

ผลของปริมาณและขนาดอนุภาคแป้งที่ได้จากที่มีต่อสมบัติของพลาสติกที่ยัดด้วยแป้ง
ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสไตรีนจากมันฝรั่งขยายแป้ง
EFFECT OF STARCH CONTENTS AND PARTICLE SIZES ON
PROPERTIES OF THERMOPLASTIC AMARANTH STARCH

นางสาวประภดา คำใส
นางสาวศศิศาสดีย์ เสงี่ยมยศ
นางสาวศศิธรณี เภตุพงษ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ผลของปริมาณและขนาดอนุภาคขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้
ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อม

**EFFECT OF SAWDUST CONTENTS AND PARTICLE SIZES ON
PROPERTIES OF THERMOPLASTIC ARROWROOT STARCH**

นางสาวปรารถนา	คำใส
นางสาวลัดดาวัลย์	ณรายอด
นางสาวศันสนีย์	เกตุอ่วม

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556




**EFFECT OF SAWDUST CONTENTS AND PARTICLE SIZES ON
PROPERTIES OF THERMOPLASTIC ARROWROOT STARCH**

MISS PRATANA KOMSAI
MISS LADDAWAN NANAYOD
MISS SUNSANEER KETOUM

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014**

หัวข้อโครงการพิเศษ	ผลของปริมาณและขนาดอนุภาคขี้เลื่อยที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ย่อย- สลายได้ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวยายม่อม		
	Effect of sawdust contents and particle sizes on properties of thermoplastic arrowroot starch		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปรารณา	คำใส	รหัสนักศึกษา 53050264
	นางสาวลัดดาวัลย์	ณรายอด	รหัสนักศึกษา 53050326
	นางสาวสันสนีย์	เกตุอ่วม	รหัสนักศึกษา 53050360
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธ์	
รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย	
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	ผลของปริมาณและขนาดอนุภาคขี้เถ้าที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปรารถนา คำใส	รหัสนักศึกษา	53050264
	นางสาวลัดดาวัลย์ เณรยอด	รหัสนักศึกษา	53050326
	นางสาวศันสนีย์ เกตุอ่วม	รหัสนักศึกษา	53050360
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2556		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ที่เตรียมจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม โดยใช้ขี้เถ้าจากไม้มะค่า โดยมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของขี้เถ้า ได้แก่ ขนาดมากกว่า 50 เมช ขนาด 50-100 เมช และขนาดน้อยกว่า 100 เมช และมีปริมาณของขี้เถ้า ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20% ทำการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) พบว่าเมื่อเติมขี้เถ้าจากไม้มะค่าลงไป ในเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม ทำให้พื้นผิวของขี้เถ้าเกิดการเปียก (Surface wetting) แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซและขี้เถ้า สำหรับผลการดูดซึมน้ำ พบว่า การเติมขี้เถ้าจากไม้มะค่าลงในเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม ทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง นอกจากนี้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติ ด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าขนาดน้อยกว่า 100 เมช ที่ปริมาณ 20% ให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และความแข็งกดสูงสุด สำหรับสมบัติทางความร้อน พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่ามีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น จากการทดสอบการย่อยสลายนั้น พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยขี้เถ้าที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช ที่ปริมาณ 10% ย่อยสลายได้เร็วที่สุด และจากการศึกษานี้ เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าที่มีสมบัติโดยรวม

ดีที่สุด คือ เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยขี้เถ้าขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100 ไมครอน ที่ปริมาณ 20%

คำหลัก : เทอร์โมพลาสติกสตาโรล, แป้งท้าวยายม่อม, ขี้เถ้าไม้มะค่า

Special Project	Effect of sawdust contents and particle sizes on properties of thermoplastic arrowroot starch		
Name	Miss Pratana	Komsai	ID 53050264
	Miss Laddawan	Naneyod	ID 53050326
	Miss Sunsanee	Ketoum	ID 53050360
Degree	Bachelor of science		
Program	Industrial Chemistry		
Academic Year	2013		
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Jutarat	Prachayawarakorn	

ABSTRACT

This research aimed to study and improve properties of biodegradable polymer prepared from thermoplastic arrowroot starch by reinforcing with Makha wood sawdust. Different sizes of sawdust i.e. more than 50 mesh, 50-100 mesh and less than 100 mesh size, and amounts of sawdust i.e. 5, 10, 15 and 20% were used. The thermoplastic starch was compounded by an internal mixer and molded by a compression molding machine. It was found that the addition of sawdust were into the thermoplastic arrowroot starch matrix caused sawdust surface wetting, showing good phase compatibility between the thermoplastic starch and sawdust. For water absorption, the result showed that the incorporation of sawdust led to the significant decrease of water absorption of the thermoplastic arrowroot starch. Moreover, the thermoplastic arrowroot starch modified by 20% sawdust with particle size less than 100 mesh presented the highest maximum load, stress at maximum load, Young's modulus and hardness. For thermal properties, it was found that thermoplastic arrowroot starch modified by sawdust showed the improvement in thermal stability. Moreover, the fastest biodegradability was found in the thermoplastic arrowroot starch with 10% sawdust and particle size of more than 50 mesh. From this study, the greatest

overall properties were obtained from the thermoplastic arrowroot starch improved with 20% sawdust and particle size less than 100 mesh.

Keywords : Thermoplastic starch, Arrowroot starch, Makha wood sawdust

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร ที่เป็นที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษนี้ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับโครงการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยสุขภักดิ์ศิลป์ และ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการงานพิเศษโดยช่วยกรุณาตรวจทาน และแก้ไขโครงการงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุจิตใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์และเจ้าหน้าที่รักษาความสะอาด ที่คอยอำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ยังขอขอบคุณบุคคลท่านอื่นๆ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ซึ่งผู้จัดทำมิได้กล่าวถึง ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวปรารถนา คำใส

นางสาวลัดดาวัลย์ เณรยอด

นางสาวศันสนีย์ เกตุอ่วม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	XI
สารบัญรูป	XIII
คำย่อและสัญลักษณ์	XIX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	4
2.1.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้	6
2.1.2 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	8
2.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร	12
2.3.1 ความเป็นมา	12
2.3.2 พลาสติกสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง	13
2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย	17
2.4.1 การวิเคราะห์สมมูลคาร์บอน	17
2.4.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่หายไป	18
2.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์	18
2.4.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด	19
2.4.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน	19
2.4.6 การทดสอบการฝังดิน	19
2.5 แป้ง	20
2.5.1 องค์ประกอบภายในแป้ง	20
2.6 สมบัติของแป้ง	22
2.6.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)	22
2.6.2 กลไกการเกิดเจลตาติโนเซชัน	23
2.6.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)	24
2.7 แป้งทำยายาม่อม	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and wood fiber)	28
2.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้	28
2.8.2 เซลลูโลส (Cellulose)	29
2.8.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	29
2.8.4 ลิกนิน (Lignin)	31
2.8.5 สารแทรก (Extractives)	33
2.8.6 ไม้มะค่า	33
2.9 กลีเซอรอล	34
2.9.1 สารหล่อลื่น (Lubricants)	35
2.10 การอัดขึ้นรูปพลาสติก (Compression molding)	39
2.11 เครื่องผสมแบบปิดหรือเครื่องผสมภายใน (Internal mixer)	40
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	47
3.1 สารเคมี	47
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดลอง	50
3.3.1 การเตรียมซีลีเนียมมะค่า	50
3.3.2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อม	50
3.3.3 การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งท้าวยายม่อมด้วยซีลีเนียมมะค่า	50
3.4 วิธีการทดสอบ	52
3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันโดย FTIR	52
3.4.2 การดูดซับน้ำ	52
3.4.3 สัณฐานวิทยา	52
3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	53
3.4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน	54
3.4.6 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน	54
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	55
4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน	55
4.2 สัณฐานวิทยา (Morphology)	58
4.3 สมบัติทางกายภาพ	62
4.3.1 การดูดซับน้ำ (Water absorption)	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 สมบัติเชิงกล	67
4.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อน	75
4.5.1 ผลของปริมาณของจีเลี่ยที่มีผลต่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งท้าวยายม่อม	75
4.5.2 ผลของขนาดอนุภาคของจีเลี่ยที่มีผลต่อเทอร์โมพลาสติก- สตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อม	78
4.6 การย่อยสลายโดยการฝังดิน	80
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการวิจัย	87
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก ก	94
ภาคผนวก ข	98
ภาคผนวก ค	101
ภาคผนวก ง	104
ภาคผนวก จ	107
ภาคผนวก ฉ	114

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีร้อยละน้ำหนักแห้งของแป้งท้าวขายม่อม	27
ตารางที่ 2.2 สมบัติของแป้งท้าวขายม่อม	27
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน	28
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีร้อยละน้ำหนักแห้งของแป้งท้าวขายม่อม	47
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของแป้งท้าวขายม่อม ชี้เลื่อย ไม้มะค่า เมกนีเซียมสเตียเรท ที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช	51
ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้	53
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยชี้เลื่อยและที่มีการ ปรับปรุงสมบัติด้วยชี้เลื่อยจากไม้มะค่าด้วยขนาดอนุภาคเดียวกัน ปริมาณต่างกัน	77
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยชี้เลื่อยและที่มีการ ปรับปรุงสมบัติด้วยชี้เลื่อยจากไม้มะค่าด้วยขนาดอนุภาคต่างกัน ปริมาณเดียวกัน	79
ตารางที่ ข.1 ค่า L/D ของชี้เลื่อยแต่ละขนาดอนุภาค	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ ค.1	
เปอร์เซ็นต์น้ำหนักรูดซับน้ำจากการทดสอบ โดยการแช่ดูดซับ	
น้ำกลั่นจากบรรยากาศอิ่มตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 % ของ	
เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติ	
ด้วยจีเสื่อจากไม้มะค่า	101

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	9
รูปที่ 2.2 ลักษณะของแกรนูเลตเป็่งที่ใช้เป็นสารตัวเติม หรือ Filler ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก	14
รูปที่ 2.3 เม็ดพลาสติกผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch หรือ TPS)	15
รูปที่ 2.4 เม็ดโฟมกันกระแทกที่ผลิตจากแป้ง ใช้เพื่อป้องกันการแตกหักของสินค้าที่บรรจุในกล่องระหว่างการขนส่ง	16
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะไมโลส	20
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน	21
รูปที่ 2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง	23
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน	24
รูปที่ 2.9 การคืนตัวของแป้ง	25
รูปที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้	28
รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	29
รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	30
รูปที่ 2.13 โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยลิกนิน	32
รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	33
รูปที่ 2.15 ต้นมะค่า	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.16 เครื่องอัดแบบอัด โนมัติที่ใช้ในการอัดชิ้นงานทรงแบน	39
รูปที่ 2.17 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer)	40
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย	49
รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยจีลื้อย ขนาด <100 เมช ในปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% และ (ค) 20%	56
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและเทอร์โมพลาสติก- สตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยจีลื้อยปริมาณ 20% ที่ขนาดอนุภาคต่างๆ (ก) TPAS (ข) >50 เมช (ค) 50-100 เมช และ (ง) <100 เมช	56
รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อม เมื่อส่องด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า	58
รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุง สมบัติด้วยจีลื้อยไม่ม่ค่าในปริมาณและขนาดอนุภาคต่างๆ เมื่อส่องด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า	59
รูปที่ 4.5 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง ท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยจีลื้อยจากไม่ม่ค่าที่ขนาดอนุภาค มากกว่า 50 เมช ในปริมาณ 10% และ 20% ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 %	62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.6 เเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้ง ท้าวขายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช ในปริมาณ 10% และ 20% ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 %	63
รูปที่ 4.7 เเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้ง ท้าวขายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าที่ขนาดอนุภาค น้อยกว่า 100 เมช ในปริมาณ 10% และ 20% ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 %	63
รูปที่ 4.8 เเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้ง ท้าวขายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าที่ปริมาณ 10% และมีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช, 50-100 เมช และน้อยกว่า 100 เมช ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 %	65
รูปที่ 4.9 เเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้ง ท้าวขายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าที่ปริมาณ 20% และมีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช, 50-100 เมช และน้อยกว่า 100 เมช ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 %	65
รูปที่ 4.10 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด <100 เมช ที่ปริมาณต่างๆ (ก) แรงดึง ณ จุดแรงดึงสูงสุด และความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด	68

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.11 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด 50-100 เมช ที่ปริมาณต่างๆ (ก) แรงดึง ณ จุดแรงดึงสูงสุด และความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด	69
รูปที่ 4.12 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด >50 เมช ที่ปริมาณต่างๆ (ก) แรงดึง ณ จุดแรงดึงสูงสุด และความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด	70
รูปที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด <100 เมช 50-100 เมช และ >50 เมช ปริมาณ 10% (ก) แรงดึง ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด	71
รูปที่ 4.14 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด <100 เมช 50-100 เมช และ >50 เมช ปริมาณ 20% (ก) แรงดึง ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด	72

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.15	
เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมและ เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย ซีลีเนียมจากไม้มะค่า โดยใช้อุณหภูมิของซีลีเนียม (<100 เมช) ที่ปริมาณต่างกัน (ก) TGA และ (ข) DTG	76
รูปที่ 4.16	
เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมและ เทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วย ซีลีเนียมจากไม้มะค่า โดยใช้อุณหภูมิซีลีเนียมต่างกัน ปริมาณเท่ากัน (20%) (ก) TGA และ (ข) DTG	78
รูปที่ 4.17	
สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด <100 เมช ปริมาณ 10% และ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) มอดุลัส	81
รูปที่ 4.18	
สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด 50-100 เมช ปริมาณ 10% และ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) มอดุลัส	82

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.19 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด >50 เมช ปริมาณ 10% และ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) มอดุลัส	83
รูปที่ 4.20 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด >50, 50-100 และ <100 เมช ปริมาณ 10% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกล หลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึง สูงสุด และ (จ) มอดุลัส	84
รูปที่ 4.21 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด >50, 50-100 และ <100 เมช ปริมาณ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกล หลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึง สูงสุด และ (จ) มอดุลัส	85
รูปที่ ค.1 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซับน้ำกลั่นจากบรรยากาศอิมิตัวที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งทำวยายม่อมที่มีการปรับปรุง สมบัติด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าในอัตราส่วนต่างๆ	102

คำย่อและสัญลักษณ์

ASTM	วิธีการทดสอบมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials)
°C	องศาเซลเซียส
cm ²	ตารางเซนติเมตร
DP	Degree of Polymerization
DSC	Differential Scanning Calorimeter
DTG	Differential Thermal Analysis
FTIR	Fourier Transform Infrared spectroscopy
kg	กิโลกรัม
kN	กิโลนิวตัน
kPa	กิโลปาสกาล
LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
µm	ไมโครเมตร
mm	มิลลิเมตร
MPa	เมกะปาสกาล
N	นิวตัน
N ₂	ไนโตรเจน
PLA	พอลิแลคติกแอซิด
PS	พอลิสไตรีน
psi	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (per square inch)
RVU	Rapid Visco Unit

SD	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
SEM	Scanning Electron Microscope
T_d	อุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature)
TGA	Termogravimetric Analysis
TPAS	เทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวายม่อม (Thermoplastic Arrowroot starch)
TPS	เทอร์โมพลาสติกสตา์ช (Thermoplastic starch)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันนี้มีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติกกันมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ง่าย น้ำหนักเบาและราคาถูก จึงมีการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกกันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก และทำให้ภาวะโลกร้อนรุนแรงมากขึ้น ซึ่งนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมหนึ่งของประเทศไทย อาจเป็นเพราะขยะพลาสติกถูกทิ้งปะปนกับขยะจำพวกอื่น เมื่อนำไปฝังกลบต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย โดยเฉพาะขยะที่เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก และถ้าหากนำขยะพลาสติกไปเผา จะทำให้เกิดมลพิษในอากาศแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพของประชาชนตามมา [1] ดังนั้นจึงได้มีการตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว ทำให้มีการคิดค้นและพัฒนาพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลาอันสั้น

การใช้พลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพแทนที่พลาสติกสังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้จะสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ โดยพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable resources) ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ และสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน โดยพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพนั้นจะมีสมบัติในการใช้งานได้เทียบเท่าพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแบบดั้งเดิม (Commodity plastics) และสามารถทดแทนการใช้งานที่มีอยู่ได้ [2] แป้งจึงจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาผลิตพลาสติกย่อย-สลายทางชีวภาพ เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้เองและมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองมาจากเซลลูโลส หาง่าย ราคาถูก และสามารถขึ้นรูปในแม่พิมพ์ได้ [3]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) เป็นวัสดุที่เตรียมได้จากแป้งผสมพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งสามารถไหลและขึ้นรูปได้เมื่อผ่านความร้อน ความดัน และแรงเฉือนที่สูง เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจัดเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

แต่เทอร์โมพลาสติกสตาโรลยังมีข้อจำกัดสำหรับการใช้งาน คือ มีสมบัติเชิงกลต่ำและดูดซึมน้ำสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการปรับปรุงข้อเสียของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ซึ่งเตรียมจากแป้งท้าวยายม่อม โดยการเสริมแรงด้วยขี้เลื่อย (Sawdust) โดยเลือกขี้เลื่อยที่เตรียมจากไม้มะค่า

ท้าวยายม่อม (หัว) ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Tacca leontopetaloides* (L.) Kuntze มีชื่อเรียกตามภาคต่างๆ อาทิเช่น ไม้เท้าฤๅษี (ภาคกลาง) สิงโตคำ (กรุงเทพฯ) บุกรอ (ตราด) เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี มีหัวเป็นแป้งลักษณะแป้งที่ได้เป็นเม็ดสีเหลืองเล็กๆ ลื่น สีขาวเป็นเงา [4]

ไม้มะค่า มีชื่อวิทยาศาสตร์ : *Azalia xylocarpa* (Kurz) Craib เป็นต้นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ขึ้นประปรายในป่าแดงและป่าเบญจพรรณ ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็ง และเนื้อไม้มีสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลแก่ เลื่อยทิ้งไว้นานสีจะเข้มขึ้น มีลายเรียบเนียน แข็งแรงทนทานมาก ผุพังยาก ทนต่อปลวกและเชื้อรา เป็นไม้ที่เนื้อแข็งมาก [5]

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น รายงานที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อม (Arrowroot starch) ยังมีน้อย ลักษณะทางกายภาพของแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะเม็ดเล็ก ๆ สีขาวเป็นเงา เวลาใช้ต้องบดให้ละเอียดเป็นผง เมื่อทำให้สุกจะขึ้นเหนียวหนืดและใส เมื่อทำให้เย็นจะเหนียวตัว ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่างๆได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อม โดยนำมาผสมกับขี้เลื่อยจากไม้มะค่าซึ่งจะทำการศึกษาดังปริมาณและขนาดของอนุภาคขี้เลื่อยในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) และขึ้นรูปโดยกระบวนการกดอัด (Compression molding) จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซึมน้ำ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและสมบัติการย่อยสลายซึ่งคาดว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำมาใช้งานต่างๆ เช่น กระจาดต้นไม้ กล่องใส่เอกสาร ตะกร้า ชั้นใส่เอกสาร แฟ้ม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวายม่อม(Thermoplastic arrowroot starch) โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) และซีลีออยไม้มะค่าเป็นส่วนเสริมแรง โดยกระบวนการกดอัด
- 1.2.2 เพื่อทดสอบสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวายม่อมที่ปรับปรุงโดยใช้ซีลีออยไม้มะค่า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวายม่อมและกลีเซอรอล
- 1.3.2 ศึกษาหาปริมาณและขนาดอนุภาคของซีลีออยไม้มะค่าที่เหมาะสมที่ทำให้สมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่เตรียมได้ดีขึ้น
- 1.3.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน การดูดซับน้ำ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และสมบัติการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตา์ชที่เตรียมได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากเทอร์โมพลาสติกสตา์ชจากแป้งท้าวายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้ซีลีออยไม้มะค่า
- 1.4.2 ช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมในยุคปัจจุบันรวมถึงอนาคตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [6]

ในอนาคตมีแนวโน้มการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุเช่น มีการค้นพบและพัฒนากระบวนการผลิตใหม่ๆทำให้พลาสติกมีราคาต่ำลงและมีสมบัติต่างๆ ดีขึ้น มีกฎข้อบังคับรวมถึงการที่มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะที่สูงขึ้นทำให้บริษัทต่างๆทำการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ที่มีสมบัติที่หลากหลายแตกต่างกันบางครั้งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไม่เกิดการย่อยสลายผ่านกระบวนการทางชีวภาพอย่างแท้จริงเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวปัจจุบันจึงมีหลายองค์กรทั่วโลกได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastics) ขึ้นและให้คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งมีความแตกต่างกันเล็กน้อยไว้ดังนี้

- ASTM D6400-99 – biodegradable plastic is a degradable plastic in which the degradation results from the action of naturally occurring microorganisms such as bacteria, fungi and algae.

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือพลาสติกที่ย่อยสลายได้เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติเช่นแบคทีเรีย ราและสาหร่าย

- ISO 472:1998 – Biodegradable plastics are plastic designed to undergo a significant change in its chemical structure under specific environmental conditions resulting in a loss of some properties that may vary as measured by standard test methods appropriate to the plastics and application in a period of time that determines its classification.

The change in chemical structure results from the action of naturally occurring microorganisms.

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือพลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะเป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่างๆของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกและการใช้งานผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็น

เกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น

- BPS Japan (1994) – Biodegradable plastics are polymeric materials which are changed into lower molecular weight compounds where at least one step in the degradation process is through metabolism in the presence of naturally occurring organism.

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือวัสดุพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลงได้โดยมีอย่างน้อย 1 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

- DIN FNK103.2 (1993) – A plastic materials is called biodegradable if all its organic compounds undergo a complete biodegradation process Environmental condition and rates of biodegradation are to be determined by standardized test methods.

วัสดุพลาสติกจะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมและมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน

- CEN (1993) – A degradable material in which the degradation results from the action of microorganisms and ultimately materials is converted to water, carbon dioxide and/or methane and a new cell biomass.

วัสดุย่อยสลายได้ คือ วัสดุที่การย่อยสลายเป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ หรือแก๊สมีเทนและมวลชีวภาพใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย

สำหรับคำว่า Biodegradation (หรือการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ)ย่อมาจาก Biotic degradation ในมาตรฐานต่างๆมีคำจำกัดความที่ใช้พื้นฐานแนวคิดเดียวกัน คือเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีต่อชิ้นวัสดุเป็นผลให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สมีเทนและน้ำ

2.1.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. **การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation)** การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรงแตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้างเมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียรจึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะกองคอมโพสท์หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีดินหรือแมลงรบกวนพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิวเนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง
2. **การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation)** โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ
3. **การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation)** การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติกเป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงใน โมเลกุลของพอลิ-เมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็วแต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอสเตทเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนดโดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชันซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. **การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation)** การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์พอลิเอโนไฮดรอกไซด์ พอลิคาร์บอเนต และ พอลิยูรีเทนผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอสคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมีสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส
5. **การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)** การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอนเนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบและแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำเกลือแร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

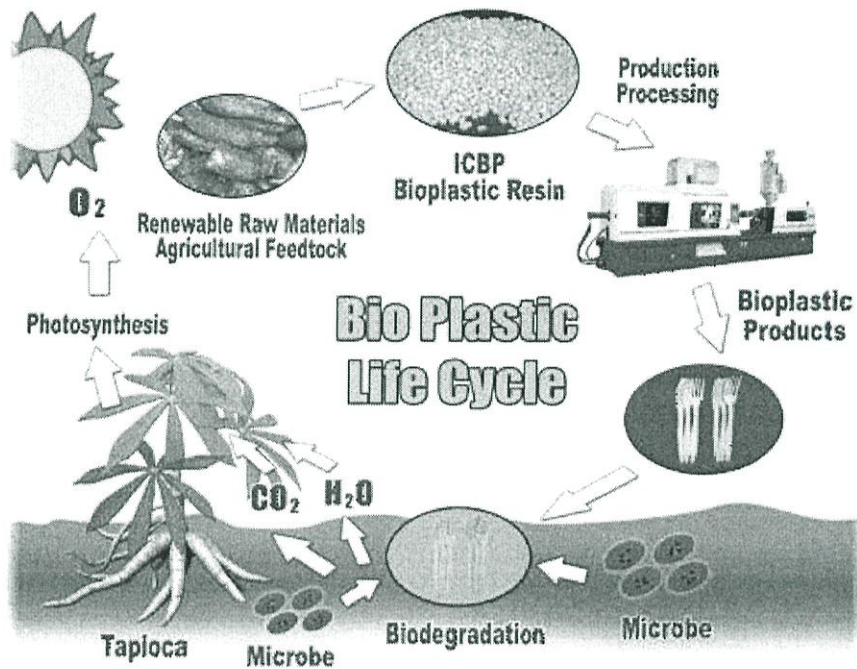
*มวลชีวภาพหมายถึงมวลรวมของสสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการดำรงชีวิตและเติบโตของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมถึงพืชสัตว์และจุลินทรีย์

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่าพลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสง จากดวงอาทิตย์แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีกลายเป็นสารที่ถูกดูดซึมและย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ได้แก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายโดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อมและคำว่า พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือพลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึงพลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลงและส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

2.1.2 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [7]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นตัวแทนวัสดุประเภทใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติการใช้งานเหมือนพลาสติกทั่วไป แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพหรือถูกหมักเป็นปุ๋ยได้ในสภาวะที่เหมาะสม การพัฒนาการของระบบในธรรมชาตินั้นเริ่มจากมวลชีวภาพหลายพันล้านตันถูกผลิตขึ้น โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชตามธรรมชาติซึ่งมวลชีวภาพจำนวนที่เท่ากันนี้ถูกย่อยสลายกลับสู่ธรรมชาติกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำรวมทั้งมวลชีวภาพและแร่ธาตุ การเกิดขึ้นในวัฏจักรนี้ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ซึ่งวัฏจักรของธรรมชาตินี้มีเกิดขึ้นและย่อยสลายไปอย่างครบวงจรโดยไม่จำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดขยะเข้ามาเกี่ยวข้อง พร้อมทั้งไม่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและไม่มีค่าใช้จ่ายสูงวัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีจุดประสงค์ที่จะเลียนแบบวงจรการย่อยสลายของธรรมชาติหลังจากผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพถูกนำไปใช้งานโดยผู้บริโภคและถูกนำไปกำจัดโดยการย่อยเป็นปุ๋ยเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกนำไปใช้ใน

กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ซึ่งวัฏจักรนี้ทำให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้เป็นการใช้ทรัพยากรแบบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมภายใต้ทรัพยากรที่ปลูกทดแทนได้



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [8]

2.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ [7]

1. การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์เช่น ผิวน้ำแข็งเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยอย่างช้าๆภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรูและแผ่นคานกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้นทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2. สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาษ สำหรับห่อแฮมเบอร์เกอร์หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

3. फिल्मคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิดเช่น มะเขือเทศซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งานเนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มนอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญเช่น ด้วง ปูย สารเคมีสำหรับการเกษตรวัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทรายรวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

4. ถุงสำหรับใส่ของ

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบันส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขณะในปริมาณสูงและยังไม่ได้ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาดรวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจพลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

5. ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ใส่ขยะเศษอาหารเหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศเนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆทำให้เกิดความสะดวกไม่ต้องแยกทิ้งปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมากตัวอย่างเช่นในหลายเมืองของประเทศอิตาลีได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ.1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรปทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปีถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

6. บรรจุก๊าซเพื่อการบริโภค

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือการใช้งานด้านบรรจุก๊าซซึ่งตามปกติการใช้บรรจุก๊าซอาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากการปนเปื้อนสูงทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุก๊าซสำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วนจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุก๊าซลงได้

7. โฟมเม็ดกันกระแทก

โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้ามีข้อดีคือมีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิงแต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูงในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมากแม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนักปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้นทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

2.3 แบ่งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร [9]

ในอดีตหากกล่าวถึงแป้งคนส่วนใหญ่คงคิดถึงผลิตภัณฑ์จากอาหารนานาชนิดที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว พาสต้าขนมปัง ขนมอบประเภทเบเกอรี่ต่างๆเหมือนว่าแป้งจะเป็นส่วนประกอบที่สมบูรณ์แบบสำหรับอาหารหลายๆประเภทอย่างไรก็ดียังมีการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกันกับอาหารอีกด้วย เช่น ใช้ทำกาว (Adhesive) หรือเป็นสารเชื่อมประสานสำหรับสารเคลือบกระดาษ (Coating binder) ในอุตสาหกรรมผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกและอุตสาหกรรมกระดาษใช้เป็นสารเคลือบเส้นด้ายในอุตสาหกรรมสิ่งทอใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) หรือเป็นสารช่วยแตกตัว (Disintegrant) ในอุตสาหกรรมยาในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความรวดเร็วไปอย่างรวดเร็ว นวัตกรรมทางด้านแป้งเกิดขึ้นอย่างมากมายการประยุกต์ใช้แป้งในอุตสาหกรรมที่แปลกใหม่ที่เราอาจไม่เคยคาดคิดมาก่อนในปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงขับเคลื่อนรถยนต์ที่ผลิตจากแป้ง (แก๊สโซฮอลล์) ไฮโดรเจลหรือเจลที่สามารถดูดซับน้ำได้อย่างมหาศาล (Superabsorbable gel) ที่ผลิตจากแป้งหรือแม้กระทั่งพลาสติกที่ผลิตจากแป้ง

2.3.1 ความเป็นมา

งานวิจัยเพื่อพัฒนาการนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ(Biodegradable plastics) เกิดขึ้นครั้งแรกในราว 40 ปีที่แล้ว (ในช่วงต้นทศวรรษ 1970's) ซึ่งในระยะแรกงานวิจัยด้านนี้ยังไม่ได้รับความสนใจมากนักอย่างไรก็ดีด้วยภาวะโลกร้อนและปัญหามลพิษเกี่ยวกับภาวะการขาดแคลนเชื้อเพลิงและวัตถุดิบจากแหล่งปิโตรเคมีที่เกิดขึ้นในโลกขณะนี้ทำให้ระยะหลังงานวิจัยในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ได้รับความสนใจและมีความก้าวหน้าอย่างมากทั้งในแง่ของการวิจัยด้านเทคโนโลยีการผลิตและการพัฒนาด้านการตลาดซึ่งถึงแม้จะมีราคาที่แพงกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปอย่างมาก แต่เนื่องจากความตื่นตัวของผู้บริโภคที่มีต่อสิ่งแวดล้อมการยอมรับของผู้บริโภคต่อพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพจึงมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเรื่อยๆซึ่งพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพนั้นหมายถึงพลาสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความแข็งแรง ทนทานและสมบัติการใช้ประโยชน์ที่ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป(Conventional plastics) แต่มีโครงสร้างทางเคมีที่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยน้ำย่อย (Enzymes) จากเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติดังนั้นเมื่อสิ้นอายุการใช้งานของพลาสติกแล้วถ้า

อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ในกองปุ๋ยหมักก็จะถูกย่อยสลายกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และวัตถุดิบที่รีไซเคิลคืนสู่ธรรมชาติโดยไม่ทิ้งสารพิษใดๆที่จะเป็นภาระต่อสิ่งแวดล้อมในภายหลัง

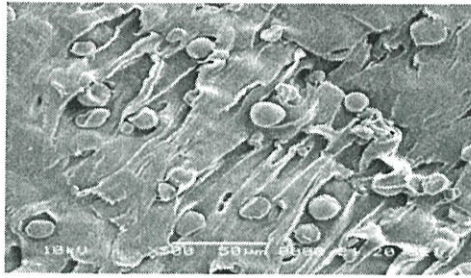
ถึงแม้ว่าพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพอาจผลิตได้จากวัตถุดิบกลุ่มปิโตรเคมี (Petroleum-based resource) แต่งานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการพัฒนาการผลิตจากวัตถุดิบชีวมวลจากธรรมชาติ (Bio-based materials) เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ (Renewable) และถือเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าในบรรดาชีวมวลจากธรรมชาติทั้งหลายแป็งจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงและได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีปริมาณมาก หาง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้

2.3.2 พลาสติกสลายได้ทางชีวภาพจากแป้ง

แป้งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด ได้แก่อะไมโลสและอะไมโลเพกทินในธรรมชาติโมเลกุลแป้งจะมีการจัดเรียงตัวเกิดเป็นโครงสร้างกิ่งผลึกที่เป็นระเบียบในแกรนูลแป้ง (Starch granule) โครงสร้างระดับแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมากสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงถึง 220 องศาเซลเซียส แนวทางการนำแป้งมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การใช้แป้งเป็นฟิลเลอร์ (filler) หรือสารตัวเติมในพลาสติก

การใช้แป้งในลักษณะนี้จะเป็นการผสมแป้งเข้ากับพลาสติกในเครื่องอัดรีด (Extruder) ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเนื้อพลาสติกที่มีเม็ดแป้งกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 2.2) การผสมแป้งกับพลาสติกในลักษณะนี้จะเติมแป้งลงไปได้ในปริมาณไม่มากนัก โดยเฉพาะการผลิตฟิล์มบางมักจะผสมแป้งได้ไม่เกิน 10% ในช่วงแรกการผสมแป้งในพลาสติกส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ของพลาสติกผสม อย่างไรก็ตามการผลิตพลาสติกที่ผลิตขึ้นจะย่อยสลายได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกับแป้งด้วยหากเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายไม่ได้ เช่น พอลิเอทิลีนพลาสติกผสมที่ผลิตได้จะเกิดการย่อยสลายเฉพาะในส่วนของแป้งเท่านั้นแต่แป้งไม่ได้ช่วยให้พอลิเอทิลีนเกิดการย่อยสลายได้แต่อย่างใด

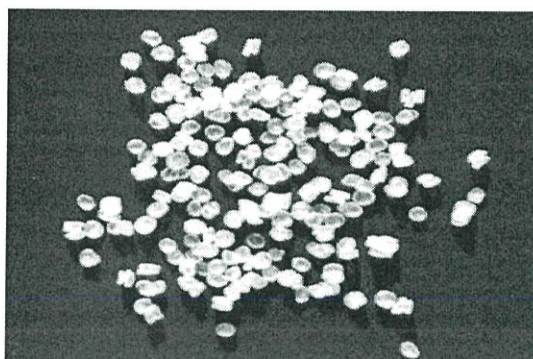


รูปที่ 2.2 ลักษณะของแกรนูลแป้งที่ใช้เป็นสารตัวเติม หรือ Filler ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพลาสติก [9]

เนื่องจากแป้งเป็นสารที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) แต่พลาสติกส่วนใหญ่เป็นสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สารทั้งสองชนิดจึงผสมเข้ากันได้ไม่ค่อยดี ดังนั้นแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างพลาสติกกับแกรนูลแป้งจึงมีค่าต่ำทำให้พลาสติกผสมที่ได้มีความแข็งแรงและสมบัติเชิงกลต่ำด้วยแนวทางการแก้ปัญหานี้อาจทำได้โดยการคัดแปรโครงสร้างแป้งให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้น หรืออาจใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เติมลงไป ในระหว่างกระบวนการหลอมผสมนอกจากนี้การผลิตฟิล์มบางยังถือเป็นอีกข้อจำกัดของวิธีนี้ เนื่องจากแกรนูลแป้งโดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 5-100 ไมโครเมตร (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) ดังนั้นการผลิตฟิล์มที่มีความหนาน้อยกว่าขนาดแกรนูลแป้งจึงเป็นไปได้ยาก

2. การผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch)

เทอร์โมพลาสติกหมายถึงพอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อนแต่เมื่อทำให้เย็นลงจะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้พลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ภาชนะและชิ้นส่วนรูปทรงต่างๆ ได้การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกมีข้อจำกัดคือโครงสร้างผลึกในแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก แกรนูลแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกจึงไม่สามารถหลอมละลายได้ หากเราให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้นแทนที่จะหลอมเหลว แกรนูลแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลายอย่างไรก็ดีหากมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่เรียกว่า Plasticizer จะช่วยทำให้แกรนูลแป้งเกิดการหลอมละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกล (Mechanical energy) ได้สารที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch หรือเรียกย่อว่า TPS) เม็ดพลาสติก TPS (รูปที่ 2.3) ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมือและกระบวนการผลิตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพลาสติกทั่วไป เช่น เครื่องอัดรีด เครื่องฉีด และเครื่องเป่าฟิล์ม เป็นต้น

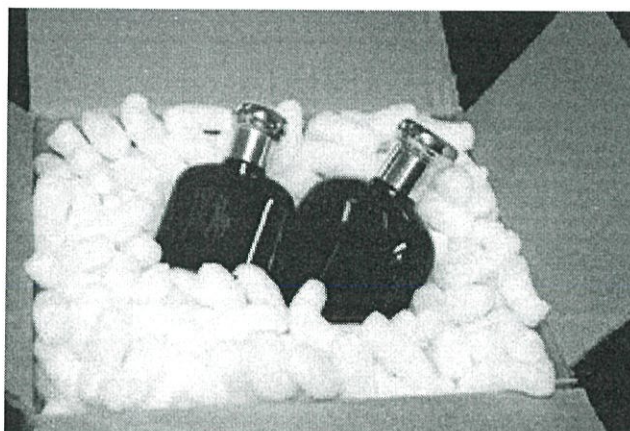


รูปที่ 2.3 เม็ดพลาสติกผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช(Thermoplastic starch หรือ TPS) [9]

ถึงแม้ว่าจะทำหน้าที่เป็น Plasticizer ของแป้งได้ดี แต่เนื่องจากน้ำระเหยได้ง่ายทำให้พลาสติกที่ได้มีลักษณะเปราะจึงไม่นิยมใช้น้ำในการผลิต TPS สารที่นิยมใช้เป็น Plasticizer ในการผลิต TPS ได้แก่ กลีเซอรอลเนื่องจาก TPS สามารถหลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อนและแรงกลที่เหมาะสม จึงสามารถใช้ TPS เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตพลาสติก อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจาก TPS มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ คือมีสมบัติเชิงกลต่ำ (Poor mechanical properties) และไม่ทนน้ำงานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งสองด้านของ TPS ให้ดีขึ้น ซึ่งแนวทางที่นิยมได้แก่การตัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วยกระบวนการทางเคมีและการผสม TPS กับพลาสติกสังเคราะห์ชนิดอื่นๆบริษัทที่เป็นผู้นำในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้จากแป้งที่สำคัญได้แก่บริษัท Novamont (Italy), Biotec (Germany), Rodenburg (Netherlands) เป็นต้น

3. โฟมจากแป้ง (Starch-based foams)

โฟมจากแป้งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนโฟมที่ผลิตจาก Polystyrene ซึ่งใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมหลายชนิด เช่น เม็ดโฟมกันกระแทก (Losse-fill) ถาดหรือจานโฟม และผลิตภัณฑ์โฟมอื่นๆ โฟมที่ผลิตจากแป้งนอกจากจะสามารถย่อยสลายได้แล้วยังมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เพียงน้ำเป็นสารช่วยให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างโฟม (Blowing agent) เนื่องจากองค์ประกอบหลักคือแป้งทำให้โฟมที่ผลิตได้ไม่ทนน้ำและยังมีสมบัติบางประการที่ดีกว่าโฟมจาก Polystyrene การนำพลาสติกที่ย่อยสลายได้ชนิดอื่น เช่น Polyvinyl alcohol, Polycaprolactone และ Polylactic acid มาผสมกับแป้งเป็นแนวทางที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้ง



รูปที่ 2.4 เม็ดโฟมกันกระแทกที่ผลิตจากแป้ง ใช้เพื่อป้องกันการแตกหักของสินค้าที่บรรจุในกล่อง ระหว่างการขนส่ง [9]

อาจกล่าวได้ว่าเม็ดโฟมกันกระแทกจากแป้ง (รูปที่ 2.4) เป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มแรกของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ประสบความสำเร็จทางการตลาดและได้รับการตอบรับจากผู้บริโภคเป็นอย่างดีโดย Messias de Braganca and Fowler (2004) ได้รายงานไว้ว่าในประเทศอเมริกาประมาณ 25% ของโฟมที่ผลิตจาก Polystyrene ถูกแทนที่ด้วยโฟมจากแป้ง ในขณะที่ในประเทศอังกฤษเม็ดโฟมกันกระแทกจากแป้งมีส่วนแบ่งทางการตลาดประมาณ 20% นอกจากนี้สัดส่วนทางการตลาดของโฟมแป้งจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะเมื่อมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงสมบัติของโฟมแป้งให้ดีขึ้นตัวอย่างของโฟมแป้งที่มีการผลิตทางการค้า เช่น ECO-FOAM จากบริษัท National Starch and Chemical (USA), Green Cell Foam จากบริษัท KTM Industries, Inc. (USA) และ EcoFlo จากบริษัท Green Light Products Ltd. (UK) เป็นต้น

4. การใช้แป้งเป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการหมัก (Starch as feed stock for fermentation process)

เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสจึงเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับกระบวนการหมักเพื่อผลิตสารหลายชนิด เช่น แอลกอฮอล์เอลดีไฮด์ เอสเทอร์ และกรด เป็นต้นในบรรดาสารต่างๆ ที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแป้งกรดแลคติกได้รับความสนใจและมีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ เนื่องจากกรดแลคติกเป็นมอนอเมอร์สำหรับใช้ในการผลิต Polylactic acid หรือที่เรียกย่อว่า PLA ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายทางชีวภาพที่มีศักยภาพสูงและมีการวิจัยและพัฒนามากที่สุดตัวหนึ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาทำให้มีความก้าวหน้าทางด้าน

เทคโนโลยีอย่างรวดเร็วจนในปัจจุบันมีการผลิต PLA ในระดับอุตสาหกรรมแพร่หลายมากขึ้น โดยผู้นำทางการผลิต PLA ที่ใหญ่ที่สุดในโลกได้แก่ NatureWorks LLC (USA) ซึ่งทำการผลิต PLA จากแป้งข้าวโพด PLA เป็นพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไป สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด เช่น ถุงภาชนะบรรจุอาหารแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งฟิล์มสำหรับห่ออาหารของเล่นและอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วนในรถยนต์ด้วยการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ PLA เป็นพลาสติกทางเลือกที่มีบทบาทสำคัญในการทดแทนพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ดังนั้นจึงคาดการณ์ได้ว่าปริมาณความต้องการใช้ PLA น่าจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งย่อมส่งผลให้มีความต้องการใช้แป้งเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิต PLA มากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสลาย [10]

2.4.1 การวิเคราะห์สมดุลคาร์บอน

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ จะได้พอลิเมอร์คาร์บอนที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ (Soluble) ในรูปจุลินทรีย์ (Microbial) และในสถานะก๊าซ ซึ่งสามารถคำนวณพอลิเมอร์ทั้งหมดที่ถูกย่อยสลายได้จากการเพิ่มปริมาณคาร์บอนในสถานะดังกล่าว ปริมาณคาร์บอนสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณหาหน้าหนักแห้ง สมดุลของคาร์บอนที่ถูกย่อยสลายสามารถแสดงได้ดังนี้

$$C_d = C_g + C_s + C_m$$

เมื่อ C_g คือ คาร์บอนในสถานะก๊าซ

C_s คือ คาร์บอนที่ละลายได้

C_m คือ คาร์บอนในรูปจุลินทรีย์

ดังนั้นร้อยละการย่อยสลายได้ของพอลิเมอร์ (%f) สามารถคำนวณได้จาก

$$\%f = \frac{C_d}{C_i} \times 100$$

เมื่อ C_i คือ คาร์บอนเริ่มต้นในพอลิเมอร์ก่อนการย่อยสลาย

2.4.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักที่หายไป

ในการย่อยสลายพอลิเมอร์จะเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียมวล หรือ เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ธาตุ (Mineralization) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงน้ำหนักพอลิเมอร์ที่หายไป ทำให้ทราบถึงระดับการถูกย่อยสลายของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งในปริมาณสูงจะถูกย่อยสลายได้เร็วกว่าพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแป้งในปริมาณต่ำนอกจากนี้วัสดุที่ประกอบด้วยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถถูกย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน

2.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะจากกล้องจุลทรรศน์

ก. การใช้กล้องจุลทรรศน์

เมื่อสังเกตพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง ที่ฝังดินเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนที่จะล้าง นำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบเส้นใยของเชื้อราเจริญอยู่บนพอลิเมอร์และเมื่อนำมาล้างและสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบรูเล็กๆในพอลิเมอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากพอลิเมอร์ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

ข. การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

SEM ใช้ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวโดยใช้กำลังขยายที่สูงมาก โดยจะได้ภาพในลักษณะสามมิติ ซึ่งจะพบว่า พอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนกับแป้งทิ้งไว้ในดิน มีสีที่เปลี่ยนแปลงไปและมีขนาดเล็กลง เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในส่วนที่เป็นแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นพอลิเมอร์มีจุดดำและเป็นทางสีขาว ซึ่งแสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายเหลือเพียงส่วนของพอลิเอทิลีน นอกจากนี้การใช้ SEM ที่มีกำลังขยายสูงยังสามารถแสดงถึงการสร้างโคโลนีของจุลินทรีย์บนพอลิเมอร์ เมื่อนำพอลิเมอร์ที่ฝังดินไว้ 6 เดือนมาตรวจสอบปริมาณไนโตรเจน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากกรดอะมิโนของจุลินทรีย์ที่ตายอยู่บนพอลิเมอร์ นั่นคือ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและสร้างโคโลนีบนพอลิเมอร์ และย่อยสลายส่วนที่เป็นแป้งบนพอลิเมอร์โดยจะย่อยสลายพอลิเอทิลีนเพียงเล็กน้อยหรือไม่ย่อยสลายเลย

2.4.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด (Infrared spectroscopy) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะทางเคมีของวัสดุพอลิเมอร์ ปฏิกริยาส่วนแสงอินฟราเรดของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในพอลิเมอร์จะทำให้เกิดการดูดซับความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าว ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมในโมเลกุล ความหนาแน่นของการดูดซับและความยาวคลื่นจะทำให้เกิดแถบสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะของแถบที่เฉพาะตัว ไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทั้งหมดของพอลิเมอร์

สเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่หายไปในระหว่างการย่อยสลายพอลิเมอร์ นอกจากนี้จุดอินทรีย์ย่อยสลายแป้งจะเกิดรูที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์ที่รูเหล่านี้จะมีคาร์บอน ไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากสเปกโทรสโกปีชนิดแสงอินฟราเรด

2.4.5 การวิเคราะห์ด้วยความร้อน

วิธีวิเคราะห์ด้วยความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์จุดหลอมเหลวผลึก โดย Differential Thermal Analysis (DTA) หรือ Differential Scanning Calorimeter (DSC) การวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียโดยใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA)

- การศึกษาโดยใช้ DSC พบว่าในระหว่างการย่อยสลาย ลักษณะสัณฐานของพอลิเมอร์จะลดลง โดยที่ส่วนอสัณฐานของพอลิเอทิลีนจะถูกย่อยด้วยจุดอินทรีย์ได้มากกว่าส่วนที่เป็นผลึก
- การศึกษาโดยใช้ TGA เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ใช้การศึกษาการย่อยสลายแป้งในพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้ง โดยใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งก่อนและหลังการย่อยสลาย

2.4.6 การทดสอบโดยการฝังดิน

การทดสอบจะต้องตัดวัสดุที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายๆตัวอย่าง ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อครบกำหนดทุกเดือนให้ขุดตัวอย่างออกมามาดูการทดลองใช้เวลาประมาณ 7 เดือนการเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากตัวอย่างจะกระจายไปกับดินทำการเปรียบเทียบเศษวัสดุที่เหลือเมื่อเวลาต่างๆ

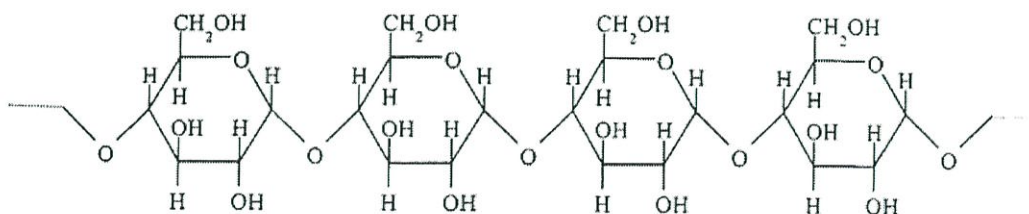
2.5 แป้ง (Starch) [10]

2.5.1 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัวคืออะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพกตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมายนอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสเล็กกว่าอะไมโลเพกตินเรียกว่า "Intermediate material" แต่พบในปริมาณไม่มากนัก

2.5.1.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 4 -glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.6 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย



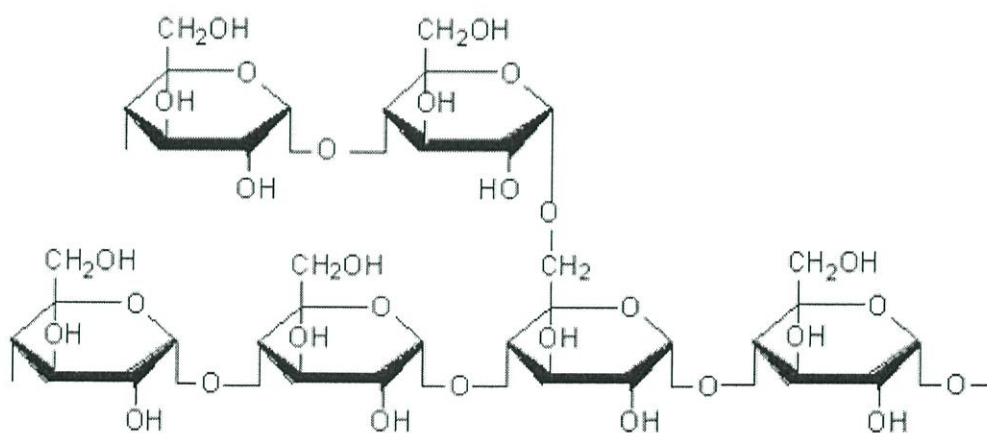
อะไมโลส

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะไมโลส [11]

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืชเช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูง ประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัวเช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาธจะมี ปริมาณ อะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วง18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 คาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไปเนื่องจากแป้งแต่ละ ชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสแตกต่างกันแป้งมันฝรั่งและแป้งมัน สำปะหลังมี DP ของ อะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการ เกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง

2.5.1.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกัน ด้วย พันธะ α -1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [12]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วย กลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะ ไมโลสคือ ประมาณ 107 ถึง 109 คาลตัน และมีการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะ

โครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้งดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้

2.5.1.3 สารตัวกลาง

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะไมโลเพคตินทั้งหมด แต่ใหญ่กว่าอะไมโลสและสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่ง เช่นเดียวกับอะไมโลเพคตินแต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า ปริมาณสัดส่วนของอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินและสารตัวกลางในเม็ดแป้งไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูก และปริมาณน้ำในการเพาะปลูก เป็นต้น

2.5.1.4 ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง

แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particular material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ทำลายแป้ง
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal component) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันจากแป้งในธัญพืช และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

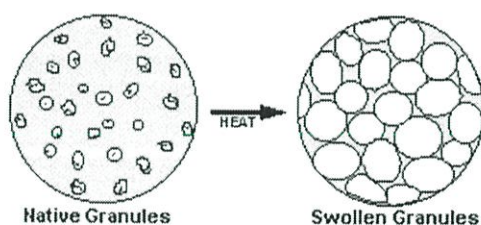
2.5.1.5 ความชื้น (Moisture)

ปริมาณความชื้นของแป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity; RH) ของอากาศ ขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วยถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งภายใต้สภาวะอากาศปกติแป้งโดยทั่วไปจะมีความชื้น 10-20% (w/w)

2.6 สมบัติของแป้ง [13]

2.6.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน Crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็นส่วนของ Amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมากสามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็นเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปส่วน Amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน Crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลงโมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.7) โมเลกุลในส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้งเมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น

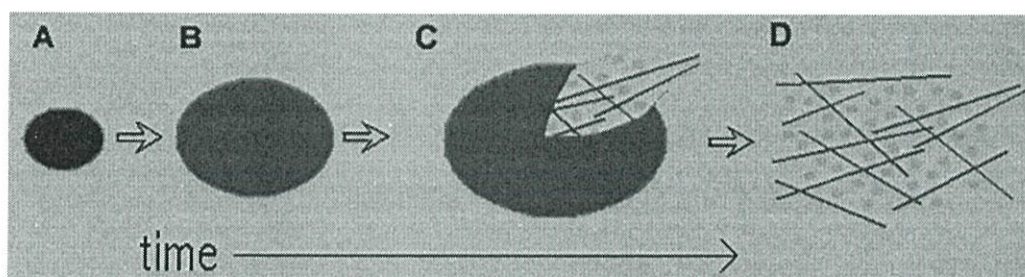


รูปที่ 2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง [14]

2.6.2 กลไกการเกิดเจลาตินในเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่งแต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยากสังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาติน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดั้งเดิมทั้งนี้

เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็น Crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่น แข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็นแต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้างแต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 °C หรือใช้สารเคมีเช่นน้ำให้ความร้อน 60 °C แก่แป้งสาธิตจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน Crystallite ลดลงเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือมีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไปอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้งเนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน Crystallite ที่แตกต่างกันทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ดแม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตามอาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 °C



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [15]

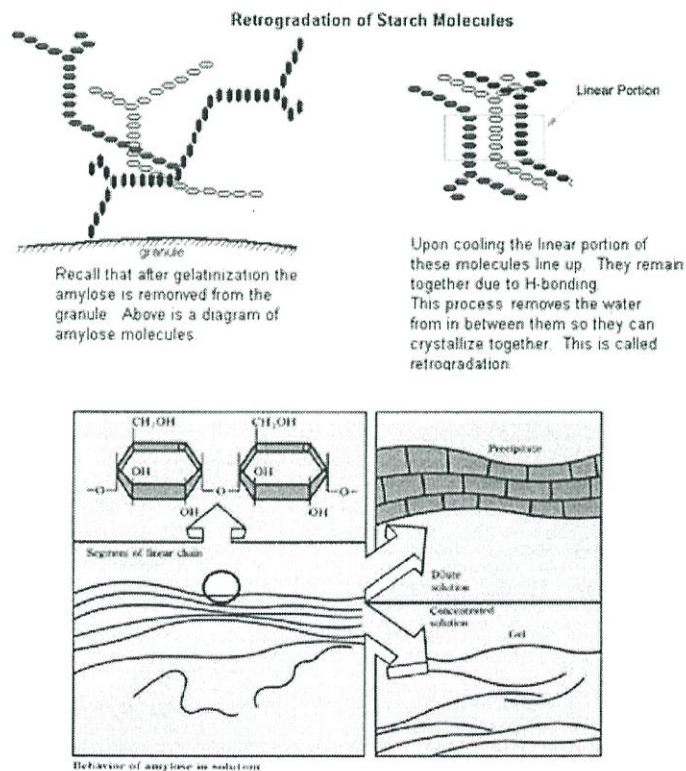
ลำดับการเปลี่ยนแปลงเป็นดังนี้

1. เริ่มมีการพองตัวในส่วนที่เป็นระเบียบน้อยที่สุดคือในส่วน Amorphous
2. การพองตัวจะทำให้เกิด Tension ต่อ Crystallites ที่อยู่ข้างเคียงทำให้โครงสร้างเสียหาย
3. การให้ความร้อนต่อไปจะเกิด Uncoiling หรือการแตกตัวของ Double helical region เกิด Break up ของโครงสร้างผลึก Side chain ของอะไมโลเพคตินที่แยกตัวออกมาจะถูก Hydrate และมีการพองตัวไปในแนวรอบๆ ดังนั้นจะเกิด Stress ต่อโครงสร้างผลึกที่ยังเหลืออยู่
4. การเกิด Hydration ต่อไปจะเพิ่ม Mobility ของโมเลกุลทำให้เกิดการกระจายตัวของโมเลกุล

5. โมเลกุลของอะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กจะแพร่ออกมาจาก Swollen granule
6. การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ Granule แตกออกมากขึ้นจนในที่สุดได้เป็นสารละลาย

2.6.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)[13]

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 2.9) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น Crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาวแต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม



รูปที่ 2.9 การคืนตัวของแป้ง [16]

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูงและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงแตกต่างกันโดยทั่วไปแป้งจากรากหัวมีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืชทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก/หัวเมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเมื่อด่างแห้งทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่าเมื่อด่างแห้ง โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่ายซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กันหรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมาทำให้เกิดสภาพเป็น Matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงช้าลงเนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะกักที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท Waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสูงน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสูงด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกันคือในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยากและถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

2.7 แป้งท้าวายม่อม [17]

แป้งท้าวายม่อม (Arrowroot starch)(*Maranta arundinacea*) มีชื่อเรียกว่าต้นสาอู เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ Arrowroot ในภาษาพื้นเมืองชื่อว่า Zulu มีพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับ Arrowroot คือ amaranth มีภาษาพื้นเมืองว่า Sagu เนื่องจากพืชสองชนิดมีลักษณะเหมือนกันมาก เป็นไปได้ว่า เราเรียกชื่อ Arrowroot สลับกับ Sagu และไม่เกี่ยวข้องกับลำต้นปาล์มสาอู PalmSagu (MethoxyylonSagu)

ส่วนของต้นท้าวายม่อมส่วนที่เก็บแป้งเป็นส่วนราก และเป็นส่วนที่ขยายพันธุ์ได้ ต้นท้าวายม่อมเป็นพืชล้มลุก อายุ 1 ปี ในฤดูร้อนใบจะแห้ง หุคการเจริญสามารถเก็บเกี่ยวได้ เมื่อฝนตกใหม่จะออกเจริญเติบโตต่อไป ในกระบวนการผลิตแป้งจะเหมือนกับกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง แต่ต้องผ่านกระบวนการล้างมากกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงรสขมจากเปลือกนอกของหัว

เมล็ดแป้งมีขนาด 13-70 ไมครอน ซึ่งใหญ่กว่าเมล็ดแป้งมันสำปะหลัง สามารถสกัดแป้งได้ 25-30% ซึ่งองค์ประกอบเคมีร้อยละน้ำหนักแห้งของแป้งท้าวยายม่อมเป็นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีร้อยละน้ำหนักแห้งของแป้งท้าวยายม่อม [17]

องค์ประกอบ	ปริมาณ(ร้อยละ)
ไขมัน	0.03
เส้นใยหยาบ	0.41
โปรตีน	0.05
คาร์โบไฮเดรต	99.36
เถ้า	0.15

เนื่องจากการผลิตในระดับอุตสาหกรรมมีในแถบหมู่เกาะ West Indies ส่วนในฟิลิปปินส์ และจีน ยังเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก การแยกแป้งยังใช้วิธีการตกตะกอน และการทำแห้งยังใช้วิธีการตากแดด หรือทำแห้งบนพื้นที่ให้ความร้อน (อังไฟ)

ในประเทศไทยมีการปลูกต้นท้าวยายม่อมกันทั่วไป แต่ยังไม่ใช้พืชหลักและยังไม่มีการผลิตแป้งในระดับอุตสาหกรรมท้องถิ่น มักเรียกกันว่ารากสาकु ลักษณะพิเศษของแป้งท้าวยายม่อมคือ เม็ดแป้งที่ใหญ่และมีความแข็งแรงของเม็ดสูง ทำให้มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ (Pasting temperature) สูง คุณสมบัติของแป้งท้าวยายม่อม แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของแป้งทำขนม [17]

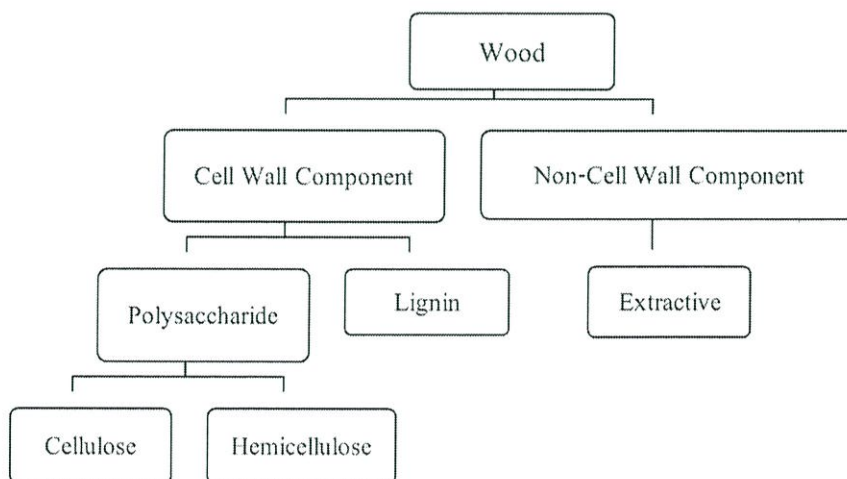
สมบัติ	แป้งทำขนม
ขนาดของเม็ดแป้ง	13-15
ปริมาณอะไมโลส	18
ปริมาณอะไมโลเพกติน	82
ขนาดอะไมโลส	3430
Pasting temperature (องศาเซลเซียส)	76.20

2.8 ไม้และเส้นใยไม้(Wood and woodfiber) [18]

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหารให้ความร้อน และผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ด้วย นอกจากนี้ยังนำไม้มาใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องตกแต่ง ได้อีกมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อให้เกิดเศษไม้ (Wood flake) หรือขี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยไม้

2.8.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้

เนื้อไม้ประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ มากมาย ซึ่งจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยที่สำคัญได้ ดังนี้



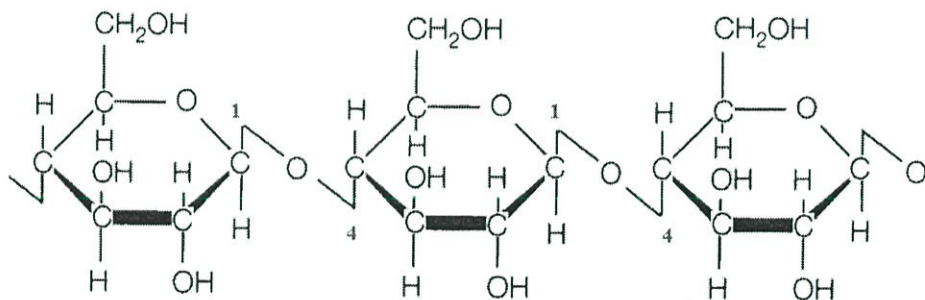
รูปที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ [18]

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน [19]

องค์ประกอบทางเคมี หน่วย : ร้อยละ	ไม้เนื้ออ่อน	ไม้เนื้อแข็ง
เซลลูโลส	45	43
เฮมิเซลลูโลส	20-32	15-35
ลิกนิน	22-37	14-35

เซลลูโลส (Cellulose)

- เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดของเนื้อไม้ คือประมาณ 40% ทั้งในไม้เนื้ออ่อน (Softwood) และไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) มีโครงสร้างอัดกันแน่นเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่ง
- สูตรโครงสร้างทางเคมี ($C_6H_{10}O_5$)_n จะซ้ำกัน 2 ลักษณะ เรียกว่า Cellobiose unit ซึ่งส่วนปลายของทั้งสองข้าง คือ Reducing end group (C1) ส่วนที่ทำปฏิกิริยาได้ง่ายสุด และ Non-Reducing end group (C4) ส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยา



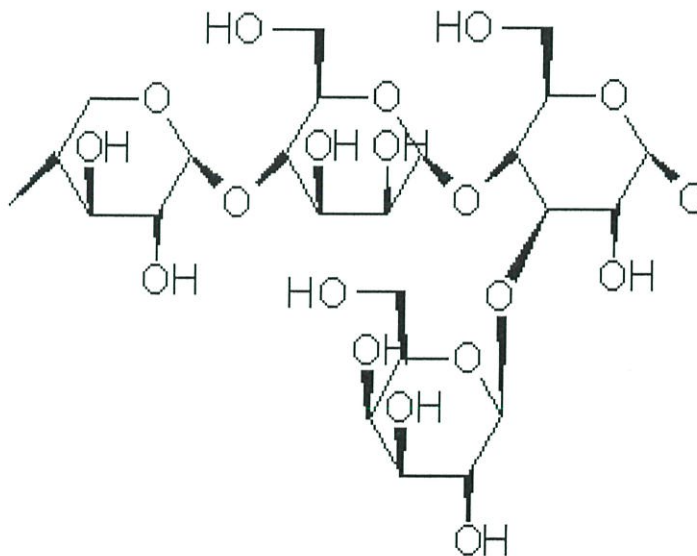
รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส[20]

- จำนวนโมเลกุลของ Glucose Unit (DP = Degree of Polymerization) เท่ากับ 1000-3000 หรือ 4000
- แต่ละ Unit ยึดเกาะกันด้วยพันธะ “1, 4-B-D-anhydroglucosidic bonding”

- เซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์สะเทิน (neutral organic solvent) เช่น เบนซีน แอลกอฮอล์และอีเทอร์ เป็นต้น แต่จะละลายได้ดีในกรดเกลือและกรดกำมะถันเข้มข้น
- เซลลูโลสเมื่อนำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสามารถผลิตพลาสติก น้ำตาล เจล फिल्म เส้นใยชนิดใหม่ สารเคลือบ ระเบิด เป็นต้น

2.8.3 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

- ในไม้เนื้ออ่อน (Softwood) มีประมาณ 25-30% ส่วนในไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) มีประมาณ 30-35%
- เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก สีขาว
- มีโครงสร้างลักษณะเป็นกิ่งจับกันอยู่แบบหลวมๆ



รูปที่ 2.12 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส [21]

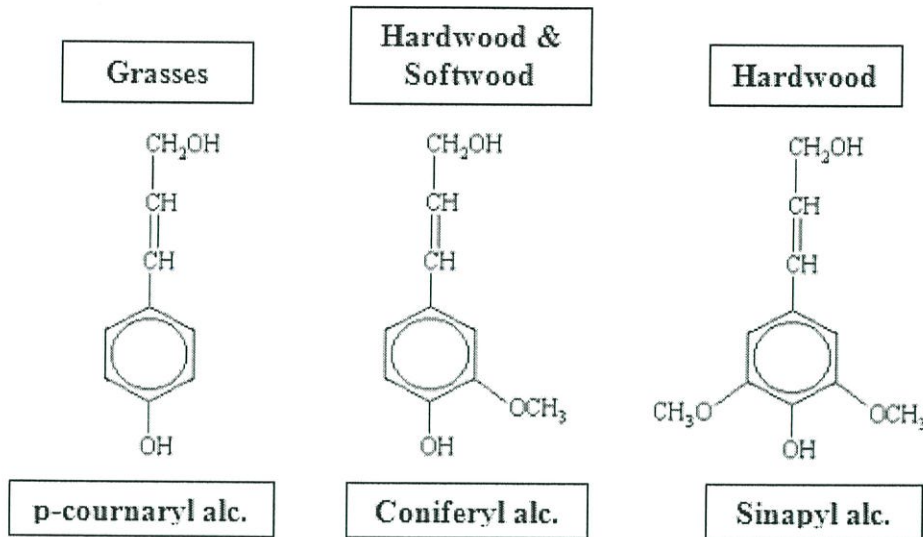
- จำนวนโมเลกุลของ Glucose Unit (DP = Degree of Polymerization) ต่ำกว่า 200

ประโยชน์ของ Hemicellulose

1. ในรูป Monomer สามารถแยกน้ำตาลโดยวิธี Hydrolysis (Hydrolysis คือการสลายโดยใช้ น้ำเป็นตัวช่วยสลาย ทำให้โมเลกุลของสารเปลี่ยนแปลงไปคุณสมบัติจะเปลี่ยนแปลงไป) เรียกวิธีนี้ว่า Wood saccharification (การทำน้ำตาลจากเนื้อไม้) และวิธี คือ Steam explosion ใช้ไอน้ำไปแยกใช้ได้ดีและได้น้ำตาลมาก
2. ในรูป Polymer มีผลทำให้ผลผลิตเชื่อมมากขึ้นทำให้ความแข็งแรงของเยื่อและกระดาษเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีโครงสร้างเป็น Amorphous (อยู่รวมกันแบบหลวมๆ) น้ำจึงเข้าไปได้ง่าย เกิดการพองตัวตัวเชื่อมน้ำได้ดี มีประโยชน์ในการตีเยื่อ คือทำให้ผิวของเส้นใยแตกออก เกิดการประสานตัวด้วย H-bond ทำให้เยื่อมีความแข็งแรงมากขึ้น
3. เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาทางเคมีสังเคราะห์ ได้ Food additive (สารแต่งเติมทำให้อาหารข้น), Gelling agent (ใช้ในเครื่องสำอาง เป็นตัว Absorbent), Adhesive (ตัวเชื่อมประสาน) เป็นต้น

2.8.4 ลิกนิน (lignin)

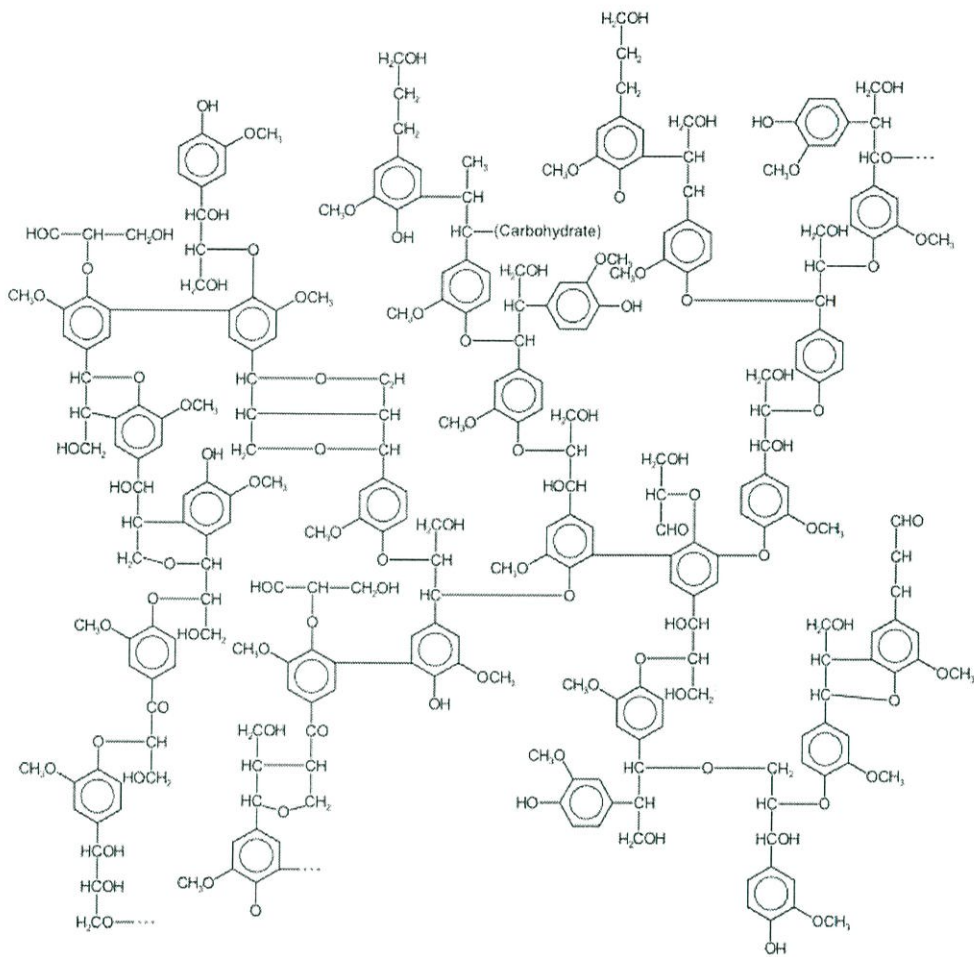
- เป็นสารประกอบที่มีมากรองจากเซลลูโลสในไม้เนื้ออ่อน (Softwood) จะมีลิกนินประมาณ 25-30% ส่วนในไม้เนื้อแข็ง (hardwood) มีลิกนินประมาณ 20-25%
- เป็นสารพอลิเมอร์ที่ซับซ้อนกว่า Cellulose กับ Hemicellulose และเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ชนิดหนึ่ง พบใน ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood), ไม้เนื้ออ่อน(Softwood), พืชล้มลุก (Grasses) และพืชชั้นต่ำต่างๆ ไป แต่ไม่พบใน Lichens, Mosses, Fungi, Mushrooms
- โมเลกุลใหญ่ค่า Glucose Unit (DP = Degree of Polymerization) เยอะลักษณะโครงสร้างเป็น 3 มิติ
- ทำหน้าที่เป็น Cell wall adhesives ยึดเส้นใยที่อยู่รวมกันให้เป็นโครงสร้างของเนื้อไม้
- สามารถพบลิกนินในผล, บาสท์ (Bast), Pith, เปลือก(Bark) เช่นกัน
- Monomer ของลิกนิน



รูปที่ 2.13 โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยลิกนิน [22]

- ชนิดของลิกนินแบ่งตามโครงสร้างเป็น 4 ประเภท คือ
 1. G type (Guaiacyl lignin) ประกอบด้วย (Coniferyl alcohol)พบในไม้ใบแคบที่ปกติ
 2. G-S type (Guaiacyl-Syringyl lignin) พบในไม้ใบกว้างทั้งปกติและไม่ปกติ ประกอบด้วย Coniferyl alcohol และ Sinapyl alcohol
 3. H-G-S type (4-Hydroxyphenyl-Guaiacyl-Syringyl lignin) มี monomer ทั้ง 3 ชนิดอยู่ร่วมกัน พบในพืชตระกูล H-G type (Hydroxyphenyl-Guaiacyl lignin) โดยมากพบในไม้ไม่ปกติซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น Compression wood ประกอบด้วย Coniferyl alcohol และ p-Coumaryl alcohol

สูตรโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน



รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน[23]

ประโยชน์ของ lignin

1. ลิกนินที่ได้จากการต้มเยื่อกระดาษสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้
2. ลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเมื่อนำมาสังเคราะห์จะได้สารอินทรีย์เช่น วานิลลิน (Vanillin), ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide = DMSO)
3. ลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักใช้ในรูปของแหล่งลิกนินที่ได้มาโดยตรง เช่นลิกนินซัลไฟเฟนอลหรือกราฟลิกนิน และลิกนินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงใช้กันมากในอุตสาหกรรมการชุบเงา น้ำมัน ทำสี ทำยาฆ่าแมลงทำซีเมนต์ ทำยาง และอาจใช้เป็นตัวเพิ่ม(Extenders)ในกาาพีนอล

2.8.5 สารแทรก (Extractives)

สารแทรก คือ สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์อาจเป็นกรดหรือเป็นกลางก็ได้ มีตั้งแต่ สารไอโซพรีน เทอร์ปีนเฮตเตอโรไซคลิก กรดเรซิน สาร โพลีฟีนอลต่างๆ และอัลคาลอยด์ เป็นต้นและเป็นสารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด สารประกอบเหล่านี้จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่าง กันออกไปสารพวกนี้มีประมาณ 5-30% โดยมวล ซึ่งรวมไปถึงสารส่วนน้อย (minor constituent) เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า อันได้แก่ สารประกอบแคลเซียมฟอสเฟตและซิลิกาเป็นต้นสารพวกนี้มีประมาณ 0.1-3% โดยมวลการใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้นเช่น สารแทรกพวกเทอร์ปีนอาจใช้เป็นตัวทำละลาย ทำน้ำหอม ยา สบู่ กาวและใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ พวกโพลีฟีนอลใช้ในการฟอกหนัง สังกะสีกาวส่วนพวกอัลคาลอยด์ ส่วนใหญ่มีประโยชน์ทางเภสัชกรรม

2.8.6 ไม้มะค่า[24]

ชื่อท้องถิ่น: มะค่า

ชื่อสามัญ: มะค่าโมง

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Azeliaxylocarpa (Kurz) Craib.*

ชื่อวงศ์: FABACEAE.

ลักษณะวิสัย/ประเภท: ไม้ยืนต้น

ลักษณะพืช: ไม้ต้น ขนาดใหญ่ แต่สูงไม่มากนัก ผลัดใบ แตกกิ่งต่ำ เรือนยอดเป็นพุ่มกว้าง ลำต้นมักเป็นครีบและปุ่มปม โคนเป็นพูพอน เปลือก สีน้ำตาลอ่อนหรือชมพูอมน้ำตาล แตกสะเก็ดเป็นหลุมตื้น ใบ ประกอบเรียงสลับ ใบย่อยติดตรงข้ามกันเป็นคู่ 3 - 5 คู่ แผ่นใบรูปไข่แกมรูป ขอบขนาน

กว้าง 2 - 5 เซนติเมตร ยาว 4 - 9 เซนติเมตร โคนใบมนหรือหยักเว้าเล็กน้อยปลายใบหุบเป็นติ่งคอก ออกรวมกันเป็นช่อตามปลายกิ่ง ช่อยาว 5 - 15 เซนติเมตร กลีบดอกมี 4 กลีบแต่ละกลีบซ้อนทับกันมีเพียงกลีบบนสุดเพียงกลีบเดียวที่เจริญขึ้นเป็นกลีบดอกสีแดงเรื่อ ๆ หรือแดงอมชมพู ผล เป็นฝักแบนแข็ง รูปบรรทัดสั้นๆ

กว้าง 7 - 10 เซนติเมตร ยาว 12 - 20 เซนติเมตร แตกออกเป็น 2 ซีก เมื่อแห้ง เมล็ดแก่สีดำเป็นมันเรียงตามขวาง 4 - 5 เมล็ด แต่ละเมล็ดมีเยื่อหนารูปถ้วยสีเหลืองสดห่อหุ้ม ส่วนฐานอยู่ในเวศวิทยา

ขึ้นในป่าเบญจพรรณชื้นและป่าดิบแล้งใกล้แหล่งน้ำ ทุกภาคยกเว้นภาคใต้สูงจากระดับน้ำทะเล 100 -600 เมตร ออกดอก กุมภาพันธ์ - มีนาคม ผลแก่มีดูนายน - สิงหาคมเนื้อไม้สีน้ำตาลอมเหลืองอ่อน แข็งเหนียว ทนทานขัดและชักเงาได้ดี ใช้ทำเสาอด ตง พื้น ไม้เครื่องบน ต่อเรือ เครื่องกลึง พานท้ายปืนและรางปืนทำกลองโพน รำมะนา เป็นไม้ที่ให้ปุ้มมะค่ามีลวดลายสวยงามและราคาสูง เปลือกทำน้ำฝาดสำหรับฟอกหนัง เมล็ดอ่อนเนื้อในรับประทานได้



รูปที่ 2.15 ต้นมะค่า [24]

2.9 กลีเซอรอล [25]

พลาสติกไซเซออร์(Plasticizer) ตามนิยามของ IUPAC หมายถึง สารที่เข้าไปรวมอยู่กับพลาสติกหรือ อีลาสโตเมอร์(Elastomer) แล้วช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนการใช้งาน และการยืดตัว แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ พลาสติกไซเซออร์ภายนอก (External plasticizer)เป็นสารที่เติมลงไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์ แล้วทำให้เกิดสารเชิงซ้อนหรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติกไซเซออร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะ โคเวเลนต์ทุติยภูมิ (Internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารร่วมช่วยในการเกิดพอลิเมอร์(Copolymerization)

สมบัติของพลาสติกไซเซออร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลสารทั้งสองคล้ายคลึงกัน มีจุดเดือดสูง ระเหยยาก ละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ดี นอกจากนี้ควรมีไม่มีสี กลิ่น รส ไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟ ถ้าใช้พลาสติกไซเซออร์ที่มีสมบัติเหมาะสม จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำผลิตภัณฑ์ให้แข็ง พลาสติกที่ดีต้องมีลักษณะทางกายภาพที่ดี สามารถคงทนความยืดหยุ่นตลอดการใช้งาน

พลาสติกไซเซออร์ที่นำมาใช้กับพลาสติกจากแป้งมีหลายประเภทเช่นมอนอแซ็กคาไรด์ ไดแซ็กคาไรด์ โอลิโกแซ็กคาไรด์ พอลิออลและลิปิดหรืออนุพันธ์ของลิปิด

กลีเซอรอล (Glycerol) หรือ กลีเซอริน (Glycerine) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอนสามอะตอม มีสูตรโมเลกุล $C_3H_8O_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่และกรดไขมัน มีสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืด รสหวาน 0.6 เท่าของน้ำตาล ผสมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำและ แอลกอฮอล์ได้ดีมากเป็นสารที่ละลายน้ำมันได้ดีพอสมควรดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลาง

2.9.1 สารหล่อลื่น (Lubricants) [26]

เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดในเครื่องจักร ทำให้ทำการผสมง่ายขึ้น ตลอดจนทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อลดความฝืดระหว่างผิวของพลาสติกกับผิวของโลหะ หรือวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักรและแม่พิมพ์

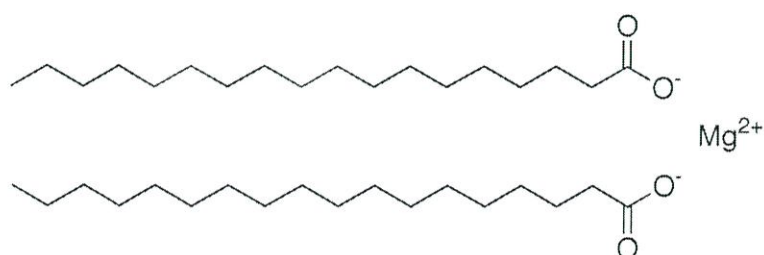
2. สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricants) เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดภายในเนื้อพลาสติก กล่าวคือ เป็นตัวช่วยลดความฝืดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์

สารหล่อลื่นบางชนิดมีคุณสมบัติอย่างอื่นอยู่ด้วย เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้พลาสติก หรือเป็นพลาสติกไซเซออร์ได้ด้วย สารหล่อลื่นมีอยู่ 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. สารไฮโดรคาร์บอน
2. กรดไขมันและอนุพันธ์ของกรดไขมัน
3. กลีเซอรอล และแอลกอฮอล์
4. ไชซีนธรรมชาติ

เรซินบางชนิดมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นตัวเอง เรียกว่า Self lubricants

แมกนีเซียมสเตียเรต [27]



Identifiers

IUPAC name	:Magnesium octadecanoate
CAS number	:557-04-0
PubChem	:11177
ChemSpider	:10704 {CH}
UNII	:70097M6I30
ChEBI	:CHEBI:9254

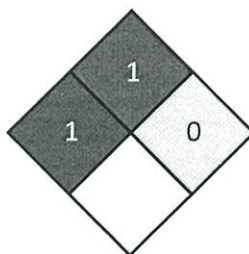
Properties

Molecular formula	:Mg(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂
Molar mass	:591.27 g/mol
Appearance	:light white powder
Odor	:slight
Density	:1.026 g/cm ³
Melting point	:88.5 °C, 362 K, 191 °F
Solubility in water	:0.003 g/100 mL (15 °C) : 0.004 g/100 mL (25 °C) : 0.008 g/100 mL (50 °C)
Solubility	:negligible in ether and alcohols slightly soluble in benzene

Hazards

MSDS :External MSDS

NFPA 704



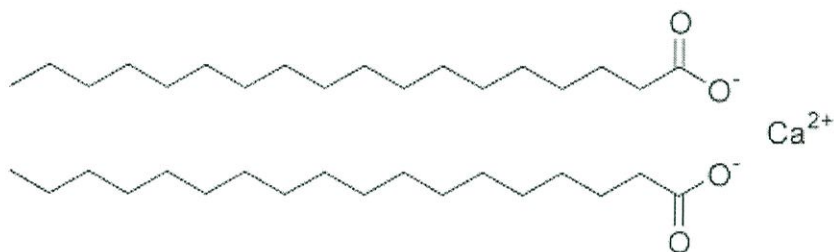
Health	2
Fire	1
Reactivity	0

1

Flash point :250 °C

LD₅₀ :> 1000 mg/kg (oral, rat)

แคลเซียมสเตียเรต [28]



Identifiers

CAS number :1592-23-0

Chemical Formula : C₃₆H₇₀CaO₄

Physical & Chemical Properties

Molecular weight : 607.03 g/mol

Appearance : Powder

Physical state : Solid

Color : White or Yellow

Odor : Fatty acid

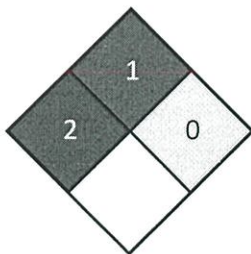
Density : 1.12 g/cm³

Melting point :148°C (298.4°F)

Solubility : Very slightly soluble in cold water

Hazards

NFPA 704

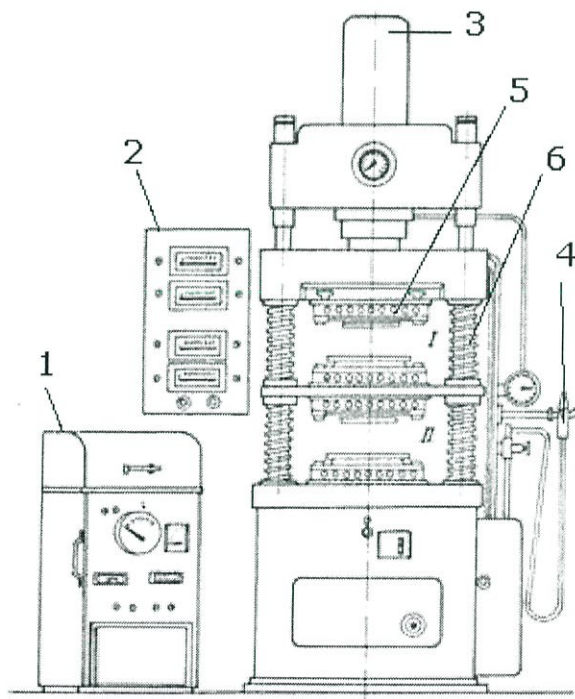


Health	2
Fire	1
Reactivity	0
Personal Protection	E

Flash point	: Not available
LD ₅₀	: > 10 g/kg (oral, rat)

2.10 การอัดขึ้นรูปพลาสติก (Compression molding) [29]

งานอัด (Compression Moulding) หมายถึง การทำงานพลาสติก เช่นทำเป็นจาน ชาม สวิตช์ไฟ ฯลฯ โดยเติมพลาสติกลงในแบบเปิด แล้วใช้ความดันอัดปิดแม่แบบพร้อมทั้งให้ความร้อนให้พลาสติกไหลเข้าไปแทนที่ช่องว่างรูปทรงของชิ้นงาน งานอัดฉีด (Transfer Moulding) ต่างกับงานอัด (Compression Moulding) คือจะไม่เติมพลาสติกลงในแม่แบบเปิด แต่จะใช้แรงดันจากลูกสูบไฮดรอลิกอัดพลาสติกให้เข้าไปในแม่แบบปิดการเตรียมพลาสติกเพื่อเข้ากระบวนการผลิตชิ้นงาน พลาสติกที่ผลิตออกมาจำหน่ายส่วนมากจะอยู่ในรูปผง เป็นเม็ดหรือเหลวเป็นแป้งเปียกซึ่งถ้าอยู่ในสภาพนี้สามารถนำเข้ากระบวนการผลิตโดยงานอัดและอัดฉีดได้ดี แต่ถ้าต้องการผสมสารปรับปรุงคุณภาพจะต้องเข้ากระบวนการเตรียมวัสดุก่อน ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 กรรมวิธี คือ กรรมวิธีหลอมเหลว และกรรมวิธีผสมโดยเติมของเหลว



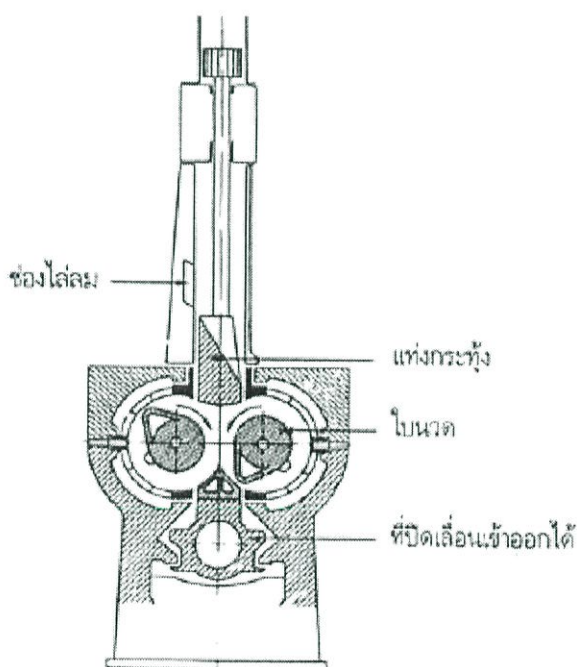
เครื่องอัดแบบอัตโนมัติที่ใช้ในการอัดขึ้นงาน
ทรงแบน

1. เครื่องให้ความร้อนพลาสติก
- แบบไฮพรีเวนซี
2. เครื่องมือวัดและควบคุมอุณหภูมิ
3. ปัมไฮดรอลิก
4. หัวเป่าลมอัดเพื่อทำความสะอาดแม่พิมพ์
5. ฮีตเตอร์
6. สปริง

รูปที่ 2.16 เครื่องอัดแบบอัตโนมัติที่ใช้ในการอัดขึ้นงานทรงแบน [29]

2.11 เครื่องผสมแบบปิดหรือเครื่องผสมภายใน (Internal mixer) [30]

เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งมีพื้นผิวไม่ราบเรียบเหมือนผิวลูกกอล์ฟจำนวนสองชุดบรรจุอยู่ในห้องผสมที่สามารถปรับอุณหภูมิได้โดยใช้น้ำมันร้อนหรือน้ำไหลหมุนเวียน โรเตอร์ทั้งสองหมุนสวนทางกัน ด้วยความเร็วในการหมุนที่สามารถปรับได้ การหมุนของโรเตอร์ภายในห้องผสมทำให้เกิดแรงเฉือนภายในห้องผสมสูงมาก จึงทำให้การกระจายตัวของสารเติมแต่งในพลาสติกเกิดขึ้นได้ดี ข้อดีของเครื่องผสมแบบนี้ คือ ใช้เวลาในการผสมสั้น ผู้ปฏิบัติไม่จำเป็นต้องมีทักษะสูง ไม่มีการสูญเสียวัสดุหรือเกิดการปนเปื้อน เนื่องจากการผสมทำในระบบปิด ขนาดและความสม่ำเสมอของการผสมในแต่ละครั้งค่อนข้างแน่นอน สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมแบบนี้ คือ ไม่สามารถมองเห็นการผสมได้ และการทำความสะอาดห้องผสมทำได้ยาก



รูปที่ 2.17 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) [30]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปีติพร อุทธิเรืองเดช และคณะ [31] ทำการศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกล ของแป้งท้าวยายม่อม จากการวิเคราะห์พฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกล ของแป้งท้าวยายม่อม (*Taccaleontopetaloides* Ktze.) ที่ผลิตระดับห้องปฏิบัติการ โดยการเปรียบเทียบกับแป้งอื่นๆ ที่จำหน่ายตามท้องตลาดอีก 4 ชนิด ได้แก่ แป้งท้าวยายม่อมแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลังคัดแปร (แป้งท้าว) และแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งท้าวยายม่อมที่ผลิตได้ ให้ค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุดเท่ากับ 322 RVU ที่ 95 °C ในขณะที่แป้งท้าวให้ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 181 RVU และจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกล โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความเค้นและความเครียดที่ได้จากการวัดค่าแรงกดพบว่า เจลแป้งท้าวยายม่อมแสดงลักษณะรูปกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวคล้ายกับเจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งท้าว แต่ให้ลักษณะที่แตกต่างกับ เจลแป้งข้าวเจ้า เจลแป้งท้าวยายม่อมที่ผลิตได้ ให้ค่ามอดูลัสในช่วงค่าความเค้นน้อยกว่า 0.2 มีค่าเท่ากับ 3.768 KPa ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเจลแป้งท้าวยายม่อมที่จำหน่ายตามท้องตลาด สำหรับ เจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งท้าวให้ค่ามอดูลัสเท่ากับ 2.318, 1.475 และ 2.257 KPa ตามลำดับแต่มีค่าน้อยกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าซึ่งให้ค่ามอดูลัส 9.885 KPa สำหรับการเปรียบเทียบค่า ความเครียดตามค่าความเค้นที่แตกต่างกันคือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ของเจลแป้งท้าวยายม่อมที่ผลิตได้ กับแป้งชนิดอื่นให้ผลเป็นไปในทางเดียวกับค่ามอดูลัสนั้น แสดงว่าเจลแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะ เจลที่แข็งกว่าเจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งท้าว ในขณะที่เจลแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะเจลที่แข็ง และมีแนวโน้มแตกเปราะที่ระยะทางกดสูงๆ

ดารินทร์ โพธิ์ศรี และคณะ [32] ได้ศึกษาถึงการเตรียมและสมบัติต่างๆ ของพลาสติกย่อยสลายที่เตรียมได้จากเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ (Thermoplastic Starch, TPS) จากแป้งถั่วเขียว (Mung bean starch) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาซ์จากแป้งถั่วเขียวในสูตรที่มีการผสมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาซ์จากแป้งถั่วเขียว โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาซ์เพิ่มขึ้น และสมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดเมื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำใน อัตราส่วน 2:1 ส่วนฐานฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาซ์ในแต่ละสูตรเมื่อศึกษาด้วยกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์ได้ สำหรับสมบัติทางความร้อนพบว่า การเติมเส้นใยฝ้ายมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสูงขึ้น และยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีการปรับปรุงมีแนวโน้มการย่อยสลายเร็วที่สุด

บุษยรัตน์ พัฒนพงษ์อนันต์ และคณะ [33] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) จากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงสมบัติโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทำการผสมเป็นอัตราส่วนระหว่างเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 1:0 0:1 1:1 1:2 และ 2:1 โดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากนั้นทำการทดลองสมบัติต่างๆพบว่าสมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 2:1 จากผลการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 1:0 ให้ค่าสูงสุดแต่ที่อัตราส่วน 0:1 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำต่ำที่สุด ส่วนฐานฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ในแต่ละสูตรเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่า เส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์ได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในสูตรที่ไม่มีการปรับปรุงมีแนวโน้มในการย่อยสลายเร็วที่สุด แต่สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 0:1 ใช้เวลาในการย่อยสลายนานที่สุด

กทาวุธภวษนะ และคณะ [34] ศึกษาไบโอคอมโพสิตเป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องด้วยผลิตจากทรัพยากรหมุนเวียนและสามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากกระดาษหนังสือพิมพ์รีไซเคิลเพื่อใช้เสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและการต้านทานความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชไบโอคอมโพสิตถูกเตรียมจากแป้งข้าวเหนียวโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนักของกลีเซอรอลต่อแป้งเมตริกซ์ซึ่งถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสปริมาณ 0 ถึง 8% โดยน้ำหนักของเส้นใยเซลลูโลสต่อเมตริกซ์คุณสมบัติเชิงกลของไบโอคอมโพสิตถูกศึกษาโดยการทดสอบแรงดึงทางกลส่วนสมบัติทางกายภาพศึกษาโดยเครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนโดยดิว

เฟอเรนเทียลแสดกนนิ่งแคลอริเมทรีและเทอร์โมแกรวิเมทริกและก่อดึงจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณเส้นใยเซลลูโลสเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุดเพิ่มขึ้น 305% และ 546% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสคาร์ชที่ไม่มีการเสริมแรงความเสถียรภาพทางความร้อนและอุณหภูมิการย่อยสลายทางความร้อนของไบโอคอมโพสิตเพิ่มขึ้นจากการเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลส นอกจากนี้ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงถึงการติดขัดกันอย่างดีระหว่างเมตริกซ์และเส้นใยเซลลูโลส

J.L. Guimarães และคณะ [35] งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิต และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุประกอบจากแป้งข้าวโพดที่ใช้เส้นใยกล้วยและเส้นใยอ้อยเป็นส่วนเสริมแรง โดยใช้ กลีเซอรอลทางการค้า (Commercial glycerol) และ กลีเซอรินดิบ (Crude glycerin) เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) โดยใช้กระบวนการกดอัด เพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้กลีเซอรินดิบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกลั่นไบโอดีเซลแทนกลีเซอรอลทางการค้า พร้อมทั้งศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุ ที่ผสมเส้นใยต่างชนิดกันใน อัตราส่วนของ แป้ง : พลาสติกไซเซอร์ : เส้นใย ต่างกัน ชนิดของพลาสติกไซเซอร์ และ กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน จากการศึกษาโดยเทคนิค X-ray diffraction พบว่าแป้งข้าวโพดมีลักษณะผลึกเป็นแบบ A-Type และยังพบว่าวัสดุประกอบมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) ประมาณ 20-25% สมบัติเชิงกลของวัสดุประกอบที่มีอัตราส่วนของเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเค้นจุดคราก (Yield strength) เพิ่มขึ้นในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (% Elongation) ลดลง แต่ค่ายังมอดูลัส (Young's modulus) เพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราส่วนเส้นใยสูงสุดไม่เกิน 25% การใช้กลีเซอรินดิบเป็นพลาสติกไซเซอร์เปรียบเทียบกับกลีเซอรอล พบว่าสมบัติเชิงกลดีขึ้น เนื่องจากกลีเซอรินดิบเพิ่มความสามารภในการยึดติดระหว่างเส้นใยกับแป้งได้ดี รวมถึงการใช้ กระบวนการผลิตแบบควบคุมอัตโนมัติ (Controlled condition) ทำให้สมบัติเชิงกลดีกว่ากลีเซอรอลเกรดการค้า ส่วนของเส้นใยต่างชนิดกันทำให้สมบัติเชิงกลต่างกันซึ่งเส้นใยอ้อยให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเส้นใยกล้วย จึงสรุปได้ว่าในการทำวัสดุประกอบจากแป้งข้าวโพดนั้นสามารถใช้กลีเซอรินดิบแทนกลีเซอรอลได้และให้สมบัติเชิงกลดีกว่า รวมทั้งเส้นใยอ้อยให้การเสริมแรงดีกว่าเส้นใยกล้วย ซึ่งไม่ควรใช้อัตราส่วนเส้นใยเกิน 25% เพื่อที่จะคงความเหนียวของวัสดุไว้ และควรเลือกใช้กระบวนการผลิตแบบควบคุมอัตโนมัติ (Controlled condition) เพื่อที่จะทำให้วัสดุประกอบมีสมบัติที่ดีที่สุด

A.A.S. Curvelo และคณะ [36] ในการวิจัยนี้ได้ใช้เส้นใยเซลลูโลสจากเยื่อกระดาษเป็น ส่วนเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาโรลเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล สามารถเตรียมได้จากแป้ง ข้าวโพดกับ กลิเซอรอลซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์และเสริมแรงด้วยเส้นใยฟอกขาวขนาดสั้น (16%w/w)เส้นใยที่ใส่ในเทอร์โมพลาสติกสตาโรลถูกผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส จากนั้น ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางความร้อน คือ DSC และ TGA และการทดลองการดูดซับน้ำ คอมโพลี- ลิตที่ได้แสดงถึงค่าการเพิ่มขึ้น 100% ของ Tensile strength และมากกว่า50%ของมอดุลัสเมื่อ เปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่เสริมแรง ความแตกต่างของค่า T_g ระหว่างเทอร์โม- พลาสติกสตาโรลและคอมโพลีลิตนั้นดูจากอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยกับ พลาสติกไซเซอร์ซึ่งเทอร์- โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยกลีเซอรอล 30% มีค่า T_g น้อยกว่าคอมโพลีลิตที่ผสมเส้นใย 16% สำหรับ TGA ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส เกิดการหายไปของน้ำหนัก TPS และคอมโพลีลิต เท่ากับ 30 และ 23% ตามลำดับ การดูดซับน้ำของ TPS ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยเซลลูโลสมีค่า ลดลง เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสดูดซับน้ำได้น้อยกว่าสตาโรล ส่วนการเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ นั้น ส่งผลให้ TPS มีความว่องไวต่อน้ำมากขึ้น การแตกหักของพื้นผิวด้วยวิธีการส่อง SEM แสดง ให้เห็นถึงการติดแน่นที่ระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ จากเหตุผลที่ได้มานี้ทำให้เห็นถึงข้อดีของการ ใช้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ใช้นี้มาจากธรรมชาติ ราคาถูก และมีจำนวนมาก

H.A.Pushpadass และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณ LDPE, กลี- เซอรอลและการผสมที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาค และสมบัติของคอมโพลีลิตฟิล์มจากแป้ง โดยใช้ อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวโพดต่อ LDPE ที่ 95:5, 90:10 และ 85:15 ทำการขึ้นรูปโดย กระบวนการอัดรีด สรุปได้ว่า การผสมและปริมาณกลีเซอรอล เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมบัติของ ฟิล์ม จาก SEM พบว่า พอลิเมอร์สองชนิดไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยการผสมเป็น การปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม เนื่องจากทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของ LDPE บนวิฎฐภาคของแป้ง ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงสุดได้จากอัตราส่วนของแป้งต่อ LDPE ที่ 90:10 นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณ LDPE มากกว่า 10% ทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง

M. Zaini และคณะ [37] ในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจากฟางข้าว (TPS/RS) และทำการประเมินผลของแป้ง น้ำหนักเส้นใย กลิเซอรอล และขนาดเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติความแข็งแรงในการดึง (Tensile strength) สมบัติการดูดซับความชื้น (Moisture absorption) และสมบัติทางความร้อนของ TPTS/RS การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ (ASTM D5988) เป็นการตรวจสอบการย่อยสลายของ TPTS/RS ด้วยการคำนึงถึงผลของแป้งและน้ำหนักเส้นใย ทำการเตรียมส่วนผสมได้โดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin - screw extruder) ที่อุณหภูมิ 90°C จากนั้นทำการกดอัดด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) ที่อุณหภูมิ 160°C ในส่วนผสมนั้นมีแป้งเป็นเมทริกซ์ จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยฟางข้าวถึง 80 phr ในเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง ทำให้ค่าความแข็งแรงในการดึงของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นด้วย แต่ค่าการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) และความเสถียรภาพทางความร้อนของคอมโพสิตนั้นลดลง ผลจาก FTIR และ SEM พบว่าแป้งมันสำปะหลังผสมเข้ากันได้ดีกับเส้นใยฟางข้าว ส่วนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพแสดงให้เห็นว่า การย่อยสลายของคอมโพสิตเกิดได้ดี เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยและความแข็งแรงในการดึงของ TPTS/RS มีค่าสูงสุดที่มีปริมาณกลีเซอรอล 30 phr และการเพิ่มกลีเซอรอลนั้น ทำให้ค่าการดึงยืด ณ จุดขาดและการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย แต่อุณหภูมิความร้อนในการย่อยสลายนั้นลดลง เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น และผลจากขนาดของเส้นใยฟางข้าวที่มีผลต่อสมบัติการดึง พบว่าเส้นใยมีความยาว <math>< 100 \mu\text{m}</math> มีค่าความแข็งแรงในการดึง และค่ายังมอดูลัส สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่มีความยาว 100-300 μm กับ ความยาว 300-500 μm ส่วนความร้อนในการย่อยสลายของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นใย และงานวิจัย นี้ สรุปได้ว่า สภาวะที่ดีที่สุดของเทอร์โมพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับฟางข้าวที่มีปริมาณเส้นใย 80 phr กลีเซอรอล 30 phr และความยาวเส้นใยต่ำกว่า 100 μm

A. Zuraida และคณะ [39] ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งสาธู ที่ใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในการผสมส่วนผสมก่อนทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด (Compression molding) เตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งสาธูได้จากเศษส่วนน้ำหนักของกลีเซอรอล/แป้ง (glycerol/starch) ได้แก่ 40/60, 35/65 และ 30/70 ทำการเปรียบเทียบ ประเมินผลค่าความแข็งแรงในการดึง (Tensile strength) ค่าความหนาแน่น (Density) ปริมาณความชื้นและการดูดซับน้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างในอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อแป้ง สารที่ทำให้ส่วนผสมเข้า

กันได้ดี (Compatibility) คือ กลิเซอรอล ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ในเทอร์โมพลาสติก
สตาร์ชจากแป้งสาธู โดยตรวจสอบได้จาก FTIR พบว่า กลิเซอรอลควรคงรูปด้วยพันธะไฮโดรเจน
กับแป้งสาธู ในการศึกษาชิ้นแรกทดลองให้เห็นว่า มีค่าความเค้น (Stress) สูงที่สุดเมื่อมีอัตราส่วน
ของกลีเซอรอลต่อแป้งต่ำ คือ 30/70 ส่วนค่าความหนาแน่นของเทอร์โม-พลาสติกสตาร์ชมีค่าตรง
ข้ามกับอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อแป้งที่มีสัดส่วนเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณความชื้นและการดูดซับ
น้ำนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนของกลีเซอรอลต่อแป้งที่เพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งท้าวายม่อม (Arrowroot Starch) ตราปลามังกร ผลิตจาก โรงงานแป้งมัน ไทยท่า ชลบุรี

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีร้อยละน้ำหนักแห้งของแป้งท้าวายม่อม

องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ไขมัน	0.03
เส้นใยหยาบ	0.41
โปรตีน	0.05
คาร์โบไฮเดรต	99.36
เถ้า	0.15

2. ซึ่เกลียจากต้นมะค่า

3. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System

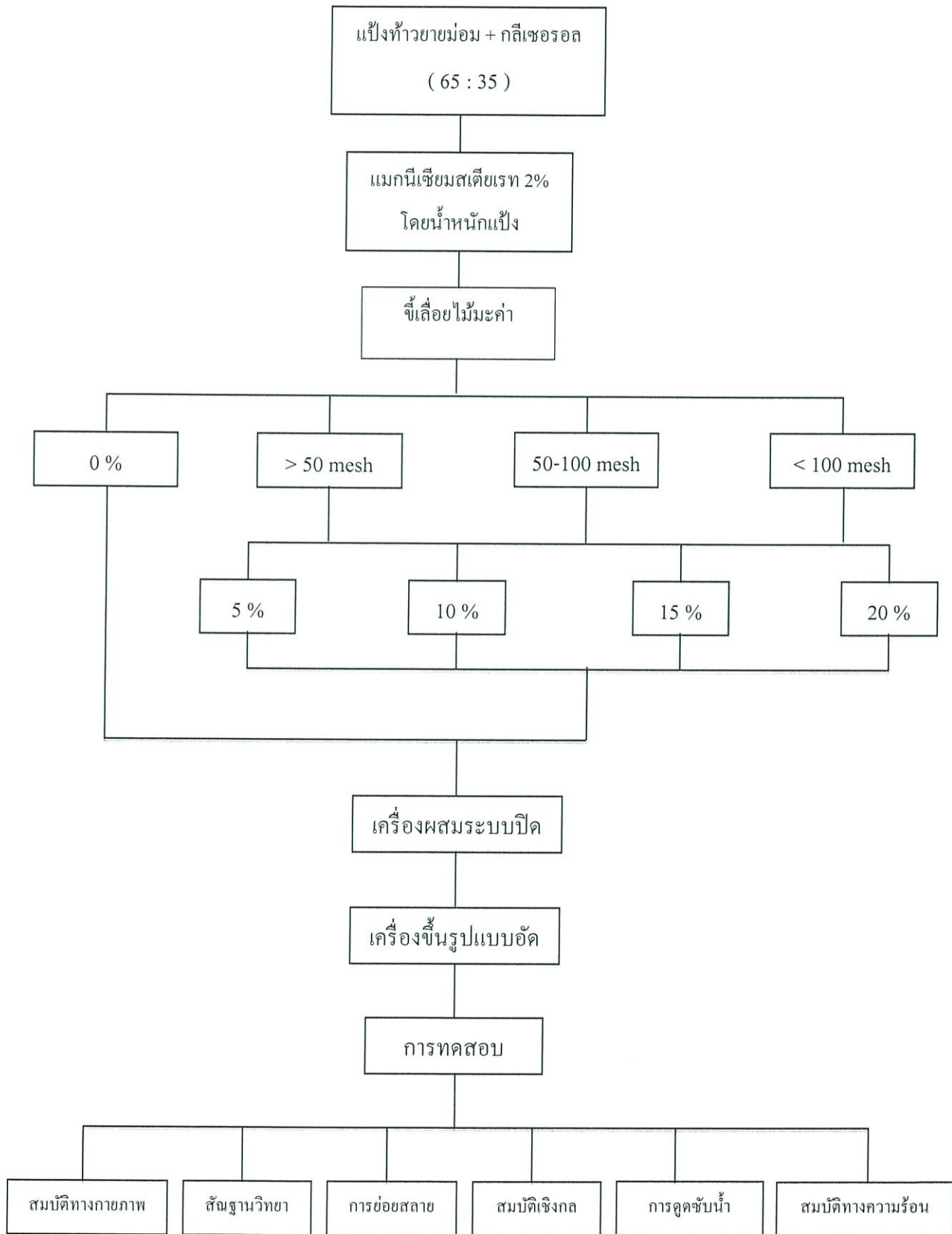
4. แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate)

5. น้ำมันซิลิโคน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) BRABENDE รุ่น PL 2000/PL 2001
2. เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression Molding) Model MGLP-20 AT M/C NO.228
3. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing machine) Lloyd Instrument รุ่น LR 5k ,
INTRO ENTERPRISE
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ZEISS รุ่น
EVO[®] MA 10, Versatile multipurpose SEM
5. เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer, TGA) รุ่น PYRIS Diamond,
PERKINELMER
6. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer) รุ่น SPECTRUM GX,
PERKINELMER
7. เครื่องชั่งแยกขนาด Retch
8. ตะแกรงแยกขนาด 35 , 50 , 100 เมช
9. เครื่องบด (Grinder) BOSCO Engineering รุ่น A600
10. เครื่องชั่งแบบละเอียด (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง)
11. ถังมือกั้นความร้อน
12. เกรียง
13. กล้องปิดสนิท
14. ถุงซีต

แผนภาพแสดงขั้นตอนงานวิจัยในโครงการพิเศษนี้ แสดงได้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

3.3 การทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมขี้เลื่อยไม้มะค่า

3.3.1.1 นำขี้เลื่อยมาทำการบดด้วยเครื่องบด (Grinder)

3.3.1.2 นำขี้เลื่อยที่บดแล้วมาแยกขนาดด้วยตะแกรงขนาด 35 , 50 , 100 เมช

โดยขี้เลื่อยขนาด >50 เมช อยู่บนตะแกรงขนาด 50

ขนาด 50 – 100 เมช อยู่บนตะแกรงขนาด 100

ขนาด <100 เมช อยู่บนถาดรองสุดท้าย

โดยขี้เลื่อยขนาด >50 เมช, 50 -100 เมช และ < 100 เมช สัมพันธ์กับความยาว ของเส้นใย

0.297 mm, 0.149 – 0.297 mm และ 0.149 mm ตามลำดับ

3.3.1.3 ขี้เลื่อยที่ทำการแยกขนาดแล้วนำไปใส่ถุงซิปล็อค เตรียมทำการผสมต่อไป

ตอนที่ 2 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งท้าวขायม่อม (TPAS)

3.3.2.1 นำแป้งท้าวขायม่อมมาหมักกับกลีเซอรอลเพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไป ในเม็ดแป้งเป็นเวลา 1 คืน โดยใช้ปริมาณแป้งท้าวขायม่อม 65 และ กลีเซอรอล 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.3.2.2 นำส่วนผสมที่ซังมาทำการผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรตซึ่งใช้เป็น 2% โดยแป้งในเครื่องผสม ระบบปิด โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบ ต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2.3 นำชิ้นงานบนแผ่นโลหะโดยมีแผ่นใสที่ทำการทา Silicone oil ด้านที่ติดกับชิ้นงาน จากนั้นวางแผ่นใสคั่นระหว่างชิ้นงานและแผ่นโลหะก่อนทำการขึ้นรูปมีการย้ำแผ่นชิ้นงาน 5 ครั้ง ที่เครื่องขึ้นรูปแบบอัด

3.3.2.4 นำไปทำการขึ้นรูปแบบอัดตั้งอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 วินาที ใช้เวลาหล่อเย็น 300 วินาที และความดัน 1750 psi

3.3.2.5 เก็บชิ้นงานในถุงปิดสนิท แล้วนำไปทดสอบต่อไป

ตอนที่ 3 การปรับปรุงสมบัติของ TPAS ด้วยขี้เลื่อยไม้มะค่า

3.3.2.1 นำแป้งท้าวขायม่อมมาหมักกับกลีเซอรอลเพื่อให้กลีเซอรอลซึมลงไป ในเม็ดแป้งเป็นเวลา 1 คืน โดยใช้ปริมาณแป้งท้าวขायม่อม 65 และ กลีเซอรอล 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

3.3.2.2 นำส่วนผสมที่ชั่งมาทำการผสมกับแมกนีเซียมสเตียเรท 2% โดยน้ำหนักของ TPAS

3.3.2.3 จากนั้นผสมขี้เถ้าขนาด > 50 เมชในปริมาณ 5% , 10% , 15% และ 20% โดยน้ำหนักของ TPAS ในเครื่องผสมระบบปิด โดยตั้งอุณหภูมิในการผสมไว้ที่ 140 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2.4 นำไปทำการขึ้นรูปแบบอัด ตั้งอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 300 วินาที

3.3.2.5 เก็บชิ้นงานในถุงปิดสนิท แล้วนำไปทดสอบต่อไป

3.3.2.6 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนขนาดของขี้เถ้าจาก > 50 เมช เป็น 50 – 100 เมชและ <100 เมชตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของ แป้งท้าวขยวม่อม ขี้เถ้าไม้มะค่า แมกนีเซียมสเตียเรท ที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

TPAS (กรัม)	ขี้เถ้าไม้มะค่า		แมกนีเซียมสเตียเรท (กรัม)
	ปริมาณ (กรัม)	ขนาด (เมช)	
50	0	-	0.65
50	2.5	> 50	0.65
50	2.5	50 - 100	0.65
50	2.5	< 100	0.65
50	5.0	> 50	0.65
50	5.0	50 - 100	0.65
50	5.0	< 100	0.65
50	7.5	> 50	0.65
50	7.5	50 - 100	0.65
50	7.5	< 100	0.65
50	10.0	> 50	0.65
50	10.0	50 - 100	0.65
50	10.0	< 100	0.65

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 การหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันโดยFTIR

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไปให้ความร้อนจนอ่อนตัวกระทั่งเป็นฟิล์มแผ่นบาง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2 – 0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์และนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^{-4} kg/cm² นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจาก แม่พิมพ์ และนำไปวิเคราะห์จะได้สเปกตรัมของสารตัวอย่าง

3.4.2 การดูดซับน้ำ

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 104 นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักไว้จากนั้นนำไปแช่ในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยน้ำกลั่น (Distilled Water) ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% โดยนำชิ้นงานขึ้นมาบันทึกน้ำหนักจนกระทั่งชิ้นงานดูดซับน้ำจนอิ่มตัว

ปริมาณการดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้จาก

$$M_t (\%) = (W_w - W_d) / W_d \times 100$$

เมื่อ M_t คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

W_d คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ

W_w คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังแช่น้ำ

3.4.3 ฐานวิทยา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมตัวอย่างที่ได้ โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาหักหลังจากแช่ในโตรเจนเหลว จากนั้นนำตัวอย่างเคลือบด้วยทอง

และนำเข้า เครื่อง SEM ต่อไปโดยทำการศึกษาดังกล่าวถึงภาคตัดขวางของตัวอย่างผสมในสูตรต่างๆเพื่อดูการกระจายตัวของซีลี้อยและรอยต่อระหว่างวัฏภาคในตัวอย่างผสม

3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.2 ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
แรงดึง (Load)	ASTM D 638	N
ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young's modulus, E)	ASTM D 638	MPa
การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Elongation at maximum load)	ASTM D 638	mm
เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (% Strain at maximum load)	ASTM D 638	%

3.4.4.1 แรงดึงความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุดมอดุลัสการยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม NEXYGEN ซึ่งงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปคัมเบลล์ จำนวน 5 ชิ้นงานต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสถานะของชิ้นงาน ที่ใช้ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % ทดสอบตามสภาวะดังนี้

- Test speed : 100 mm./min
- Gauge length : 25 mm.
- Load cell : 1 kN

ค่าความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Stress at maximum load)} = F/A$$

มอดูลัส (Young's modulus, E) = $(F/A) / [(L-L_0)/L_0]$

การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด (Elongation at maximum load) = $[(L-L_0)/L_0]$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ขึ้นงานดึงยืดขึ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของขึ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยืดขึ้นงานตัวอย่าง (mm)

L_0 คือ ระยะที่ขึ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

3.4.5 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาอุณหภูมิการสลายทางความร้อน (Onset degradation temperature) ของพอลิเมอร์ ผสมด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer : TGA) ทำได้โดยชั่งสารตัวอย่างประมาณ 10-12 มิลลิเมตร และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA โดยใช้บรรยากาศ ไนโตรเจน (N_2) ที่ภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิที่ใช้อู่ในช่วง 50-600 องศาเซลเซียส และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อได้ TGA เทอร์โมแกรม แล้วจึงนำมาทำอนุพันธ์ของเทอร์โมแกรม (Derivative Thermogram) ได้เป็น DTA

3.4.6 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดขึ้นงานตัวอย่างเป็นรูปคัมเบลล์ ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 8-10 % ทำการฝังดินเป็นระยะเวลา 3 วัน จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อเปรียบเทียบเกี่ยวกับตัวอย่างที่ไม่ได้ฝังดิน

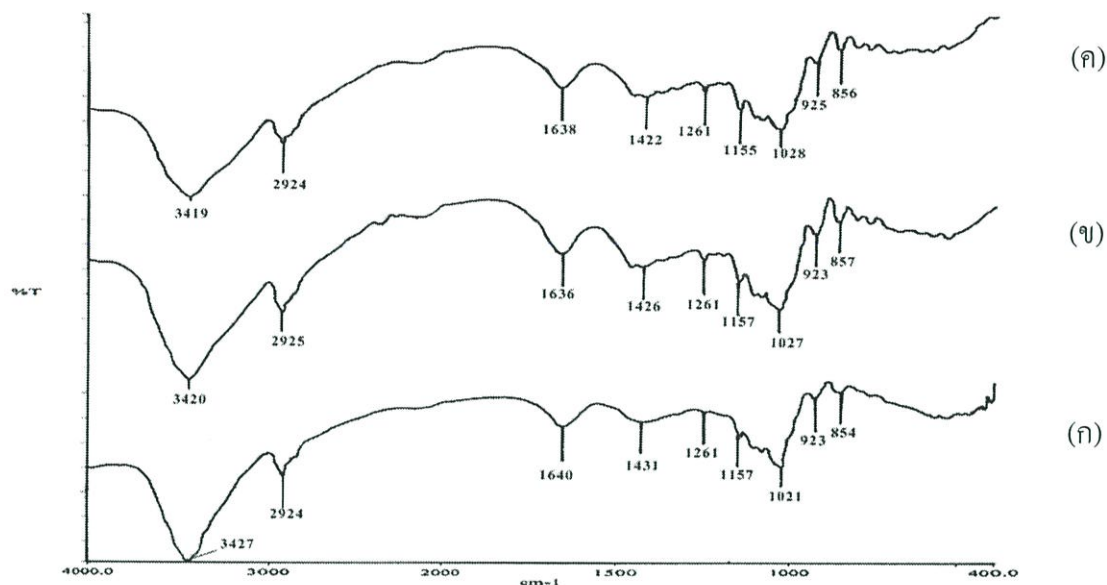
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลอง

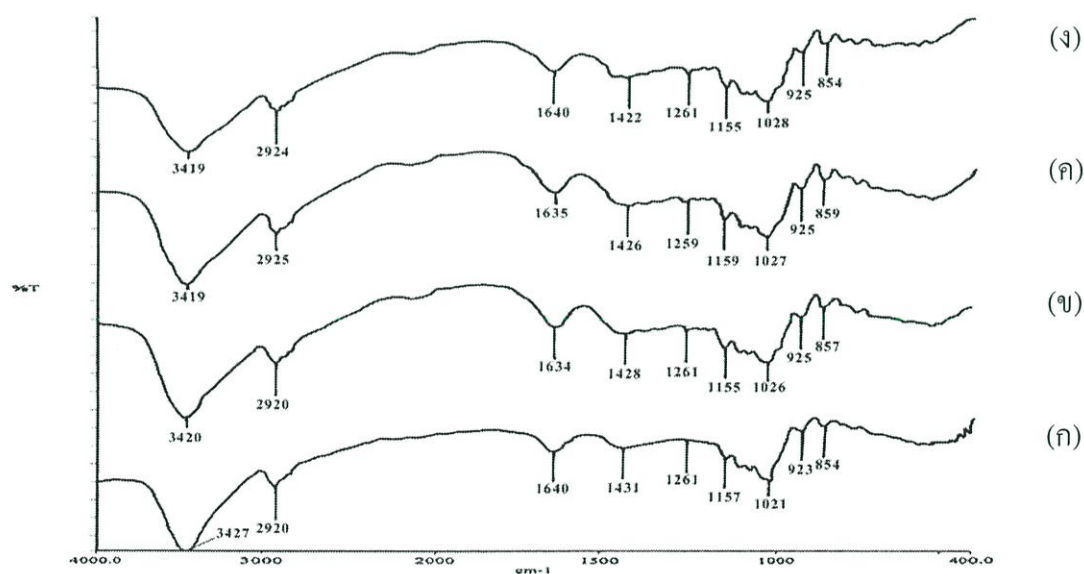
งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวขย่มอม โดยใช้ซีลี้อยจากไม้มะค่าเพื่อปรับปรุงสมบัติโดยใช้ซีลี้อยขนาดต่างๆกัน ได้แก่ >50 เมช, 50-100 เมช และ <100 เมช ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วง (L/D ratio) 5.74, 3.75 และ 2.88 ตามลำดับ (ภาคผนวก ข) และปริมาณอนุภาคของซีลี้อยได้แก่ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% ได้ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ มีผลดังนี้

4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลสามารถทำได้โดยใช้เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่เตรียมได้จากแป้งท้าวขย่มอม และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติโดยใช้ซีลี้อยจากไม้มะค่าที่มีขนาดอนุภาคและปริมาณที่ต่างกัน



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ซ์ที่ปรับปรุงด้วยซีลื้อยขนาด <math><math>< 100</math></math> เมช ในปริมาณต่างๆ (ก) 0% (ข) 10% และ (ค) 20%



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตา์ซ์และเทอร์โมพลาสติกสตา์ซ์ที่ปรับปรุงด้วยซีลื้อยปริมาณ 20 % ที่ขนาดอนุภาคต่างๆ (ก) TPAS (ข)>50 mesh (ค) 50-100 เมช และ (ง) <math><math>< 100</math></math> เมช

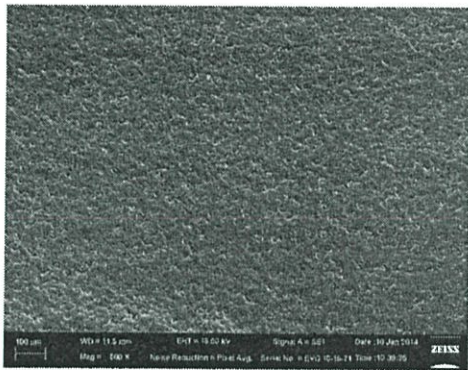
จากรูปที่ 4.1 - 4.2 แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของเทอร์โมพลาสติก-สตาโรซจากแป้งท้าวขม โดยในพิคช่วง 3400-3500 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching ของแป้งและกลีเซอรอล พิคช่วง 2900-3000 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-H stretching ของ CH_2 หรือ CH_3 ของแป้ง พิคที่ประมาณ 1640 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นของ H-O-H ของโมเลกุลน้ำที่อยู่ในแป้ง พิคที่ประมาณ 1431 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ O-H bending ของแป้ง พิคช่วง 1300-1000 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบ C-O-C stretching ของแป้ง พิคช่วง 1200-1000 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-O-H bending ของแป้ง [40]

สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีอียกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีอียที่ขนาดอนุภาค และปริมาณต่างๆกัน (รูปที่4.1-4.2) พบว่า

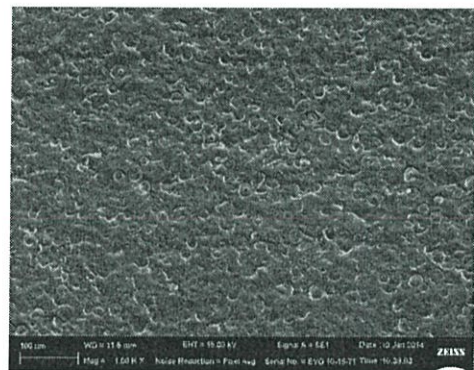
1. พิคที่ 3427 cm^{-1} และ 1431 cm^{-1} ที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending ในแป้ง เมื่อผสมซีลีอียทำให้พิคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเลื่อน (Shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่มีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงนี้ แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น โดยมีพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ [40] ระหว่างแป้งและซีลีอียที่ใส่เข้าไป นอกจากนี้จะพบว่าที่พิคการสั่นแบบ OH-stretching มีความกว้าง (Broad) มากขึ้น เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นจากหมู่ OH ของโครงสร้างในกลีเซอรอล แป้ง และ ซีลีอีย
2. เกิดพิคใหม่ที่ตำแหน่ง 1260 cm^{-1} ซึ่งเกิดการสั่นแบบ C-O-C stretching ของหมู่ฟังก์ชันอีเทอร์ (Ether) ในซีลีอียโดยพบเฉพาะเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีอียที่ขนาดอนุภาคและปริมาณต่างๆกัน เนื่องจากโครงสร้างของซีลีอียที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน ซึ่งมี C-O-C อยู่ในโครงสร้าง

4.2 สัณฐานวิทยา (Morphology)

การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าว-ยายม่อมและซีลี้อยจากไม้มะค่าทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) เพื่อทำการศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้



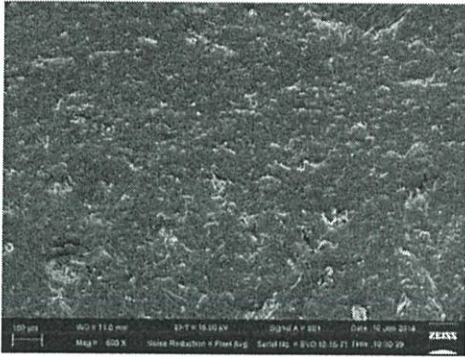
(ก) TPAS, 500X



(ข) TPAS, 1000X

รูปที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

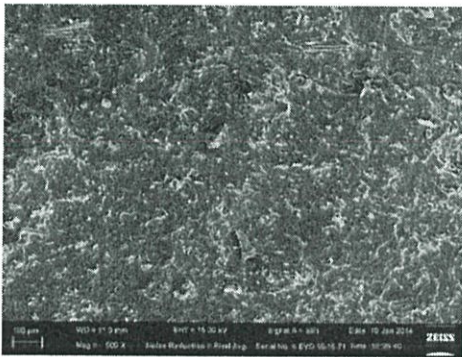
จากรูปที่ 4.3 (ก)-(ข) แสดงให้เห็นถึงภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่กำลังขยาย 1000 เท่า พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบแต่ยังมีเม็ดกลมที่เกิดจากเม็ดแป้งบางส่วนนั้นหลอมไม่สมบูรณ์



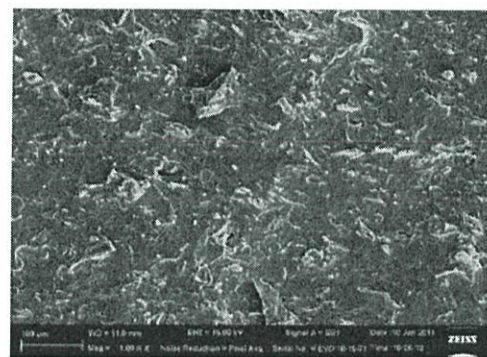
(a) +10% Sawdust particle size
<100 mesh, 500X



(b) +10% Sawdust particle size
<100 mesh, 1000X



(c) +20% Sawdust particle size
<100 mesh, 500X



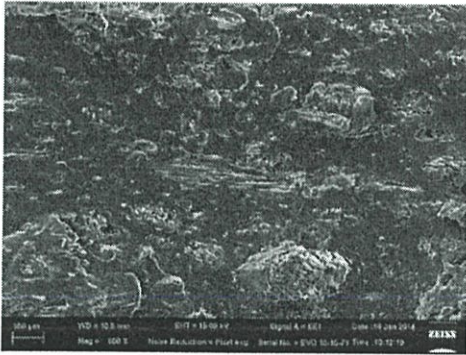
(d) +20% Sawdust particle size
<100 mesh, 1000X



(e) +10% Sawdust particle size
50-100 mesh, 500X



(f) +10% Sawdust particle size
50-100 mesh, 1000X



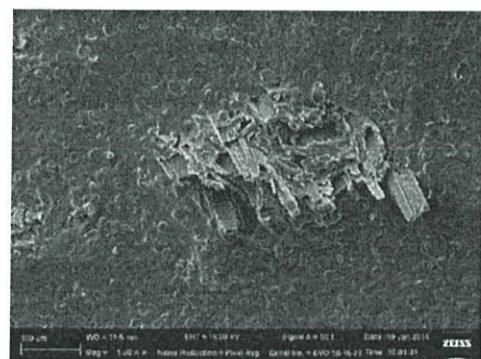
(ฉ) +20% Sawdust particle size
50-100 mesh, 500X



(ญ) +20% Sawdust particle size
50-100 mesh, 1000X



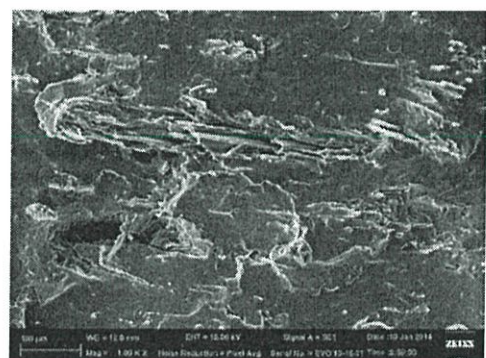
(ฉ) +10% Sawdust particle size
>50 mesh, 500X



(ญ) +10% Sawdust particle size
>50 mesh, 1000X



(ฐ) +20% Sawdust particle size
>50 mesh, 500X



(ฑ) +20% Sawdust particle size
>50 mesh, 1000X

รูปที่ 4.4 สันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยามม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วย
ซีลีเนียมมะค่าในปริมาณและขนาดอนุภาคต่างๆ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
ส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

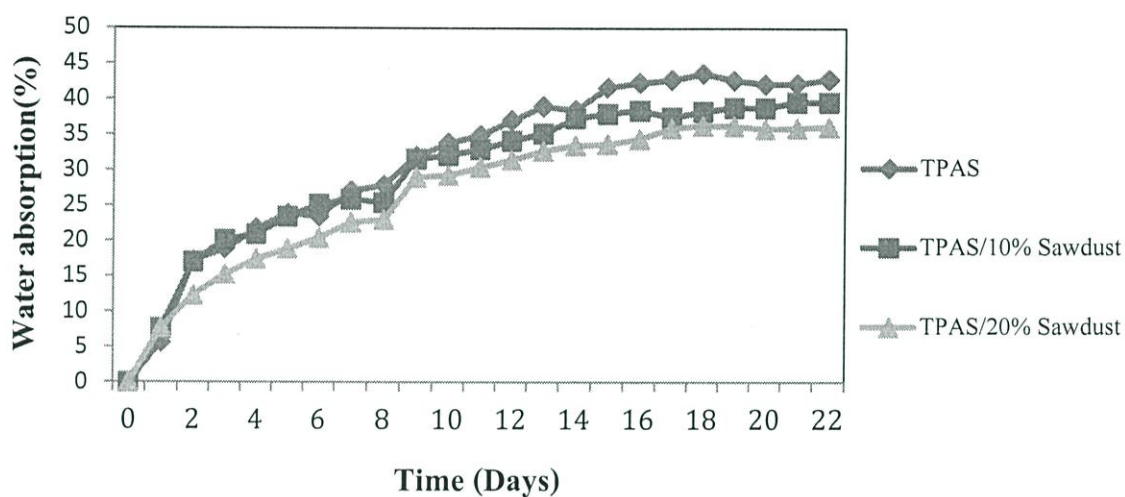
จากรูปที่ 4.4 (ค)-(ง), (ช)-(ซ) และ (ฎ)-(ฏ)แสดงให้เห็นถึงภาคตัดขวางของเทอร์โม-พลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยซีลี้อยจากไม้มะค่าที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน ในปริมาณ 10% โดยใช้กำลังขยาย 500 เท่า พบว่าซีลี้อยกระจายตัวบนพื้นผิวของเทอร์โม-พลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมและมีบางส่วนยื่นออกมาจากเทอร์โม-พลาสติก ในรูปที่ 4.4 (จ)-(ค), (ณ)-(ญ) และ (ฐ)-(ฑ) เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยซีลี้อยจากไม้มะค่าที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน ในปริมาณ 20% พบว่ามีปริมาณซีลี้อยกระจายตัวบนพื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมมากขึ้นเมื่อใช้กำลังขยาย 1000 เท่า สามารถมองเห็น ภูมิภาคระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมกับซีลี้อย พบว่าซีลี้อยมีความเข้ากันได้ดีกับภูมิภาคของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม โดยสังเกตจากรอยต่อระหว่างภูมิภาคที่ไม่มีการแยกส่วนกัน นอกจากนี้ยังพบลักษณะของ Surface wetting ซึ่งสังเกตได้จากการที่พื้นผิวของซีลี้อยถูกปกคลุมด้วยแป้ง แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างภูมิภาคของซีลี้อยและเทอร์โมพลาสติกของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ

นอกจากนี้ ในรูปที่ 4.4 (ค)-(ฑ) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงด้วยซีลี้อยจากไม้มะค่าด้วยขนาดอนุภาคต่างกัน โดยใช้กำลังขยาย 1000 เท่า พบว่า ซีลี้อยที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมชมีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมา คือขนาดอนุภาค 50-100 เมชและน้อยกว่า 100 เมชตามลำดับ ซึ่งขนาดอนุภาคของซีลี้อยที่ต่างกันนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่อรอยต่อระหว่างภูมิภาคของแป้งท้าวยายม่อมและซีลี้อยจากไม้มะค่า เนื่องจากภูมิภาคทั้งสองสามารถเข้ากันได้ดี

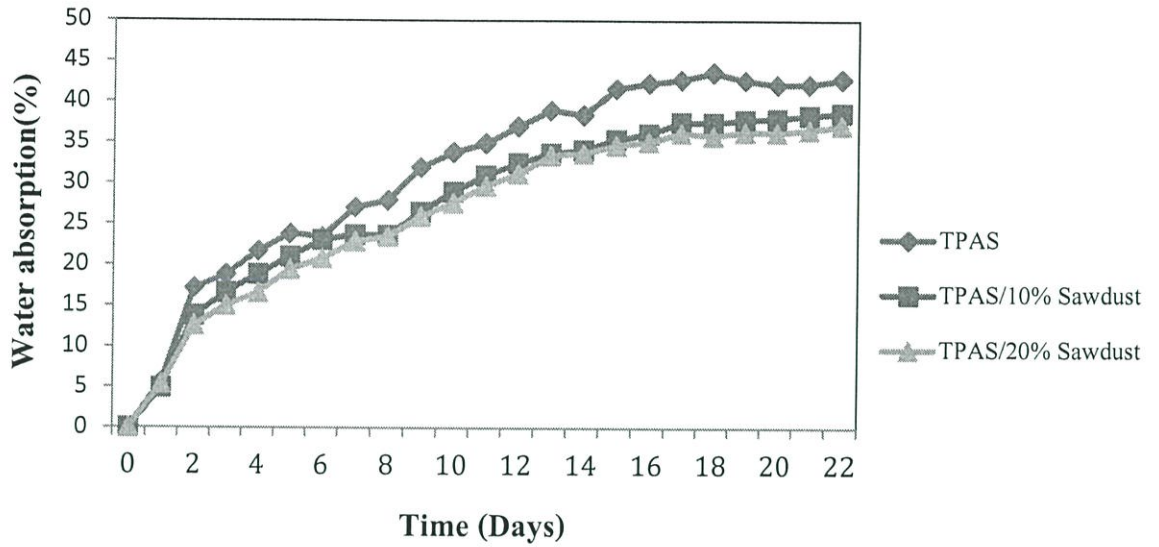
4.3 สมบัติทางกายภาพ

4.3.1 การดูดซับน้ำ (Water absorption)

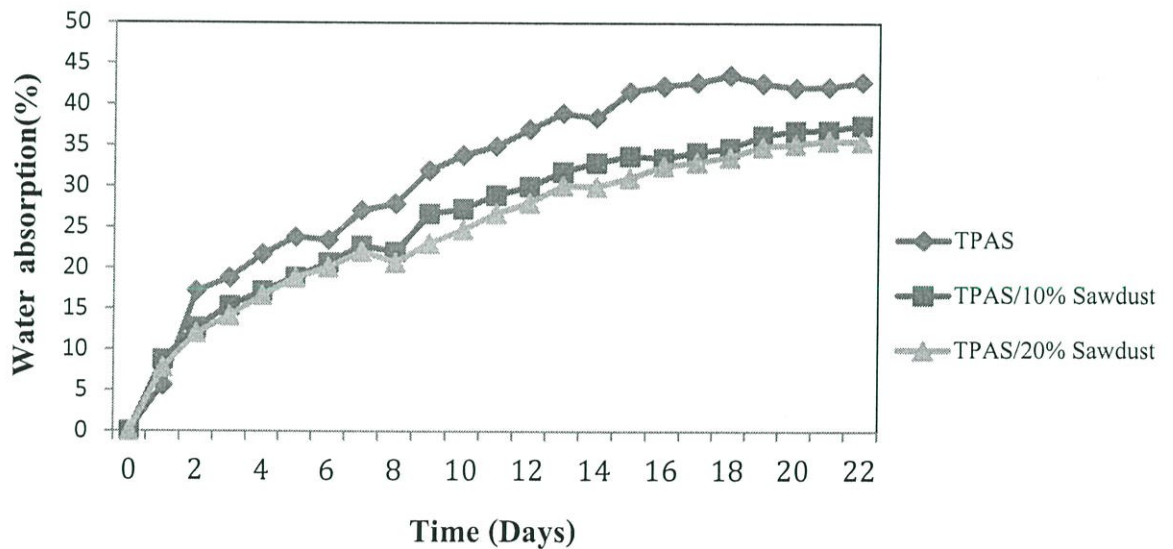
ผลของปริมาณขี้เลื่อยจากไม้มะค่าที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70 – 80 %



รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยจากไม้มะค่าที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมชในปริมาณ 10% และ 20% ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80%



รูปที่ 4.6 เปรอ์เซ็นต์การดูดซึมน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตา์รชจากเป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เเลื่อยจากไม้มะค่าที่ขนาดอนุภาค 50 - 100เมฆ ในปริมาณ 10% และ20% ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80%

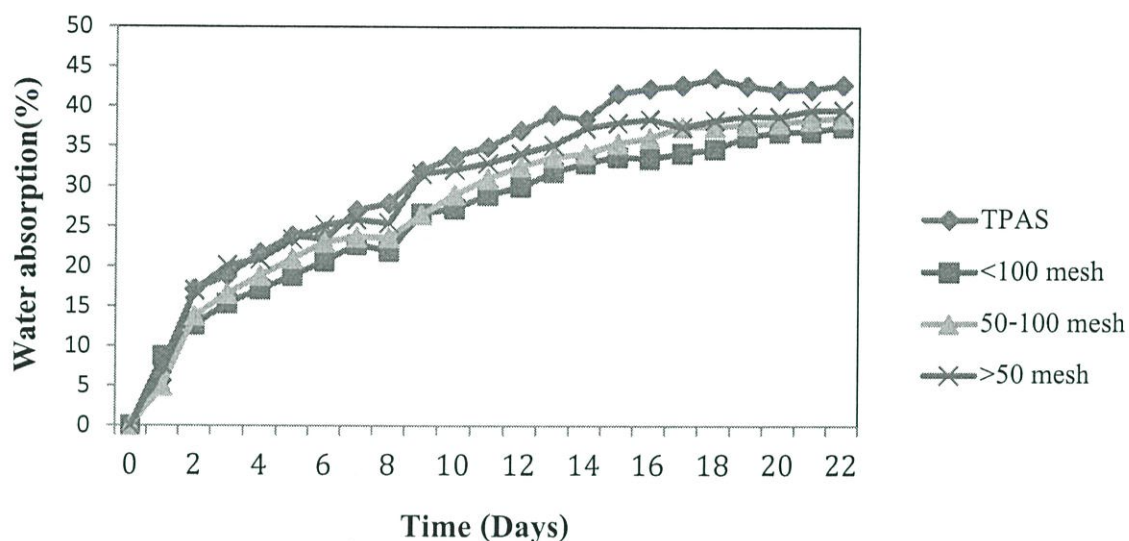


รูปที่ 4.7 เปรอ์เซ็นต์การดูดซึมน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตา์รชจากเป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เเลื่อยจากไม้มะค่าที่ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100เมฆ ในปริมาณ 10% และ20% ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80%

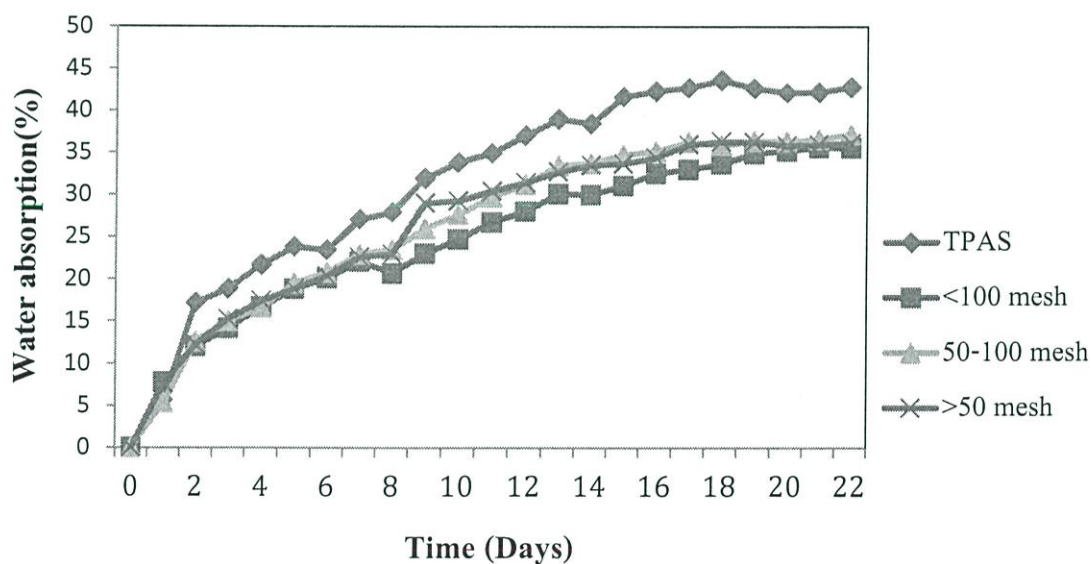
จากการทดสอบการดูดซับน้ำกลั่นภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70–80% ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ จากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยจีลีส้อยจากไม้มะค่าในปริมาณต่างๆ ดังรูปที่ 4.5-4.7 พบว่าภายในช่วง 2 – 3 วันแรก เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยจีลีส้อยจากไม้มะค่าในทุกอัตราส่วนสามารถดูดซับน้ำกลั่นได้อย่างรวดเร็ว โดยเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ไม่มีจีลีส้อยเป็นส่วนผสม มีความสามารถดูดซับน้ำกลั่นได้มากที่สุด เนื่องจากโมเลกุลของแป้งท้าวยายม่อมนั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับน้ำกลั่นได้มาก และในช่วงหลังจาก 19 วันของการทดสอบ พบว่า การดูดซับน้ำกลั่นมีแนวโน้มคงที่ แล้วเริ่มมีราขึ้นที่ชิ้นงาน

จากผลของปริมาณจีลีส้อย (รูปที่ 4.5-4.7) พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยจีลีส้อยจากไม้มะค่า 10% และ 20% พบว่า สามารถดูดซับน้ำกลั่นได้น้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ไม่มีจีลีส้อยเป็นส่วนผสมเนื่องจากจีลีส้อยมีความสามารถในการดูดซับน้ำกลั่นได้น้อยกว่าแป้ง และลิกนินที่พบในอนุภาคของจีลีส้อยมีความไม่มีขั้วมากกว่าแป้ง [41] จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยจีลีส้อยจากไม้มะค่า 10% และ 20% พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยจีลีส้อยจากไม้มะค่า 20% มีความสามารถดูดซับน้ำกลั่นได้น้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยจีลีส้อยจากไม้มะค่า 10% เนื่องจากมีปริมาณของแป้งลดลง

ผลของขนาดอนุภาคซีลี้อย่างไม้มะค่าที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักรูดซึมน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซจากแป้งท้าวยายม่อม โดยการนำไปแช่น้ำกลั่นที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ถึง 80%



รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย่างไม้มะค่าที่ปริมาณ 10% และมีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช, 50-100 เมชและน้อยกว่า 100 เมช ที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80%



รูปที่ 4.9 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำกลั่นของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย่างไม้มะค่าที่ปริมาณ 20% และมีขนาดอนุภาคมากกว่า 50 เมช, 50-100 เมชและน้อยกว่า 100 เมชที่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80%

จากผลของขนาดขี้เลื่อย (รูปที่ 4.8-4.9) โดยกำหนดให้ปริมาณของขี้เลื่อยคงที่แต่แตกต่างกันที่ขนาดอนุภาค คือ ขนาดมากกว่า 50 เมช, 50-100 เมช และ น้อยกว่า 100 เมช พบว่า ขนาดของขี้เลื่อยไม่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ใกล้เคียงกัน

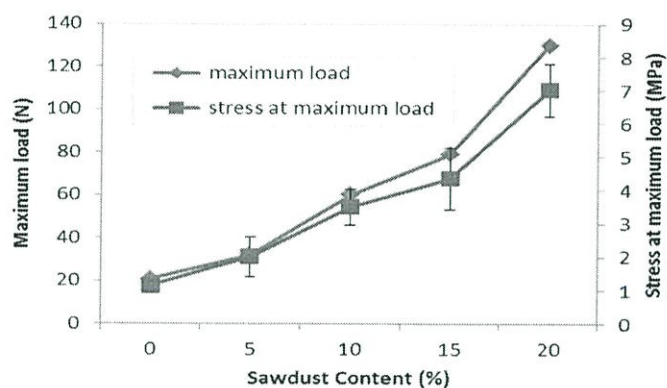
จากการทดสอบการดูดซับน้ำกลั่นภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% สามารถสรุปได้ว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ไม่มีขี้เลื่อยผสมอยู่นั้น สามารถดูดซับน้ำกลั่นได้มากที่สุดซึ่งสามารถแยกสรุปได้ 2 ส่วน คือ

1. ในเชิงปริมาณของขี้เลื่อย กล่าวคือ ในสูตรที่มีอัตราส่วนของปริมาณขี้เลื่อยมากขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำกลั่นมีแนวโน้มลดลง
2. ในเชิงของขนาดอนุภาคขี้เลื่อยจากไม้มะค่า กล่าวคือ การดูดซับน้ำมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อขนาดอนุภาคของขี้เลื่อยแตกต่างกัน

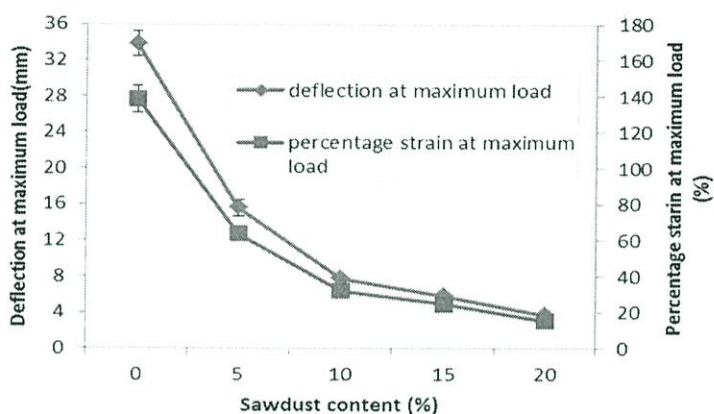
จากผลการทดลองการดูดซับน้ำกลั่น พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมสูตรที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยสามารถดูดซับน้ำได้มากที่สุดและเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงด้วยขี้เลื่อยในปริมาณ 20% ดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด

4.4 สมบัติเชิงกล

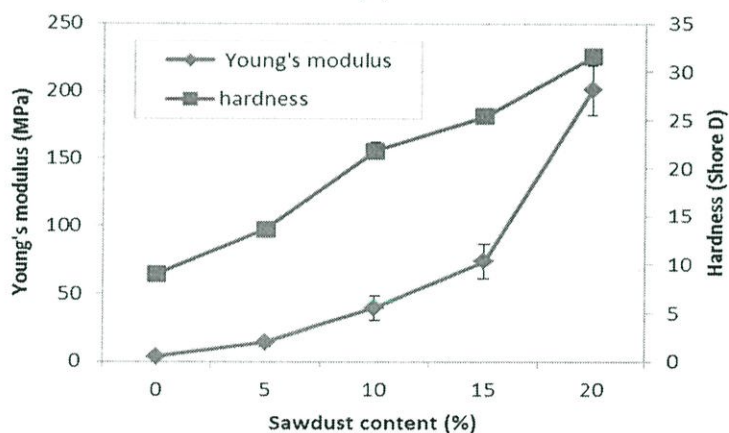
สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาผลของปริมาณและผลของขนาดได้แก่ แรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และความแข็งกด โดยพิจารณาจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเยอ 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนัก ที่ซีลีเยอมีขนาด <100 เมช, 50-100 เมชและ >50 เมชซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) เท่ากับ 2.88, 3.75 และ 5.74 ตามลำดับ (ภาคผนวก ข) เปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีการปรับปรุงโดยให้ผลการทดลองดังนี้



(ก)

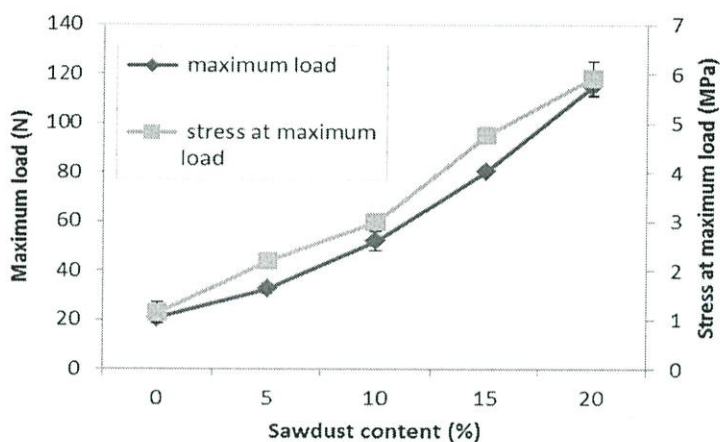


(ข)

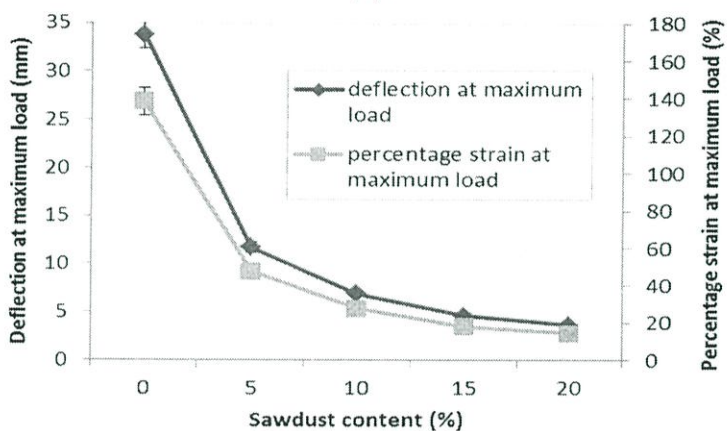


(ค)

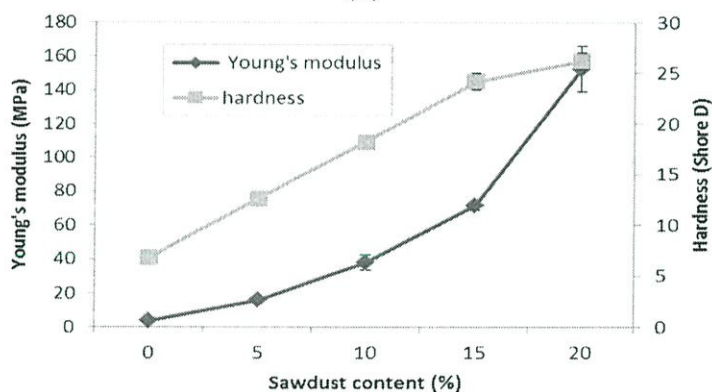
รูปที่ 4.10 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด <math>< 100</math> เมช ที่ปริมาณต่างๆแรงดึงสูงสุด (ก) และความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด



(ก)

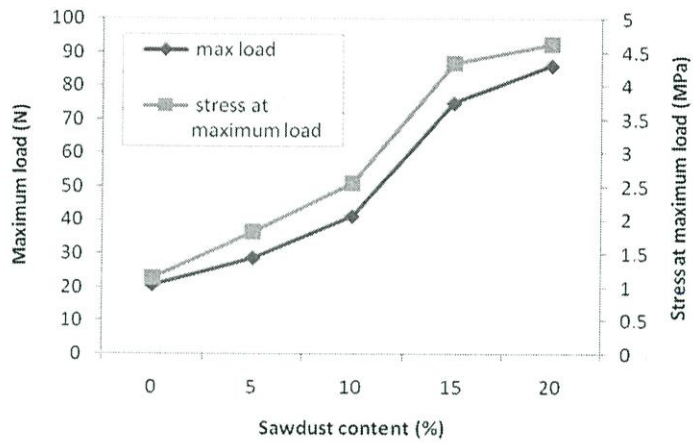


(ข)

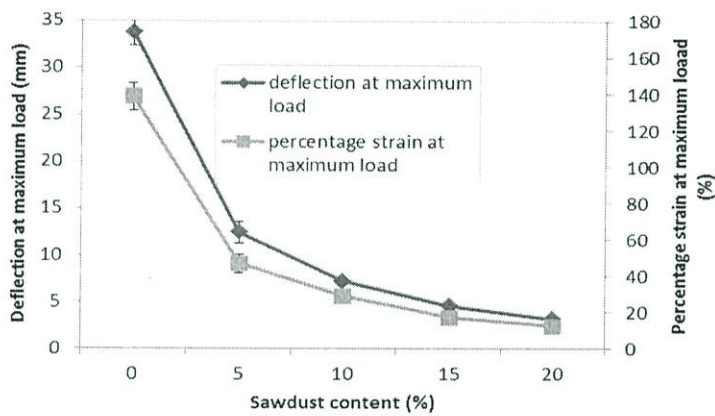


(ค)

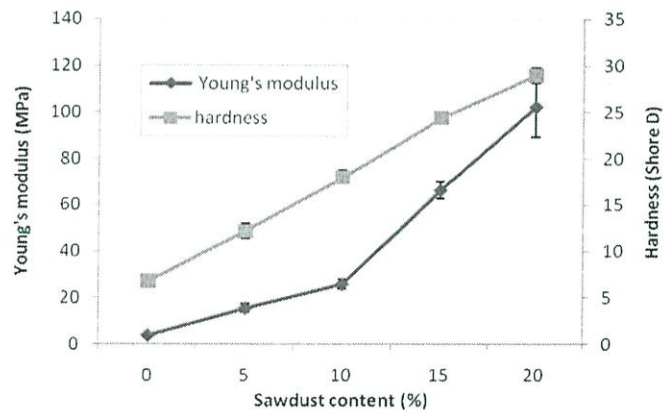
รูปที่ 4.11 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด 50-100 เมช ที่ปริมาณต่างๆ (ก)แรงดึงสูงสุด และ ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด การยืดออก ณ จุดแรง (ข) ดึงสูงสุด และ เปอร์เซนต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ มอดุลัส และ ความแข็งกด



(ก)

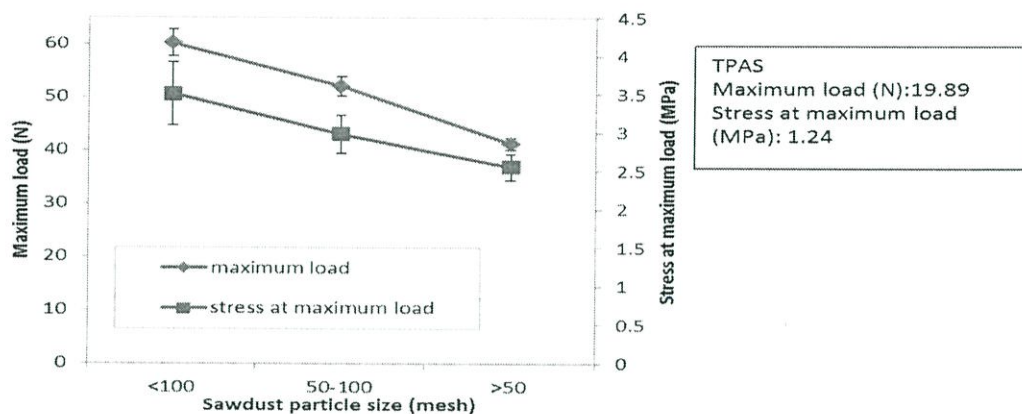


(ข)

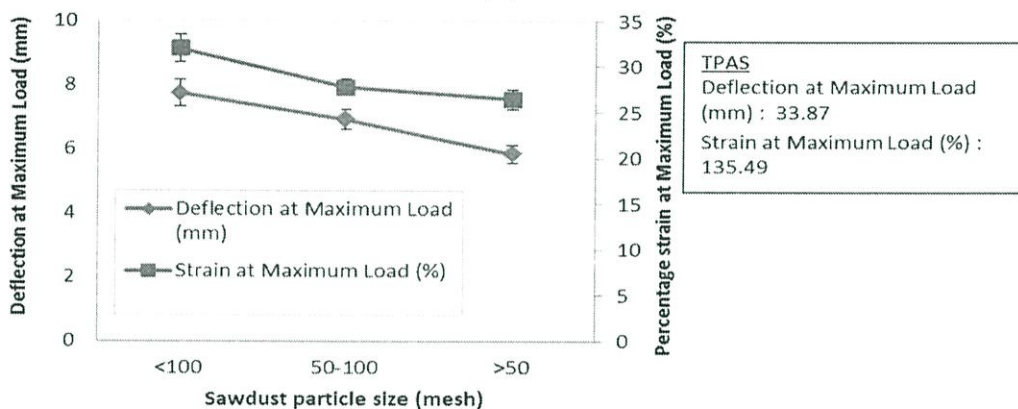


(ค)

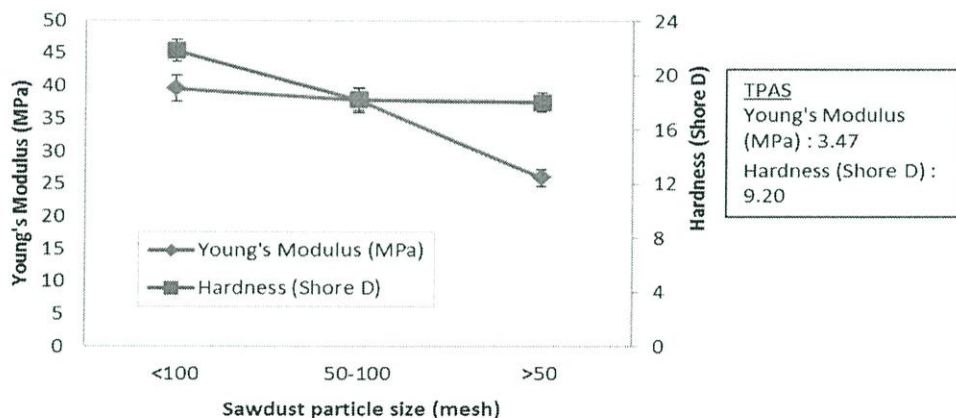
รูปที่ 4.12 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด >50 เมช ที่ปริมาณต่างๆ (ก)แรงดึงสูงสุด และความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) และ เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ มอดุลัส และความแข็งกด



(ก)

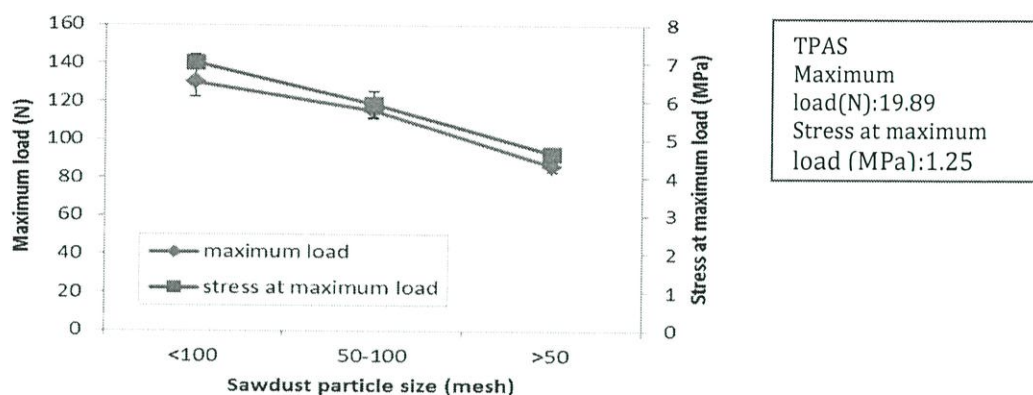


(ข)

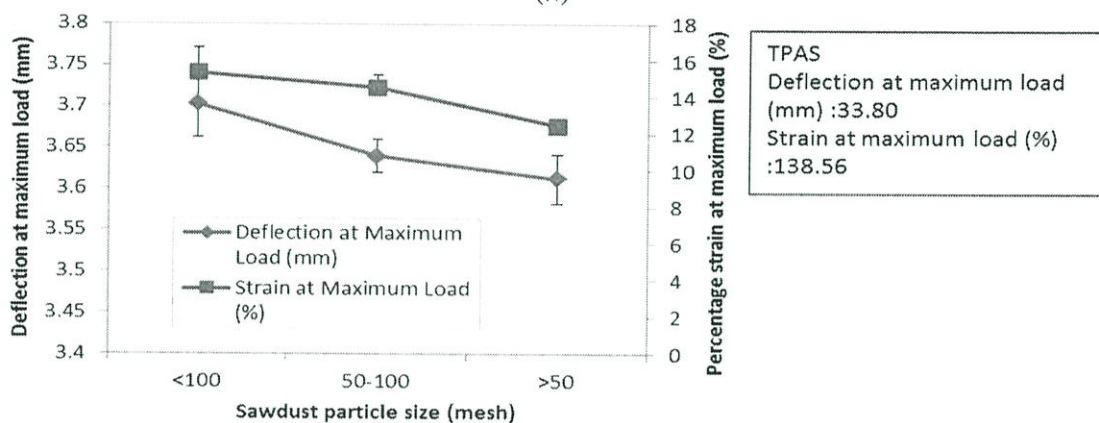


(ค)

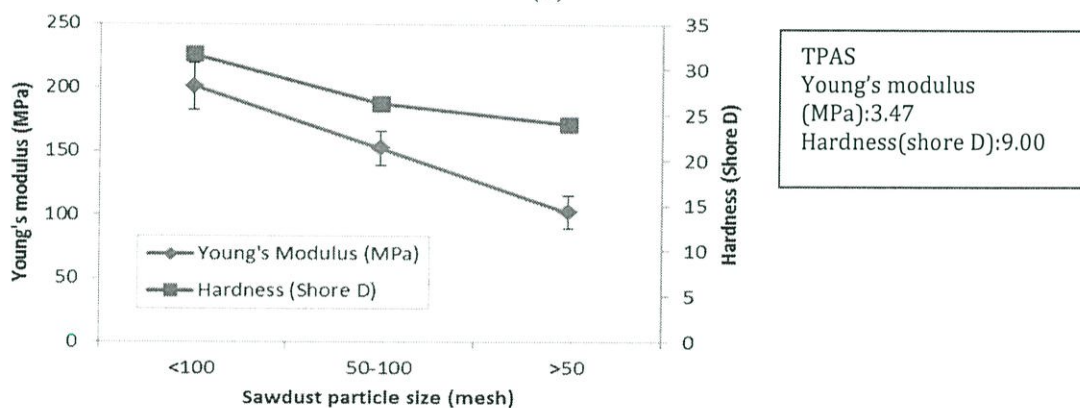
รูปที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด <100 เมช, 50-100 เมช และ >50 เมช ปริมาณ 10% (ก) แรงดึงสูงสุด และ ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ เปอร์เซนต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) โมดูลัส และความแข็งกด



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.14 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด <100 เมช, 50-100 เมช และ >50 เมช ปริมาณ 20% (ข) แรงดึงสูงสุด และ ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ก) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ เปอร์เซนต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส และความแข็งกด

จากรูปที่ 4.10 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าว-ยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมที่มีขนาด >100 เมช โดยใช้ซีลีเนียมในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่า แรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความแข็งกด ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณของซีลีเนียมเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีลีเนียมทำหน้าที่เป็นส่วนเสริมแรงให้กับเทอร์โมพลาสติกสตาโรล นอกจากนี้ยังพบการเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นใหม่ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งท้าวยายม่อมและซีลีเนียมซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งพีคที่ตำแหน่ง O-H stretching มีการเลื่อนตำแหน่งของเลขคลื่นที่ลดลง (รูปที่ 4.1) และจากการวิเคราะห์ด้วย SEM รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างสองวัสดุ ซีลีเนียมกับแป้ง

จากรูปที่ 4.11 (ก) และ (ค) แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าว-ยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมที่มีขนาด 50-100 เมช โดยใช้ซีลีเนียมในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความแข็งกด ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณซีลีเนียมเพิ่มขึ้น แต่มีค่าน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยซีลีเนียมขนาด <100 เมช ที่ใช้ซีลีเนียมในปริมาณที่เท่ากัน เช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมที่มีขนาด >50 เมช โดยใช้ซีลีเนียมในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความแข็งกด ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณซีลีเนียมเพิ่มขึ้น แต่มีค่าน้อยที่สุดดังรูปที่ 4.12 (ก) และ (ค) เมื่อใช้ซีลีเนียมในปริมาณที่เท่ากัน เนื่องจากเมื่อซีลีเนียมมีขนาดใหญ่ขึ้น ความเข้ากันได้หรือการรวมเป็นเนื้อเดียวกันของซีลีเนียมกับแป้งมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับจากการวิเคราะห์ด้วย SEM รูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.13 และจากรูปที่ 4.14 แสดงถึงขนาดที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อขนาดซีลีเนียมลดลง แรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความแข็งกดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้นทำให้การส่งผ่านแรงกระทำเกิดขึ้นได้ดีขึ้น

จากรูปที่ 4.10-4.14 (ข) แสดงการยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด พบว่ามีแนวโน้มที่ตรงกันข้ามกับแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรงดึง ณ จุดแรงดึงสูงสุด โมดูลัส และความแข็งกดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล เนื่องจากขึ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเพราะมีซีลีเนียมเป็นส่วนเสริมแรง เนื่องจากสมบัติขององค์ประกอบภายในของซีลีเนียม

ความแข็งแรงทำให้ความสามารถในการยึดตัวลดลงจึงส่งผลให้ ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่ไม่ได้ผสมขี้เถ้าลงไป ดังนั้นจึงทำให้การยึดออก และการเปลี่ยนรูปร่างเป็นไปได้ยากกว่า

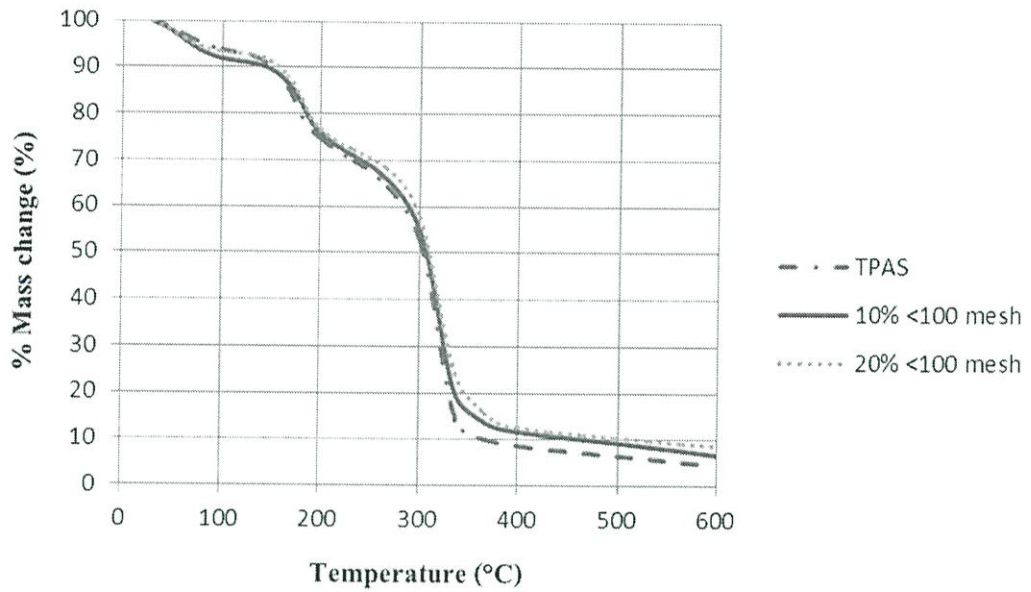
เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่ผสมขี้เถ้าจากในปริมาณที่ต่างกัน สรุปได้ว่า เทอร์โมพลาสติกสตาเรชที่ผสมขี้เถ้า 20% โดยน้ำหนัก และขนาด <100 เมช มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด โดยทำให้ค่าแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง อดทนแรงดึงสูงสุด มอดุลัส และความแข็งกด มีค่าสูงสุด

4.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

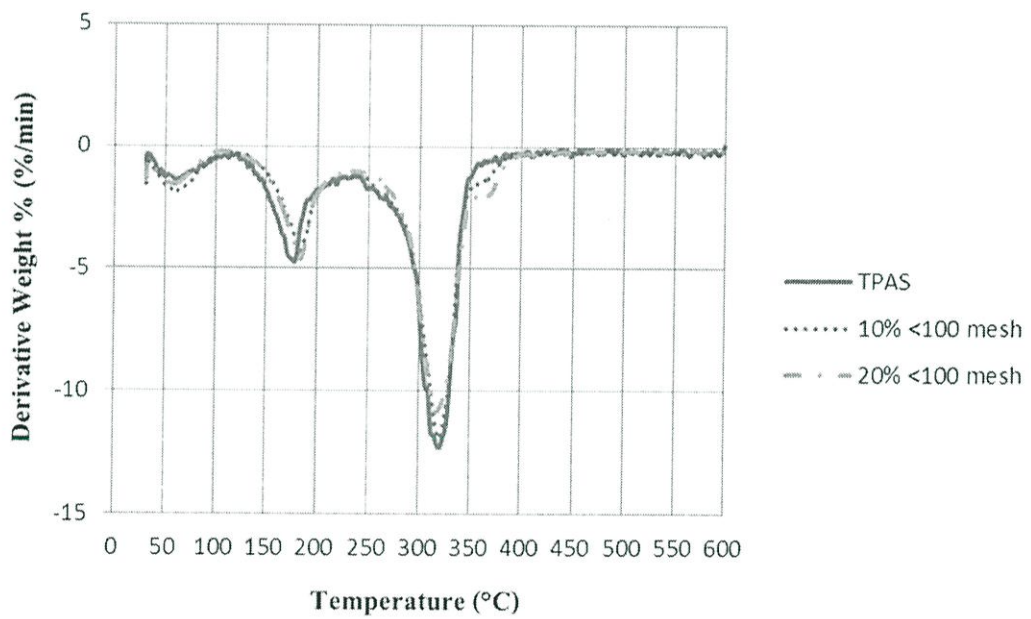
สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ได้มีการศึกษาสมบัติของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature, T_d) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป (% Mass change) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมจากไม้มะค่าที่มีปริมาณและขนาดอนุภาคแตกต่างกันด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA)

4.5.1 ผลของปริมาณของซีลีเนียมที่มีผลต่อเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์จากแป้งท้าวยายม่อม

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ (TPAS) และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมจากไม้มะค่าที่มีปริมาณต่างกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสไตรช์จากแป้งท้าวายม่อมและเทอร์โมพลาสติกสไตรช์จากแป้งท้าวายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เถ้าจากไม้มะค่าโดยใช้อนุภาคของขี้เถ้า (<100 เมช) ที่ปริมาณต่างกัน (ก) TGA และ (ข) DTG

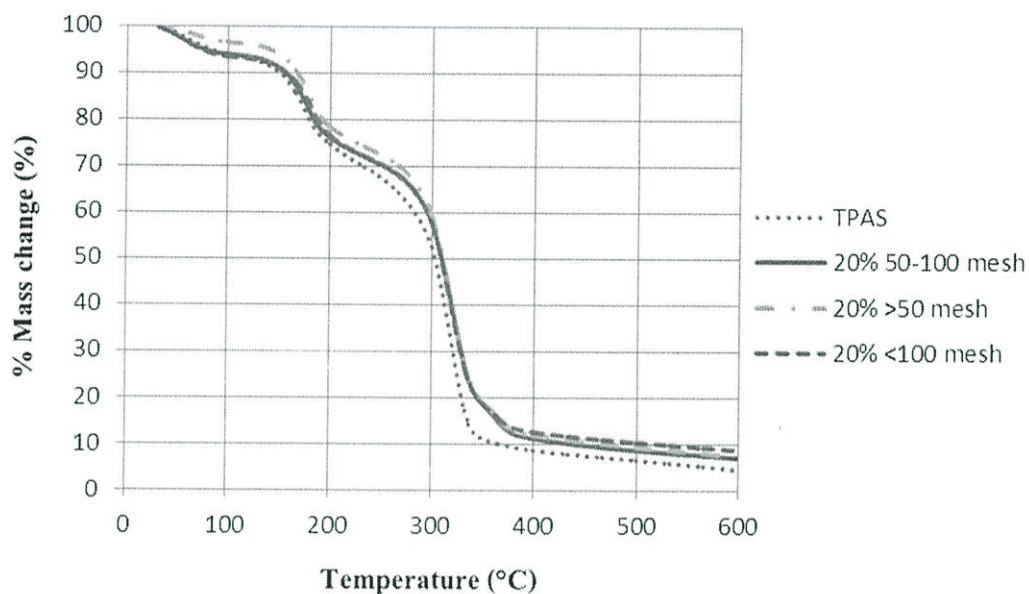
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติก-สตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่ และที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่จากไม้มะค่าด้วยขนาดอนุภาคเดียวกันปริมาณต่างกัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)			% น้ำหนักที่หายไป (แป้ง)
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (แป้ง)	ช่วงที่ 3 (ซีลี้อยู่)	
0%	177.7	320.2	-	65.6
10% <100 เมช	181.6	319.1	363.0	55.0
20% <100 เมช	181.7	316.6	359.0	53.1

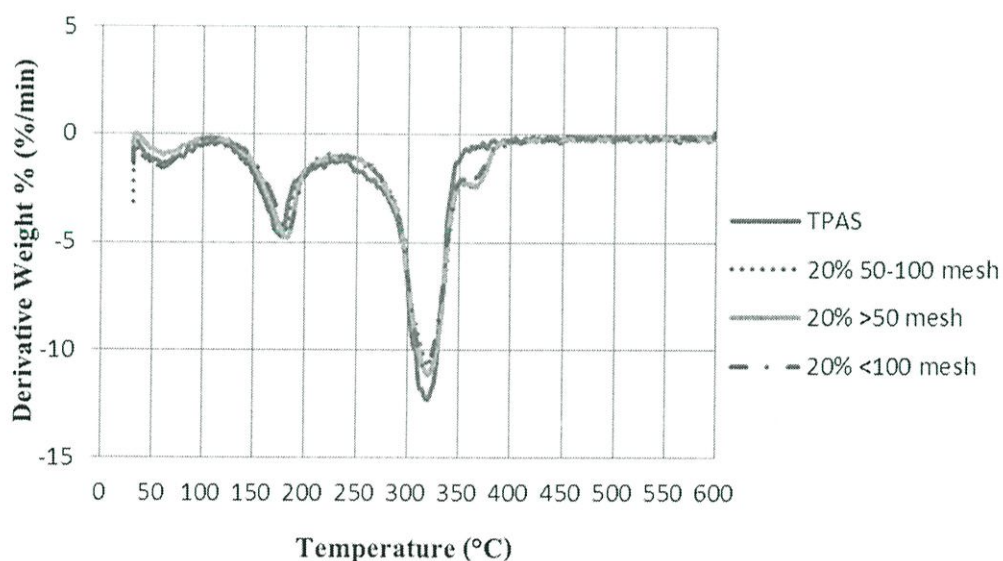
จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.15 พบว่าเมื่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวขย่มอมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อยู่จากไม้มะค่า อุณหภูมิการสลายตัวจะปรากฏขึ้น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลในช่วง 175-185 องศาเซลเซียส [42-43] ช่วงที่ 2 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง ประมาณ 320 องศาเซลเซียส[44] ช่วงที่ 3 เป็นช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของซีลี้อยู่จากไม้มะค่าในช่วง 359-365 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิการสลายตัว นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอนุภาคของซีลี้อยู่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้ง โดยเพิ่มปริมาณซีลี้อยู่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของแป้งมีแนวโน้มลดลง แสดงว่าเสถียรภาพทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพิ่มขึ้น

4.5.2 ผลของขนาดอนุภาคของซีลีเนียมที่มีผลต่อเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งท้าวยายม่อม

ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ (TPAS) และเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมจากไม้มะค่าที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งท้าวยายม่อมและเทอร์โมพลาสติกสตาบิลิตี้จากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมจากไม้มะค่า โดยใช้อุณหภูมิซีลีเนียมต่างกัน ปริมาณเท่ากัน (20%) (ก) TGA และ (ข) DTG

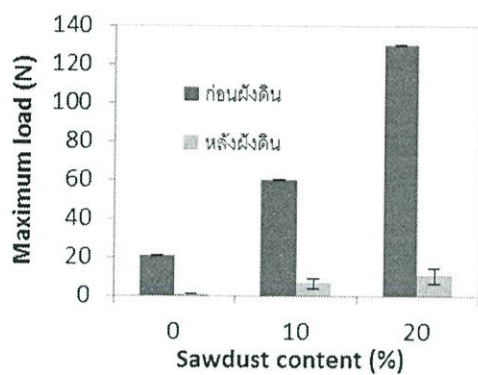
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติก-สตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมและที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมจากไม้มะค่าด้วยขนาดอนุภาคต่างกันปริมาณเดียวกัน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)			% น้ำหนักที่หายไป (แป้ง)
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (แป้ง)	ช่วงที่ 3 (ซีลีเนียม)	
0%	177.7	320.2	-	65.6
20% >50 เมช	181.4	319.6	365.1	54.8
20% 50-100 เมช	177.5	319.7	362.4	53.7
20% <100 เมช	181.7	316.6	359.0	53.1

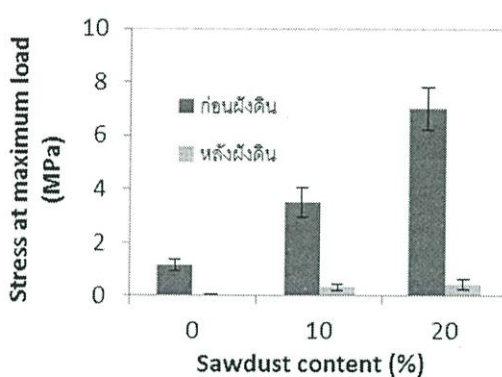
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.16 เมื่อมีการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลด้วยการเติมซีลีเนียมจากไม้มะค่า โดยใช้ขนาดอนุภาคต่างกัน คือ >50 เมช, 50-100 เมช และ <100 เมช ในปริมาณที่เท่ากัน (20%) พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัว 3 ช่วง โดยช่วงที่ 1 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอลอยู่ในช่วง 175-185 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งทำวยายม่อมประมาณ 320 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 3 เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของซีลีเนียมในช่วง 359-365 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งทำวยายม่อมที่มีการเติมซีลีเนียมจากไม้มะค่า พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวไม่เปลี่ยนแปลงจากการเปลี่ยนขนาดอนุภาคของซีลีเนียม นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลพบว่ามีแนวโน้มลดลงจากการเติมซีลีเนียม ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงโดยซีลีเนียมที่ขนาดต่างกัน

4.6 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

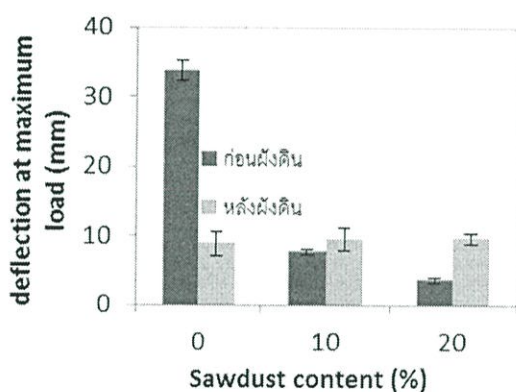
การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยนำเทอร์โมพลาสติกสไตร์ซสูตรต่างๆมาฝังดินที่ความชื้น 8-10% โดยใช้ระยะเวลาในการฝังประมาณ 3 วัน แล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาผลของปริมาณและผลของขนาดได้แก่ แรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดุลัส การยืดออกและ เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด นำมาเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลก่อนฝังดินได้ผลการทดลองดังนี้ดังนี้



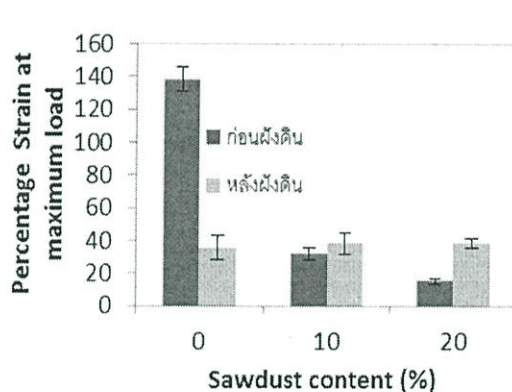
(ก)



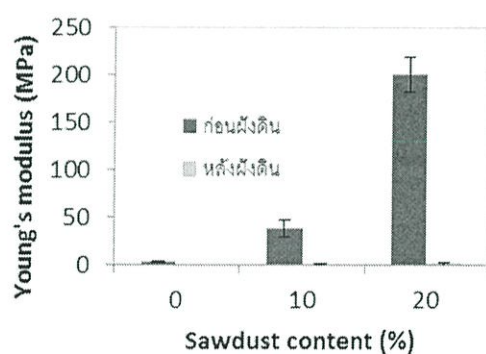
(ข)



(ค)

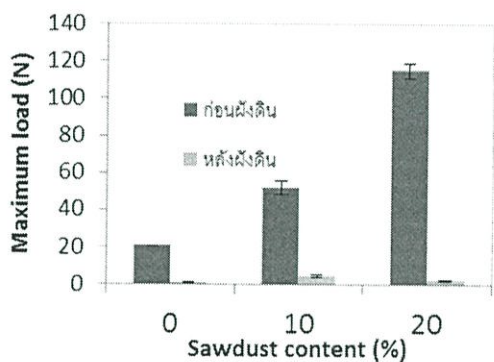


(ง)

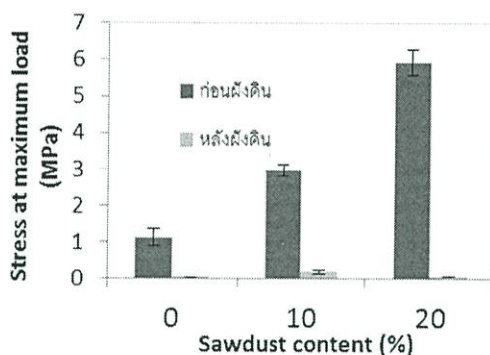


(จ)

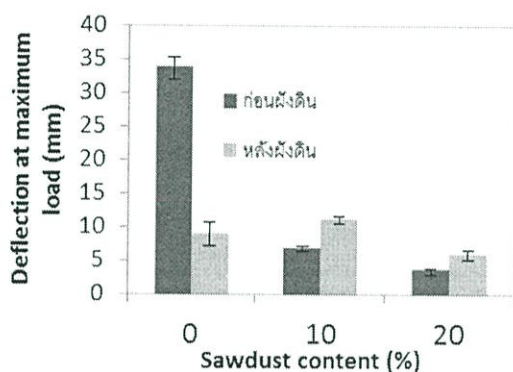
รูปที่ 4.17 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด <math><100</math> เมช ปริมาณ 10% และ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เบอร์เซนต์ความเคียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) มอดุลัส



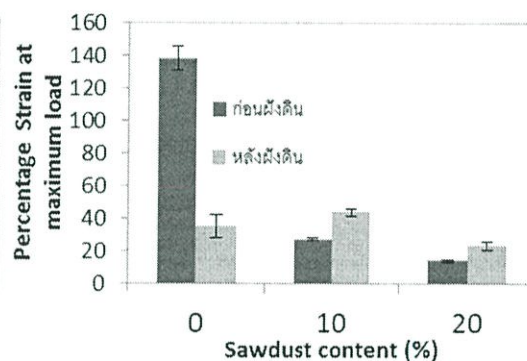
(ก)



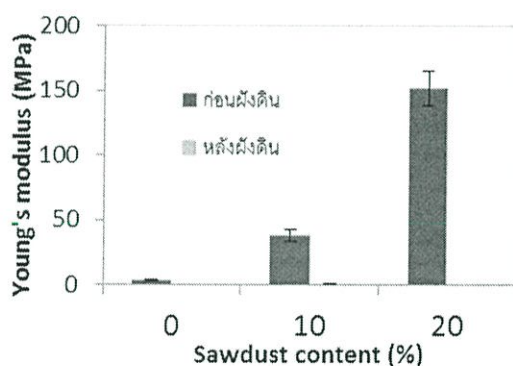
(ข)



(ค)

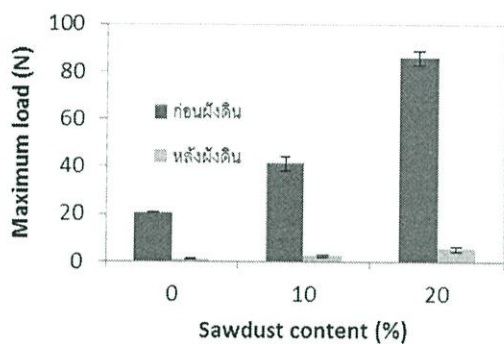


(ง)

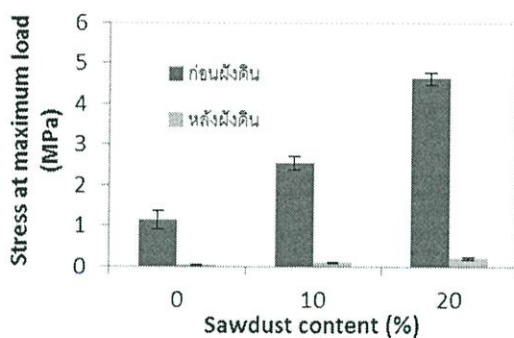


(จ)

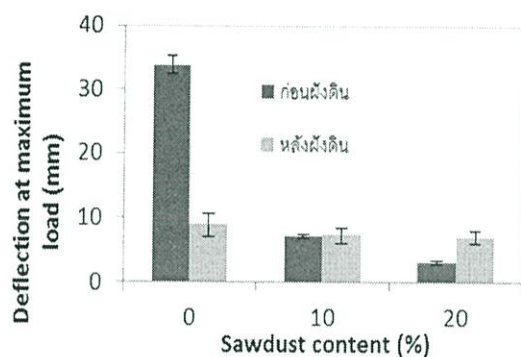
รูปที่ 4.18 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด 50-100 เมช ปริมาณ 10% และ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) โมดูลัส



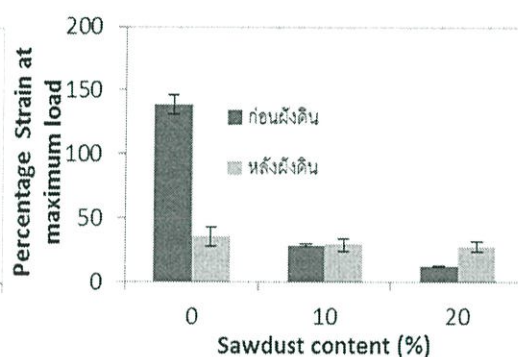
(ก)



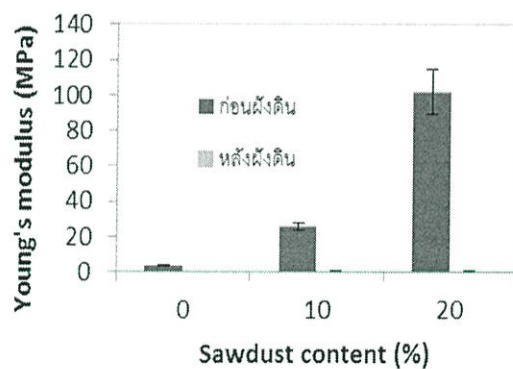
(ข)



(ค)

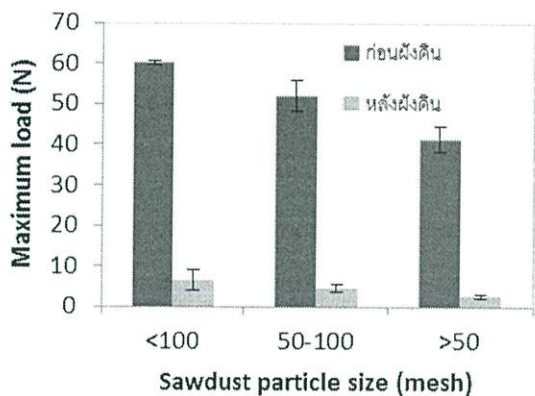


(ง)

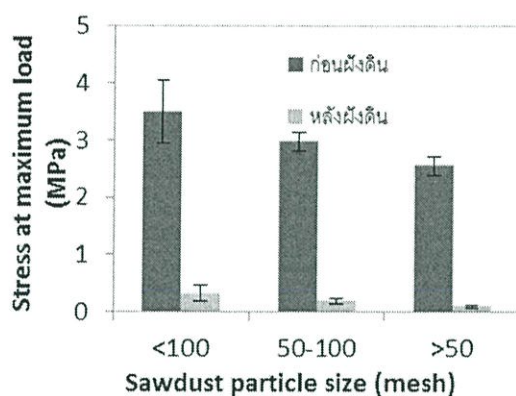


(จ)

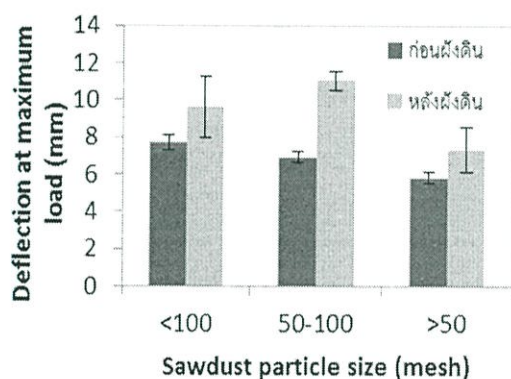
รูปที่ 4.19 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด >50 เมช ปริมาณ 10% และ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) โมดูลัส



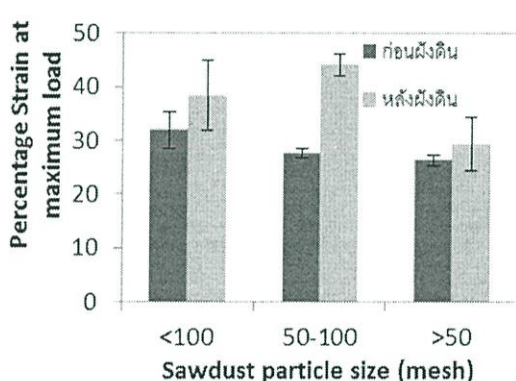
(ก)



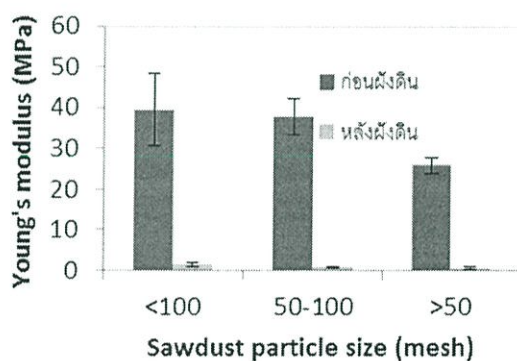
(ข)



(ค)

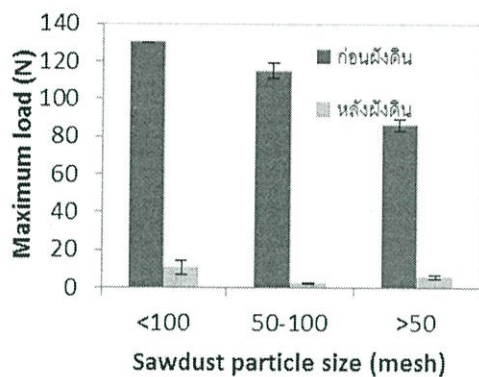


(ง)

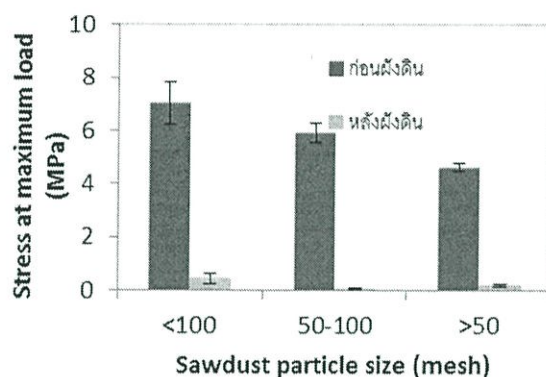


(จ)

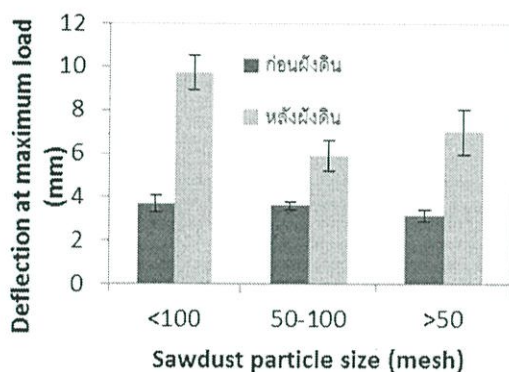
รูปที่ 4.20 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ผสมด้วยขี้เลื่อยขนาด >50, 50-100 และ <100 เมช ปริมาณ 10% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซนต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) โมดูลัส



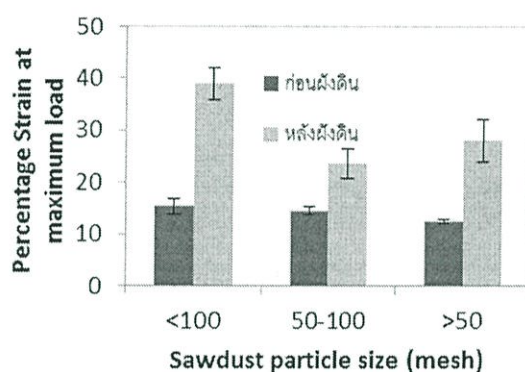
(ก)



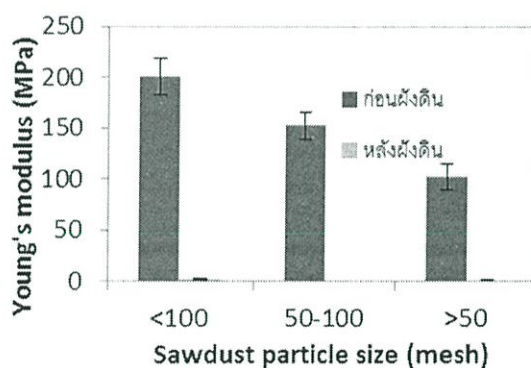
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.21 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมด้วยขี้เถ้าขนาด >50, 50-100 และ <100 เมช ปริมาณ 20% ก่อนฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลหลังฝังดิน (ก) แรงดึงสูงสุด (ข) ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค) เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ง) การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (จ) โมดูลัส

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมที่มีขนาดอนุภาคและปริมาณต่างกันก่อนและหลังฝังดิน พบว่า สมบัติเชิงกล ได้แก่ แรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส มีแนวโน้มลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลก่อนฝังดิน เนื่องจากชิ้นงาน มีการดูดความชื้นเพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานอ่อนและนิ่มตัว โดยสูตรที่มีปริมาณซีลีเนียมน้อยให้สมบัติเชิงกลต่ำกว่าสูตรที่มีปริมาณซีลีเนียมมากกว่า เนื่องจากวัฏภาคซีลีเนียมมีความแข็งมากกว่าวัฏภาคของแป้งซึ่งสามารถดูดความชื้นได้มากกว่า

เมื่อนำเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมาปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมขนาดต่างๆ พบว่า ซีลีเนียมขนาด <100 เมช นั้นยังคงสมบัติเชิงกลได้ดีที่สุดเนื่องจาก ซีลีเนียมขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสช่วยในการรับแรงได้มาก และการรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของซีลีเนียมกับแป้ง จึงทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลยังคงความแข็งแรงไว้ได้มากที่สุด ในทางตรงกันข้ามกับค่าการยืดออก และ เปอร์เซ็นต์ความเคี้ยว ณ จุดแรงดึงสูงสุด ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ ใช้ปริมาณซีลีเนียมน้อยลงและขนาดซีลีเนียมที่ใหญ่ขึ้น

เมื่อพิจารณาสมบัติในการย่อยสลายพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมเกิดการย่อยสลายได้มากที่สุด และ เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยซีลีเนียมขนาด <100 เมช ปริมาณ 20% เกิดการย่อยสลายได้ช้าที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมโดยใช้ซีลี้อย่างไม่ระคายเพื่อปรับปรุงสมบัติโดยใช้ซีลี้อย่างขนาดต่างๆกัน ได้แก่ >50 เมช, 50-100 เมช, <100 เมช และปริมาณอนุภาคของซีลี้อย่างได้แก่ 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% หลังจากทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ สามารถสรุปดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบว่าพีคการสั่นแบบ O-H stretching และ O-H bending เกิดการเลื่อน (shift) ไปยังเลขคลื่นที่ลดลง และมีพีคใหม่เกิดขึ้นหลังจากการผสมซีลี้อย่าง ที่ตำแหน่ง 1260 cm^{-1} เป็นพีคการสั่นแบบ C-O stretching ของไม้

2. จากลักษณะของภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย่างจากไม้ระคายในปริมาณและอนุภาคต่างๆกัน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบโดยสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงด้วยซีลี้อย่างจากไม้ระคายพบซีลี้อย่างจากไม้ระคายกระจายตัวบนพื้นผิวและพบลักษณะของ Surface wetting บนพื้นผิวของซีลี้อย่างจากไม้ระคาย

3. การศึกษาการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย่างจากไม้ระคายในปริมาณและขนาดอนุภาคต่างๆ พบว่า การใส่ซีลี้อย่างจากไม้ระคายลงในเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อม ทำให้การดูดซับน้ำนั้นลดลงนอกจากนี้ การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย่างจากไม้ระคายมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากที่สุดและเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมในขนาดอนุภาค <100 เมช และปริมาณ 10% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำน้อยที่สุด

4. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่า แรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดูลัส และความแข็งกคของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยขี้เลื่อยมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีปริมาณของขี้เลื่อยเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่อมีขี้เลื่อยปริมาณ 20 % โดยน้ำหนัก และเมื่อขนาดอนุภาคขี้เลื่อยลดลง แรงดึง ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดูลัส และความแข็งกค มีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยขี้เลื่อยขนาด <100 เมช ที่ปริมาณ 20% ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

5. จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าขนาดและอนุภาคไม่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์เปลี่ยนแปลง แต่ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6. จากการทดสอบสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งท้าวขย่ม่อม มีสมบัติเชิงกลได้แก่ ค่าแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด มอดูลัส ลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งท้าวขย่ม่อมก่อนการฝังดิน โดยเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยขี้เลื่อยจากไม้มะค่าเกิดการย่อยสลายเร็วที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยขี้เลื่อยจากไม้มะค่าขนาด <100 เมช ที่ปริมาณ 20% ย่อยสลายได้ช้าที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาชนิดของขี้เลื่อยที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ เช่น การศึกษาขี้เลื่อยจากไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็งปานกลาง [45] เนื่องจากไม้แต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงอาจส่งผลให้สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์แตกต่างกัน ชนิดของไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้อินทนิล ไม้สัก ไม้ยางแดง ไม้พะยอม ไม้พญาไม้ ไม้ทำมัง ไม้ตะบูนขาว ไม้กะบาก ไม้กระเจา ไม้กวาด เป็นต้น และชนิดของไม้เนื้อแข็งปานกลางเช่น ไม้เหียง ไม้รักฟ้า ไม้ยูง ไม้มะค่าแต่ ไม้พลวง ไม้นนทรี ไม้ตาเสือ ไม้ตะแบก ไม้ตะเคียนหนู ไม้ตะเคียนทอง ไม้กว้าว เป็นต้น

2. ปรับเปลี่ยนกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ เช่น การอัดรีด การฉีดขึ้นรูป เป็นต้น เพื่อปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานที่หลากหลายของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] 77.nationchannel.com/playvideo.php?id=99003 สืบค้นข้อมูลวันที่ 27/8/56
- [2] th.wikipedia.org/wiki/พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ สืบค้นข้อมูลวันที่ 27/8/56
- [3] www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp สืบค้นข้อมูลวันที่ 13/9/56
- [4] www.rspg.or.th/plants_data/herbs_09_2.htm สืบค้นข้อมูลวันที่ 27/8/56
- [5] www.boosiriaplimport.co.th/Default.aspx?pageid=6 สืบค้นข้อมูลวันที่ 13/9/56
- [6] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/bio_de_plas.html สืบค้นข้อมูลวันที่ 23/8/56
- [7] http://en.european-bioplastics.org/environment/lcelca/ สืบค้นข้อมูลวันที่ 23/8/56
- [8] http://www.icbp.com.my/lifecycle.html สืบค้นข้อมูลวันที่ 4/10/56
- [9] http://www.thaitapiocastarch.org/article26_th.asp สืบค้นข้อมูลวันที่ 23/8/56
- [10] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ 2543. เทคโนโลยีของแป้ง พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- [11] http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1468
- [12] http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type2/science04/28/P_ Untitled-10.html
- [13] http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap2/chapter2_5.html สืบค้นข้อมูลวันที่ 24/8/56
- [14] www.opta-food.com/ access/starch2.html สืบค้นข้อมูลวันที่ 24/8/56
- [15] www.engin.umich.edu/.../ potato/starch3.htm สืบค้นข้อมูลวันที่ 24/8/56
- [16] http://www.nationalstarch.com สืบค้นข้อมูลวันที่ 24/8/56
- [17] กล้าณรงค์ ศรีรอด 2544. แป้งและอนุพันธ์ของแป้งการผลิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. เอกสารประกอบการบรรยายทางวิชาการมูลนิธิอินโอะโมะโต้ะ. กรุงเทพฯ สืบค้นข้อมูลวันที่ 24/8/56
- [18] http://www.buranapagroup.com/knowledge_chemical.php สืบค้นข้อมูลวันที่ 24/8/56
- [19] E. ero ,s. 1993. Wood Chemistry Fundamentals and Application .Academic Press .Sandega. 48

- [20] <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0612/cellulose%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AA>.
สืบค้นข้อมูลวันที่ 4 /10/56
- [21] <http://www.emeraldbiology.com/2013/07/fuel-for-biofuels-part-2-cellulosic.html> สืบค้น
ข้อมูลวันที่ 4 /10/56
- [22] http://www.buranapagroup.com/knowledge_chemical.php สืบค้นข้อมูลวันที่ 4 /10/56
- [23] http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/lignin.html สืบค้นข้อมูลวันที่
4 /10/56
- [24] <http://www.bedo.or.th/lcdb/biodiversity/view.aspx?id=9079> สืบค้นข้อมูลวันที่ 27/8/56
- [25] กนกวรรณ กิดหมาย จันทร์นิตา ฤทธิจันทร์ ปริญา บัวเจริญ. การเตรียมโพลีเอทิลีนจาก
ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและเจลาตินโดยวิธีการอบ. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2551
- [26] <http://kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK28/chapter8/t28-8-l2.html> สืบค้นข้อมูลวันที่ 8
/10/56
- [27] http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium_stearate สืบค้นข้อมูลวันที่ 10/10/56
- [28] <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927481> สืบค้นข้อมูลวันที่ 3/03/57
- [29] http://mold.net46.net/index.php?option=com_content&task=view&id=10&Itemid=8target
สืบค้นข้อมูลวันที่ 8 /10/56
- [30] <http://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fepg.science.cmu.ac.th%2Finduschem%2Farticledownload.php%3Fid%3D57&e> สืบค้นข้อมูลวันที่ 8 /10/56
- [31] ปิติพร ฤทธิเรืองเดช ชงชัย สุวรรณสิขณณ์ และวิชัย หฤทัยชนาพันธ์. พฤติกรรมด้าน
ความเหน็ดและคุณสมบัติทางกลของแป้งท้าวายม่อม. การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41 (2546) 53-60.
- [32] คารินทร์ โพธิ์ศรี ถักษณา หอมมณี ปาริชาติ จิรภัคเสถียร. การเตรียมและการปรับปรุง
สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งถั่วเขียวด้วยเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความ

หนาแน่นต่ำ. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2551

[33] บุญยรัตน์ พัฒนพงษ์ อนันต์ ประภาวดี เกตุสุตา และ วีรยา ธรรมมิกะ. การเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งข้าวเจ้าด้วยเส้นใยฝ้ายและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550

[34] K. Pachana, A. Wattanakornsiri and S. Kaewpirom. “Physical Properties of Thermoplastic Glutinous Rice Starch Reinforced with Recycled Newspaper Cellulose Fibers”, *Burapha Sci. J.* 17 (2012) 13-23.

[35] J.L. Guimarães, F.Wypych, C.K. Saul, L.P.Ramos and K.G. Satyanarayana, “ Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil”, *Carbohydrate Polymers*, 80 (2010) 130-138.

[36] A.A.S Curvelo, A.J.F Carvalho and J.A.M Agnelli ,“Thermoplastic starch–cellulosic fibers composites: preliminary results”, *Carbohydrate Polymers*, 45 (2001)183-188.

[37] H. A. Pushpadass, P. Bhandari and M.A. Hanna, “Effect of LDPE and glycerol contents and compounding on the microstructure and properties corn starch composite films”, *Carbohydrate polymers*, 82 (2010) 1082-1089.

[38] Y. MuhamadZaini “*Rice straw fiber reinforced thermoplastic starch: effects of fiber content and sizes, starch type and glycerol.*” Masters thesis, UniversitiTeknologi Malaysia. 2010.

[39] A. Zuraida, A. R. NurHumairah, A. W. NurIzwah and Z. SitiNaqiah. “The study of glycerol plasticized thermoplastic sago starch”.*Advance Materails Research*, 576 (2012), 289-292.

[40] J. Prachayawarakorn, P. Sangnitidej, P. Boonpasith, “Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene”, *Carbohydrate Polymers*, 81 (2010) 425-433.

[41] E. Agnantopoulou, V. Tserki, S. Marras, J. Philippou, C. Panayiotou, “Development of Biodegradable Composites Based on Wood Waste Flour and Thermoplastic Starch”, *Journal of Applied Polymer Science*, 126 (2012) 275-281.

[42] A.A.S. Curvelo, A.J.F. Carvalho and J.A.M. Agnelli, “Thermoplastic starch cellulosic fiber composite preliminary results”, *Carbohydrate Polymer*, 45 (2011) 183-188.

[43] J. Yue, J.F. Kennedy and X. Ma, “Studies on the properties of natural fiber reinforced thermoplastic starch composites”, *Carbohydrate Polymer*, 62 (2005) 19-24.

[44] จีราวรรณ โสธร วรรณวรังก์ สุทธะ และวัชรีย์ คุณวิวัฒน์. สมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าผสมกับแป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าวยายม่อม หรือแป้งถั่วเขียว. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552

[45] <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet7/mp3.htm>

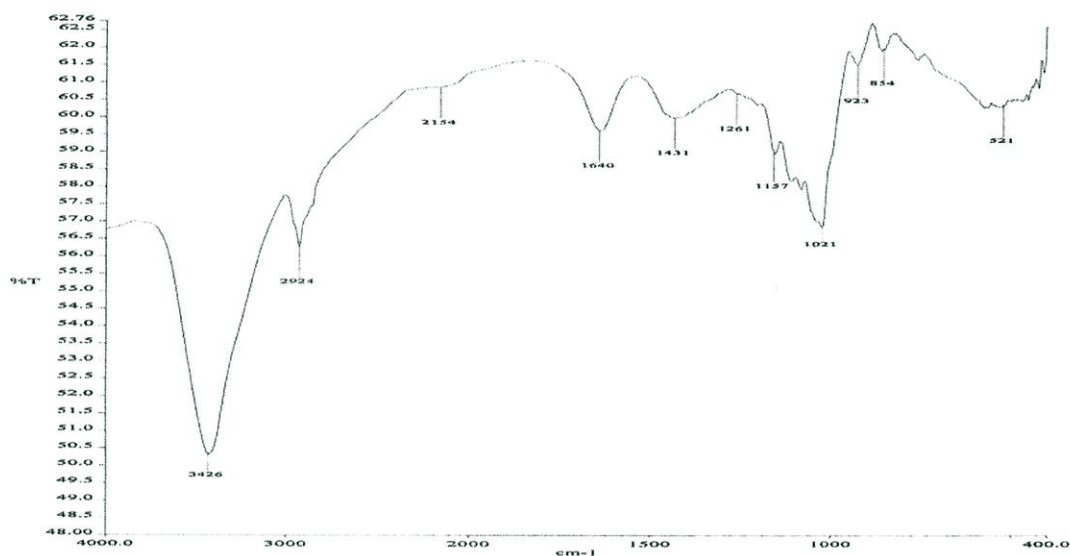
สืบค้นข้อมูลวันที่ 13/03/57

ภาคผนวก

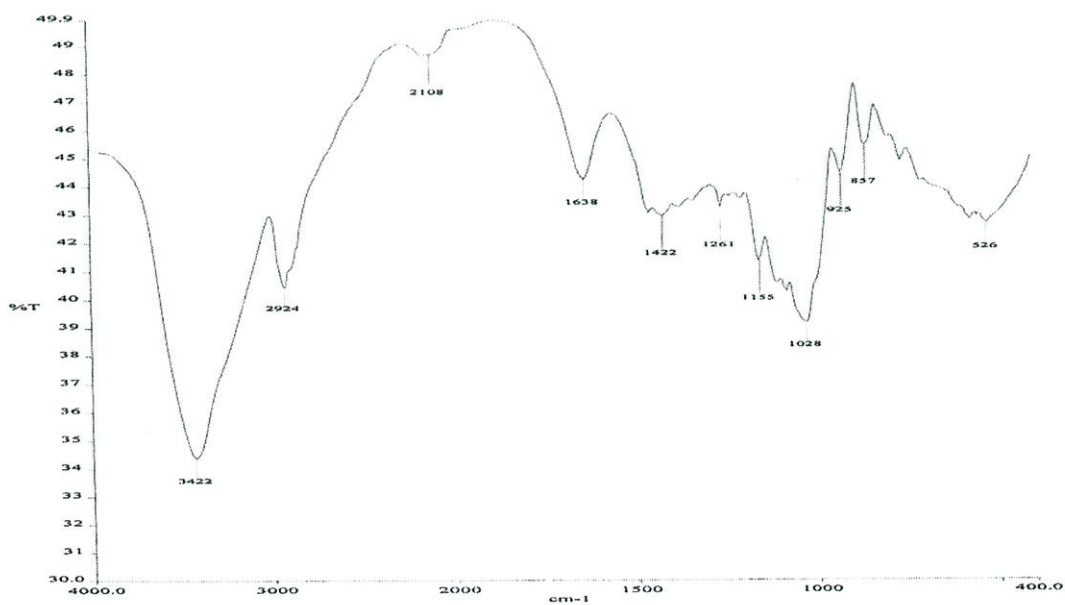
ภาคผนวก ก

4.1 การวิเคราะห์หาค่าหมู่ฟังก์ชัน

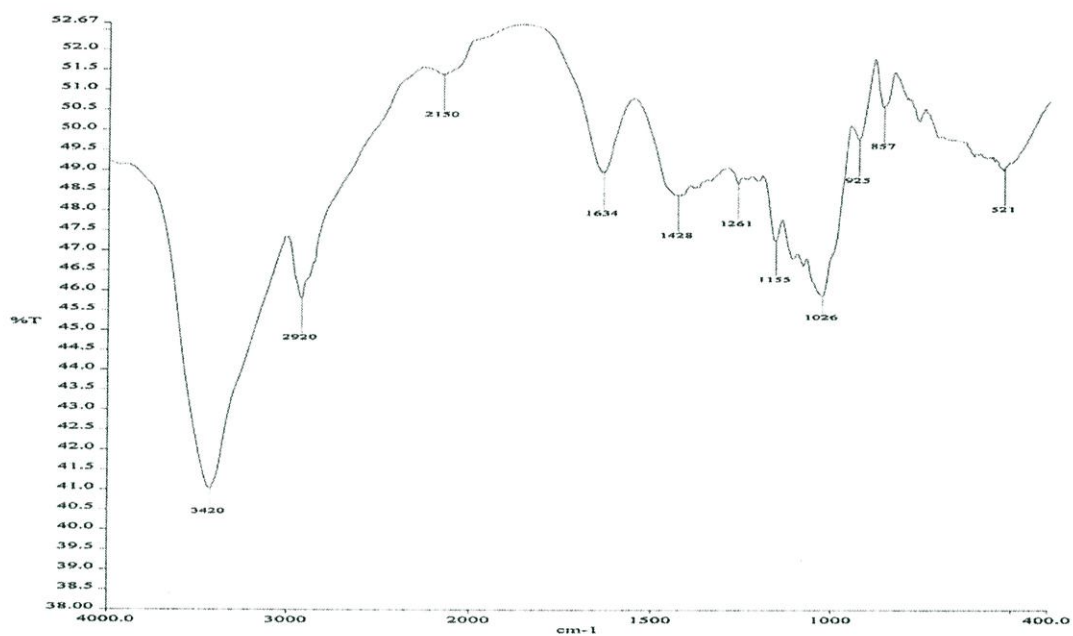
(ก) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออย



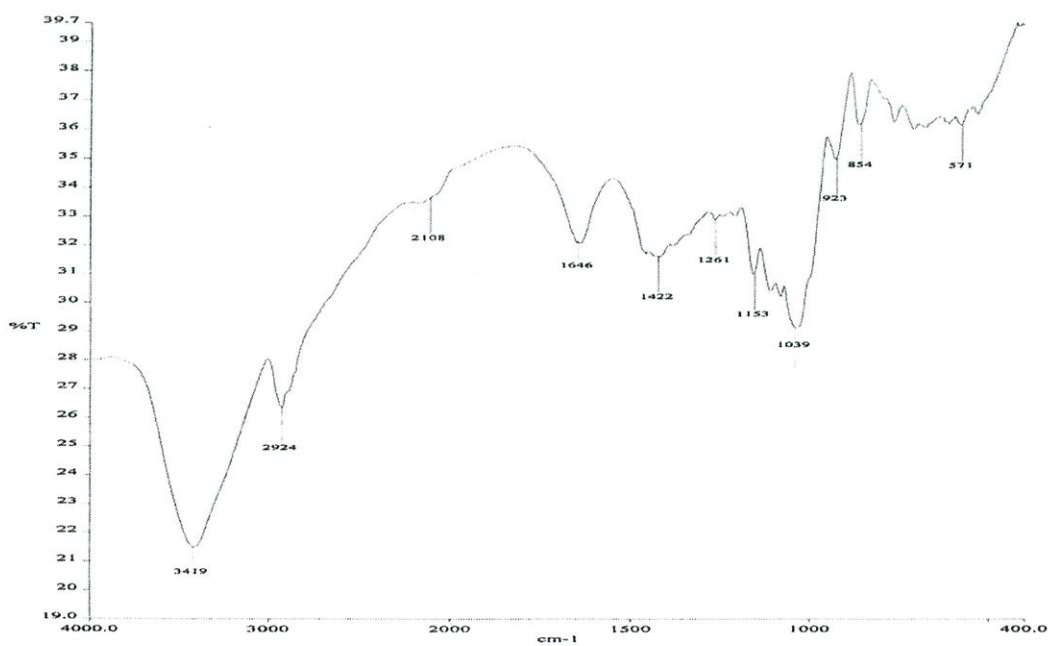
(ข) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยซีลีออยขนาด >50 mesh ปริมาณ 10%



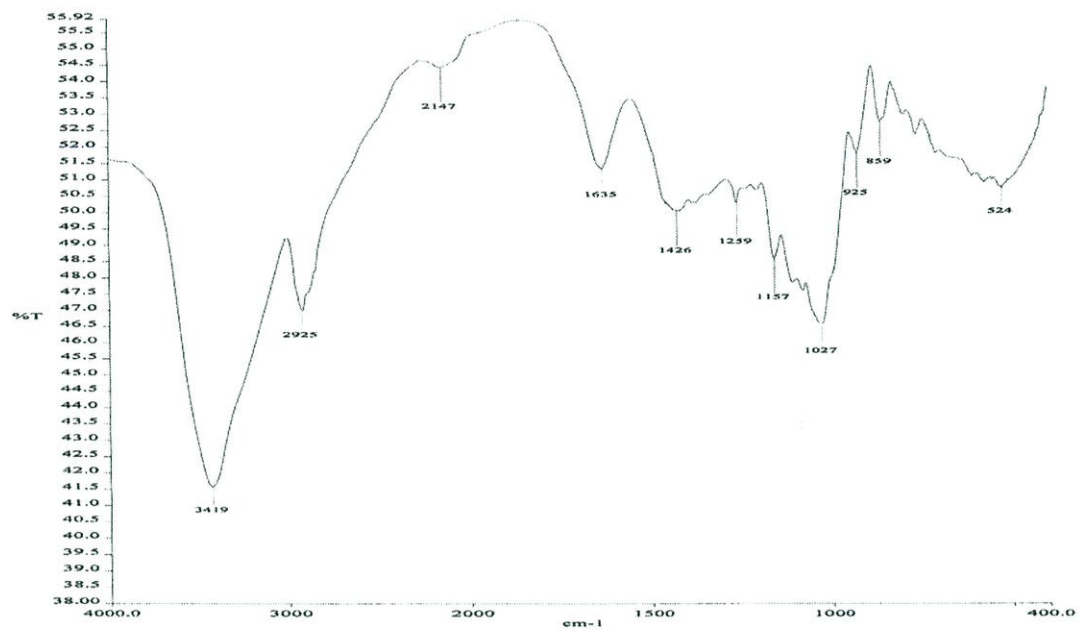
(ค) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยซีลีเนียมขนาด >50 mesh ปริมาณ 20 %



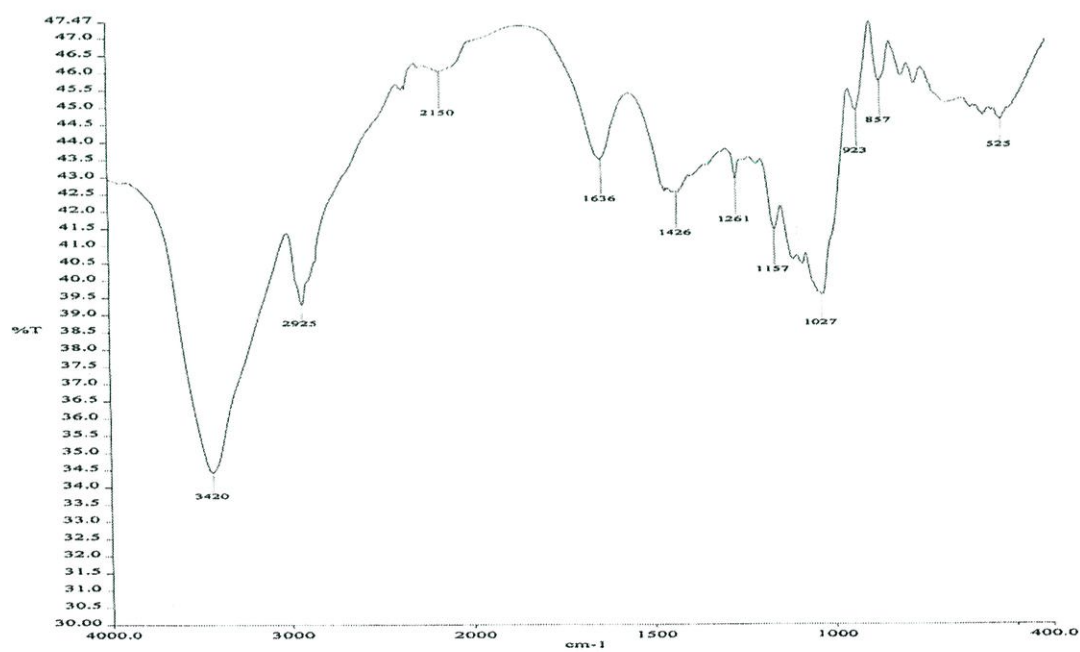
(ง) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยซีลีเนียมขนาด 50-100 mesh ปริมาณ 10 %



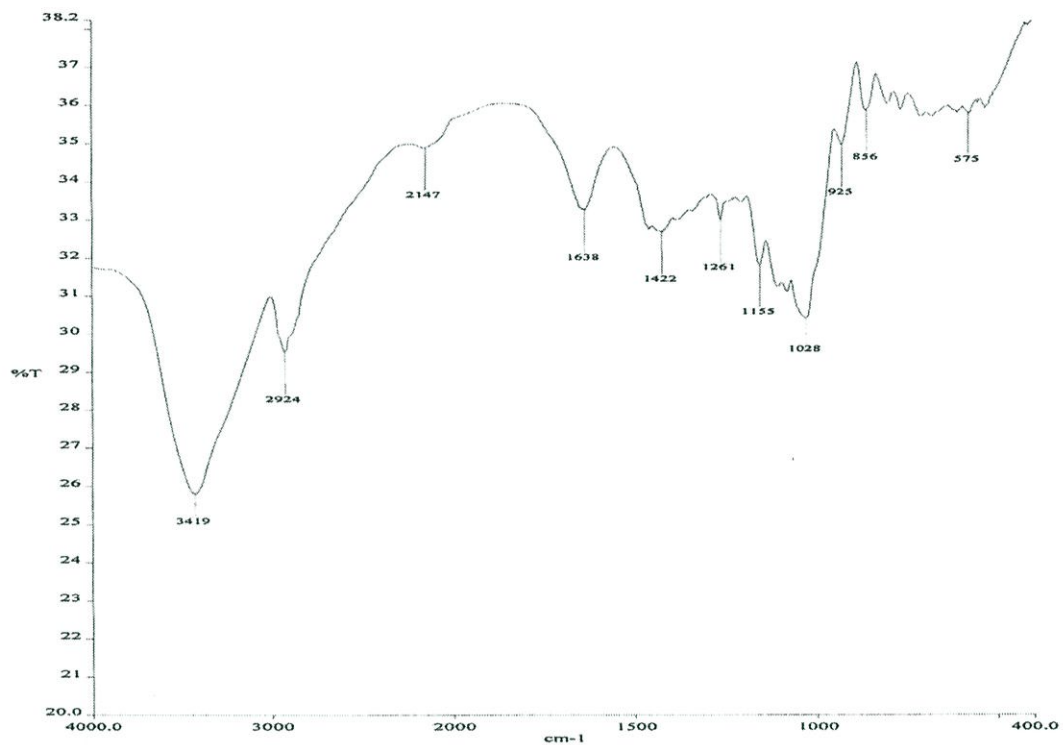
(จ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยซีลีเยอขนาด 50-100 mesh ปริมาณ 20 %



(ฉ) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยซีลีเยอขนาด <100 mesh ปริมาณ 10 %



(ข) อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชที่ปรับปรุงด้วยซีลีอ์ขนาด <100 mesh ปริมาณ 20 %



ภาคผนวก ข

4.2 มาตรฐานวิทยา

(ก) มาตรฐานวิทยาของจีที่เลื่อยขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100 ไมครอน พื้นที่ผิวกำลังขยาย 145 เท่า



(ข) ฐานวิทยาลัยของขี้เลื่อยขนาดอนุภาค50-100 เมช พื้นที่ผิวกำลังขยาย 145 เท่า



(ค) สัณฐานวิทยาของขี้เลื่อยขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100 เมช พื้นที่ผิวกำลังขยาย 145 เท่า



ตารางที่ ค่า L/D ratio ของขี้เลื่อยแต่ละขนาดอนุภาค

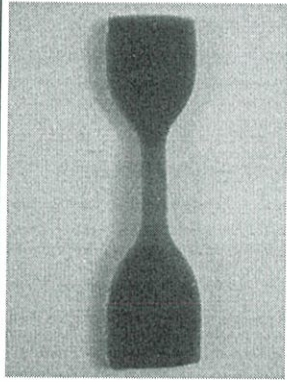
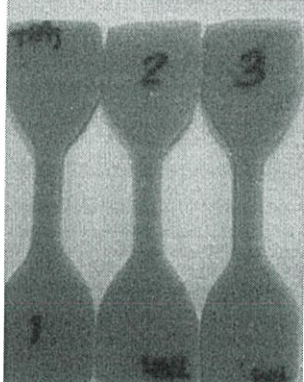
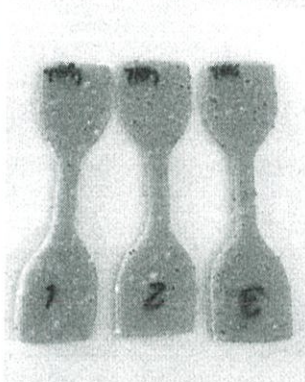
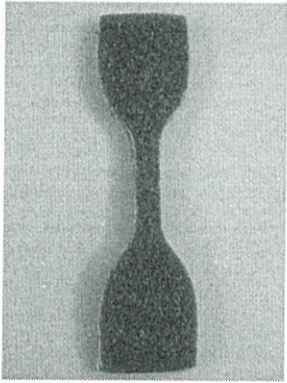
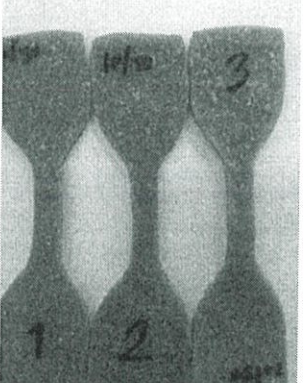
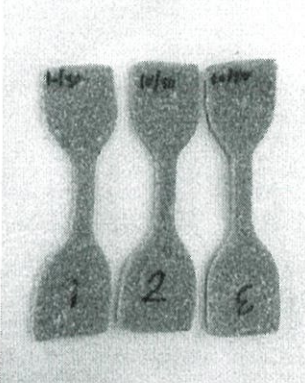
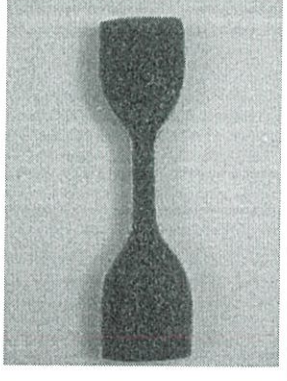
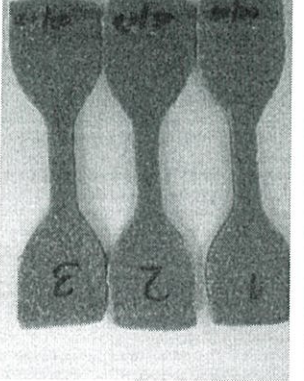
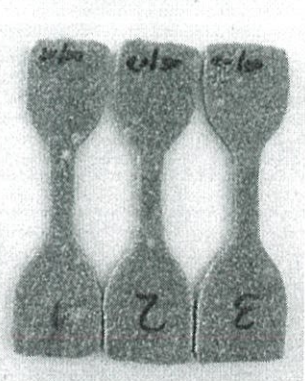
ขนาดอนุภาคของขี้เลื่อย	L/D ratio
น้อยกว่า 100 mesh	2.88 ± 1.40
50-100 mesh	3.75 ± 2.06
มากกว่า 50 mesh	5.74 ± 2.37


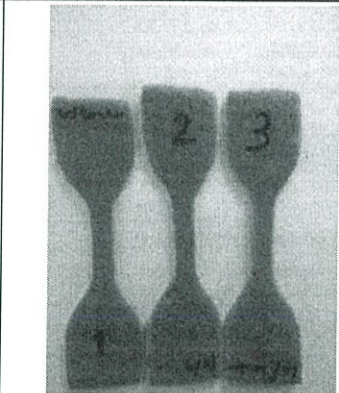
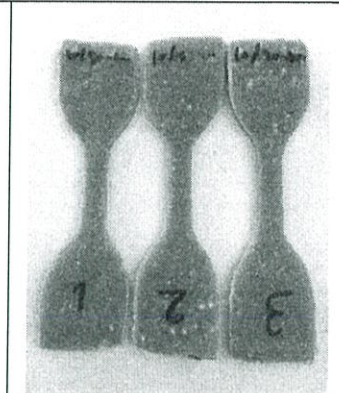

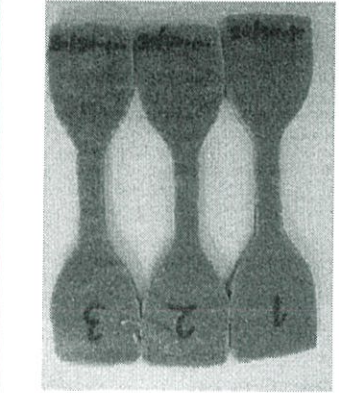
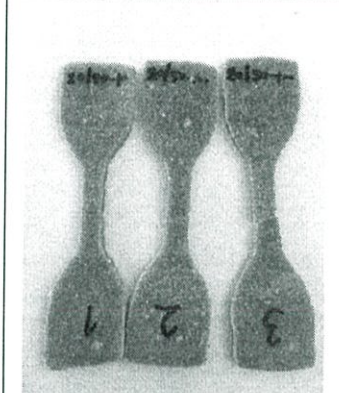

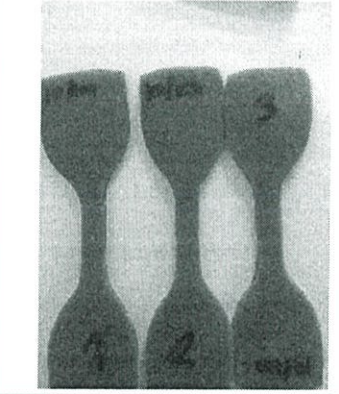
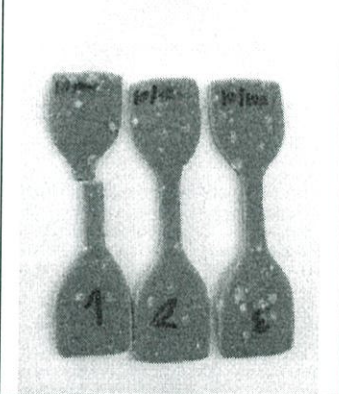

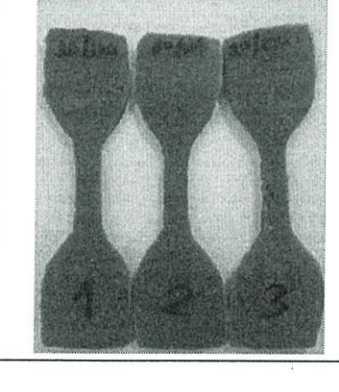
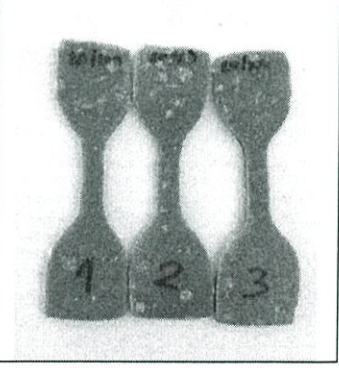
ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค เเปอร์เซ็นต์น้ำหนัการดูดซับน้ำจากการทดสอบ โดยการแช่ดูดซับน้ำกลั่นจากบรรยากาศอิมตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ของเทอร์โมพลาสติกสตา์รชจากเป็งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลื้อยจากไม้มะค่า

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)						
	TPAS	TPAS+10 % >50 mesh	TPAS+20 % >50 mesh	TPAS+10 % 50-100 mesh	TPAS+20 % 50-100 mesh	TPAS+10 % <100 mesh	TPAS+20 % <100 mesh
0	0	0	0	0	0	0	0
1	5.63	7.63	7.68	4.93	5.35	8.75	7.79
2	17.16	17.03	12.27	13.81	12.6	12.68	12.01
3	18.81	20.11	15.27	16.63	15	15.38	14.16
4	21.68	20.91	17.39	18.87	16.59	17.16	16.66
5	23.8	23.39	18.82	21	19.44	18.87	18.82
6	23.42	25.14	20.39	23.03	20.76	20.66	20.08
7	27.03	25.82	22.55	23.68	22.86	22.74	22.03
8	27.88	25.39	22.94	23.62	23.47	21.96	20.65
9	31.93	31.58	28.97	26.49	25.92	26.65	23
10	33.79	32.08	29.24	28.98	27.6	27.24	24.67
11	34.91	32.92	30.39	30.98	29.68	28.95	26.7
12	36.98	34.13	31.42	32.5	31.15	29.98	27.98
13	38.94	35.16	32.67	33.68	33.42	31.81	30.08
14	38.4	37.29	33.48	34.11	33.66	32.92	29.97
15	41.59	37.95	33.66	35.4	34.69	33.72	31.03
16	42.27	38.41	34.35	36.09	35.09	33.47	32.5
17	42.69	37.43	35.91	37.51	36.18	34.21	32.98
18	43.58	38.27	36.26	37.45	35.83	34.71	33.62
19	42.61	38.8	36.2	37.77	36.3	36.26	34.87
20	42.07	38.73	35.79	37.96	36.25	36.82	35.17
21	42.14	39.58	35.91	38.33	36.53	36.89	35.59
22	42.75	39.58	36.09	38.64	37.11	37.51	35.53

รูปที่.1 ชิ้นงานที่ได้จากการดูดซับน้ำกลั่นจากบรรยากาศอ้อมตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80% ของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งท้าวยายม่อมที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเยอจากไม้มะค่าในอัตราส่วนต่างๆ

ปริมาณซีลีเยอ , ขนาดอนุภาค ของซีลีเยอ	สัปดาห์ที่ 0	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
0% (TPAS)			
10%, >50 mesh			
20%, >50 mesh			

10%, 50-100 mesh			
20%, 50-100 mesh			
10%, <100 mesh			
20%, <100 mesh			

ภาคผนวก ง

4.4 สมบัติเชิงกล

(ก) ตารางแสดงค่าแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีเมนต์ต่างๆกัน

สูตร	แรงดึงสูงสุด(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 Mesh	<100 mesh
0%	20.74	20.74	20.74	0.12	0.12	0.12
5%	28.85	32.64	32.28	1.31	2.21	0.12
10%	41.26	52.06	60.23	3.14	3.81	0.41
15%	75.00	80.44	79.05	5.44	1.67	0.50
20%	86.13	115.06	130.16	2.98	4.19	0.20

(ข) ตารางแสดงค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีเมนต์ต่างๆกัน

สูตร	ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	1.14	1.14	1.14	2.22	2.22	2.22
5%	1.83	2.19	2.01	0.08	0.16	1.59
10%	2.55	2.98	3.50	0.17	0.16	6.55
15%	4.34	4.75	4.36	0.34	0.11	5.94
20%	4.63	5.93	7.02	0.14	0.35	7.80

(ค) ตารางแสดงมอดูลัสกับปริมาณและอนุภาคของซีลี้อย่างต่างกัน

สูตร	มอดูลัส(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	3.87	3.87	3.87	0.48	0.48	0.48
5%	15.61	16.09	14.07	1.73	2.02	2.78
10%	25.94	37.89	39.57	1.99	4.38	8.88
15%	66.46	71.68	73.90	3.66	2.57	13.06
20%	102.22	152.58	200.93	12.94	13.41	18.35

(ง) ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีลี้อย่างต่างกัน

สูตร	เปอร์เซ็นต์ความเครียด(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	138.56	138.56	138.56	7.42	7.42	7.42
5%	46.77	47.38	63.68	5.03	1.01	3.14
10%	28.91	27.72	31.96	1.05	0.93	3.50
15%	17.10	18.03	24.72	0.91	1.09	1.79
20%	12.44	14.54	15.34	0.39	0.682	1.37

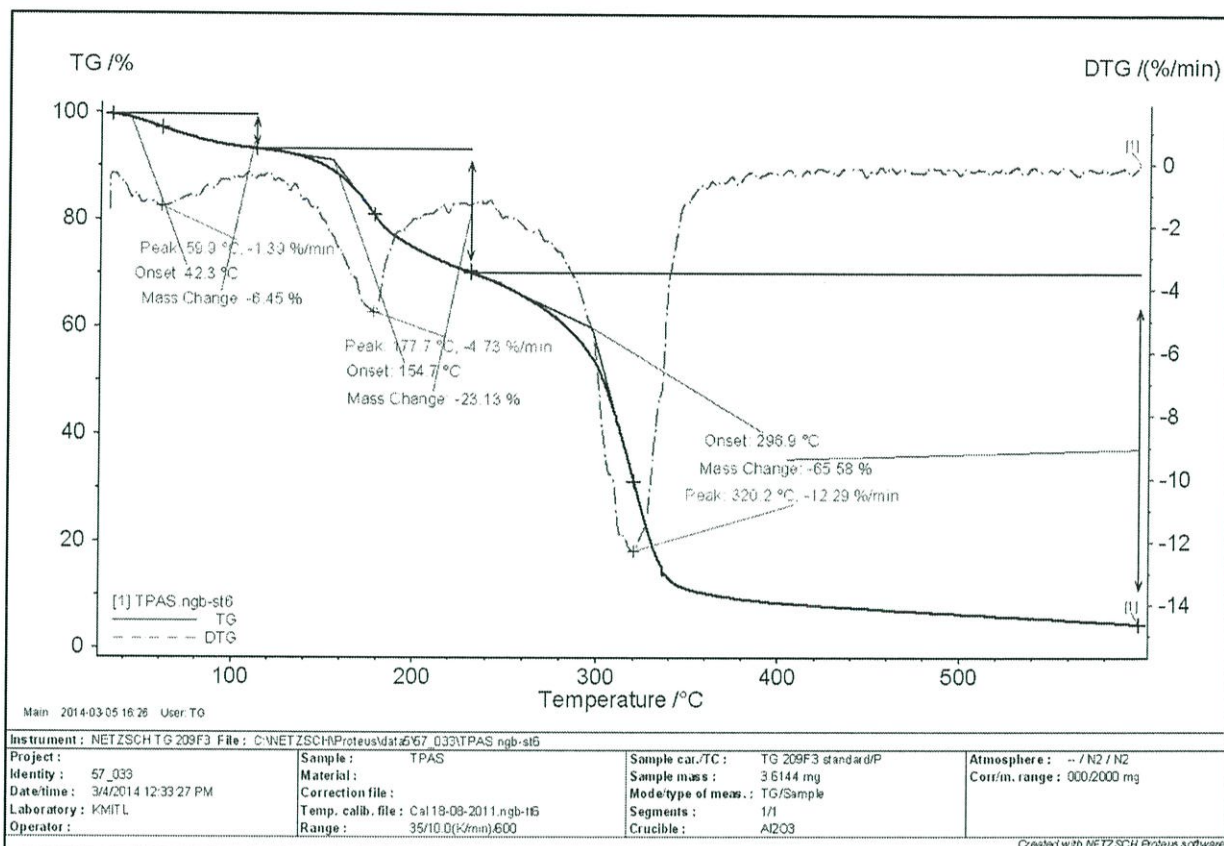
(จ) ตารางแสดงการยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของขี้เลื่อยต่างๆกัน

สูตร	การยืดออก ณ จุดสูงสุด(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	33.80	33.80	33.80	1.40	1.40	1.40
5%	12.45	11.72	15.60	1.12	0.53	0.94
10%	7.21	6.93	7.74	0.27	0.30	0.41
15%	4.55	4.62	5.83	0.33	0.27	0.49
20%	3.19	3.64	3.70	0.26	0.18	0.40

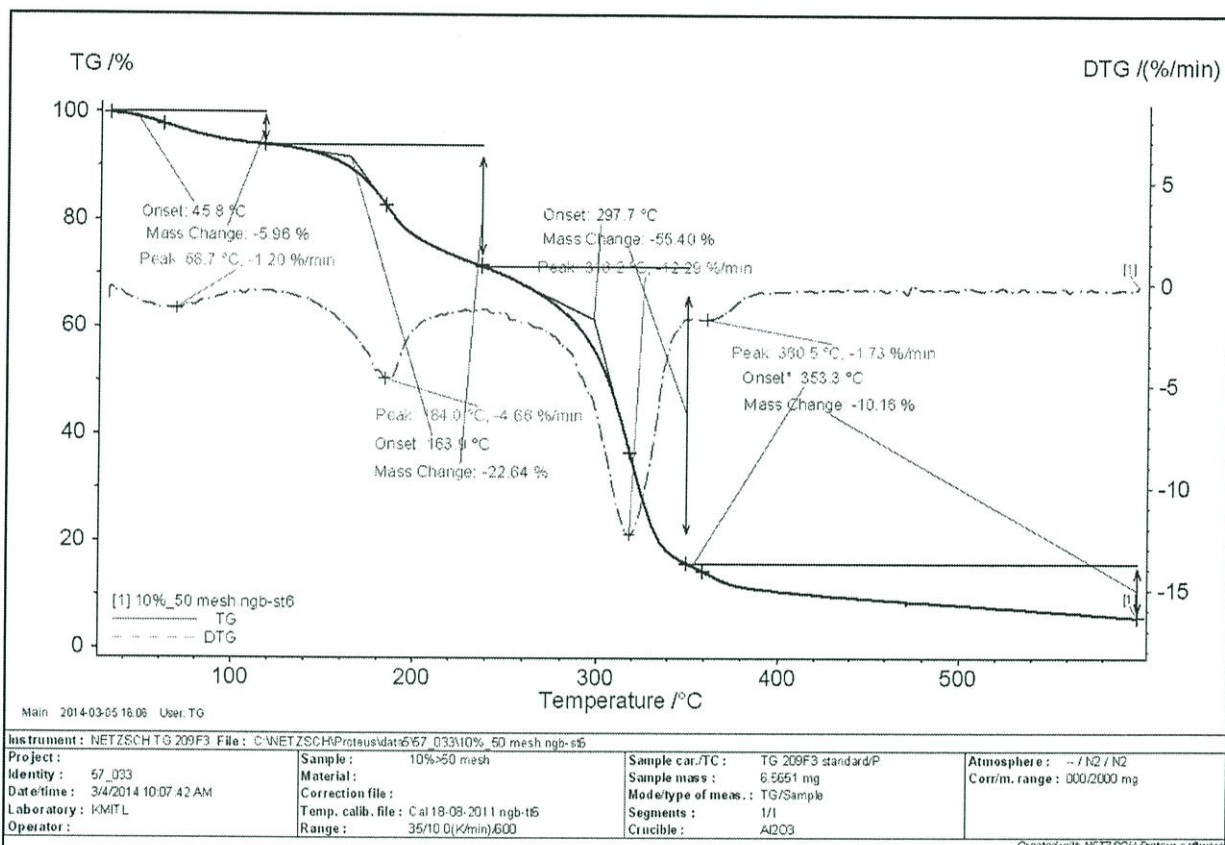
(ฉ) ตารางแสดงความแข็งกด กับปริมาณและอนุภาคของขี้เลื่อยต่างๆกัน

สูตร	ความแข็งกด(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	6.8	6.8	9	0.27	0.27	0.71
5%	12.2	12.6	13.6	0.84	0.55	0.55
10%	18	18.2	21.8	0.71	0.55	0.84
15%	24.4	24.2	25.4	0.55	0.84	0.55
20%	29	26.2	31.6	0.84	0.84	0.55

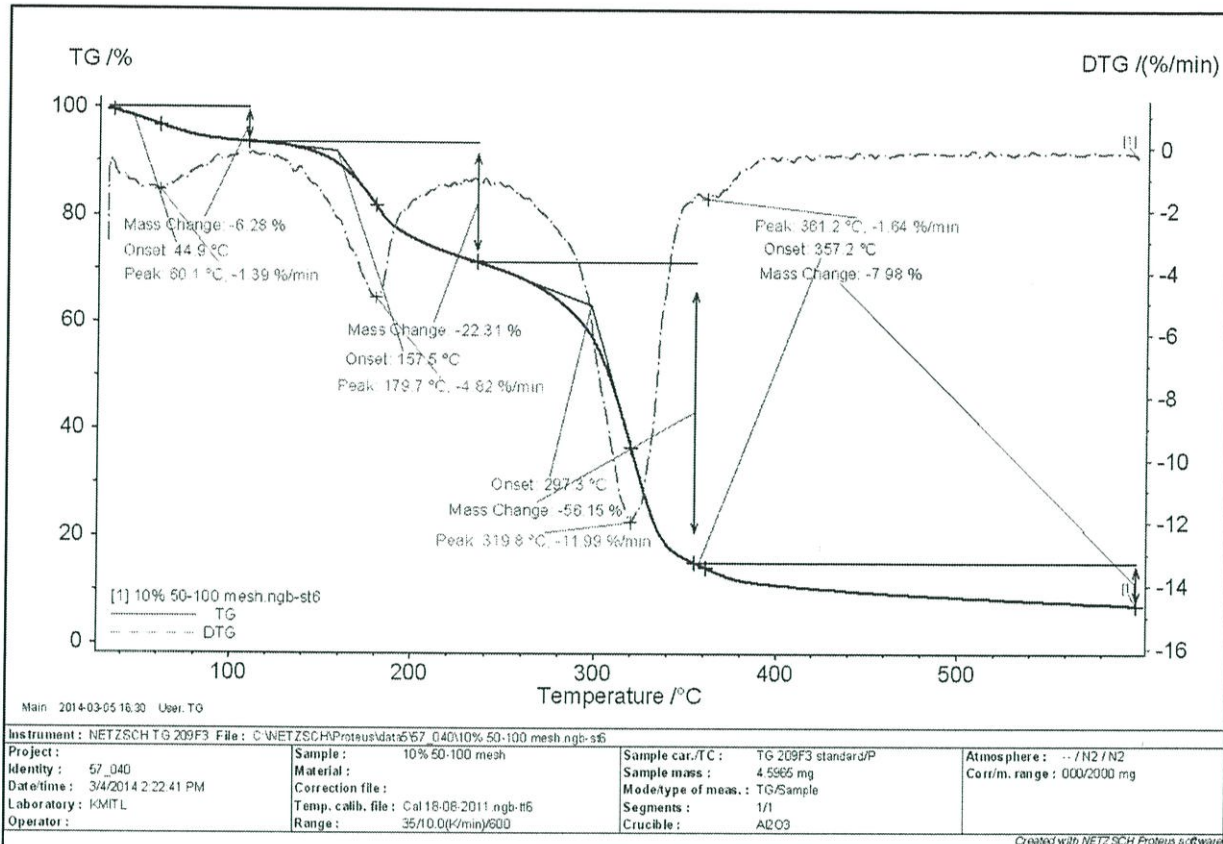
ภาคผนวก จ



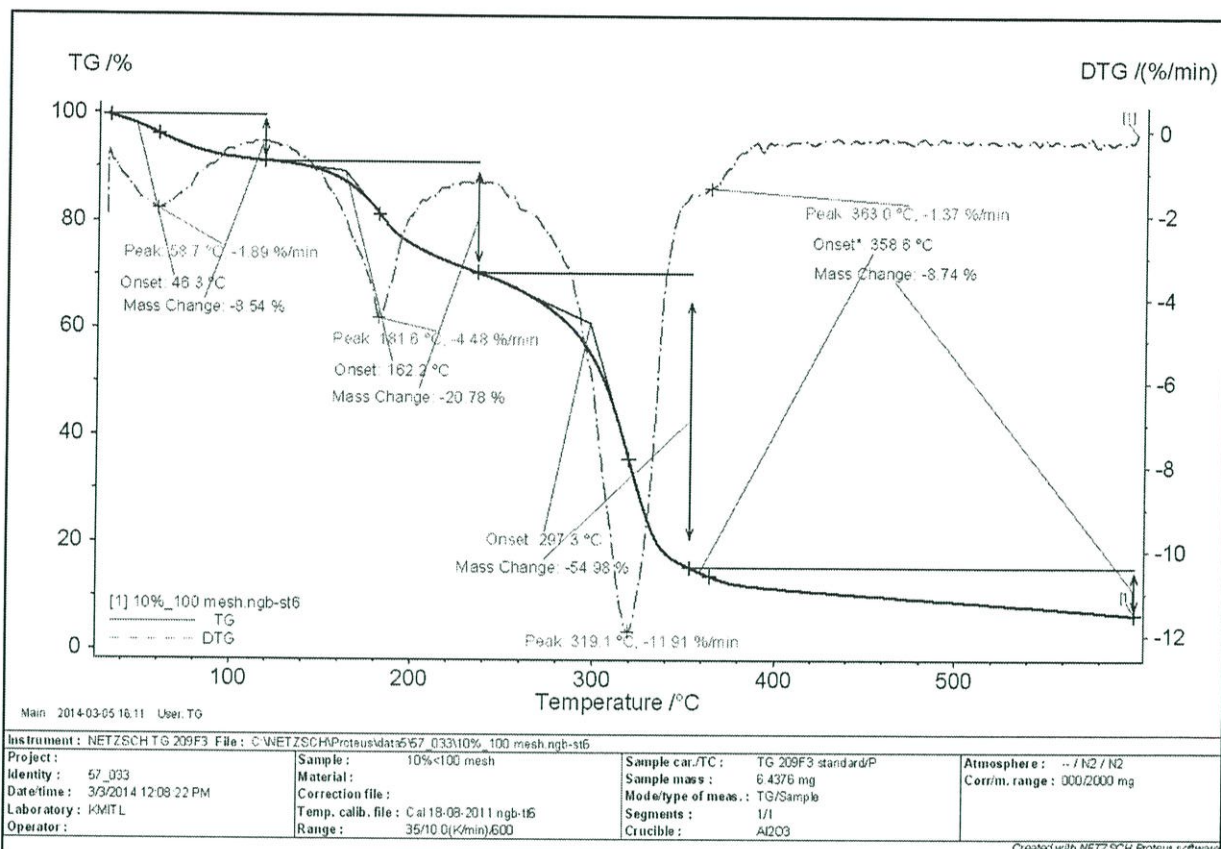
TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวยายม่อมที่ไม่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซี
 เลื่อยจากไม้มะค่า (ปริมาณซีเลื่อย 0%)



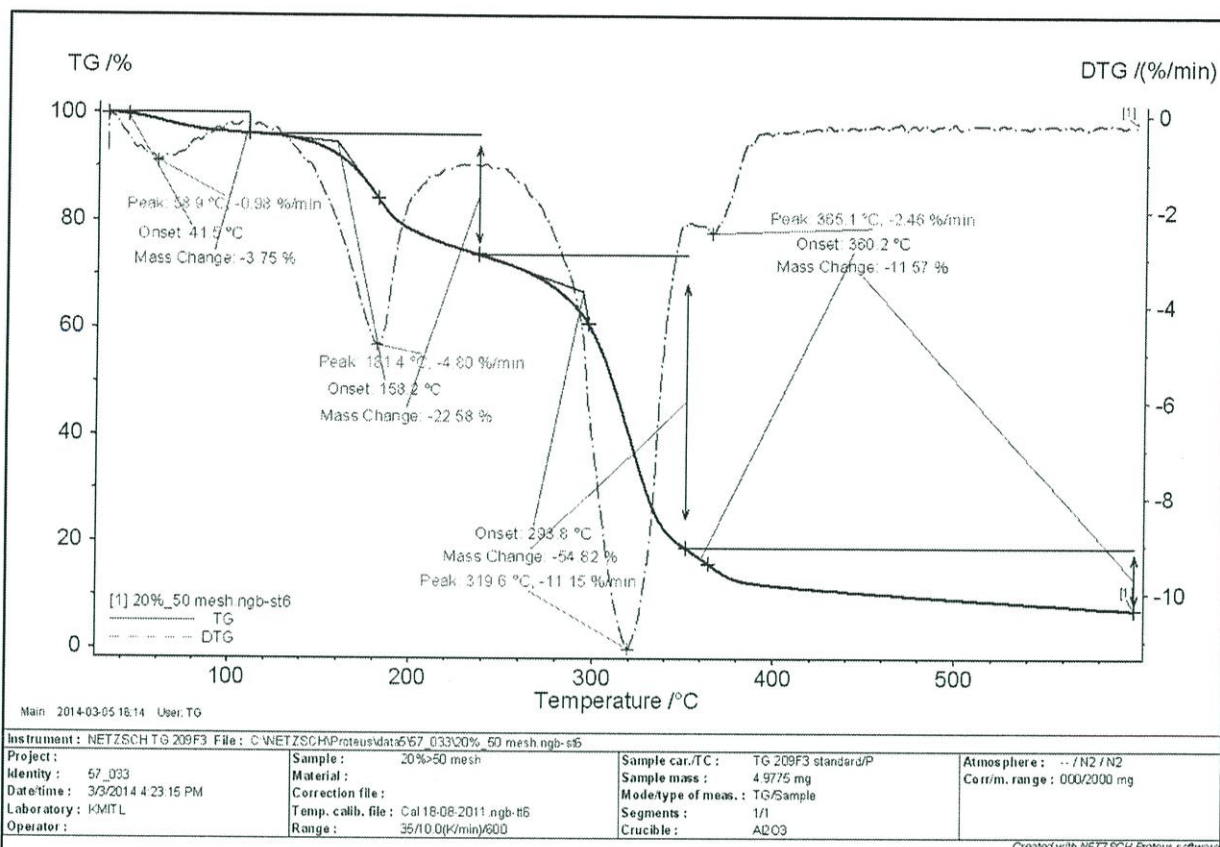
TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวยายหม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีอีน
จากไม้มะค่า ปริมาณ 10% ขนาด >50 mesh



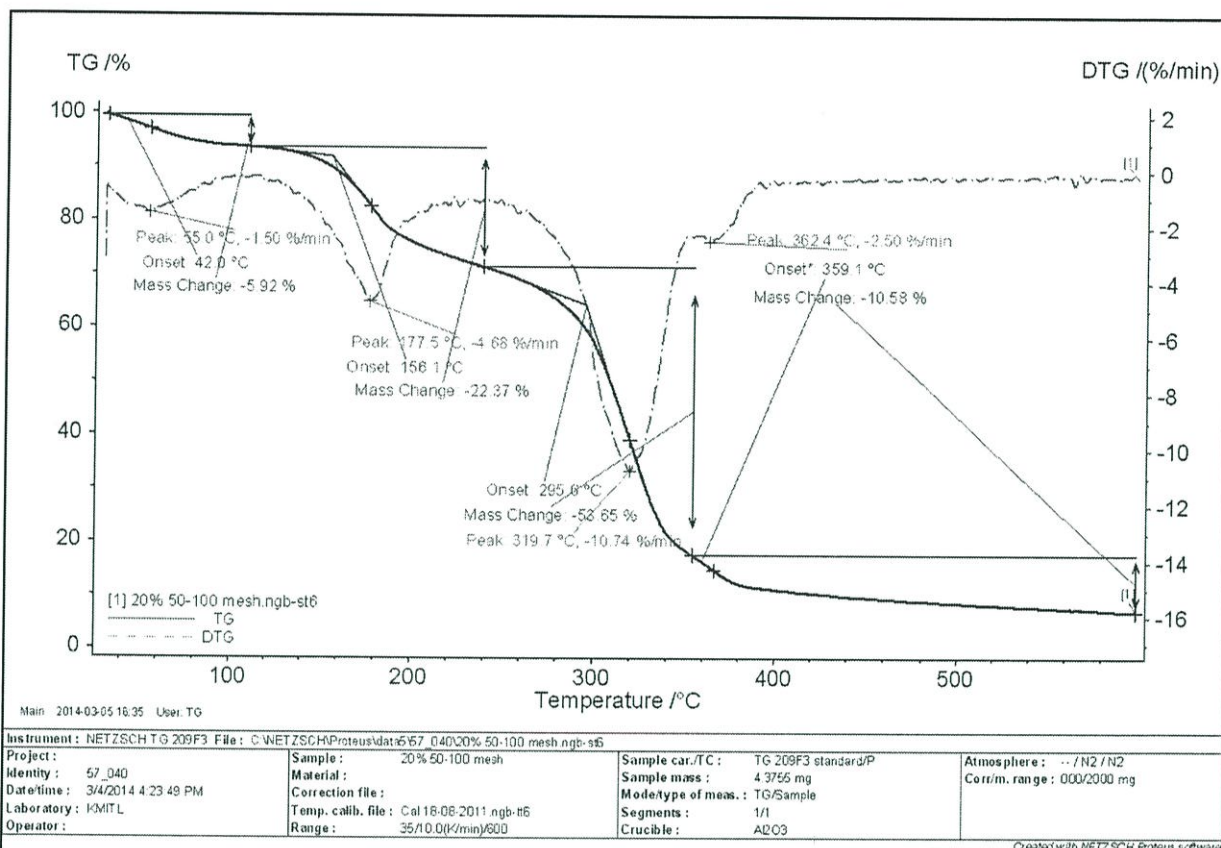
TGA และDTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวขยวม้อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลี้อย จากไม้มะค่า ปริมาณ 10% ขนาด 50-100 mesh



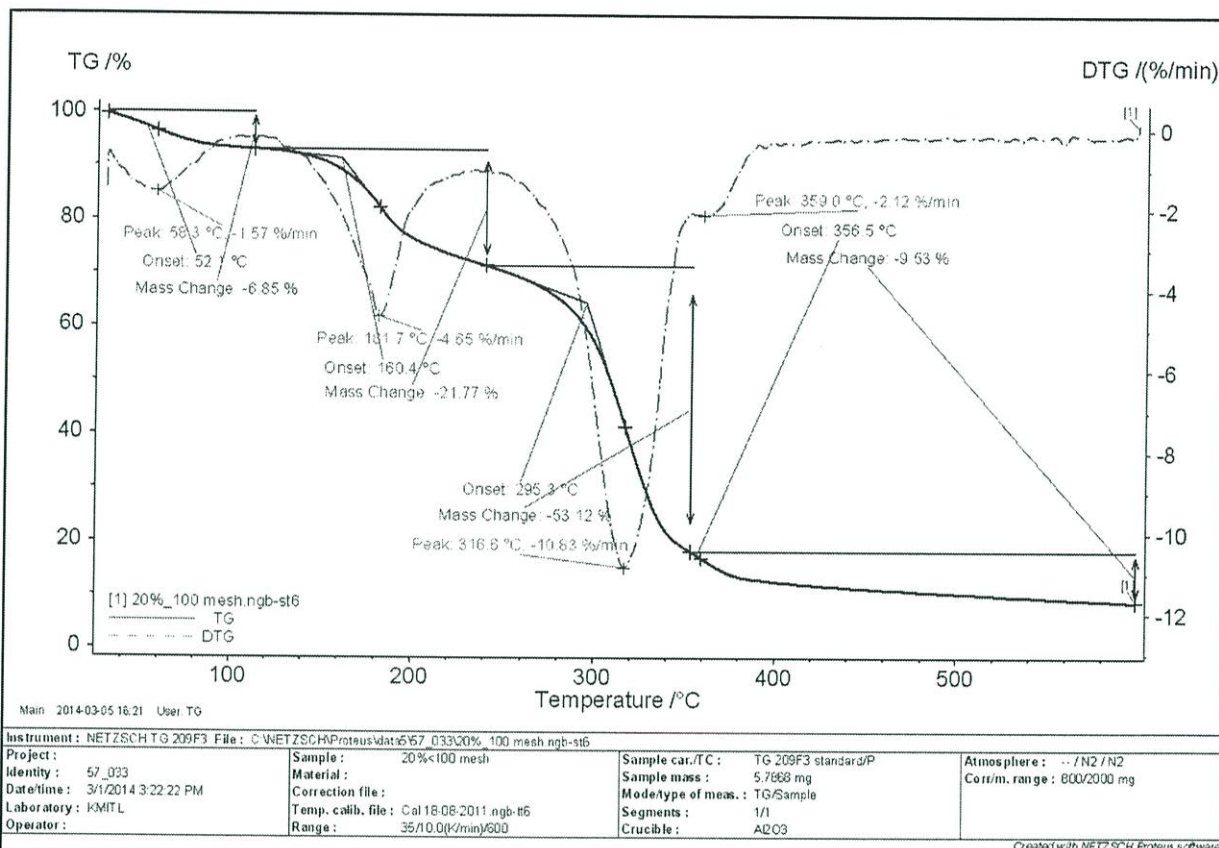
TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งท้าวขยวม้อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออย
จากไม้มะค่า ปริมาณ 10% ขนาด <100 mesh



TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งท้าวขย่มอมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีอีย
 จากไม้มะค่า ปริมาณ 20% ขนาด >50 mesh



TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวยายม่อมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีอีย
จากไม้มะค่า ปริมาณ 20% ขนาด 50-100 mesh



TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งท้าวขยวมอมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีออย
จากไม้มะค่า ปริมาณ 20% ขนาด <100 mesh

ภาคผนวก ฉ

4.6 สมบัติการย่อยสลาย

สมบัติเชิงกลของชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรซ์จากแป้งทำวายเป็นมอดที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยซีลีเนียมจากไม้มะค่าในอัตราส่วนต่างๆหลังจากการทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

(ก) ตารางแสดงแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีลีเนียมต่างๆกัน

สูตร	แรงดึงสูงสุด(ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	1.13	1.13	1.13	0.21	0.21	0.21
10%	2.57	4.60	6.54	0.44	0.95	2.48
20%	5.43	2.43	10.58	1.03	0.19	4.00

(ข) ตารางแสดงความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีลีเนียมต่างๆกัน

สูตร	ความแข็งแรง ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01
10%	0.10	0.20	0.33	0.02	0.05	0.14
20%	0.21	0.08	0.45	0.04	0.01	0.19

(ค) ตารางแสดงมอดูลัสกับปริมาณและอนุภาคของซีเมนต์ต่างๆกัน

สูตร	มอดูลัส (ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	0.20	0.20	0.20	0.07	0.07	0.07
10%	0.61	0.67	1.36	0.36	0.13	0.43
20%	1.16	0.43	2.24	0.14	0.02	1.04

(ง) ตารางแสดงการยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีเมนต์ต่างๆกัน

สูตร	การยืดออก ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	8.93	8.93	8.93	1.78	1.78	1.78
10%	7.34	11.04	9.62	1.23	0.53	1.65
20%	7.01	5.90	9.72	1.04	0.71	0.77

(จ) ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดกับปริมาณและอนุภาคของซีเมนต์ต่างๆกัน

สูตร	เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ค่าเฉลี่ย)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		
	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh	>50 mesh	50-100 mesh	<100 mesh
0%	35.70	35.70	35.70	7.11	7.11	7.11
10%	29.36	44.17	38.48	4.92	2.14	6.6
20%	28.04	23.60	38.88	4.16	2.85	3.07