สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

PROPERTY MODIFICATION OF THERMOPLASTIC STARCH PREPARED FROM CASSAVA AND SOY STARCH BLEND USING COTTON AND SILK FIBERS AS REINFORCEMENT

T117349

นางสาวแพรวลลิดา บุญกัณหา

นางสาวศรีกัลยา ศรีปาน

นางสาวสุธาสินี พันธ์ประชา

เลขหมู่ 117349
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 20 ก.ค. 2554
b
i

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

PROPERTY MODIFICATION OF THERMOPLASTIC STARCH PREPARED FROM CASSAVA AND SOY STARCH BLEND USING COTTON AND SILK FIBERS AS REINFORCEMENT

MISS PRAEWLALIDA BOONKANHA

MISS SRIKANLAYA SRIPAN

MISS SUTHASINEE PHANPACHA

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 THE TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การเตรียมการเตรียมและการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

Property modification of thermoplastic starch prepared from cassava and soy starch blend using cotton and silk fibers as reinforcement

นักศึกษา นางสาวแพรวลลิดา บุญกัณหา รหัสนักศึกษา 50050357

นางสาวศรีกัลยา ศรีปาน รหัสนักศึกษา 50050382

นางสาวสุธาสินี พันธ์ประชา รหัสนักศึกษา 50050395

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี-อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธ์	
ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	
รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมระหว่างแป้งมัน - สำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

นักศึกษา นางสาวแพรวลลิดา บุญกัณหา รหัสนักศึกษา 50050357

นางสาวศรีกัลยา ศรีปาน รหัสนักศึกษา 50050382

นางสาวสุธาสินี พันธ์ประชา รหัสนักศึกษา 50050395

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียม และการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastics starch, TPS) ที่เตรียมจากแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลือง โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองและผลของปริมาณของเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม ที่มีต่อสมบัติต่าง ๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช การเตรียมทำได้โดยการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) นำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดน้ำ และสมบัติการย่อยสลาย จากการทดลองพบว่า การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ที่อัตราส่วน 100 : 0 ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายมีค่าต่ำสุด เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมสามารถเสริมแรงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้และสมบัติเชิงกลโดยรวมสูงที่สุด พบได้ในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ผสมเส้นใยฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก จากสัณฐานวิทยาเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองพบว่าพื้นผิวชิ้นงานมีลักษณะขรุขระ นอกจากนี้สามารถพบเมทริกซ์ของแป้งปกคลุมพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม จาก TGA เทอร์โมแกรม อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชทุกตัวอย่าง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเติมเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยไหมนอกจากนี้โปรตีนที่มีอยู่ในแป้งถั่วเหลืองและส้นใยไหมสามารถเพิ่มการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Property modification of thermoplastic starch prepared from cassava and soy starch blend using cotton and silk fibers as reinforcement

Students Miss Praewlalida Boonkanha ID 50050357

Miss Srikanlaya Sripan ID 50050382

Miss Suthasinee Phanpacha ID 50050395

Degree Bachelor of Science

Major Program Industrial chemistry

Academic Year 2010

Advisor Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachyawarakorn

Abstract

This research involved with preparation and properties of thermoplastic starch (TPS), base on blended starch from cassava and soy starches plasticized by glycerol and reinforced by cotton and silk fibers. Different ratios of cassava and soy starches on properties of the TPS were studied and different contents of cotton and silk fibers were also examined. The TPS samples were compounded by internal mixer and shaped by compression molding. Physical, mechanical, morphological, thermal, water uptake and biodegradable properties were then analyzed, water uptake was found that water absorption from the TPS at the ratio of 100:0 with cotton fiber was the lowest. It was found that cotton and silk fibers could reinforce the TPS and the highest overall mechanical properties were obtained from the TPS prepared from cassava starch with 10% cotton fibers. From morphology, the increased content of soy starch resulted in the roughness of the surface. Moreover, surface wetting of both cotton and silk fibers by TPS matrix could be found From TGA thermograms, thermal degradation temperature of all the ratios of TPS samples tended to increase by the addition of either cotton fibers or silk fibers. Moreover, the presence of protein in soy and silk fibers enhanced the biodegradability of the TPS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานสนับสนุนกองทุนวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.)ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนวิจัยทั้งหมด ในการจัดทำโครงงานพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำปรึกษา และช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษนี้ทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์และดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่กรุณาเป็นกรรมการตลอดจนให้คำแนะนำโครงงานพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่คอยให้แรงกระตุ้นและกำลังใจ พร้อมข้อเสนอแนะดีๆ จนทำให้โครงงานพิเศษนี้ประสบความสำเร็จอย่างงดงาม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่ให้ทุกสิ่งอย่างต่อคณะผู้จัดทำ จนประสบความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวแพรวลลิดา บุญกัณหา

นางสาวศรีกัลยา ศรีปาน

นางสาวสุธาสินี พันธ์ประชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

รายการ **หน้า**

บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาไทย..... IV
บทคัดย่อโครงงานพิเศษภาษาอังกฤษ..... IV
กิตติกรรมประกาศ..... IV
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... IV
สารบัญรูปภาพ..... IV
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลัก.....5
2.1 แป้ง 5
2.1.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง.....5
2.1.1.1 อะไมโลส (Amylose).....7
2.1.1.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin).....9
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆของเม็ดแป้ง.....10
2.1.2.1 ไขมัน (Lipid).....11
2.1.2.2 โปรตีน (Protein).....12
2.1.2.3 ฟอสฟอรัส (Phosphorus).....12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

รายการ **หน้า**

2.1.2.4 เถ้าและสารอนินทรีย์อื่นๆ (Ash & Inorganic components).....12

2.1.2.5 ความชื้น (Moisture).....13

2.1.3 โครงสร้างของเม็ดแป้ง.....13

2.1.4 สมบัติของแป้ง.....16

2.1.4.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility).....16

2.1.4.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization).....17

2.1.4.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation).....20

2.1.4.4 ความหนืด (Viscosity).....21

2.1.4.5 การย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์.....22

2.2 แป้งมันสำปะหลัง (Cassave starch).....22

2.2.1 องค์ประกอบหัวมันสำปะหลัง.....24

2.2.2 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง.....26

2.2.2.1 การบริโภคโดยตรง.....26

2.2.2.2 การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบประกอบในอุตสาหกรรม.....27

2.2.3 แป้งมันสำปะหลังแปรรูป.....30

2.3 ถั่วเหลือง.....32

2.3.1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

รายการ **หน้า**

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพของถั่วเหลือง.....33

2.3.3 การปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทย.....35

2.3.4 แหล่งผลิต.....35

2.3.4.1ฤดูการผลิต.....35

2.3.4.2 พันธุ์ถั่วเหลือง.....36

2.3.5 การใช้ประโยชน์ถั่วเหลือง.....37

2.3.6 ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง.....40

2.3.7 การแปรรูปถั่วเหลือง.....44

2.4 เส้นใย (Fibers).....47

2.4.1 ประเภทของเส้นใย.....47

2.4.2 สมบัติของเส้นใย.....47

2.5 เส้นใยธรรมชาติฝ้าย (cotton).....49

2.5.1 เส้นใยฝ้าย.....49

2.5.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ.....52

2.5.1.2 โครงสร้างทางเคมี.....53

2.5.1.3 สมบัติของเส้นใยฝ้าย.....54

2.5.2 เส้นใยไหม.....55

2.5.2.1 โครงสร้างทางเคมี.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

รายการ **หน้า**

2.5.2.2 โครงสร้างทางกายภาพ.....59

2.5.2.3 ผลิตภัณฑ์.....59

2.5.2.4 สมบัติของเส้นใยไหม.....59

2.6 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....61

2.6.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้.....64

2.6.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้.....66

2.7 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers).....68

2.7.1 ชนิดของพลาสติไซเซอร์.....68

2.7.2 กลีเซอรอล (Glycerol).....70

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....71

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....74

3.1 สารเคมี.....74

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....75

3.3 การทดลอง.....77

3.4 การทดสอบ.....79

3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน.....79

3.4.2 การดูดซับน้ำ.....79

3.4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.....79

3.4.4 สัณฐานวิทยา.....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

รายการ **หน้า**

3.4.5 สมบัติเชิงกล.....80

3.4.6 สมบัติทางความร้อน.....81

3.4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....81

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....82

4.1 การหาอัตราส่วนของแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลือง.....82

4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นด้วยอินฟาเรดเปกโทรสโกปี.....88

4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยา.....91

4.4 การทดสอบการดูดซับน้ำ.....100

4.4.1 ผลของแป้งถั่วเหลืองที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....100

4.4.2 ผลของเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....102

4.5 สมบัติเชิงกล.....104

4.5.1 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ.....104

4.5.2 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย.....105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

รายการ **หน้า**

4.5.4 สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง ในปริมาณ 10%.....112

4.6 สมบัติทางความร้อน.....114

4.6.1 ผลของแป้งถั่วเหลืองที่ผสมในแป้งมันสำปะหลังของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....115

4.6.2 ผลของการเติมเส้นใยฝ้ายที่มีต่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....116

4.6.3 ผลของการเติมเส้นใยไหมที่มีต่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....117

4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....118

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....123

5.1 สรุปผลการวิจัย.....123

5.2 ข้อเสนอแนะ.....125

เอกสารอ้างอิง.....126

ภาคผนวก ก.....132

ภาคผนวก ข.....137

ภาคผนวก ค.....142

ภาคผนวก ง.....133

ภาคผนวก จ.....153

ภาคผนวก ฉ.....158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....6

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ.....8

ตารางที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด.....16

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบในหัวมัน.....25

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบในเนื้อมัน.....25

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง.....34

ตารางที่ 2.7 สูตรโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโนที่พบในไหม.....58

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง.....74

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของแป้งถั่วเหลือง.....74

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของแป้งที่ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง.....77

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของเส้นใยในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง.....78

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้.....80

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆ.....83

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเหลืองผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆ.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองและกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่าง…….....85

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป…….....…..87

ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม.....114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส 7
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน 9
รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลแพคติน.....10
รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมโครงสร้างของลาเมลาในเม็ดแป้ง.....13
รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างผลึกชนิด A และ B 14
รูปที่ 2.6 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน.....15
รูปที่ 2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง 17
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน 18
รูปที่ 2.9 DSC thermogram ของแป้ง ถั่วเหลือง.....19
รูปที่ 2.10 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation) 20
รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน 21
รูปที่ 2.12 แผนผังแสดงประโยชน์ของมันสำปะหลัง 30
รูปที่ 2.13 ถั่วเหลือง 32
รูปที่ 2.14 การแยกเส้นใยออกจากดอกฝ้าย 49
รูปที่ 2.15 ลักษณะดอกฝ้าย 50
รูปที่ 2.16 ดอกฝ้าย 51
รูปที่ 2.17 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย 52
รูปที่ 2.18 โครงสร้างทางเคมีของใยฝ้าย 53
รูปที่ 2.19 โครงสร้างทางกายภาพของใยไหม 57
รูปที่ 2.20 โครงสร้างทางกายภาพของใยไหม 59
รูปที่ 2.21 แนวโน้มการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพของโลก 62
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของกลีเซอรอล 70
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกทรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง ในอัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20……88

รูปที่4.2 อินฟราเรดสเปกทรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองใน อัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดย น้ำหนัก ……89

รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกทรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองใน อัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดย น้ำหนัก ……89

รูปที่ 4.4 พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20……92

รูปที่ 4.5 ภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน ต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20……93

รูปที่ 4.6 พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง……95

รูปที่ 4.7 ภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน ต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง……96

รูปที่4.8 พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง……98

รูปที่ 4.9 ภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน ต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง……99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 ผลของแป้งถั่วเหลืองที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 90:10 และ80:20.....100

รูปที่ 4.11 ผลของเส้นใยที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 90:10 และ 80:20.....102

รูปที่ 4.12 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ (ก) แรงดึง (ข)ความแข็งแรงดึง (ค)มอดุลัส (ง)การดึงยืดและ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด 106

รูปที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด 10 7

รูปที่ 4.14 พื้นผิวเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนักที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 15% โดยน้ำหนัก 108

รูปที่ 4.15 สมบัติเชิงสกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด 109

รูปที่ 4.16 พื้นผิวเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนักที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมในอัตราส่วน 15% โดยน้ำหนัก 110

รูปที่ 4.17 สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง ในปริมาณ 10% (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 (ก) TGA (ข) DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ.....115
รูปที่ 4.19 (ก) TGA (ข) DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง.....116
รูปที่ 4.20 (ก) TGA (ข) DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง.....117
รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงจากการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมเส้นใยฝ้าย เส้นใยไหม และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ที่ไม่ผสมเส้นใย.....118
รูปที่ 4.22 แสดงการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 90:10 และ 80:20.....120
รูปที่ 4.23 แสดงการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 90:10 และ 80:20 ที่เติมเส้นใยฝ้าย.....121
รูปที่ 4.24 แสดงการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 90:10 และ 80:20 ที่เติมเส้นใยไหม.....122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและการเกิดภาวะโลกร้อน รวมทั้งความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเลือกใช้พลาสติกหรือความต้องการพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรม การบรรจุ มนุษย์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการบริโภค และการใช้ชีวิตประจำวันมากขึ้นโดยเน้นความง่าย ความรีบเร่ง ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยวัสดุย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable materials) รวมทั้งวัสดุชีวฐาน (Bio-based materials) จึงมีบทบาทมากขึ้นในสังคมยุคปัจจุบัน ดังจะเห็นได้จาก ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการผลิตและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ รวมทั้งการรณรงค์จาก รัฐบาลในการตระหนักถึงผลกระทบที่ตามมาของการตกค้างของขยะพลาสติกที่นับวันมี ปริมาณเพิ่มมากขึ้น ในหลายประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น อเมริกา เยอรมัน และญี่ปุ่น เป็นต้น วัสดุชีวฐานเป็นวัสดุที่มาจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น และ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น ยาและเภสัชกรรม การแพทย์ อาหาร เครื่องดื่ม รวมทั้งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลาสติก เช่น ภาชนะบรรจุ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

พลาสติกชีวฐานเป็นวัสดุที่ผลิตจากสิ่งมีชีวิตเช่นกัน และสามารถเปลี่ยนแปลงหรือขึ้นรูปได้โดย กระบวนการทางความร้อน พลาสติกชีวฐานอาจแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มาจากธรรมชาติโดยตรง เช่น เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) กลุ่มที่มาจากการสังเคราะห์โดย ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์จากธรรมชาติ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) และกลุ่มที่มาจากการสังเคราะห์โดยตรงจากจุลชีพ เช่น พอลิไฮดรอกซิลอัลคาโนเอท (Polyhydroxy alkanoates, PHAs) ดังนั้นลักษณะเด่นของพลาสติกชีวฐาน คือ มาจากธรรมชาติไม่เป็นพิษย่อย สลายได้โดยการฝังกลบและโดยการกระทำของจุลชีพ และหาใหม่ทดแทนได้ ซึ่งแตกต่างจากพลาสติกที่มี แหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรม ปิโตรเคมี

มันสำปะหลัง *(Manihot esculenta (L.) Crantz)* เป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้ พลังงานกับคนและสัตว์ได้ดีที่สุด โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูง ปริมาณน้ำจะน้อยและ ความหนาแน่นของหัวจะสูงในการตรวจสอบหรือวัดปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) อย่างเร็วที่นิยมทำกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักหัวมันในน้ำ ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อย แสดงว่า หัวมันมีปริมาณน้ำมากและมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกันถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมากแสดงว่า หัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก มันสำปะหลังเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ทุก ๆส่วน ตั้งแต่ยอดจนถึงราก (หัวมัน) มีการนำมาใช้ประโยชน์ในครัวเรือน เพื่อการบริโภคเป็นอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ และใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อการใช้ประโยชน์ กับมนุษย์และสัตว์ ในหลายๆ รูปแบบ ตลอดทั้งใช้ในอุตสาหกรรมแป้งแปรรูป (Modified Starch) ใช้ประโยชน์อุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมายหลายชนิดและในวงการแพทย์ จากรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [1] พบว่ามีการส่งออกแป้งมันเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2551 ส่งออกในปริมาณ 1.9 ล้านตัน มูลค่า 29,795 ล้านบาท และเพิ่มขึ้นเป็น 2.4 ล้านตันมูลค่า 28,200 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2552

ถั่วเหลือง *(Glycine Max (L.) Merr.)* เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศพืชหนึ่ง สามารถขึ้นได้ดีในสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศไทยทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งเป็นพืชที่ให้โปรตีนสูง และราคาถูกเมื่อเทียบกับเนื้อสัตว์ ถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มาก เมล็ดถั่วเหลืองมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 40 นำมาประกอบเป็นอาหารได้หลายชนิด เช่น ฝักสดใช้ต้มรับประทานเป็นถั่วแระซึ่งมีขายทั่วไป ส่วนเมล็ดที่แก่แล้วใช้แปรรูปเป็นอาหาร เช่น เต้าหู้ เต้าเจี้ยว เนื้อ เทียม (เนื้อเกษตร) และทำนมถั่วเหลือง เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถนำมาสกัดเอาน้ำมันสำหรับประกอบอาหารแทนน้ำมันสัตว์ได้ น้ำมัน ถั่วเหลืองใช้ในอุตสาหกรรมทำเนยเทียม สบู่ ผ้าน้ำมัน หมึกพิมพ์ และอุตสาหกรรมยาปฏิชีวนะต่างๆ ส่วนเมล็ดที่สกัดเอาน้ำมันออกแล้วยังใช้เป็นอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ในปี พ.ศ. 2552 มีการส่งออกถั่วเหลืองในปริมาณ 873 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 33 ล้านบาท [1]

แป้งเป็นองค์ประกอบหลักในผลิตผลทางการเกษตรของประเทศหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ถั่วต่างๆ และลูกเดือย เป็นต้น ในอดีตการใช้ประโยชน์ของแป้งมักจำกัดเฉพาะอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยา เท่านั้น การพัฒนาแป้งให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยขยายตลาดและขอบเขตการใช้ประโยชน์ของแป้ง รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งอีกด้วย โดยทั่วไปแป้งไม่สามารถขึ้นรูปโดยกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไปได้ เนื่องจากแป้งมีลักษณะไหม้หรือเสื่อมสลายก่อนที่จะหลอม ดังนั้นการพัฒนาแป้งเป็นเทอร์โมพลาสติกหรือให้สามารถขึ้นรูปได้โดย กระบวน การทางความร้อนสามารถทำได้โดยการผสมแป้งที่อยู่ในรูปสตาร์ชกับพลาสติไซเซอร์ เช่น น้ำ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล และหรือเอทิลีนไกลคอล เป็นต้น พร้อมกับให้ความร้อน ความดัน และแรงเฉือน เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างกึ่งผลึกของแป้งให้เป็นโครงสร้างอสัณฐาน ผลิตภัณฑ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการเดียวกันกับพลาสติกทั่วไป เช่น การอัดรีด (Extrusion) การฉีด (Injection) และกระบวนการขึ้นรูปร้อน (Thermoforming) เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช มีสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซับน้ำยังไม่ดีพอ เนื่องจากแป้งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มากทำให้เกิดการบวมตัวของแป้ง และสมบัติเชิงกลมีค่าต่ำ เนื่องจากมันสำปะหลังมีคาร์โบไฮเดรตสูงแต่ปริมาณโปรตีนต่ำ ในขณะที่แป้งถั่วเหลืองมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำแต่ปริมาณโปรตีนสูง ดังนั้น ในโครงงานวิจัยนี้จึงเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ กัน และเพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและทำการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ โดยจะทำการศึกษาถึงผลของชนิด และปริมาณเส้นใยที่มีต่อสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเส้นใยที่นำมาใช้เป็นส่วนเสริมแรง คือ เส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสและ เส้นใยไหมซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีน ซึ่งคาดว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ลดการดูดซับน้ำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อทำการเตรียมและทดสอบสมบัติต่างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมระหว่าง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนผสมต่างๆ

1.2.2 เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆของเทอร์โมพลาสติกสตาร์โดยใช้เส้นใยฝ้ายและ เส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและ แป้งถั่วเหลือง ซึ่งผสมกับ เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมในอัตราส่วนผสมต่างๆ

1.3.2. ศึกษาถึงผลของชนิดและปริมาณของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

1.3.3 ทดสอบส มบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และสมบัติการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้

ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายและ เส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

1.4.2 ช่วยลดการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก และช่วยลดปริมาณขยะไม่ให้กลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม

1.4.3 ช่วยเพิ่มมูลค่าของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แป้ง [2]

แป้ง (Starch) ที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาและ กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ

2.1.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน (Growth ring) ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็นวงแหวนได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็นวงแหวนได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบวงแหวนสำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้า จะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่านปฏิกิริยาเคมีหรือย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของวงแหวน แสดงถึงลักษณะการเจริญของเม็ดแป้งโดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (Hilum) ซึ่งส่วนนี้ ประกอบด้วยส่วน Reducing end ของโมเลกุลแป้งมีด้าน Non–reducing end ของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินแผ่กระจายออกไป [3] จุดเชื่อมกิ่ง (Branch point) ของอะไมโลเพคตินอยู่ในส่วน อสัณฐานและสายอยู่ในส่วนผลึก [4]

แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มีสูตรทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี Anomeric carbon (C_1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีสมบัติรีดิวซ์ (Reducing end) นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลสซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขาเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า “Intermediate material” แต่พบในปริมาณไม่มากนัก อะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีสมบัติที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

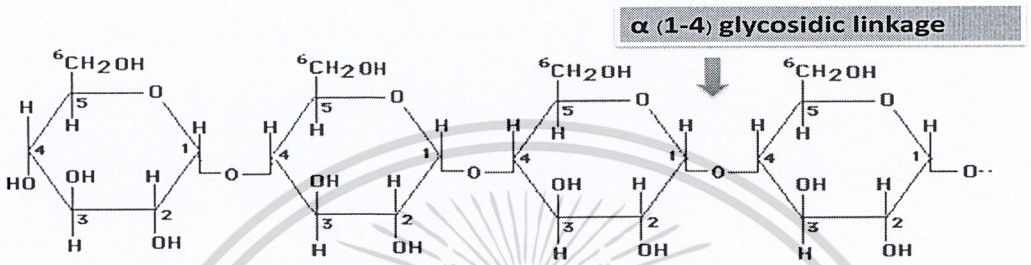
ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน [5]

อะไมโลส	**อะไมโลเพคติน**
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1, 4	1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะ α-1,6
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3. ละลายน้ำได้ดีกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,000 – 6,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4 –glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.1 อาจพบกิ่งก้านสาขาในโมเลกุลของอะไมโลสได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย [6]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส [7]

โดยทั่วไปแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 22-30% ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า คือ อยู่ในช่วง 18-24% น้ำหนักโมเลกุลอะไมโลสอยู่ในช่วง 105 ถึง 106 ดาลตัน โดยอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี Degree of polymerization (DP) ของอะไมโลส แตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะไมโลส อยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีสายของอะไมโลส ยาวมากจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ลดลง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ [9]

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)	ปริมาณอะไมโลส (% น.น. แห้ง)
ข้าวสาลี	28.8	25.8
ข้าวโพด	29.4	22.5
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7

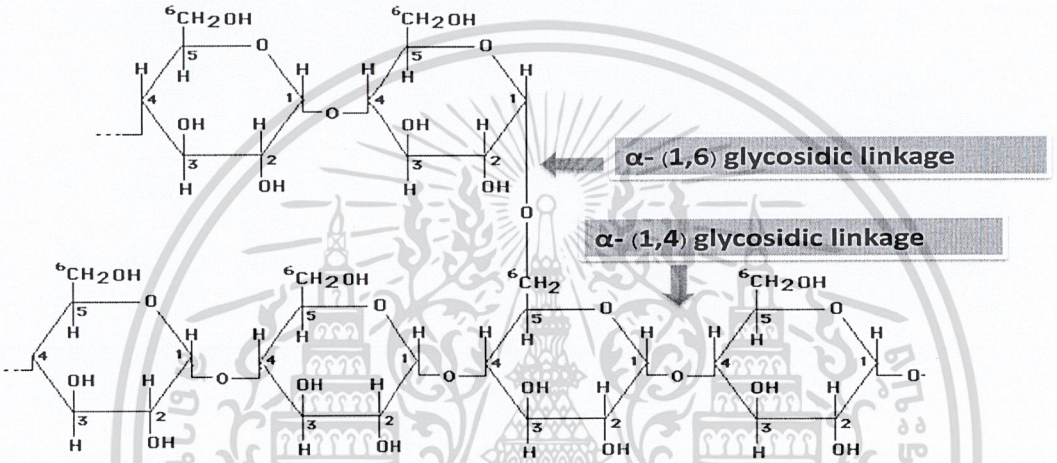
อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น Butanol, Fatty acid, Surfactant, Phenol และ Hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ [10] อะไมโลสที่มีความยาวสายโซ่มากกว่า 45 หน่วยกลูโคสเมื่อรวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินม่วง ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ และใช้ในการตรวจสอบปริมาณ อะไมโลสในแป้ง การตรวจสอบปริมาณอะมิโลสโดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และวัดสีที่เกิดขึ้น เป็นวิธีการที่ง่ายและนิยมใช้กันมาก แต่อาจมีข้อผิดพลาดได้จากความไม่อยู่ตัวของสีที่เกิดขึ้น การรบกวน ผลการวัดจากอะมิโลเพคติน โดยเฉพาะอะมิโลเพคตินที่มีความยาวสายโซ่กิ่งมากๆ ซึ่งจะเกิดสารเชิงซ้อนกับไอโอดีนได้เช่นเดียว กันทำให้วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสได้มากเกินจริง นอกจากนี้ไขมันที่เกิดสารเชิงซ้อนกับ อะมิโลสอยู่เดิมจะทำให้ อะมิโลสโมเลกุลนั้นจับกับไอโอดีนไม่ได้ทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ในกรณีนี้ต้องทำการสกัดไขมันออกก่อน การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส อาจใช้วิธีการวัดเอนทราลปีในการหลอมเหลวของ Starch-lipid complex แต่ประสิทธิภาพของวิธีการนี้ จะขึ้นกับความสามารถในการละลายของอะมิโลสในตัวอย่างแป้งแต่ละชนิด วิธีการที่มีความแม่นยำมากกว่า คือ การใช้ [Gel permeation chromatography (GPC)] แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะกับตัวอย่างที่มีจำนวนมาก นอกจากนี้ก็มีการใช้ High pressure size exclusion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

chromatography ซึ่งจะเร็วกว่าการใช้ GPC อีกวิธีการคือการใช้ Concanavalin A มาตกตะกอนอะมิโลเพคติน ออกไปและวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่เหลืออยู่ [11]

2.1.1.2 อะไมโลเพคติน (Amylopectin)

อะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1, 4- glycosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1, 6-glycosidic linkage ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน [7]

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α-1, 6 glycosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพคตินทั้งหมด อะไมโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลสคือ ประมาณ 107 ถึง 109 ดาลตันและมีการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะไมโลเพคตินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งอะไมโลเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อมีอะไมโลเพคตินเพียงอย่างเดียว จึงยังสามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้

ในปี 1940 Meyer และคณะ [1940] เสนอโมเดลโครงสร้างของอะมิโลเพคติน ว่าเป็นแบบการแตกกิ่งแบบสุ่ม (Random branching) ดังรูปที่ 2.3 หลังจากนั้น Nikuni [1978] เสนอ Clustered branching model เป็นต้นแบบของโมเดลที่ยอมรับกันในปัจจุบันซึ่งเสนอโดย [6] ลักษณะที่สำคัญของโมเดลนี้ก็คือจะมีการแบ่งสายโซ่กิ่งเป็นกลุ่มๆ ตามขนาดความยาว ของสายโซ่ที่มีช่วงที่แน่นอน (Certain periodicity) อะไมโลเพคตินประกอบด้วย สายโซ่ (Chain) 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) สาย A (A–chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า สายโซ่แบบ B นี้ยังแบ่งเป็น กลุ่มย่อย B1, B2, B3 และ B4 ซึ่งมีความยาวคร่อมหนึ่ง สอง สามและสี่คลัสเตอร์ (Cluster) ตามลำดับ

3) สาย C (C–chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพคติน แต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ความยาวของสายกิ่งอะไมโลเพคตินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45-60 หน่วยประกอบด้วยสาย B สายยาว สายโซ่เหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไปในหัวข้อโครงสร้างของเม็ดแป้ง



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลแพคตินที่เสนอโดย (1) Haworth, (2) Staudinger, (3) Meyer (4) Meyer redrawn as a cluster-type architecture. [12]

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของเม็ดแป้ง

โดยทั่วๆไปเม็ดแป้ง (Starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอนินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1 ไขมัน (Lipid)

ไขมันที่สกัดได้จากเม็ดแป้งอาจเป็นไขมันที่เป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้งจริงๆ หรืออาจมาจากเนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ และมาจับอยู่กับเม็ดแป้งในขณะที่ทำการสกัดแป้ง แป้งจากเอนโดสเปิร์มของพวกธัญพืชจะมีลักษณะเฉพาะ คือ มีไลปิดเป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้ง (Integral components) ในขณะที่เม็ดแป้งจากมันฝรั่ง เม็ดถั่วประเภทต่างๆ หรือจากส่วนอื่นๆ ของธัญพืชไม่พบ Integral lipids ไลปิดที่จับอยู่กับเม็ดแป้งนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ไลปิดที่มาจากเนื่อเยื่ออื่นๆ เช่น จากเมมเบรนและสเฟียร์โรโซม ซึ่งจะจับอยู่กับเม็ดแป้งแบบหลวมๆ ประกอบด้วยไลปิด พวกไตรกรีเซอไรด์ ไดเอซิลไกลโคไลปิดและ ฟอสโฟไลปิด ระหว่างการเจริญของเมล็ดข้าว จะเกิดการย่อยสลายไลปิดบางส่วนได้กรดไขมัน และ โมโนเอซิลกรีเซอไรด์ ในขณะสกัดแป้ง แม้ว่าเม็ดแป้งจะพองตัวเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่กรดไขมันและ โมโนเอซิลไลปิดเหล่านี้สามารถถูกดูดซึมเข้าไปในบริเวณชั้นผิวของเม็ดแป้งได้ จึงเรียกไลปิดส่วนนี้ว่า “Starch surface lipids” ส่วนไลปิด ที่เป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้งอย่างแท้จริงจะพบอยู่ภายในเม็ดแป้ง ในแป้งข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีพบว่าเป็นไลปิดประเภทไลโซฟอสโฟไลปิดทั้งหมด ในขณะที่ในแป้งข้าวเจ้า ข้าวโอ๊ตและข้าวโพด พบว่าเป็นกรดไขมันประมาณ 30-60% แป้งข้าวเหนียว ข้าวโพดเหนียว ข้าวบาร์เลย์เหนียว และข้าวสาลีเหนียวซึ่งมีอะไมโลสต่ำมากพบว่ามีปริมาณไลปิดต่ำมากเช่นกัน และแป้งจากข้าวเหล่านี้เมื่อกลายพันธุ์ให้มีอะไมโลสสูงก็จะพบไลปิดในปริมาณมากด้วย แป้งข้าวโอต มีไลปิด อะไมโลสและฟอสฟอรัสสูงกว่าแป้งจากธัญพืชอื่นๆ

แป้งจากหัว (Tuber) หรือราก (Root) เช่น แป้งมันฝรั่งและมันสำปะหลังมีไขมันในปริมาณที่ต่ำ (0.1% หรือน้อยกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากธัญพืช (Corn wheat และ Sorghum) ซึ่งมีไขมันประมาณ 0.6-0.8 % (w/w) การมีไขมันในแป้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งเนื่องจากไขมันหรือลิปิด (Lipid) จะเกิดการรวมตัวกับอะไมโลสในแป้งเกิดเป็นสารเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมัน (Amylose-lipid complex) ซึ่ง Amylose-lipid complex นี้ไม่ละลายน้ำ แต่การจับกันจะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 120 องศาเซลเซียส) พันธะที่ยึดเหนี่ยวกันจะถูกทำลายทำให้ส่วนของอะไมโลสสามารถละลายออกมาได้ [13] สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไขมัน จะมีผลทำให้กำลังการพองตัว (Swelling power) และค่าการละลาย (Solubility) ของแป้งลดลง [10] นอกจากนี้ไขมันยังทำให้แป้งเกิดการเหม็นหืน (Rancid) ขณะเก็บรักษาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 โปรตีน (Protein)

โปรตีนที่สกัดได้จากเม็ดแป้งก็แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ เป็นโปรตีนที่จับอยู่ที่ผิวของเม็ดแป้ง (Surface protein) ซึ่งสกัดออกได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ และโปรตีนที่เป็นส่วนหนึ่งของเม็ดแป้ง (Integral protein) ซึ่งการสกัดต้องใช้อุณหภูมิใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ [13] รายงานว่าประมาณ 10% ของโปรตีนทั้งหมดที่สกัดได้จากแป้งสาลีเป็นโปรตีนที่จับอยู่ที่ผิว โปรตีนที่อยู่ภายในเม็ดแป้งส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แป้ง พบโปรตีน 5 ชนิดที่มีขนาดโมเลกุล 60, 75, 85, 100 และ 105 kDa ในสารสกัดจากเม็ดแป้งสาลีที่ทำการสกัดที่ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ 50 mM Tris (pH 8) ที่มี 10% SDS (Sodium dodecyl sulfate) และแยกโดย SDS-PAGE [14] แถบโปรตีนที่เห็นชัดที่สุดคือ ที่ 60 kDa ซึ่งพบ ว่าเป็นเอนไซม์ Granular bound starch synthase (GBSS) ในแป้งตระกูล waxy ทั้งหมดจะไม่พบโปรตีนนี้ ส่วนโปรตีนขนาด 85 kDa คาดว่าเป็น Starch branching enzyme (SBE IIb) และโปรตีนขนาด 75 kDa คาดว่าเป็น Starch synthase

มันฝรั่งและมันสำปะหลังมีโปรตีนในปริมาณที่ต่ำ (0.1% w/w หรือน้อยกว่า) เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพดและข้าวสาลี ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 0.3-0.5% (w/w) โปรตีนที่อยู่ในแป้งจะเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดกลิ่นรสและการเกิดฟองในแป้ง ในแป้งสาลีโปรตีนตัวหนึ่งที่สนใจศึกษากันมากคือ Friabilin เนื่องจากเป็นโปรตีนที่เชื่อว่าเกี่ยวข้องกับความแข็งของข้าว

2.1.2.3 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในแป้งจากธัญพืชมักพบในรูปของฟอสฟอลิปิด (Lysophospholipid) ในขณะที่แป้งจากรากและหัวมักมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำและอยู่ในรูปของฟอสเฟต แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งจากหัวที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปของฟอสเฟตเอสเทอร์ (Phosphate ester) สูง ปริมาณ Phosphate group ในแป้งมันฝรั่งมีประมาณ 1 group ต่อ 200-400 หน่วยของน้ำตาลกลูโคส (200-800 ppm) โดยหมู่ฟอสเฟตทำให้แป้งมีคุณสมบัติเป็น polyelectrolyte ทำให้เม็ดแป้งกระจายตัวในน้ำและพองตัวได้ดี เนื่องจากโมเลกุลแป้งผลักกันเอง

2.1.2.4 เถ้าและสารอนินทรีย์อื่นๆ (Ash & Inorganic components)

สารอนินทรีย์อื่นๆ ในแป้ง เช่น Ca^{+}, K^{+}, Mg^{+} และ Zn^{+} พบในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณของสารเหล่านี้หาได้จากสิ่งที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิเฉพาะ แป้งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตในรูปของเกลือที่มีอยู่ในมัน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

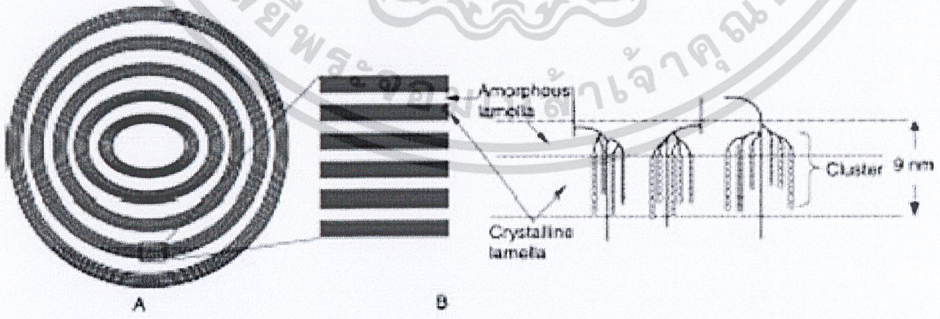
ฝรั่งเองหรือได้จากกระบวนการล้างน้ำ ปริมาณเถ้าของแป้งมันฝรั่งเท่ากับปริมาณหมู่ฟอสเฟต ปริมาณเถ้าบางส่วนในแป้งธัญพืชคือปริมาณฟอสฟอลิปิด ปริมาณเถ้าของแป้งที่ใช้ในทางการค้าโดยทั่วๆไปคือสารประกอบโลหะของโซเดียม โปตัสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม [13]

2.1.2.5 ความชื้น (Moisture)

ปริมาณความชื้นของแป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity; RH) ของอากาศขณะที่เก็บผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแป้งจะมีความชื้นต่ำด้วย ถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นสมดุล (Equlibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ภายใต้สภาวะอากาศปกติแป้งโดยทั่วไปจะมีความชื้น 10-20% (w/w)

2.1.3 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

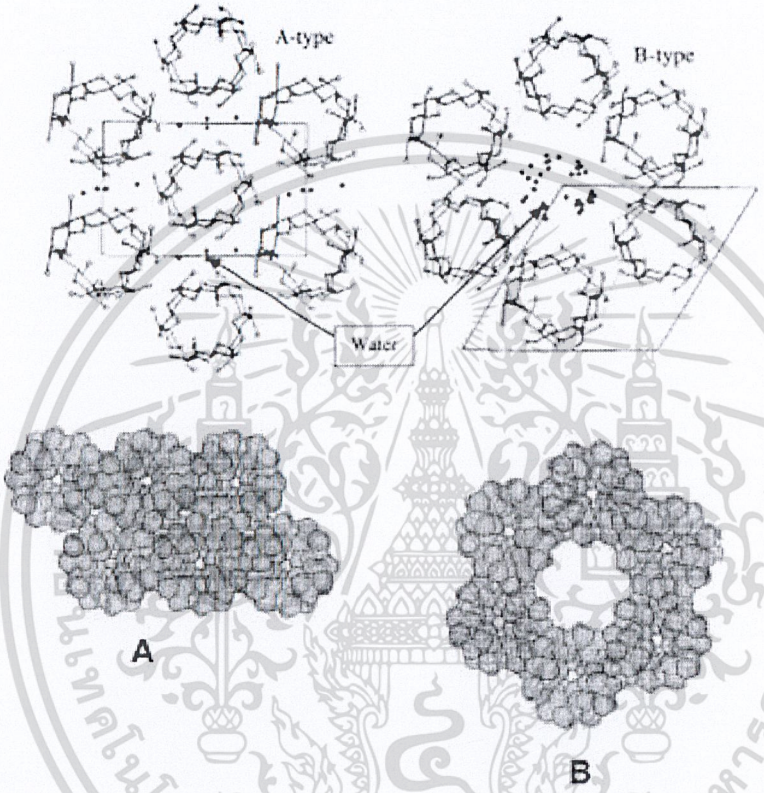
จากลักษณะของวงแหวนสมบัติ Birefringence cross ของเม็ดแป้งและการใช้เทคนิค X-ray scattering ในการวิเคราะห์เม็ดแป้งนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า เม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก(Semi-crystalline) โดยลักษณะความเป็นผลึกเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่ในโมเลกุลของอะไมโลเพคตินในแนวรัศมี เป็นชั้นๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (Series of stacked amylopectin clusters) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่า Amor-phous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่กิ่งของอะไมโลเพคตินที่จัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกบริเวณส่วนนี้ว่า Crystalline lamellar ดังรูปที่ 2.4 หนึ่งคลัสเตอร์มีขนาด 9 nm



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมโครงสร้างของลาเมลาในเม็ดแป้ง (A) บริเวณที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบของสายโซ่กิ่งของอะไมโลเพคติน (B) แสดงส่วนที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ดังรูปที่ 2.5 ถ้ามีการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) สารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้วมีรูปแบบผลึกเป็นแบบ V

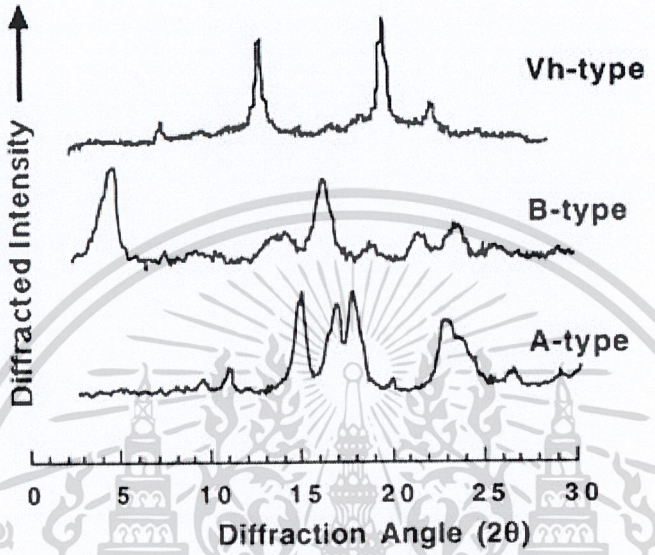


รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างผลึกชนิด A และ B [15]

โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค Wide angle x-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันให้รูปแบบของ X-ray diffraction ต่างกันดังรูปที่ 2.6 แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A ให้พีคที่ 17 และ 18 และพีคเดี่ยวที่ 23 องศา แต่ไม่มีพีคที่ 5.6 องศา แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มีลักษณะผลึกแบบ A แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B ให้พีคที่ 5.6 และ 17 แต่ไม่มีพีคที่ 18 เซต้า และมีพีคคู่ (Doublet) ที่ 22 องศาและ 24 องศา ซึ่งได้แก่ แป้งจากพืชหัวและแป้งที่มีอะไมโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C ให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ มีพีคที่ 5.6 องศา และ 17.9 องศา ตัวอย่าง เช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแป้งผลไม้บางชนิด แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติ (Treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งชื้นที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูงจะมีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B ไปเป็นชนิด A [16] ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.6 X-ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งแต่ละชนิด [17]

ชนิดแป้ง	ความเป็นผลึก (%)	อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (°C)	ปริมาณอะไมโลส (%)
โครงสร้าง A			
ข้าวโอ๊ต	33	60.7	23
ข้าวสาลี	36	63.5	23
ข้าวเหนียว	37	64.5	-
ข้าวฟ่าง	37	72.2	25
ข้าวเจ้า	38	70.0	17
ข้าวโพด	40	71.3	27
โครงสร้างB			
Amylomaize	15 – 22	86.0	55 – 75
สาคู	26	70.5	28
มันฝรั่ง	28	67.3	22
โครงสร้าง C			
มันเทศ	38	70.0	20
มันสำปะหลัง	38	66.0	18

2.1.4 สมบัติของแป้ง [2]

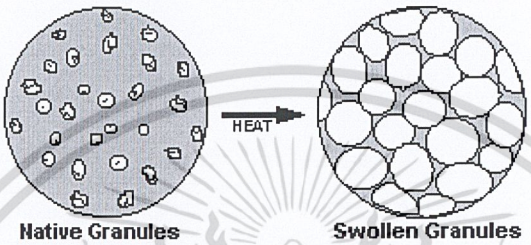
2.1.4.1 การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30% และพองตัวน้อยมากจนไม่สังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Intermixed) ภายในเม็ดแป้งในส่วน Crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ Amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (Hydration) ได้บ้างแม้ใน น้ำเย็นเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วน Amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กันของโมเลกุลในส่วน Crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลงโมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.6) โมเลกุลในส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า Micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน Crystallite ที่เหลืออยู่นี้จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



รูปที่ 2.7 การพองตัวของเม็ดแป้ง [18]

2.1.4.2 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

(ก) กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัว หรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก [19] สังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 10% และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและสมบัติดังเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็น Crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายใน น้ำเย็นแต่น้ำอาจจะซึมเข้าไป ในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี เช่น ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส แก่แป้งสาลีมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน Crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (Irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า **"เจลาติไนเซชัน"** ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้น คือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (Maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

117349

ชนิดมีโครงสร้างส่วน Crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (Degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก [19-20] แต่เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด (SEM) ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณ 30% พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน แป้งอาจเกิด Gelatinized ได้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการละลายใน Solvent เช่น alkali, liquid ammonia, DMSO, aq. $CaCl_2$

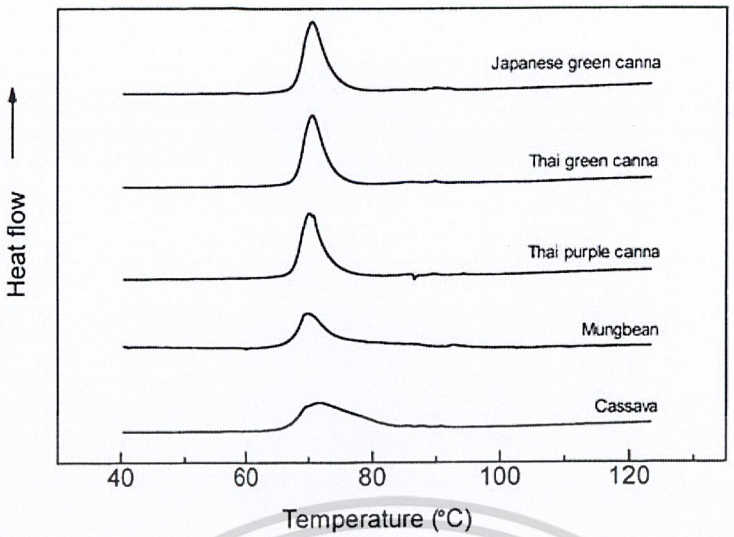


รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [2]

(ข) การตรวจสอบช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

วิธีที่ง่ายและแม่นยำ คือ วัดอุณหภูมิที่เม็ดแป้งสูญเสียเครื่องหมายกากบาทเมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบ Kofler (Kofler hot stage microscope) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีระบบให้ความร้อนแก่ตัวอย่างน้ำแป้งบนแผ่นสไลด์อย่างต่อเนื่องในอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที เมื่อมองผ่านแสงโพลาไรซ์พบว่าจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นคือ เม็ดแป้งประมาณ 2% เริ่มพองตัวและสูญเสียเครื่องหมายกากบาท ที่จุดนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Initial of gelatinization) เมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายกากบาทไป 50% จะเรียกเป็นจุดกลางของเจลาติไนเซชั่น (Midpoint of gelatinization) และเมื่อเม็ดแป้งในตัวอย่างสูญเสียเครื่องหมายไปประมาณ 98% จะเรียกเป็นจุดสุดท้ายของเจลาติไนเซชัน (Final of gelatinization หรือ Completion point) [21-22] ดังนั้นส่วนใหญ่มักแสดงช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันของแป้งเป็นตัวเลขชุด แต่ถ้าระบุเป็นอุณหภูมิเดียวมักเป็นจุดสุดท้ายของ เจลาติไนเซชันหรือที่เรียกกันว่า Birefringence end point temperature (BEPT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



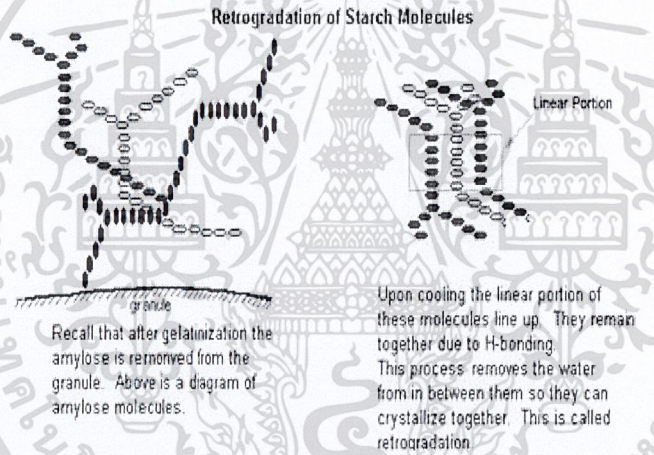
รูปที่ 2.9 DSC thermogram ของแป้ง [21]

นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง Birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์โดยใช้เครื่องมือที่วัด และบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ เช่น เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ซึ่งใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันของปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิปกติโพลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70% แป้งจะเกิดเจลาติไนเซชัน โดยทั่วไปอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเอนทราลปีสูงสุด (Peak temperature) คือ อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน สำหรับการตรวจสอบการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งกับน้ำในอัตรา 30:70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ Thermogram ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง Heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (DH, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 2.9) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น Crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มาจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม



รูปที่ 2.10 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation) [23]

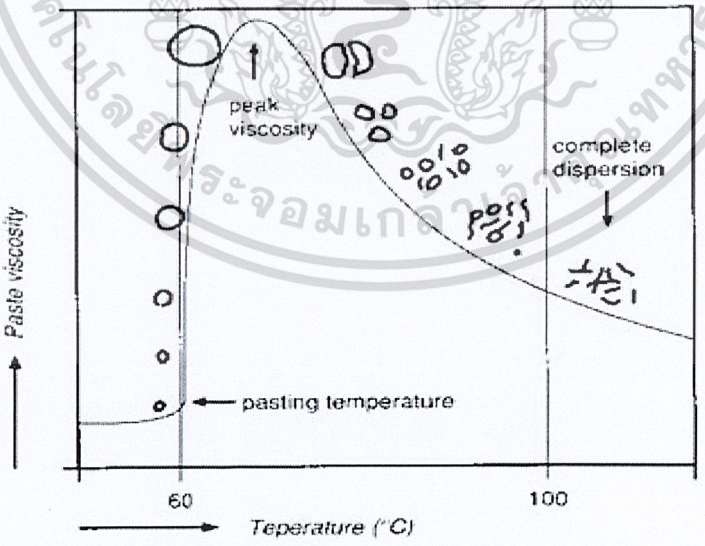
การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดี เมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูงและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหรือหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาจัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แป้งจากธัญญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กันหรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลส อิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น Matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพคตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกะกะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท Waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้ง แต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

2.1.4.4 ความหนืด (Viscosity)

เป็นสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น (รูปที่ 2.10) พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า Pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลของอะไมโลสและโมเลกุลของอะไมโลเพคติน บางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง



รูปที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นมาอีกนี้เรียกว่า Setback และปรากฏการณ์นี้คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน อุณหภูมิ Shear rate เป็นต้น แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ ชนิดของแป้ง

2.1.4.5 การย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์

แป้งเป็นอาหารหลักของมนุษย์และสัตว์ซึ่งได้จากการบริโภคส่วน ราก ลำต้น และหัวของพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ โมเลกุลของแป้งเกิดจากการเชื่อมต่อกันของกลูโคสด้วยพันธะ α -1,4 และ α -1,6-กลูโคซิดิก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แป้งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์โดยมีเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α –amylase และα -glucodidase) ซึ่งเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์พันธะ α -1,4-กลูโคซิดิกของแป้งทำหน้าที่หลักในการย่อยแป้ง การย่อยแป้งจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์เพียงใดและได้ผลิตภัณฑ์อะไรนั้น ขึ้นอยู่กับความจำเพาะของเอนไซม์ ในระบบการย่อยอาหารแป้งจะเริ่มถูกย่อยในปากซึ่งมี pH ในช่วง 6.2-7.4 โดยเอนไซม์ α -amylase จากนั้นจะผ่านกระเพาะอาหารและเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ซึ่งมี pH ในช่วง 7-8 แป้งจะเริ่มถูกย่อยอีกครั้งด้วยเอนไซม์ α -amylase ที่ผลิตจากตับอ่อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยคือ dextrin, maltotriose, maltose และ glucose ไดแซคคาไรด์และโอลิโกแซคคาไรด์จะถูกย่อยต่อด้วยเอนไซม์ α-glucosidase ที่อยู่บนเยื่อบรัชบอร์เดอร์ ซึ่งจะตัดกลูโคสครั้งละหนึ่งหน่วยโดยเริ่มจากปลาย Non-reducing เข้าไป ส่วนแป้งที่ยังเหลืออยู่จะผ่านลงไปที่ปลายของ ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ซึ่งอาจจะถูกย่อยสลายต่อด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้

2.2 แป้งมันสำปะหลัง (Cassave starch) [25]

มันสำปะหลังคือ มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบแอฟริกาเรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศสว่า แมนิออค (Manioc) มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส และบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลกโดยชาวโปรตุเกสและสเปนนำมันสำปะหลังจากเม็กซิโกมายังฟิลิปปินส์ และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนิเซีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

ORDER : GERANIALES OR EUPHORBIALES

CLASS : DICOTYLEDONEA

SUBCLASS : ARCHICHLAMYDEAE

FAMILY : EUPHORBIACEAE

TRIBE : MANIHOTEAE

GENUS : MANIHOT

SPECIES : ESCULENTA

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปีการปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้น ตัดเป็นท่อนปักไปในดินตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นรากฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือนรากจะค่อยๆ สะสมแป้งและมีขนาดโตขึ้นเรียกว่าหัวมันสำปะหลังและจะสามารถเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังหลังจาก 6 เดือน ผ่านไปแล้วโดยจะยืดอายุเก็บเกี่ยวไปได้ถึง 16 เดือน โดยส่วนตาที่อยู่ด้านข้างท่อนมันจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้นต่อไป

แป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch) ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงสีขาวจับผิวสัมผัสของแป้งจะเนียนลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะเหลวเหนียวหนืด และใช้เมื่อพักให้เย็นจะมีลักษณะเหนียวเหนอะหนะคงตัว นิยมนำมาผสมกับอาหารที่ต้องการความเหนียวหนืดและใส หัวมันสำปะหลังสดมีแป้งเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 แป้งมันสำปะหลังที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังและไม่มีการเปลี่ยนรูปเรียกว่าแป้งดิบ (tapio castarch , nativestarch)

แป้งดิบ ที่ภาษาอังกฤษเรียก Starch คือแป้งดิบที่สกัดเอาเยื่อใยออกแล้วใช้เป็นอาหารมนุษย์ อาหารทารก เป็นเครื่องปรุงอาหารหลายชนิด ใช้ทำวุ้นเส้น ทำเบียร์ และใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นตัวทำให้สารติดแน่นคงรูปร่าง ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมซักรีด อุตสาหกรรมทำกระดาษ แป้งเปียก แอลกอฮอล์ อะซีโตน ยา กลูโคส และแป้งแปรรูป โดยสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

1. แป้งดิบหรือแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native starch) คือแป้งที่ได้จากหัวมันสดด้วยขบวนการแยกกากโปรตีน ฯลฯ ปัจจุบันมีโรงงานประมาณ 85 โรง แต่ทำการผลิตจริงเพียง 49 โรงงาน กำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 2 - 2.5 ล้านตันต่อปี ผลผลิตเฉลี่ยทั้งอุตสาหกรรม (ผลิตได้จริง) ประมาณ 1.76 ล้านตันต่อปี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modify Starch) คือแป้งซึ่งได้จากการนำแป้งมันสำปะหลังดิบมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์ เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยปกติการผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูปใช้อัตราแป้งดิบ 1 กิโลกรัม ต่อแป้งแปรรูป 0.93 กิโลกรัม

แป้งดิบที่ภาษาอังกฤษเรียก Flour เป็นแป้งที่ไม่ได้สกัดเอาเยื่อใยออก ทำได้โดยนำหัวมันสดมาปอกเปลือกหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ตากแห้งป่นให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้ง จะได้แป้งดิบที่สามารถนำมาใช้ทำขนมอบชนิดต่างๆ ได้คล้ายแป้งสาลี เช่น นำมาทำเป็นเค้ก แพนเค็ก ขนมปัง คุกกี้ พาย และสามารถนำมาทดแทน แป้งสาลี แป้งข้าวเจ้า ได้บางส่วนในอาหารบางชนิด

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. ชนิดหวาน (Sweet Type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขมใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วนนุ่มและชนิดเนื้อแน่นเหนียวแต่มีจำนวนน้อย

2. ชนิดขม (Bitter Type) เป็นมันสำปะหลังที่มีกรดไฮโดรไซยานิคสูง เป็นพิษและมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์ หรือใช้หัวมันสำปะหลังสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่างๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด และแอลกอฮอล์ เป็นต้น เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม สำหรับประเทศไทยนั้นไม่มีหลักฐาน ที่แน่ชัดว่ามีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใด แต่คาดว่ามีการนำมันสำปะหลังมาจากประเทศมาเลเซียเมื่อปี 2329 โดยมีชื่อเรียกในระยะต่อมาว่า มันไม้ และมันสำโรง คำว่าสำปะหลังนั้นภาษามาเลเซีย และอินโดนีเซียเรียกว่า Ubikayu แปลว่า พืชที่มีรากขยายใหญ่และคล้ายกับภาษาชวาตะวันตกว่าสัมเปอ(Sampeu)

2.2.1 องค์ประกอบหัวมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบและส่วนที่เป็นสีเขียวแล้วจะสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรต คือ แป้งไว้ในราก ความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องมาจากพันธุ์ของมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยวและปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันอาจจะแตกต่างกันไปโดยทั่วไป หัวมันสำปะหลังที่มีอายุ 12 เดือนที่ได้รับปริมาณน้ำเพียงพอและไม่มีฝนตกชุก ขณะเก็บเกี่ยวจะมีส่วนประกอบแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบในหัวมัน [25]

องค์ประกอบในหัวมัน	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักหัวมัน)
น้ำ	60.21-75.32
เปลือก	4.08-14.08
เนื้อ (แป้ง)	25.87-41.88
ไซยาไนด์ (ppm)	2.85-39.27

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบในเนื้อมัน [25]

องค์ประกอบในเนื้อมัน	ปริมาณ (ต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้งเนื้อมัน)
แป้ง	71.9-85.0
โปรตีน	1.57-5.78
เส้นใย	1.77-3.98
เถ้า	1.20-2.80
ไขมัน	0.06-0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.59-8.66

จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในรากนั้นนอกจากน้ำแล้ว คือ แป้งซึ่งมีถึงร้อยละ 70-80 จึง ถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานกับคนและสัตว์ได้ดีที่สุด โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูงปริมาณน้ำจะน้อยและความหนาแน่นของหัวจะมีสูง ฉะนั้นในการตรวจสอบหรือวัดปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) อย่างเร็วที่นิยมทำกันคือ การตรวจสอบความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักหัวมันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อยแสดงว่า หัวมันมีปริมาณน้ำมากและมีแป้งน้อยในกรณีกลับกัน ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมากก็แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก

2.2.2 ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

2.2.2.1 การบริโภคโดยตรง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ทุกๆ ส่วนตั้งแต่ยอดจนถึงราก (หัวมัน) มีการนำมาใช้ประโยชน์ในครัวเรือนเพื่อการบริโภคเป็นอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ และใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆเพื่อการใช้ประโยชน์กับมนุษย์และสัตว์ในหลายๆรูปแบบ ตลอดทั้งใช้ในอุตสาหกรรมแป้งแปรรูป (Modified Starch) ใช้ประโยชน์อุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมายหลายชนิดและในวงการแพทย์จึงกล่าวได้ว่าการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังแยกได้ 3 ประเภท คือ บริโภคโดยตรง แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมัน) และแป้งมันสำปะหลังแปรรูป (ทางเคมีและกายภาพใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรมต่างๆ)ใช้ประโยชน์บริโภคโดยตรง

1.หัวมันสด

1.1 ใช้เป็นอาหารมนุษย์โดยตรง เช่น นึ่ง ย่าง อบ เชื่อม และหั่นฝอยคลุกน้ำมันหรือเครื่องเทศแล้วทอด หรือนำมาทำเป็นแป้งและแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ ตลอดจนนำมาฝานเป็นแผ่นบางๆ (Chip) แล้วทอด

1.2 ใช้เป็นอาหารสัตว์ทั้งที่เป็นหัวสด กากที่เหลือจากการทำแป้งและเปลือกของหัว

2. ใบ

2.1 ใช้เป็นอาหารมนุษย์รับประทานเป็นผักสดโดยต้มจิ้มน้ำพริก นำมาแกง (ห่อหมก) ปรุงเป็นซุป

2.2 ใช้เป็นอาหารสัตว์ในรูปใบสด นำมาตากแห้งป่นผสมกับอาหารข้นเลี้ยงสัตว์และเป็นอาหารผสม

3. ลำต้น

3.1 ใช้ทำเป็นท่อนพันธุ์นำไปปลูก

3.2 ใช้เป็นอาหารสัตว์โดยตัดลำต้นส่วนยอดผสมกับใบสดใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องตากแห้งเป็นอาหารหยาบ

3.3 ใช้ทำรั้วบ้านรั้วสวนและล้อมคอกสัตว์เลี้ยงของชาวบ้านในชนบท

4. เมล็ด

4.1 ใช้สกัดน้ำมันที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบประกอบในอุตสาหกรรม [23]

1. อุตสาหกรรมมันเส้น

การแปรรูปที่ใกล้ตัวมากที่สุด คือ การทำมันเส้น เมื่อเก็บเกี่ยวหัวมันสดแล้วก็จะนำส่งลานมันซึ่งเกษตรกรบางรายมีลานของตัวเองก็จะทำการแปรรูปโดยใช้เครื่องตัดหัวมันเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปตากบนลานซีเมนต์ เมื่อแห้งดีแล้วก็ทำการเก็บเพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ หรืออุตสาหกรรมมันอัดเม็ดต่อไป ปกติหัวมันสำปะหลังสด 2.5 กิโลกรัมจะผลิตเป็นมันเส้นได้ 1 กิโลกรัม มันเส้น (Chip) ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปตากแดดบนลานซีเมนต์ 2 - 3 วัน ให้แห้ง

2. อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด

มันอัดเม็ดหรือที่เรียกว่า มันเม็ด ผลิตโดยการอัดมันเส้นโดยเครื่องอัดภายใต้สภาวะความร้อนและความดัน หลังจากอัดแล้วจะมีลักษณะเป็นท่อนยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตรเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ความชื้นประมาณร้อยละ 14 ซึ่งจะส่งออกไปต่างประเทศเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารสัตว์ เนื่องจาก มันเม็ดจะมีปริมาณแป้งสูง (มากกว่าร้อยละ 65) จึงใช้เป็นแหล่งอาหารให้พลังงานของสัตว์ เนื่องจากมันเม็ดมีส่งได้ตลอดปีและราคาไม่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับผลิตผลของธัญพืชต่างๆ ดังนั้นหลายประเทศจึงนิยมใช้มันเม็ดของไทยในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ มันเม็ดมีปริมาณการส่งออก ประมาณ 5 ล้านตันต่อปี ข้อได้เปรียบที่สำคัญของมันเม็ด คือ สามารถขนส่งได้ง่าย (ไม่มีฝุ่นเหมือนมันเส้น) ขนย้ายได้สะดวกสามารถใช้เครื่องจักรในการขนส่งได้เช่นเดียวกับเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ

3. อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ในบรรดาประเทศที่ปลูกมันสำปะหลังมากๆ เช่น บราซิล ไนจีเรีย อินโดนีเซียและไทย เป็นต้น ประเทศไทยเป็นประเทศเดียวที่ใช้มันสำปะหลังมาผลิตเป็นแป้งมากที่สุด ถือได้ว่าเป็นผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลกโดยมีกำลังความสามารถการผลิตมากกว่า 2 ล้านตัน มันสำปะหลังต่อปีมีเทคโนโลยีการผลิตการผลิตแป้งมันสูงที่สุดในบรรดาทุกๆ ประเทศและได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ประเทศเพื่อนบ้านแป้งมันสำปะหลัง จึงถือได้ว่า แป้งไทย เป็นแป้งที่มีคุณภาพสูงและราคาถูกที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุตสาหกรรมอื่นๆ

4.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นจะต้องใช้แป้งมันสำปะหลังด้วย โดยด้ายที่จะใช้ทอผ้านั้นจะต้องผ่านการชุบแป้งเสียก่อน ด้ายจึงจะลื่นและเรียบไม่มีขนและเป็นตัวหล่อลื่นไม่ให้เส้นด้ายติดกันระหว่างการเคลื่อนที่ของหูกทอผ้า นอกจากนี้ในขั้นตอนการพิมพ์ลายผ้า แป้งจะช่วยทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ การใช้แป้งมันสำปะหลังในการทอผ้านั้น บางโรงงานยังใช้แป้งเคมี (Modified starch) ที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศ เพราะสมบัติเหมาะสมกว่า แต่อย่างไร ก็ตามมีโรงงานในประเทศที่เริ่มผลิตแป้งเคมีจากแป้งมันสำปะหลังขึ้นแล้ว

4.2อุตสาหกรรมไม้อัด

แป้งมันสำปะหลังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด เนื่องจากลักษณะการผลิตไม้อัด คือ การนำไม้มาประกบติดกันโดยใช้กาว ซึ่งแป้งมันก็ถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการทำกาว เพราะแป้งมันมีคุณสมบัติเป็นกาวอยู่แล้ว เพื่อให้ไม้อัดติดกันเป็นแผ่นหนาแข็งแรงและทนทาน นอกจากนี้การใช้แป้งเป็นส่วนผสมยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตกาว เพราะกาวที่ผลิตได้นั้นใช้แป้งเป็นส่วนผสมถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณสมบัติพิเศษกว่าแป้งประเภทอื่นๆ คือ เนื้อแป้งมีความละเอียดทำให้ไม่มีการตกตะกอนเมื่อนำมาใช้ผสมทำกาว นอกจากนี้ราคายังถูกกว่าด้วย

4.3อุตสาหกรรมกระดาษ

การทำกระดาษนั้นต้องใช้เยื่อกระดาษที่ทำจากไม้ต่างๆ เช่น ไม้สน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัน เป็นต้น ทำให้เป็นเยื่อเล็กๆ แล้วนำเยื่อกระดาษเหล่านั้นมาเรียงเป็นแผ่น อย่างไรก็ตามแผ่นกระดาษจะไม่เรียบจะต้องมีการฉาบผิวด้วยการจากแป้งทำให้กระดาษเรียบ และยังเข้าไปอยู่ตามรูของใยกระดาษช่วยทำให้กระดาษไม่ซึมหมึก เวลาเขียนด้วยน้ำหมึก หรือพิมพ์สี นอกจากนั้นกาวจากแป้งยังช่วยทำให้กระดาษเหนียวยิ่งขึ้น

4.4อุตสาหกรรมกาว

แป้งมันมีสมบัติพิเศษ คือ เมื่อถูกความร้อนหรือถูกสารเคมีจะมีความเหนียวและมีสมบัติสามารถรักษาสภาพความเหนียวได้เหมือนเดิมไม่มีการคืนตัว แป้งมันที่จะใช้ทำกาวจะต้องเป็นแป้งบริสุทธิ์มีความเป็นกรดต่ำซึ่งก็คือ แป้งประเภทเด็กซทริน กาวเหล่านี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตซองจดหมายสติ๊กเกอร์ Gummed paper และ Gummed tape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

สมบัติสำคัญของแป้ง คือ เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต แต่ยังมีคุณสมบัติอื่นที่ทำให้แป้งมันสำปะหลังเข้ามามีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารนั้น คือ เป็นตัวช่วยทำให้เกิดความข้น (Thickmer) ในอาหาร ช่วยให้อาหารเกิดความคงตัว (Stabilizer) ช่วยให้อาหารเกาะตัวกันดีขึ้น (Binder) และช่วยในการเสริมแต่ง (Filler) นอกจากนั้น แป้งยังเป็นสิ่งที่หาได้ง่ายและราคาค่อนข้างถูก

กลูโคส (Glucose) เด็กซ์โตรส (Dextrose) อาหารเด็ก ผลิตภัณฑ์ขนมปัง ขนมหวานสำเร็จรูป ไส้ขนมพาย อาหารกระป๋อง บะหมี่ เครื่องดื่ม ไอศกรีม แยม ผลไม้กระป๋อง นมเปรี้ยว ไส้กรอก กุนเชียง ซอส และโซดาทำขนม เป็นต้น ซอสต่างๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ อาหารกระป๋อง ใช้แป้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นไม่ให้อาหารหรือซอสตกตะกอน โดยจะใช้แป้งเป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 3 - 4 ของน้ำหนักอาหาร แป้งที่ใช้เป็นแป้งแปรรูปประเภท Cross - linked starch และ Hydroxypropylated starch ลูกกวาดใช้แป้งแปรรูปประเภท Hydroxypropylated starch เพื่อให้ลูกกวาดมีความแข็ง ไอศกรีมลักษณะของไอศกรีม คือ การตีแป้งให้ฟองและไม่ต้องการให้ฟองยุบ ดังนั้น จึงต้องเติมแป้งประเภท Gum ซึ่งมีสมบัติทำให้อาหารคงสภาพที่ต้องการ นอกจากแป้งจะใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และยังใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะใช้เป็นตัวยึดในการผลิตอาหารปลาไหล โดยแป้งที่ใช้เป็นแป้งประเภท Pregelatinized alpha starch

4.6 อุตสาหกรรมกรดมะนาว

ใช้ผลิตกรดมะนาวซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ได้แก่ น้ำอัดลม น้ำผลไม้กระป๋อง เครื่องดื่มชูกำลัง และใช้ในอุตสาหกรรมยา

4.7 อุตสาหกรรมผงชูรส

เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตผงชูรส ซึ่งนิยมบริโภคกันทั่วไป

4.8 ยารักษาโรค

ใช้เป็นตัวเจือจางในยาประเภทแคปซูลและยาเม็ด

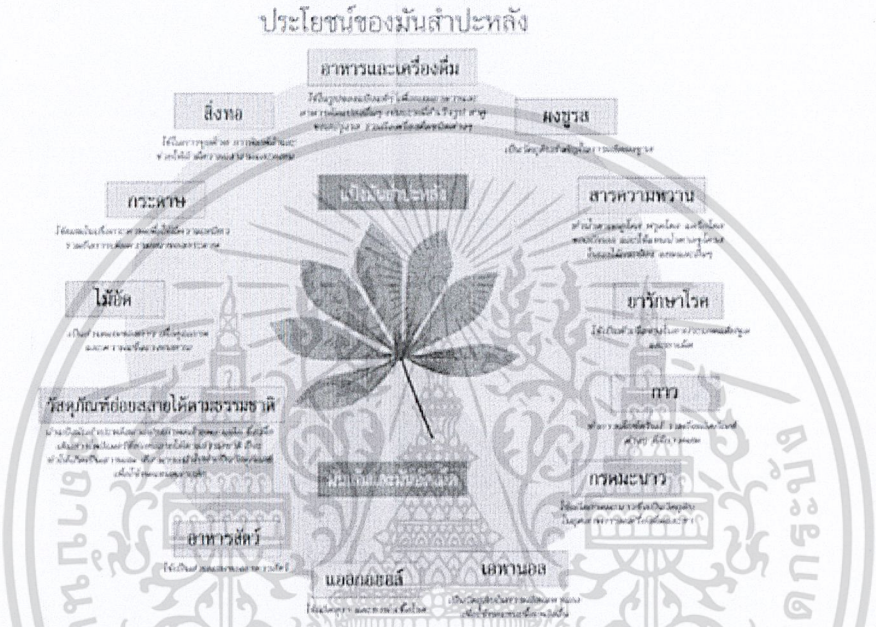
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 อุตสาหกรรมอาหารสัตว์

ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์หลากหลายชนิด อาทิ โค สุกร เป็ด ไก่ เป็นต้น

4.10 เอทานอล (การผลิตเอทานอล)

เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล เพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงอื่น



รูปที่ 2.12 แผนผังแสดงประโยชน์ของมันสำปะหลัง [25]

2.2.3 แป้งมันสำปะหลังแปรรูป [26]

เนื่องจากแป้งมันสำปะหลัง (Native starch) มีคุณสมบัติบางประการที่ยังไม่ตรงกับความต้องการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าบางชนิด เช่น ในการผลิตกระดาษ แป้งมันสำปะหลัง จะเหนียวเกินกว่าที่เครื่องเคลือบจะทำงานได้ หรือ หากนำน้ำแป้งไปเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้น้ำที่ผสมอยู่แยกจากตัวแป้ง ทำให้ไม่เหมาะกับการทำน้ำสลัด ดังนั้น จึงได้มีความพยายามในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในรูปแป้งแปรรูป (Modified starch) โดยการนำแป้งมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของแป้งและทำให้แป้งมีคุณสมบัติเหมาะสมในการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ การแปรรูปแป้งมันในประเทศไทยขณะนี้ใช้อยู่ 3 วิธี คือ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธี Degradation หรือ Conversion คือ การทำให้ความเหนียวของแป้งลดลง ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ คือ

1.1 Acid Conversion คือ การนำแป้งมาเติมกรดเกลือและกรดกำมะถันเพื่อให้ความเหนียวของแป้งลดลง และสามารถคงรูปเจล (Gel) ได้โดยการทำให้เย็น แป้งที่ได้เรียกว่า Acid Modified Starch

2. วิธี Pregelatinization คือ การนำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-50 เทลงบนผิวถังร้อน แป้งจะแห้งและสุกเป็นแผ่นบางๆ จากนั้นนำแผ่นแป้งไปบดผ่านตะแกรงเป็นแป้งอีกครั้ง แป้งที่ได้นี้จะมีคุณสมบัติเป็นกาวทันทีเมื่อถูกน้ำเย็น จึงมีชื่อเรียกว่า Cold Water Soluble starch (CWS) หรือแป้งอัลฟา (Alpha starch) หรือแป้งที่แปรรูปโดยกระบวนการทางกายภาพ (Physically modified หรือ Converted starch) ซึ่งแป้งที่ได้นี้จะสุก 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปใช้ในงานที่ไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำให้เป็นกาวได้

3. วิธี Derivatives คือ การใช้สารเคมีในการเปลี่ยนโมเลกุลหรือสมบัติของแป้ง จากวิธีนี้จะได้แป้งแปรรูป 2 ประเภท คือ

3.1 Starch ester เช่น

Acetylated starch ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร กระดาษและกาว

Phosphoric acid ester ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

3.2 Starchether เช่น

Carboxymethyl ether, Hydroxyethlated starch, Hydropropylated starch และ Cationic starch แป้งกลุ่มนี้ทนความเย็นได้ดีกว่า และมีราคาแพงกว่า ester

Cross-linked starch ใช้ในขั้นตอนสุดท้ายของการแปรรูปอาหารเพื่อให้แป้งคงทนต่อภาวะกรดด่างผิดปกติ แรงกวนและความร้อน

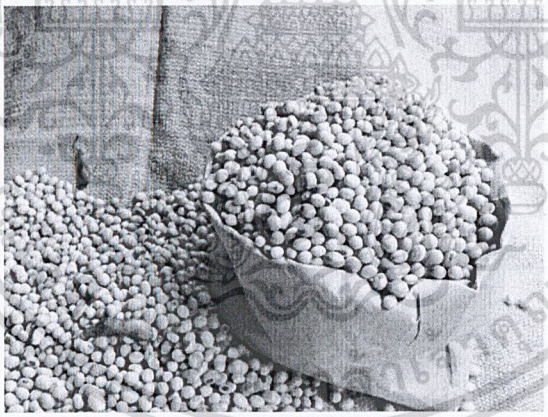
ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิต Pregelatinized starch หรือแป้งที่แปรรูปโดยกระบวนการทางกายภาพ หรือแป้งอัลฟา (Alpha starch) ประมาณ 60,000 ตันต่อปี มีบริษัทผู้ผลิต 2 บริษัท แป้งอัลฟาที่ผลิตได้จะส่งออกไปยังไต้หวันเพื่อทำอาหารปลาไหลเกือบทั้งสิ้น อย่างไรก็ดี แป้งอัลฟามีความเป็นไปได้ทางเทคนิคที่จะเป็นส่วนประกอบในการทำไอศกรีม (ประเทศเกาหลีนิยมใช้) ยากันยุง น้ำซุป และกาวสำหรับกระดาษลูกฟูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การผลิตแป้งแปรรูปจึงเป็นมิติใหม่ของอุตสาหกรรมแป้งไทย เพราะได้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเทคโนโลยีที่สำคัญจากกระบวนการผลิตที่อาศัยเครื่องจักรกล แม้การผลิตแป้งมันจะมีการใช้สารเคมีบ้างแต่ก็ไม่มาก ต่อมาเมื่อมีการผลิตแป้งแปรรูป ซึ่งต้องอาศัยกระบวนการทางเคมี กระบวนการผลิตจึงมีความยุ่งยากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากขึ้น เพราะการผลิตแป้งแปรรูปต่างจากการผลิตแป้งมัน คือ มีมาตรฐานอุตสาหกรรม (Industrial specification) ที่ชัดเจน ผลิตภัณฑ์ต้องมีคุณภาพเที่ยงตรงสม่ำเสมอ

2.3 ถั่วเหลือง [27]

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เพราะเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมภายในประเทศหลายชนิด ในอดีตที่ผ่านมารัฐบาลมีนโยบายเร่งรัดการผลิตถั่วเหลืองให้เพียงพอใช้ในประเทศ โดยดำเนินการเร่งรัดการผลิตควบคู่กับการกำหนดมาตรการควบคุมการนำเข้าเมล็ดถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ความคุ้มครองเกษตรกรผู้ผลิตถั่วเหลืองส่งผลให้ปริมาณผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นมาโดยตลอด



รูปที่ 2.13 ถั่วเหลือง [28]

ถั่วเหลือง *(Soybean, Glycine max (L.) Merrill)* เป็นพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสำหรับปลูกสลับกับการปลูกข้าว ได้มีรายงานการปลูกถั่วเหลืองในประเทศจีนเมื่อเกือบ 5,000 ปีมาแล้ว แต่ก็ยังไม่แน่ชัดว่าส่วนใดของประเทศจีนเป็นถิ่นกำเนิดที่สันนิษฐานและยอมรับกันโดยทั่วไปคือบริเวณหุบเขาแม่น้ำเหลือง (ประมาณเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ) เพราะว่าอารยธรรมของจีนได้ถือกำเนิดที่นั่น และประกอบกับมีการจารึกครั้งแรกเกี่ยวกับถั่วเหลือง เมื่อ 2295 ปีก่อนพุทธกาล ที่หุบเขาแม่น้ำเหลือง จากนั้นถั่วเหลืองได้แพร่กระจายสู่ประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น เมื่อ 200 ปีก่อนคริสตกาล แล้วเข้าสู่ยุโรปในช่วงหลัง พ.ศ. 2143 และไปสู่สหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ในปี พ.ศ. 2347 จากนั้นกว่า 100 ปี ชาวอเมริกันได้ปลูกถั่วเหลืองเพื่อเป็นอาหารสัตว์ใช้เลี้ยงวัวโดยไม่ได้นำเมล็ดมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น จนถึงปี พ.ศ. 2473 สหรัฐอเมริกาได้นำพันธ์ถั่วเหลืองจากจีน เข้าประเทศกว่า 1,000 สายพันธุ์ เพื่อการผสมและคัดเลือกพันธุ์ ทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีเมล็ดโต ผลผลิตสูง เหมาะแก่การเพาะปลูกเพื่อผลิตเมล็ดมากขึ้นถั่วเหลืองของไทยส่วนมากปลูกแถบภาคเหนือ และภาคกลางตอนบน นิยมเรียกกันในภาษาไทยโดยทั่วๆไปหลายชื่อเช่น ถั่วพระเหลือง ถั่วแระ ถั่วแม่ตาย ถั่วเหลือง(ภาคกลาง) มะถั่วเน่า (ภาคเหนือ) เป็นต้น

2.3.1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์

ได้มีผู้พยายามลดขนาดของวงศ์ *Leguminosae* ให้เล็กลงโดยการตั้งวงศ์ *Fabaceae* เมื่อราว 25 ปีมาแล้ว แต่นักพฤกษศาสตร์ยังนิยมจัดถั่วเหลืองอยู่ในวงศ์ Leguminosae แล้วจัดวงศ์ *Fabaceae* เป็นวงศ์ย่อยชื่อวิทยาศาสตร์ของถั่วเหลืองมีหลายชื่อ เช่น *Glycine soja, Soja max, Phaseolus Max, Dolichos soja* แต่ที่ยอมรับกันในปัจจุบันคือ *Glycine max (L.) Merr.*

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพของถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นเมล็ดพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการเป็นแหล่งที่ดีของไขมันและ โปรตีนที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เมล็ดถั่วเหลืองมีหลายขนาดและหลากหลายสีรวมถึงสีดำ สีน้ำตาล สีฟ้า สีเหลือง เปลือกถั่วเหลืองที่แก่จะแข็งแรง ทนต่อน้ำ ถ้าส่วนห่อหุ้มเมล็ดแตก ถั่วเหลืองอาจจะไม่งอก รอยที่คล้ายๆแผลเป็นสามารถเห็นได้ชัด บนส่วนห่อหุ้มเมล็ดเรียกว่า Hilum หรือ แผลเป็นบนเมล็ดพืช และเป็นคล้าย รูเปิดเล็กๆที่สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปได้แต่ที่ น่าสังเกต เมล็ดถั่วเหลืองบรรจุโปรตีนไว้สูง และสามารถทำให้แห้งโดยไม่เสียหายและสามารถทำให้ฟื้นกลับมาโดยการใส่น้ำ

ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุก ลำต้นสูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นสี่เหลี่ยมปกคลุมด้วยขนสีเทาขาว ใบเป็นใบประกอบแบบนิ้วมือ ใบประกอบด้วยใบย่อย 3 ใบ รูปร่างคล้ายรูปไข่ปลายแหลมใบค่อนข้างหนา ผิวมันทั้งด้านบนและด้านล่าง ดอกเป็นช่อสีขาวหรือม่วงแดง ออกดอกเมื่ออายุประมาณ 25-30 วันเก็บเกี่ยวอายุประมาณ 90-100วัน ฝักแบนขาวติดเป็นกระจุกที่ข้อของต้น และกิ่งในฝักมีเมล็ด 3-5 เมล็ดรูปไข่ เมล็ดกลม ผิวสีเหลืองมันตาค่อนข้างลึก สีน้ำตาลอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง [29]

เมล็ดถั่วเหลืองดิบ		
คุณค่าทางโภชนาการต่อ 100 ก. (3.5 ออนซ์)		
พลังงาน 450 kcal 1870 kJ		
คาร์โบไฮเดรต		30.16 g
น้ำตาล		7.33 g
ใยอาหาร		9.3 g
ไขมัน		19.94 g
กรดไขมันอิ่มตัว		2.884 g
ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว		4.404 g
ไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน		11.255 g
โปรตีน		36.49 g
น้ำ		8.54 g
อัตราร้อยละปริมาณที่ต้องการในแต่ละวันสำหรับผู้ใหญ่		
วิตามินเอ	1 ug	0%
วิตามินบี6	0.377 mg	29%
วิตามินบี12	0 ug	0%
วิตามินซี	6.0 mg	10%
วิตามินเค	47 ug	45%
แคลเซียม	277 mg	28%
เหล็ก	15.70 mg	12
แมกนีเซียม	280 mg	76%
ฟอสฟอรัส	704 mg	101%
โพแทสเซียม	1797 mg	38%
โซเดียม	2 mg	0%
สังกะสี	4.89 mg	49%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันและโปรตีนมีอยู่ในถั่วเหลืองทั้งคู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของถั่วเหลืองโดยน้ำหนักโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ น้ำมัน 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรต 35 เปอร์เซ็นต์ ความร้อนเสถียรในการเก็บโปรตีนมีส่วนกับโปรตีนถั่วเหลืองส่วนใหญ่ความร้อนเสถียรนี้ ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารจากถั่วเหลืองต้องการความร้อนสูง เช่น เต้าหู้ นมถั่วเหลือง ในการทำตั้งแต่คาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลืองถูกพบเป็นส่วนใหญ่ในเวย์หรือ หางนม และถูกทำลายลงระหว่างการเดือดเป็นฟอง เต้าหู้ ซอสถั่วเหลือง จะไม่ทำให้เกิดแก๊สในกระเพาะหรือลำไส้

2.3.3 การปลูกถั่วเหลืองในประเทศไทย [30]

ไม่มีหลักฐานว่าเริ่มปลูกถั่วเหลืองครั้งแรกเมื่อใด แต่เชื่อกันว่าชาวจีนที่อพยพมาได้นำถั่วเหลืองเข้ามาด้วยเมื่อกว่า200 ปีที่แล้วได้มีการปรับปรุงพันธุ์ถั่วเหลืองอย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ทำให้มีถั่วเหลืองพันธุ์ดีเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันการผลิตถั่วเหลืองในประเทศยังไม่เพียงพอต่อความต้องการและทำให้ต้องมีการนำเข้าถั่วเหลือง

2.3.4 แหล่งผลิต

แหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบันได้กระจายไปทุกภาคของประเทศไทย จากการพยากรณ์โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2544 ถึง 2545 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1,030,549 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 17.31 , 11.73 และ 1.3 ตามลำดับ

2.3.4.1 ฤดูการผลิต [31]

1.ถั่วเหลืองต้นฤดูฝน

เกษตรกรจะเพาะปลูกถั่วเหลืองในสภาพพื้นที่ไร่ระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม และจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม การปลูกถั่วเหลืองของเกษตรกรในช่วงดังกล่าวจะมีพื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 29 ของพื้นที่ปลูกตลอดปี ผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 28 ของผลผลิตทั้งปีผลผลิตถั่วเหลืองที่ได้จากการปลูกถั่วเหลืองในช่วงต้นฤดูฝนมักมีคุณภาพต่ำ ความชื้นสูง เนื่องจากเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีฝนตกชุกผลผลิตส่วนใหญ่จึงเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันจังหวัดที่ปลูกถั่วเหลืองในช่วงดังกล่าว ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือตอนล่าง เช่น สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ พิษณุโลก กำแพงเพชร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ถั่วเหลืองปลายฤดูฝน

เกษตรกรจะเพาะปลูกถั่วเหลือง ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง สิงหาคมและจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายนซึ่งมีพื้นที่ปลูกประมาณร้อยละ 22.5 ของพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองทั้งปีผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 20 ของผลผลิตทั้งปี โดยปลูกในสภาพพื้นที่ไร่ตามพืชต้นฤดูฝน เช่น ถั่วเหลืองเขียวผิวมันเป็นต้น ถั่วเหลืองที่ผลิตได้ในช่วงนี้คุณภาพดีเพราะจะเก็บเกี่ยวในช่วงที่หมดฝน ผลผลิตที่ได้จะใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ของการปลูกถั่วเหลืองในฤดูแล้งของเกษตรกร หากปีใดผลผลิตถั่วเหลืองปลายฤดูฝนได้รับความเสียหายเนื่องจากภัยธรรมชาติ ผลผลิตมีคุณภาพต่ำมีผลทำให้การผลิตถั่วเหลืองฤดูแล้งของเกษตรกรมีแนวโน้มลดลดและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ปลูกเมล็ดพันธุ์มีราคาแพง และเกษตรกรจำเป็นต้องใช้เมล็ดพันธุ์ต่อไร่ในอัตราสูงจังหวัดที่ปลูกถั่วเหลืองในช่วงดังกล่าวมาก ได้แก่ สระแก้ว ลพบุรี อุทัยธานี นครสวรรค์ เป็นต้น

3.ถั่วเหลืองฤดูแล้ง

เกษตรกรจะเพาะปลูกถั่วเหลืองในนาหลังการเก็บเกี่ยวข้าวในเขตชลประทาน ประมาณเดือนธันวาคม ถึงมกราคม และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคมถึงเมษายน ถั่วเหลืองที่ผลิตได้จะมีคุณภาพดีเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์และบริโภคในรูปของเต้าหู้ เต้าเจี้ยว ซีอิ้ว และน้ำนมถั่วเหลืองพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองฤดูแล้งจะมีประมาณร้อยละ 48.5 ของพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองทั้งปีและมีผลผลิตประมาณร้อยละ 52 ของผลผลิตทั้งปี จังหวัดที่เป็นแหล่งผลิตที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ กำแพงเพชร สุโขทัย ชัยภูมิ พิษณุโลก ขอนแก่น เป็นต้น

2.3.4.2 พันธุ์ถั่วเหลือง

พันธุ์ถั่วเหลืองที่แนะนำส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก จะเป็นพันธุ์ที่ผ่านการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรเรียบร้อยแล้ว ปัจจุบันมีจำนวน 9 พันธุ์ คือ

1. พันธุ์ สจ.1 (SJ.1)

2. พันธุ์ สจ.2 (SJ.2)

3. พันธุ์ สจ.4 (S.J.4)

4. พันธุ์ สจ.5 (SJ.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พันธุ์นครสวรรค์ 1 (นว.1 : NS.1)

6. พันธุ์เชียงใหม่ 60 (ชม.60 : CM.60)

7. พันธุ์ มข.35 (KKU. 35)

8. พันธุ์สุโขทัย 1 (สท.1 : ST.1)

9. พันธุ์สุโขทัย 2 (สท.2 : ST.2)

สำหรับพันธุ์ สจ.4 สจ.5 และเชียงใหม่ 60 เป็นพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด

2.3.5 การใช้ประโยชน์ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วนกล่าวคือ

1. ส่วนต่างๆ ของถั่วเหลือง คือ ใบ ลำต้น เปลือก เมื่อเก็บเกี่ยวและนวดเรียบร้อยแล้ว และไถกลบลงสู่ดินรวมทั้งปมที่ตกค้างในดินจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดีที่สุด ในส่วนของเปลือกถั่วเหลืองนำมากองรวมกันใช้เพาะเห็ดที่เรียกว่า เห็ดถั่วเหลือง นำมาทำอาหารรับประทานได้

2. เมล็ดของถั่วเหลืองนำมาใช้เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเมล็ดถั่วเหลืองจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นอาหารมนุษย์และสัตว์ ซึ่งแบ่งตามวิธีการผลิตเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านการหมัก (Nonfermente Product)

1. น้ำมันถั่วเหลือง เป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีมีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) 80 - 85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดคอเลสเตอรอล น้ำมันถั่วเหลืองใช้สำหรับปรุงอาหารทำปลากระป๋อง เนยเทียม น้ำมันสลัด สีหมึก กลีเซอรีน และสบู่ ส่วนกากถั่วเหลืองที่สกัดน้ำมันออกแล้วนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อย่างดีเพราะมีโปรตีนสูงประมาณ 40 - 45 เปอร์เซ็นต์ ปัจจุบันโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลืองจำนวน 9 โรงงาน มีกำลังการผลิตรวมกันจะใช้เมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 1 ล้านตันต่อปี สำหรับกรรมวิธีการผลิตน้ำมัน ถั่วเหลืองดิบแบบสกัด (Extraction of Soybean Oil Process) และกรรมวิธีในการผลิตน้ำมัน ถั่วเหลืองบริสุทธิ์ (Refining Soybean Oil Process) เมล็ดถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 กิโลกรัม เมื่อสกัดน้ำมันแล้วจะได้น้ำมันประมาณ 14.5 - 16.2 เปอร์เซ็นต์ และได้กากถั่วเหลืองประมาณ 77 - 78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกากถั่วเหลืองจะเป็นผลผลิตหลักของโรงงานสกัดน้ำมันถั่วเหลืองมีโปรตีนสูงประมาณ 40 - 45 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเป็นแหล่งของอาหารโปรตีนที่ดีมากอย่างหนึ่งแต่ในประเทศไทย ยังไม่มีอุตสาหกรรม ที่ใช้กาก ถั่วเหลืองไปแปรรูปเป็นอาหารมนุษย์เพื่อบริโภคดังนั้น กากถั่วเหลืองจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์เท่านั้น ซึ่งปัจจุบันก็ยังไม่พอใช้ภายในประเทศต้องนำเข้าจากต่างประเทศปีละหลายแสนตัน

2. น้ำนมถั่วเหลือง หรือที่เรียกกันทั่วไปว่านมถั่วเหลือง สามารถใช้เป็นอาหารของคนได้ทุกเพศทุกวันเป็นอาหารเสริมดื่มแทนนมวัวได้ดีพอสมควร แม้ว่าคุณค่าทางโภชนาการของนมถั่วเหลืองจะด้อยกว่านมวัว แต่ก็สามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพให้ใกล้เคียงกับนมวัวได้เหมาะสำหรับผู้ที่แพ้นมวัว

3. เต้าหู้ เป็นอาหารพื้นเมืองของคนไทย นิยมรับประทานโดยทั่วไปสามารถทำอาหารได้หลายแบบ ราคาถูกเต้าหู้ที่ขายในท้องตลาดมีหลายลักษณะ ได้แก่ เต้าหู้แข็ง เต้าหู้อ่อน เต้าหู้เหลือง เต้าหู้หลอด เต้าหู้แห้ง เป็นต้น

4. เต้าฮวย มีลักษณะล้ายกับเต้าหู้อ่อน แต่เนื้อนิ่มกว่า จัดเป็นอาหารหวานที่รับประทานร่วมกับน้ำขิง ซึ่งคนทั่วไปในประเทศไทยนิยมรับประทานเป็นอาหารว่าง สำหรับกรรมวิธีในการทำเต้าฮวย

5. ฟองเต้าหู้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในความนิยมของคนไทยเช่นเดียวกัน แต่มีขอบเขตการใช้จำกัด ซึ่งนิยมใช้ประกอบอาหารประเภทแกงจืดเป็นหลัก การทำฟองเต้าหู้จะทำร่วมกับการทำเต้าหู้เนื่องจากเตรียมการในขั้นตอนการทำน้ำเต้าหู้เป็นขั้นตอนการทำเช่นเดียวกัน สำหรับขั้นตอนในการทำฟองเต้าหู้

6. ถั่วงอกหัวโต เป็นอาหารประเภทผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อผู้บริโภค เพราะนอกจากคุณภาพของโปรตีนและไขมันจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก แต่จะได้วิตามินซี วิตามินเอ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น แต่การรับประทานถั่วเหลืองหัวโตจะต้องทำให้สุกก่อนเพื่อให้โปรตีนมีประสิทธิภาพสูง

7. แป้งถั่วเหลือง ที่มีไขมันเต็ม เป็นแป้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงใช้แก้ปัญหาในด้านทุพโภชนาโดยเฉพาะโรคขาดโปรตีนและแคลอรี่ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเนื่องได้หลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหารเสริมเด็กอ่อน อุตสาหกรรมทำขนมอบ และอุตสาหกรรมทำน้ำนมถั่วเหลือง เป็นต้น

8. ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (Full fat soy) เป็นอาหารสัตว์ที่อุดมด้วยไขมันในปริมาณส เหมาะที่จะ ใช้เลี้ยงลูกสุกรแรกเกิดถึงอายุประมาณ 1 เดือน หรือน้ำหนักประมาณ 15 กก. ซึ่งจะทำให้ลูกสุกรโตเร็ว โดยมีกรรมวิธีในการทำ คือ ใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่คัดคุณภาพทำความสะอาดแล้วนำไปทำให้สุกและตีให้ป่นโดยผ่านขบวนการเอ็กซ์ทรูด (Extruder) ซึ่งเป็นขบวนการเบ็ดเสร็จในตัวคือทำให้สุก และตีให้ป่นเรียบร้อย โดยเครื่อง Extruder

2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมัก (Fermented Product)

ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ มักจะใช้เป็นสารชูรสอาหารทำให้อาหารมีรสชาดดี กลิ่นน่ารับประทาน ได้แก่

1. ซีอิ้ว ใช้เป็นเครื่องจิ้มและเครื่องปรุงอาหารแทนน้ำปลาหรือเกลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารจีนและอาหารมังสวิรัต

2. เต้าเจี้ยว นำมาใช้ประกอบอาการประเภท ผัด ซุป ทอด และใช้เป็นส่วนประกอบของน้ำจิ้มซึ่งนิยมบริโภคกันทั่วไป การทำเต้าเจี้ยวทำได้ 2 ลักษณะ ซึ่งมีขั้นตอนกรรมวิธี ในการผลิตเช่นเดียวกับซีอิ้ว ลักษณะแรกทำโดยการดูดน้ำซีอิ๊วออกเหลือแต่เนื้อถั่วนำไปปรุงเติมแต่งรสใหม่จะได้เต้าเจี้ยวที่คุณภาพไม่ดีราคาถูกลักษณะที่สองไม่ต้องผ่านการดูดน้ำซีอิ้วออกใช้ทั้งหมดจะได้เต้าเจี้ยว
ที่มีคุณภาพดีราคาแพง

3. เต้าหู้ยี้ นอกจากจะนำไปใช้เป็นสารชูรสในการบริโภคเป็นเครื่องจิ้ม เช่น อาหารประเภทสุกี้แล้วยังนำมา บริโภคกับข้าวต้มโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง

การแปรรูปถั่วเหลืองให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่หลากหลายขึ้น และเป็นที่นิยมของผู้บริโภค ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่จำหน่ายในท้องตลาดแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ดังนี้ น้ำมันถั่วเหลือง ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญในหลายประเทศอาหารที่ทำจากถั่วเหลือง ประเทศในแถบเอเชีย เช่น ไทย จีน ญี่ปุ่น และประเทศอื่นในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง ที่ไม่ผ่านการหมักและผ่านการหมักก่อน ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการหมัก เช่น น้ำนมถั่วเหลือง เต้าหู้ถั่วงอกที่เพาะจากถั่วเหลือง เป็นต้น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักถั่วเหลือง เช่น ถั่วเน่า เทมเป้ ซอสถั่วเหลือง เต้าเจี้ยว เป็นต้นโปรตีนจากถั่วเหลือง หลังจากการสกัดน้ำมันถั่วเหลืองด้วยตัวทำละลายแล้ว ส่วนที่เหลือเป็นเนื้อถั่วที่อุดมด้วยโปรตีน สามารถแปรรูปเป็นอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อเทียม (โปรตีนเกษตร) แป้ง เบเกอรี่ ทำโปรตีนเข้มข้น หรือผ่านกรรมวิธีเพื่อแยกเอาโปรตีนบริสุทธิ์ ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้จากการแปรรูปถั่วเหลือง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ขึ้นเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในหลายๆ ประเทศ เพื่อเป็นการขยายตลาดและเพิ่มความนิยมในการบริโภคถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาขึ้นใหม่ เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ตถั่วเหลือง เนยถั่วเหลือง เป็นต้น อาหารเสริมจากถั่วเหลือง เนื่องจากถั่วเหลืองมีสารเคมี ที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น เลซิติน โอลิโกแซคคาไรด์ วิตามินอี สเตอรอลไฟเตทเป็นต้น สามารถใช้ถั่วเหลืองเพื่อช่วยเพิ่มเยื่อใยและคุณค่าทางอาหาร

1. ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองโปรตีนสูง

1.1 น้ำนมถั่วเหลือง อดีตกาล คือ น้ำเต้าหู้รถเข็นของคนจีน ซึ่งนักวิจัยได้ทดลองและพัฒนาวิธีการต่างๆ เช่น การทำนม ถั่วเหลืองจากแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม ปรากฏว่ากลิ่นรสเป็นที่ยอมรับ ได้ผลผลิตสูงกว่า นมถั่วเหลืองที่ทำจากเมล็ด ส่วนการผลิตด้วยวิธีการต่างๆให้มีคุณภาพดีนั้นการตีป่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจะช่วยกำจัดกลิ่นถั่ว การแช่ถั่วในสารละลายด่างจะทำให้น้ำนมมีกลิ่นรสดี สำหรับสารเจือปนในอาหาร และคุณลักษณะของถั่วเหลืองที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนและคุณลักษณะของน้ำนมถั่วเหลืองเข้มข้นนั้น การใช้ไตรโซเดียมฟอสเฟตและโซเดียม โซเตรทไม่ทำให้เกิดการตกตะกอน ปริมาณโปรตีนและปริมาณของน้ำนมไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนั้นมีโครงการทำนมถั่วเหลืองผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และโครงการประเมินคุณภาพโปรตีนของนมถั่วเหลืองผงพ่นแห้งโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทางชีวภาพ การทำน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อสุขภาพโดยการเติมแคลเซียมแลคเตทและเกลือโซเดียมซิเตรท ปัจจุบันได้ปรับปรุงให้น้ำนมถั่วเหลืองเมข้นบรรจุกระป๋อง มีโปรตีนและไขมัน เท่ากับน้ำนมวัว โดยมีปริมาณโปรตีนและ ไขมันร้อยละ 4.3 และ 6.0 ตามลำดับ น้ำนมถั่วเหลืองได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นอุตสาหกรรมดังเช่น ไวตามิ้ลค์ แลคตาซอย ซึ่งนิยมดื่มกันอย่างแพร่หลายในขณะนี้

1.2 อาหารเด็กอ่อนเกษตร ได้พัฒนาสูตรและกรรมวิธีผลิตขึ้นเพื่อทดแทนการใช้นมข้นหวานหรืออาหารที่ขาดคุณประโยชน์เลี้ยงทารก ผลิตภัณฑ์นี้ประกอบด้วยแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม แป้งข้าวเจ้าและน้ำตาลทรายเป็นหลัก เสริมด้วยวิตามิน เกลือแร่ ผลิตโดยขบวนการอัดพอง (extrusion process) มีโปรตีนและไขมัน11.0% และ 3.0% ตามลำดับคุณค่าเทียบเท่านมผงแต่ราคาถูกกว่า ใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเด็ก 3 เดือนขึ้นไป ปัจจุบันได้มีบางบริษัท ผลิตอาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อนบ้างแล้ว

1.3 โปรตีนเกษตร เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งวัตถุดิบสำหรับผลิตอาหารสุดยอดในฤดูกาลกินเจ เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดแทนเนื้อสัตว์ มีวิวัฒนาการในการวิจัยและทดลองผลิตภัณฑ์นี้มากมาย ตั้งแต่การใช้กากถั่วเขียว กากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ จนกระทั่งใช้แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมันเป็นวัตถุดิบ ซึ่งสั่งจากต่างประเทศ จากนั้นจึงมีโครงการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อเทียมซึ่งผลิตจาก แป้งถั่วเหลืองพร่องไขมันจากแหล่งต่างๆ เพื่อทดแทนการนำเข้า ผลการศึกษาพบว่า แป้งถั่วเหลือง พร่องไขมันซึ่งผลิตเองในประเทศมีคุณภาพทางโภชนาการใกล้เคียงกับต่างประเทศ แต่เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมพบว่ายังมีปัญหาทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อยู่บ้าง มีการทดลองทำโปรตีนเกษตรด้วยแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มด้วยเครื่องวิลเลจเทคเจอร์ไรเซอร์ โดยผลิตโปรตีนเกษตรชนิดแผ่นและทดสอบการยอมรับ และหาความชื้นของแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มที่มีผลต่อการทำเกษตรโปรตีนรวมทั้งประเมินคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนเกษตรที่ทำจากแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็ม

ปัจจุบันโปรตีนเกษตรมี 2 สูตร สูตรแรกทำจากแป้งถั่วเหลืองพร่องไขมันผลิตโดยใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) มีโปรตีน 49.7 % ไขมัน 0.4 % ราคาถูกกว่าเนื้อสัตว์ประมาณ 3 เท่า อีกสูตรหนึ่งเป็นชนิดแผ่นทำจากแป้งถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มผลิตโดยเครื่องวิลเลจเทคเจอร์ไรเซอร์ มีลักษณะเป็นแผ่นกลมพอง สีเหลืองนวล มีโปรตีน 47.4 % ไขมัน 17.9 % โปรตีนเกษตรทั้ง 2 สูตร เมื่อประกอบอาหารแล้วจะเป็นอาหารที่มีรสชาติอร่อยเหมือนปรุงด้วยเนื้อสัตว์ นอกจากนี้ยังแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ เช่น กรอบเค็ม น้ำพริกเผา น้ำพริกนรก กะยาสาร์ท เมี่ยงคำ และผัดพริกขิงปรุงรสโปรตีนเกษตร ฯลฯ ปัจจุบันนี้มีบริษัทเอกชน 2 -3 แห่งที่ได้ศึกษาการผลิตโปรตีนเกษตรของสถาบันอาหารแล้วนำไปผลิตเนื้อเทียมออกจำหน่าย โดยใช้แป้ง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลืองพร่องไขมันเป็นวัตถุดิบและใช้ กระบวนการอัดรีด (Extrusion process) ในการผลิตเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมรูปแบบอื่นๆ ที่ผลิตจากต่างประเทศเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทยอีกด้วย

1.4 ขนมขบเคี้ยวโปรตีนสูง สถาบันอาหารได้ผลิตขนมกินเล่นที่มีคุณค่าทางอาหารเพื่อเป็นตัวอย่างแก่ผู้ผลิต เนื่องจากขนมประเภทนี้ในท้องตลาดแทบไม่มีสารอาหารที่มีคุณประโยชน์ ดังนั้นทุกสูตรของขนมขบเคี้ยว กรอบกรอบเกษตรจะมีแป้งถั่วเหลืองไขมันเต็มเป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับผลิตภัณฑ์นอกจาก นี้จะมีแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และวัตถุดิบอื่นๆ ในแต่ละสูตร เช่น ปลาป่น แล้วเสริมด้วยวิตามินเกลือแร่ ผลิตโดยเครื่องอัดพอง สูตรปัจจุบันมีโปรตีน 11.2% ไขมัน 20.4%

1.5 บะหมี่เกษตรหรือบะหมี่โปรตีน ได้ศึกษาการทำบะหมี่สุกแห้งเสริมโปรตีนด้วย แป้งถั่วเหลือง ถั่วลิสง และงา พบว่ามีคุณค่าของโปรตีนดีกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียวสำหรับโครงการการใช้แป้งเมล็ดฝ้ายโปรตีนสูงกับแป้งถั่งเหลืองไขมันเต็มเป็นส่วนผสมในการทำบะหมี่สำเร็จรูปนั้น การใช้แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม 10% จะเป็นที่ยอมรับมากกว่า

1.6 บะหมี่เกษตรปัจจุบันทำจากแป้งผสม มีโปรตีน 5.61% และไขมัน 2.2% ขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับโรงงานบะหมี่ทั่วไปหลายบริษัทผลิตบะหมี่สำเร็จรูปออกจำหน่ายมากมายหลาย สูตรหลายยี่ห้อมีการแข่งขันกันสูงมากแต่ยังไม่มีการผลิตบะหมี่โปรตีนในระดับอุตสาหกรรม

1.7 ขนมผิงเกษตรไทย หรือคุ้กกี้ในภาษาต่างประเทศ มีการปรับปรุงคุณภาพขนมผิงเกษตรโดยทดลองใช้แป้งต่างๆผสมการใช้แป้งมันสำปะหลังแทนแป้งสาลี 1/2 ส่วนได้รับการยอมรับมากที่สุดส่วนการใช้แป้ง ถั่วเหลืองชนิดไขมันเต็มจะให้โปรตีนมากกว่าและการใช้ รสโกโก้และกลิ่นวนิลาผสมลงไปในสูตรจะได้รับการยอมรับมากที่สุด

ปัจจุบันขนมผิงเกษตรมี 4 สูตร คือกลิ่นวนิลา กลิ่นโกโก้ ผสมแป้งถั่วเหลือง 4% มีโปรตีนประมาณ 8 กรัม ไขมัน 22 กรัม พลังงาน 501 แคลอรีต่อน้ำหนัก 100 กรัม อีก 2 สูตร ใช้แป้งถั่วเหลือง 5.5 % และ 10.5% มีโปรตีน 8-9 กรัม ไขมัน 22 กรัม พลังงาน 496-500 แคลอรีต่อ 100 กรัม

2. ผลิตภัณฑ์อื่นๆ

2.1 เต้าหู้ ในการทดลองผลิตเต้าหู้เสริมคุณค่าโปรตีนจากถั่วลิสงบีบน้ำมัน ถั่วเหลือง งาบีบน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏว่าเต้าหู้สดจากถั่วลิสงบีบน้ำมันผสมและไม่ผสมถั่วเหลืองผ่าซีกร้อยละ 50 และที่ผสมถั่วเหลืองผ่าซีก ร้อยละ 40% กับงาบีบน้ำมันร้อยละ 20 ผู้บริโภคยอมรับ

2.2 เต้าหู้หลอด จากเต้าหู้อ่อนที่ตัดขายบนถาดไม้ก็เข้าไปอยู่ในหลอกพลาสติก ง่ายต่อการขนส่ง จำหน่ายและเก็บรักษาโดยสถาบันอาหาร ได้ทดลองหาปริมาณของตัวตกตะกอนต่างๆที่เหมาะสมเพื่อให้เต้าหู้หลอดมีคุณภาพดีที่สุดและราคาถูกการใช้ (Glucono Delta Lectone) GDL : $CaSO_4$ $2H_2O$ (7:3) 1% ให้ลักษณะเต้าหู้ที่ดีผู้ชิมยอมรับมากกว่าเต้าหู้หลอดจากท้องตลาด

2.3 เต้าหู้หลอดผง เต้าฮวยผง ทำจากนมถั่วเหลืองผง โดยใช้เครื่องอบแห้งพ่นฝอย ผู้บริโภคยอมรับเต้าหู้หลอดผงที่ใช้ $CaSO_4.2H_2O$ 2-3% โดยน้ำหนักของำถั่วเหลืองแห้งทั้งหมด และเต้าหู้หลอดที่ใช้ GDL 1 % เป็นสารตกตะกอน ส่วนเต้าฮวยผงใช้ $CaSO_4$ จะเป็นที่ยอมรับสูงสุด โดยมีโปรตีน 3.85 % และไขมัน 1.20 % ของน้ำหนักเต้าฮวยสด

3. ผลิตผลพลอยได้

3.1 กากถั่วเหลือง ได้เพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งโดยพัฒนาให้เป็น ผลิตภัณฑ์เพื่อบริโภค

1. ซอสปรุงรส ผลิตโดยการย่อยสลายโปรตีนกากถั่วเหลืองด้วยกรดเกลือ ทำให้เป็นกลางด้วยด่าง กรอง แต่งกลิ่นรส บ่ม พาสเจอร์ไรซ์ กรอง บรรจุขวด ปัจจุบันซอสปรุงรสที่มีเครื่องหมายการค้าซึ่งเป็นที่รู้จักกันมีหลายราย ได้แก่ แม้กกี้ ภูเขาทอง ฉลากทอง สามแม่ครัว และง่วนเชียง

2. เทมเป้ ได้พัฒนาเป็นอาหารเสริมสุขภาพ ใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการผลิต โดยการปรับสภาพกากถั่วเหลืองให้เหมาะสมแล้วผ่านกระบวน การหมักด้วยเชื้อรา Rhizopus oligosporus ผลิตภัณฑ์ที่ได้ใช้ประกอบอาหารหลายชนิด เทมเป้ประกอบด้วยไขมัน 16.9 กรัม โปรตีน 42.9 กรัม เส้นใย 7.5 กรัม แคลเซียม 530 มิลลิกรัม ฯลฯ

3.2 เปลือกถั่วเหลือง เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นแหล่งเส้นใยอาหารธรรมชาติ มีปริมาณเส้นใย 61.6 % การใช้เปลือกโดยตรงมีปัญหาต่อสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของอาหาร จึงต้องเตรียมเป็นเซลลูโลสผง ก่อนนำไปผลิตอาหาร ได้ใช้เปลือกถั่วเหลืองและกากดอกกระเจี๊ยบผลิตเซลลูโลสผง โดยสกัดด้วยสารละลายด่าง (NaOH) ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน ได้ปริมาณเซลลูโลสบริสุทธิ์สูงมากกว่า 96 % ในการทำชิฟฟอนเค้กและคุ้กกี้ ได้ใช้เซลลูโลสผงแทนแป้งเค้กและแป้งสาลี ชิฟฟอนเค้กที่เติมเซลลูโลสผงจากเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลือง 6 % มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยมีปริมาณ ใยอาหารเพิ่มจากสูตรปกติซึ่งมีค่า 0.51 เป็น 1.53 และ 2.44 กรัม/100กรัม ส่วนคุ้กกี้ที่เติมเซลลูโลส 10% มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีค่าปริมาณใยอาหาร 2.38-2.54 กรัม/100 กรัม

2.3.7 การแปรรูปถั่วเหลือง [32]

เราสามารถแปรรูปถั่วเหลืองไปเป็นส่วนประกอบของอาหารหรืออาหารได้มากมาย

1. แป้งถั่วเหลือง

โดยการนำถั่วเหลืองไปอบและบดเป็นผงซึ่งจะมีโปรตีนเป็นส่วนผสมร้อยละ 50 แป้งถั่วเหลืองมี 3 ชนิด ได้แก่

1.1 แป้งถั่วเหลืองชนิดครบถ้วน

1.2 แป้งถั่วเหลืองไขมันต่ำ โดยการนำถั่วเหลืองไปสกัดไขมันออกก่อน

1.3 แป้งถั่วเหลืองผสม Lecithin

ข้อดีของโปรตีนชนิดนี้คือไม่มีสาร Gluten ทำให้เกิดการแพ้น้อย

2. แป้งถั่วเหลืองชนิดโปรตีนครบถ้วน

ทำโดยการนำกากถั่วที่ได้จากการสกัดน้ำมันแล้วมาแยกเอาโปรตีนออก จะได้แป้งที่มีส่วนผสมของโปรตีน 90 % และมีกรด Amino acid ที่จำเป็นสำหรับร่างกาย เป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย Lecithin เป็นสารที่สกัดจากน้ำมันถั่วเหลือง เป็นสารที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ใช้เป็นตัวทำละลายไขมัน

3. โปรตีนจากถั่วเหลือง

โปรตีนนี้เตรียมจากแป้งถั่วเหลืองที่สกัดเอาน้ำมันออกแล้ว โปรตีนนี้จะประกอบไปด้วยโปรตีนร้อยละ 50 ใยอาหาร คาร์โบไฮเดรต์ โปรตีนนี้ใช้แทนเนื้อสัตว์ สำหรับขนาดก็แล้วการเตรียมว่าต้องการให้มีขนาดเท่าใด การรับประทานก็เพียงแต่ใส่น้ำและทำให้ร้อนก็สามารถรับประทานได้

4. น้ำมันถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นน้ำมันพืชที่นิยมใช้กันทั่วโลก เป็นน้ำมันที่ไขมันอิ่มตัวต่ำ (Saturated) และมีไขมันไม่

อิ่มตัวสูง (Polyunsaturated) และยังมีไขมัน Omega3 เราสามารถนำน้ำมันถั่วเหลืองไปปรุงอาหาร ทำน้ำสลัด แล้วยังสามารถนำไปทำเป็น Magarine นอกจากนั้นยังใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อทำให้น้ำมันถั่วเหลืองหรือน้ำมันพืชชนิดอื่นมีความข้นหรือมีความทนความร้อนเพิ่มเรียกการทำ Hydrogenation ทำให้ได้กรด Tranaminoacid แต่องค์การอาหารและยาพบว่าไขมัน Transfatty acid มีอันตรายต่อหัวใจและหลอดเลือด ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองเป็นอาหารที่นิยมกันมากในแถมเอเชียและได้มีการดัดแปลงกันมาแต่ในอดีต ที่เป็นที่นิยมกันได้แก่

5. ถั่วต้มญี่ปุ่น

หากเราเดิมตามห้างจะพบถั่วเหมือถัวพูใส่ถุงแช่เย็นเป็นถุงๆ ความจริงก็คือถั่วเหลืองที่ยังไม่แก่ นำไปต้มด้วยน้ำเกลือให้สุกและเก็บเป็นถุงๆ ถั่วนี้จะอุดมไปด้วยโปรตีน ใยอาหาร ไม่มี Cholesterol เหมาะสำหรับเป็นอาหารว่างหรือใช้ทำอาหาร

6. Miso

ดูแค่ชื่อก็รู้แล้วว่าเป็นน้ำปรุงรสจากประเทศญี่ปุ่นเตรียมจากถั่วเหลืองธัญพืชและเกลือมักไว้ 1-3 ปี การเก็บควรจะเก็บในตู้เย็นใช้สำหรับปรุงรส หรือมักอาหาร

7. น้ำซอสถั่วเหลือง

ทางบ้านเราเรียกซี่อิ้แต่ทางญี่ปุ่นมีชื่อเรียกหลายชื่อ น้ำถั่วเหลืองไปหมัก โซยุ Shoyu เกิดน้ำถั่วเหลืองไปหมักกับแป้งสาลี Teriyaki เกิดจากหมักถั่วเหลือง น้ำตาล น้ำส้ม พริก เป็นน้ำซอสที่ข้นที่สุด Tamari เป็นซอสที่เหลือจากการเตรียม Miso

8. **เต้าหู้**

เตรียมจากน้ำเต้าหู้ทำให้ข้นขึ้นโดยใช้สารเคมีช่วยเต้าหู้จะมีโปรตีนสูง วิตามินบีแต่มีเกลือต่ำเหมาะสำหรับเป็นโปรตีนแทนโปรตีนจากสัตว์ เต้าหู้มีสองชนิด คือเต้าหู้แข็งซึ่งมีโปรตีน แคลเซียม ไขมันสูงกว่าชนิดอื่น เต้าหู้อีกชนิดได้แก่เต้าหู้อ่อนหรือเต้าหู้หลอด

9. น้ำเต้าหู้

เป็นเครื่องดื่มที่บำรุงสุขภาพและเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้น อุดมไปด้วยโปรตีน วิตามิน จะดื่มร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเย็นก็ได้ นมถั่วเหลืองจะไม่มี Lactose และ Casein ทำให้คนที่แพ้นมวัวสามารถดื่มได้โดยที่ท้องไม่เสีย บางบริษัทอาจจะเติมแคลเซียม วิตามินดีหรือวิตามินบี บางบริษัทอาจจะปรุงรสได้หลายชนิด การเก็บรักษานมที่ใส่ถุงหากแช่ตู้เย็นสามารถเก็บได้ถึง 5 วัน แต่หากเป็นนมกล่องที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องได้หลายเดือน เมื่อแกะกล่องต้องเก็บไว้ในตู้เย็น

10. เต้าเจี้ยว

เป็นการหมักของถั่วเหลือและเกลือ โปรตีนในเต้าเจี้ยวจะย่อยง่ายกว่าถั่วเหลือง ใช้ปรุงอาหารรับประทานกับข้าวต้ม หรือใส่ในน้ำซุป

11. ฟองเต้าหู้

เตรียมจากครีมที่ลอยบนน้ำเต้าหู้ที่เข้มข้น อุดมไปด้วยโปรตีนและวิตามิน นำไปรับประทานสดๆ หรือใช้ปรุงอาหารนอกจากนั้นยังนำผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไปแปรรูปอาหารได้อีกมากมาย

12. เนื้อสัตว์เทียม

โดยนำเต้าหู้มาผสมกับส่วนผสมอื่นๆเพื่อเลียนแบบเนื้อสัตว์ทั้งรูป รส กลิ่น ให้ใกล้เคียงเนื้อสัตว์ใช้ประกอบอาหารเหมือกับเนื้อสัตว์ที่เลียนแบบอาหารนี้ก็มีคุณค่าเหมืออาหารที่เตรียมจากถั่วเหลือง

13. เนยแข็งจากถั่วเหลือง

เตรียมจากน้ำเต้าหู้ สามารถใช้ปรุงอาหารแทนเนยแข็งได้

14. เนยถั่วเหลือง

เตรียมจากถั่วเหลืองไปอบ บด คลุกกับน้ำมันถั่วเหลืองและสารประกอบอื่น จะมีไขมันน้อยกว่าเนยถั่วลิสง มีคุณค่าอาหารเหมือนถั่วเหลืองนอกจากนั้นยังสามารถนำถั่วเหลืองมาแปรรูปเป็นนมสำหรับเด็ก Yogurt ไอศครีม ซึ่งคงคุณค่าอาหารการแปรรูปเป็นอาหารและเครื่องดื่มเราสามารถแปรรูปถั่วเหลืองให้เป็นเครื่องดื่มหลากหลายชนิดโดยที่ยังคงคุณค่าทางอาหาร

15. เต้าหูอ่อน

นำส่วนผสมมาปั่นให้เข้ากัน ก็จะได้น้ำผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหาร นอกจากนั้นยังยังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัดแปลงเป็นขนมขบเคี้ยว คุกกี้ และสลัด

2.4 เส้นใย (Fibers) [33]

ตามนิยามแล้ว เส้นใยหมายถึงวัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

2.4.1ประเภทของเส้นใย

เราสามารถแยกประเภทของเส้นใยได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง ในที่นี้เราแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ ในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติก็ยังแบ่งย่อยได้อีกเป็นเส้นใยที่มาจากพืช จากสัตว์ และจากแร่ ส่วนเส้นใยประดิษฐ์สามารถแยกเป็นเส้นใยที่ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยที่ประดิษฐ์จากวัสดุอื่นๆ

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)

เส้นใยพืช เช่น ฝ้าย ลินิน ปอ รามี ป่าน นุ่น

เส้นใยสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (Wool) ไหม (Silk) ผม (Hair)

แร่ เช่น แร่ใยหิน (Asbestos)

2. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fibers)

ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน อะซิเทต ไตรอะซีเทต

เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โอเลฟินส์ โพลีเอสเทอร์ โพลีอรามิด ไนลอน

แร่และเหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก กราไฟต์

2.4.2 สมบัติของเส้นใย

สมบัติของเส้นใยมีผลโดยตรงต่อสมบัติของผ้าที่ทำขึ้นจากเส้นใยนั้นๆ ผ้าที่ทำจากเส้นใยที่แข็งแรงก็จะมีความแข็งแรงทนทานด้วย หรือเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีจะส่งผลให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความชื้นได้ดีเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในส่วนที่มีการสัมผัสกับผิวและดูดซับน้ำ เช่น ผ้าเช็ดตัว ผ้าอ้อม เป็นต้น

ดังนั้นการที่เราเข้าใจสมบัติของเส้นใย จะช่วยทำให้สามารถทำนายสมบัติของผ้าที่มีเส้นใยนั้นๆ เป็นองค์ประกอบ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ในเบื้องต้นได้ถูกต้องตามความต้องการของการนำไปใช้งาน โดยการคาดเดาจากองค์ประกอบที่แจ้งไว้ในป้ายสินค้า

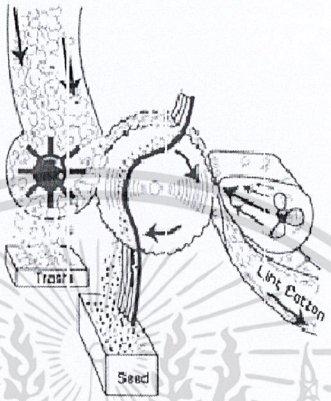
ความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งส่วนผสมและความแตกต่างในปัจจัยทั้งสามนี้ ทำให้เส้นใยมีสมบัติที่หลากหลายและแตกต่างกัน ซึ่งสมบัติของเส้นใยก็จะมีผลต่อสมบัติของผ้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเส้นใยนั้น ทั้งในส่วนที่เป็นที่ต้องการและไม่ต้องการต่อการนำไปใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ในเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้น้อยจะส่งผลให้ผ้าที่ทำจากเส้นใยชนิดนี้มีสมบัติดังนี้

- เกิดไฟฟ้าสถิตย์(Static build-up) บนเนื้อผ้าได้ง่าย ทำให้ผ้าลีบติดตัว
- ผ้าแห้งเร็ว เนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ดูดซับน้อยและไม่มีพันธะ (Bond) ระหว่างเส้นใยและ โมเลกุลของน้ำ
- ย้อมติดสียาก เนื่องจากการย้อมสีส่วนใหญ่อาศัยน้ำเป็นตัวกลางพาโมเลกุลของสีเข้าไปในเนื้อผ้า ผ้าที่ไม่ดูดซับน้ำจึงติดสีย้อมได้ยากกว่า
- สวมใส่สบายน้อยกว่า เนื่องจากการเหงื่อที่อยู่บนผิวถูกดูดซับน้อยทำให้รู้สึกเปียกชื้นได้
- คงรูปได้ขณะเปียก (หรือขณะซัก) และผ้ายับน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับมีน้อย และไม่เกิดพันธะระหว่างเส้นใย และโมเลกุลของน้ำ ที่จะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เส้นใยธรรมชาติ ฝ้าย (cotton)

ดอกฝ้ายที่แก่เต็มที่จะถูกเก็บเกี่ยวแล้วนำมาแยกสิ่งปลอมปนที่ไม่ต้องการ (Trash) ออก แล้วทำการแยกเมล็ดออกจากเส้นใยฝ้ายดังแสดงในรูปข้างล่าง จากนั้นทำการสางใยและหวีเส้นใย (Combing) เพื่อแยกเส้นใยที่สั้นเกินไปออก



รูปที่ 2.14 การแยกเส้นใยออกจากดอกฝ้าย **[34]**

2.5.1 เส้นใยฝ้าย [33]

ฝ้าย เป็นไม้พุ่มใสสกุล Goosypium วงศ์ Malvaceae เรานำปุยหุ้มเมล็ดมาปั่นเป็นเส้นใยทอผ้าได้ ส่วนเมล็ดฝ้ายนำไปสกัดทำน้ำมันได้ ต้นฝ้ายเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งขึ้นมากในภูมิภาคที่อากาศร้อน คำว่า ฝ้าย หรือ Cotton มาจากภาษาอาหรับว่า Qutun หลักฐานทางโบราณคดีที่เก่าแก่ที่สุดเกี่ยวกับฝ้ายคือผ้าฝ้ายอายุประมาณ 5000 ปีก่อนคริสตกาล พบที่ประเทศเม็กซิโก ส่วนในทวีปเอเชียนั้น พบหลักฐานอายุประมาณ 3000 ปีก่อนคริสตกาล ที่บริเวณลุ่มแม่น้ำสินธุ ซึ่งปัจจุบันอยู่ในเขตประเทศปากีสถาน ในประเทศไทยพบหลักฐานทางโบราณคดีเป็นแวดินเผาที่ใช้ปั่นฝ้ายสมัยก่อนประวัติศาสตร์อายุประมาณ 300 ปีที่บ้านเชียงอำเภอหนองหานจังหวัดอุดรธานี

พันธุ์ฝ้ายพื้นเมืองที่ปลูกกันโดยทั่วไปในประเทศไทยแยกตามสีของปุยฝ้ายออกเป็น 2 ชนิด คือ พันธุ์สีตุ่น ปุยฝ้ายมีสีตุ่นคือสีน้ำตาลอ่อนๆ และพันธุ์สีขาวมีปุยฝ้ายสีขาวฤดูกาลปลูกฝ้ายในประเทศไทย คือ ประมาณช่วงเดือนพฤษภาคม เพื่อให้ต้นฝ้ายได้รับน้ำฝนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมได้เต็มที่ในฤดูฝน เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูหนาวฝ้ายจะแก่และแตกปุยราวเดือนพฤศจิกายนหรือเดือนธันวาคม ซึ่งนับเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมเพราะอากาศใน ฤดูหนาวจะแห้ง มีความชื้นน้อย ช่วยให้ปุยฝ้ายแห้งดีขึ้น ปุยฝ้ายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาทำเส้นใยนี้เป็นพัฒนาการขั้นสุดท้ายจากดอกฝ้าย เมื่อดอกฝ้ายผสมเกสรแล้วเติบโตเป็นลูกฝ้ายหรือเรียกกันทั่วไปว่า สมอฝ้าย เมื่อต้นฝ้ายแก่เต็มที่ สมอฝ้ายจะแตกออกเป็น ปุยฝ้าย เก็บปุยฝ้ายมาปั่นเป็นเส้นใยฝ้าย กลุ่มวัฒนธรรมที่นิยมใช้เส้นใยฝ้ายทอผ้ามักปลูกฝ้ายเองและปั่นเส้นใยมาทอผ้าเพื่อ เป็นทั้งเครื่องนุ่งห่ม เคหะสิ่งทอ และสิ่งทอในพระพุทธศาสนา กลุ่มชนเหล่านี้ ได้แก่ ไทยวน ไทลื้อ และ ไทพวนในภาคเหนือ ไทครั่งและไททรงดำในภาคกลาง ภูไทหรือผู้ไทย ไทญ้อ และไทโส้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นต้น



รูปที่ 2.15 ลักษณะดอกฝ้าย [34]

ปุยฝ้ายหรือเส้นใยฝ้าย

เป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ได้จากต้นฝ้าย ดังได้กล่าวมาแล้ว ส่วนที่มนุษย์ได้ประโยชน์จากต้นฝ้ายก็คือปุยฝ้ายและเมล็ดฝ้าย ปุยฝ้ายจะมีคุณค่าถึงร้อยละ 90 ส่วนเมล็ดจะมีคุณค่าเพียงร้อยละ 10

เส้นใยฝ้าย คือ ขน (Hair) เป็นเซลล์เดี่ยว เกิดจากผิวเปลือกเมล็ดฝ้าย ขนหรือเส้นใยนี้เริ่มเกิดขึ้นเมื่อดอกฝ้ายเริ่มบาน หลังจากรังไข่ได้รับการผสมแล้ว เส้นใยนี้จะยาวขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 25 วัน รูปของเส้นใยจะเป็นรูปท่อกลม เมื่อสมอฝ้ายแตกเปิดออก ท่อกลมนี้จะยุบแฟบลงและบิดตัวเป็นเกลียว ถ้าหากสิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น ฝนไม่พอ ผนังของเซลล์นี้จะบาง อ่อนแอ ไม่เหนียว เส้นใยฝ้ายหนัก 1 ปอนด์ อาจมีเส้นใยกว่า 100 ล้านเส้น ความยาวของเส้นใยแต่ละเส้นมีตั้งแต่ 1,000 -3,000 เท่าของความหนา หรือ ยาวตั้งแต่ 14-4 นิ้ว และมีความหนาตั้งแต่ 0.0006 -0.0008 นิ้ว ฝ้ายพันธุ์ที่มีเส้นใยยาว มักจะมีเปอร์เซ็นต์ ปุ้ยต่ำกว่าพันธุ์ที่มีเส้นใยสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยฝ้ายที่ยาวและละเอียดจะปั่นได้เส้นด้ายที่เล็กและเหนียว ซึ่งเป็นความต้องการของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพราะสามารถผลิตผ้าได้เนื้อละเอียดและทนทาน เส้นใยฝ้ายที่ไม่เจริญเต็มที่ความเหนียวจะลดลงและเมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายจะมีจุดไข่ปลามากซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ

ฉะนั้น การจัดแบ่งคุณภาพของฝ้ายจึงต้องพิถีพิถันมาก โดยเฉพาะประเทศที่มีการปลูกฝ้าย เพื่อส่งเป็นสินค้าออกการแบ่งชั้นคุณภาพของฝ้ายอาจแตกต่างกันไปตามสภาพความเหมาะสมของแต่ละประเทศ ดังจะได้อธิบายย่อๆของบางประเทศดังต่อไปนี้

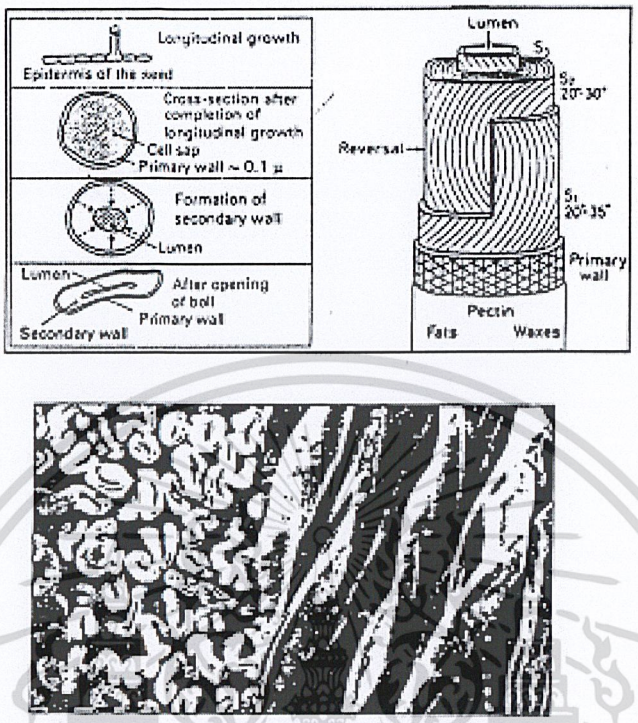
การจัดแบ่งคุณภาพเส้นใยฝ้ายมีหลายระบบ ในสหรัฐอเมริกามีหลักการแยกประเภทฝ้ายออกเป็น 2 ระบบ คือ แบ่งเป็นชั้น (Grade) หมายถึง แบ่งตามความสะอาดของปุยฝ้าย และแบ่งตามความยาวของเส้นใย (Staple length) ความยาวของเส้นใยนี้ เป็นความยาวที่คาดคะเนด้วยสายตา ผลที่ได้จะแน่นอนใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ตรวจ ความยาวของเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนสำคัญที่สุดสำหรับผู้ปั่นด้าย ส่วนคุณลักษณะอื่นๆ เช่น ความละเอียด (Finess) และความเหนียวของเส้นใย (Strength) นั้น ก็มีความสำคัญเท่าๆ กัน เช่น เส้นด้ายที่มีขนาดเล็กจะปั่นจากฝ้ายที่มีเส้นใยยาว และฝ้ายที่มีเส้นใยยาวจะปั่นเป็นเส้นด้ายที่มีความเหนียวมากขึ้น



รูปที่ 2.16 ดอกฝ้าย [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ



รูปที่ 2.17 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย [34]

โครงสร้างของฝ้ายหากมองในรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีฝ้าย เป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่ง ทั้งนี้ได้มีผู้เคยวิเคราะห์มาแล้วพบว่ามีอัตราส่วนของความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึง 2 ต่อ 1 ทำให้ความสามารถในการยืดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง โดยทางกายภาพฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีลักษณะภายนอกที่หยาบเป็นหลอดแบน ขวั้นกันเป็นเกลียว และจากกล้องจุลทรรศน์ภาพภาคตัดขวางมีลักษณะคล้ายเม็ดถั่วที่มีช่องกลางกลวงเป็นช่องส่งน้ำ (Lumen) ภาพภาคตัดขวางของฝ้ายระยะแรกมีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U) ผนังเซลล์บางขณะที่ยังอ่อนอยู่ เมื่อเส้นใยมีอายุมากขึ้นผนังก็เริ่มหนามีลักษณะคล้ายรูปถั่วมากขึ้น รูกลางที่เป็นท่อส่งน้ำจะหดเล็กลงผิวนอก (Cuticle) ดูคล้ายมีฟิล์มมันเคลือบอยู่ ผนังขั้นแรกคือ Primary Wall เป็นผนังชั้นที่เกิดขึ้นผนังแรกจะมีความหนาเพิ่ม ขึ้นขยายจากผิวเข้าสู่ส่วนกลาง การเจริญเติบโตเป็นชั้นๆคล้ายวงปีในลำต้น ทำให้ท่อส่งน้ำส่วนกลางถูกเบียดเล็กลงแต่ละชั้นของผนังที่ขยายไปมีความหนาแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศอาหารและน้ำ เปลือกที่หนาเพิ่มขึ้นนี้ รวม

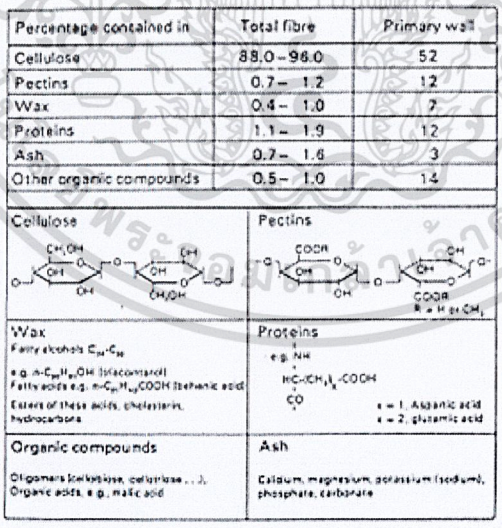
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกกันเป็นผนังขั้นสอง (Secondary Wall) แต่ละขั้นที่เจริญเติบโตขึ้นนี้ประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดอัน เกิดจากการต่อกันยาวของลูกโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจับเรียงต่อกัน และลักษณะของการจัดเรียงกันนี่เอง ที่ทำให้ในบางครั้งมีทิศทางการเรียงที่สลับทิศสวนทางกัน ทำให้เกิดเกลียวฝ้ายขึ้นตามความยาวของเส้นใย

เกลียวฝ้ายหรือการบิดตัวคล้ายริบบิ้น เป็นลักษณะที่แสดงถึงการเจริญเติบโตตามธรรมชาติ อย่างเต็มที่แล้วของฝ้าย เพื่อปุยฝ้ายเปิดออกเส้นใยที่แห้งตัวลง ส่งผลให้รูส่งน้ำตรงกลางหดตัว ผนังของเส้นใยที่เกิดจากการเจริญ เติบโตของลูกโซ่โมเลกุลมีการบิดการเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เป็นขวั้นเกลียวที่ สวนทางกัน เกิดการบิดงอเหมือนหลอดกาแฟ การบิดงอนี้เป็นการเกิดเกลียวแบบธรรมชาติ ทำให้เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการเกาะเกี่ยวกัน ปั่นเป็นด้ายได้ง่าย มีความสามารถในการยืดตัวสูง แม้ว่าในขณะเดียวกันอาจมีผลเสียเกิดขึ้นในบริเวณของการบิดเกลียวบ้าง เช่น เกิดการจับฝุ่นหรือสิ่งสกปรกได้ ความแข็งแรงลดลงประมาณ 15-30% เมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ เชื่อกันว่าถ้าหากสามารถยืดได้เส้นใยให้เหยียดตรงออกแล้วจะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยเพิ่มขึ้นได้

2.5.1.2โครงสร้างทางเคมี

Percentage contained in	Total fibre	Primary wall
Cellulose	88.0 – 96.0	52
Pectins	0.7 – 1.2	12
Wax	0.4 – 1.0	7
Proteins	1.1 – 1.9	12
Ash	0.7 – 1.6	3
Other organic compounds	0.5 – 1.0	14



รูปที่ 2.18 โครงสร้างทางเคมีของใยฝ้าย [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.3 สมบัติของเส้นใยฝ้าย

1. **สมบัติทางกายภาพ**

ความยาว	0.3 - 5.5 ซม. (1/8 – 2 ¼ นิ้ว)
สี	ขาว ครีม น้ำตาล หรือเทา
การสะท้อนแสง	ไม่ดีนัก มีความมันต่ำ นอกจากฝ้ายที่ผ่านการชุบด่างเส้นใยจะพองกลมทำให้ความมีความมันเพิ่มขึ้น
ความเหนียว	ขณะแห้งมีความเหนียว 3.0 – 5.0 กรัม/เดนเยอร์ เมื่อเปียกความเหนียวเพิ่มเป็น 3.6 – 6.0 กรัม/เดนเยอร์
การยืดตัว	ยืดได้สูงสุดจนถึงจุดที่ขาด 3 - 7%
การหดกลับ	ถ้าเส้นใยยืดออกไป 2% เมื่อปล่อยแรงหดกลับได้ 70%
ความคืนตัว	ต่ำ ผ้าฝ้ายจึงยับง่าย
ความทนต่อการขัดถู	พอใช้จนถึงดี
ความคงรูป	ไม่ดีนัก ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยด่าง
(Mercerization)เมื่อซักฟอกจะหดตัว	
การดูดความชื้น	ดูดความชื้นต่างๆได้กันตามสภาวะดังนี้
ฝ้ายดิบที่สภาวะมาตรฐาน	8.5%
ที่ความชื้นสัมพัทธ 95 – 100%	15 - 25%
ฝ้ายชุบด่างที่สภาวะมาตรฐาน	8.5 – 10.3%
ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 - 100%	15 - 27%
ความถ่วงจำเพาะ	1.54
การทนต่อความร้อน	สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงๆของเตารีดได้

2. สมบัติทางเคมี

สารฟอกขาว	ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิดทั้งชนิด ที่เป็นสารฟอกขาวประเภทคลอรีน (Chlorine bleach) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และ สารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (Oxygen bleach) เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
กรด – ด่าง	มีความทนต่อด่างได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดแก่
สารละลายอินทรีย์	ฝ้ายทนต่อตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น อะซิโตน เมตาไซลีน และชนิดอื่นๆ ได้เกือบทุกชนิด
แสงแดด และความร้อน	ทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี แสงแดดไม่ทำอันตรายต่อผ้าที่ตากแดดจนแห้ง แต่ถ้าปล่อยให้ถูกแสงสว่างเป็นระยะเวลานานและตลอดเวลาจะทำให้เซลลูโลสถูกออกซิไดซ์ ซึ่งทำให้ผ้าลดความเหนียวได้และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การรีดควรใช้อุณหภูมิ 218 °C หรือ 425°F
สีย้อม	สีย้อมที่ใช้ย้อมฝ้ายได้คือ สีไดเรค รีแอคทีฟ วัต แนฟทอล และที่ย้อมติดเส้นใยได้ทนมากที่สุดคือ วัต
เห็ดรา แบคทีเรีย	ฝ้ายที่อยู่ในสภาพเปียกชื้น และอับจะไม่ทนต่อเชื้อเห็ดรา โดย ราดำ จะขึ้นได้ง่ายบนผ้าฝ้าย ทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้เสื้อผ้าที่หมักแช่ไว้นานๆมีกลิ่นเหม็นและเปื่อยขาดได้ง่าย
แมลง	ตัวมอด ตัวด้วงไม่กัดกินฝ้าย แต่แมลงบางชนิด เช่น ตัวสามง่าม จะชอบกัดกินฝ้าย โดยเฉพาะผ้าที่ลงแป้ง
การติดไฟ	ติดไฟลุกไหม้อย่างรวดเร็ว
การเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน	ฝ้ายเป็นตัวนำความร้อนไฟฟ้าที่ดี

2.5.2 เส้นใยไหม [33]

ประเทศไทยมีการผลิตเส้นไหมได้ปีละประมาณ 1,300-1.400 ตัน ในจำนวนนี้มีเศษเหลือใช้จากไหมปีละ 300-400 ตัน โดยมิได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า คงมีเพียงบางส่วนที่นำไปใช้ทำสิ่งประดิษฐ์และบางส่วนจำหน่ายเป็นวัตถุดิบซึ่งรวมแล้วมีมูลค่าเพียง 41-95 ล้านบาทเท่านั้น หากนำมาผลิตเป็นผงไหมจำหน่ายมูลค่าจะเพิ่มเป็น 720-1,800 ล้านบาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นกำเนิดของการเลี้ยงไหมเริ่มต้นที่ประเทศจีนเมื่อประมาณ 4,500 ปีก่อน เส้นใยไหมได้ชื่อว่าเป็น "ราชินีแห่งเส้นใย" เป็นเส้นใยที่ได้มาจากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมา เส้นใยจะมีความยาวต่อเนื่อง (Filaments) เส้นใยไหมจะหมายถึงเส้นใยที่ได้มาจากหนอนไหม (Silk worm) เท่านั้น โดยทั่วไปสามารถจำแนกไหมออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ไหมเลี้ยง (Mulberry Silk: หรือไหมบอมบิกซ์มอริ (Bombyx mori) เป็นหนอนไหมที่มนุษย์เพาะเลี้ยง ซึ่งไหมชนิดนี้จะมีสีค่อนข้างขาวและหลังการลอกกาวจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น
2. ไหมป่า (Wild Silk) เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยง แต่จะเลี้ยงตัวเองด้วยใบโอ๊ค ซึ่งไหมป่าจะให้เส้นใยที่มีสีน้ำตาล มีความหยาบ และไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับไหมเลี้ยง

สำหรับเส้นไหมที่มีคุณภาพดีจะต้องมาจากรังไหม (Cocoon) ที่สมบูรณ์ จึงจะทำให้เส้นไหมเรียบเสมอกัน การเก็บรังไหมจะต้องแยกรังที่สมบูรณ์กับไม่สมบูรณ์ รังที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการฆ่าดักแด้ซึ่งมีหลายวิธี เช่น ฆ่าด้วยความเย็นจัด ฆ่าด้วยการตากแดด หรืออบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 85-98องศาเซลเซียส

วิธีสาวไหมในโรงงานคือการต้มรังไหมที่อบแล้วสาวเส้นใยจากรังไหมที่ต้มหลายๆรัง เส้นไหมที่ได้จากการสาว มี 3 ชนิด คือ เส้นไหมสาม เส้นไหม สอง และเส้นไหมหนึ่ง ซึ่งเส้นไหมสามและสองจะนำไปทำเป็นด้ายพุ่ง ส่านไหม หนึ่งไปทำเป็นได้ยืน เส้นไหมที่เป็นด้ายพุ่งนิยมทำให้เป็นเส้นโตกว่าด้ายยืน ส่วนไหมยืนก็นำไปตีเกลียวเพื่อเพิ่มความเหนียวแล้วจึงนำไปทำเข็ด ลอกกาว ฟอกขาว ย้อมสี ทอเป็นผืนผ้า

2.5.2..1โครงสร้างทางเคมี

เมื่อตัวหนอนไหมโตเต็มวัยเริ่มจะเป็นดักแด้ จะต้องพ่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภาย ในตัวหนอน สารละลายนี้จะถูกอัดผ่านท่อสองท่อในหัวของตัวหนอนไหม ส่วนที่เหลวหนืด (ไฟโปรอิน : Fibroin) ถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่ง (กาวไหม : Sericin) ซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใยสองเส้นติดกัน เส้นใยไหมจะมี 2 ส่วน คือ กาวไหม (เซอริซิน) และเส้นใย (ไฟโปรอิน) กาวไหมเป็นส่วนที่น้อยกว่าเส้นใยและกาวไหมจะมีสิ่งเจือปน

ไหมเป็นโซ่ของกรดอะมิโนที่เกิดจาก การรวมกันของโปรตีน (พอลิเปปไทด์) เรียกว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 -18 ชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย กรดอะมิโนหลัก 3 ชนิด ที่พบในเส้นใยไหม ได้แก่ ไกลซีน (Glysine) อะลานีน (Alanine) และซีรีน (Serine) ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างของไฟโบรอินประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่ใช่หมู่ที่เกะกะ (Bulky Groups) ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของกาวไหมประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงที่มีขนาดใหม่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซรีน ทรีโอนีน กรดกลูตามิก และกรดแอสพาติก คิดเป็นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกาวไหม เมื่อพิจารณาส่วนประกอบดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ จากการศึกษาความเป็นผลึกด้วยรังสีเอกซ์ (X- ray) พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยไฟโบรอินมีความเป็นผลึกอยู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และโครงสร้างส่วนใหญ่มีลักษณะโครงรูปเป็นแบบแผ่นพับเบต้า (β – plated sheet) ในขณะที่กาวไหมไม่มีโครงสร้างของส่วนที่เป็นผลึกอยู่เลย โดยโปรตีนในส่วนของกาวไหมมีประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไฟโบรอินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นไหมมีโปรตีนมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน เกลือแร่ สารอนินทรีย์และองค์ประกอบที่เป็นพวกสารให้สี

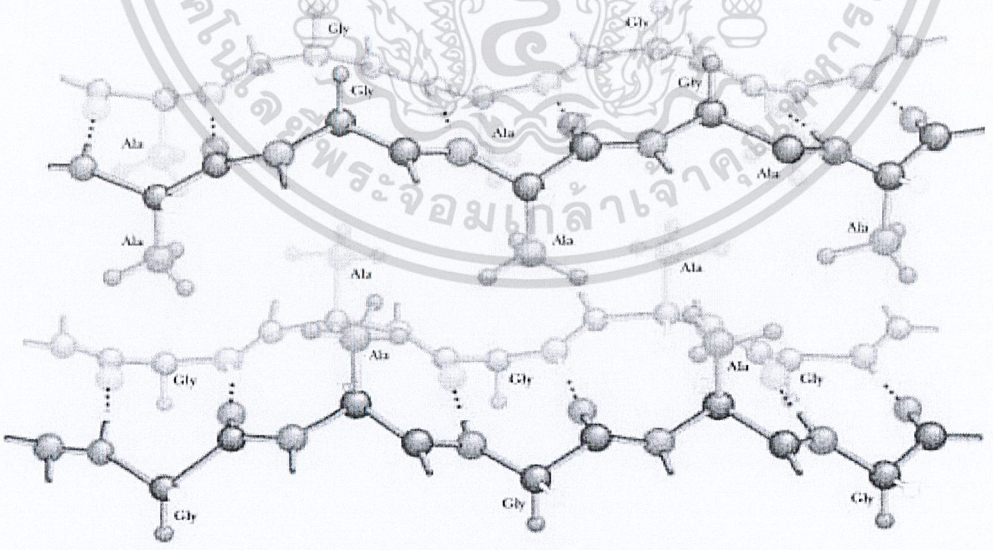
ส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในไฟโบรอิน อาจวิเคราะห์รายละเอียดออกได้ดังนี้

คาร์บอน 48.00 - 49.00 %

ไฮโดรเจน 6.40 – 6.51 %

ไนโตรเจน 17.35 – 18.89 %

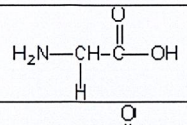
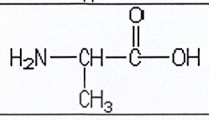
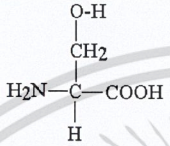
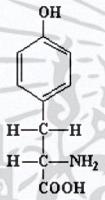
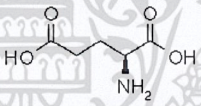
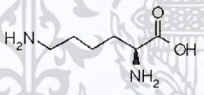
ออกซิเจน 26.00 – 27.90 %



รูปที่ 2.19 โครงสร้างทางกายภาพของใยไหม [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

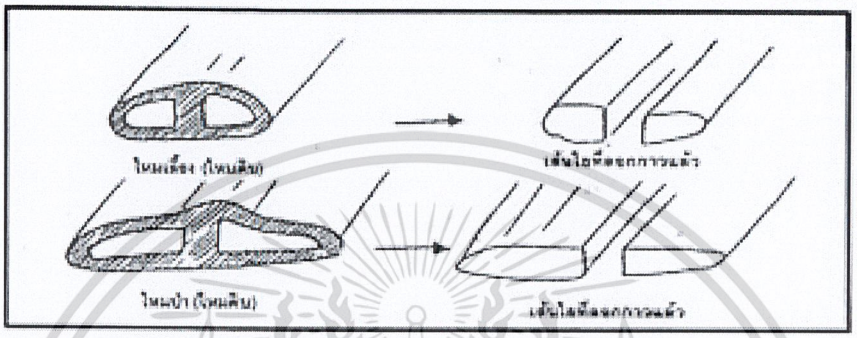
ตารางที่ 2.7 สูตรโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโนที่พบในไหม[33]

ชื่อ	โครงสร้าง	สัญลักษณ์	ลักษณะของหมู่ข้างเคียง
ไกลซีน (Glysine)		Gly (G)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
อะลานีน (Alanine)		Ala (A)	ไม่มีขั้ว มีสมบัติไม่ชอบน้ำ
ซีรีน (Serine)		Ser (S)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
ไทโรซีน (Tyrosine)		Tyr (Y)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)		Glu (Q)	หมู่เคียงข้างมีสมบัติเป็นกรด
ไลซีน (Lysine)		Lys (K)	หมู่เคียงข้างมีสมบัติเป็นเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 โครงสร้างทางกายภาพ

หลังจากการลอกกาว (Degumming) เส้นใยยาวที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้น จะแยกตัวออกมาทำให้เส้นใยมีรูปร่างต่างไปจากเส้นใยไหมดิบ (คือ เส้นใยละเอียดกว่า และเส้นใยมีความมันเงาสูงกว่า)



รูปที่ 2.20 โครงสร้างทางกายภาพของใยไหม [34]

2.5.2.3.ผลิตภัณฑ์

นิยมนำมาทำเป็นผ้าไหม ซึ่งผลิตภัณฑ์ผ้าไหมของไทยแบ่งผ้าไหมออกเป็นสองประเภท คือ ผ้าไหมไทยและไหมผสม สำหรับผ้าไหมไทยหมายถึงผ้าที่ทอด้วยไหมแท้ทั้งหมด รวมทั้งที่มีสิ่งอื่นเป็นส่วนประกอบเพื่อการตกแต่ง ส่วนผ้าไหมผสม คือผ้าไหมที่มีไหมแท้ปนอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 20 ซึ่งจะนำมาทำเป็นผ้าคลุมเตียง เนคไท ผ้าพันคอ ฯลฯ

2.5.2.4 สมบัติของเส้นใยไหม

1. สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะ และรูปร่าง	เส้นใยเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องมีความยาวประมาณ 900-1,700 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9-11ไมครอน สีของเส้นใยไหมดิบจะมีสีเหลือง-สีครีม สำหรับเส้นใยไหมป่าจะมีความหยาบกระด้าง ไม่เรียบ ค่อนข้างจะไม่มันเงาเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมเลี้ยง
ธรรมชาติของการดูดความชื้น	สามารถดูดความชื้นประมาณ 11% ซึ่งมากกว่าฝ้ายที่ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เมอร์เซอร์ไรซ์แล้ว (10.5 %)
ความแข็งแรง	ค่าความเหนียวจะอยู่ในช่วง 2.4-5.1 กรัมต่อดีเนียร์ และเมื่อเปียกน้ำจะมีความแข็งแรงลดลงประมาณ 80-85 %
การยืดตัวและหดกลับ	ยืดตัวได้สูงสุด 15% ถ้ายืดตัวออกไป 2% จะหดกลับได้ 90%
ความคงรูป	ทนต่อการยืดหดได้ดี เมื่อผ่านการซักผ้าจะหด แต่เมื่อดึงและรีดก็จะกลับคืนเข้าสู่นาดเดิมได้
การคืนตัว	อยู่ในระดับปานกลาง
ความถ่วงจำเพาะ	อยู่ในระหว่าง 1.32-1.33 อย่างไรก็ตามเส้นใยไหมที่เพิ่มน้ำหนักจะมีค่าประมาณ 1.60

2. คุณสมบัติทางเคมี

สารฟอกขาว	ไม่ควรใช้สารฟอกขาวชนิดที่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบกับไหม เพราะทำให้เส้นใยลดความเหนียวแข็งแรง ควรใช้สารฟอกขาวที่ไม่แรง เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเปอร์บอเรต
กรด-ด่าง	กรดแร่เข้มเข้นและด่างเข้มข้นจะละลายไหมได้ กรดไนตริกจะทำให้ไหมสีเหลือง
สารทำละลายอินทรีย์	ทนต่อสารทำละลายอินทรีย์ทุกชนิดได้
แสงแดดและความร้อนสูง	จะทำให้เส้นใยลดความเหนียวลงเนื่องจากทำให้โปรตีนสลายตัวได้เร็วขึ้น
รอยเปื้อน	เมื่อเปียกเหงื่อจะเห็นรอยเปียกได้ง่าย และเมื่อเหงื่อแห้งจะเห็นรอยคราบเหงื่อได้ง่าย
สีย้อม	ย้อมได้ดีด้วย สีไดเรค สีกรด สีเบสิค และสีวัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้

ไหมใช้ประโยชน์ได้มากเมื่อนำไปทอหรือถักเป็นผืนผ้าหนาหรือบางได้ตามความต้องการ เช่น ผ้าชนิดบางเหมาะสำหรับใช้ทำเสื้อผ้าเนื้อละเอียดบางเบา ผ้าพันคอ ผ้าชนิดหนาเหมาะใช้ตัดเสื้อ กางเกง หรือเสื้อผ้าเมืองหนาว ผ้าที่มีเนื้อหนาหยาบเหมาะที่จะใช้ทำผ้าม่าน เครื่องประดับบ้าน เฟอร์นิเจอร์ ผ้าคลุมเตียง

2.6 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [36]

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (อังกฤษ: Biodegradable plastic หรือ Compostable plastic) มักเรียกว่า พลาสติกชีวภาพ เป็นพลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะจึงทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการ ทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้นสามารถวัดได้โดยวิธีการทดสอบมาตรฐาน ซึ่งวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

คำจำกัดความของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ตาม ASTM D6400-99 หมายถึงพลาสติกที่ย่อยสลายได้อันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ เช่น แป้ง ข้าวโพด หรือ มันสำปะหลัง ต่างจากพลาสติกที่เราๆ ใช้กันอยู่ที่มีสารตั้งต้นจากปิโตรเคมี ด้วยการผลิตที่เกิดขึ้นจากวัตถุดิบทางธรรมชาตินี้เอง ช่วยรับประกันถึงเรื่องการย่อยสลายด้วยธรรมชาติ ทำให้ไม่เกิดขยะที่ไม่พึงประสงค์ และการทำลายธรรมชาติจากกระบวนการผลิตและการทำลาย นับเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

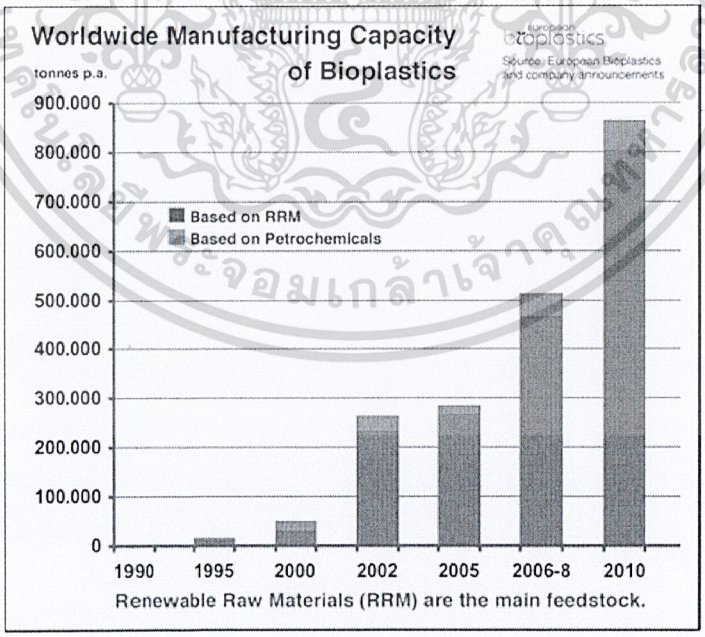
พลาสติกย่อยสลายได้ชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วย กระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งสามารถแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ได้ออกเป็น 2 ประเภท คือพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ ปิโตรเคมี (Petroleum-based biodegradable plastics) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Bio-based biodegradable plastics) ซึ่งปัจจุบันเป็นพลาสติกที่ได้รับความสนใจมากเนื่องจากผลิตจากพืชหรือวัตถุดิบที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ (Renewable resources) โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัยกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งใช้พลังงานต่ำ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติเมื่อ ฝั่งกลบภายหลังการใช้งานด้วยคุณลักษณะ และคุณสมบัติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงการกำจัดนี้เองที่ทำให้พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้กลายเป็นวัสดุแห่งอนาคต

แนวโน้มการใช้และการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

จากกระแสอนุรักษ์ธรรมชาติ และความตระหนักต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาภาวะโลกร้อนที่ ทั่วโลกกำลังเผชิญร่วมกันส่งผลให้ความต้องการผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในตลาดโลกมีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นมากโดยมีปริมาณความต้องการใช้ทั่วโลก ในปี 2550 ถึง 2551 สูงถึง 500,000 ตันต่อปีและมีอัตราการเจริญเติบโตถึงร้อยละ 70 เทียบกับปี 2548 โดยเฉพาะตลาดสำคัญซึ่งมีปริมาณการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งนี้ คาดการว่าตลาดสหภาพยุโรปมีแนวโน้มปริมาณการใช้พลาสติกชีวภาพ 40,000 - 50,000 ตันต่อปี (ขยายตัวร้อยละ 20) ส่วนสหรัฐฯมีปริมาณความต้องการใช้ 70,000 - 80,000 ตันต่อปี (ขยายตัวร้อยละ 16) และตลาดญี่ปุ่นมีปริมาณความต้องการใช้ 15,000 ตันต่อปี (ขยายตัวร้อยละ 10)



รูปที่ 2.21 แนวโน้มการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพของโลก [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับประเทศไทยมีความพร้อมในด้าน วัตถุดิบสำหรับการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่การพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ยังอยู่ในระดับบุกเบิกและการเริ่มสร้างเทคโนโลยีใหม่ ขณะนี้มีนักวิจัยในหลายมหาวิทยาลัยทั่วประเทศไทยให้ความสนใจ และกำลังศึกษาวิจัยด้านนี้ทั้งเรื่องของเทคโนโลยีการเตรียมวัตถุดิบทางการเกษตรรวมทั้งงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีทางชีวภาพ และเทคโนโลยีในการผลิตและ การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ขณะเดียวกันมีผู้ประกอบการหลายรายของไทยหันมาลงทุนในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพบ้างแล้วแต่ยังคงนำเข้าเม็ดพลาสติกชีวภาพจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนสูงกว่าพลาสติกทั่วไป 3-4 เท่า ผู้บริโภคจึงมีอยู่ในวงจำกัด

ในปัจจุบันความต้องการของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเริ่มมีมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่สะดวก และมีราคาไม่แพงนัก โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์พลาสติกจำพวกพอลิเอทีลีนที่มีอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์สั้นมากและมีการทิ้งในปริมาณทวีคูณ จึงเกิดเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิธีการที่จะแก้ปัญหาอย่างสมบูรณ์ คือ การหาวัตถุพลาสติกจำพวกที่มีการย่อยสลายได้

ประเทศที่มีเทคโนโลยีด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพทั้งสหรัฐอเมริกา และกลุ่มประเทศยุโรป โดยเฉพาะเยอรมนี อิตาลี และฝรั่งเศส เป็นผู้นำในการกำหนดทิศทางการใช้สินค้าจากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพและ พัฒนารูปแบบไปสู่กฎหมายหรือแผนปฏิบัติการระหว่างประเทศที่ทำให้เกิดอำนาจต่อรองด้านธุรกิจการค้าในเวทีโลก ทำให้เกิดความตื่นตัวด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในประเทศต่างๆทั่วโลกและเร่งสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนพลาสติกทั่วไป

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Bioplastic มี 3 แบบด้วยกัน คือ กลุ่มที่เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่ผลิตจากพืช เช่น แป้ง และเซลลูโลส กลุ่มที่สองเป็นโพลิเมอร์ที่ผลิตได้โดยการเพาะเลี้ยงเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น โพลีบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรต และโพลีแลกเตท และกลุ่มที่สามได้จากการดัดแปรโพลิเมอร์ ธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่เป็นพลาสติกที่ผลิตจากพืชเช่นแป้ง(StarchBasedPolymer)

Bioplastic ที่ผลิตจากพืช มี 2 แบบด้วยกัน คือ ไบโอพลาสติก ที่ทำมาจากข้าวโพด (PLA) ผลิตเป็นฟิล์มใช้สำหรับทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ และทำถุงพลาสติกอีกแบบหนึ่งคือทำมาจากอ้อยและมันสำปะหลัง (PHA/PHB) ซึ่งหากผ่านกระบวนการทางเคมีจะได้พลาสติกที่ทนทานกว่าใช้ในกระบวนการผลิตแบบขึ้นโมทดแทนพลาสติกอีกแบบหนึ่ง

ข้อได้เปรียบของ Bioplastic คือ สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินได้ง่ายกว่าในขณะที่พลาสติกจากปิโตรเคมีคงสภาพอยู่ในธรรมชาติได้นาน และเมื่อนำมาเผาทำลายก็จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันได้มีกานำ Bioplastic มาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารและบรรจุภัณฑ์ทั่วไป กระถางต้นไม้ รวมถึงส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ ซึ่งในอนาคตแนวโน้มการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้น่าจะขยายตัวสูงขึ้น

2.6.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ [37]

ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือ พันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มืด หรือแม้กระทั่งชิ้นพลาสติกที่มีการพิมพ์ด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่าน) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร(Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่าน ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คะตะลิสต์เร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxpide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดรายด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูริเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่ พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และ คะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และ กรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบที่ใช้ Endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ(Biomass)

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่าพลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีกลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้ต้องเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อม และคำว่า พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental friendly plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบโดยรวมต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

2.6.2 การใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ [38]

1. การใช้งานทางการแพทย์

พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวหนังเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นดามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2. สารเคลือบกระดาษ หรือโฟม

ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งาน เป็นสารเคลือบกระดาษสำหรับห่อแฮมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง

3. ฟิล์มคลุมดิน และวัสดุสำหรับการเกษตร

ฟิล์มคลุมดิน สำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บ และกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

4. ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag)

ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนักเนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส

5.ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food waste film and bags)

ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใช้ใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ กำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะดวกไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ตันต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม

6. บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging materials)

ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไป มักไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้

7. โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)

โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill) โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน (PS) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและ

ประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีน เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

2.7 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) [39]

พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์ หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (Flexing temperature) ของพลาสติกทำให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดด่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยจะใส่ประมาณ 20-40% โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง ผู้ที่เริ่มใช้พลาสติไซเซอร์ในทางอุตสาหกรรมคนแรก คือ Hyatt Brothers ในราว ค.ศ.1870 เมื่อเขาผสมแคมเฟอร์ (Camphor) กับ ไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) ต่อมาไตรครี-ซิลฟอสเฟต (Tricresyl phosphate) ถูกนำมาใช้เป็น พลาสติไซเซอร์ ตามด้วยพทาเลทเอสเทอร์ (Phthalate esters)

2.7.1 ชนิดของพลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์สามารถแบ่งเป็น

1. โมโนเมอริคพลาสติไซเซอร์ (Monomeric plasticizers) มีอยู่หลายกลุ่ม ได้แก่

กลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์มากที่สุด เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลท 2 หมู่ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดีพทาเลทเอสเทอร์ที่ผลิตในอุตสาหกรรม มาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพทาลิกแอนไฮดราย(Phthalic anhydride)กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น กรดซัลฟูริค หรือกรดพาราโทลูอีน ซัลโฟนิคพทาเลทเอสเตอร์ที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

· ไดเมทิลพทาเลท (Dimethyl phthalate, DMP)

· ไดเอทิลพทาเลท (Diethyl phthalate, DEP)

· ไดนอร์มัวลิวทิลพทาเลท (Di-n Bytyl Phthalate, DBP)

· บิวทิลเบนซิลพทาเลท (Butylbenzyl Phthalate, BBP)

· ไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท (Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate, DOP)

· ไดนอร์มัลออกทิลพทาเลท (Di-n-Octyl Phtghalate, DOP)

· ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl Phthalate, DINP)

กลุ่มอดิเพท (Adipates) และอซีเลท (Azelates) ผลิตจากกรดอดิพิค (Adipic acid) หรือกรดอซีเลอิคกับแอลกอฮอล์ เช่น ไดทูเอทิลเฮซิลอดิเพท (Di-2-Ethylhexyl adipate, DOA) , ไดไอโซเดซิลอดิเพท (Diisodecyl Adipate, DIDA) , และไดนอร์มัลออกทิลเดซิลอดิเพท (Di-n-Octhldecyl Adipate, DNODA) ตัวที่สำคัญที่สุด คือ DOA ซึ่งองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

ส่วนกลุ่มอซีเลทนั้น เช่น ไดทูเอทิลเฮซิลอซีเลท (Di-2-Ethylhexyl Azelate, DOZ) , ไดไอโซออกทิลอซีเลท (Diisooctyl Azelate , DIOZ) และไดเฮกซิลอซีเลท (Dihexyl Azelate , DHZ) ซึ่งเป็น ตัวที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารเช่นกัน กลุ่มฟอสเฟต มีออกทิลไดเฟนิลฟอสเฟต (Octyl Diphenyl Phosphate) ตัวเดียวเท่านั้นที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

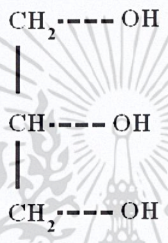
2. พอลีเมอริคพลาสติไซเซอร์ (Polymeric plasticizers)

ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดเบซิค (Dibasic acid) เช่น กรดอดิพิค หรือ กรดอซีเลอิคกับไกคอล (Glycol) เช่น โพรไพลีนไกลคอล (Propylene glycol) จะได้ พลาสติไซเซอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 20 เท่าของชนิดโมโนเมอร์ริค และจะมีโอกาสหลุดจากพลาสติกได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง ๆ และยังทนต่อการละลายของน้ำมันและตัวทำละลาย ส่วนราคาของโพลีเมอริคพลาสติไซเซอร์นั้นจะสูงกว่าพวกพทาเลทเอสเตอร์ประมาณ 1.5-2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 กลีเซอรอล (Glycerol) [40]

กลีเซอรอลเป็นสารประกอบอินทรีย์พวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม สูตรเคมี คือ $C_3H_8O_3$ โครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.17 กลีเซอรอลเป็นของเหลวข้น ไม่มีสี มีจุดเดือด 290 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ เป็นองค์ประกอบสำคัญของไขมันหรือน้ำมัน เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กลีเซอริน ใช้ในอุตสาหกรรมทำยา เครื่องสำอาง สบู่ เป็นต้น กลีเซอรอลเป็นสารลดความเป็นผลึก (Plasticized) และทำให้แป้งเกิดสถานะเหนียวหนืดสามารถขึ้นรูปได้



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของกลีเซอรอล **[40]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุษยรัตน์ พัฒนพงษ์อนันต์ และคณะ [41] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) จากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ โดยแบ่งงานวิจัยออกปีน 2 ขั้นตอน เริ่มจากการหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้า โดยทำการผสมแป้งข้าวเจ้ากับกลีเซอรอลด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง (High-speed mixer) จากนั้นนำไปผสมสูตรด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิและความเร็วรอบต่างๆ จากนั้นนำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ซึ่งเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าในสูตรที่มีการผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที มีสมบัติเชิงกลสูงที่สุด จึงถูกเลือกให้เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้า สำหรับขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการดัดแปลงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพื่อปรับปรุงสมบัติโดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย หรือการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทำการผสมเป็นอัตราส่วนระหว่างเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 1:0 0:1 1:1 1:2 และ 2:1 ด้วยวิธีการขึ้นรูปและภาวะการเตรียมที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนแรก จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าสมบัติเชิงกลมีค่าสูงสุดเมื่อทำการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 2:1 จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ในสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 1:0 มีค่าสูงสุด แต่ที่อัตราส่วน 0:1 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำต่ำที่สุด ส่วนสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในแต่ละสูตรเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบแส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นว่าเส้นใยฝ้ายมีการกระจายตัวที่ดีและสามารถเข้ากับเมทริกซ์ได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในสูตรที่ไม่มีการปรับปรุง มีแนวโน้มในการย่อยสลายเร็วที่สุด แต่สูตรที่มีการปรับปรุงด้วยเส้นใยฝ้ายต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 0:1 ใช้เวลาในการย่อยสลายนานที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M. Teixeira และคณะ [42] ศึกษาการนำเส้นใยนาโนเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังมาทำเป็นส่วนเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากการศึกษาโครงสร้างของเส้นเซลลูโลสจากกากมันสำปะหลังพบว่าเป็นลักษณะของอนุภาคนาโน จึงนำมาเป็นส่วนเสริมแรงในการเตรียมนาโนคอมโพสิตฟิล์มในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้พลาสติกไซเซอร์ 2 ชนิด คือ กลีเซอรอลและกลีเซอรอลต่อซอร์บิทอลในอัตราส่วน 1:1 เตรียมนาโนคอมโพสิตฟิล์มโดยใช้กระบวนการหลอมเหลวด้วยเครื่องHaake Rheomix ที่ความเร็วรอบ 60 rpm อุณหภูมิ 140±10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ศึกษาอิทธิพลของส่วนเสริมแรงโดยทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าชนิดของพลาสติกไซเซอร์มีผลต่อการเสริมแรง กล่าวคือ ใช้กลีเซอรอลทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลง และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้กลีเซอรอลและซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ เกิดผลึกของ อะไมโลเพกตินที่ผิวของเส้นใยนาโนเซลลูโลสจึงทำให้เสริมแรงได้ดี

X. Ma และคณะ [43] ศึกษาการนำเส้นใยของผ้าสักหลาดมาทำเป็นส่วนเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดโดยใช้ยูเรียและฟอร์มามายด์ ผสมร่วมกับพลาสติกไซเซอร์เพื่อช่วยยับยั้งการคืนตัวของแป้ง จากการศึกษาพบว่าเส้นใยสามารถกระจายตัวและยึดติดกันได้ดี สำหรับสมบัติเชิงกลเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยแต่การยืดตัวลดลง การเสริมแรงมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ปริมาณน้ำที่ผสมมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึง นอกจากนี้สมบัติทางความร้อนดีขึ้นและการคืนตัวกลับของแป้งลดลงในกรณีที่มีเส้นใยผสมต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

A.A.S Curvelo และคณะ [44] ศึกษาการนำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากต้นยูคาลิปตัสมาทำเป็นส่วนเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล เตรียมโดยใช้แป้งข้าวโพดผสมกลีเซอรอลและเส้นใยเซลลูโลสขนาดเล็กผสมในเครื่องผสมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลาซียสนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบ จากการศึกษาพบว่าสมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลเพิ่มมากขึ้น แต่การดูดซับน้ำลดลงและเส้นใยสามารถกระจายตัวได้ดีในแป้ง

L. Fama และคณะ[45] ศึกษาการนำเส้นใยของรำข้าวสาลีมาผสมในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้กลีเซอรอลและโปรแตสเซียมซอร์เบต เป็นพลาสติกไซเซอร์ซึ่งขึ้นรูปโดยกระบวนการหล่อโดยใช้ปริมาณของเส้นใยรำข้าวสาลี 1.5 mg, 13.5 mg,และ 27.1 mg/g ของของผสม จากการศึกษาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเส้นใยของรำข้าวสาลีที่มีน้ำผสมอยู่ และเติมกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้นพบว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มมากขึ้นขึ้นในกลีเซอรอล สำหรับที่อุณหภูมิห้องเมื่อเพิ่มเส้นใยไม่ส่งผลต่อความหนาแน่น การซึมผ่านของน้ำลดลงและสมบัติเชิงกลดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J-F. Su และคณะ [46] ศึกษาสมบัติ ความเสถียร และพฤติกรรมการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งเตรียมโดยวิธีโดยศึกษาสี ความโปร่งใส ความว่องไวต่อน้ำ สมบัติเชิงกลและความเสถียรของฟิล์มโดยให้เกิดการสลายตัวด้วยแสงภายใต้อากาศ พฤติกรรมการย่อยสลายในดินของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในระยะเวลา 30 วัน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้ความเข้มและสีของฟิล์มลดลง ความโปร่งใสเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดน้ำ และสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสมเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าลดลง ส่วนการสลายตัวโดยการฝังดินพบว่าเกิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้การสลายตัวใช้เวลานานขึ้น และเกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กสมบูรณ์ใช้เวลามากกว่า 30 วัน

P. Lodha และคณะ [47] ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวและสมบัติเชิงกลของเส้นใยป่านรามี (Ramie fiber)และโปรตีนสกัดไขมันจากถั่วเหลือง (Soy protein isolate, SPI) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และศึกษาผลของการกระจายความยาวของเส้นใยที่ 5, 10, 15 mm และน้ำหนักของเส้นใยที่ 10, 20, 30 % (w/w) โดยที่ความยาวเส้นใย 15 mm ที่ 30% (w/w) ค่าความเครียดแตกหัก, มอดุลัสของยังมีค่าสูงสุดพบว่าเมื่อเพิ่มความยาวและปริมาณของเส้นใยมากขึ้นพบว่าความเครียดแตกหักเพิ่มขึ้น , มอดุลัสของยังเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ตรา ปลาไทย 5 ดาว บริษัท อีทีซี อินเตอร์เนชันเนล จำกัด องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	ไม่เกิน 13%
คาร์โบไฮเดรต	87 ± 1
ไขมัน	0.25
โปรตีน	6.50 – 7.50
เถ้า	0.23
ขนาด	< 160 μm
ความเป็นกรด-ด่าง	6.0 – 7.0

ที่มา : ข้อมูลจากผู้ผลิต

2. แป้งถั่วเหลือง (Soy starch) ตรา ดอยคำ บริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด องค์ประกอบของแป้งถั่วเหลือง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของแป้งถั่วเหลือง

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	ต่ำกว่า 5%
โปรตีน	40%
ไขมัน	20%
คาร์โบไฮเดรต	35%
แร่ธาตุอื่น ๆ	5%
ขนาด	80 mesh (ละเอียด 97%)

ที่มา : ข้อมูลจากผู้ผลิต (Cotton)

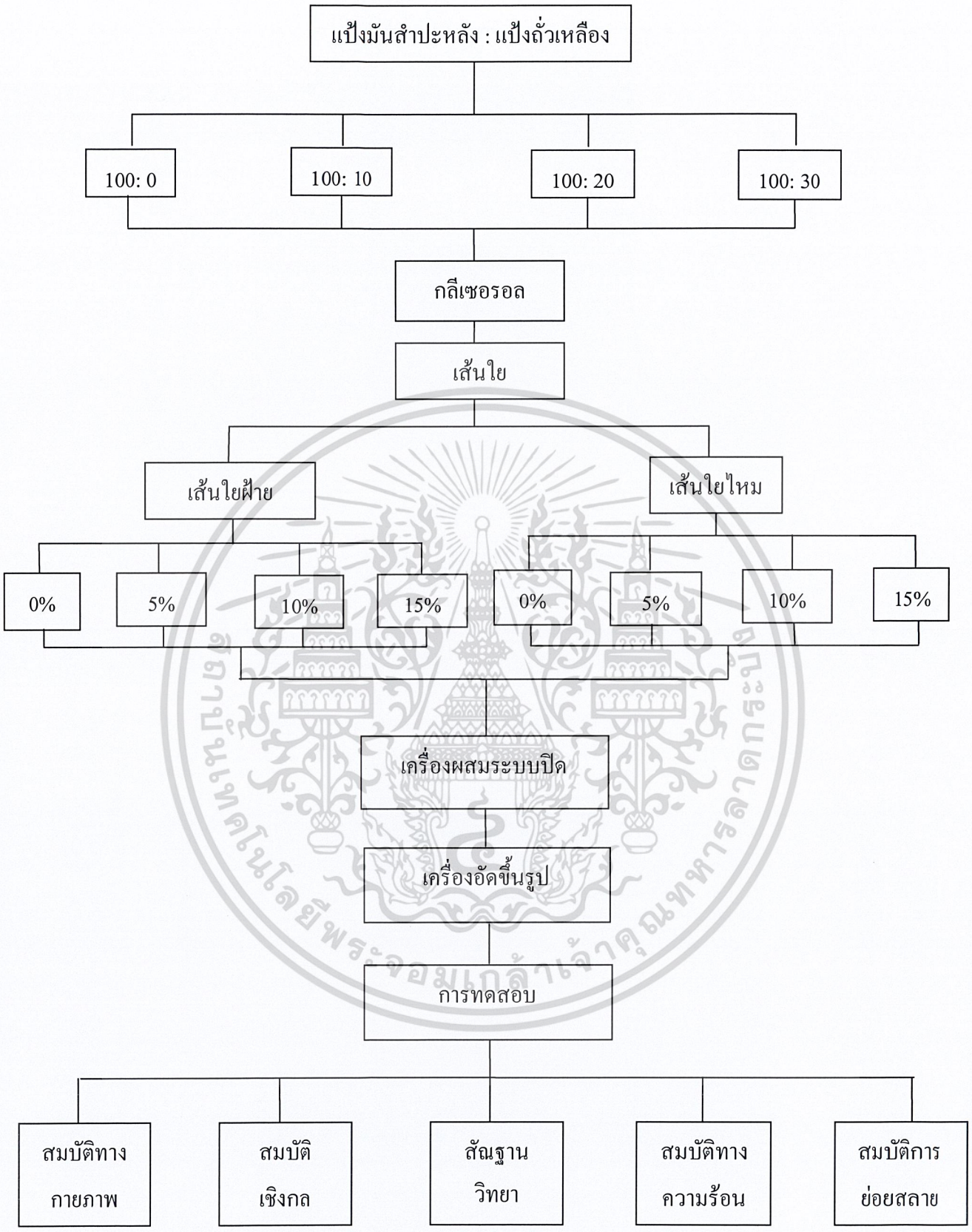
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไหม (Silk) บริษัท จุลไหมไทย จำกัด
5. กลีเซอรอล (Glycerol) : Lab system

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) : Lab Tech Engineering
2. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) : Lab Tech Engineering
3. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine):Lloyd Instrument รุ่น LR5k
4. เครื่อง X-ray Diffractrometer, XRD:Siemens รุ่น D8 Advance
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope,SEM):LEO รุ่น 1450k
6. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน Thermo gravimetric Analyzer,TGA:Perkin Elmer รุ่น Pyris 1 TGA HT
7. เครื่องวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer,FTIR:Perkin Elmer รุ่น FT-IR spectrum GX
8. เครื่องชั่งแบบละเอียด(ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
9. แม่พิมพ์หนา 2 มิลลิเมตร
10. เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์
11. แผ่นใสถ่ายเอกสาร
12. เกรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนของแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง

3.3.1 ชั่งแป้งและกลีเซอรอลตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 ลงในภาชนะ

3.3.2 เก็บของผสมลงในภาชนะปิด ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลแทรกซึมเข้าไปในแป้งอย่างทั่วถึง

3.3.3 นำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 150 ^{0}C ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.4 ทำการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้ โดยการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) ใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร

3.3.4.1 ทำความสะอาดแม่พิมพ์ ใช้แผ่นใสถ่ายเอกสารรองแม่พิมพ์ป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์

3.3.4.2 นำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชวางลงบนแม่พิมพ์แล้วใน ไปเครื่องอัดขึ้นรูป ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 ^{0}C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหล่อเย็นอีก 5 นาที ที่ความดันในช่วง 1300 psi

3.3.5 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เก็บไว้ในภาชนะปิดเพื่อทำการทดสอบสมบัติต่อไป

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนของแป้งที่ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง

แป้งมันสำปะหลัง	แป้งถั่วเหลือง	กลีเซอรอล
100	0	40
100	10	40
100	20	40
100	30	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ปรับปรุงสมบัติเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม

3.3.1 ชั่งแป้งและกลีเซอรอลตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.4 ลงในภาชนะ

3.3.2 เก็บของผสมลงในภาชนะปิด ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลีเซอรอลแทรกซึมเข้าไปในแป้งอย่างทั่วถึง

3.3.3 นำของผสมที่เตรียมได้มาผสมกับเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมที่มีขนาด 2 มิลลิเมตรในอัตราส่วนต่างๆ ดังตาราง 3.4 ด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ที่อุณหภูมิ 150 ^{0}C ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที

3.3.4 ทำการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้ โดยการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) ใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร

3.3.4.1 ทำความสะอาดแม่พิมพ์ ใช้แผ่นใสถ่ายเอกสารรองแม่พิมพ์ป้องกันชิ้นงานติดแม่พิมพ์

3.3.4.2 นำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชวางลงบนแม่พิมพ์แล้วนำไปเครื่องอัดขึ้นรูป ทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 ^{0}C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นหล่อเย็นอีก 5 นาที ที่ความดันในช่วง 1300 psi

3.3.5 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เก็บไว้ในภาชนะปิดเพื่อทำการทดสอบสมบัติต่อไป

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของเส้นใยในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง

แป้งมันสำปะหลัง	แป้งถั่วเหลือง	กลีเซอรอล	เส้นใย (%wtของแป้ง+กลีเซอรอล)
100	0	40	0 , 5 , 10 , 15
100	10	40	0 , 5 , 10 , 15
100	20	40	0 , 5 , 10 , 15
100	30	40	0 , 5 , 10 , 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบ

3.4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

ศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) โดยนำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งบริสุทธิ์ และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมที่จะวิเคราะห์มาบด รวมกับ KBr อัดด้วยเครื่องอัดให้เป็นแผ่น ทำการสแกน 16 ครั้งต่อตัวอย่าง ที่ความยาวคลื่น 4,000 – 600 cm^{-1} ความละเอียดที่ 4 cm^{-1}

3.4.2 การดูดซับน้ำ

ศึกษาการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่าง แล้วนำมาเก็บไว้กับที่ใช้ทดสอบในภาชนะปิด โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วัน ทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างและจดบันทึกทุกวัน

คำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสูตร

$$\%W = \frac{Wt - Wo}{Wo} X\ 100$$

โดย W_t คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่เวลา t

W_0 คือ น้ำหนักของชิ้นงานแห้ง

3.4.3 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

ทำการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของชิ้นงานโดยใช้เครื่อง X-ray Diffractrometer (XRD) วัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึก ของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน โดยใช้ $CuK\alpha$ (λ= 1.542 Å) ทำการวัดมุมของการกระเจิง อยู่ในช่วง $3\text{-}33^0$ โดยสแกนด้วยอัตรา 1 องศาต่อนาทีและสภาวะของเครื่องกำหนดไว้ที่ 40 kV และ 30 mA

3.4.4 สัณฐานวิทยา

ศึกษาสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน ฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่าง เตรียมโดยหักชิ้นงานหลังจากแช่ไนโตรเจนเหลว ฉาบผิวด้วยทองคำแล้วนำไปทดสอบ เพื่อศึกษาพื้นผิวและภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในสูตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 สมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามตามมาตรฐาน ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้

สมบัติ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	หน่วยที่รายงาน
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดุลัส (Young's Modulus)	ASTM D 638	MPa
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)	ASTM D 638	%

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 โดยใช้โปรแกรม WINDAP ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 5 ชิ้นงาน ในแต่ละสูตร โดยควบคุมสภาวะในการทดสอบดังนี้

Temperature : 23 ^{O}C

Relative humidity: 60%

Test speed : 40 mm. /min

Gauge length : 25 mm.

Load cell : 100 N

สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)} = \frac{F}{A}$$

$$\text{มอดุลัส (Young's Modulus)} = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{[(L-Lo)/\,Lo]} \text{ X } 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (\%Elongation at break)} = \frac{(L-Lo\,)}{Lo} \text{ X } 100$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm.^{2})

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังจากทำการดึงยืดชิ้นงานตัวอย่าง (mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L_0 คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm.)

3.4.6 สมบัติทางความร้อน

ศึกษาอุณหภูมิเริ่มต้นของการสลายตัว (Onset degradation temperature) และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักที่อุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัว (%weight loss at onset degradation temperature) ของ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเทอร์โมกราวิกเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) โดยชั่งตัวอย่างประมาณ 16 มิลลิกรัมแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TGA ภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50-600 ^{o}C และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Heating rate) ที่ 10 ^{o}C ต่อนาที

3.4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ต้องการทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 30-70 มิลลิเมตร นำไปฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 18-20% การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างอาจจะกระจายไปกับดิน จากนั้นทำการเปรียบเทียบน้ำหนักเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ลดลงเมื่อเวลาต่างๆ เป็นเวลา 60 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและทดสอบสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเหลืองทำการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยใช้ เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมโดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ โดยทำการศึกษาอุณหภูมิและปริมาณกลีเซอรอลที่เหมาะสมในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเครื่องผสมระบบปิด จากนั้นศึกษา สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติการดูดซับน้ำ และการย่อยสลายโดยการฝังดิน

4.1 การหาอัตราส่วนของแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลือง

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเหลือง โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วนต่างๆ ผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิดซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1 - 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆ

แป้งมันสำปะหลัง:กลีเซอรอล (g/g)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็วรอบ (rpm)	เวลาในการผสม (min)	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 30	120	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งยังไม่หลอมรวมตัวกับกลีเซอรอล
100 : 30	130	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งยังไม่หลอมรวมตัวกับกลีเซอรอล
100 : 30	140	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งรวมตัวกับกลีเซอรอลแต่ยังไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน ยังมีบางส่วนที่ยังไม่หลอม
100 : 30	150	50	5	สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งสามารถหลอมรวมตัวกับกลีเซอรอล จับตัวเป็นก้อน มีลักษณะใส
100 : 30	160	50	5	สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ จับตัวเป็นก้อน มีลักษณะขุ่น
100 : 50	160	50	5	สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ จับตัวเป็นก้อนได้มากขึ้น มีลักษณะขุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งถั่วเหลืองผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆ

แป้งถั่วเหลือง:กลีเซอรอล (g/g)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็วรอบ (rpm)	เวลาในการผสม (min)	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 30	120	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 30	130	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
10 0 : 30	140	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
10 0 : 30	150	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งไหม้ มีสีน้ำตาลดำจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 50	120	70	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 50	130	70	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 50	140	70	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งไหม้ มีสีน้ำตาลดำจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 80	120	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 80	130	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 80	140	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งไหม้ มีสีน้ำตาลดำจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ
100 : 100	130	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนแต่เวลาบีบเนื้อแป้งจะแยกออกจากกัน
100 : 100	140	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนแต่เวลาบีบเนื้อแป้งจะแยกออกจากกัน แป้งไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองและกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆ

แป้งมันสำปะหลัง:แป้งถั่วเหลือง: กลีเซอรอล (g/g)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็วรอบ (rpm)	เวลาในการผสม (min)	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 25 : 30	150	50	5	สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งจับตัวกันเนื้อเดียวกันแต่แข็งมาก
100 : 50 : 30	150	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ แป้งทั้งสองไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
100 : 50 : 30	130	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ แป้งทั้งสองไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
100 : 50 : 30	140	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ แป้งทั้งสองไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
100 : 50 : 30	150	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆ แป้งทั้งสองไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน
100 : 0 : 40	150	50	5	สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งจับตัวเป็นเนื้อเดียวกันแต่แข็ง
100 : 25 : 100	150	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ แป้งรวมเป็นเนื้อเดียวกันและเหนียวติดกัน
100 : 50 : 100	150	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งรวมเป็นเนื้อเดียวกันและเหนียว เมื่อมองด้วยตาเปล่า แต่เมื่อนำมาบีบดูจะพบว่ามีอนุภาคของแป้งถั่วเหลืองแยกออกมา
100 : 75 : 100	150	50	5	ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้แป้งรวมเป็นเนื้อเดียวกัน และเหนียวเมื่อมองด้วยตาเปล่าแต่เมื่อนำมาบีบดูจะพบว่ามีอนุภาคของแป้งถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองและกลีเซอรอลในอัตราส่วนและสภาวะต่างๆ (ต่อ)

แป้งมันสำปะหลัง:แป้งถั่วเหลือง: กลีเซอรอล (g/g)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็วรอบ (rpm)	เวลาในการผสม (min)	ลักษณะทางกายภาพ
				แยกออกมา
100 : 0 : 40	150	50	5	ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งเปราะการผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและกลีเซอรอลค่อนข้างดี สามารถขึ้นรูปได้
90 : 10 : 40	150	50	5	ชิ้นงานที่ได้มีความแข็ง แป้งทั้งสองชนิดผสมกันได้ดีสามารถขึ้นรูปได้
80 : 20 : 40	150	50	5	ชิ้นงานที่ได้ค่อนข้างนิ่มเล็กน้อยการผสมระหว่างแป้งระหว่างแป้งทั้งสองชนิดค่อนข้างดี สามารถขึ้นรูปได้
70 : 30 : 40	150	50	5	ชิ้นงานที่ได้มีความนิ่มมากการผสมระหว่างแป้งระหว่างแป้งทั้งสองชนิดค่อนข้างดี สามารถขึ้นรูปได้

จากตารางที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิที่สามารถขึ้นรูปแป้งมันสำปะหลังได้ คือ 150 และ 160 องศาเซลเซียสโดยสามารถผสมกลีเซอรอลได้ที่อัตราส่วน 30% และ 50%โดยน้ำหนัก

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้แป้งถั่วเหลืองไหม้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ เมื่อเพิ่มกลีเซอรอลและความเร็วรอบ (rpm) ไม่สามารถขึ้นรูปแป้งถั่วเหลืองได้เช่นกัน (ตารางที่ 4.2)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าสามารถขึ้นรูปแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส หากใช้ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำให้แป้งถั่วเหลืองไหม้ได้ จึงต้องผสมกลีเซอรอลเพิ่มเป็นอัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งแป้งทั้งสองชนิดสามารถผสมกันได้ดี จากนั้นนำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองที่เตรียมได้มาทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป

แป้งมันสำปะหลัง:แป้งถั่วเหลือง: กลีเซอรอล (g/g)	อุณหภูมิ (°c)	ความเร็วรอบ (rpm)	เวลาในการผสม (min)	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 0 : 40	150	50	5	ชิ้นงานมีลักษณะใส ขึ้นรูปเป็นแผ่นต่อเนื่องกันได้ และมีความแข็งมาก
90 : 10 : 40	150	50	5	ชิ้นงานมีลักษณะขุ่น มีสีน้ำตาลอ่อนขึ้นรูปเป็นแผ่นต่อเนื่องกันได้ และมีความแข็งลดลง
80 : 20 : 40	150	50	5	ชิ้นงานมีลักษณะขุ่น มีสีน้ำตาลเข้ม ขึ้นรูปเป็นแผ่นต่อเนื่องกันได้ และมีความนิ่ม
70 : 30 : 40	150	50	5	ชิ้นงานมีลักษณะขุ่น มีสีน้ำตาลเข้มออกแดง ขึ้นรูปเป็นแผ่นต่อเนื่องกันได้ และมีความนิ่มเพิ่มมากขึ้น

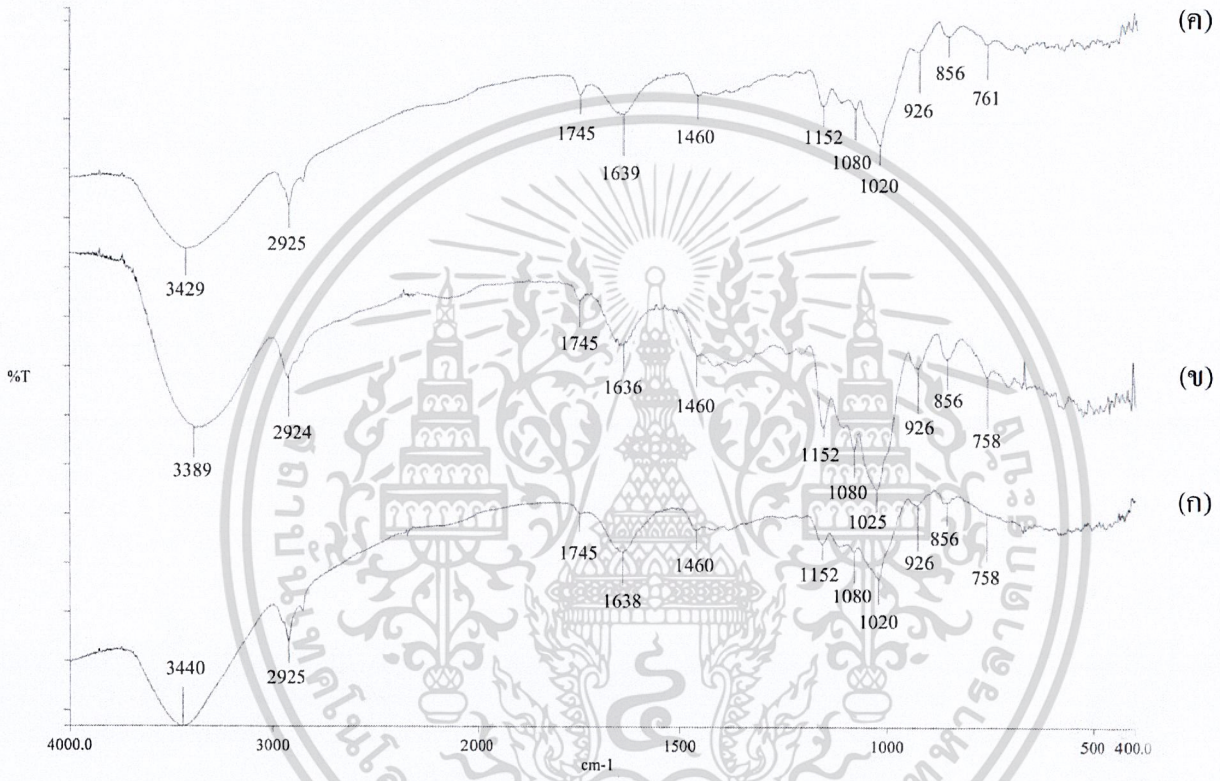
จากผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้ (ตารางที่ 4.1-4.4) จากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 10 20 และ 30 % โดยน้ำหนัก โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ในอัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก พบว่าการผสมระหว่างแป้งทั้งสองชนิดค่อนข้างดีสามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปได้ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองลักษณะของชิ้นงานที่ได้มีความนิ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่สูงกว่าแป้งถั่วเหลือง ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งมาก ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานมีความนิ่มมากขึ้นและแป้งถั่วเหลืองยังส่งผลให้ชิ้นงานมีสีน้ำตาลที่เข้มขึ้น ซึ่งเกิดจากโปรตีนที่มีปริมาณสูงในแป้งถั่วเหลือง

ดังนั้นสภาวะผสมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย และเส้นใยไหมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

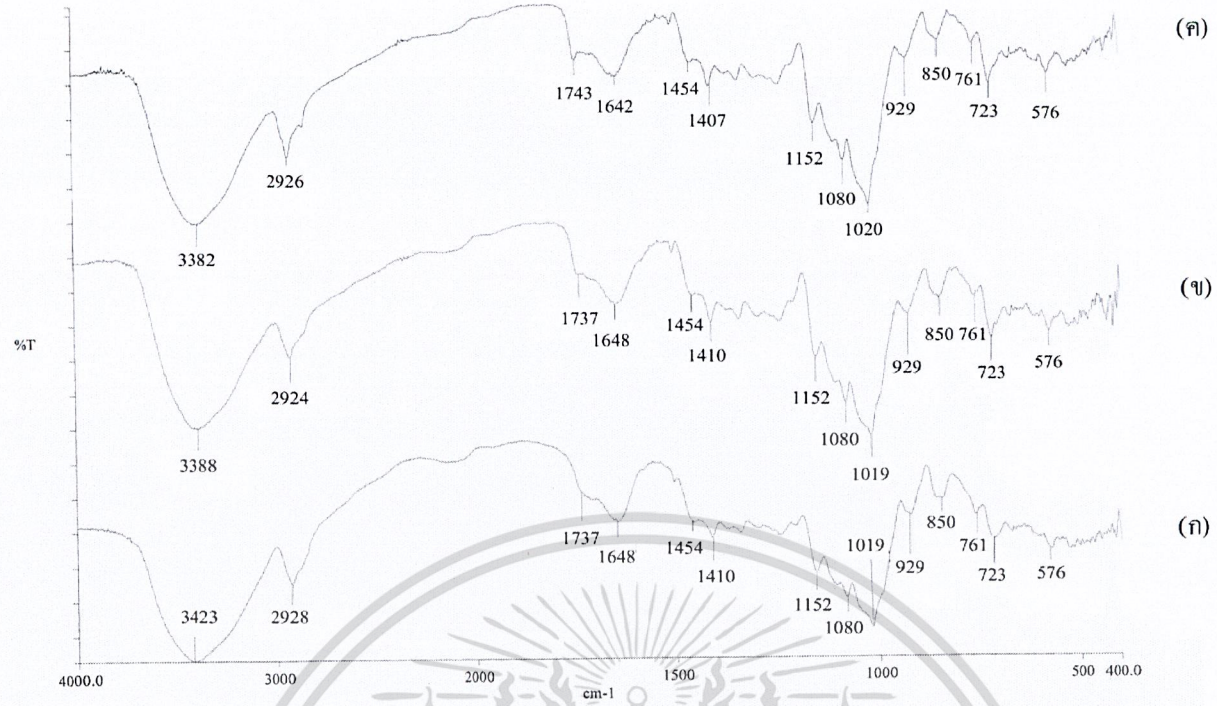
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นด้วยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่ปรับปรุงโดยใช้เส้นใยฝ้าย และเส้นใยไหม เป็นส่วนเสริมแรงทำได้โดยใช้เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer) โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของแป้งถั่วเหลืองในแป้งผสมที่อัตราส่วนต่างๆ กัน

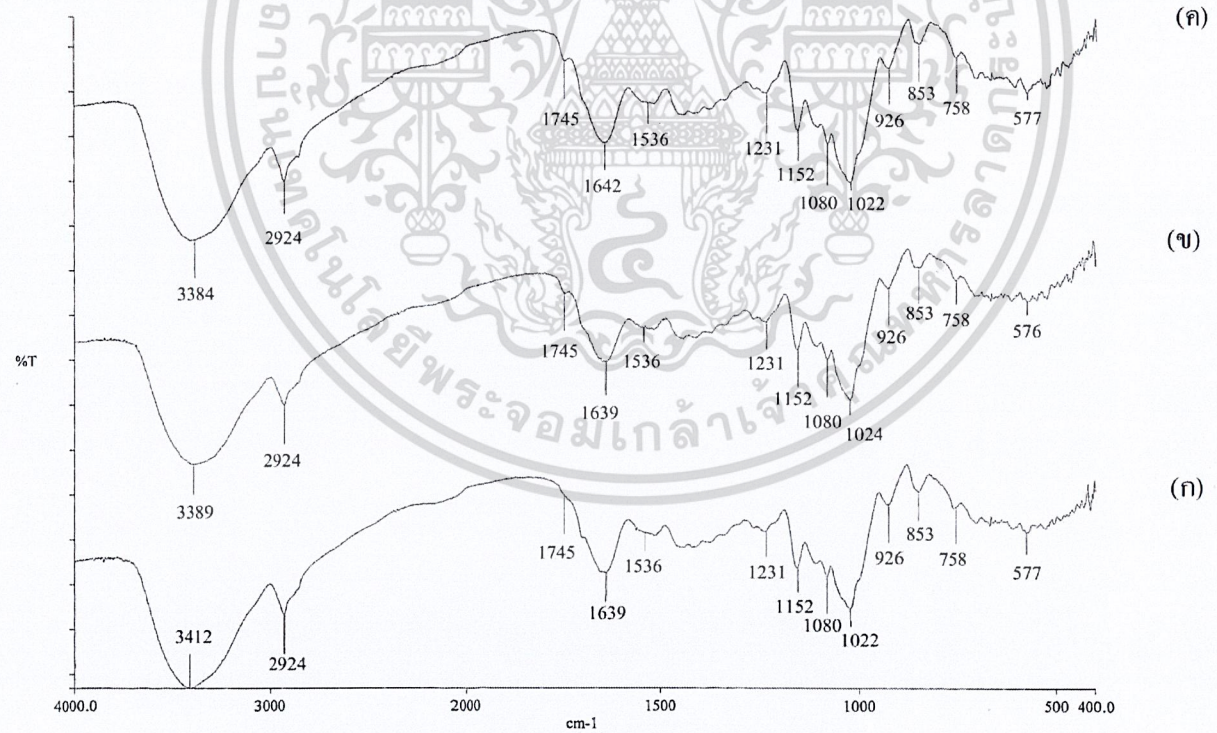


รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกทรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกทรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง ในอัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกทรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง ในอัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงสเปกตรัมของร้อยละการส่งผ่านแสงของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง โดยในช่วง 3500-3250 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ OH-stretching ของแป้ง แถบพีคช่วง 3000-2800 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ CH-stretching ของ CH_2 และ/หรือ CH_3 ของแป้ง แถบพีคที่ 1460 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ OH-bending ของแป้ง [49] เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนของแป้งผสมที่ 10% และ 20% โดยน้ำหนัก พบว่ามีพีค 1745 cm^{-1} มีความเข้มเพิ่มขึ้น (จากรูป 4.1 (ข)-(ค)) ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C═O stretching ของแป้งถั่วเหลือง เนื่องจากแป้งถั่วเหลืองมีหมู่ฟังก์ชั่นของหมู่คาร์บอกซิล (- COOH)

สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันปะหลัง (รูปที่4.1(ก)) และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.2 (ก)) พบว่าพีคที่ 3440 cm^{-1} และ 1460 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นแบบ OH-stretching และ OH-bending โดยเมื่อเติมเส้นใยฝ้ายในแป้งมันสำปะหลัง พบว่าพีคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง (รูปที่ 4.2 (ก)) นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.2 (ข)-(ค)) พบว่าพีคที่แสดงลักษณะการสั่นแบบ OH-stretching และ OH-bending เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมที่มีการเคลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ลดลงนี้ แสดงให้เห็นว่าเกิดอันตรกิริยาทางเคมีขึ้น โดยมีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นใหม่ระหว่างแป้งและเส้นใยฝ้ายที่เติมลงไป [48] และพบพีคที่ 1410 cm^{-1} และ 723 cm^{-1} ปรากฏเพิ่มขึ้นมาเมื่อเติมเส้นใยฝ้าย ซึ่งพีคที่ 1410 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ CH wagging [49] และพีคที่ 723 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นแบบ CH_2 rocking [50]

เมื่อพิจารณาตำแหน่ง สเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลัง (รูปที่ 4.3 (ก)) กับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 10% (รูปที่ 4.3 (ก)) พบว่ามีพีคที่ 1536 cm^{-1} และ 1231 cm^{-1} ปรากฏเพิ่มขึ้นมา และพีคที่ 758 cm^{-1} มีความเข้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.3 (ข)-(ค)) พบว่าเกิดพีคที่ตำแหน่ง 1536 cm^{-1} และ 1231 cm^{-1} เช่นเดียวกัน โดยที่ตำแหน่งพีคที่เกิดขึ้นใหม่ คือ พีคที่ 1536 cm^{-1} ซึ่งแสดงลักษณะการสั่นของ N–H bending (amide II) และแถบพีคที่ 1231 cm^{-1} แสดงลักษณะการสั่นของ N–H bending (amide III) [51] ซึ่ง amide II และ amide III เป็นโครงสร้างในหน่วยซ้ำของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

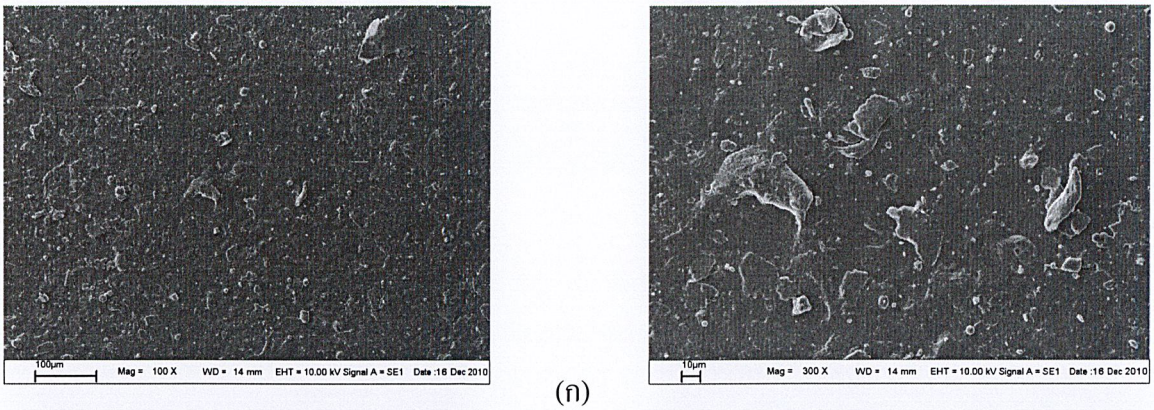
4.3 การทดสอบสัณฐานวิทยา

ผลการทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy , SEM) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่กำลังขยาย 100 เท่า (ภาพด้านซ้าย) และ 300 เท่า (ภาพด้านขวา) ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

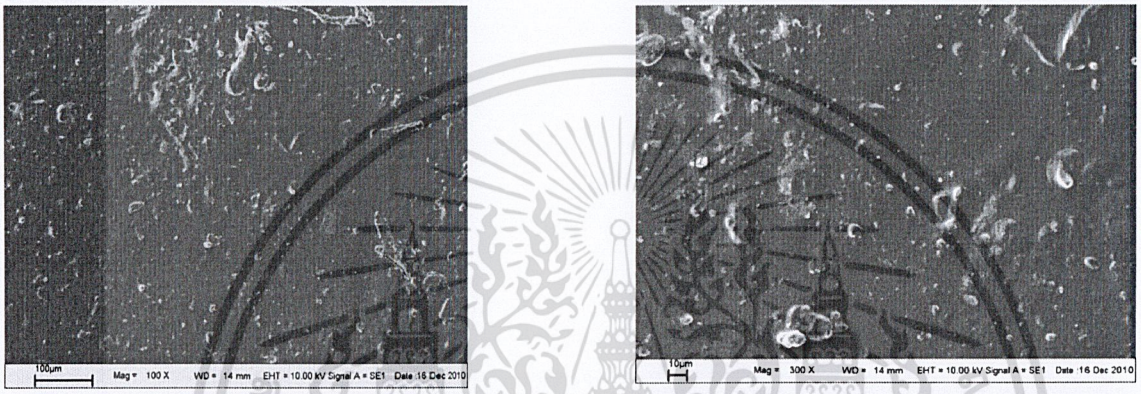
จากภาพพื้นผิวใน รูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งถั่วเหลืองในแป้งผสมมากขึ้นทำให้ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน 40% และคาร์โบไฮเดรต 35% (อะไมโลสและอะไมโลเพคติน) [2] ทำให้องค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตในแป้งถั่วเหลืองที่มีสัดส่วนน้อยกว่าในแป้งมันสำปะหลัง ทำให้เกิดความเข้ากันได้น้อย ลักษณะของพื้นผิวจึงมีความขรุขระมากขึ้นเมื่อใช้แป้งถั่วเหลืองในปริมาณเพิ่มขึ้น

จากภาคตัดขวางในรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งถั่วเหลืองในแป้งผสมมากขึ้นทำให้ชิ้นงานมีความขรุขระเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่ไม่พบรอยแตกหรือรอยแยกระหว่างวัฏภาคของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลือง

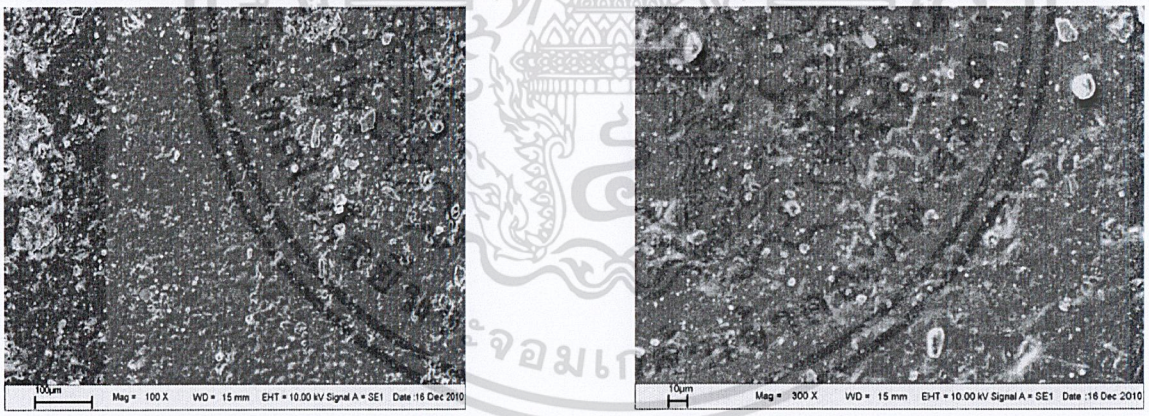
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



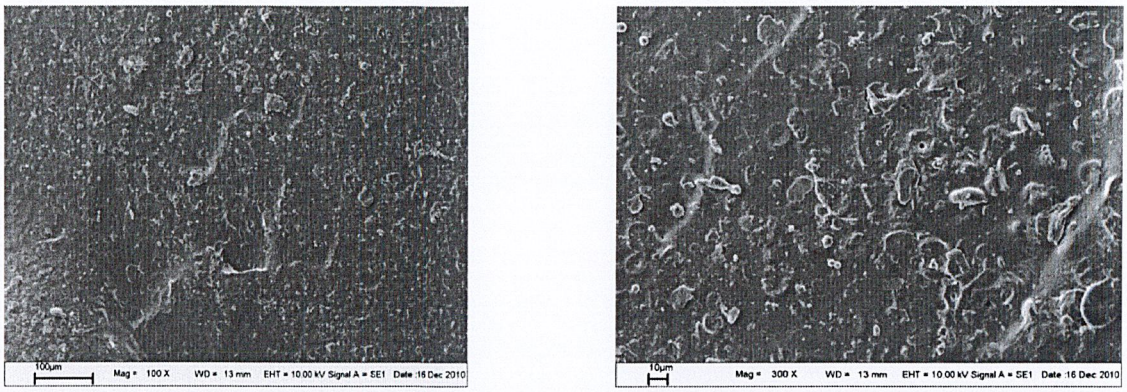
(ข)



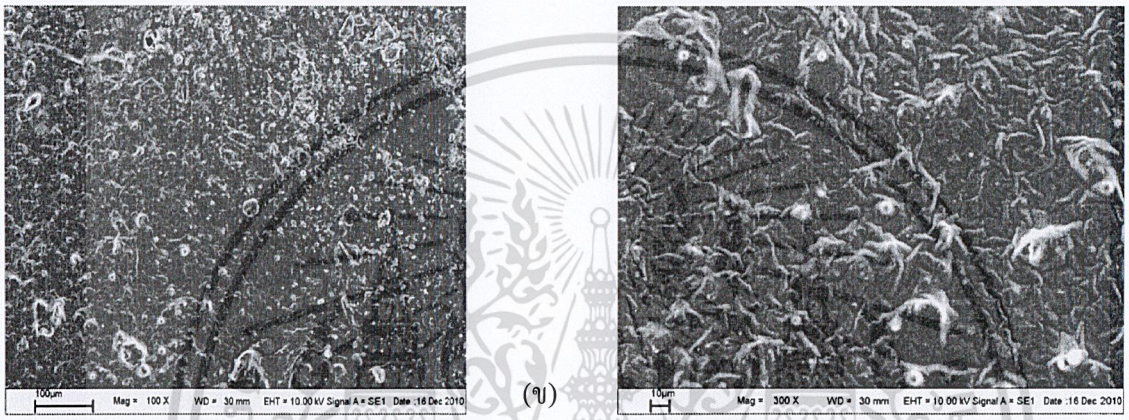
(ค)

รูปที่ 4.4 พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20

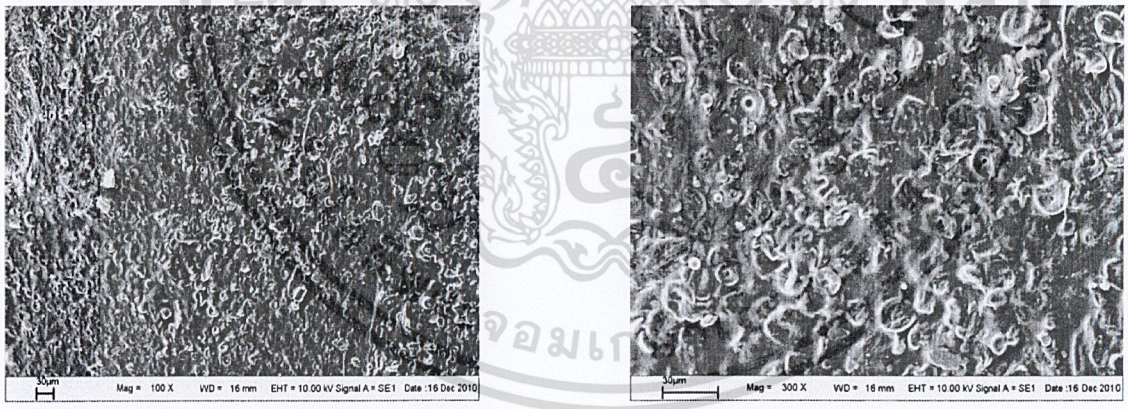
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

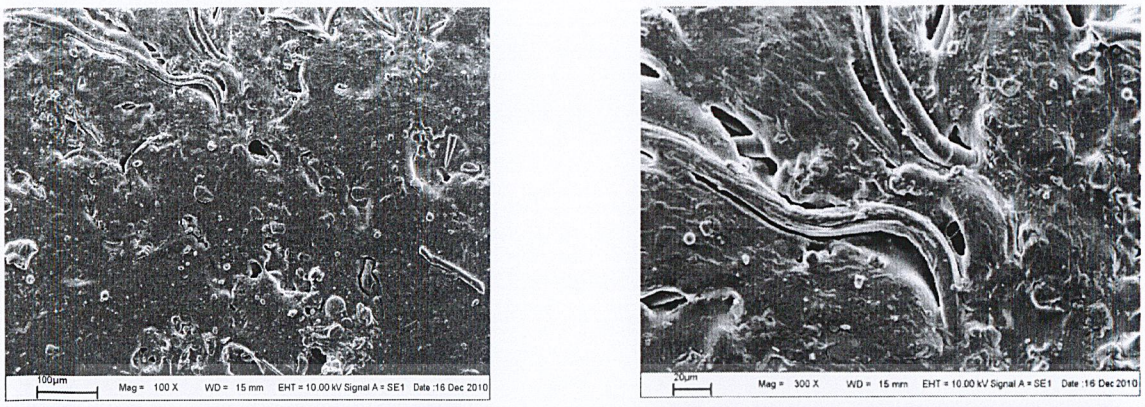
รูปที่ 4.5 ภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง ในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพื้นผิวในรูปที่ 4.6 (ก) เมื่อเพิ่มเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรงพบเส้นใยฝ้ายกระจายตัวและฝังอยู่ในอนุภาคของแป้งมันปะหลัง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองมากขึ้น (รูปที่ 4.6 (ข)-(ค)) สังเกตเห็นเส้นใยฝ้ายบางส่วนลอยอยู่บนพื้นผิวและบางส่วนฝังอยู่ในเมทริกซ์ของแป้ง เนื่องจากองค์ประกอบของเส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสมีความเข้ากันได้น้อยกว่ากับองค์ประกอบของโปรตีน ที่มีปริมาณมากกว่าในแป้งถั่วเหลือง และในทุกตัวอย่างพบวัฏภาคของแป้งปกคลุมพื้นผิวของเส้นใย (Surface wetting) แสดงถึงการยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างแป้งและเส้นใยฝ้าย

จากภาคตัดขวางในรูปที่ 4.7 พบว่าในทุกๆอัตราส่วนมีอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองเกาะติดบนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย และพบเส้นใยฝ้ายฝังอยู่ในพื้นผิวของแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตในแป้งมันสำปะหลังกับเซลลูโลสในเส้นใยฝ้าย ส่วนรูปที่ 4.7 (ข) และ (ค) สังเกตว่าเส้นใยฝ้ายอยู่เป็นอิสระมากกว่า แต่ยังคงพบอนุภาคแป้งเกาะบนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย

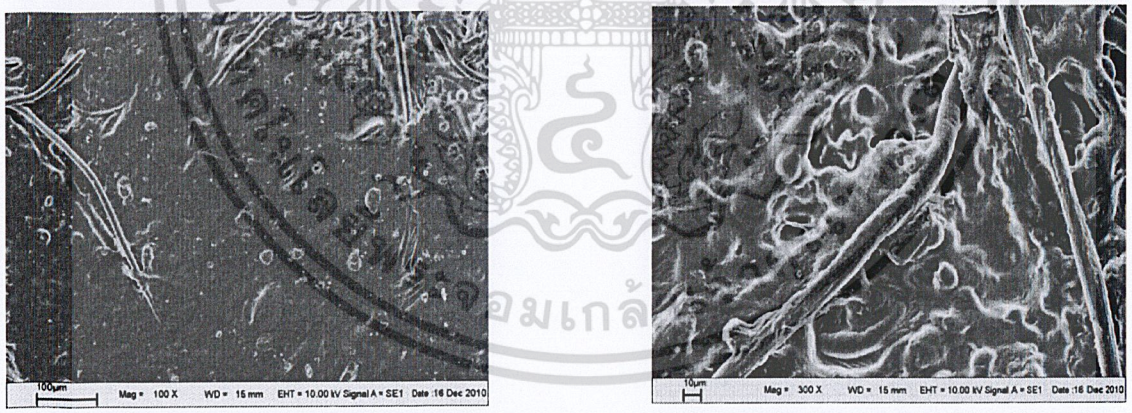
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



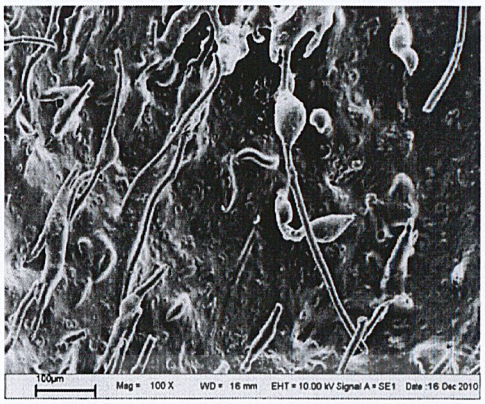
(ข)

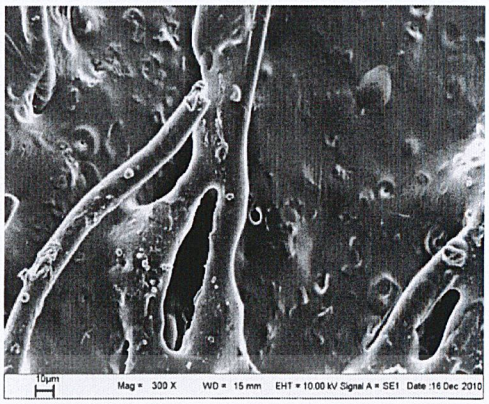


(ค)

รูปที่ 4.6 พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง

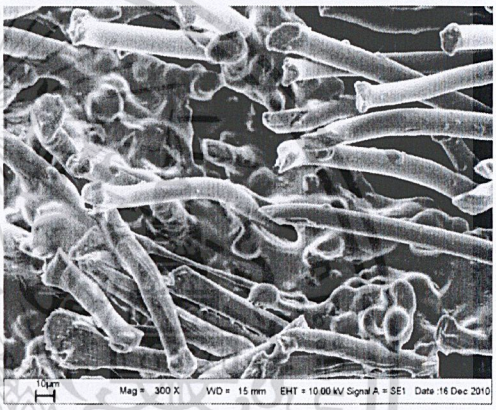
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



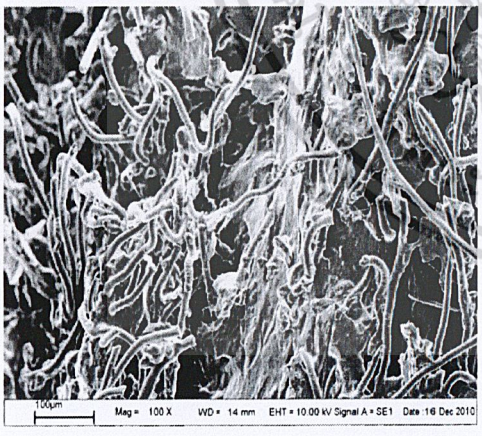


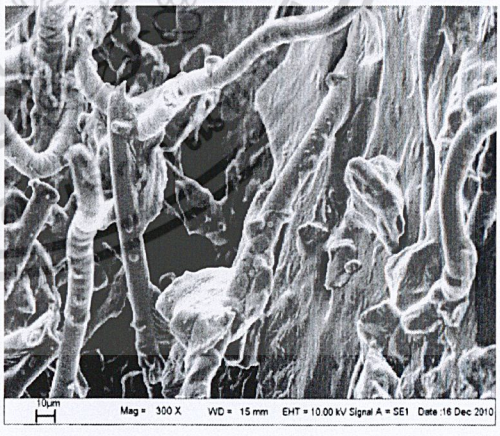
(ก)





(ข)





(ค)

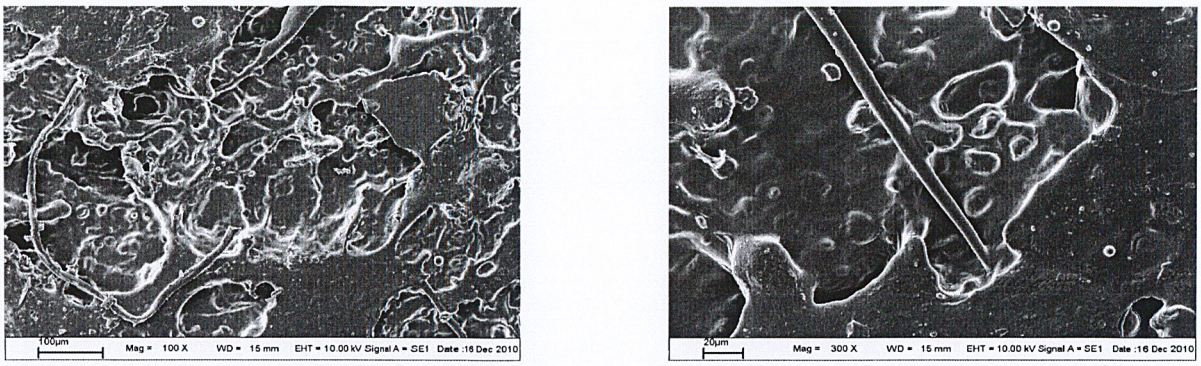
รูปที่ 4.7 ภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

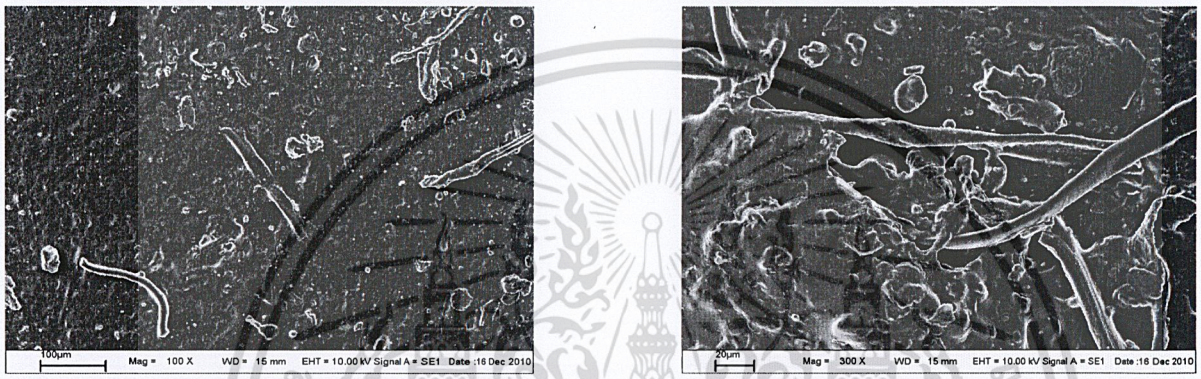
เมื่อเพิ่มเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง (รูปที่ 4.8) จากพื้นผิว พบเส้นใยไหมฝังและลอยอยู่บนพื้นผิวของแป้งในทุกอัตราส่วน และมีอนุภาคแป้งเกาะที่พื้นผิวของเส้นใยไหม

จากภาคตัดขวางเมื่อใช้เส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรงพบว่า เส้นใยไหมกระจายตัวและฝังอยู่ในพื้นผิวของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในทุกสูตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 มีลักษณะของ Surface wetting ในทุกตัวอย่าง และไม่พบช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคของแป้งและเส้นใยไหม แสดงความเข้ากันได้ดีระหว่างแป้งและเส้นใยไหม แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 พบช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการหลุดออกของเส้นใยไหมในภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในอัตราส่วน 80:20 ซึ่งไม่พบในภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในอัตราส่วน 100:0 และ 90:10

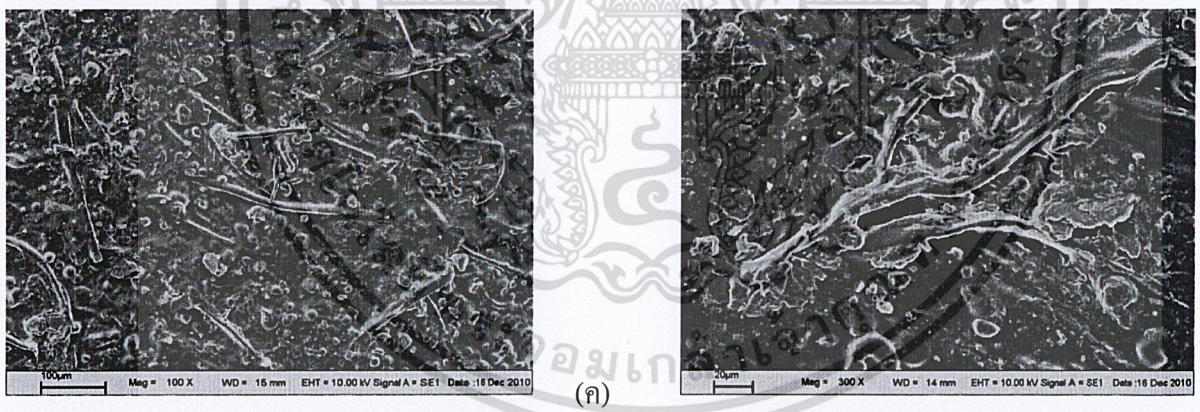
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



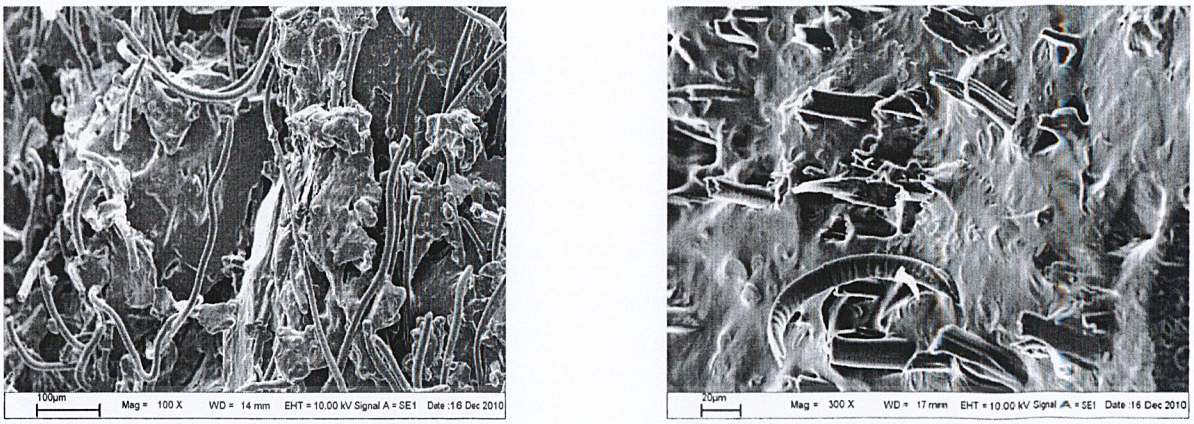
(ข)



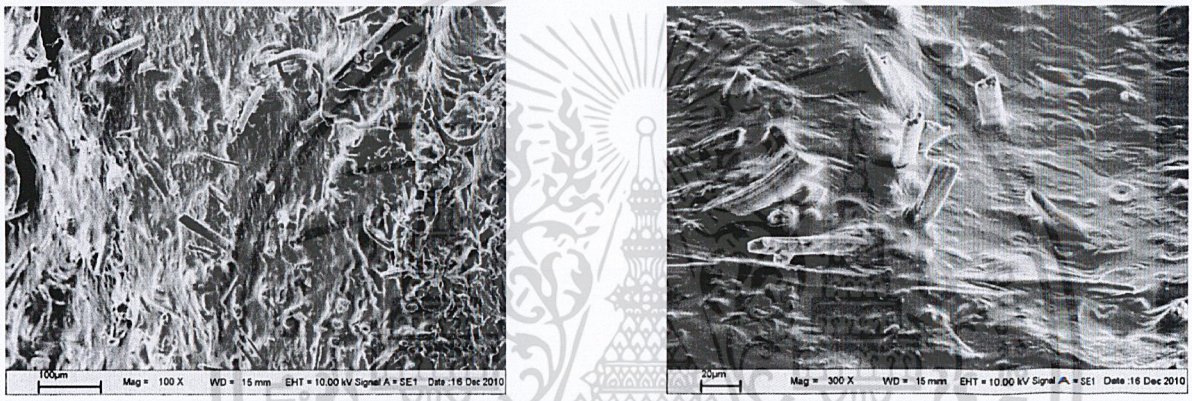
(ค)

รูปที่ 4.8 พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

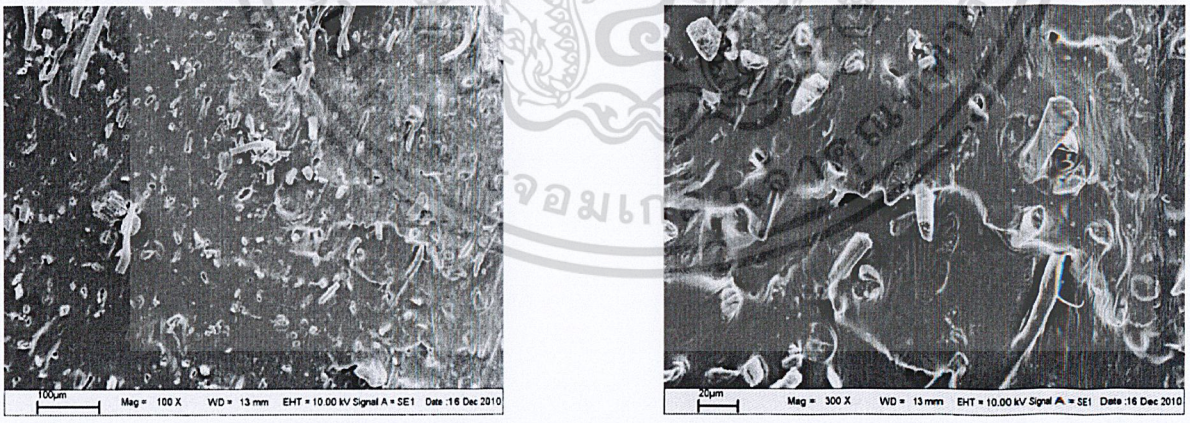
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



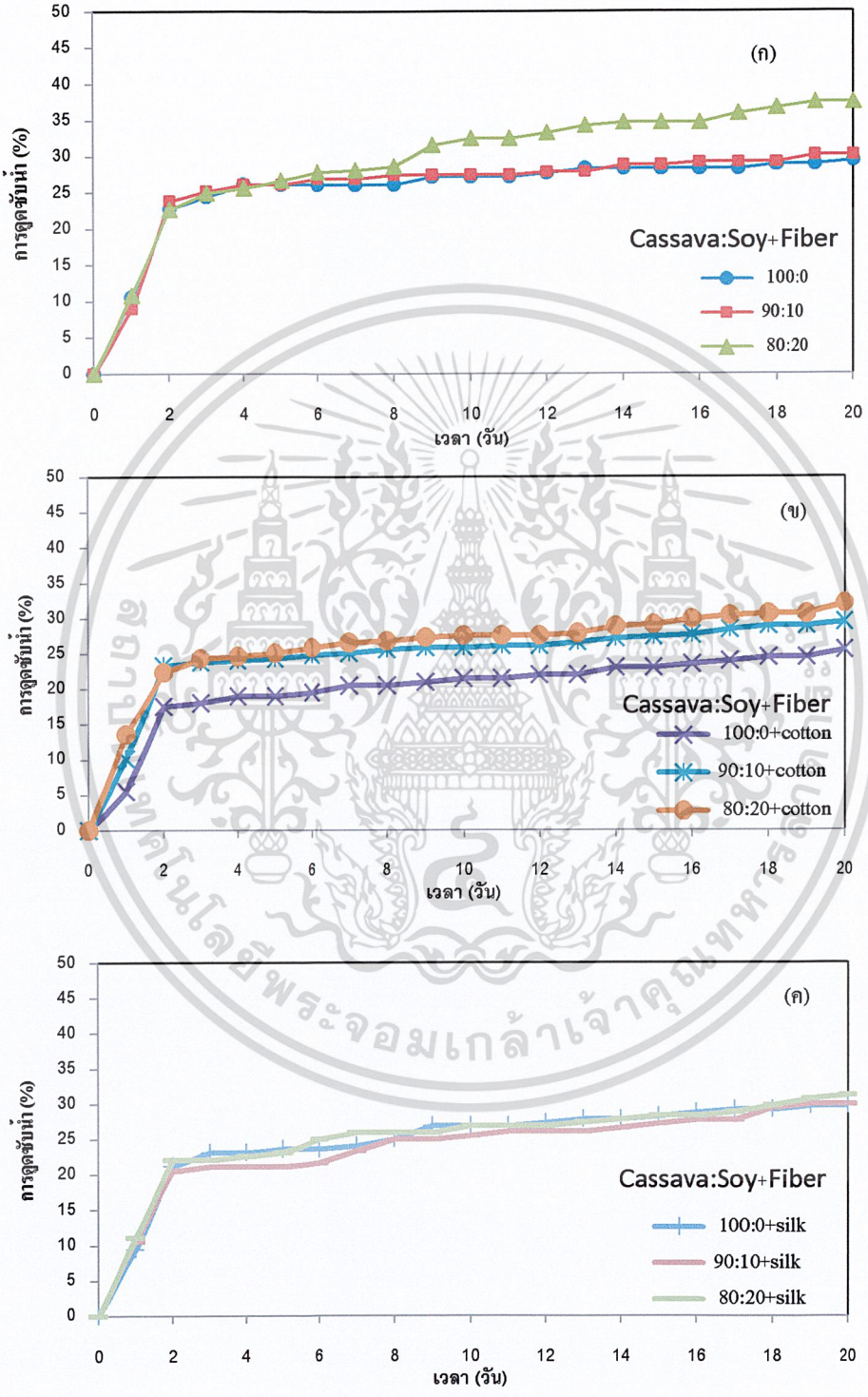
(ค)

รูปที่ 4.9 ภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง ในอัตราส่วนต่าง ๆ (ก) 100:0 (ข) 90:10 และ (ค) 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การดูดซับน้ำ

4.4.1 ผลของแป้งถั่วเหลืองที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช



รูปที่ 4.10 ผลของแป้งถั่วเหลืองที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของเทอร์โมพลาสติก-สตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 , 90:10 และ 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

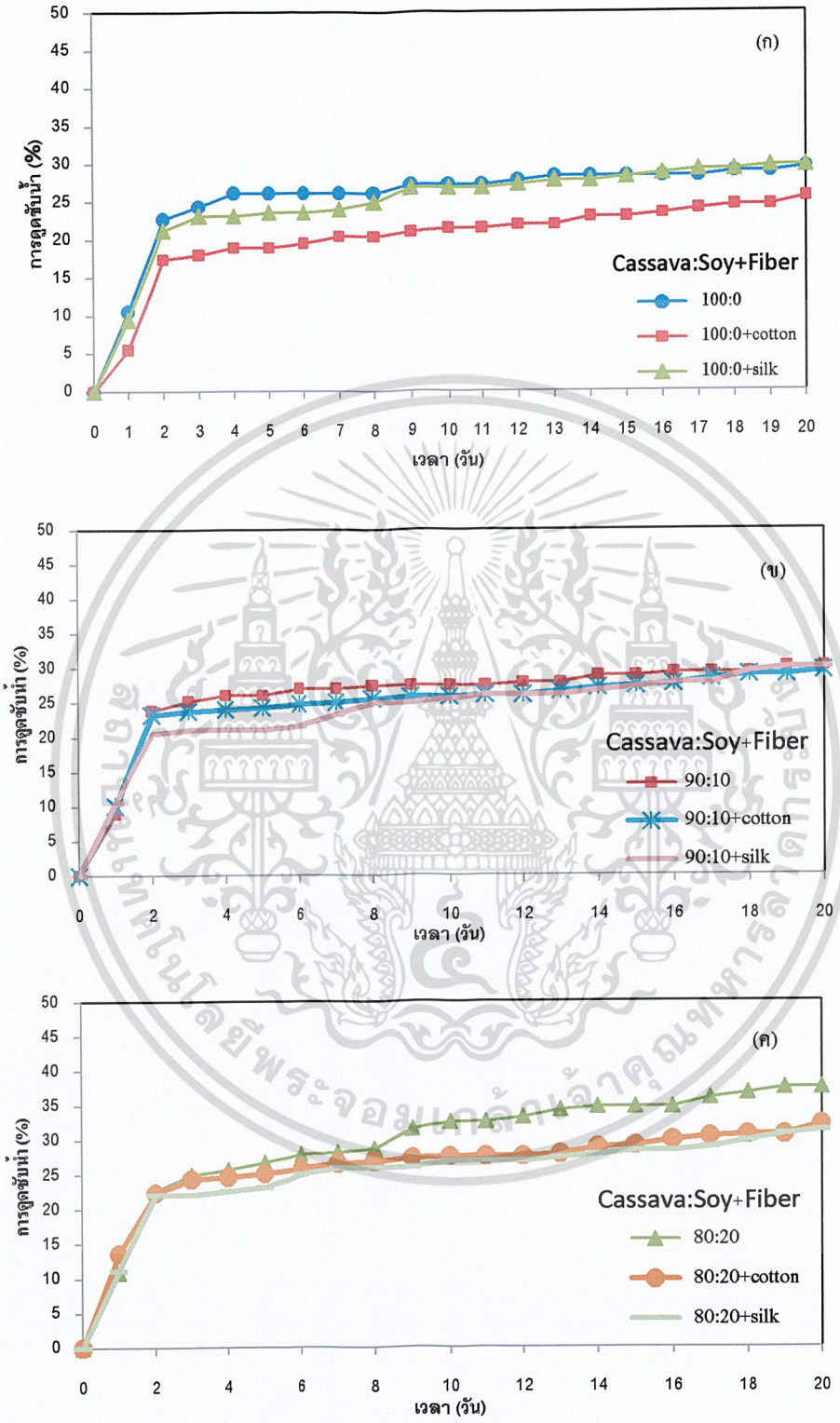
จากรูปที่ 4.10 (ก) แสดงผลการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลืองต่างๆ ได้แก่ 100:0 90:10 และ 80:20 พบว่าชิ้นงานดูดซับน้ำมากในช่วง 2-3 วันแรกของการทดสอบและการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งพิจารณาจากรูปที่ 4.10 (ก) พบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำมีค่าสูงขึ้น กล่าวคือ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลืองเท่ากับ 80:20 ดูดซับน้ำมากที่สุด เนื่องจากโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองสามารถดูดซับน้ำได้ดี [52] รองลงมา คือ ที่อัตราส่วน 90:10 และ 100:0

จากรูปที่ 4.10 (ข) เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง พบว่า ที่อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 มีค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้น ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสมีความเข้ากันได้น้อยกับองค์ประกอบของโปรตีน ที่มีปริมาณมากกว่าในแป้งถั่วเหลือง เมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.6-4.7) พบว่าเส้นใยฝ้ายลอยอยู่บนพื้นผิวของแป้งและมีช่องว่างระหว่างวัฏภาคของเส้นใยฝ้ายกับเมทริกซ์ของแป้ง ทำให้น้ำแทรกผ่านช่องว่างนั้นส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง โดยเติมเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรงจากรูป 4.10 (ค) พบว่าที่อัตราส่วน 80:20 มีค่าการดูดซับน้ำน้อยที่สุด จากสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.8 และ4.9 พบว่ามีความเข้ากันได้ดีระหว่างแป้งถั่วเหลืองกับเส้นใยไหม โดยเส้นใยไหมฝังตัวอยู่ในเมทริกซ์ของแป้งทำให้ไม่พบช่องว่างระหว่างวัฏภาค (รูปที่4.8 และ 4.9) ในทางกลับกันที่อัตราส่วน 90:10 และ 100:0 ดูดซับน้ำมากกว่าเนื่องจากแป้งไม่เข้ากับเส้นใยไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลของเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช



รูปที่ 4.11 ผลของเส้นใยที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการดูดซับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 90:10 และ 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 (ก)-(ค) เปรียบเทียบเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่ไม่ได้ปรับปรุงและมีการปรับปรุงโดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง พบว่าแป้งผสมที่ไม่มีการเติมเส้นใยมีค่าการดูดน้ำสูงที่สุด เนื่องจากแป้งมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ในช่วง 11.5-13% [52],[53] เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยไหมที่มีค่าการดูดซับน้ำประมาณ 11% [54] และเส้นใยฝ้ายที่มีค่าการดูดซับน้ำประมาณ 7-8% เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองเป็น 100:0 และ 90:10 พบว่าแป้งผสมที่ไม่ได้เติมเส้นใยมีค่าการดูดซับน้ำสูงสุด รองลงมาคือ แป้งผสมที่เติมเส้นใยไหมและเส้นใยฝ้ายตามลำดับ (รูปที่ 4.11 (ก) และ (ข)) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณถั่วเหลืองที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองเป็น 80:20 (รูปที่ 4.11 (ค)) ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชลดลงเนื่องจากความเข้ากันได้ของแป้งถั่วเหลืองกับเส้นใยไหม (รูปที่ 4.8 และ4.9)

จากผลการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง พบว่าที่อัตราส่วน 80:20 มีการดูดซับน้ำมากที่สุด และอัตราส่วน 100:0 ที่มีการเติมเส้นใยฝ้ายดูดซับน้ำน้อยที่สุด โดยความสามารถในการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชขึ้นกับ ปริมาณของแป้งถั่วเหลืองในแป้งผสม ชนิดของเส้นใย และความเข้ากันได้ของเส้นใยไหมกับแป้งผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สมบัติเชิงกล

การศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง โดยใช้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีอยู่ทั่วไปในปริมาณมาก อีกทั้งเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมมีการจัดเรียงตัวที่ดีส่งผลให้เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมมีความแข็งแรง เหนียว สามารถรับแรงได้ดีในแนวเส้นใย แต่เส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมยังมีสมบัติบางประการที่แตกต่างกันเช่น ความสามารถในการยืดตัวออก และการคืนตัว เป็นต้น [33] ดังนั้นเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เพื่อศึกษาถึงผลของปริมาณเส้นใยและชนิดของเส้นใยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีเส้นใยผสมและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีเส้นใยฝ้าย และเส้นใยไหมผสมอยู่ในปริมาณ 5% 10% และ 15 % โดยน้ำหนักให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.15

4.5.1 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองที่ใช้มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จึงเลือกศึกษาที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลือง 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง มอดุลัส การดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง (100:0) แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มขึ้น (ภาพจาก SEM รูปที่ 4.4(ก)-(ค) และ 4.5(ก)-(ค)) เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลส 18-24% สูงกว่าแป้ง ถั่วเหลืองซึ่งองค์ประกอบของแป้งถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีน 40% และคาร์โบไฮเดรต 35% (อะไมโลสและอะไมโลเพคติน) [2] ทำให้เกิดความเข้ากันได้น้อยและปริมาณอะไมโลสที่สูงกว่า ทำให้ชิ้นงานมีลักษณะแข็งเปราะ ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งถั่วเหลืองเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสลดลง(รูปที่ 4.12 (ก)-(ค)) สำหรับการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (รูปที่ 4.12 (ง)-(จ)) มีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณถั่วเหลือง ทำให้ปริมาณอะไมโลสลดลงทำให้ความแข็งแรงจึงลดลง

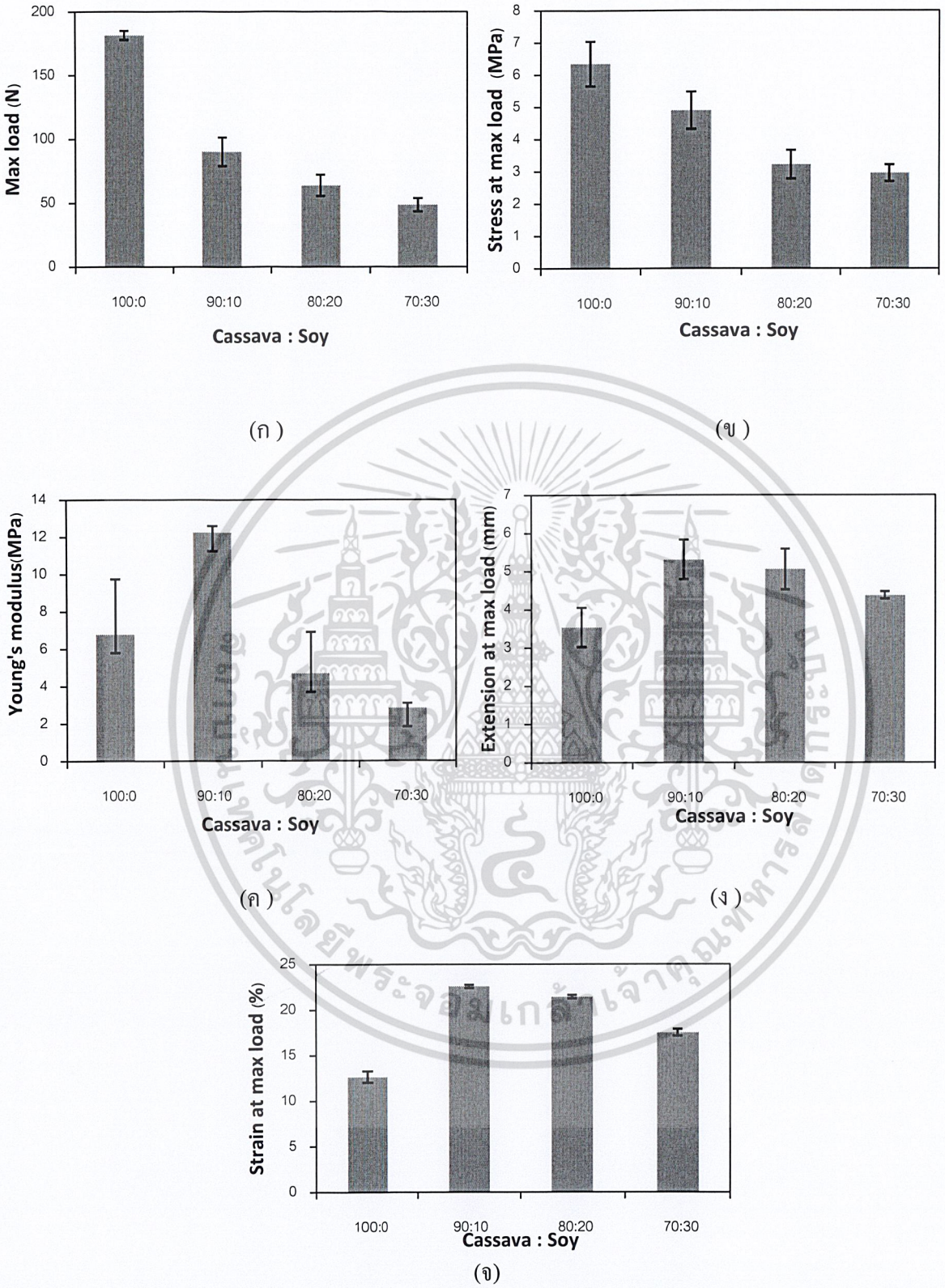
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลัง (100:0) แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ (รูปที่ 4.13) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยฝ้าย 5% และ 10% ค่าแรงดึงความแข็งแรงดึง และมอดุลัสเพิ่มมากขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.13 (ก)-(ค)) เนื่องจากเส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงมีมอดุลัสสูงกว่าเมทริกซ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และสามารถทนแรงดึงตามแนวแกนเส้นใยได้ดี [33] นอกจากนี้เส้นใยฝ้ายสามารถเกิดอัตรกิริยากับแป้งมันสำปะหลัง โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยฝ้าย ซึ่งแป้งมันสำปะหลังและเส้นใยฝ้ายมีโครงสร้างที่คล้ายกันทำให้สามารถเข้ากันได้ดี เนื่องจากมีความมีขั้วเหมือนกันซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของพีกสเปกทรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ที่ตำแหน่ง OH-stretching และ OH-bending พีคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง (รูปที่ 4.1 และ 4.2) แต่เมื่อมีปริมาณเส้นใยฝ้ายเพิ่มมากขึ้นที่ปริมาณ 15%โดยน้ำหนัก พบว่าสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีแนวโน้มลดลง ได้แก่ แรงดึงความแข็งแรงดึง และมอดุลัส เนื่องมาจากปริมาณเส้นใยที่มากเกินไปส่งผลให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอในเมทริกซ์ของเนื้อแป้งทำให้ไม่สามารถส่งผ่านแรงที่รับมาได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การรับแรงลดลง (รูปที่ 4.14)

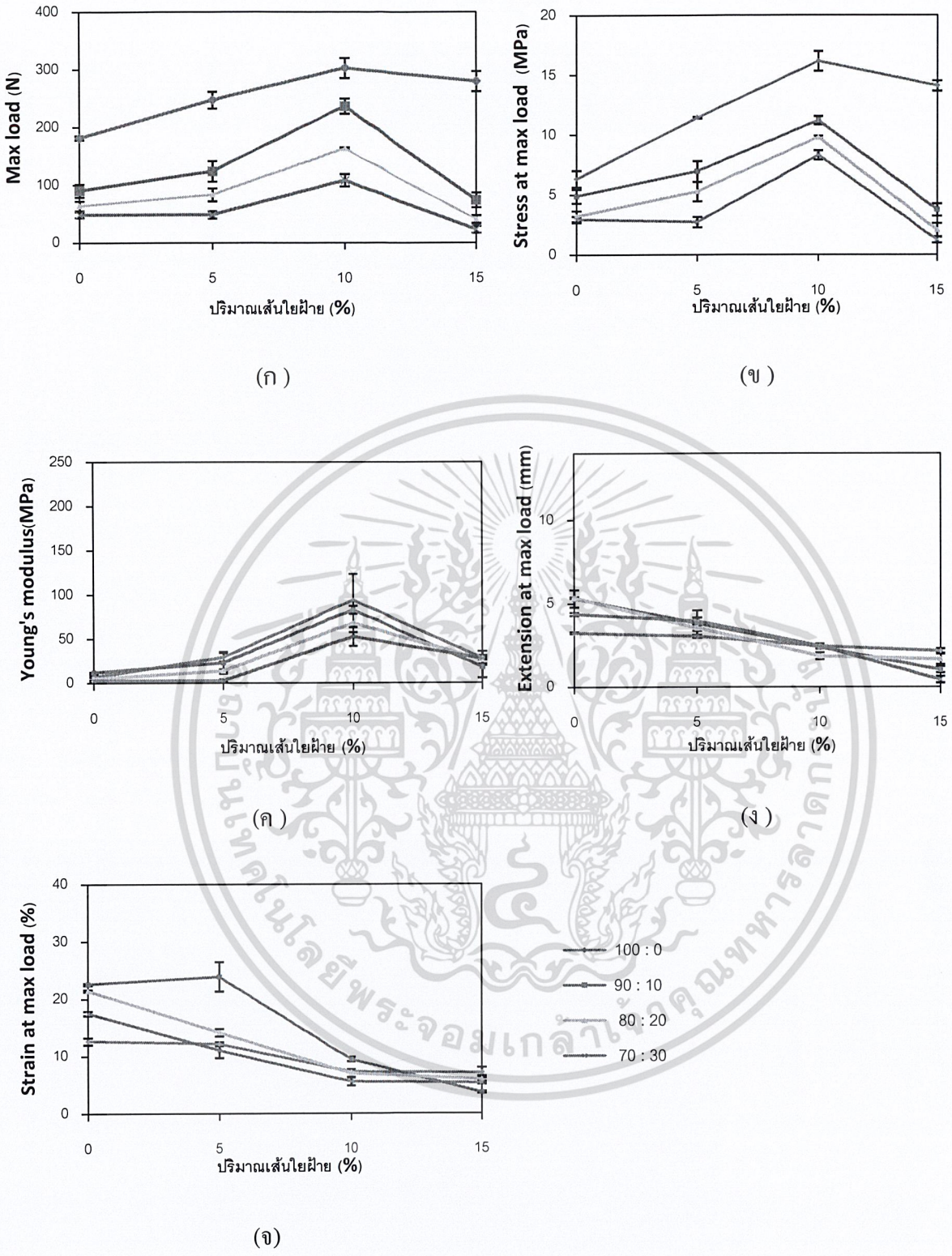
ส่วนการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (รูปที่ 4.13 (ง)-(จ)) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยฝ้ายทำให้ชิ้นงานมีความแข็งและแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมบัติของเส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการยืดตัวออกและมีการคืนตัวที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีการเติมเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองเสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

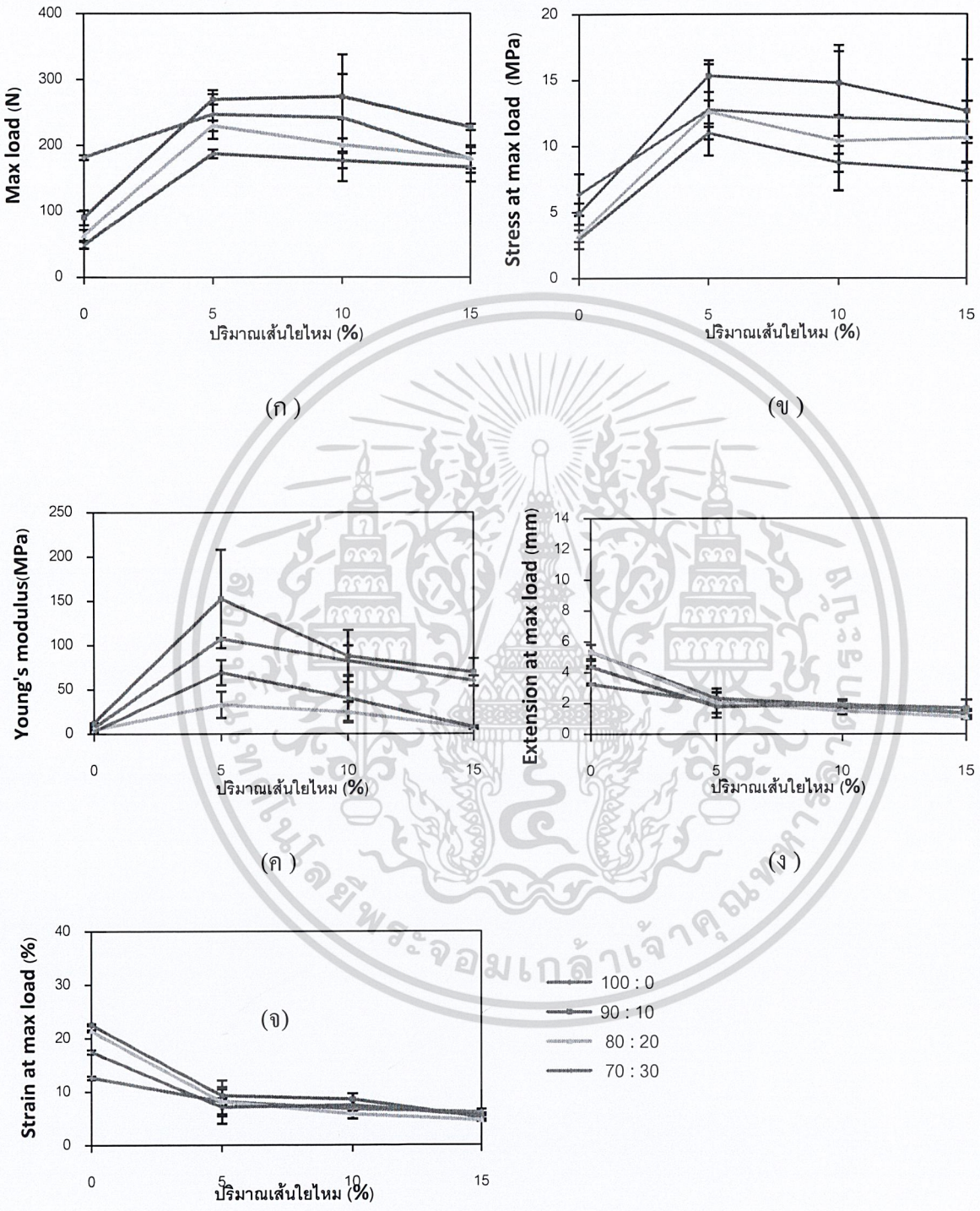


รูปที่ 4.14 พื้นผิวเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนักที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วน 15% โดยน้ำหนัก

จากสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลือง ที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายในปริมาณต่างๆ พบว่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลือง ส่วนการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณถั่วเหลืองปริมาณอะไมโลสลดลงจึงทำให้ความแข็งแรงลดลง และเส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสมีความเข้ากันได้กับแป้งถั่วเหลืองที่มีปริมาณโปรตีนสูงได้น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลัง

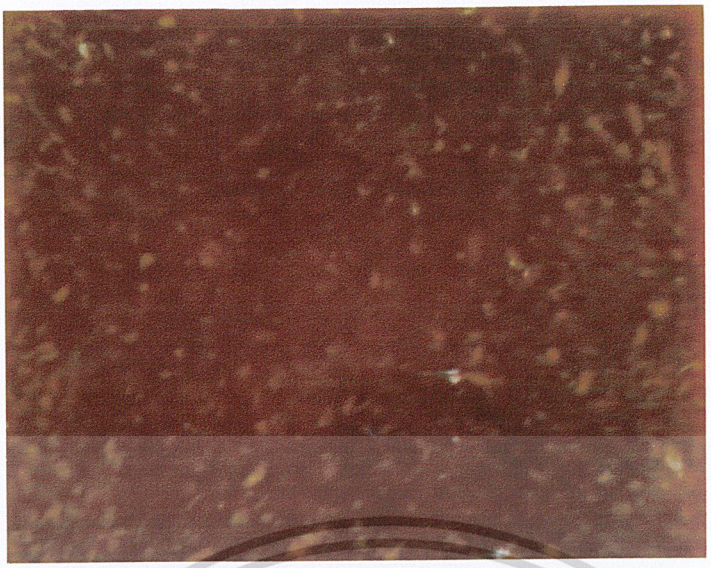
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหม



รูปที่ 4.15 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 พื้นผิวเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนักที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมในอัตราส่วน 15% โดยน้ำหนัก

จากความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลัง (100:0) แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมในปริมาณต่างๆ (รูปที่ 4.15) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไหม แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสเพิ่มมากขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยไหม 5% โดยน้ำหนัก และที่ปริมาณเส้นใยไหม 10% โดยน้ำหนักพบว่าค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมีค่าใกล้เคียงกันที่ปริมาณเส้นใยไหม 5% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.15 (ก)-(ค)) เนื่องจากเส้นใยไหมสามารถเกิดอัตรกิริยากับแป้งมันสำปะหลังได้ โดยสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งมันสำปะหลังกับหมู่เอมีนของเส้นใยไหม และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอนิลของแป้งถั่วเหลืองกับหมู่เอมีนของเส้นใยไหม ซึ่งสอดคล้องกับตำแหน่งของพีกสเปกทรัมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ที่ตำแหน่ง OH-stretching และ OH-bending พีคที่ตำแหน่งนี้เกิดการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองที่ไม่มีการเติมเส้นใยไหม (รูปที่ 4.1 และ4.3) นอกจากนี้แป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองสามารถรวมเป็นวัฏภาคเดียวกันกับเส้นใยไหมได้ดี เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นโปรตีนและมีสมบัติความมีขั้วเหมือนกัน โดยไม่พบช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคของแป้งและเส้นใยไหม ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ดีระหว่างแป้งและเส้นใยไหม (ภาพจาก SEM รูปที่ 4.8 (ก)-(ค) และ 4.9 (ก)-(ค)) แต่เมื่อมีปริมาณเส้นใยไหมเพิ่มมากขึ้นที่ปริมาณ 15% โดยน้ำหนักพบว่าสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ลดลง ได้แก่ แรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส เนื่องมาจากปริมาณเส้นใยที่มากเกินไป ส่งผลให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

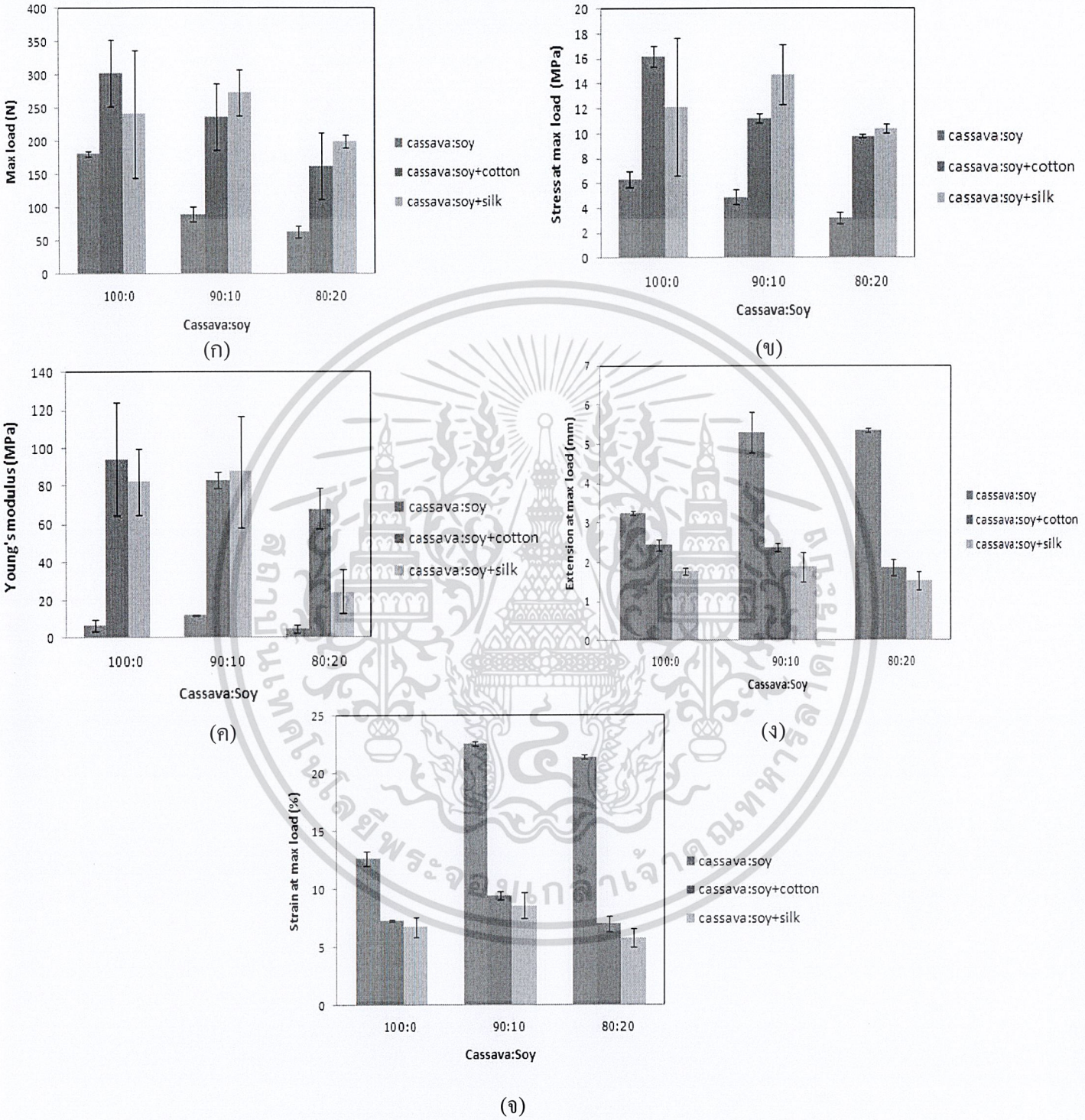
ในเมทริกซ์ของเนื้อแป้ง (รูปที่4.16) ทำให้ไม่สามารถส่งผ่านแรงที่รับมาได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การรับแรงลดลง

ส่วนการดึงยืด และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (รูปที่ 4.15 (ง)-(จ)) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไหม ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งและความแข็งแรง เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีการเติมเส้นใยฝ้าย ทำให้ความสามารถในการยืดออกและความสามารถในการเปลี่ยนรูปเป็นไปได้ยากกว่า

จากสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถสรุปได้ว่า เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง(100:0) แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมในปริมาณ 0% 5% 10% และ 15% พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหม มีค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสมากกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย เนื่องจากเส้นใยไหมสามารถเกิดอัตรกิริยากับแป้งถั่วเหลืองได้ดีกว่าเส้นใยฝ้ายโดยสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งถั่วเหลืองกับหมู่เอมีนของเส้นไหมได้ นอกจากนี้เส้นใยไหมเป็นเส้นใยโปรตีน(Fibrous protein) ซึ่งประกอบด้วยโซ่พอลิเพปไทด์เป็นเส้นยาวขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) มีความแข็งแรงและเหนียวสมบัติในการยืดตัวออกการคืนตัวมากกว่าเส้นใยฝ้าย จึงทำให้การยืดหยุ่นดีกว่า [33] จึงทำให้สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมมีค่ามากกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน (90:10) (80:20) และ (70:30) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยฝ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆโดยมีเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง ในปริมาณ 10%



รูปที่ 4.17 สมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยมีเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง ในปริมาณ 10% (ก) แรงดึง (ข) ความแข็งแรงดึง (ค) มอดุลัส (ง) การดึงยืด และ (จ) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 แสดงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรงในปริมาณ 10%โดยน้ำหนัก พบว่าในสูตรแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 100:0 ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงที่สุด โดยพิจารณาจากค่าแรงดึงและความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.17 (ก)-(ข)) จากนั้นสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของแป้งถั่วเหลืองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต แต่แป้งถั่วเหลืององค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นโปรตีน เมื่อผสมด้วยกันทำให้เข้ากันได้ไม่ดีนัก จึงทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง แต่แนวโน้มของการดึงยืดและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.17 (ง)-(จ))

สำหรับการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยใช้เส้นใยฝ้าย พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 100:0 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรงให้สมบัติเชิงกลสูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะเส้นใยฝ้ายซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสมีความเข้ากันได้ดีกับ อะไมโลสและอะไมโลแพคตินในแป้งมันสำปะหลัง จึงเกิดอันตรกิริยาและช่วยในการเสริมแรงทำให้สมบัติเชิงกลที่ได้ดีขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองโดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง

สำหรับการปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชโดยใช้เส้นใยไหม พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10 ให้สมบัติเชิงกลสูงที่สุด เนื่องมาจากเส้นใยไหมเป็นเส้นใยโปรตีนเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบของแป้งถั่วเหลืองซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีน ในอัตราส่วนที่พอดีจึงช่วยในการเสริมแรง รองลงมา คือ แป้งผสมในอัตราส่วน 100:0 และแป้งผสมในอัตราส่วน 80:20 ให้สมบัติเชิงกลต่ำที่สุด เนื่องจากในแป้งผสมที่มีปริมาณแป้งถั่วเหลือง 20% โดยน้ำหนัก ความเข้ากันได้ระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งถั่วเหลืองลดลง ดังแสดงได้จากสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.4 และ 4.5 นอกจากนี้ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบช่องว่างที่เกิดจากการหลุดออกของเส้นใยไหมจากเมทริกซ์ของแป้งที่อัตราส่วน 80:20

จากงานวิจัยนี้ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 100:0 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก ให้ค่าแรงดึง ความแข็งแรงดึง และมอดุลัสสูงที่สุด สมบัติเชิงกลโดยรวมมีค่าสูงสุดรองลงมาคือ เทอร์โมพลาสติกสาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสม แป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (Thermal decomposition temperature, Td) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ปรับปรุง และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมให้ผลการทดลองดังตารางที่ และรูปที่

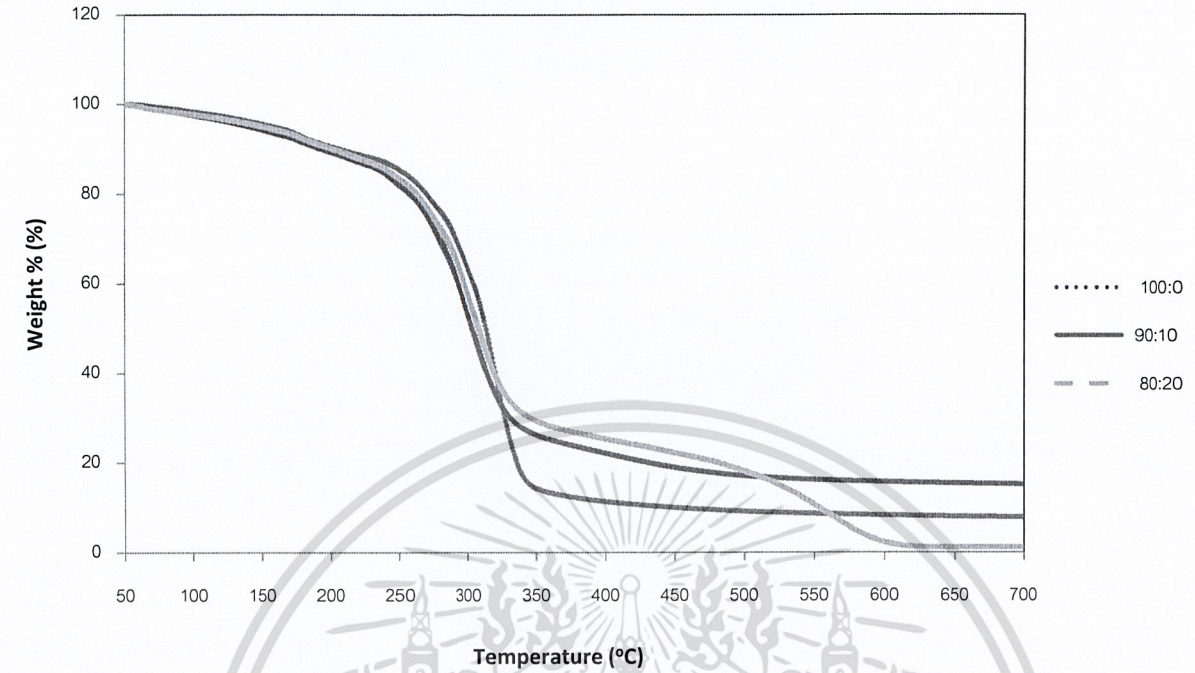
ตารางที่ 4.5 อุณหภูมิการสลายตัว (°C) ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงและไม่ได้ปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม

ตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)				
	ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)	ช่วงที่ 2 (แป้งมันสำปะหลัง +แป้งถั่วเหลือง)	ช่วงที่ 3 (เส้นใยฝ้าย)	ช่วงที่ 4 (เส้นใยไหม)	ช่วงที่ 5 (แป้งถั่วเหลือง)
100:0	116.5	315.9			
90:10	162.5	305.3			
80:20	163.5	306.2			552.4
100:0 + Cotton	191.4	335.8	434.3		
90:10 + Cotton	168.3	326.9	402.6		
80:20 + Cotton	182.4	318.7	423.1		
100:0 + Silk	168.1	318.9		577.0	
90:10 + Silk	174.5	310.5		560.5	
80:20 + Silk	163.0	304.3		541.4	

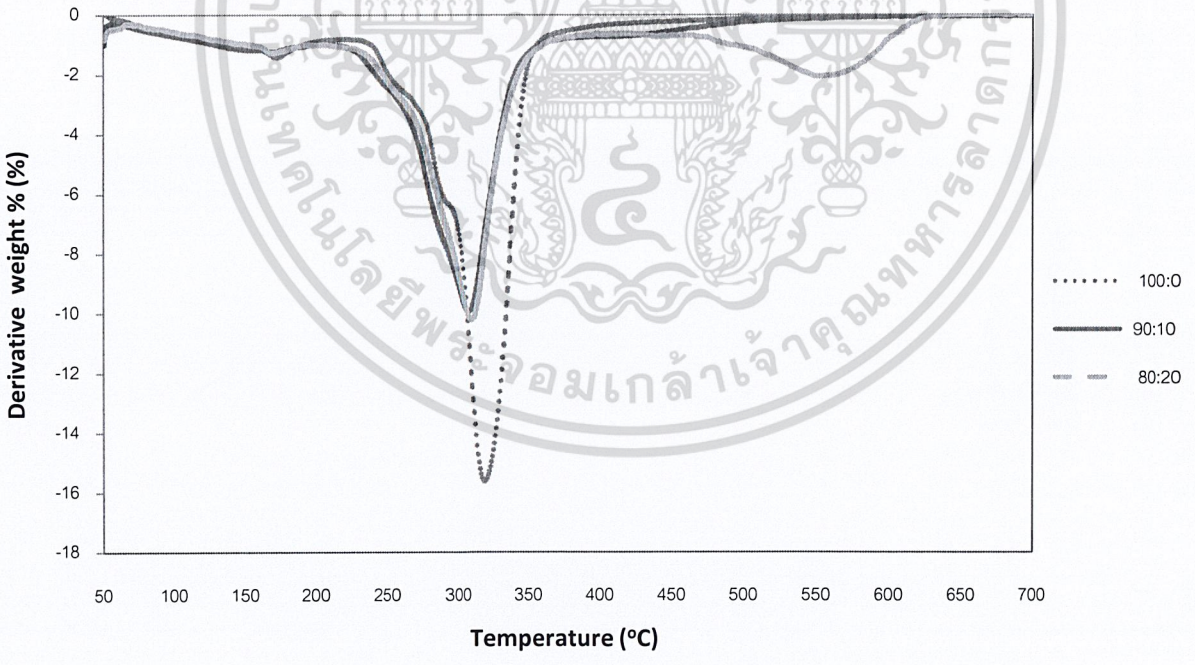
จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่มีเส้นใยเกิดการสลายตัวที่ 3 ช่วงอุณหภูมิ โดยที่ช่วงอุณหภูมิ 116.5 - 163.5 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกลีเซอรอล [55], [56] ที่อุณหภูมิ 305.3 - 315.9 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งถั่วเหลือง และเมื่อปรับปรุงเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ช่วงที่ 2) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้น สำหรับช่วงอุณภูมิ 402.6 – 434.3 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยฝ้าย [57] และในช่วงอุณหภูมิที่ 541.4.5-577.0 °C เป็นอุณภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหม [57]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 ผลของแป้งถั่วเหลืองที่ผสมในแป้งมันสำปะหลังของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช



(ก)

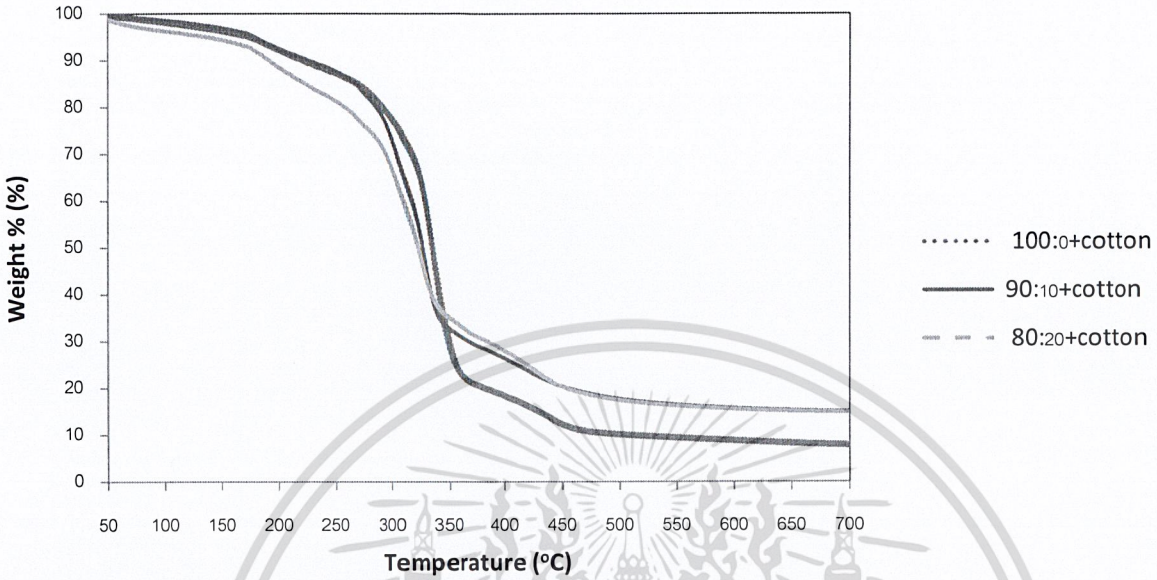


(ข)

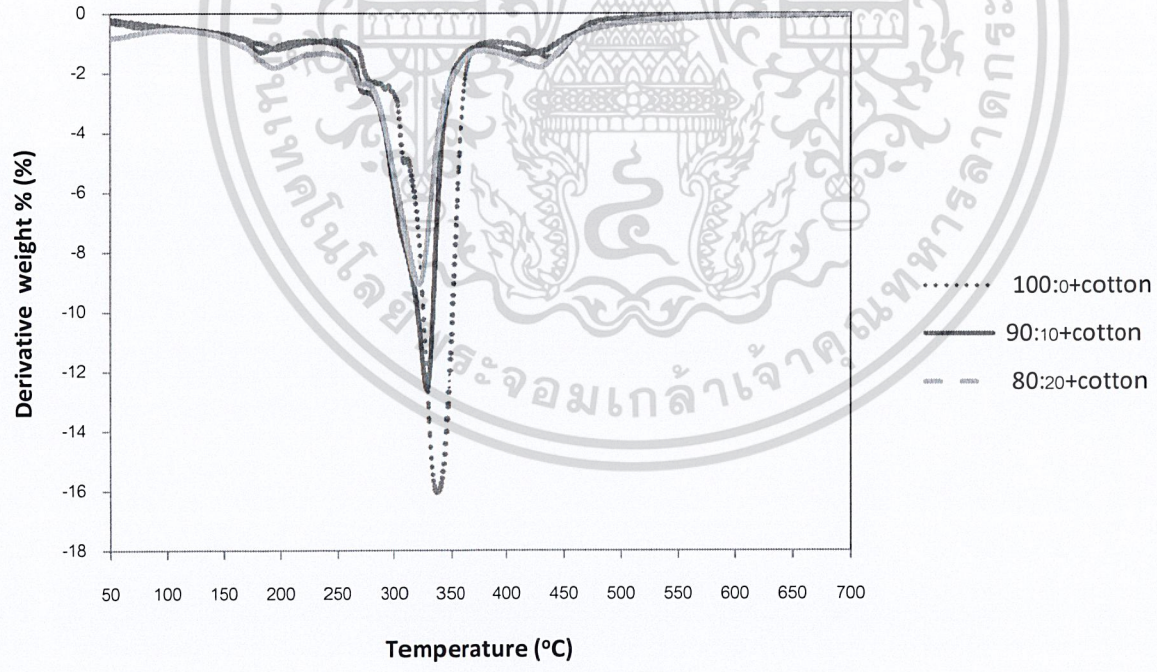
รูปที่ 4.18 (ก) TGA (ข) DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ผลของการเติมเส้นใยฝ้ายที่มีต่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช



(ก)

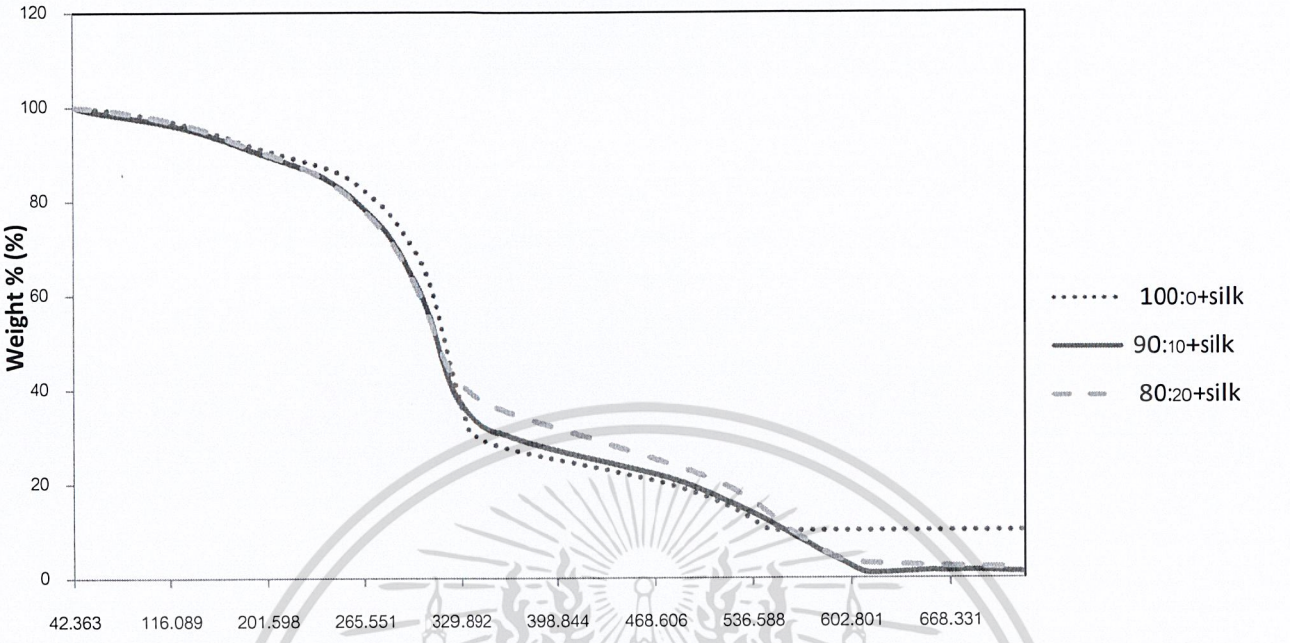


(ข)

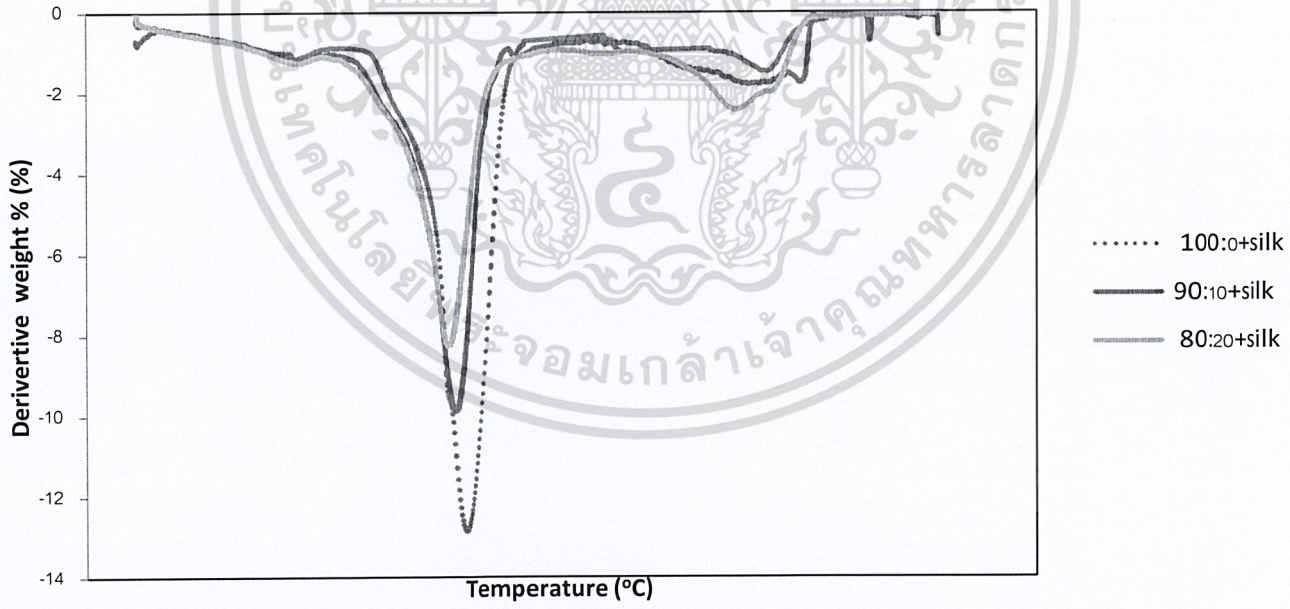
รูปที่ 4.19 (ก) TGA (ข) DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 ผลของการเติมเส้นใยไหมที่มีต่อเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช



(ก)

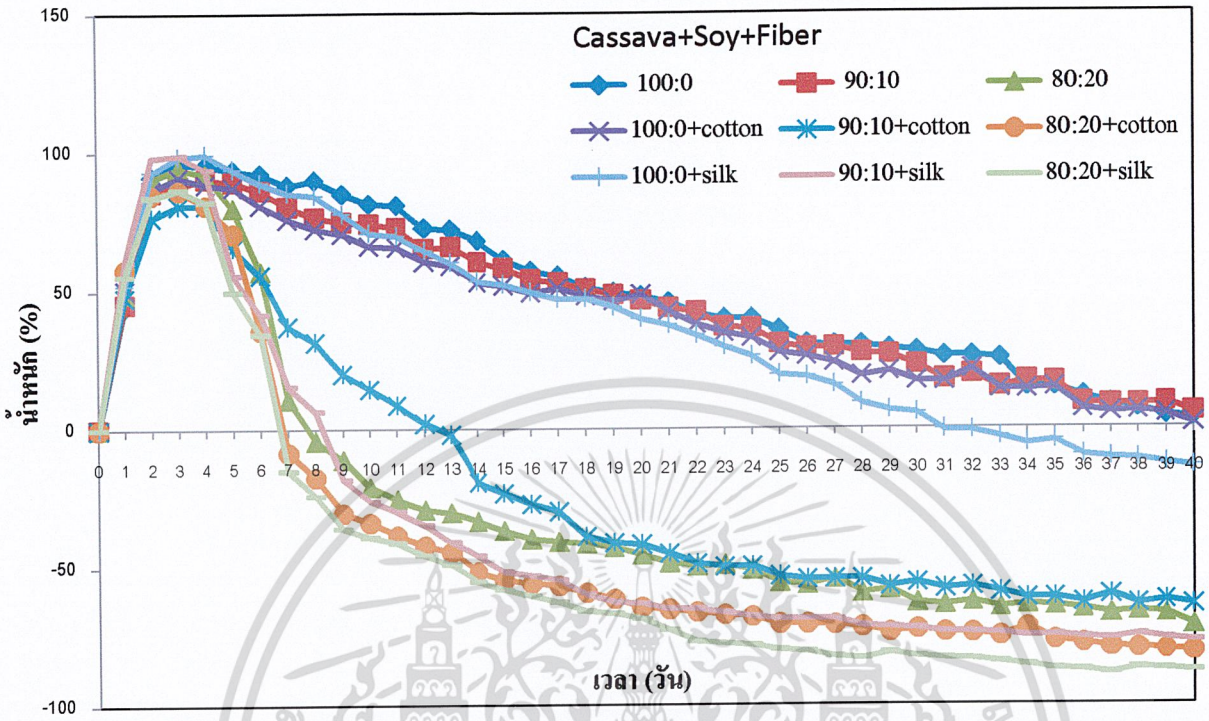


(ข)

รูปที่ 4.20 (ก) TGA (ข) DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การย่อยสลายโดยการฝังดิน



รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงจากการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมเส้นใยฝ้าย เส้นใยไหมและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ที่ไม่ผสมเส้นใย

จากรูปที่ 4.21 แสดงผลการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลือง 100:0 90:10 และ 80:20 พบว่าในช่วงแรกของการทดสอบน้ำหนักของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีแนวโน้มสูงขึ้น จากรูปที่ 4.22 – 4.24 ชิ้นงานมีการบวมตัว ทั้งนี้เนื่องจากในดินที่นำมาทดสอบมีความชื้นอยู่ ทำให้ชิ้นงานดูดน้ำในดินเพราะชิ้นงานมีส่วนประกอบของแป้งและกลีเซอรอลที่ชอบน้ำทำให้น้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทดสอบ เมื่อเวลาผ่านไปชิ้นงานถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน ซึ่งแสดงได้จากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากชิ้นงานถูกย่อยสลายมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลือง พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีการย่อยสลายได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ที่มีการเติมแป้งถั่วเหลืองและเส้นใยไหม พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้เติมแป้งถั่วเหลือง ซึ่งสอดคล้องกันกับผลการดูดซับน้ำ (หัวข้อ 4.4) กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองและเส้นใยไหม เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

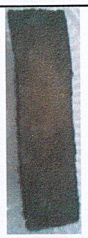
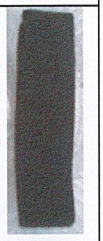
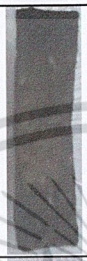
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเติมเส้นใยฝ้าย พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนจากถั่วเหลืองและส้นใยไหมช่วยให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินได้ดีขึ้น [58]

เมื่อพิจารณาถึงผลของการเติมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า การเติมเส้นใยฝ้ายลงไปทำให้เกิดการย่อยสลายช้ากว่าการเติมเส้นใยไหม เนื่องจากโปรตีนในเส้นใยไหมถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลสในเส้นฝ้าย [58]

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่าโปรตีนที่มีอยู่ในแป้งถั่วเหลืองและในเส้นใยไหมมีผลทำให้สมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติดสตาร์ชดีขึ้นโดยเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองและเมื่อเติมเส้นใยไหมทำให้ชิ้นงานย่อยสลายได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน	0 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน	50 วัน	60 วัน
100:0 (1)								
90:10 (1)								
80:20 (2)								

รูปที่ 4.22 **แสดงการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน** 100:0 90:10 และ 80:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน	0 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน	50 วัน	60 วัน
100:0+Cotton (2)								
90:10+Cotton (1)								
80:20+Cotton (2)								

รูปที่ 4.23 **แสดงการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน** 100:0 90:10 และ 80:20 **ที่เติมเส้นใยฝ้าย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงาน	0 วัน	10 วัน	15 วัน	20 วัน	30 วัน	40 วัน	50 วัน	60 วัน
100:0+Silk (2)								
90:10 +Silk (2)								
80:20+Silk (1)								

รูปที่ 4.24 **แสดงการย่อยสลายของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน** 100:0 90:10 และ 80:20 **ที่เติมเส้นใยไหม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาการหาอัตราส่วนของแป้งที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 10% 20% และ 30 % โดยน้ำหนัก โดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด พบว่าสามารถขึ้นรูปแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเหลืองได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และผสมกลีเซอรอลในอัตราส่วน 40% โดยน้ำหนัก ทำให้ได้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่แป้งทั้งสองชนิดสามารถผสมกันได้ดีและมีลักษณะทางกายภาพดีที่สุด

2. จากการศึกษาการวิเคราะห์ด้วยอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี พบว่าเมื่อปริมาณแป้งถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น พีคช่วง 1745 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบ C═O stretching มีความเข้มของพีคสูงขึ้นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองโดยมีเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง พบว่าพีคที่ 3500-3250 cm^{-1} และพีคที่ 1460 cm^{-1} เกิดการการเคลื่อน (Shift) ไปที่เลขคลื่นลดลง เมื่อเติมเส้นใยฝ้ายพบว่ามีพีคที่ 1410 cm^{-1} และ 723 cm^{-1} ปรากฏเพิ่มขึ้นมา และเมื่อเติมเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรงพบว่ามีพีคที่ 1536 และ 1231 cm^{-1} ปรากฏเพิ่มขึ้นมา และแถบพีคที่ 758 cm^{-1} มีความเข้มของพีคสูงขึ้น

3. จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งถั่วเหลืองในแป้งผสมมากขึ้นทำให้ลักษณะพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบรอยแตกหรือรอยแยกระหว่างวัฏภาคของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลือง นอกจากนี้พบเส้นใยฝ้ายกระจายตัวและฝังอยู่ในอนุภาคของแป้งมันปะหลัง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วเหลืองมากขึ้น สังเกตเห็นเส้นใยฝ้ายบนพื้นผิวได้ชัดมากขึ้นและทุกๆ อัตราส่วนมีอนุภาคของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองเกาะติดบนพื้นผิวของเส้นใย เมื่อใช้เส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรงพบว่าเส้นใยไหมฝังและลอยอยู่บนพื้นผิวของแป้งในทุกอัตราส่วน และมีอนุภาคแป้งเกาะที่พื้นผิวของเส้นใยไหมไม่พบช่องว่างเกิดขึ้นระหว่างวัฏภาคของแป้งและเส้นใยไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากการศึกษาการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ 50% พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลือง 80:20 ที่ไม่ได้เติมเส้นใยไหมมีการดูดซับน้ำสูงที่สุด และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลือง 100:0 ที่เติมเส้นใยฝ้ายมีการดูดซับน้ำต่ำที่สุด

5. จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรงในปริมาณ 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก พบว่าที่ปริมาณเส้นใยฝ้าย 10% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลสูงสุด แต่สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมเส้นใยฝ้ายในปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งถั่วเหลืองโดยใช้เส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรงในปริมาณ 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก พบว่าที่ปริมาณเส้นใยไหม 5% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติเชิงกลสูงสุด แต่สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมเส้นใยไหมในปริมาณ 15% โดยน้ำหนัก

6. จากการทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมแป้งถั่วเหลือง นอกจากนี้การเติมเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหมลงในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งผสมทุกสูตรทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

7. จากการศึกษาการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เกิดการย่อยสลายโดยการฝังดินได้ดีคือ เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีอัตราส่วนของแป้งถั่วเหลืองมากและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ผสมเส้นใยไหม

8. จากงานวิจัยนี้ พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 100:0 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก ให้สมบัติโดยรวมดีที่สุดโดยพิจารณาจากสมบัติเชิงกล การดูดซับน้ำ และสมบัติทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองเพื่อปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช สามารถนำไปใช้ปรับปรุงและพัฒนาให้มีสมบัติที่ดีขึ้นได้ โดย

1. ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยเพื่อให้เข้ากันกับแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมแรงให้ดีขึ้น เช่น นำเส้นใยฝ้ายที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันจากหมู่แอลกอฮอล์เป็นหมู่คาร์บอกซิลิก จากหมู่คาร์บอกซิลิกเป็นแอซิลคลอไรด์ ทำปฏิกิริยาต่อกับแอมโมเนียเป็นหมู่เอไมด์ เป็นต้น เพื่อให้เข้ากับโปรตีนในแป้งถั่วเหลืองได้ดีขึ้น
2. ศึกษาวิธีการเพิ่มความเข้ากันของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งถั่วเหลือง เช่น การสกัดไขมันออกจากแป้งถั่วเหลืองก่อนนำมาผสม เป็นต้น
3. ศึกษาชนิดของพลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เช่น ซอลบิทัล ไกลคอล เอทิลีนไกลคอล เป็นต้น
4. ปรับเปลี่ยนกระบวนการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เช่น การอัดรีด การฉีดขึ้นรูป เป็นต้น เพื่อการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] www.oae.go.th

[2] กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543, เทคโนโลยีของแป้ง, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[3] C.G. Oates, "Toward an Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis," Trends in Food Science and Technology, 8 (1997) 375-382.

[4] D. French, 1984, Organization of Starch Granules," In Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F., (eds.), Starch : Chemistry and Technology, 2nd Ed. Academic Press Inc., Florida. pp. 184–242.

[5] G.M.A. Beynum, J.A., Van , 1985, Starch Conversion Technology, Marcel Dekker, Inc., New York.

[6] S. Hizukuri, "Relationship Between the Distribution of the Chain Length of Amylopectin and the Crystallite Structure of Starch Granules," Carbohydrate Research., 141 (1985) 295-306.

[7] กล้าณรงค์ ศรีรอต, กาญจนา กู้โรจนวงศ์ และวิไล สันติโสภาศรี, 2541, "โครงสร้างของอะไมโลส อะไมโลเพคตินและคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่สกัดได้จากเกษตรศาสตร์ 50 ในอายุต่างๆกัน," ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36, 3–5 กุมภาพันธ์ 2541, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[8] S. Hizukuri, 1988, "Recent Advances in Molecular Structure of Starch,". Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology ., 31 (1988) 185.

[9] T. Kasemsuwan, J. Jane, Y.Y. Chen, L.F. Lee, A.E. McPherson, K.S. Wong, and M. Radosavljevic, "Effects of Amylopectin Branch Chain Lengh and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch,"Cereal Chemistry, 76 (1999) 629-637.

[10] T. Galliard, and P. Bowler, 1987, "Morphology and Composition of Starch," In Gailliard T., (ed.), Starch : Properties and Potential, John Wiley and Sons, New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] A.G.W. Bradbury, and A.B. Bello, "Determination of molecular size distribution of starch and debranched starch by a single procedure using high-performance-size-exclusion chromatography", Cereal Chemistry, 70 (1993) 543-547.

[12] A. Buleon, P. Colonna, V. Planchot, and S. Ball, "Starch granules: structure and biosynthesis", International Journal of Biological Macromolecules, 23 (1998) 85-112.

[13] T. Davies, D.C .Miller, and A.A. Procter, Starch-Starke, 32 (1980) 149-158.

[14] สมปอง ธรรมศิริรักษ์ และศักดา ดาดวง ปฏิบัติการชีวเคมี 318 306 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ. 2551

[15] R.F. Tester, J. Karkalas, X. Qi, "Starch—composition, fine structure and architecture", Journal of Cereal Science, 39 (2004) 151–165.

[16] A. Kawabata, N. Takase, E. Miyoshi, S. Sawayama, T. Kimura, and K. Kudo, "Microscopic Observation and X–ray Diffractometry of Heat/Moisture–Treated Starch Granules," Starch-Starke, 46 (1994) 463-469.

[17] C.G. Oates, 1996, "Physical Modification of Starch," In Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology, Jan. 22–26 & Feb. 19–23 ,1996. AIT Center ,Bangkok.

[18] www.opta-food.com/ access/starch2.html

[19] R. Collison, 1968, "Swelling and Gelation of Starc,". In Radley, J.A. (ed.), Starch and Its Derivatives, Chapman and Hall Ltd., London. pp 168-193.

[20] W.R. Morrison, and B. Laignelet, "An Improved Colorimetric Procedure for Determininng Apparent and Total Amylose in Cereal and Other Starches," Journal of Cereal Science, 1 (1983) 9-20.

[21] T.J. Schoch and F.C. Maywald, "Microscopic Examination of Modiffied Starch," Analytical Chemistry, 28 (1956) 382-387.

[22] Watson, S.A., 1964, "Determination of Starch Gelatinization Temperature," In Whistler, R.L., (ed.), Method in Carbohydrate Chemistry, Academic Press, New York. pp. 240-241.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] www.agsci.ubc.ca/.../ fnh/301/water/ waterq5.htm , http://www.nationalstarch.com

[24] www.ftns.wau.nl/agridata/ starchpackfoam.htm

[25] www.tapiocathai.org

[26] www.thaitapiocastarch.org/article13_th.asp

[27] อภิพรรณ พุกภักดี, "ถั่วเหลือง:พืชทองของไทย", มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

[28] http://sci.chandra.ac.th/department/hho...ean.html

[29] www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search

[30] www.agron.agr.ku.ac.th

[31] www.kasetonline.net/newsite/index.

[32] www.vcharkarn.com/varticle/39508

[33] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, "วิทยาศาสตร์เส้นใย",พิมพ์ครั้งที่ 2, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพ 2543 . [34] pirun.ku.ac.th/~b5110232/work/work1.doc

[35] http://www.concord.org/~btinker/workbench_web/unitIV_revised/silk/images/silk_beta_sheets.jpg

[36] ธนาวดี ลี้จากภัย. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์.

[37] http://sub-kaona.com/index.php/component/content/section/6

[38] http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/plastic_envi.html

[39] http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146

[40] http://kjompsu.blogspot.com/2009/05/blog-post.html

[41] บุษยรัตน์ พัฒนพงษ์อนันต์, ประภาวดี เกตุสุดา และวีระยา ธรรมมิกะ. ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมและปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าด้วยเส้นใยฝ้ายและ พอลิเอทิลีนชนิดความ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นต่ำโครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.

[42] E. M.Teixeira, D. Pasquini, A. A.S.Curvelo, E. Corradini, M. N. Belgacem, and A. Dufresne "Cassava bagasse cellulose nanofibrils reinforced thermoplastic cassava starch". Carbohydrate Polymers,78 (2009) 422-431.

[43] X. Ma , J. Yu and J. F . Kennedy, "Studies on properties of natural fibers – reinforced thermoplastic starch composites." Carbohydrate Polymers, 62 (2005) 19-21.

[44] A.A.S Curvelo, A.J.F. de Carvalho and J.A.M. Agnelli, "Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites : preliminary results." Carbohydrate Polymers, 45 (2001) 183-188.

[45] L. Fama , L. Gerschenson and S. Goyanes , "Starch-Vegetable fibre composites to protect food products." Carbohydrate Polymers, 75 (2009) 230-235.

[46] J.-F. Su, X.-Y. Yuan, Z. Huang and W.-L. Xia, "Properties stability and biodegradation behaviors of soy protein isolate/poly (vinyl alcohol) blend." Polymer Degradation and Stability, 95 (2010) 1226 – 1237.

[47] P. Lodha and A. N. Netravali. " Characterization of interfacial and mechanical properties of "green" composites with soy protein isolate and ramie fibers". Materials Science, 37 (2002) 3657-3665.

[48] A.A.S Curvelo, A.J.F. Carvalho and J.A.M. Agnelli. 2001. "Thermoplalsticstarch cellulocic fibers composites preliminary results". Carbohydrate Polymer, 45 183-185 .

[49] U.Funke, W.Bergthaller and M.G. Lindhauer. 1988. "Processing and characterization of biodegrade products based on starch". Polymer degradation and stability, 59 293-296.

[50] W.E. Morton and J.W.S. Hearle, 1997. Physical properties of textile fibres. Manchester. The Textile Institute.

[51] A.Pawlak and M.Mucha, "Thermogravimetric and FTIR studies of chitosan blend ", Thermochimica, 396 (2003) 153-166.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[52] C. Chung and M. Lee. “Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy.” CarbohydratePolymers, 58 (2004) 417-420.

[53] Bower,D.I., and Maddams,W.F.(1989). "The vibrational spectroscopy of polymer." Cambridge:Cambridge University Press.

[54] S. Hofmann , C.T. Wong Po Foo and F. Rossetti. “Silk fibroin as an organic polymer for controlled drug delivery.” Journal of Controlled Release, 111 (2006) 219–227.

[55] A.A.S. Curvelo, A.J.F. Carvalho and J.A.M. Agnelli. 2001 “Thermoplastic starch cellulosic fibers composites preliminary results.” Carbohydrate Polymer, 45 : 183-188.

[56] X. Ma, J. Yue and J.F.Kennedy. 2005.”Studies on the properties of natural fibers reinforced thermoplastic starch composites.”Carbohydrate Polymers, 62: 19-24

[57] "Handbook of fiber chemistry", 3rd edit:menachem lewin,2006

[58] Jun-FengSu ,Xiao-YanYuan ,ZhenHuang and Wen-LongXia, , “ Properties stability and biodegradation behaviors of soy protein isolate /poly(vinylalcohol) blend films.” Polymer Degradation and Stability, 95 (2010) 1226-1237 .

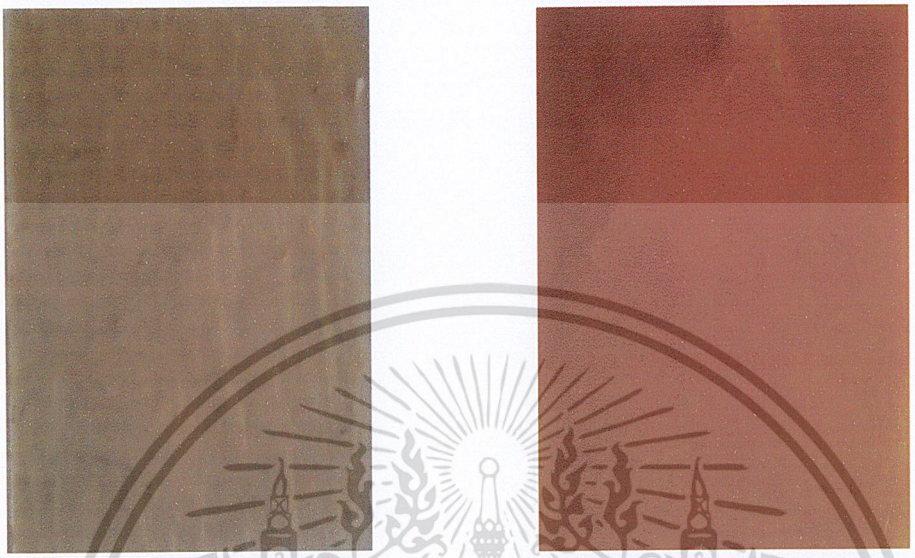
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

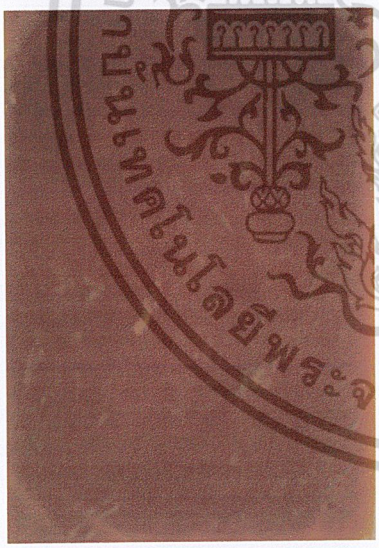
ภาคผนวก ก

ลักษณะชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ



(ก)

(ข)



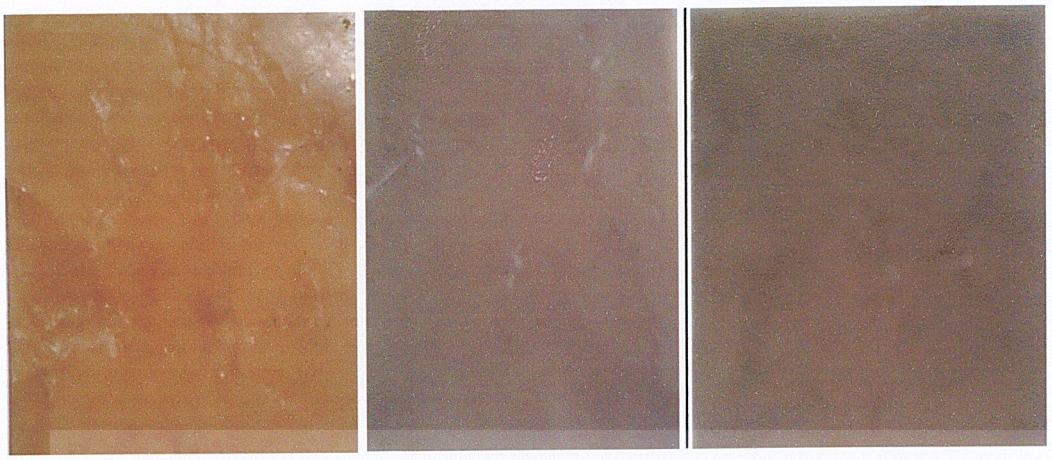
(ค)



(ง)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน (ก) 100: 0 (ข) 90:10 (ค) 80:20 และ (ง) 70:30 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

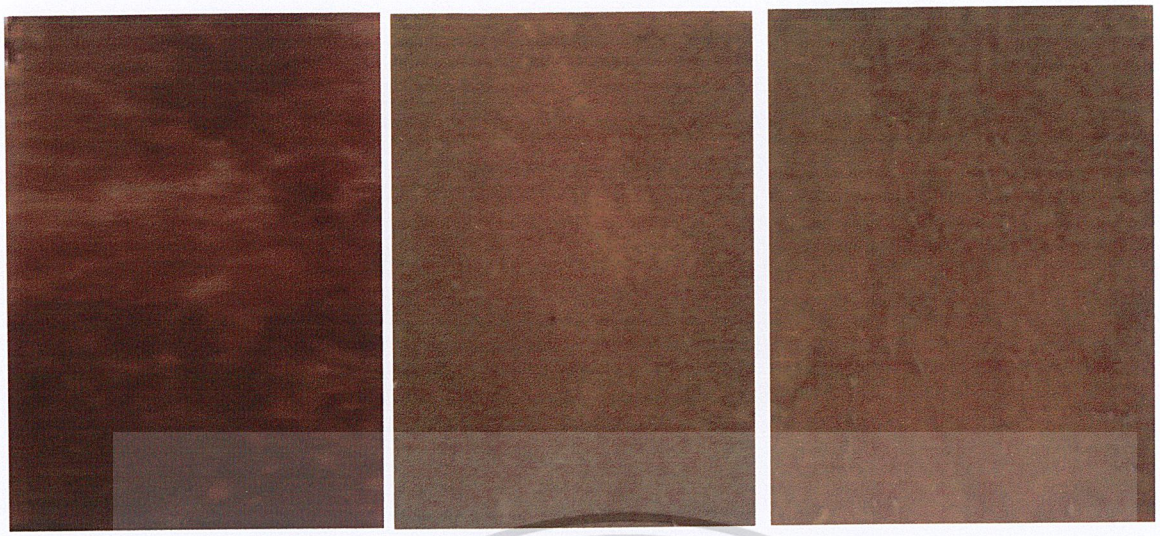
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก



(ก) (ข) (ค)

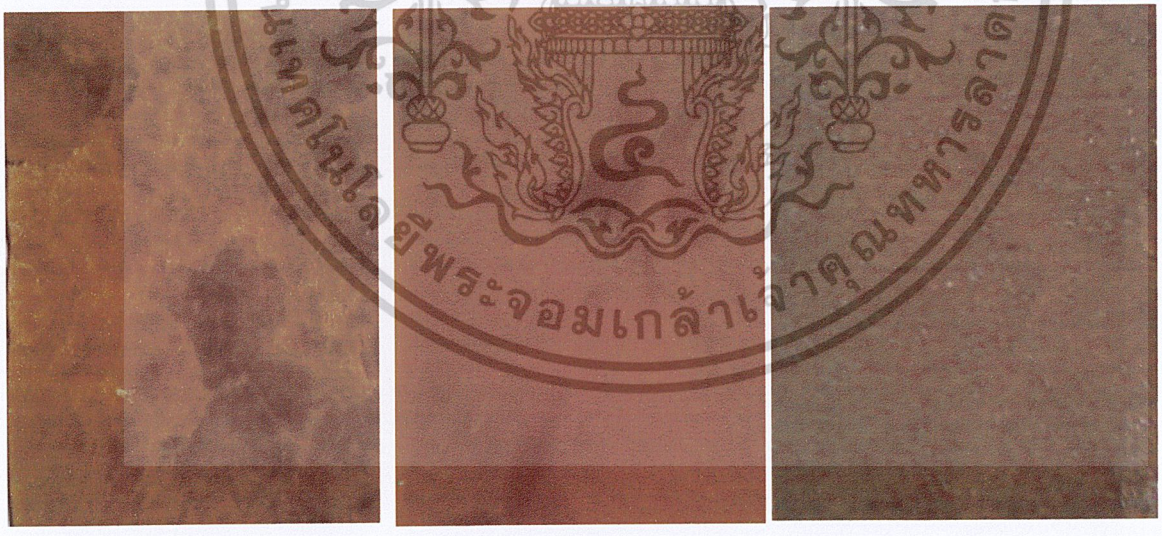
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

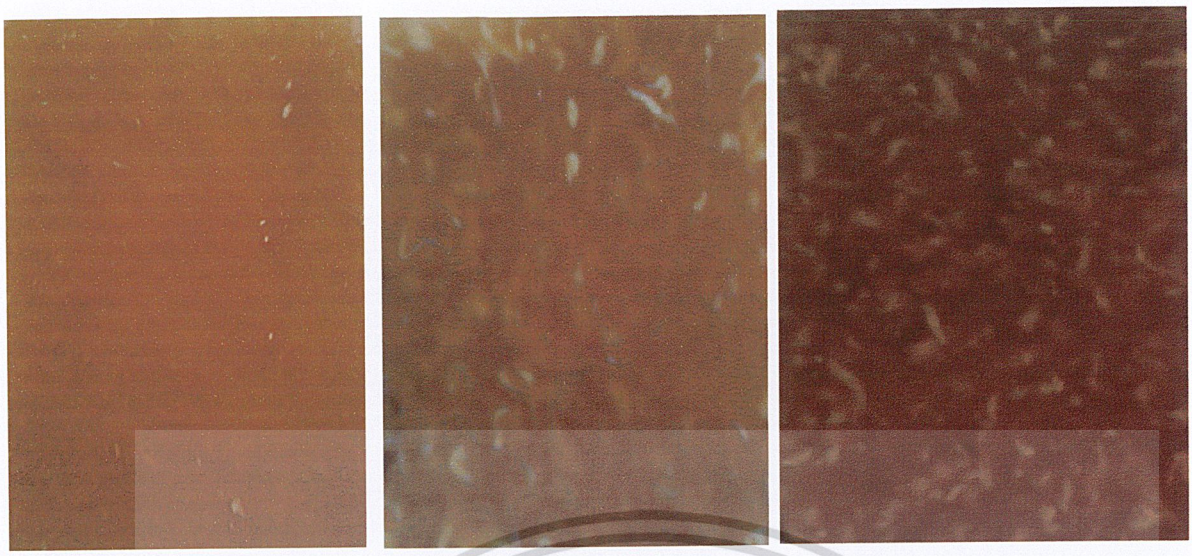
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15%โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก



(ก) (ข) (ค)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 70:30 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15%โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

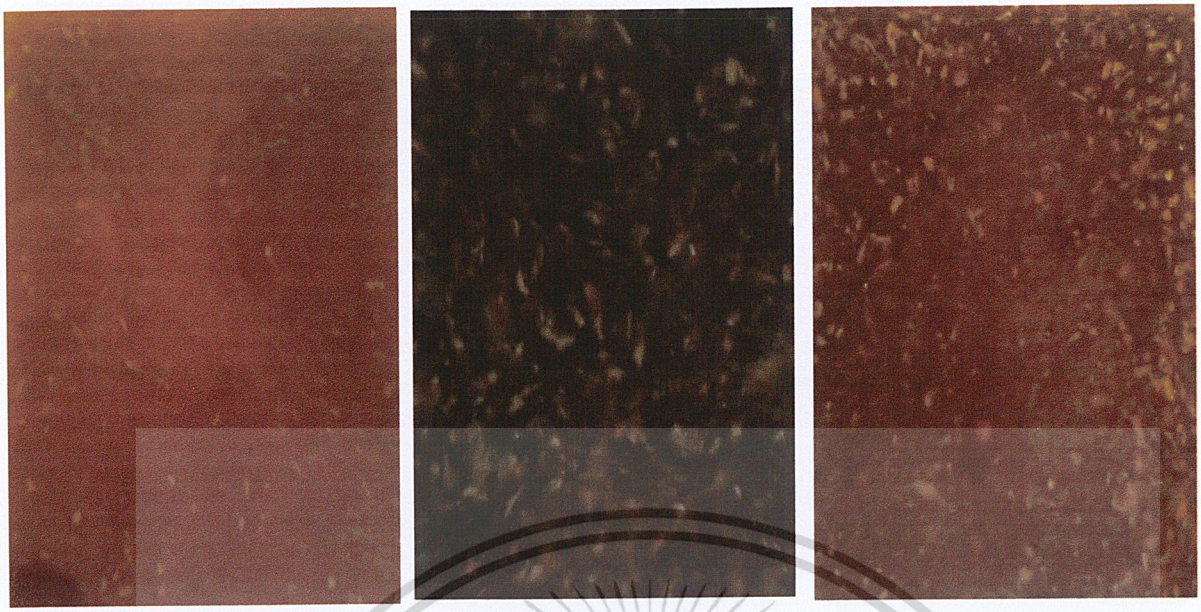
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก



(ก) (ข) (ค)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข) (ค)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยมีเส้นใยไหม เป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15%โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก



(ก) (ข) (ค)

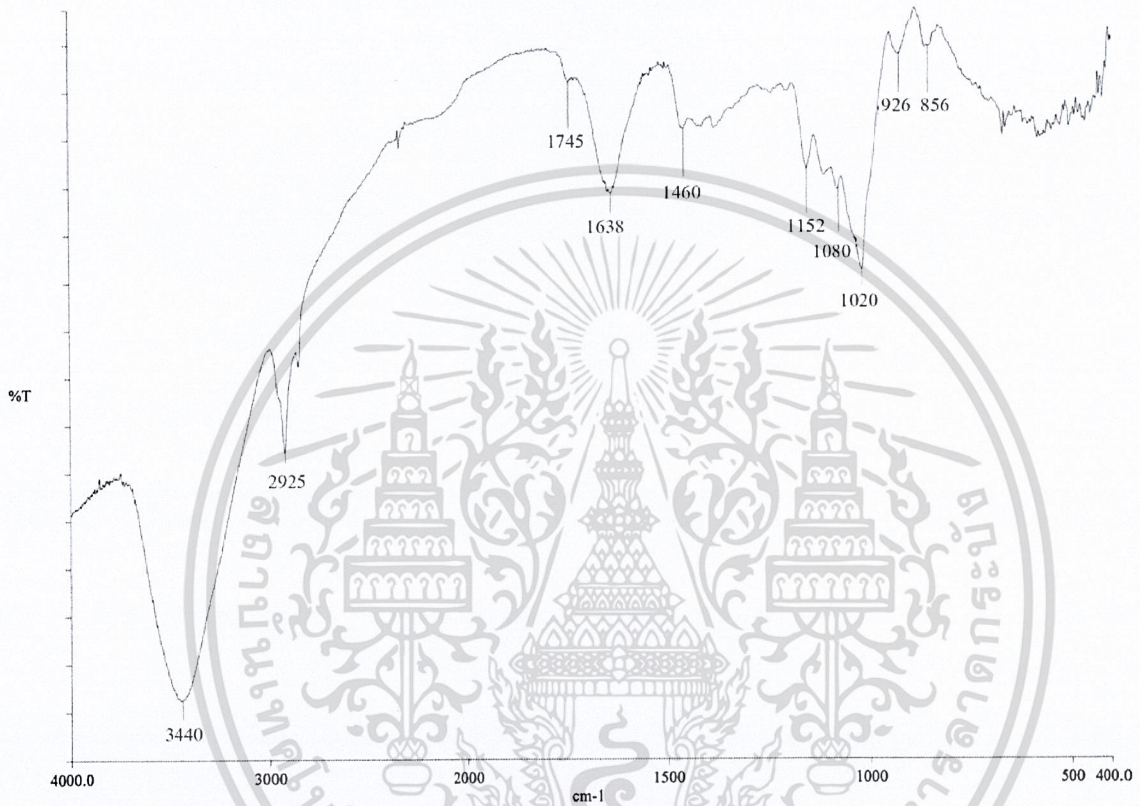
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 70:30 โดยมีเส้นใยไหม เป็นส่วนเสริมแรง 5% 10% และ 15%โดยน้ำหนัก (ก) 5% (ข) 10% และ (ค) 15% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

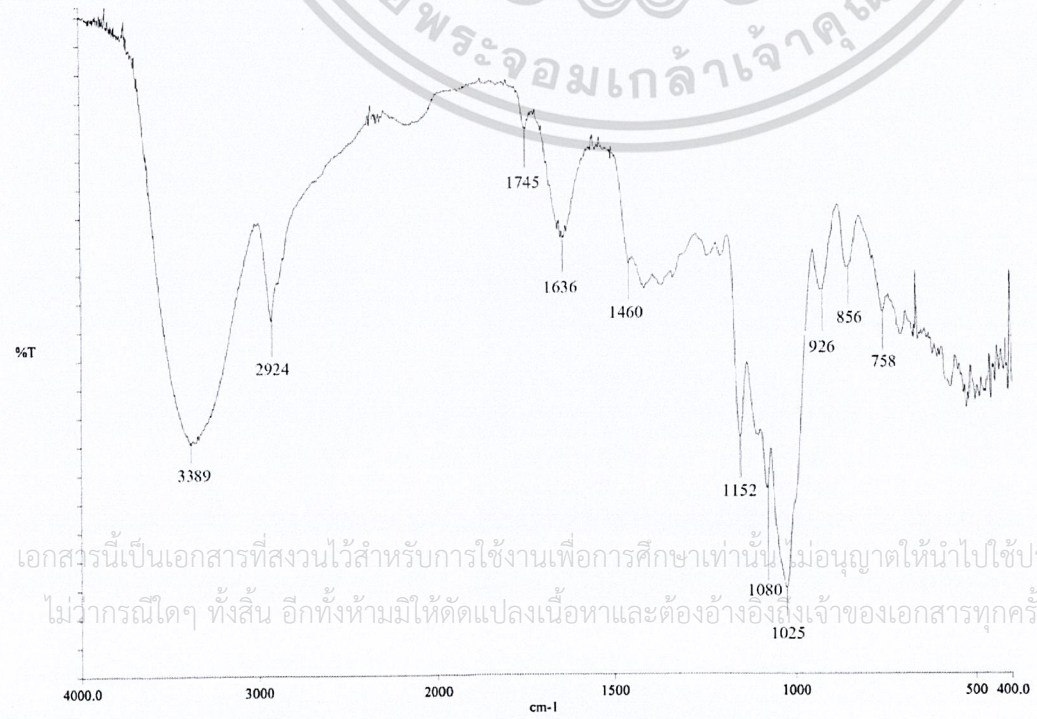
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ด้วยอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง

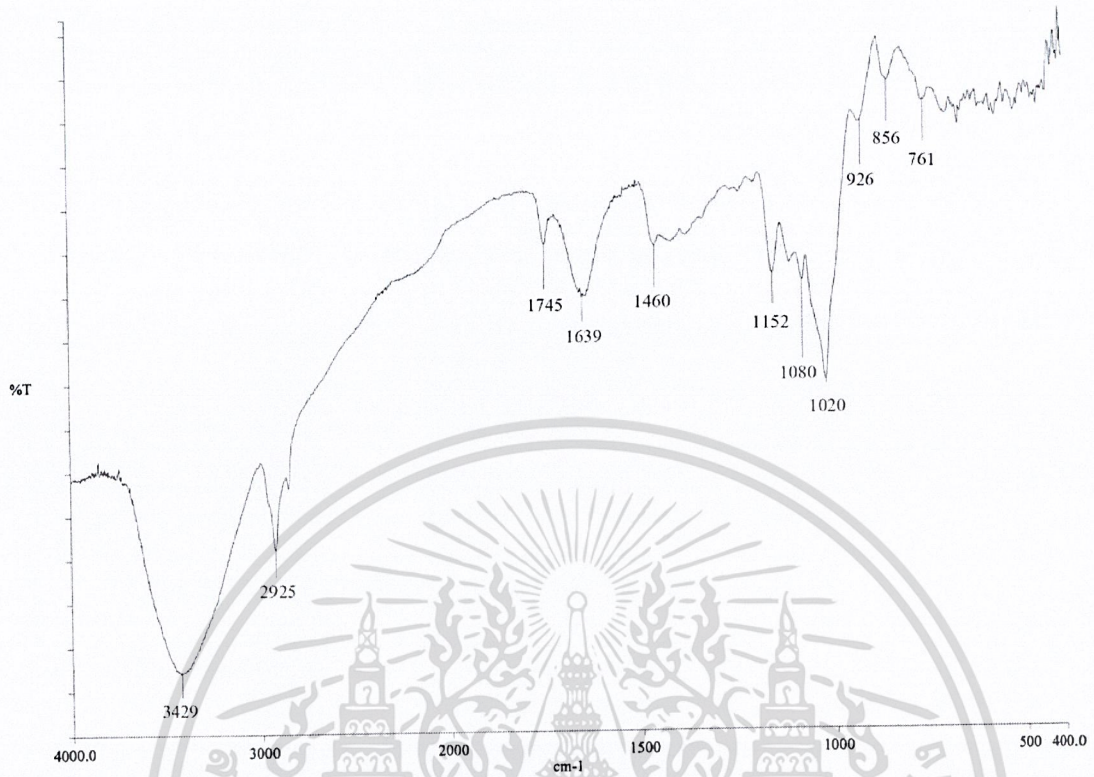


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10

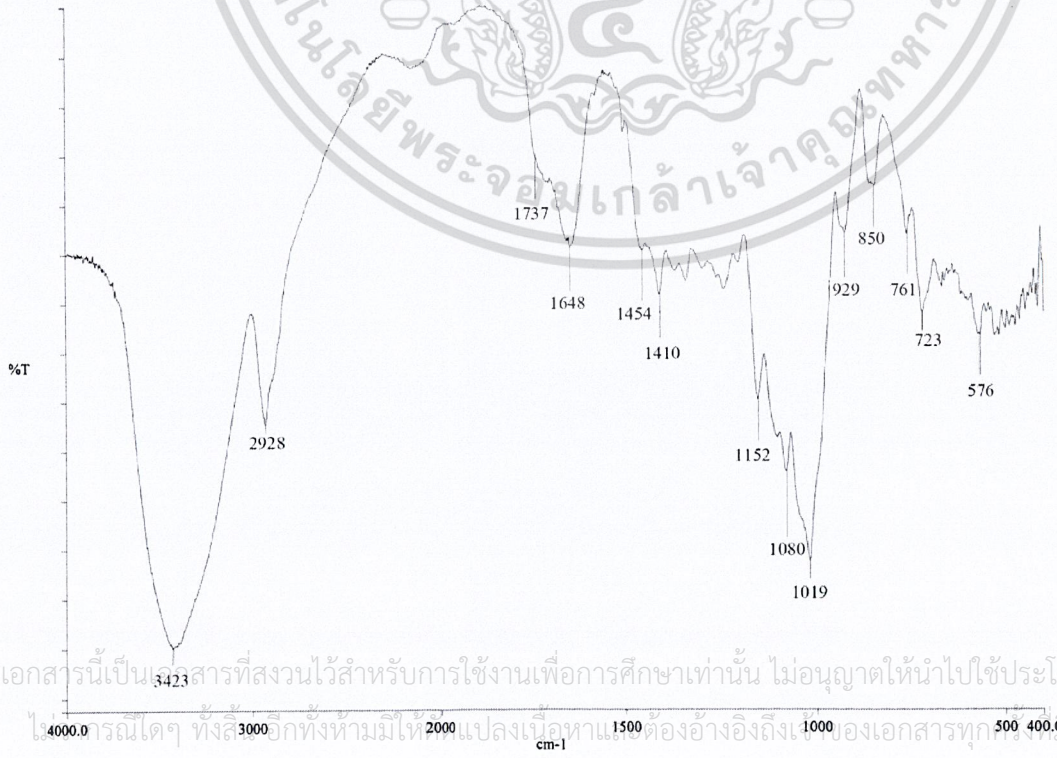


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20

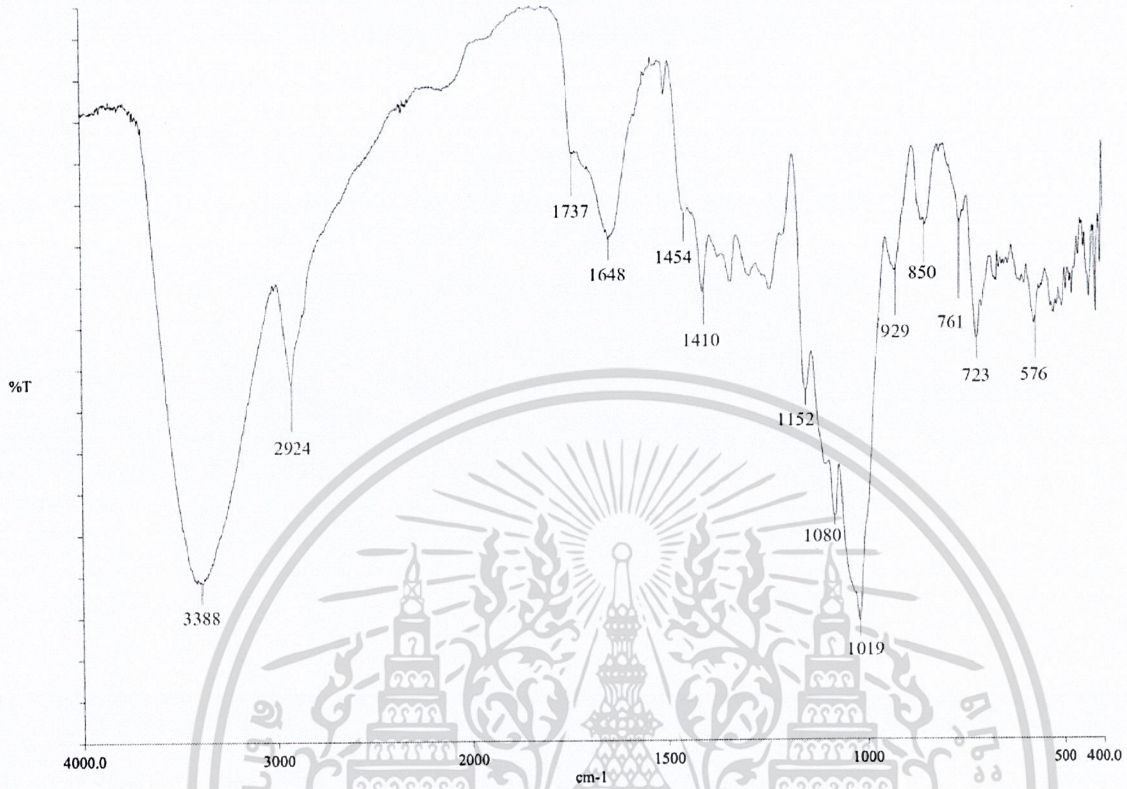


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก

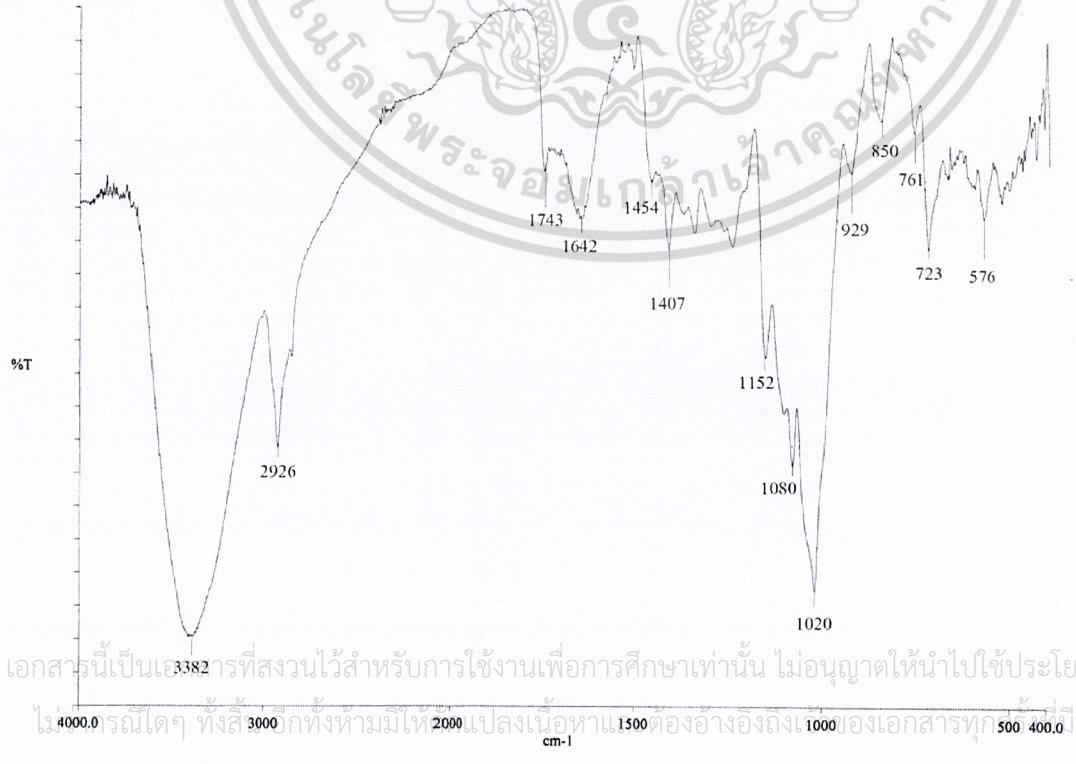


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10โดยมีเส้นใยฝ้าย
เป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก

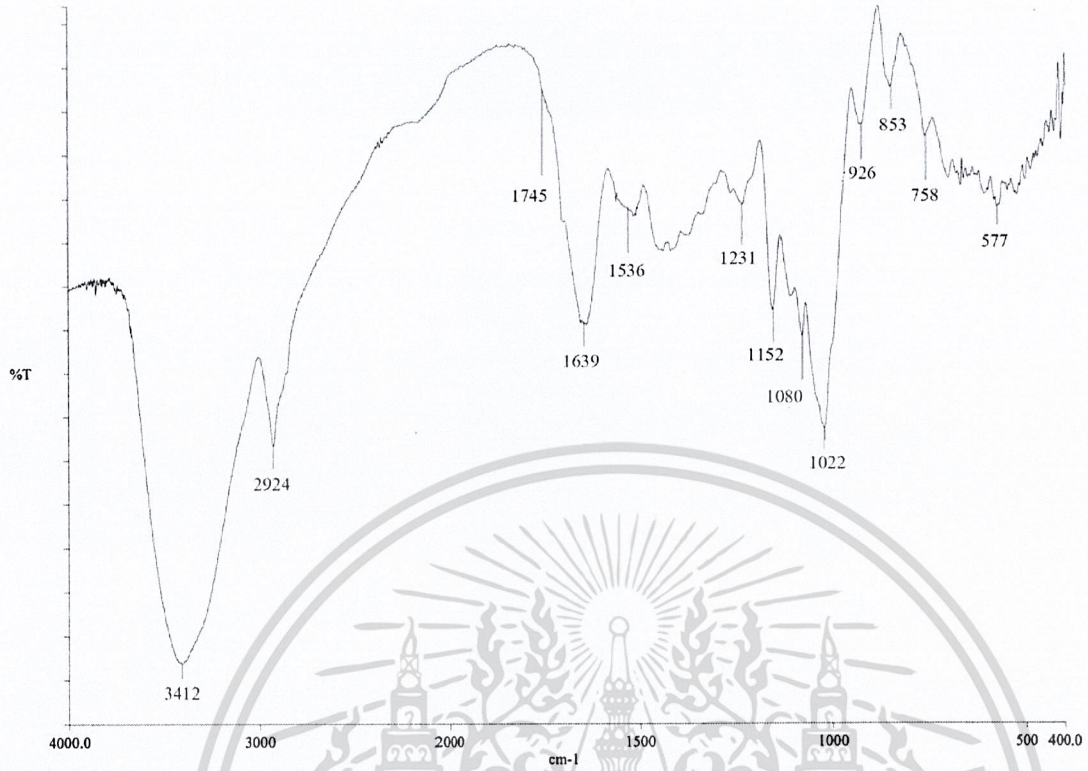


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20โดยมีเส้นใยฝ้าย
เป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก

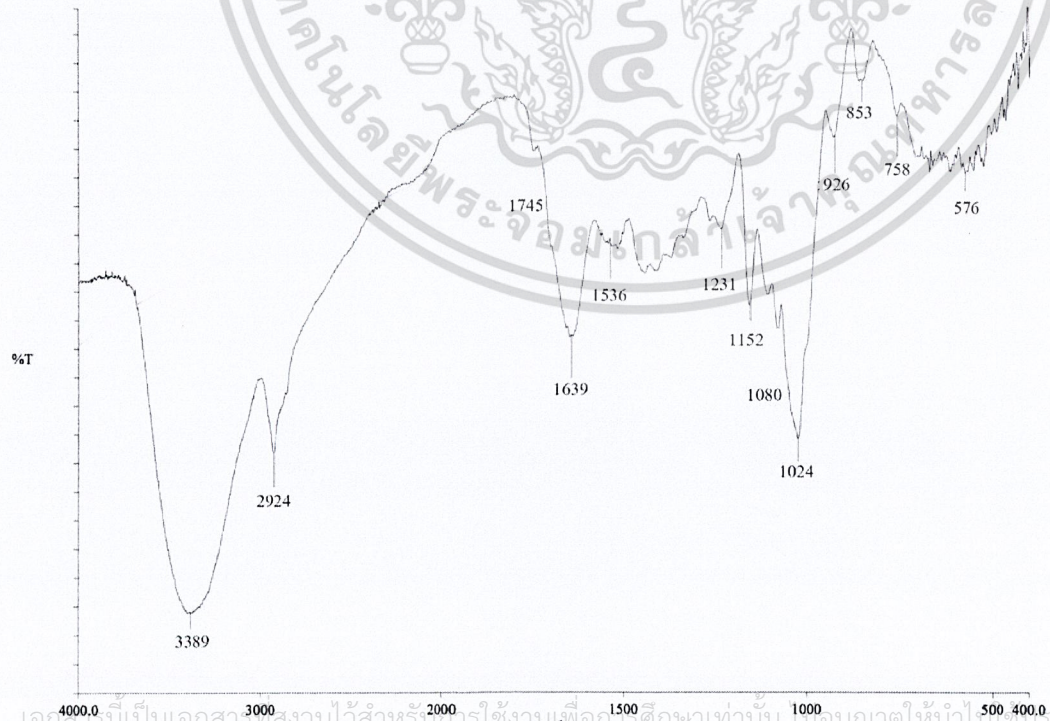


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก

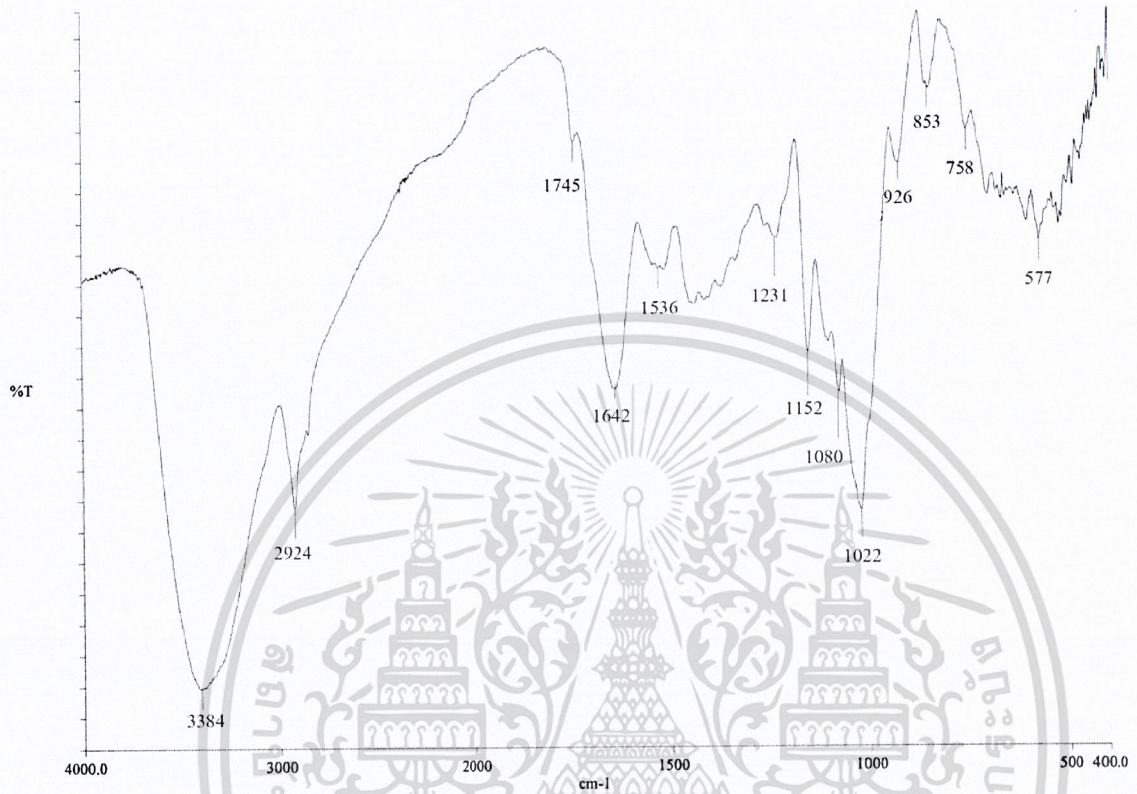


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10โดยมีเส้นใยไหม เป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20โดยมีเส้นใยไหม
เป็นส่วนเสริมแรง 10% โดยน้ำหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นจากการดูดซับน้ำที่ความชื้น 100%

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ (%)								
	100:0	90:10	80:20	100:0+cotton	90:10+cotton	80:20+cotton	100:0+silk	90:10+silk	80:20+silk
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.56	9.01	10.83	5.50	7.07	13.54	9.43	9.60	10.00
2	22.78	23.87	22.72	17.50	18.69	22.33	21.23	14.00	22.27
3	24.44	25.22	24.95	18.00	19.70	24.33	23.11	14.45	22.73
4	26.11	26.13	25.68	19.00	19.70	24.62	23.11	19.70	22.73
5	26.11	26.13	26.70	19.00	20.20	25.11	23.58	20.71	24.09
6	26.11	26.13	27.92	19.50	20.71	25.84	23.58	22.22	23.64
7	26.11	27.03	28.18	20.50	21.21	26.60	24.06	21.72	25.00
8	26.11	27.03	28.69	20.50	21.72	26.84	25.00	22.22	25.91
9	27.22	27.48	31.58	21.00	22.22	27.35	26.89	22.22	25.91
10	27.22	27.48	32.65	21.50	22.22	27.62	26.89	22.22	25.91
11	27.22	27.48	32.65	21.50	22.73	27.62	26.89	22.73	26.82
12	27.78	27.48	33.27	22.00	22.22	27.62	27.36	22.73	26.82
13	28.33	27.93	34.27	22.00	23.23	27.89	27.83	23.74	27.27
14	28.33	27.93	34.76	23.00	23.74	28.89	27.83	23.74	27.73
15	28.33	28.83	34.76	23.00	23.74	29.14	28.30	23.74	27.73
16	28.33	28.83	34.76	23.50	24.24	29.89	28.77	24.75	28.18
17	28.33	29.28	35.99	24.00	25.25	30.14	29.25	24.75	28.64
18	28.33	29.28	36.72	24.50	25.25	30.65	29.25	25.25	29.09
19	28.89	29.28	37.47	24.50	25.25	30.65	29.25	26.26	29.09
20	28.89	30.18	37.49	25.50	25.76	32.14	29.72	26.26	30.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วนต่างๆ โดยปรับปรุงสมบัติด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยไหม

แรงดึง

ชิ้นทดสอบ	Max load (N)
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40)	181.50±3.54
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40)	90.31±11.22
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40)	63.81±8.37
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40)	48.66±5.19
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	247.10±14.57
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	123.80±17.91
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	83.16±11.24
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	48.46±6.42
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	302.60±17.48
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	236.50±13.15
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	162.80±2.26
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	108.10±10.75
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	279.60±17.54
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	73.80±12.85
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	40.45±6.75
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	22.75±5.99
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 5%	246.90±36.91
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 5%	269.72±7.85
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 5%	229.70±7.89
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 5%	187.20±6.54
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 10%	241.15±95.95
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 10%	273.30±34.13
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 10%	200.10±9.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดึง (ต่อ)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 10%	176.20±11.46
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 15%	179.00±20.85
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 15%	227.75±4.74
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 15%	180.87±16.12
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 15%	166.45±21.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงดึง

ชิ้นทดสอบ	Stress at max load (MPa)
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40)	6.35±0.69
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40)	4.90±0.58
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40)	3.22±0.44
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40)	2.96±0.26
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	11.46±0.08
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	6.96±0.86
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	5.28±0.80
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	2.73±0.44
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	16.17±0.82
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	11.22±0.35
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	9.80±0.13
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	8.31±0.39
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	14.10±0.43
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	3.75±0.51
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	2.07±0.55
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	1.24±0.24
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 5%	12.76±3.46
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 5%	15.32±1.20
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 5%	12.60±0.87
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 5%	11.00±0.47
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 10%	12.15±5.51
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 10%	14.76±2.41
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 10%	10.38±0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรงดึง (ต่อ)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 10%	8.73±0.69
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 15%	11.83±1.60
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 15%	12.64±3.92
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 15%	10.62±0.03
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 15%	8.09±0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดึงยืด

ชิ้นทดสอบ	Extension at max load (mm)
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40)	3.25±0.05
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40)	5.31±0.52
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40)	5.36±0.05
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40)	4.37±0.09
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	3.04±0.08
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	3.83±0.77
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	3.530.17
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	3.96±0.21
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	2.44±0.15
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	2.37±0.09
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	1.85±0.21
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	2.45±0.04
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	2.15±0.13
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	1.04±0.18
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	1.66±0.31
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	0.44±0.20
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 5%	2.05±0.65
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 5%	2.32±0.41
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 5%	2.03±0.94
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 5%	1.78±0.42
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 10%	1.78±0.09
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 10%	1.88±0.38
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 10%	1.51±0.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดึงยืด (ต่อ)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 10%	1.95±0.23
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 15%	1.35±0.26
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 15%	1.68±0.55
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 15%	1.10±0.13
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 15%	1.35±0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

ชิ้นทดสอบ	Strain at max load (%)
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40)	12.65±0.63
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40)	22.58±0.17
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40)	21.43±0.18
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40)	17.50±0.38
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	12.16±0.32
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	23.89±2.57
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	14.13±0.66
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	11.04±1.32
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	7.30±0.12
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	9.47±0.38
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	7.02±0.66
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	5.58±0.70
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	7.10±0.93
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	3.69±0.16
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	5.93±0.58
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	5.33±0.22
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 5%	8.18±2.32
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 5%	9.28±1.65
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 5%	8.12±4.06
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 5%	7.13±1.68
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 10%	6.76±0.86
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 10%	8.57±1.11
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 10%	5.80±0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (ต่อ)

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 10%	7.49±1.03
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 15%	6.10±0.62
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 15%	5.13±0.64
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 15%	4.60±0.22
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 15%	5.41±0.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัส

ชิ้นทดสอบ	Young' modulus (MPa)
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40)	6.80±2.95
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40)	12.25±0.35
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40)	4.70±2.22
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40)	2.84±0.25
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	29.34±4.89
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	23.11±12.28
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	13.92±1.82
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 5%	3.00±1.31
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	94.27±29.42
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	83.01±4.40
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	68.10±10.45
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 10%	52.60±10.56
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	27.89±7.92
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	18.00±12.30
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	26.19±4.79
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยฝ้าย 15%	27.48±1.40
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 5%	107.29±1.32
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 5%	152.49±55.57
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 5%	32.99±14.83
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 5%	69.00±14.21
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 10%	82.35±17.18
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 10%	87.73±29.37
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 10%	24.33±11.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัส (ต่อ)

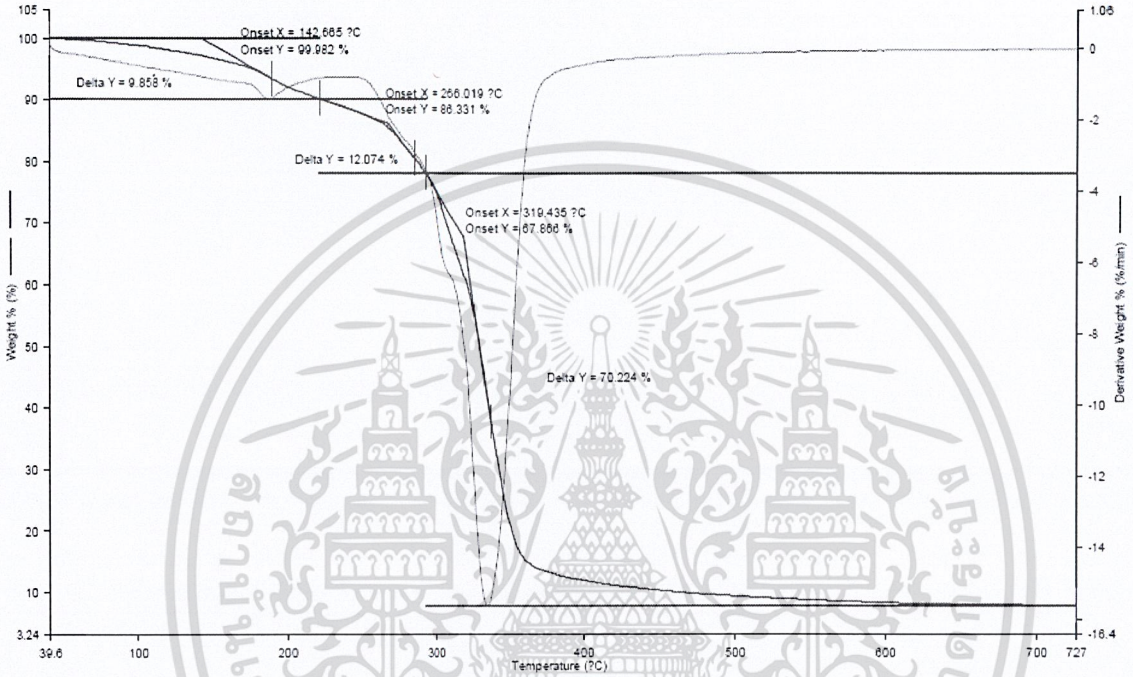
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 10%	40.30±25.88
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (100 : 0 : 40) + เส้นใยไหม 15%	59.68±5.71
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (90 : 10 : 40) + เส้นใยไหม 15%	69.54±15.65
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (80 : 20 : 40) + เส้นใยไหม 15%	6.72±1.57
เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (70 : 30 : 40) + เส้นใยไหม 15%	7.62±1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

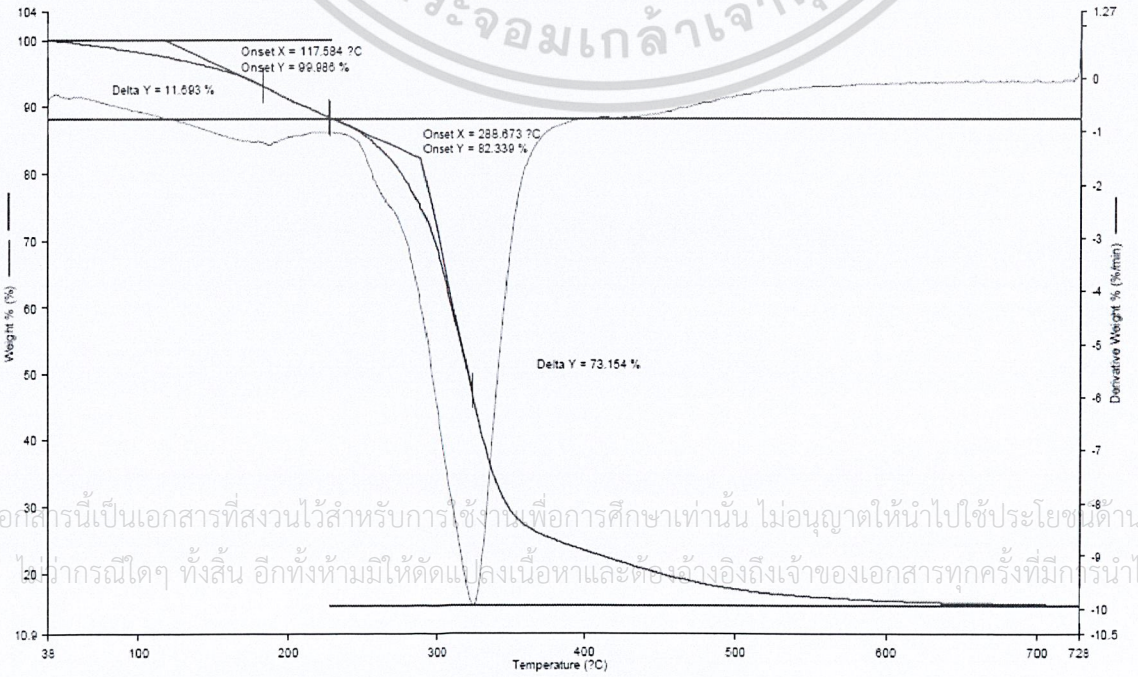
ภาคผนวก จ

สมบัติการสลายตัวทางความร้อน

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง

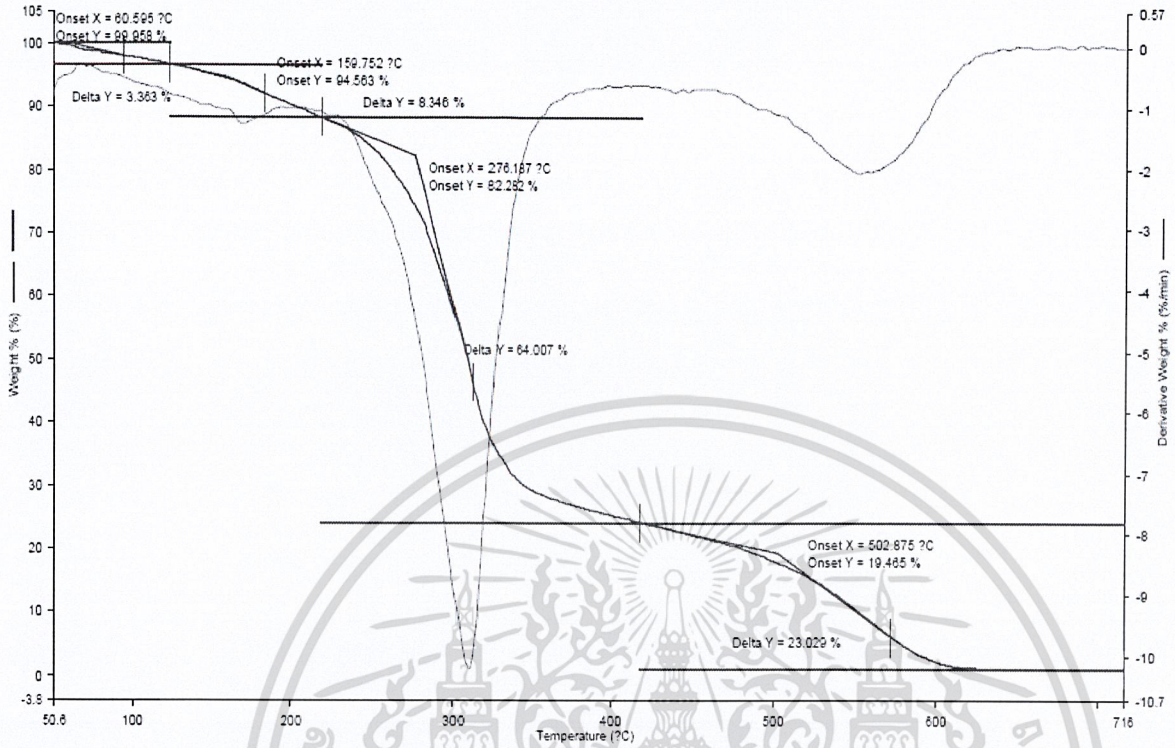


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10

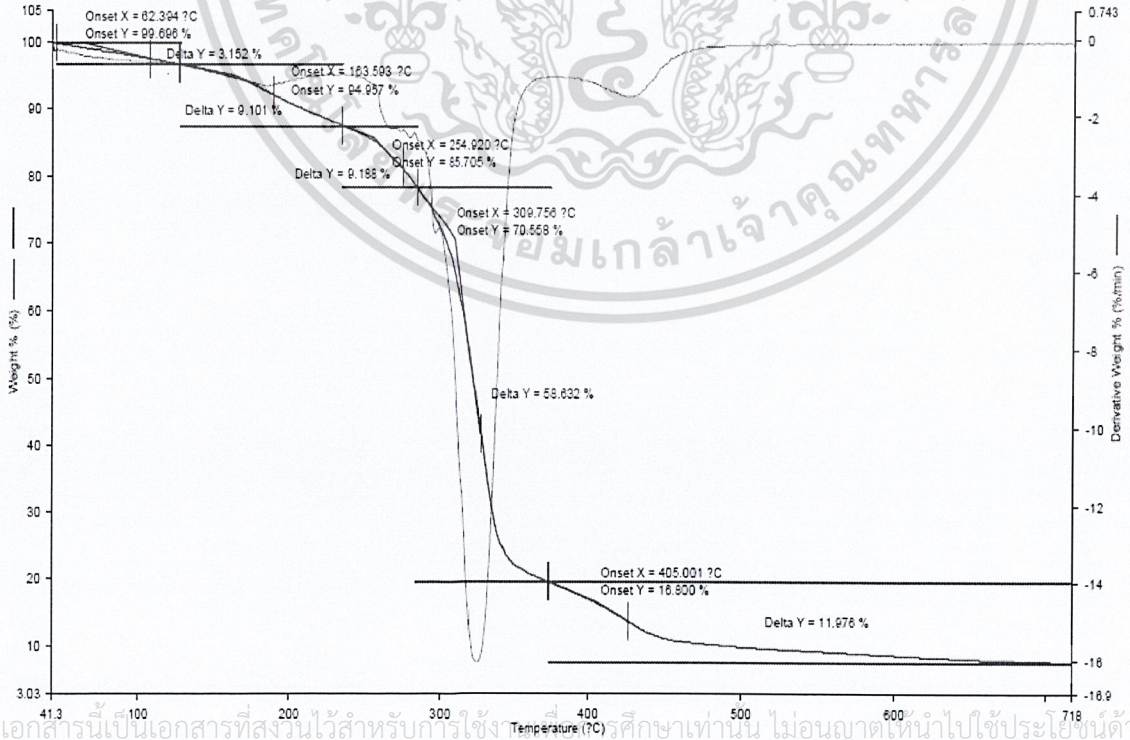


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20

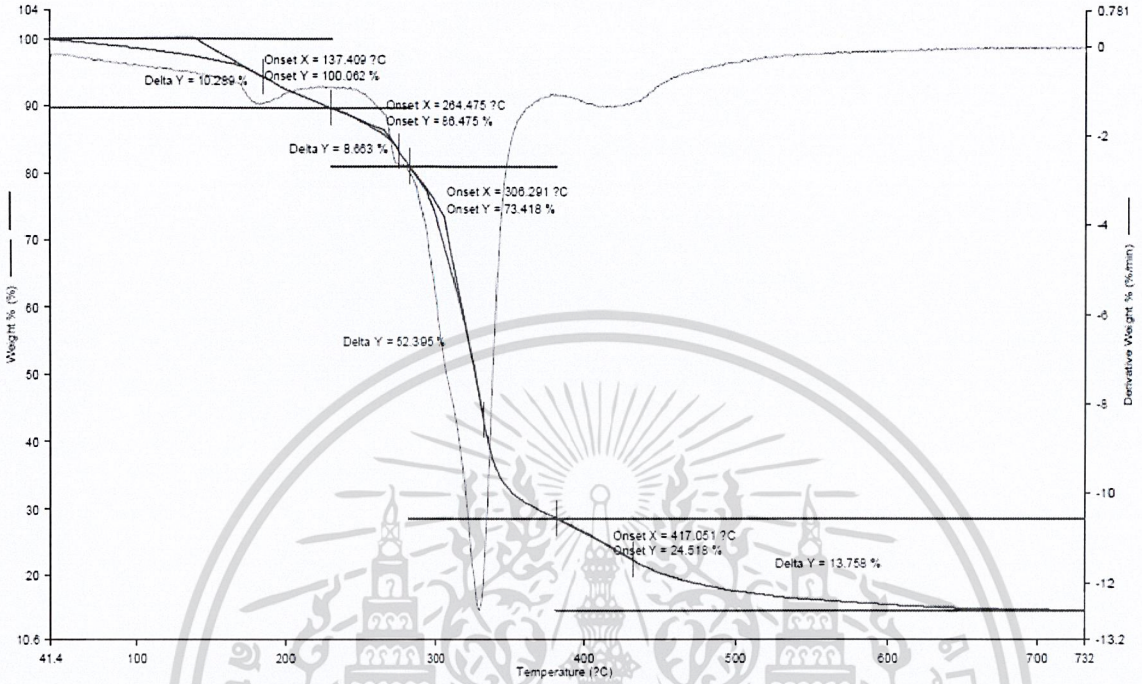


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง

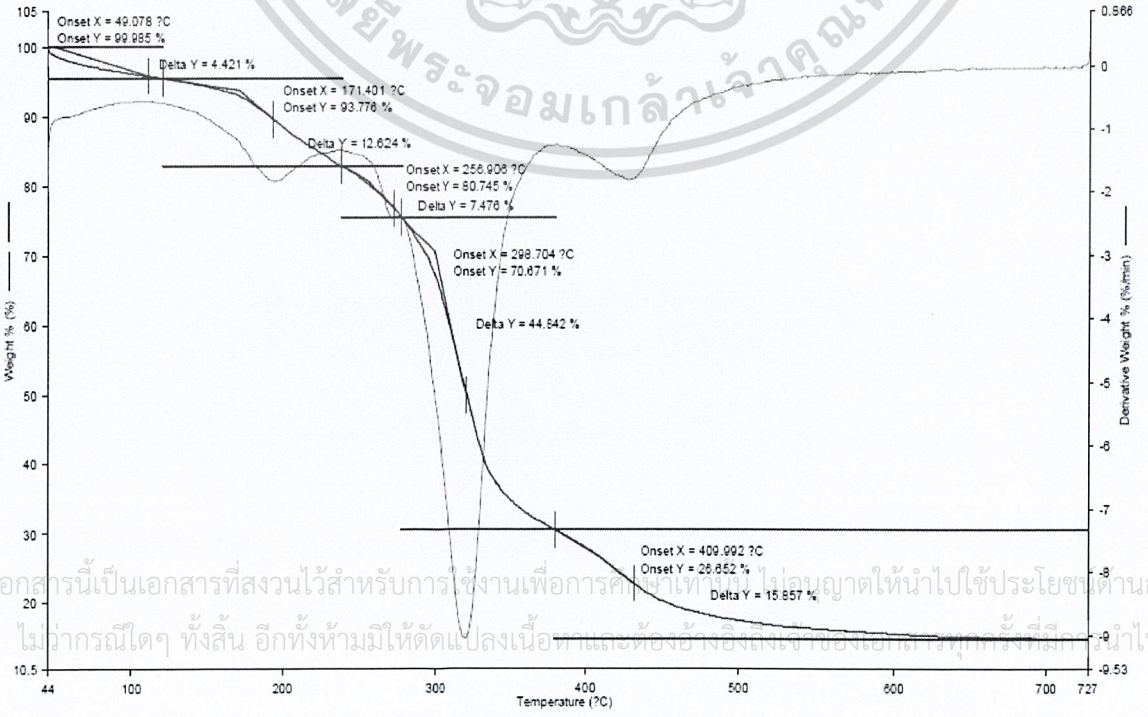


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง

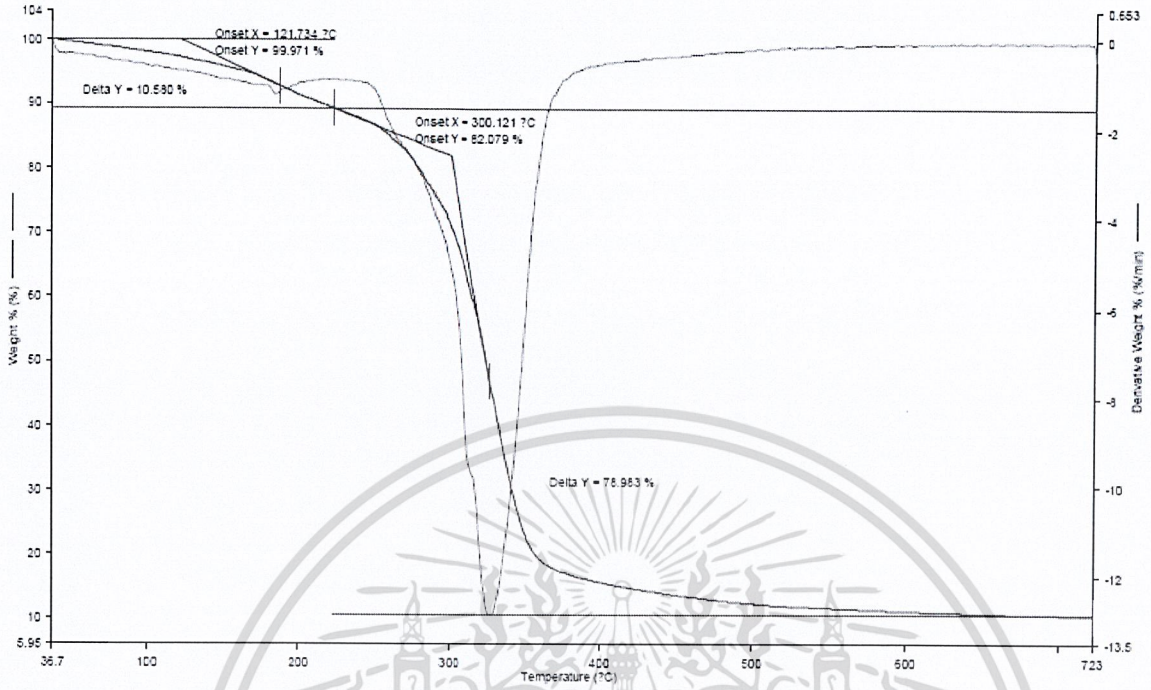


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยมีเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนเสริมแรง

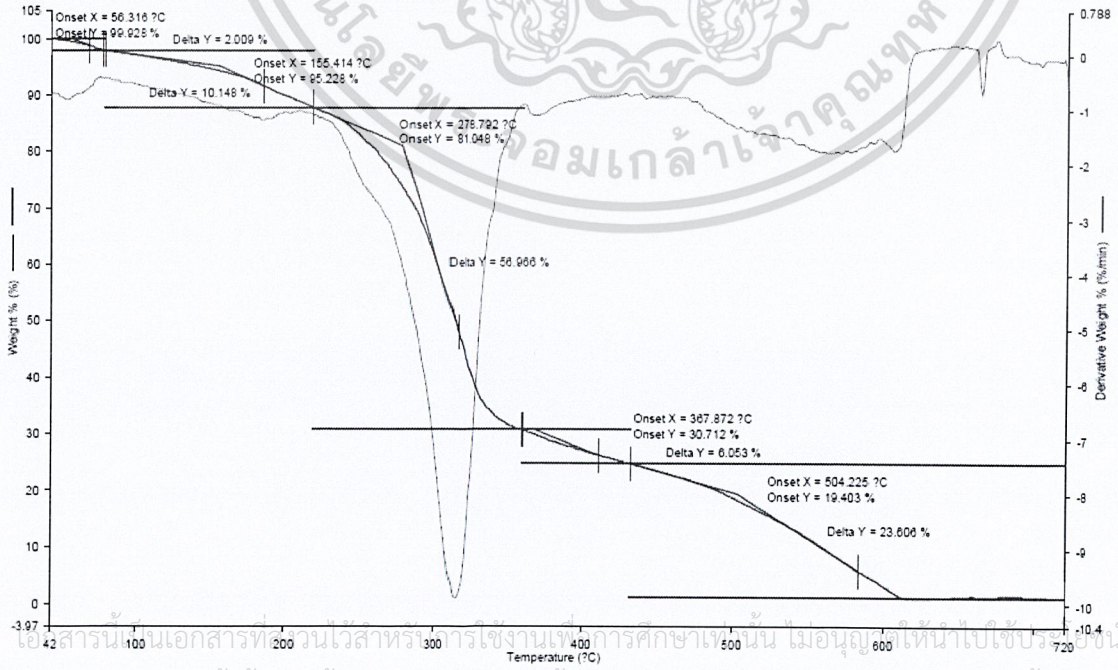


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง

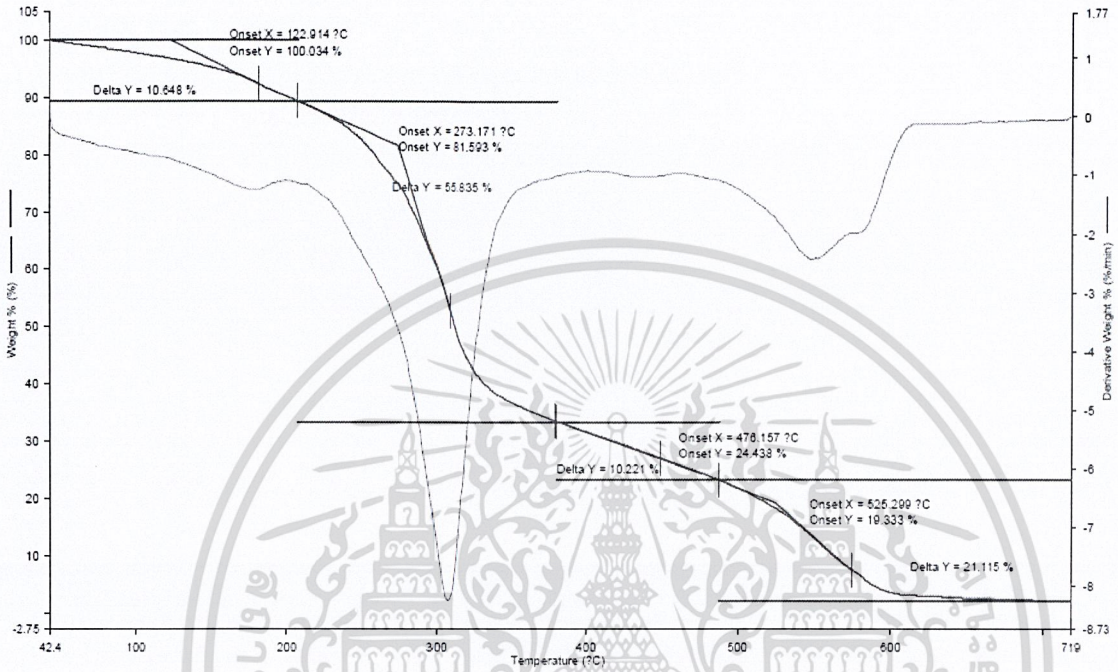


เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 90:10 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราส่วน 80:20 โดยมีเส้นใยไหมเป็นส่วนเสริมแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชของอัตราส่วนผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งถั่วเหลืองโดยผสมเส้นไยฝ้ายและเส้นไยไหมที่เปลี่ยนแปลงไปจากการย่อยสลายโดยการฝังดิน

เวลา (วัน)	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (%)								
	100:0	90:10	80:20	100:0+cotton	90:10+cotton	80:20+cotton	100:0+silk	90:10+silk	80:20+silk
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	44.30	45.33	48.93	50.37	47.7	57.79	51.95	60.39	55.21
2	91.32	85.47	90.50	86.57	76.59	84.79	92.91	98.07	83.76
3	95.89	88.24	94.28	91.04	80.81	86.31	98.37	99.03	86.53
4	95.43	90.31	92.13	88.43	80.93	80.99	99.35	93.72	82.10
5	93.61	89.27	79.88	87.31	65.51	70.72	93.92	55.56	49.56
6	92.24	86.16	57.01	80.97	55.80	35.74	89.06	44.55	34.29
7	88.13	80.28	10.75	75.75	37.18	-8.37	85.32	15.46	-15.10
8	89.95	76.49	-4.25	72.39	31.50	-17.49	84.33	6.28	-24.23
9	84.93	74.74	-11.09	70.52	19.95	-30.42	77.68	-18.36	-36.04
10	81.28	74.05	-20.94	66.04	14.46	-33.84	70.71	-26.09	-39.12
11	88.82	72.66	-25.44	65.67	8.67	-38.40	69.73	-29.95	-41.23
12	72.60	65.05	-29.22	60.45	2.06	-42.21	64.45	-34.78	-45.74
13	72.15	65.74	-30.29	58.96	-1.95	-44.49	60.16	-41.06	-48.98
14	68.04	60.21	-33.34	52.99	-19.38	-51.71	53.34	-45.89	-55.27
15	61.19	58.13	-36.76	51.87	-23.20	-54.75	52.18	-51.69	-58.20
16	57.08	53.98	-39.81	49.25	-27.07	-55.89	49.47	-53.14	-60.29
17	55.25	52.94	-40.89	50.75	-29.81	-56.65	46.93	-54.59	-62.67
18	51.14	50.52	-41.60	48.13	-38.94	-59.32	47.18	-59.90	-65.91
19	49.32	48.44	-42.86	46.27	-41.18	-61.60	44.04	-62.80	-66.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (%) (ต่อ)

20	47.95	46.37	-45.71	48.51	-41.82	-64.64	39.72	-63.29	-68.81
21	45.66	43.6	-48.60	42.54	-45.20	-65.40	37.56	-65.22	-72.79
22	41.55	42.21	-49.86	37.69	-48.85	-66.54	33.81	-65.22	-76.99
23	39.73	36.68	-49.30	34.70	-49.95	-67.30	29.53	-66.67	-77.84
24	39.73	36.33	-51.28	32.84	-49.81	-68.06	26.20	-68.12	-78.46
25	35.62	30.45	-55.79	29.61	-53.34	-70.72	29.37	-69.08	-80.06
26	30.59	29.07	-56.46	26.12	-54.62	-70.72	18.78	-69.08	-80.70
27	30.14	29.41	-54.50	23.88	-54.30	-71.10	15.64	-69.08	-82.50
28	30.14	27.34	-59.55	19.03	-54.46	-71.86	9.05	-71.50	-82.20
29	28.77	26.64	-58.45	20.52	-57.14	-73.76	6.49	-71.98	-81.16
30	27.85	22.84	-63.14	17.16	-55.69	-72.62	5.50	-72.46	-82.48
31	26.03	17.65	-63.86	16.79	-57.98	-73.76	-0.57	-73.91	-83.27
32	26.03	19.38	-62.78	21.27	-57.13	-74.14	-0.97	-73.91	-83.61
33	25.11	14.88	-63.84	14.18	-59.22	-75.29	-3.14	-74.40	-84.74
34	14.61	16.96	-64.93	13.81	-61.62	-72.24	-5.68	-75.36	-85.71
35	14.61	16.61	-63.84	14.55	-61.30	-76.81	-4.49	-74.88	-87.16
36	11.42	9.00	-64.39	6.72	-63.08	-77.95	-9.96	-75.85	-87.71
37	8.68	8.30	-65.46	5.60	-60.31	-79.47	-10.75	-76.33	-88.82
38	6.85	8.30	-67.76	5.97	-63.72	-79.85	-11.33	-74.88	-87.00
39	4.11	9.00	-67.26	4.85	-62.45	-80.23	-12.89	-76.33	-87.48
40	3.65	5.54	-71.58	1.49	-64.07	-80.99	-14.06	-77.29	-88.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้