17
80:20	19.91	53.11
70:30	18.33	62.05
60:40	16.57	62.05
50:50	16.42	62.34
40:60	15.66	63.65
30:70	12.42	63.77
20:80	11.24	68.03
10:90	8.19	77.65
0:100	6.77	79.78

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ 9 ร้อยละความชื้นและการดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งกลอยผสมแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วน	สัปดาห์ที่1 (กรัม)	สัปดาห์ที่2 (กรัม)	สัปดาห์ที่3 (กรัม)	สัปดาห์ที่4 (กรัม)	สัปดาห์ที่5 (กรัม)
0:100	27.20	42.16	58.23	59.77	59.87
10:90	27.73	42.31	59.70	60.03	62.52
20:80	30.37	43.17	63.93	64.02	66.83
30:70	34.74	44.47	65.41	70.95	74.11
40:60	36.51	46.10	68.20	71.49	75.33
50:50	38.62	46.43	71.55	72.32	77.05
60:40	39.30	48.15	72.69	74.86	78.21
70:30	44.62	52.09	76.88	77.55	78.80
80:20	48.17	56.50	79.97	82.55	85.35
90:10	57.33	67.28	83.14	85.20	86.80
100:0	59.68	68.24	83.28	88.59	89.62

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อผู้ทำวิจัย นางสาวราตรี ใบโส๊ะ

วันเดือนปีเกิด 9 พฤษภาคม 2539

ที่อยู่ 134 หมู่ 8 ตำบลละงู อำเภอละงู จังหวัดสตูล 91110

ประวัติการศึกษานักศึกษา โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ชื่อผู้ทำวิจัย นายสุริยะ เมาน้ำพราย

วันเดือนปีเกิด 2 ธันวาคม 2538

ที่อยู่ 92 หมู่ 6 ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

ประวัติการศึกษานักศึกษา โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY