การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

BIOPLASTIC POTTERY PACKAGING DEVELOPMENT FROM JACKFRUIT SEED STARCH

โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา Bioplastic Pottery Packaging Development from Jackfruit Seed Starch
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวโสภิดา วิศาลศักดิ์กุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์กุลวดี สังข์สนิท, Ph.D.
ปีการศึกษา	2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุภา จุฬคุปต์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุทัศนีย์ บุญโญภาส, M.A.)

.....กรรมการ
(อาจารย์กุลวดี สังข์สนิท, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(อาจารย์จีรวัฒน์ เหรียญอารีย์, คศ.ม.)
วันที่ 21 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
ชื่อ – นามสกุล	นางสาวโสภิดา วิศาลศักดิ์กุล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์, ปร.ด.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์กุลวดี สังข์สนิท, Ph.D.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เพื่อสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และเพื่อสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

การศึกษาสูตรที่เหมาะสม ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณของกลีเซอรีน โดยแปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน ทำการอัดขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ได้แก่ ค่าความชื้น ลักษณะที่ปรากฏ ความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็ง จากนั้นทำการคัดเลือกสิ่งทดลองที่ดีที่สุด เพื่อนำมาสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์ และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ผลการวิจัย พบว่า พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีนร้อยละ 50 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมากที่สุด โดยมีค่าความชื้นร้อยละ 11.20 ลักษณะปรากฏสามารถเกาะตัวกันเป็นแผ่นได้ดี มีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 0.57 ค่าความยืดหยุ่น 14.92 ค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด 8.72 และค่าความแข็ง 55.10 บรรจุภัณฑ์ต้นแบบสามารถเรียงซ้อนชั้นได้สูงสุดถึง 109 ชั้น และจากการสำรวจความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาของกลุ่มผู้บริโภคและกลุ่มผู้ประกอบการมีความพึงพอใจโดยรวมเฉลี่ย 4.26 ± 0.71 และ 3.84 ± 1.06 ตามลำดับ

คำสำคัญ: พลาสติกชีวภาพ แป้งเมล็ดขนุน กลีเซอรีน

Thesis Title	Bioplastic Pottery Packaging Development from Jackfruit Seed Starch
Name - Surname	Miss Sopida Wisansakkul
Program	Home Economic Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Orawan Oupathumpanont, Ph.D.
Thesis Co – advisor	Miss Kullawadee Sungsanit, Ph.D.
Academic Year	2015

ABSTRACT

The research aimed to find out the optimum formulation of jackfruit seed starch for making bioplastics to prototype pottery packaging, and to investigate the consumers' satisfaction toward this bioplastic packaging.

To study the optimum formulation, the main variable was the percentage of glycerin added to jackfruit seed starch, i.e. 0, 25, 50, 75, and 100. Each mixture was then molded by the compression molding at 150°C. After that, its chemical and physical quality were analyzed to determine moisture contents, tensile strength, Young's modulus, percentage strain at break, and Shore hardness type A. Next, the best mixture was selected, and the packaging quality was tested. Finally, the questionnaire asking about consumers' satisfaction was analyzed.

The results showed that the most appropriate mixture was the one with 50% glycerin. The measurement of moisture contents was 11.20 %. The calculation of its tensile strength, Young's modulus, percentage strain at break, and Shore hardness type A was 0.57, 14.92, 8.72, and 55.10, respectively. This bioplastic content was also well agglomerate. Hence, 109 prototype packaging containers could be stacked up. Furthermore, the satisfaction of the consumers and entrepreneurs was at 4.26 ± 0.71 and 3.84 ± 1.06, respectively.

Keywords: bioplastic, jackfruit seed starch, glycerin

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวัลภ์ อุปถัมภานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กุลวดี สังข์สนิท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.สุภา จุฬคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์สุทัศนีย์ บุญโญภาส ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ในกระบวนการจัดทำวิทยานิพนธ์เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท รุ่นที่ 5 หลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ รวมถึงพี่ๆ น้องๆ ในหลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ทุกท่านที่ให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการวิจัยครั้งนี้ และ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือในการศึกษาวิจัยและทดสอบการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและประสิทธิ์ประสานวิชาความรู้ต่างๆ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์สุทัศนีย์ บุญโญภาส พ่อ แม่ ครอบครัว และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ สนับสนุนกำลังทรัพย์และให้กำลังใจตลอดระยะเวลาการศึกษาวิจัย รวมทั้งขอขอบพระคุณทุกท่านที่มี ส่วนให้ความสนับสนุนช่วยเหลือที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (4)

กิตติกรรมประกาศ..... (5)

สารบัญ..... (6)

สารบัญตาราง..... (8)

สารบัญรูป..... (9)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... (11)

บทที่ 1 บทนำ..... 12

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 12

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... 13

1.3 สมมติฐานการวิจัย..... 13

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 13

1.5 ขั้นตอนการวิจัย..... 14

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 15

บทที่ 2 ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 16

2.1 พลาสติกชีวภาพ..... 17

2.2 แป้ง..... 29

2.3 กลีเซอรีน/กลีเซอรอล..... 42

2.4 บรรจุภัณฑ์..... 45

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 58

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 61

3.1 วัตถุดิบ..... 61

3.2 อุปกรณ์..... 61

3.3 วิธีการทดลอง..... 62

3.4 ระยะเวลาในการทดลอง..... 74

3.5 สถานที่ทำการวิจัย..... 74

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิจารณ์	75
	4.1 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	75
	4.2 ศึกษาการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	83
	4.3 การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	87
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	104
	5.1 สรุปผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	104
	5.2 สรุปผลการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	105
	5.3 สรุปผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	105
	5.4 ข้อเสนอแนะ	106
บรรณานุกรม		107
ภาคผนวก		116
	ภาคผนวก ก แบบสอบถาม	117
	ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน	130
	ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการดูดซับน้ำ	134
	ภาคผนวก ง รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ	139
	ภาคผนวก จ แบบตอบรับการตีพิมพ์เผยแพร่	141
ประวัติผู้เขียน		143

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตัวอย่างการใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพเปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไป..	53
ตารางที่ 3.1	การศึกษาปริมาณกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน……	64
ตารางที่ 3.2	ผลต่อความสามารถในการทนต่อแรงกดในลักษณะการวางซ้อนของบรรจุภัณฑ์….	72
ตารางที่ 4.1	ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน……..……	76
ตารางที่ 4.2	ผลการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน…..	78
ตารางที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……..	79
ตารางที่ 4.4	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……	80
ตารางที่ 4.5	ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……	81
ตารางที่ 4.6	ความสามารถในการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……	86
ตารางที่ 4.7	ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้บริโภค……	87
ตารางที่ 4.8	ผลการสำรวจข้อมูลเพื่อการพัฒนา กลุ่มผู้บริโภค……	89
ตารางที่ 4.9	ผลการสำรวจความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน กลุ่มผู้บริโภค……	93
ตารางที่ 4.10	ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้ประกอบการ……	96
ตารางที่ 4.11	ผลการสำรวจข้อมูลเพื่อการพัฒนา กลุ่มผู้ประกอบการ……	98
ตารางที่ 4.12	ผลการสำรวจความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน กลุ่มผู้ประกอบการ……	100

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	การปล่อยตุ้มน้ำหนักของเครื่องทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง…….....…	28
รูปที่ 2.2	ส่วนประกอบของเครื่อง DSC……..……	38
รูปที่ 2.3	ลักษณะกราฟของเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)……	39
รูปที่ 2.4	ลักษณะของเครื่องวัดความชื้นด้วยระบบอินฟราเรด……	41
รูปที่ 2.5	การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง……	56
รูปที่ 2.6	การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ……	57
รูปที่ 2.7	การทดสอบหาอัตราซึมผ่านของก๊าซ……	57
รูปที่ 2.8	การทดสอบหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ……	58
รูปที่ 3.1	กระบวนการผลิตแป้งดิบจากเมล็ดขนุน……	63
รูปที่ 3.2	กระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……..…	65
รูปที่ 3.3	เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น DSC 823^{e}……	67
รูปที่ 3.4	รูปแบบกล่องบรรจุภัณฑ์ (ก) บรรจุภัณฑ์รูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ และ (ข) บรรจุภัณฑ์รูปแบบกล่องเลื่อน……	70
รูปที่ 4.1	เทอร์โมกราฟของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน…….....	76
รูปที่ 4.2	ผลการศึกษาค่าความชื้นของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……	82
รูปที่ 4.3	กล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ..	83
รูปที่ 4.4	กล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนแบบกล่องเลื่อน……	84
รูปที่ 4.5	ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน…..	84
รูปที่ 4.6	การแตกสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน……	85
รูปที่ 4.7	ขนาดบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน (ก) รูปแบบรูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ (ข) รูปแบบกล่องเลื่อน……	87
รูปที่ 4.8	ผลการศึกษาระดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์……	92
รูปที่ 4.9	ผลการศึกษาระดับความสำคัญของลักษณะบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ต้องการ….	99
รูปที่ ข.1	ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 0 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน……	131

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน..... 131

รูปที่ ข.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 50 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน..... 132

รูปที่ ข.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 75 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน..... 132

รูปที่ ข.5 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 100 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน..... 133

รูปที่ ค.1 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 1..... 135

รูปที่ ค.2 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 2..... 135

รูปที่ ค.3 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 3..... 136

รูปที่ ค.4 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 4..... 136

รูปที่ ค.5 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 5..... 137

รูปที่ ค.6 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 6..... 137

รูปที่ ค.7 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 7..... 138

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

DSC	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter)
T_o	อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชัน (Temperature Onset)
T_p	อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (Temperature Mid Point)
T_c	อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนเซชัน (Temperature Conclusion)
ΔH	พลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (Enthalpy of Gelatinization)
°ซ / °C	องศาเซลเซียส
L*	ค่าความสว่าง (Lightness)
a*	ค่าของสีที่จะมีทิศทางไปทางสีแดงและสีเขียว ซึ่งถ้าหากค่า a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง และค่า a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว
b*	ค่าของสีที่จะมีทิศทางไปทางสีเหลืองและสีน้ำเงิน ซึ่งถ้าหากค่า b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง และค่า b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน
ΔE	ค่าความแตกต่างของสี
MPa	เมกกะปาสคาล
PLA	พอลิแลคติกแอซิค (Polylactic Acid)
ASTM	มาตรฐานการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society of Testing and Materials)
AOAC	มาตรฐานด้านวิทยาการในการวิเคราะห์ Association of Official Analytical Chemists (AOAC International)
DMRT	ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย Duncan's new multiple range test
% yield	ค่าร้อยละผลผลิต (percent yield)
BCT	ความสามารถในการทนต่อแรงกดบรรจุภัณฑ์ (Box Compression Test)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมล็ดขนุนเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่มีเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากและมีการนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมน้อย ทำให้มีปริมาณเหลือทิ้งถึง 1,000 – 24,000 กิโลกรัมต่อปี [1] เนื่องจากขนุนเป็นพืชทางเศรษฐกิจที่นิยมปลูกกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทยคิดเป็นพื้นที่ 297,245 ไร่ มีผลผลิตรวม 564,382.43 ตัน จังหวัดที่ปลูกขนุนมากที่สุดคือ จังหวัดชลบุรี โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 3,920 กิโลกรัมต่อไร่ [2] จากการสำรวจที่พบว่าขนุนมีการปลูกมากในประเทศและคนไทยส่วนใหญ่นั้นนิยมบริโภคเฉพาะส่วนของเนื้อขนุนทำให้เมล็ดขนุนมีเหลือทิ้งเป็นปริมาณมาก ซึ่งเมล็ดขนุนมีแป้งเป็นส่วนประกอบอยู่จำนวนมาก [1] สามารถนำมาสกัดเป็นสตาร์ชจากเมล็ดขนุนเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารหรือเพื่อศึกษาวิจัยในการประดิษฐ์เป็นชิ้นงานต่างๆ

ปัจจุบันโลกได้ให้ความสนใจต่อบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เช่น การใช้ถุงพลาสติกชีวภาพหรือถุงผ้าทดแทนถุงพลาสติกทั่วไป การใช้กล่องบรรจุอาหารจากชานอ้อยทดแทนกล่องโฟม เป็นต้น จึงส่งผลให้ตลาดพลาสติกชีวภาพมีโอกาสเติบโตได้อีกมากในอนาคต [3] นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีอุตสาหกรรมรองรับในการพัฒนาพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยมุ่งเป้าไปที่อุตสาหกรรมพลาสติก โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ถุง กระสอบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมเป็นมูลค่ากว่า 200,000 ล้านบาท [4] ซึ่งผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจะเริ่มต้นจากการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติที่เป็นผลิตผลทางการเกษตร มาใช้ในการผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งอ้อย เป็นต้น

ดังนั้นการนำแป้งจากเมล็ดขนุนมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ จึงเป็นการช่วยลดปริมาณเหลือทิ้งของผลิตผลทางการเกษตรและช่วยสร้างบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรูปแบบใหม่ขึ้นมา ประกอบด้วยในปัจจุบันผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่จะประสบกับปัญหาในเรื่องของการบรรจุหีบห่อซึ่งลูกค้ามักจะเข้าใจว่าราคาที่ตกลงกันรวมค่าบรรจุหีบห่อที่ได้คุณภาพเพื่อป้องกันการแตกหักเสียหายด้วย แต่ผู้ขายไม่มีขีดความสามารถและความรู้ในด้านการหีบห่อที่ได้มาตรฐาน จึงมักจะเกิดปัญหาตามมาและทำให้สูญเสียลูกค้าไปในทันที [5] ซึ่งธุรกิจงานปั้นเครื่องปั้นดินเผาเป็นสิ่งที่อยู่คู่กับวิถีชีวิตของคนไทยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีหลายชุมชนที่ยังประกอบการธุรกิจประเภทนี้อยู่ เช่น เครื่องปั้นดินเผาบ้านทุ่งหลวง เครื่องปั้นดินเผาเกาะเกร็ด เครื่องปั้นดินเผาบ้านม่อนเขาแก้ว เครื่องปั้นดินเผาบ้านท่าระบาด เครื่องปั้นดินเผาบ้านเชียง และ

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน ที่ได้มีการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามาอย่างต่อเนื่องเป็นเวลายาวนานและมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในท้องถิ่นตน ทั้งในด้านคุณภาพ และรูปแบบ จนกลายเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว [6] ผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาจึงได้ดำเนินสำรวจความต้องการในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากกลุ่มผู้ประกอบการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ซึ่งพบว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่าผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผายังไม่มีบรรจุภัณฑ์เฉพาะ และในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีขนาดเล็กสำหรับนำไปใช้เป็นของฝาก ของที่ระลึก ควรมีบรรจุภัณฑ์เพื่อความสวยงามของผลิตภัณฑ์ [7] ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาวิจัย เรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยการนำพลาสติกชีวภาพมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้ในงานหัตถกรรมพื้นบ้านถือเป็นการอนุรักษ์วัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำลังเป็นความนิยมใหม่ที่ได้รับความนิยมจากทั่วโลก ทั้งนี้ยังเป็นจุดขายและจุดเด่นเพื่อการโฆษณาผลิตภัณฑ์โดยมีการบอกเล่าที่มาของผลิตภัณฑ์ไปในบรรจุภัณฑ์ของสินค้าได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.2.2 เพื่อสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.2.3 เพื่อสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.3 สมมติฐานการวิจัย

ปริมาณกลีเซอรีนมีผลต่อการผลิตและคุณภาพพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมีขอบเขตในการวิจัย ดังนี้

1.4.1 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.4.1.1 เตรียมวัตถุดิบแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตพลาสติกชีวภาพ

1.4.1.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณของกลีเซอรีน โดยแปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน

1.4.1.3 วิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

1.4.1.4 ขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพที่มีการผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนและกลีเซอรีนในปริมาณที่ต่างกัน

1.4.1.5 ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงและความแข็งแรงของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนแต่ละสูตร

1.4.1.6 ทำการเลือกสูตรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.4.2 สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.4.2.1 รูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ

1.4.2.2 รูปแบบกล่องเลื่อน

1.4.3 ทดสอบคุณภาพบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.4.4 สำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.4.4.1 การสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้บริโภค

1.4.4.2 การสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ประกอบการ (ผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา)

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษา

1.5.2 วางแผนการดำเนินงานวิจัย

1.5.3 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.4 ทำการศึกษาสูตรและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการศึกษาวิจัย

1.5.5 วางแผนการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 2 รูปแบบ

1.5.6 ทดสอบคุณภาพของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.5.6.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงดึง (ตามมาตรฐาน ASTM D638) และการทดสอบความแข็ง (ตามมาตรฐาน ASTM D2240)

1.5.6.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ การวัดค่าความชื้น (ตามมาตรฐาน AOAC 2012)

1.5.7 สำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.5.8 วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5.9 สรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ทราบสูตรและกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

1.6.2 ได้ทราบรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

1.6.3 เพิ่มมูลค่าให้กับเมล็ดขนุน

1.6.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 2
ตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ซึ่งมีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 พลาสติกชีวภาพ
- 2.1.1 ความหมายของพลาสติก
- 2.1.2 ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ
- 2.1.3 การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ
- 2.1.4 การเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในอนาคต
- 2.1.5 การทดสอบพลาสติก

2.2 แป้ง
- 2.2.1 องค์ประกอบภายในแป้ง
- 2.2.2 คุณสมบัติของแป้ง
- 2.2.3 การปรับปรุงคุณภาพแป้ง
- 2.2.4 แป้งเมล็ดขนุน
- 2.2.5 การนำแป้งมาผลิตเป็นวัสดุพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้
- 2.2.6 การทดสอบแป้ง

2.3 กลีเซอรีน/กลีเซอรอล
- 2.3.1 ข้อแตกต่างของกลีเซอรีนกับกลีเซอรอล
- 2.3.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรีน/กลีเซอรอล
- 2.3.3 คุณลักษณะเฉพาะของกลีเซอรีน/กลีเซอรอล
- 2.3.4 การผลิต
- 2.3.5 ประโยชน์กลีเซอรีน/กลีเซอรอล
- 2.3.6 ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยากลีเซอรีน/กลีเซอรอล

2.4 บรรจุภัณฑ์

2.4.1 ความเป็นมาของบรรจุภัณฑ์

2.4.2 ประเภทของบรรจุภัณฑ์

2.4.3 การออกแบบบรรจุภัณฑ์

2.4.4 บรรจุภัณฑ์พลาสติก

2.4.5 บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

2.4.6 มาตรฐานการทดสอบบรรจุภัณฑ์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกชีวภาพ

2.1.1 ความหมายของพลาสติกชีวภาพ

พลาสติก (Plastic) หมายถึงสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดแข็งตัวถาวร ปัจจุบันพลาสติกเป็นปัญหากับสิ่งแวดล้อม ย่อยสลายยากใช้เวลานาน ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ เผาทำลายทำให้เกิดมลพิษในอากาศ

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หรือพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) หมายถึงพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นพืช สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (Biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม

วัตถุดิบที่มีศักยภาพในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ ได้แก่ มันสำปะหลัง และอ้อย ทั้งนี้ในปัจจุบันประเทศไทยผลิตหัวมันสดเป็นอันดับ 3 ของโลก และส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยในปี 2548 มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังกว่า 6.6 ล้านไร่ และมีการผลิตหัวมันสดได้กว่า 20 ล้านตันต่อปี นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีอุตสาหกรรมรองรับในการพัฒนาพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยมุ่งเป้าไปที่อุตสาหกรรมพลาสติก โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สำคัญของประเทศไทย ได้แก่ ถุง กระสอบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมเป็นมูลค่ากว่า 200,000 ล้านบาท [4]

พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งโดยตรงจะมีขีดจำกัด เพราะจะเกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น จึงได้มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายแป้ง แล้วเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นโมโนเมอร์ (Monomer) ที่เรียกว่ากรดแลคติก (Lactic Acid) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการ Polymerization ทำให้กรดแลคติกเชื่อมกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer)

2.1.2 ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ (Bio-Based Biodegradable Product)

ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้จากวัตถุดิบชีวมวลที่สามารถสร้างใหม่ทดแทนได้ (Renewable Resource) สามารถที่จะสลายตัวได้ทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติหรือในโรงปุ๋ยหมัก โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเติมแต่งพิเศษใส่เพิ่มเติม [8]

2.1.2.1 พอลีแลคติคแอซิด (Polylactic Acid) หรือ PLA วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Polylactic Acid (PLA) คือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable Resource) ซึ่งได้แก่พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์เกิดเป็น Lactic Acid ซึ่งมีกรรมวิธีคล้ายกับการหมักเบียร์ จากนั้นนำ Lactic Acid ที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่า Lactide หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นโพลิเมอร์ของ Lactide ที่เป็นสายยาวขึ้นเรียกว่า Polylactic Acid (PLA) ซึ่งการกำหนดความยาวของสายโพลิเมอร์ให้ได้ตามที่ต้องการจะเป็นสิ่งที่ทำให้คุณสมบัติของ PLA เปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน ทั้งนี้ PLA สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียม อีกทั้ง PLA ยังมีคุณสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน [4]

2.1.2.2 พอลีไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates) หรือ PHAs เป็นสารพอลีเมอร์ตั้งต้นที่สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยบริษัท Metabolix Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาเทคโนโลยีการผลิต PHAs ได้ในระดับอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Polyhydroxyalkanoates (PHAs) คือ แป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) ซึ่งได้แก่ พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลังและอ้อย เป็นต้น โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ชนิดพิเศษชื่อ Eschericia Coli ซึ่งกินน้ำตาลเป็นอาหาร และสามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลภายในตัวจุลินทรีย์เองเป็น PHAs ซึ่งสามารถแยกออกมาได้โดยการกะเทาะแยกเปลือกนอกหุ้มจุลินทรีย์ออก เนื่องจาก PHAs มีช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลว (Tm) ที่กว้างตั้งแต่ 50 – 180 องศาเซลเซียส จึงทำให้มีคุณสมบัติในการนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลาย เช่น การขึ้นรูปเป็นฟิล์ม การฉีดและการเป่า [4]

2.1.2.3 พอลิบิวทิลีนซักซิเนต (PBS) เป็นพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพชนิดพอลิเอสเตอร์ (Polyester) อีกชนิดหนึ่งที่ผลิตจากโมโนเมอร์หลัก 2 ชนิด คือ กรดซักซินิก (Succinic acid) ที่ผลิตมาจากพืช และ 1, 4-Butanediol ที่ผลิตจากปิโตรเลียม PBS มีคุณสมบัติคล้ายพอลิเอทิลีน (Polyethylene หรือ PE พลาสติกเบอร์ 2) มีลักษณะขุ่น สามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายในหลากหลายกระบวนการ โดยเฉพาะการฉีดขึ้นรูป และการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม ซึ่ง PBS สามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 80 – 95 องศาเซลเซียส และมีความยืดหยุ่นที่ดี อีกทั้งยังสามารถนำไปผสมกับ PLA เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หลายประเภทได้อีกด้วย [9]

2.1.3 การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ [10]

2.1.3.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความว่องไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสียูวี เช่น หมู่คีโตน (Ketone Group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มืด หรือแม้กระทั่งชิ้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.1.3.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.1.3.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing Additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานซิชัน ซึ่งทำหน้าที่คะตะลิสต์เร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์

ออกไซด์ (Hydroperoxpide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.1.3.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolyisi Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดรายด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูริเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic Hydrolysis) และไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal Catalytic Degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-Enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline Metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.1.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งทั้งแบบใช้ Endo-Enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-Enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะทีละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate Biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass)

2.1.4 การเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในอนาคต [3]

เนื่องจากการลงทุนในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมากและใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ทำให้ผู้ประกอบการไทยส่วนใหญ่มีข้อจำกัดด้านการลงทุน

ดังนั้นผู้ประกอบการไทยรายใหญ่ก็เริ่มมีแผนในการลงทุนอุตสาหกรรมดังกล่าว เพื่อเป็นการสนับสนุนและผลักดันการลงทุนอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพในไทยให้เติบโตในอนาคต ซึ่งในส่วนของศูนย์วิจัยกสิกรไทยมองว่า จำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือจากหลายภาคส่วนด้วยกัน ดังนี้

2.1.4.1 การสนับสนุนและส่งเสริมผู้ประกอบการพลาสติกชีวภาพในด้านการวิจัยและลงทุน

เนื่องจากการลงทุนในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ จำเป็นต้องใช้เงินลงทุนในปริมาณมาก โดยเฉพาะการสร้างโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพและการลงทุนด้านงานวิจัย รัฐบาลจึงควรมีนโยบายสนับสนุนการลงทุนแก่ผู้ประกอบการอย่างชัดเจน อาทิเช่น การสนับสนุนทุนวิจัยและการสร้างห้องปฏิบัติการรวมสำหรับการทดสอบคุณสมบัติและการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ รวมไปถึงการจัดทำมาตรฐานผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ ซึ่งในปัจจุบันรัฐบาลก็ได้มีการสนับสนุนและจัดตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในไทยทั้งหมด 3 แห่ง คือ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และกรมวิทยาศาสตร์บริการ โดยสมาคมพลาสติกชีวภาพไทยจะทำการออกตราเครื่องหมายมาตรฐานผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่ผ่านการทดสอบจากห้องปฏิบัติการดังกล่าว

นอกจากนี้ควรส่งเสริมการเปิดเวทีเสวนาหรือการแลกเปลี่ยนความรู้และงานวิจัยเกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพอยู่เสมอ ซึ่งในปัจจุบัน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ก็ได้มีการส่งเสริมการจัดงานประชุมวิชาการเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ทั้งทางด้านงานวิจัยและการประกอบธุรกิจในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพเป็นประจำทุกปี

2.1.4.2 ส่งเสริมและผลักดันการบริโภคพลาสติกชีวภาพภายในประเทศ

รัฐบาลไทยได้มีการรณรงค์อย่างจริงจังให้ผู้บริโภคในประเทศลดการใช้ถุงพลาสติกทั่วไปจากปิโตรเคมี และหันมาใช้ถุงพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยอาจจะเริ่มผลักดันภายในประเทศด้วยการสนับสนุนให้ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมต่างๆ หันมาใช้พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้มากขึ้น

นอกจากนี้ยังมีการรณรงค์ให้ผู้บริโภคไทยเล็งเห็นความสำคัญของการรักษาสิ่งแวดล้อม พร้อมให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพ รวมไปถึงการปลูกฝังให้ผู้บริโภคไทยร่วมมือกันแยกขยะเพื่อง่ายต่อการจัดการขยะต่อไป โดยอาจนำเรื่องพลาสติกชีวภาพเข้าไปอยู่ในตำราเรียนของเด็กนักเรียนนักศึกษา เพื่อให้เยาวชนได้ทำความรู้จักและซึมซับในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลาสติกชีวภาพมากขึ้น

2.1.5 การทดสอบพลาสติก [11]

2.1.5.1 การศึกษาความเค้นและความเครียด (Stress and Strain Test)

การศึกษาสมบัติความเค้นและความเครียดของวัสดุสามารถทำได้โดยการให้แรงกระทำแก่วัสดุซึ่งโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดและรูปร่างตามมาตรฐานหรือข้อกำหนด โดยในการทดสอบนั้นทำโดยการเพิ่มระดับของแรงในชิ้นงานทดสอบไปที่ละน้อยตามลำดับด้วยอัตราคงที่ (Constant Rate Test) ซึ่งสามารถทำได้ 3 แบบหลัก คือ อัตราการเคลื่อนที่ของครอสเฮด คงที่ (Constant Crosshead Speed) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดคงที่ (Constant Strain Rate) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเค้นคงที่ (Constant Stress Rate) ส่วนลักษณะการใช้แรงกระทำต่อวัสดุในการทดสอบ สามารถทำได้ในลักษณะต่างๆ ได้แก่ แรงดึง แรงอัด แรงดัดงอ แรงเฉือน หรือแรงบิด เป็นต้น

1) การทดสอบแรงดึง [11]

การทดสอบแรงดึงถือได้ว่าเป็นการทดสอบที่ได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักมากที่สุดสำหรับการทดสอบสมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ โดยในการทดสอบจะเป็นการให้แรงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานในทิศทางตรงข้ามกันเพื่อสร้างแรงดึงขึ้นในชิ้นงาน การทดสอบแรงดึงมักจะใช้ในการทดสอบวัสดุประเภทโลหะและโพลิเมอร์เป็นส่วนใหญ่ ไม่นิยมใช้งานในการทดสอบเซรามิก ทั้งนี้เนื่องจากความยากของการเตรียมชิ้นงาน การจับยึด และการติดตั้งในการทดสอบ

โดยทั่วไปแล้วชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงจะมีลักษณะเรียวยาวและปลายทั้งสองสามารถถูกจับยึดโดยเครื่องทดสอบได้ ซึ่งประเภทของชิ้นงานทดสอบแรงดึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่

(1) ดัมเบลแบบเอวแคบ (Narrow-Waisted Dumbell) ชิ้นงานประเภทนี้เป็นชิ้นงานทดสอบทั่วไปสำหรับพลาสติก เหมาะสำหรับทดสอบพลาสติกทั้งแข็งและอ่อน นอกจากใช้ในการทดสอบแรงดึงแล้ว ชิ้นงานประเภทนี้ยังสามารถนำไปใช้ทดสอบแรงดัด และทดสอบแรงกระแทกได้ โดยตัดปลายทั้งสองข้างสำหรับยึดจับทิ้ง

(2) ดัมเบลแบบเอวกว้าง (Broad-Waisted Dumbell) ชิ้นงานประเภทนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทดสอบพลาสติกอ่อนนิ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่สามารถยืดตัวได้สูง ได้แก่ วัสดุจำพวกยางต่างๆ หรือพลาสติกนิ่ม

(3) ดัมเบลแบบกระดูกสุนัข (Dog Bone Dumbell) ชิ้นงานประเภทนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตในกรณีที่ชิ้นงานแบบดัมเบลโค้งเข้าไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยมสำหรับการทดสอบในปัจจุบัน

(4) แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Parallel-Side Strip) ชิ้นงานประเภทนี้เหมาะสำหรับการทดสอบวัสดุเชิงประกอบ แต่การใช้ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้อาจจะประสบปัญหาของการแตกหักบริเวณที่จับยึดได้ง่าย ดังนั้น เพื่อป้องกันปัญหานี้ แผ่นประกบจึงมักถูกติดตั้งเพื่อใช้ในการเสริมแรงบริเวณจับยึดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในบริเวณนั้น นอกจากวัสดุเชิงประกอบแล้ว ชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้านี้ยังถูกใช้ในการทดสอบฟิล์มพลาสติกอีกด้วย

2) การทดสอบแรงอัด [11]

ในทางทฤษฎีการทดสอบแรงอัดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการทดสอบแรงดึงเพียงแต่ลักษณะของแรงที่ใช้ในการทดสอบนั้นเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามเท่านั้น โดยในการทดสอบจะเป็นการให้แรงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานในทิศทางตรงกันข้ามที่วิ่งเข้าหากันเพื่อสร้างแรงอัดขึ้นในชิ้นงาน การทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกแข็งเปราะมากที่สุด เนื่องจากความต้านทานแรงอัดสูงสุดจะคำนวณได้อย่างแน่นอนสำหรับพลาสติกที่เกิดการแตกหักอย่างฉับพลันที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่ำเท่านั้น แต่ในกรณีของพลาสติกที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแต่ไม่แตกหักอย่างฉับพลัน การคำนวณค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดจะมีค่าไม่แน่นอน นอกจากนี้พลาสติกบางประเภทเมื่อทดสอบด้วยเทคนิคการอัดจะไม่เกิดการแตกหัก แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือมีส่วนสูงลดลงเรื่อยๆ จนแบนราบเนื่องจากการส่งผ่านแรงระหว่างแผ่นกดทั้งสองข้างมีได้มากขึ้น

โดยทั่วไปแล้ว ลักษณะของชิ้นทดสอบแรงอัดนี้จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ปริซึมหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Right Rectangular Prism) ปริซึมหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Right Square Prism) ทรงกระบอกตัน (Right Cylinder) และท่อทรงกระบอก (Right Circular Tube) แต่ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานรูปแบบใดก็ตาม บริเวณพื้นผิวที่สัมผัสแผ่นกดจะต้องขนานและมักจะมีความสูงที่มากกว่าความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลาง

3) การทดสอบแรงดัดงอ [11]

การทดสอบการดัดงอเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการทดสอบพลาสติกและมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ โดยทั่วไปแล้วการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกอ่อนที่สามารถจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดงอนี้จะถูกต้องในกรณีที่การเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดงอล้วนๆ เท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียดร้อยละ 5 ซึ่งการทดสอบการดัดงอสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การดัดงอแบบ 3 จุด (Three-Pointed Bending) และการดัดงอแบบ 4 จุด (Four-Pointed Bending)

ลักษณะชิ้นงานสำหรับการทดสอบการดัดงอทั้งแบบ 3 จุดและ 4 จุดนั้น จะอยู่ในลักษณะของคาน โดยอาจจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ชิ้นงานในการทดสอบแรงดัดงอจะไม่ถูกจับยึดแต่อย่างใด แต่จะถูกวางอยู่ตรงกลางบนแท่นรองรับระหว่างจุดรับแรงสองจุด จากนั้นชิ้นงานจะถูกกดด้วยแท่นกดจากด้านบนซึ่งจะมีจำนวนจุดรองรับแรงกดขึ้นอยู่กับลักษณะของการทดสอบ

2.1.5.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) [11]

การทดสอบความแข็ง เป็นการทดสอบสมบัติทางกลที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ การทดสอบประเภทนี้เป็นการทดสอบที่ไม่ซับซ้อนอะไรและใช้เวลาไม่นานในการทดสอบ

1) ประเภทของการทดสอบ

การแบ่งประเภทของการทดสอบความแข็งตามระดับของการให้แรงกดในการทดสอบ การทดสอบความแข็งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับตามแรงกด ได้แก่

(1) ความแข็งระดับมหภาค (Macro Hardness)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่น้ำหนักกดซึ่งมีขนาดสูงกว่า 1 กิโลกรัมขึ้นไป โดยเป็นการทดสอบวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จ ตัวอย่างการทดสอบในระดับนี้ได้แก่ การทดสอบแบบบริเนลล์ (Brinell) ร็อกเวลล์ (Rockwell) และวิกเกอร์ส (Vickers)

(2) ความแข็งระดับจุลภาค (Micro Hardness)

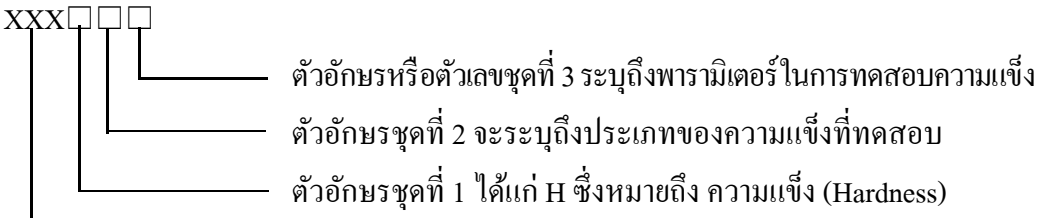
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่น้ำหนักกดมีขนาดต่ำกว่า 1 กิโลกรัม ซึ่งอาจจะต่ำลงไปถึงประมาณ 10 กรัมก็ได้ ใช้ทำการทดสอบวัดความแข็งของแผ่นวัสดุที่มีความหนาต่ำ พื้นผิวของวัสดุ หรือชิ้นงานมีขนาดเล็ก ตัวอย่างการทดสอบในระดับนี้ ได้แก่ การทดสอบแบบวิกเกอร์ส (Vickers) และนู้พ (Knoop)

(3) ความแข็งระดับนาโน (Nano Hardness)

ปัจจุบันระดับของแรงในการทดสอบความแข็งได้ลดต่ำลงไปถึงระดับของความลึกในการกดเพียงแค่นาโนเมตรเท่านั้น ซึ่งเทคนิคนี้มักจะใช้ในการตรวจสอบหรือศึกษาชั้นเคลือบของวัสดุต่างๆ ที่มีความหนาแน่นต่ำ โดยทั่วไปต่ำกว่าระดับ 10 ไมครอน วิธีการทดสอบนี้รู้จักกันในชื่อ การวัดของแข็งอเนกประสงค์ (Universal Hardness)

2) สัญลักษณ์ในการทดสอบความแข็ง

ค่าความแข็งจากการทดสอบนั้นมักนิยมเขียนเป็นสัญลักษณ์ โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยตัวเลขระบุค่าความแข็งและตามด้วยตัวอักษรทั้งหมด 3 หลัก



ตัวอย่าง

20 HB/12.5	หมายถึง	ค่าความแข็งเท่ากับ 20 จากการใช้การทดสอบแบบบริเนลล์ด้วยลูกบอลขนาด 12.5 มิลลิเมตร
50 HRC	หมายถึง	ค่าความแข็งเท่ากับ 50 จากการใช้การทดสอบแบบร็อกเวลล์สเกล C
30 HRB	หมายถึง	ค่าความแข็งเท่ากับ 30 จากการใช้การทดสอบแบบร็อกเวลล์สเกล B
270 HVO.3/15	หมายถึง	ค่าความแข็งเท่ากับ 270 จากการใช้การทดสอบแบบวิกเกอร์สด้วยแรงกด 300 กรัม เป็นเวลา 15 นาที
400 HKO.2/15	หมายถึง	ค่าความแข็งเท่ากับ 400 จากการใช้การทดสอบแบบนู้พด้วยแรงกด 200 กรัม เป็นเวลา 15 นาที
75 Shore A 15	หมายถึง	ค่าความแข็งเท่ากับ 75 จากการใช้การทดสอบแบบชอร์ A อ่านค่าหลังจากกดเป็นเวลา 15 นาที

3) เครื่องทดสอบ

(1) เครื่องทดสอบความแข็งร็อกเวลล์ มีส่วนประกอบสำคัญ คือ โครงและฐานเครื่อง นอกจากนี้จะต้องมีแท่นวางชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งแรงมั่นคงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเคลื่อนที่ในระหว่างการทดสอบ การทำงานของเครื่องทดสอบร็อกเวลล์ตามลำดับขั้นตอนของเทคนิคการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการให้แรงกดเริ่มต้น การให้แรงกดเต็ม การนำแรงกดเต็มออกนั้นสามารถทำได้โดยผู้ทำการทดสอบหรือสามารถทำงานด้วยตนเองทั้งกระบวนการก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าเป็นเครื่องทดสอบแบบแมนนวลหรือแบบอัตโนมัติ รวมทั้งค่าความแข็งที่ทดสอบได้สามารถอ่านค่าได้ในรูปของตัวเลขดิจิทัลหรือหน้าปัดเข็มก็ได้

(2) เครื่องทดสอบความแข็งชอร์ มีลักษณะเป็นหน้าปัดขนาดพกพาได้ ภายในเครื่องทดสอบชอร์จะประกอบไปด้วยหัวทดสอบซึ่งจะติดอยู่กับสปริงเชิงเส้นซึ่งมีค่าความแข็งที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว เมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงยังชิ้นงานทดสอบ

แรงจากสปริงจะส่งไปยังหัวทดสอบและความลึกที่หัวกดเจาะลงไปยังชิ้นงานจะแสดงบนสเกลของหน้าปัดในลักษณะเข็มวัดหรือตัวเลขดิจิทัลก็ได้

(3) เครื่องทดสอบความแข็งบริเนลล์ มีส่วนประกอบสำคัญคล้ายคลึงกับเครื่องทดสอบมหภาคประเภทอื่น คือ โครงและฐานเครื่อง แท่นวางชิ้นงานทดสอบที่มีความแข็งแรงมั่นคง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเคลื่อนที่ในระหว่างการทดสอบ แต่สามารถปรับให้เคลื่อนที่ขึ้นลงโดยผู้ทดสอบได้ วิธีการให้แรงกดแก่ชิ้นงานอาจจะใช้เป็นตุ้มน้ำหนักระบบแรงดันน้ำมันหรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ ซึ่งหลังจากเครื่องทดสอบให้แรงกดผ่านหัวกดสู่ชิ้นงานทดสอบเสร็จสิ้นแล้ว ระบบจะทำการตรวจวัดขนาดรอยกด ซึ่งปัจจุบันมีการนำระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจวัดแบบอัตโนมัติเพื่อลดความผิดพลาดและเบี่ยงเบนจากการวัดโดยบุคคลได้

(4) เครื่องทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส มักจะเป็นเครื่องตั้งโต๊ะ มีส่วนประกอบสำคัญคล้ายคลึงกับเครื่องทดสอบมหภาคประเภทอื่น วิธีการให้แรงกดแก่ชิ้นงานอาจจะใช้เป็นตุ้มน้ำหนัก ระบบแรงดันน้ำมันหรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ ระบบการตรวจวัด ประกอบด้วย เลนส์ขยายรูปที่กำลังขยายต่างๆ พร้อมไฟส่องสว่างสำหรับการขยายภาพรอยกดที่เกิดขึ้น เพื่อทำการสังเกตและทำการวัดขนานของรอยกดด้วยสเกลวัดในเครื่องได้อย่างชัดเจน ซึ่งหลังจากทดสอบเสร็จสิ้นแล้วผู้ทดสอบสามารถหมุนเปลี่ยนนำหัวกดออกไปจากชิ้นงานทดสอบแล้วนำเอาเลนส์ขยายภาพเข้ามาแทนที่ได้

(5) เครื่องทดสอบความแข็งบาร์โค้ด มีลักษณะเป็นอุปกรณ์ขนาดพกพา ทำให้ผู้ทดสอบสามารถใช้มือจับเครื่องทดสอบเพื่อทำการทดสอบบนชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้อย่างสะดวก ภายในเครื่องทดสอบจะประกอบไปด้วยหัวทดสอบซึ่งมีลักษณะเป็นรูปกรวยแหลม เมื่อทำการทดสอบโดยให้แรงกดแก่อุปกรณ์ทดสอบลงยังชิ้นงานทดสอบ ความลึกที่หัวกดเจาะลงไปยังชิ้นงานจะแสดงบนสเกลของหน้าปัดในลักษณะเข็มวัดหรือตัวเลขดิจิทัลก็ได้

(6) เครื่องทดสอบความแข็งจุลภาค มีลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องทดสอบความแข็งแบบมหภาคแต่มีขนาดเล็กลง แท่นวางชิ้นงานทดสอบสามารถปรับเคลื่อนที่ขึ้นลง และสามารถปรับเคลื่อนที่ซ้าย-ขวาได้ เพื่อการเลือกเปลี่ยนตำแหน่งสำหรับการทดสอบ วิธีการให้แรงกดแก่ชิ้นงานอาจจะใช้เป็นตุ้มน้ำหนักหรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ ระบบการให้แรงกดและนำแรงกดออกจากเครื่องทดสอบความแข็งจุลภาคมักจะมีการทำงานที่สมบูรณ์และมีการสั่นสะเทือนน้อยกว่าเครื่องทดสอบความแข็งมหภาคเนื่องจากขนาดรอยกดที่มีขนาดเล็กทำให้ไวต่อผลกระทบต่างๆ มากกว่า

4) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบ

(1) ความหนาของชิ้นงานทดสอบ

(2) อุณหภูมิและความชื้นในการทดสอบ

(3) สภาพพื้นผิว

(4) ระยะห่างระหว่างรอยกด

(5) อัตราในการให้แรงกด

(6) เวลาในการทดสอบ

(7) การวัดขนาดของรอยกด

(8) มุมเอียงระหว่างหัวกดและพื้นผิวของวัสดุ

(9) การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหัวกด

2.1.5.3 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test) [11]

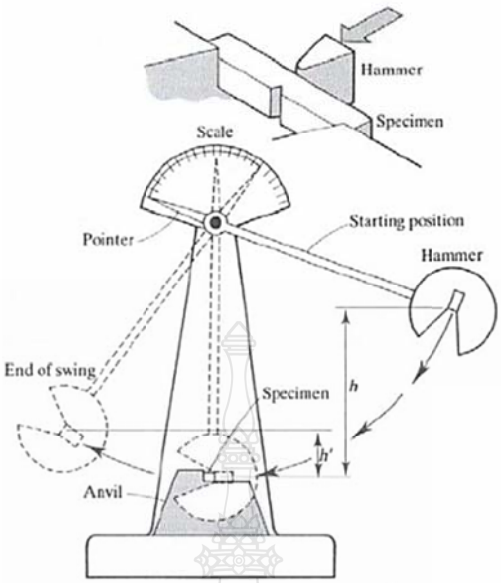
การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก เป็นการทดสอบวัสดุภายใต้ความเค้นหรือแรงที่ส่งผ่านมายังชิ้นงานทดสอบด้วยอัตราความเร็วที่สูงมาก โดยทั่วไปความเร็วที่ใช้ในการทดสอบมักจะอยู่ในช่วง 2 – 4 เมตรต่อนาที ซึ่งเทียบได้กับอัตราของความเครียดในช่วง 0.1 – 1 เมตรต่อวินาที

1) เครื่องมือทดสอบ

การทดสอบแรงกระแทกนั้นมีลักษณะเด่นที่สำคัญ คือ การให้ภาระแก่วัสดุหรือชิ้นงานด้วยความเร็วสูง โดยทั่วไปแล้วเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกที่นิยมโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ตามเทคนิคการให้ภาระแก่ชิ้นงาน ได้แก่ แบบค้อนเหวี่ยง (Pendulum) และแบบปล่อยกระทบด้วยแรงโน้มถ่วง (Drop Weight)

(1) แบบค้อนเหวี่ยง (Pendulum)

เครื่องทดสอบนี้มีหลักการ คือ การปล่อยตุ้มน้ำหนักที่แน่นอนให้เคลื่อนที่จาก ณ ความสูงที่กำหนด (จุดที่ 1) มากระแทกชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดต่ำสุดของการเหวี่ยง (จุดที่ 2) ในแนวเส้นโค้งครึ่งวงกลม หลังจากที่ตุ้มน้ำหนักกระแทกแล้วจะทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก จากนั้นตุ้มน้ำหนักสามารถเคลื่อนที่ไปต่อได้ที่ความสูงระยะหนึ่ง (จุดที่ 3) ซึ่งความแตกต่างระหว่างระยะความสูงเริ่มต้นก่อนปล่อยตุ้มน้ำหนักและระยะความสูงที่ตุ้มน้ำหนักเคลื่อนที่ต่อหลังจากกระแทกชิ้นงาน รวมกับน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักจะถูกนำไปคำนวณหาความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength)



รูปที่ 2.1 การปล่อยตุ้มน้ำหนักของเครื่องทดสอบแบบค้อนเหวี่ยง
ที่มา : [12]

(2) แบบปล่อยกระทบด้วยแรงโน้มถ่วง (Drop Weight)

เทคนิคประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการทดสอบวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จ แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบแบบแรงดัดของคานได้เช่นกัน โดยในการทดสอบสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้หัวกระแทกที่มีตุ้มน้ำหนักติดอยู่ตามระดับที่กำหนดปล่อยลงด้วยแรงโน้มถ่วงให้มากระแทกชิ้นงาน ซึ่งถูกวางอยู่บนวงแหวนรองรับในแนวดิ่งจากระดับความสูงที่กำหนดไว้ตามวิธีการทดลองแบบ F ตามมาตรฐาน ASTM D3029 และการใช้ตุ้มน้ำหนักที่ระยะสูงตามระดับที่กำหนดไว้ ปล่อยลงด้วยแรงโน้มถ่วงในแนวดิ่งให้มากระแทกหัวกระแทกซึ่งวางอยู่บนชิ้นงานทดสอบที่วางอยู่บนชุดวงแหวนรองรับ ตามวิธีการทดสอบแบบ G ตามมาตรฐาน ASTM D3029 ส่วนใหญ่มักเรียกวิธีทดสอบแบบการ์ดเนอร์ (Gardner Impact Test)

2) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบ

(1) รอยบาก

(2) การจับยึดชิ้นงาน

(3) ความเร็วในการทดสอบ

(4) ความหนาของชิ้นงาน

(5) อุณหภูมิในการทดสอบ

2.2 แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชให้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น [13]

คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า Corn Flour, Wheat Flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีนร้อยละ 7-8 ก็เรียกว่า Rice Flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึง โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (Starch) เช่น Corn Starch, Wheat Starch เป็นต้น สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย ปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง จัดเป็นแป้งสตาร์ช (Cassava Starch)

2.2.1 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic Linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde Group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (Reducing end Group)

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แสดงระดับโครงสร้างของเม็ดแป้ง ซึ่งแป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่างกัน

2.2.1.1 ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1) ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate Material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

2) ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface Material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะมิโลพลาสต์

3) ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal Components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

2.2.2 คุณสมบัติของแป้ง

2.2.2.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายในบรรยากาศปกติจะมีความชื้นร้อยละ 10-17

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการดัดแปรแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันไป

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายน้ำของแป้งมีหลายประการ [14], [15] ได้แก่

1) ชนิดของแป้ง
2) ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง
3) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต
4) คุณสมบัติหลังการดัดแปรทางเคมี
5) ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

2.2.2.2 ความหนืด

1) ปัจจัยการเกิดความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ

2) ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติความหนืดแตกต่างกันไป ความหนืดที่เกิดขึ้นของน้ำแป้ง เมื่อให้ความร้อนและมีการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ จากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสไปถึง 95 องศาเซลเซียส และคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จึงลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียสอีกครั้ง จะเห็นว่าแป้งแต่ละชนิดจะให้ลักษณะ (Profile) ของความหนืดแตกต่างกัน โดยวัดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA)

3) การดัดแปรแป้ง

การดัดแปรโดยวิธีการทางกายภาพ การดัดแปรด้วยกรดหรือเดกซ์ทริไนเซชัน การดัดแปรแป้งด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน และการดัดแปรโดยวิธีครอสลิง

2.2.3 การปรับปรุงคุณภาพแป้ง

2.2.3.1 สตาร์ชดัดแปร

สตาร์ชดัดแปร หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำสตาร์ช เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเดิมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ซึ่งคุณสมบัติและเกณฑ์บ่งชี้ต่างๆ ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [16]

สตาร์ชจากธรรมชาติโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำและสิ้นเปลืองงบประมาณในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรสมบัติบางประการของสตาร์ชจากธรรมชาติเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี

2.2.3.2 ประเภทของสตาร์ชดัดแปร [17]

การดัดแปรสตาร์ชมีผู้แบ่งกลุ่มไว้หลายประเภทและหลายรูปแบบ ดังนี้

1) การดัดแปรทางพันธุกรรม (Biotechnological Modification)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสตาร์ชโดยการใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม เช่น สตาร์ชที่มีอะมิโลสต่ำหรือไม่มีเลย (Waxy Starch) และสตาร์ชที่มีอะมิโลสสูง (High-Amylose Starch)

2) การดัดแปรทางกายภาพ (Physical Modification)

(1) เจลาติไนเซชัน (Gelatinization) เป็นการให้ความร้อนสตาร์ชจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชันแล้วทำแห้งทันที เช่น สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized Starch)

(2) สตาร์ชละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch: GCWSS) เป็นการปรับปรุงจนได้สตาร์ชที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชัน

(3) การลดขนาดเม็ดสตาร์ชโดยทางกล การทำให้เม็ดสตาร์ชแตกโดยทางกล จะได้เม็ดสตาร์ชขนาดเล็กกว่าปกติ

(4) Annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดสตาร์ชอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน

(5) การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (heat moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันแก่สตาร์ชในขณะที่สตาร์ชมีความชื้นต่ำ

3) การดัดแปรทางเคมี (Chemical modification) แบ่งออกเป็น

(1) การเกิดอนุพันธ์ (Dervertization)

การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (Monostarch Substitution) ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น สตาร์ชแอซิเทต (Starch Acetate) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน เช่น สตาร์ชไฮดรอกซีเอทิล (Hydroxyethyl Starch) หรือการแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น สตาร์ชครอสลิง (Cross-Linked Starch)

(2) การลดขนาดโมเลกุลสตาร์ชโดยกรด (Acid Thinning) เช่น สตาร์ชย่อยด้วยกรด (Acid-Modified Starch) หรือ Thin-Boiling Starch

(3) เดกซ์ทริไนเซชัน (Dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ (Depolymerization Transglycosylation) โดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

(4) ออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Bleaching และ Depolymerization) เช่น สตาร์ชออกซิไดซ์ (Oxidized Starch)

(5) การย่อยสลาย (Hydrolysis) โดยใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น Enzymatically Modified Starch

2.2.4 แป้งเมล็ดขนุน

2.2.4.1 สมบัติของสตาร์ชจากเมล็ดขนุน

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในสตาร์ชเมล็ดขนุน ซึ่งได้จากการสกัดตามวิธีของ Bobbio [18] พบว่า จะมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 0.322 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Oates [19] ซึ่งสกัดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนที่กล่าวว่าการสกัดสตาร์ชของเมล็ดขนุนทำได้ยาก เนื่องจากประกอบด้วยวัสดุไม่ละลายที่เกาะกันแน่น (Insoluble Flocculent Materials) อันเป็นส่วนที่ทำให้สตาร์ชที่ได้มีสีคล้ำ

สำหรับองค์ประกอบอื่นๆ พบว่า มีไขมันร้อยละ 0.21-0.41 เถ้าร้อยละ 0.22 และเส้นใยร้อยละ 1.32 นอกจากนี้ยังพบว่า มีปริมาณอะมิโลสอยู่ร้อยละ 27.00-28.10

สำหรับสมบัติอื่นๆ พบว่า ขนาดของแป้งสตาร์ชอยู่ในช่วง 5-25 μm จากการวิเคราะห์และติดตามคุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่า มีค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) ที่ 293 RVU โดยจะมีอุณหภูมิเจลาติไนซ์ประมาณ 76.8 องศาเซลเซียส [20]

2.2.4.2 การผลิตสตาร์ชจากเมล็ดขนุน

จากการที่เมล็ดขนุนมีปริมาณแป้งอยู่มาก แต่การใช้ประโยชน์นั้นยังไม่คุ้มค่ามากนัก จึงควรนำมาแปรรูปเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า และเพื่อลดการสูญเสียผลิตผลทางการเกษตร สำหรับวิธีการผลิตสตาร์ชจากเมล็ดขนุนสามารถผลิตได้หลายวิธี แต่โดยทั่วไปจะมีหักการเดียวกัน คือ ประกอบด้วยขั้นตอนการทำให้เม็ดแป้งเป็นอิสระจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย (Fiber) คัพภะ (Germ) และโปรตีน (Protein) แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยการกรอง ล้างด้วยน้ำ หรืออาศัยเครื่อง Centrifugal Separator จากนั้นจึงสะเด็ดน้ำและอบแห้งสตาร์ชได้ [21] โดยมีผู้ทำการศึกษาไว้ดังนี้

Bobbio [18] ศึกษาการผลิตสตาร์ชและสมบัติทางเคมีกายภาพจากเมล็ดขนุน พบว่า มีปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่สกัดได้ ประมาณร้อยละ 25-40 ของของแข็งทั้งหมด ซึ่งวิธีการสกัดทำโดยการปอกเปลือกเมล็ดขนุนออกจนถึงส่วนที่เยื่อหุ้มเมล็ด (Cotyledons) จากนั้นนำไปปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไบซัลไฟท์เข้มข้นร้อยละ 0.5 นาน 2 นาที ต่อมานำมากรองผ่านผ้าขาวบาง เพื่อกำจัดกากออก ลดอุณหภูมิสิ่งที่กรองได้ลงเหลือ 4-5 องศาเซลเซียส แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัด

น้ำตาลที่ละลายได้ (Soluble Sugar) ต่อจากนั้นนำไปล้างด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 80 นำมาทำแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จนกระทั่งมีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 13 จะได้ปริมาณของสตาร์ชประมาณร้อยละ 10-15 ของเมล็ดสด

วิธีการสกัดสตาร์ชของนฤชิต [22] ทำโดยการปอกเปลือกแข็ง (Aril) ของเมล็ดขนุนออกเหลือส่วนที่มีสีแดงน้ำตาล (Spermoderm) จากนั้นนำเมล็ดขนุนไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลานาน 30 นาที แล้วนำมาล้างน้ำหลายครั้งเพื่อกำจัดด่างออก นำมาปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไบซัลไฟท์เข้มข้นร้อยละ 0.5 แยกกากออกจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทสารละลายโซเดียมไบซัลไฟท์ทิ้ง ล้างน้ำและตกตะกอนหลายๆครั้ง โดยที่ 2 ครั้งสุดท้ายล้างด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 แล้วนำมาอบในตู้อบจนแห้ง

นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาของ Oates [19] ซึ่งได้สกัดสตาร์ชจากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ รวมทั้งเมล็ดขนุนด้วย โดยนำเมล็ดมาปอกเปลือกออกแล้วนำมาแช่น้ำทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำมาล้างและปั่นด้วยความเร็วต่ำนาน 2 นาที แล้วจึงนำมากรองกากออกด้วยผ้าขาวบางที่มีรูเปิดประมาณ 80 เมช (Cloth Bag) จากนั้นนำมาล้างและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 3 ครั้ง โดยในครั้งสุดท้ายนำมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 และสารละลายโทลูอีนเข้มข้น ร้อยละ 0.02 เพื่อละลายและแยกโปรตีน [23] แล้วล้างออกด้วยน้ำก่อนที่จะนำไปอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส [24]

2.2.4.3 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากเมล็ดขนุน

ยุทธนา [20] ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชเมล็ดขนุน โดยวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกด้วยเทคนิค HPSEC พบว่า ปริมาณอมิโลสของตาร์ชจากเมล็ดขนุนแบบปอกเปลือกมีค่าเท่ากับร้อยละ 31.33 $\pm$ 1.53 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก โดยสอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความหนืดที่มีค่า setback ที่สูง และจากการวัดร้อยละของการเกิดรีโทรเกรเดชันจากเครื่อง DSC ที่มีค่าร้อยละของการเกิดรีโทรเกรเดชันประมาณร้อยละ 52.81-52.84 โดยระดับของการเกิดรีโทรเกรเดชันจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับปริมาณของอะมิโลส และสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนของ Oates และ Powell [19] ซึ่งพบว่าปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 27.00-28.10 แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนแบบไม่ปอกเปลือกมีปริมาณที่ต่ำ คือประมาณร้อยละ 19.50 $\pm$ 0.71 เนื่องจากในสตาร์ชจากเมล็ดขนุนแบบไม่ปอกเปลือกนี้จะมีความบริสุทธิ์อยู่น้อยกว่าส่งผลให้ในระหว่างการวิเคราะห์จะเกิดส่วนของตะกอนสีน้ำตาลอยู่มาก ทำให้ไม่สามารถที่จะใช้เทคนิค HPSEC ได้ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการกรอง

ส่วนที่เป็นตะกอนนั้นออก ซึ่งในขั้นตอนของการกรองนี้อาจส่งผลต่อปริมาณอะมิโลสที่เหลืออยู่ได้ โดยหากทำการเปรียบเทียบปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนกับสตาร์ชชนิดอื่นๆ พบว่า สตาร์ชจากเมล็ดขนุนจะมีปริมาณอะมิโลสอยู่ค่อนข้างสูงกว่าสตาร์ชจากมันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ ข้าวโพด ข้าว และข้าวสาลี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และวิธีการวิเคราะห์ รวมถึงปัจจัยต่างๆ ด้วย [25], [26] และ [27]

2.2.4.4 สมบัติทางโครงสร้างของสตาร์ชเมล็ดขนุน

1) ขนาดและรูปร่าง

จากการศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดแป้งของสตาร์ชจากเมล็ดขนุน พบว่า ลักษณะที่ได้จะแตกต่างกันออกไป นั่นคือมีหลายรูปร่างหรือหลายเหลี่ยม ซึ่งโดยมากจะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม (Round Shape) ซึ่งสอดคล้องกับยุทธนา [20] ซึ่งพบว่าเม็ดแป้งของสตาร์ชที่ทำการสกัดต่างกันทั้ง 2 วิธีคือ ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือก จะมีความใกล้เคียงกันหรือไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของเม็ดแป้ง พบว่าขนาดเม็ดแป้งที่สกัดได้ของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนมีขนาดเล็ก คือมีขนาดระหว่าง 3-25 ไมโครเมตร นอกจากนี้ 0ates และ Powell [19] พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีขนาดระหว่าง 4.2-4.8 ไมโครเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยระหว่าง 9.2-11 ไมโครเมตร และสอดคล้องกับการศึกษาของ Dutta [28] พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนมีหลายรูปร่าง เช่น กลม (Round) รูปร่างหลายเหลี่ยม (Trigonal) และพบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีขนาดระหว่าง 6-12 ไมโครเมตร

2) โครงสร้างผลึก

Dutta [28] ศึกษาโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเมล็ดขนุนด้วยเครื่อง X-Ray Diffractogram พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกแบบ A โดยพบพีคที่มุม 15, 18 และ 23° (2θ) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rengsutthi [29] พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกแบบ A โดยพบที่มุม 15, 17, 17.9 และ 23° (2θ) และมีปริมาณผลึกเท่ากับร้อยละ 28.42

2.2.5 การนำแป้งมาผลิตเป็นวัสดุพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ [30]

การนำแป้งมาผลิตเป็นวัสดุพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเลือกใช้แป้งให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด ซึ่งในการใช้งานลักษณะดังกล่าวสามารถทำการแบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

2.2.5.1 การใช้แป้งเป็นวัสดุโดยตรง

การใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนักในการผลิตเป็นวัสดุ จะทำได้โดยการใช้กระบวนการอัดรีด (Extrusion) โดยแป้งที่มีลักษณะเป็นแป้งผสมน้ำ (Dough) จะถูก

อัดรีดผ่านรูทางออกหรือดาย (Die) และเกิดการพองตัวเนื่องจากความดันลดลง จากนั้นพอลิเมอร์ที่ไหลออกมาจะเกิดการเย็นตัวและได้ของแข็งที่มีรูพรุนสำหรับอุ้มอากาศได้ สำหรับแป้งที่ใช้ในการเตรียมอาจเป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการแปรรูปหรือไม่ผ่านก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ นอกจากนี้ยังอาจมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ เช่น ความหนาแน่น เป็นต้น

2.2.5.2 การใช้แป้งเป็นสารตัวเติม

การใช้แป้งเป็นสารตัวเติมผสมลงไปในพลาสติกจะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นแป้งซึ่งสามารถย่อยสลายได้ และส่วนที่เป็นพลาสติก โดยแป้งที่ใช้ผสมลงไปในที่นี้อาจจะมีได้ 2 ลักษณะ คือ ในรูปของเม็ดแป้งและในรูปของแป้งเจล

1) การใช้งานในรูปของเม็ดแป้ง

ในการใช้งานในรูปของเม็ดแป้ง จะทำการผสมเม็ดแป้งกับพลาสติกเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของแป้งในเนื้อพลาสติก จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปโดยไม่ต้องทำให้เม็ดแป้งเกิดการแตกตัวออก โดยก่อนการทำการผสมแป้งจะถูกทำให้แห้งจนความชื้นที่เหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพื่อป้องกันการเกิดไอน้ำระหว่างกระบวนการอัดรีด (Extrusion) หรือบางครั้งอาจมีการให้เม็ดแป้งทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ผิวหน้าของเม็ดแป้งเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างแป้งกับพลาสติก และนอกจากนี้อาจมีการเติมสารเอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Ester) เช่น น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันข้าวโพด ซึ่งเป็นสารที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะช่วยให้การย่อยสลายของพลาสติกดีขึ้น [31]

2) การใช้งานในรูปของแป้งเจล

ในการใช้งานในรูปของแป้งเจล จะต้องทำให้แป้งผ่านกระบวนการเจลาติไนท์ก่อน แล้วจึงนำแป้งเจลไปผสมกับพลาสติกและขึ้นรูปต่อไป [32]

จากการศึกษาการเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งกับพอลิคาโปรแลคโทน ซึ่งเลือกใช้รูปแบบของแป้งต่างกันพบว่า เมื่อปริมาณของเม็ดแป้งและแป้งเจลต่ำกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าการทนแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมทั้งประเภทเม็ดแป้งและแป้งเจลจะไม่แตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจากแป้งในรูปแป้งเจลสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่า

2.2.5.3 การใช้แป้งในรูปของกราฟท์โคพอลิเมอร์

จากสมบัติของแป้งที่ไม่สามารถละลายน้ำหรือไม่เกิดการกระจายตัวในน้ำได้ ทำให้มีการดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลของแป้งให้อยู่ในรูปของกราฟท์โคพอลิเมอร์ โดยแป้งที่ใช้อาจจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งหรือแป้งเจลก็ได้ โดยในการทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันนั้น

ขั้นแรกจะต้องทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free Radical) บนสายโซ่โมเลกุลของแป้งซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ โดยวิธีทางเคมีและวิธีฉายรังสี

โดยวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดจะอาศัยปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับเกลือของซีริค โดยซีริคไอออน (Ce (IV)) จะถูกรีดิวซ์ได้ซีรัสไอออน (Ce (III)) พร้อมๆกับทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง จากนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของปฏิกิริยาของปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน

ส่วนการทำให้เกิดอนุมูลอิสระด้วยวิธีฉายรังสีจะทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการขาดออกจากกันเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่บริเวณที่เกิดการขาด เมื่อเกิดอนุมูลอิสระบนสายโซ่โมเลกุลของแป้งมอนอเมอร์ตัวแรกจะเข้ามาสร้างพันธะต่อกัน จากนั้นตัวต่อไปก็จะเข้ามาต่อกับตัวแรกไปเรื่อยๆ จนได้สายโซ่กิ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2.2.5.4 การใช้แป้งในรูปแป้งเทอร์โมพลาสติก

การเติมแป้งในพอลิเมอร์ผสมในปริมาณมากมักทำให้พอลิเมอร์ผสมดังกล่าวขึ้นรูปได้ยาก เนื่องจากความหนืดสูงและชิ้นงานที่ได้มีความเปราะ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวโดยการเติมน้ำลงไปผสม ซึ่งในที่นี้น้ำจะทำหน้าที่คล้ายสารเพิ่มสภาพพลาสติกช่วยให้ความหนืดลดลงและแป้งกลายเป็นเฟสที่ต่อเนื่อง (Continuous Phase) โดยเรียกแป้งที่อยู่ในรูปนี้ว่า “แป้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Starch)”

ในการเตรียมแป้งเทอร์โมพลาสติกจะทำการดัดแปรโครงสร้างกายภาพ โดยทำให้เม็ดแป้งเกิดการแตกออกทำให้เกิดการสูญเสียความเป็นผนึก จากนั้นจึงนำแป้งที่ได้มาผ่านเครื่องอัดรีดที่อุณหภูมิสูงก็จะได้เทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีความเป็นผนึกของแป้งเหลืออยู่เลย

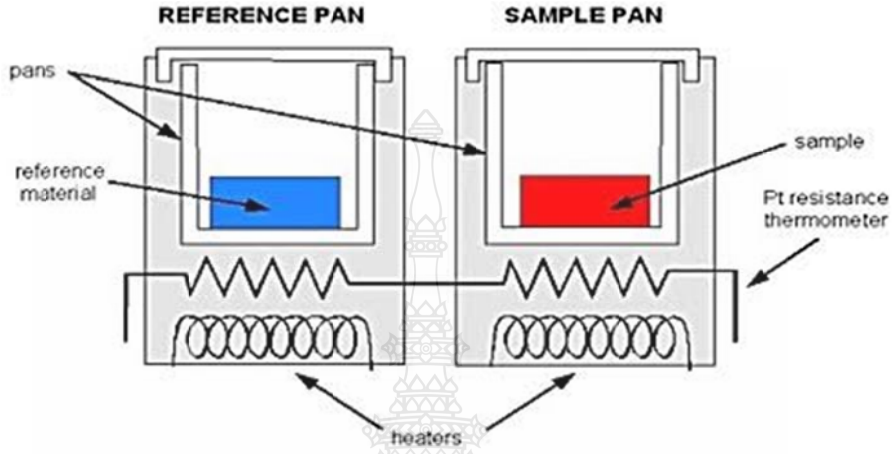
2.2.6 การทดสอบแป้ง

2.2.6.1 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeters

ในอดีตเครื่องมือที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุพอลิเมอร์ เรียกว่า (Differential Rhermal Analysis : DTA) แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือดังกล่าวเป็น (Differential Scanning Calorimeters : DSC) โดยหลักการทำงานของเครื่องมือทั้งสอง ยังคงคล้ายคลึงกัน โดยที่ยังให้ผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับ Endothermic Peak และ Exothermic Peak เมื่อพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ (Transition) [33]

หลักการพื้นฐานของ DSC คือ จะมีถาด (PAN) อยู่ 2 ถาด ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ส่วนถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่า ไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (Furnace) ชนิดเดียวกัน ซึ่งวางอยู่ข้างๆกัน เมื่อเริ่มการทดลอง จะเริ่ม

ให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) แต่ที่ สำคัญที่สุดก็คือ เครื่อง DSC จะควบคุมให้อุณหภูมิทั้งสอง (การให้ความร้อนของถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง และของถาดอ้างอิง) เพิ่มอุณหภูมิถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง [34]



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเครื่อง DSC
ที่มา : [35]

1) ลักษณะของตัวอย่างที่นำมาใช้ทดสอบสมบัติทางความร้อน

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วย DSC นั้น สามารถทดสอบได้ทั้งตัวอย่างที่เป็น ผง ของแข็ง เป็นก้อน หรือ เป็นของเหลว ก็ได้ กรณีตัวอย่างเป็นก้อน ไร้รูปทรง ถ้าทำได้ควรบดให้ละเอียดเพื่อผลการทดสอบที่ดี กรณีตัวอย่างเป็นแผ่น เช่น แผ่นโพลิเมอร์ แผ่นยาง ถ้าทำได้ให้ตัดแบ่งตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 3-4 มิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการทดสอบ ปริมาณตัวอย่างต่อการทดสอบ 1 ตัวอย่าง จะใช้ประมาณ 2-3 มิลลิกรัม ไม่ควรเกินนี้ กรณีตัวอย่างเป็นแผ่น ก็ควรใช้ 1-2 แผ่น โดยการตัดชิ้นตัวอย่าง ให้ใช้กรรไกร หรือคัทเตอร์ที่สะอาด ไร้คราบเหงื่อ หรือน้ำมัน [36]

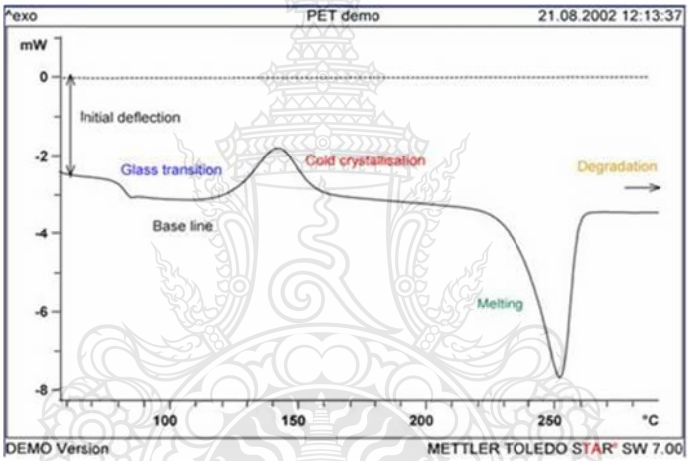
2) การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

สำหรับพอลิเมอร์ที่มีพีค (Peak) การหลอมเหลวหลายๆค่า ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ ประการแรกการเกิดผนึกมีความไวต่ออดีตทางความร้อนจากการผ่านกระบวนการผลิตและขึ้นรูปของพอลิเมอร์ ถ้าพอลิเมอร์ถูกรักษาไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่างกัน การเจริญเติบโตของผนึกจะแตกต่างกันด้วย การให้ความร้อนกับพอลิเมอร์ซึ่งมีการเย็นตัวอย่างช้าๆ หรือยืดระยะเวลาการเย็นตัวทำให้ได้ปริมาณผนึกต่ำที่สุด เนื่องจากการเย็นตัวอย่างช้าๆ ทำให้ผนึกที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์สูงและมีขนาดใหญ่แต่เกิดผนึกจำนวนน้อย ขณะที่พอลิเมอร์ที่ได้จากการเย็นตัวโดยทันทีนั้น ปริมาณการเกิดผนึกมีค่าสูงคือ มีจำนวนผนึกมากแต่ผนึกที่ได้มีขนาดเล็กและไม่สมบูรณ์ พีคของการ

หลอมเหลวหลายค่าพบในสารผสมและพอลิเมอร์ผสม เมื่อพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดถูกผสมเข้าด้วยกัน พอลิเมอร์ทั้งสองมักรักษาคุณลักษณะเฉพาะตัวทางความร้อนของตัวเองไว้เป็นอย่างดี อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้มักเป็นอุณหภูมิที่โมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ในลักษณะเส้นตรงเกิดการตกผนึก [37]

3) ลักษณะของผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางความร้อน

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแกน X เป็นค่าของอุณหภูมิ และแกน Y เป็นค่าของความแตกต่างของปริมาณความร้อนของ Furnace ทั้งสอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้สารตัวอย่าง และถูกวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (Milliwatts, mW) พลังงานที่ให้สารตัวอย่างมีค่าสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างดูดพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Endothermic และเมื่อสารตัวอย่างคายพลังงาน เราเรียกว่า Enthalpy มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Exothermic [38]



รูปที่ 2.3 ลักษณะกราฟของเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)
ที่มา : [38]

4) ประโยชน์ของการใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน [37]

เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนถ้าใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับพอลิเมอร์สามารถวิเคราะห์ได้หลายเรื่อง ดังนี้

(1) การหลอมละลาย (Melting Studies)
(2) ความเป็นผนึก (Crystallinitys)
(3) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Studies)
(4) การผสมเข้ากันได้ดี (Blend Analysis and Compatibility)
(5) ความคงต่อการถูกออกซิไดซ์ (Oxidative Stability Studies)

(6) การหาความบริสุทธิ์ (Purity Determination)

(7) การหาความจุความร้อน (Specific Heat Studies)

(8) การนำความร้อน (Thermal Conductivity Measurement)

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน อาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ต่างๆและงานวิจัย เป็นต้น

2.2.6.2 การวิเคราะห์ค่าความชื้น [39]

ความชื้น (Moisture Content) เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (Food Spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (Microbial Spoilage) ซึ่งกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย (Shelf Life) ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (Food Safety) อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (Pathogen) และการสร้างสารพิษ (Toxin) ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา (Mycotoxin) เช่น Aflatoxin และ Patulin ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (Texture) เช่น ความกรอบ ความหนืด (Viscosity) การเกาะติดกันเป็นก้อน (Caking) ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (Lipid Oxidation) และความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าวเมล็ดธัญพืช กำหนดราคารับซื้อผันแปรตามปริมาณความชื้น

1) การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นร้อยละมี 2 รูปแบบคือ

(1) ความชื้นฐานเปียก (Wet Basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นร้อยละ

(2) ความชื้นฐานแห้ง (Dry Basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (Dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นร้อยละ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H_2O/ g solid)

2) การวัดความชื้นของอาหาร

น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบ และความแข็งแรงต่างกัน ทำให้เทคนิคที่ใช้สำหรับการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ทั้งความยากง่าย ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ได้ วัตถุประสงค์หลักของบทนี้จึงเป็นการแนะนำให้รู้จักวิธีการหาความชื้นในอาหารแบบต่างๆ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อสามารถเลือกนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

(1) การวัดความชื้นโดยตรง (Direct Method) เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ประกอบด้วย การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกไป การกลั่นแยกเอาน้ำออกจากอาหาร หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดที่ทำลายตัวอย่าง แต่ละวิธีจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน วิธีที่มีการยอมรับกันทั่วไปว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูง จะนิยมใช้เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่นๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์ และการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (Infrared and Microwave Radiation) เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อระเหยน้ำในแป้ง [39] ที่ได้จากการบดตัวอย่าง 5 – 70 กรัม สามารถอบแห้งได้โดยการตั้งเวลา สั่งอบต่อเนื่องหรือโหมดอบอัตโนมัติ [40] วิธีวัดความชื้นเหล่านี้มีจุดเด่นที่ให้ผลการวัดถูกต้อง แต่จุดด้อยสำคัญคือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้น และการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

รูปที่ 2.4 ลักษณะของเครื่องวัดความชื้นด้วยระบบอินฟราเรด
ที่มา : [40]

(2) การวัดโดยอ้อม (Indirect Methods) เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยทางอ้อมมีจุดเด่นตรงรู้ผลเร็ว สะดวก และทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการ การวัดโดยอ้อมวัดได้หลายวิธีเช่นกันคือ [39]

2.3 กลีเซอรีน/กลีเซอรอล

กลีเซอรีน (Glycerin) หรือ กลีเซอรอล (Glycerol) เป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มของโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง ถือเป็นสารชนิดเดียวกันสำหรับเป็นสารตั้งต้นสำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ การผลิตสบู่ การผลิตยา การผลิตเครื่องสำอาง เป็นต้น

กลีเซอรีน หรือกลีเซอรอล ถูกค้นพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1779 โดยนักเคมีชาวสวีเดน ชื่อ Carl W. Scheele จากการทดลองปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันในการสกัดน้ำมันมะกอก กลีเซอรีนหรือกลีเซอรอล มาจากคำว่า glykys แปลว่า “หวาน” โดยในระยะแรกมีการใช้ประโยชน์สำหรับเป็นส่วนผสมของกาว ทำให้กาวมีความเหนียวมากขึ้น รวมถึงส่วนผสมของสีย้อม และน้ำหมึก ต่อมาถูกประยุกต์ใช้สำหรับทำระเบิดไดนาไมต์ ในรูปของไตรกลีเซอรีน ผสมกับซิลิกา

2.3.1 ข้อแตกต่างของกลีเซอรีนกับกลีเซอรอล [41]

กลีเซอรีน และกลีเซอรอล ถือเป็นสารเดียวกัน แต่ผู้ใช้ทั่วไปมักเรียก กลีเซอรีน (Glycerin) และกลีเซอรีนจะมีความบริสุทธิ์น้อยกว่า มักมีการปนเปื้อนสิ่งต่างๆ เช่น น้ำ สี เป็นต้น และกลีเซอรีนจะใช้เรียกสำหรับอ้างถึงสารละลายในทางการค้าของกลีเซอรอลที่มีน้ำเจือปน โดยมีกลีเซอรอลเป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่

กลีเซอรอลดิบจะมีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 70-80 และความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 80 มักเป็นผลิตภัณฑ์ค้าขายในเชิงพาณิชย์ สำหรับชื่ออื่นนอกเหนือจาก Glycerol และ Glycerin ได้แก่ propane-1,2,3 -triol, 1,2,3 – propanetriol, 1,2,3 trihydroxypropane, glyceritol และglycyl alcohol

กลีเซอรีน/กลีเซอรอล ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันมักมีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลว ซึ่งมีองค์ประกอบ และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน โดยสถานะของเหลวเป็นสถานะปกติของกลีเซอรีน/กลีเซอรอล ส่วนกลีเซอรีนก้อนที่เป็นผลิตภัณฑ์จำหน่ายตามท้องตลาดสำหรับทำสบู่ก้อนใสทั่วไปจะมีส่วนผสมของเอทิลแอลกอฮอล์ และกลีเซอรีนเหลว ได้เป็นกลีเซอรีนก้อนที่เรียกกันทั่วไป สำหรับกลีเซอรีนก้อนที่จำหน่ายในร้านค้าหรืออินเตอร์เน็ตมักใช้สำหรับการผลิตสบู่ในครัวเรือนทั่วไปรวมถึงการใช้ในภาคอุตสาหกรรม ส่วนกลีเซอรีนเหลวมักใช้ในภาคอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรีน/กลีเซอรอล

กลีเซอรีนบริสุทธิ์เป็นของเหลว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ และมีโครงสร้างคล้ายน้ำตาลทำให้มีรสหวาน และเนื่องจากในโมเลกุลมีพันธะไฮโดรเจนจึงทำให้กลีเซอรีนเป็นของเหลวหนืด [42]

กลีเซอรอลบริสุทธิ์ที่มีการผลิตในประเทศไทย มีปริมาณกลีเซอรอล (Glycerol Content) มากกว่าร้อยละ 99 ปริมาณเมทานอลน้อยกว่าร้อยละ 0.01 ปริมาณน้ำร้อยละ 0.1-0.5 ความชื้นร้อยละ 5-6 MONG (Matter Organic Non Glycerol) ร้อยละ 0.1-0.3 ความหนืด 800-850 เซ็นติพอยส์ และค่าพลังงานรวม (Gross Energy) 4,000-4,300 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม [43]

2.3.3 คุณลักษณะเฉพาะของกลีเซอรีน/กลีเซอรอล [41]

2.3.3.1 มีสถานะปกติเป็นของเหลวข้น ไม่มีสี มีรสหวาน

2.3.3.2 สูตรทางเคมี $C_3H_8O_3$

2.3.3.3 มวลอะตอม 92.09382 กรัม/โมล

2.3.3.4 ความหนาแน่น 1.261 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.3.5 จุดหลอมเหลว 18 องศาเซลเซียส

2.3.3.6 จุดเดือด 290 องศาเซลเซียส

2.3.3.7 ความหนืด 1.2 pa-s

2.3.3.8 แรงตึงผิว (20 องศาเซลเซียส) 63.4 มิลลินิวตัน/เมตร

2.3.3.9 จุดวาบไฟ (ระบบเปิด) 177 องศาเซลเซียส

2.3.3.10 จุดติดไฟ 204 องศาเซลเซียส

2.3.3.11 ละลายได้ในน้ำ และแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในเบนซีน อีเทอร์ และน้ำมัน

2.3.4 การผลิต [41]

2.3.4.1 กลีเซอรีน/กลีเซอรอล สามารถผลิตได้จากกระบวนการไฮโดรไลซีสของน้ำมันจากพืช และไขมันจากสัตว์ โดยมีกรดหรือเบสเจือจางเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมัน

ไขมันพืช/สัตว์ + น้ำ = กลีเซอรีน/กลีเซอรอล + กรดไขมัน

2.3.4.2 กลีเซอรีน/กลีเซอรอล ยังสามารถผลิตได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ที่ถือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน ได้สบู่ แอลกอฮอล์ และน้ำผสมรวมอยู่ ซึ่งการผลิตไบโอดีเซลทุกๆ 9 กิโลกรัม จะเกิดกลีเซอรอลประมาณ 1 กิโลกรัม เสมอ

ไขมันพืช/สัตว์ + ด่าง = สบู่ + กลีเซอรีน/กลีเซอรอล + แอลกอฮอล์ + น้ำ

2.3.4.3 การผลิตที่ได้จากกระบวนการการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ได้เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรีน

ไขมันพืช/สัตว์ + เมทิลอแลกอฮอล์ = กลีเซอรีน/กลีเซอรอล + เมทิลเอสเทอร์

2.3.5 ประโยชน์กลีเซอรีน/กลีเซอรอล [44], [45]

2.3.5.1 กลีเซอรีน/กลีเซอรอลกับอุตสาหกรรมเคมี เป็นสารตั้งต้นผลิตสารประกอบโพลิออล (Polyol) สำหรับผลิตโฟม โพลิยูริเทนโฟม ใช้เป็นองค์ประกอบในสารเคลือบและสี ใช้ผสมกับคอลลาเจน ใช้เป็นสารให้ความนุ่ม (Plasticizer) แก่ไซโลเฟน ใช้ผลิตแอกอฮอล์ด้วยปฏิกิริยาดึงน้ำออก

2.3.5.2 กลีเซอรีน/กลีเซอรอลกับอุตสาหกรรมระเบิดไดนาไมด์

2.3.5.3 กลีเซอรีน/กลีเซอรอลกับอุตสาหกรรมเภสัช เป็นสารองค์ประกอบในตัวยาให้ความชุ่มชื่นแก่ผิวหนัง เช่น ครีมทาผิว เป็นองค์ประกอบในยาแก้ไอ เป็นส่วนผสมในยาสีฟันและน้ำยาบ้วนปาก

2.3.5.4 กลีเซอรีน/กลีเซอรอลกับอุตสาหกรรมอาหาร เป็นสารให้ความหวาน ใช้เป็นตัวทำละลายให้แก่ วานิลีนใช้เป็นสารให้ความนุ่มในทอฟฟี่ เค้ก ชีส ใช้เป็นตัวอิมัลสิไฟเออร์โดยผลิตเป็นโมโนหรือไตกลีเซอไรด์ ใช้เป็นฟิลเลอร์แก่อาหารที่มีไขมันต่ำ เช่น คุกกี้ และเป็นสารให้ความเข้มข้นแก่เหล้า

2.3.5.5 กลีเซอรีน/กลีเซอรอลที่ใช้ในการผลิตสบู่

2.3.5.6 ผลิตภัณฑ์ยาสูบ (Tobacco Products) กลีเซอรีน/กลีเซอรอลถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตยาสูบหลายชนิด โดยจะถูกพ่นลงใบยาสูบเพื่อทำหน้าที่เป็นสารเก็บรักษาความชื้นและช่วยให้ใบยามีความนิ่มและดูใหม่ นอกจากนี้สารที่เป็นอนุพันธ์ของกลีเซอรีน/กลีเซอรอลยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของก้นยาสูบด้วย

2.3.5.7 ผลิตภัณฑ์น้ำยาทาพื้น (Urethane Products) สีทาพื้น กาว สารหล่อลื่น ที่มีส่วนประกอบของกลีเซอรีน/กลีเซอรอลจะมีความยืดหยุ่น และสามารถเก็บรักษาได้แม้ในสภาวะที่มีความชื้นสูง การเติมกลีเซอรีน/กลีเซอรอลในส่วนผสมของกาวจะช่วยให้กาวไม่แห้งเร็วเกินไป ช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้นและในสีทาพื้นกลีเซอรีน/กลีเซอรอลจะช่วยให้คุณภาพของสารเคลือบผิวที่อยู่ในส่วนผสม ติดกับพื้นผิวที่ต้องทำให้ดียิ่งขึ้น

2.3.5.8 บรรจุภัณฑ์ (Packaging) กลีเซอรีน/กลีเซอรอลสามารถใช้เป็นส่วนประกอบการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหาร เช่น เซลโลโฟน (Cellophane) และกล่องสำหรับบรรจุอาหาร เพื่อช่วยในการยืดหยุ่นของบรรจุภัณฑ์ที่ดีขึ้นและนอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีกมากมาย

2.3.6 ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยากลีเซอรีน/กลีเซอรอล [41]

กลีซอลรีน/กลีเซอรอล สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายเหมือนกับแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะคาร์บอนอะตอมด้านนอกจะมีความว่องไวมากกว่าคาร์บอนอะตอมในด้าน ปฏิกิริยาที่เกิดออกซิไดซ์คาร์บอนอะตอมด้านนอกจะเกิดเป็นอัลดีไฮด์ ส่วนคาร์บอนอะตอมด้านในจะเกิดเป็นหมู่คาร์บอนิล ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยา ได้แก่

2.3.6.1 กรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน 1, 2 และ3 หมู่

2.3.6.2 โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ของกรดไขมัน

2.3.6.3 อะลิฟาติกเอสเทอร์ และอะโรมาติกเอสเทอร์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับสารอัลคิเลติ้ง และเอซิเลติ้ง

2.3.6.4 โพลีกลีเซอรีนที่เกิดจากปฏิกิริยา Intermolecular Elimaination ของน้ำ โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3.6.5 โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาอัลคาไล

2.3.6.6 Clyclic 1,2 หรือ1,3 และ Acetal หรือ Ketal จากการทำปฏิกิริยากับอัลดีไฮด์หรือคีโตน

2.4 บรรจุภัณฑ์

2.4.1 ความเป็นมาของบรรจุภัณฑ์ [46]

บรรจุภัณฑ์ได้จากการสังเกตธรรมชาติสิ่งแวดล้อมรอบตัว แรงบันดาลใจของมนุษย์ที่มีต่อบรรจุภัณฑ์เริ่มแรก จากการสังเกตธรรมชาติ ได้แก่ รูปทรงของไข่ รูปทรงโค้งของเปลือกไข่ทำหน้าที่คอยปกป้องแรงกระแทกของไข่ไม่ให้ส่งผลรุนแรงต่อเนื้อไข่ภายใน ลักษณะที่รีของเปลือกไข่ทำให้ไข่กลิ้งได้ไม่สะดวก พื้นผิวของเปลือกไข่มีรูพรุนทำให้มีอากาศภายในอย่างเหมาะสม รูปโค้งของเปลือกไข่ทำให้ความอบอุ่นจากการกกเป็นไปอย่างทั่วถึง เนื้อไข่ขาวภายในมีความเหลวหนืดทำหน้าที่ปกป้องไข่แดง

บรรจุภัณฑ์ยุคแรกเกี่ยวพันกับมนุษย์โครมันยอง (Cromangnon) ที่รู้จักการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นพวกแรก ซึ่งมีอายุประมาณ 10,000-20,000 ปีก่อนคริสตกาล เมื่อมีการผลิตก็สืบเนื่องต่อถึงการแลกเปลี่ยนและค้าขายผลผลิต อันส่งผลต่อการคิดค้นบรรจุภัณฑ์เพื่อใช้สอย จากหลักฐานที่ปรากฏในสมัยประวัติศาสตร์ พบว่าเรื่องราวของภาพเขียนภายในพีระมิดในสมัยอียิปต์โบราณ มีภาพเขียนแสดงเรื่องราวการใช้ใบปาล์มห่อมัดไก่สด เพื่อป้องกันการเน่าเสียปรากฏอยู่ด้วย

การแบ่งยุคสมัยของบรรจุภัณฑ์ จากการใช้วัสดุทำบรรจุภัณฑ์ จำแนกออก ได้ดังนี้

2.4.1.1 ยุคโบราณมนุษย์ยุคแรกใช้บรรจุภัณฑ์ที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ เช่น ใบไม้ เปลือกหอย หนังสัตว์ เปลือกผลไม้ ไม้ที่กลวง ในอดีตมนุษย์ยังไม่รู้จักการเพาะปลูก จึงต้องออกหาอาหารในป่า จึงได้คิดหาสิ่งรอบตัวมาช่วยในการขนของเพื่อให้ได้ของคราวละมากๆ

2.4.1.2 ยุคเริ่มแรก

ค.ศ. 1702 เริ่มมีการผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษขึ้นใช้

ค.ศ. 1809 ใช้บรรจุภัณฑ์กระป๋อง สนองการค้นพบวิธีการถนอมอาหารด้วยความร้อน

ค.ศ. 1871 มีการจดลิขสิทธ์ในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

ค.ศ. 1892 นายวิลเลียม เพ้นเทอร์ ชาวสหรัฐอเมริกา คิดค้นฝาจีบใช้กับขวดแก้วสำเร็จ

ค.ศ. 1894 มีการใช้กล่องกระดาษลูกฟูก เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งทางรถไฟ

ค.ศ. 1898 ใช้บรรจุภัณฑ์ระบบสุญญากาศ สำหรับยาสูบ ในประเทศอังกฤษ

2.4.1.3 ยุคปัจจุบัน ค.ศ.1960 ผลิตถุงพลาสติกที่สามารถต้มในน้ำร้อนได้ ค.ศ. 1963 เริ่มผลิตกระป๋องอะลูมิเนียม สำหรับเครื่องดื่มและกระป๋องสเปรย์

2.4.1.4 ยุคคลาสสิค (ระหว่างช่วง ค.ศ.1960 – 1989) เริ่มมีการแบ่งบรรจุสินค้า มีการบ่งบอกยี่ห้อและสรรพคุณบนบรรจุภัณฑ์ พัฒนากระป๋องบรรจุ ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบุหรี่และขนมปังกรอบ เกิดหลอดบีบ (Collapsible Tube) ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยาสีฟัน เริ่มมีการขึ้นรูปของกระดาษ โดยเริ่มแรกมีลักษณะเป็นกล่อง

2.4.1.5 ยุคนูโว (ระหว่างช่วง ค.ศ. 1900 – 1919) ใช้ศิลปะอาร์ตนูโว ซึ่งมีลักษณะวิจิตรบรรจงนิยมใช้เส้นโค้งเลียนแบบธรรมชาติ เกิดบรรจุภัณฑ์ชนิดใหม่คือ อลูมีเนียม ฟอยล์ (Aluminium Foil) และ เซลโลเฟรน ฟิล์ม (Cellophane Film)

2.4.1.6 ยุคเดคโค (ระหว่างช่วง ค.ศ. 1920 – 1929) ฟิล์มบางใส นิยมใช้ในห่อขนมหรือหุ้มรอบซองและกล่อง ใช้อลูมิเนียมทำหลอดยาสีฟัน ออกแบบกล่องกระดาษแข็งเคลือบไขสำหรับสินค้าที่ต้องการเก็บไว้ได้นาน ใช้ถ้วยกระดาษบรรจุไอศกรีม นม

2.4.1.7. ยุคเทคโนโลยีและนักออกแบบสร้างสรรค์ (ระหว่างช่วง ค.ศ. 1960–1989) นิยมบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติก กล่องกระดาษเคลือบไข กระป๋องโลหะนำมาบรรจุเครื่องดื่ม มีการใช้อลูมิเนียมฟอยล์ แพร่หลายยิ่งขึ้น เริ่มมีการใช้ฝาขวดที่เป็นอลูมิเนียม และฝาขวดชนิดฝาเกลียว ขวดพลาสติก เพทบรรจุภัณฑ์สำหรับเครื่องดื่มน้ำอัดลม บรรจุภัณฑ์พลาสติกระบบบรรจุภัณฑ์สุญญากาศ ค.ศ. 1981 เริ่มมีการนำกล่องกระดาษประกบกับฟิล์มพลาสติก เพื่อทำบรรจุภัณฑ์นมและเครื่องดื่ม

2.4.1.8 ยุคปัจจุบัน (ระหว่างช่วง ค.ศ.1990–1999) ให้ความสำคัญกับบรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ คำนึงความปลอดภัยของผู้บริโภค นิยมใช้บรรจุภัณฑ์น้ำหนักเบา แบ่งการบรรจุออกเป็นหน่วยย่อย คำนึงถึงความสะดวกสบาย ความสวยงามมากขึ้น อีกทั้งยังคำนึงถึงต้นทุนบรรจุภัณฑ์และการนำบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ใช้หลัก 3 R (Recycle - Reuse - Reduce) เน้นสุขภาพของผู้บริโภค รูปแบบ ดึงดูดความสนใจ ใช้กราฟิกและรูปร่างแปลกใหม่ สิ่งแวดล้อม เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

จุดเด่นของบรรจุภัณฑ์ปี ค.ศ. 2003 บรรจุภัณฑ์มีรูปทรง สีสันแปลกใหม่ เล่นลวดลายและกราฟิก พกพาง่าย สะดวกต่อการใช้งาน ขนาดเล็กลงมีการใช้วัสดุร่วม บรรจุภัณฑ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีหลากหลายเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค

จากอดีตถึงปัจจุบัน พัฒนาการของการออกแบบบรรจุภัณฑ์ มีความเจริญก้าวหน้าอย่างมาก สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมโลก จากสังคมเกษตรกรรมสู่สังคมอุตสาหกรรม และกำลังก้าวสู่สังคมวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ที่เอื้อต่อการสร้างสรรค์รูปแบบและการใช้วัสดุแปลกใหม่ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ ที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์อย่างเป็นระบบ มีมานานกว่าสองศตวรรษแล้ว โดยเริ่มต้นจากการ ที่ผู้ผลิตสินค้าต้องการ ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ถึงแม้ว่าการใช้งานของบรรจุภัณฑ์นั้น จะมีไว้เพียงเพื่อบรรจุ และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนา และเพิ่มความหลากหลายมากขึ้นกว่าที่เคยมีมา ความก้าวหน้า ของเครือข่ายการคมนาคมขนส่งในโลกทุกวันนี้ รวมไปถึงความซับซ้อน ของการค้าปลีก สมัยใหม่ ทำให้การบรรจุภัณฑ์มีความสำคัญมากที่สุด ในการเก็บรักษาและป้องกัน ไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหาย ระหว่างการขนส่งจากโรงงานผลิต ไปยังร้านค้าปลีกหรือผู้บริโภค

นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ ยังถูกใช้ให้เป็น สื่อโฆษณา ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์มีรอยขีดข่วน แสดงรายละเอียด การใช้ หรือแม้แต่เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์เอง

ปัจจุบันนี้เทคนิค ในการผลิตได้ก้าวไกล ทำให้บรรจุภัณฑ์โลหะ มีรูปแบบหรือรูปทรงต่างๆได้ตามต้องการ ด้วยการนำเทคนิคคอมพิวเตอร์มาช่วยในการผลิต รวมถึง

พลาสติกที่ได้ รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น จนสามารถนำมาใช้สอยในทุกวันนี้ รวมถึงเครื่องหมายการค้าหรือตราของผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบันได้กลายมาเป็นส่วนสำคัญเท่ากับตัวของผลิตภัณฑ์ และเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภค รูปแบบที่ประสบความสำเร็จที่มีอยู่มากมาย มิติใหม่ของบรรจุภัณฑ์ คือการนำหลักการทางศิลปะและการออกแบบมาพัฒนากราฟิกบรรจุภัณฑ์ให้ได้รูปแบบมาตรฐาน ให้เป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบัน พร้อมไปกับความใหญ่โตและความสลับซับซ้อนของระบบธุรกิจอุตสาหกรรม สื่อโฆษณา การแข่งขันเพื่อช่วงชิงส่วนแบ่งทางการตลาด

2.4.2 ประเภทของบรรจุภัณฑ์ [46]

การแบ่งบรรจุภัณฑ์แบ่งได้หลายวิธี เช่น แบ่งประเภทตามลักษณะกรรมวิธีการผลิตและวิธีการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ การแบ่งและเรียกชื่อบรรจุภัณฑ์ อาจแตกต่างกันออกไป แต่มีวัตถุประสงค์หลักที่คล้ายกัน คือ เพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ เพื่อจำหน่ายผลิตภัณฑ์และเพื่อโฆษณาประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ แบ่งออกได้ ดังนี้

2.4.2.1 บรรจุภัณฑ์เฉพาะหน่วย

บรรจุภัณฑ์จะห่อหุ้มและสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง บรรจุภัณฑ์ชั้นในจะทำหน้าที่หลักในการป้องกันสินค้าจากความชื้นและอากาศ ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เสียคุณภาพ คุณลักษณะมีรูปร่างลักษณะต่างๆ เช่น เป็นขวด กระป๋อง หลอด ถุง กล่อง การออกแบบสามารถทำให้มีลักษณะพิเศษเฉพาะหรือทำให้มีรูปร่างที่เหมาะแก่การจับถือ และอำนวยความสะดวกต่อการใช้ผลิตภัณฑ์ภายใน พร้อมทั้งทำหน้าที่ให้ความปกป้องแก่ผลิตภัณฑ์โดยตรง

2.4.2.2 บรรจุภัณฑ์ชั้นใน

ทำหน้าที่ในการห่อหุ้มบรรจุภัณฑ์ชั้นในไม่ให้ได้รับแรงกระแทกจากภายนอก บรรจุภัณฑ์ชั้นที่สองมีหน้าที่รวบรวมบรรจุภัณฑ์ชั้นแรกไว้ด้วยกัน หรือเป็นชุดในการจำหน่ายรวมตั้งแต่ 2 – 24 ชิ้นขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ขั้นแรกคือ ป้องกันรักษาผลิตภัณฑ์จากน้ำ ความชื้น ความร้อน แสง แรงกระทบกระเทือน และอำนวยความสะดวกแก่การขายปลีกย่อย เพื่อความสะดวกในการป้องกันและขนส่ง และทำหน้าที่ขายด้วยจึงต้องทำการออกแบบให้สวยงามดึงดูดใจผู้บริโภค

2.4.2.3 บรรจุภัณฑ์ชั้นนอกสุด

บรรจุภัณฑ์ที่เป็นหน่วยรวมขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ในการป้องกันผลิตภัณฑ์ การขนถ่ายสินค้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วในระหว่างการขนส่ง ลักษณะของบรรจุภัณฑ์นี้ ได้แก่ หีบ ไม้ลัง กล่องกระดาษค่อนข้างขนาดใหญ่ที่บรรจุสินค้าไว้ภายใน

2.4.3 การออกแบบบรรจุภัณฑ์ [47]

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ (Packaging Design) หมายถึง การกำหนดรูปแบบและโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ให้สัมพันธ์กับหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์ เพื่อการคุ้มครองป้องกันไม่ให้สินค้าเสียหายและเพิ่มคุณค่าด้านจิตวิทยาต่อผู้บริโภค โดยอาศัยทั้งศาสตร์และศิลป์ในการสร้างสรรค์

2.4.3.1 วัตถุประสงค์ของการออกแบบบรรจุภัณฑ์

1) เพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์ให้สามารถเอื้อประโยชน์ด้านหน้าที่ใช้สอยได้ดี มีความปลอดภัย ประหยัดและมีประสิทธิภาพ

2) เพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์ให้สามารถสื่อสารและสร้างผลกระทบต่อผู้บริโภค โดยใช้ความรู้แขนงศิลปะเข้ามาสร้างคุณลักษณะ เช่น มีเอกลักษณ์มีลักษณะพิเศษที่ดึงดูดและสร้างการจดจำตลอดจนเข้าถึงความหมายและคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์

3) เพื่อปกป้องคุ้มครองและรักษาคุณภาพสินค้า

4) เป็นตัวชี้บ่งและสื่อสารรายละเอียดสินค้า ดึงดูดผู้บริโภค แสดงถึงภาพลักษณ์

5) เป็นต้นทุนในการผลิตสินค้า เมื่อบรรจุภัณฑ์ดีย่อมมีส่วนช่วยให้มูลค่าสินค้าสูงขึ้น

2.4.3.2 กระบวนการออกแบบโครงสร้างบรรจุภัณฑ์

ในกระบวนการออกแบบโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ ต้องอาศัยความรู้และข้อมูลจากหลายด้านการอาศัยความช่วยเหลือจากผู้ชำนาญการหลาย ๆ ฝ่ายมาร่วมปรึกษาและพิจารณาให้ปรากฏเป็นรูปลักษณ์ของบรรจุภัณฑ์จริง ลำดับขั้นตอนของการดำเนินงาน นับตั้งแต่ตอนเริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดจนได้ผลงานออกมาดังต่อไปนี้ เช่น

1) กำหนดนโยบายหรือวางแผนยุทธศาสตร์ เช่น ตั้งวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการผลิต เงินทุนงบประมาณ การจัดการ และการกำหนดสถานะของบรรจุภัณฑ์

2) การศึกษาและการวิจัยเบื้องต้น ได้แก่ การศึกษาข้อมูลหลักการทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิศวกรรมทางการผลิต ตลอดจนการค้นพบสิ่งใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นและเกี่ยวข้องสอดคล้องกันกับการออกแบบโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์

3) การศึกษาถึงความเป็นไปได้ของบรรจุภัณฑ์ ด้วยการสเก็ตภาพ แสดงถึงรูปร่างลักษณะ และส่วนประกอบของโครงสร้าง 2-3 มิติ หรืออาจใช้วิธีการอื่น ๆ ขึ้นรูปเป็นลักษณะ 3 มิติ ก็สามารถกระทำได้ ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการเสนอแนวความคิดสร้างสรรค์ขั้นต้นหลายๆ แบบ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเทคนิควิธีการบรรจุ และการคำนวณเบื้องต้น ตลอดจนเงินทุนงบประมาณดำเนินการ และเพื่อการพิจารณาคัดเลือกแบบร่างไว้เพื่อพัฒนาให้สมบูรณ์ในขั้นตอนต่อไป

4) การพัฒนาและแก้ไขแบบ ในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบจะต้องขยายรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆ ของแบบร่างให้ทราบอย่างละเอียดโดยเตรียมเอกสารหรือข้อมูลประกอบ มีการกำหนดเทคนิคและวิธีการผลิต การบรรจุ วัสดุ การประมาณราคา ตลอดจนการทดสอบทดลองบรรจุ เพื่อหารูปร่าง รูปทรงหรือส่วนประกอบต่างๆ ที่เหมาะสมกับหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการด้วยการสร้างรูปจำลองง่ายๆ ขึ้นมา ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องจัดเตรียมสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อย่างละเอียดรอบคอบเพื่อการนำเสนอ ต่อลูกค้าและผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องให้เกิดความเข้าใจเพื่อพิจารณาให้ความคิดเห็นสนับสนุนยอมรับหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพิ่มเติมในรายละเอียดที่ชัดเจนยิ่งขึ้น เช่น การทำแบบจำลองโครงสร้างเพื่อศึกษาถึงวิธีการบรรจุ และหน้าที่ของบรรจุภัณฑ์ก่อนการสร้างแบบเหมือนจริง

5) การพัฒนาต้นแบบจริง เมื่อแบบโครงสร้างได้รับการแก้ไขและพัฒนาผ่านการยอมรับแล้ว ลำดับต่อมาต้องทำหน้าที่เขียนแบบ เพื่อกำหนดขนาด รูปร่าง และสัดส่วนจริงด้วยการเขียนภาพประกอบแสดงรายละเอียดของรูปแบบแปลนรูปด้านต่างๆ ทัศนียภาพ หรือภาพแสดงการประกอบของส่วนประกอบต่างๆ มีการกำหนดมาตราส่วนบอกชนิดและประเภทวัสดุที่ใช้มีข้อความ คำสั่ง ที่สื่อสารความเข้าใจกันได้ในขบวนการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ของจริง แต่การที่จะได้มาซึ่งรายละเอียดเพื่อนำไปผลิตจริงนั้น ผู้ออกแบบจะต้องสร้างต้นแบบจำลองที่สมบูรณ์ขึ้นมาก่อนเพื่อวิเคราะห์ โครงสร้างและจำแนกแยกแยะส่วนประกอบต่าง ๆ ออกมาศึกษา ดังนั้นต้นแบบจำลองที่จัดทำขึ้นมาในขั้นนี้จึงควรสร้างด้วยวัสดุที่สามารถให้ลักษณะ และรายละเอียดใกล้เคียงกับบรรจุภัณฑ์ของจริงให้มากที่สุดเท่าที่จะกระทำได้เช่นอาจจะทำด้วยปูนพลาสเตอร์ ดินเหนียว กระดาษ ฯลฯ และในขั้นนี้ การทดลองออกแบบกราฟฟิคบนบรรจุภัณฑ์ ควรได้รับการพิจารณาร่วมกันอย่างใกล้ชิดกับลักษณะของโครงสร้างเพื่อสามารถนำผลงานในขั้นนี้มาคัดเลือกพิจารณาความมีประสิทธิภาพของรูปลักษณ์บรรจุภัณฑ์ที่สมบูรณ์

6) การผลิตจริง สำหรับขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะเป็นหน้าที่รับผิดชอบของฝ่ายผลิตในโรงงานที่จะต้องดำเนินการตามแบบแปลนที่นักออกแบบให้ไว้ ซึ่งทางฝ่ายผลิตจะต้องจัดเตรียมแบบแม่พิมพ์ของบรรจุภัณฑ์ให้เป็นไปตามกำหนด และจะต้องสร้างบรรจุภัณฑ์จริงออกมาจำนวนหนึ่งเพื่อเป็นตัวอย่าง สำหรับการทดสอบทดลองและวิเคราะห์เป็นครั้งสุดท้าย หากพบว่ามีข้อบกพร่องควรรีบดำเนินการแก้ไขให้เป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการผลิตเพื่อนำไปบรรจุและจำหน่ายในลำดับต่อไป

2.4.4 บรรจุภัณฑ์พลาสติก

พลาสติกประเภทที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตร ได้แก่ Cellulose จากพืช ใช้ผลิต Cellulose Acetate หรือ Cellophane และพลาสติกเป็นสารสังเคราะห์จำพวกโพลิเมอร์ ประกอบด้วย

สารหลายอย่าง โดยใช้กรรมวิธีเคมีดัดแปรให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานที่ใช้ โดยทั่วๆ ไป พลาสติกมีน้ำหนักเบา ไม่นำความร้อน ไม่นำไฟฟ้า และทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆ ได้ [48]

2.4.4.1 ชนิดของพลาสติก [49]

พลาสติกหรือโพลีเมอร์ (Polymer) คือวัสดุประกอบด้วยมาโครโมเลกุล ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น เซลลูโลสจากพืชอาซีเคต ยางธรรมชาติ หรือได้จากการสังเคราะห์สารประกอบโมเลกุลต่ำจากปิโตรเลียม โดยวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกอยู่ในรูปของเม็ดหรือผงจะถูกโรงงานแปรรูปนำเข้าเครื่องแปรรูป ซึ่งใช้ความร้อนและแรงดันแปรรูปออกมาเป็นขวดหลอด แผ่นฟิล์มหรืออื่นๆ ซึ่งเราสามารถแยกชนิดของพลาสติกออกเป็น 7 กลุ่ม ตามสัญลักษณ์การนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คือ โพลีเอสเตอร์ (Polyester หรือ Polyethylene Terephthalate : PET) สัญลักษณ์ คือ 1 เป็นพลาสติกที่ส่วนใหญ่มีความใส มองทะลุได้ มีความแข็งแรงทนทานและเหนียว ทนความร้อนและเย็น ป้องกันการผ่านของก๊าซได้ดี มีจุดหลอมเหลว 250-260 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.38-1.39 นิยมนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำปลา ขวดน้ำมันพืช เป็นต้น

กลุ่มที่ 2 คือ โพลีเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) สัญลักษณ์ คือ 2 เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง ค่อนข้างนิ่ม มีความเหนียวไม่แตกง่าย มีจุดหลอมเหลว 130 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.95-0.92 นิยมนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น แชมพู ถุงร้อนชนิดขุ่น ขวดนม เป็นต้น

กลุ่มที่ 3 คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride : PVC) สัญลักษณ์ คือ 3 เป็นพลาสติกที่มีความแข็ง เหนียว ยืดหยุ่น มีลักษณะคล้ายยางมีคุณสมบัติ เหลว เหนียวมากกว่าพลาสติกอื่นๆ นิยมนำมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั้งในลักษณะแผ่นฟิล์ม PVC ใช้ในการหีบห่อ + ตกแต่ง (สามารถพิมพ์ลวดลายลงบนแผ่นฟิล์มได้) และในลักษณะของขวด ถ้วย ถาด หลอดบรรจุสินค้า แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้ห่อหุ้มอาหารเพราะมีสารเจือปนอยู่มาก ทนต่อกรดและด่าง (อ่อน, แก่) ไม่ทนแอลกอฮอล์ (ยกเว้น PVC ชนิดแข็ง)

กลุ่มที่ 4 คือ พลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) สัญลักษณ์ คือ 4 มีความนิ่มกว่า มีความเหนียว ยืดตัวได้ในระดับหนึ่ง ส่วนใหญ่ใสมองเห็นได้จุดหลอมเหลว 110 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.92-0.94 นิยมนำมาใช้ทำแผ่นฟิล์ม ห่ออาหาร และห่อของ

กลุ่มที่ 5 คือ โพลีพรอพพีลีน (Polypropylene : PP) สัญลักษณ์ คือ 5 เป็นพลาสติกที่ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีความแข็งและเหนียว คงรูปดี ทนต่อความร้อนและสารเคมี มีจุดหลอมเหลว 160-170 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.90-0.91 นิยมนำมาใช้ทำบรรจุ

ภัณฑ์สำหรับอาหารในครัวเรือน เช่น ถุงร้อนชนิดใส จาน ชาม อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิด ทำแผ่นฟิล์มหด (Shrink Film) และทำถุงบรรจุขนมขบเคี้ยวต่างๆ ใช้ทำขวด ส่วนฝาจุกขวดไม่นิยมทำเพราะจะเปราะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

กลุ่มที่ 6 คือ โพลีสเตอรีน (Polystyrene : PS) สัญลักษณ์ คือ 6 เป็นพลาสติกที่มีความใส แข็งแต่เปราะแตกง่าย สามารถทำเป็นโฟมได้ ทนความร้อนระดับหนึ่ง มีจุดหลอมเหลว 70-115 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น 0.90-0.91 นิยมนำมาทำภาชนะพลาสติก เช่น ขวดนมเปรี้ยว ถาดบรรจุอาหาร บลิสเตอร์แพค และเป็นพลาสติกชนิดที่นิยมนำไปผลิตเป็นโฟม มีคุณสมบัติทนต่อกรด ด่าง แอลกอฮอล์ แต่ทนต่อน้ำมันพืช และสัตว์ได้จำกัด ไม่ทนต่อน้ำมันเบนซิน

กลุ่มที่ 7 คือ พลาสติกที่นอกเหนือจากพลาสติก ทั้ง 6 กลุ่ม พบมากมายหลากหลายรูปแบบ

2.4.4.2 รูปแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติก

บรรจุภัณฑ์พลาสติก แบ่งตามรูปแบบได้ 2 ประเภท คือ ฟิล์มพลาสติก และภาชนะพลาสติก [48]

1) ฟิล์มพลาสติก (Plastic Film) คือพลาสติกที่เป่ารีดเป็นแผ่นบางอาจจะชั้นเดียวหรือหลายชั้น [49] มีการนำมาใช้งานในการห่อ ถุงเย็น ถุงร้อน ถุงหิ้ว ถุงซิป กระสอบพลาสติก ฟิล์มหด ฟิล์มยืด เป็นต้น [48]

2) ภาชนะพลาสติก (Plastic Container) คือพลาสติกที่มีการขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ ตามแม่แบบและกรรมวิธีผลิตเป็นรูปร่างบรรจุภัณฑ์ (Rigid Package) [49] ซึ่งชนิดของพลาสติกแบ่งตามรูปทรงได้ เช่น ขวดพลาสติก ถาด หลอดพลาสติก ลังพลาสติก ชริงค์ แพกเกจ ถ้วย และขวดปากกว้าง กระป๋อง สกินแพค เป็นต้น [48]

2.4.4.3 บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพ

พลาสติกชีวภาพถูกนำไปใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงหูหิ้ว ขวดบรรจุเครื่องดื่ม และพลาสติกสำหรับยานยนต์ ในกลุ่มบรรจุภัณฑ์อื่นๆ เม็ดพลาสติกที่ใช้มากที่สุด คือ Bio-PE รองลงมาเป็นพลาสติกจากแป้ง (Starch Based) และ PLA และ PLA-Blend ในขณะที่ Bio-PET เป็นเม็ดที่ถูกใช้มากที่สุดในการผลิตขวดบรรจุเครื่องดื่มและพลาสติกเชิงวิศวกรรม [50] ซึ่งปัจจุบันได้มีบริษัทชั้นนำระดับโลกหันมาใช้พลาสติกชีวภาพเป็นบรรจุภัณฑ์อย่างแพร่หลาย และมีแผนที่จะเพิ่มปริมาณการใช้พลาสติกชีวภาพดังกล่าวด้วย เช่น Procter & Gamble มีแผนที่จะเปลี่ยนมาใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับผลิตภัณฑ์ Pantene ในปริมาณร้อยละ 25 ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

เช่นเดียวกับ Coca-Cola ที่ได้เริ่มใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพมาตั้งแต่ปี 2552 [51] โดยตัวอย่างการใช้พลาสติกชีวภาพเป็นบรรจุภัณฑ์ (ดังแสดงในตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพเปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไป

ลักษณะบรรจุภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์	พลาสติกทั่วไป	พลาสติกชีวภาพ
ขวด	น้ำอัดลม (Carbonated Soft Drink)	PET	Bio-PET
ขวด	นม แชมพู สบู่เหลว	HDPE PET	Bio-HDPE Bio-PET
ถ้วย	โยเกิร์ต	PP PS	Bio-PP PLA

ที่มา : [52]

2.4.5 บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

เครื่องปั้นดินเผา เป็นสินค้าหัตกรรมที่ต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันอันตรายทางกายภาพได้ เนื่องจากเป็นงานหัตถกรรมที่แตกหักง่าย ทนต่อการกระแทกได้เพียงเล็กน้อย [48] ปัจจุบันกลุ่มผู้ประกอบการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่ ไม่มีการบรรจุหีบห่อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาด้วยบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด มีเพียงการนำกระดาษหนังสือพิมพ์มาใช้ในการห่อหุ้มผลิตภัณฑ์เท่านั้น ดังนั้นการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยในการจดจำและช่วยบ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของสินค้า โดยการอาศัยแนวทางการสร้างภาพเอกลักษณ์ท้องถิ่นบนบรรจุภัณฑ์ [52]

2.4.5.1 ปัญหาของบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ปัญหาการที่บรรจุภัณฑ์มีระดับมาตรฐานค่อนข้างต่ำ จากการศึกษาของสหประชาชาติพบว่า บรรจุภัณฑ์หัตถกรรมในแถบประเทศตะวันออกเฉียงใต้ยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควร สามารถสรุปปัญหาที่พบ [48] ได้ดังนี้

1) วัสดุบรรจุภัณฑ์คุณภาพต่ำ
2) โครงสร้างไม่แข็งแรง
3) การออกแบบไม่เหมาะสม
4) ขาดข้อมูลทางด้านการตลาด
5) ขัดต่อกฎ ข้อบังคับของประเทศที่นำเข้า
6) ขาดเทคโนโลยีทางด้านบรรจุภัณฑ์

2.4.5.2 บรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งผู้ผลิตมักไม่เห็นความสำคัญของการมีบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากขาดการแนะนำที่ถูกต้อง ดังนั้นถ้าผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กควรทำเป็นกล่อง และถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ ควรมีภาชนะหุ้มห่อที่แห้งและสะอาด สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ได้ [53]

ปัจจุบันได้มีนักวิจัยศึกษาวิจัยการผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจำนวนมาก เช่น ธเนศ [54] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเกาะเกร็ด พบว่า นักท่องเที่ยวและคนในท้องถิ่นมีความพึงพอใจเกี่ยวกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โอกาสในการเลือกซื้อเครื่องปั้นดินเผา ประเภทของที่ระลึก และมีความพึงพอใจด้านคุณลักษณะของบรรจุภัณฑ์ในภาพรวม อยู่ในระดับมาก โดยบรรจุภัณฑ์ที่ได้เป็นการนำกระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุ เนื่องจากมีคุณสมบัติลดแรงกระแทก น้ำหนักเบา รูปทรงของกล่องเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมง่ายต่อการวางซ้อน สามารถขึ้นรูปโดยไม่ต้องใช้กาวหรือเทปใส ขนาดเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่กระแทกระหว่างขนส่ง

2.4.6 มาตรฐานการทดสอบบรรจุภัณฑ์

การดำเนินการทดสอบต้องอาศัยพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และสถิติ เพื่อใช้ในการประมวลผลการทดสอบ องค์กรระดับประเทศและระหว่างประเทศ ได้จัดทำมาตรฐานการทดสอบเพื่อให้ยกระดับมาตรฐานความรู้ในการประกอบอาชีพและควบคุมคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ตามความเหมาะสมที่จะใช้งานและทำให้การทดสอบวัสดุและบรรจุภัณฑ์แต่ละครั้ง มีวิธีการปฏิบัติคล้ายคลึงกันและลดความแตกต่างของวิธีการทดสอบและสิ่งแวดล้อมของการทดสอบ ทำให้ผลการทดสอบที่ได้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ [52]

2.4.6.1 มาตรฐานการทดสอบบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้มีดังนี้

1) International Organization for Standardization (ISO)

2) American Society for Testing Materials (ASTM)

3) British Standard (BS)

4) Japanese Industrial Standard (JIS)

5) Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)

6) International Safe Transit Association (ISTA)

7) National Safe Transit Association (NSTA)

สำหรับประเทศไทยมีการจัดทำมาตรฐานในการทดสอบโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและใช้ชื่อว่า มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) มาตรฐานการทดสอบของประเทศนั้นๆ นอกจากนี้อาจจะใช้มาตรฐานการทดสอบที่กำหนดโดยองค์กรระหว่างประเทศ มาเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานการทดสอบสำหรับใช้ภายในองค์กรของตัวเองได้

2.4.6.2 การทดสอบบรรจุภัณฑ์ [55]

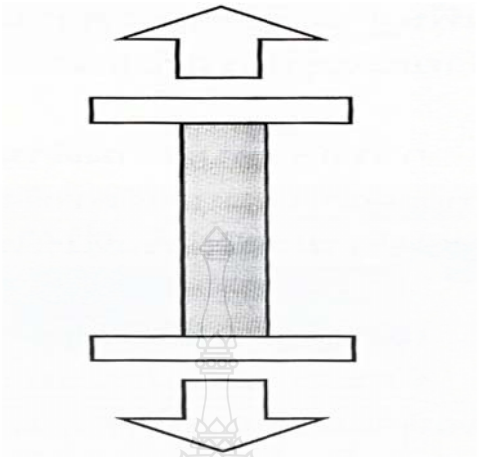
1) การควบคุมสภาวะ ในที่นี้คือการควบคุมสภาวะก่อนทำการทดสอบและระหว่างการทดสอบ นับเป็นสิ่งสำคัญมากในการทดสอบบรรจุภัณฑ์ เพื่อเป็นการแน่ใจว่าวัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะได้คุณภาพตามสภาวะหนึ่งๆ ตามที่กำหนดไว้ การควบคุมสภาวะการทดสอบในแต่ละประเทศอาจจะแตกต่างกัน แล้วแต่สถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของประเทศนั้น ตัวอย่างเช่น ประเทศอาร์เจนติน่า ออสเตรเลีย เบลเยี่ยม ฝรั่งเศส เยอรมัน เนเธอร์แลนด์และอังกฤษ จะใช้สภาวะการทดสอบควบคุมที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 65 ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50 ที่อุณหภูมิเดียวกัน 23 องศาเซลเซียส ในขณะที่ประเทศไทย ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 75

2) การต้านแรงสั่นสะเทือน (Vibration Resistance) หมายถึง การสั่นสะเทือนเกิดขึ้นกับภาชนะบรรจุสินค้าได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและปัจจัยอื่นๆ จุดประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อประเมินความแข็งแรงของภาชนะบรรจุและวิธีการบรรจุสินค้า รวมทั้งดูความเหมาะสมของวัสดุกันกระแทก ตลอดจนการปิดภาชนะบรรจุว่าจะสามารถป้องกันความเสียหายเนื่องจากการสั่นสะเทือนได้เพียงไร เครื่องมือที่ใช้คือ โต๊ะสั่นสะเทือน (Vibration Table) ซึ่งมีทั้งแบบแนวตั้งและแนวนอน โดยปรับความถี่และช่วงกว้างของคลื่นได้ มาตรฐานการทดสอบ ได้แก่ ISO 2447 ASTM D999 ISTA และ NSTA เป็นต้น [52]

3) น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และความหนาแน่น วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เป็นแผ่นๆ มักจะซื้อขายกันด้วยน้ำหนักมาตรฐานหรือ Basis Weight ตัวอย่างเช่น กระดาษที่เรียกว่า 100 กรัม ความจริงเป็นการเรียกจาก น้ำหนักมาตรฐานเป็นกรัมต่อตารางเมตร

4) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงเป็นการทดสอบศักยภาพความทนทานต่อแรงดึงของวัสดุ โดยวัสดุบรรจุภัณฑ์จะถูกแรงดึงอย่างช้าๆ จนกระทั่งขาดออกจากกัน แล้ววัดค่าแรงดึงสูงสุดขณะที่ขาดและยืดตัวของวัสดุสุดท้ายขณะที่ขาด การทดสอบนี้นับเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกลอย่างง่ายของวัสดุที่เป็นแผ่นหรือฟิล์ม การทดสอบมักจะทำใน 2 ทิศทาง คือ ในแนวทิศที่วัสดุผลิตจากเครื่องจักรแปรรูป เรียกว่า ทิศในแนว

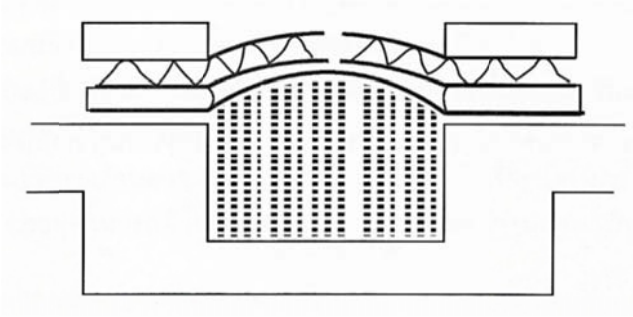
ของเครื่องจักร (Machine Direction หรือ MD) และอีกทิศหนึ่ง คือแนวที่ตั้งฉากกับ MD (Cross-Machine Direction หรือ CD)



รูปที่ 2.5 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง
ที่มา : [55]

5) ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (Bursting Strength) การทดสอบแรงดันทะลุเป็นการทดสอบขั้นพื้นฐานของอุตสาหกรรมกระดาษ โดยการเพิ่มแรงดันต่อกระดาษที่ถูกยึดไว้ให้แน่น เพื่อทดสอบว่ากระดาษจะทนแรงดันได้มากน้อยแค่ไหน การทดสอบนี้อาจเรียกตามชื่อของผู้ที่ค้นพบว่า "Mullen Test" (มูลเลนเทสต์)

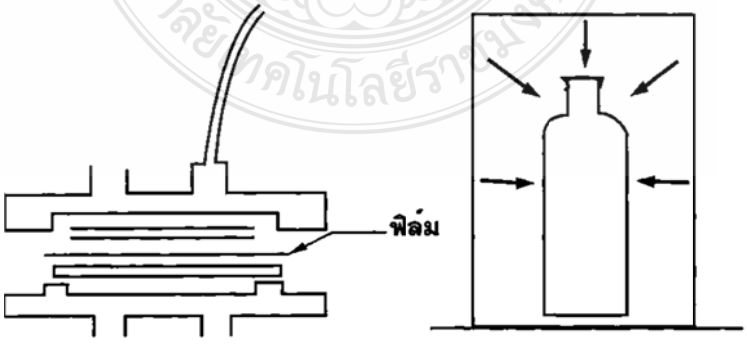
การทดสอบนี้เป็นวิธีง่ายๆ ที่จะตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุบรรจุภัณฑ์ซึ่งใช้มากกับกระดาษลูกฟูกและอาจจะใช้กับพลาสติกบางประเภทที่ยืดตัวได้น้อย สิ่งที่ควรตระหนักถึงคือ การทดสอบนี้มิได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ที่นำวัสดุที่ทดสอบนี้ไปขึ้นรูป แต่เป็นการศึกษาความแข็งแรงของวัสดุเท่านั้น กล่าวคือ กระดาษลูกฟูก โครงสร้าง A ที่มีค่า Burst Test สูงกว่าโครงสร้าง B เมื่อขึ้นรูปเป็นกล่อง กล่องที่ทำจากกระดาษลูกฟูกโครงสร้าง A ไม่จำเป็นเสมอไปว่าจะแข็งแรงกว่ากล่องที่ทำจากกระดาษลูกฟูก B อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ยังนิยมใช้เนื่องจากทดสอบได้ง่ายและเร็ว



รูปที่ 2.6 การทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ
ที่มา : [56]

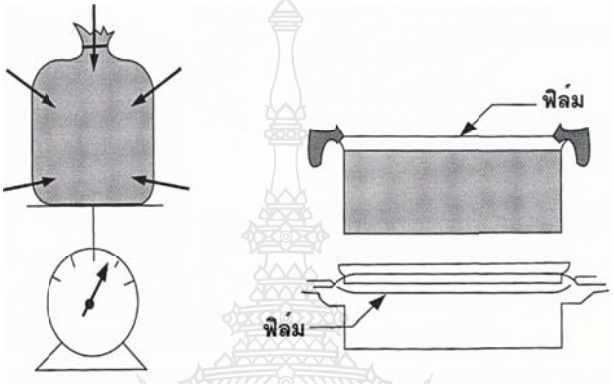
6) อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (Gas Transmission Rate - GTR) อัตราการซึมผ่านของวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทแผ่นและฟิล์ม โดยเฉพาะพลาสติกจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งสามารถทดสอบอย่างง่ายๆ โดยนำกระดาษมาปิดที่ปากแล้วเป่าลมผ่านกระดาษไปยังมืออีกข้างที่ปิดไว้อีกด้านหนึ่งของกระดาษที่มือจะสามารถรับความรู้สึกของลมร้อนที่ผ่านออกจากกระดาษมาได้ ซึ่งแสดงว่ากระดาษมีความต้านทานความสามารถหรือปล่อยให้อากาศซึมผ่านได้ คุณสมบัติเช่นนี้ก็มีในฟิล์มพลาสติก เพียงแต่ว่าการซึมผ่านของฟิล์มพลาสติกนั้นเกิดขึ้นช้ากว่า

การทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซเป็นการวัดปริมาตรของก๊าซชนิดต่างๆ ที่สามารถซึมผ่านวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทใดประเภทหนึ่ง วิธีการทดสอบทำโดยการตัดวัสดุบรรจุภัณฑ์มาประกบตรงกลางระหว่างเซลล์ 2 ข้าง เซลล์แต่ละข้างจะมีความดันของก๊าซแตกต่างกัน ก๊าซของด้านที่มีความดันสูงจะสามารถดันก๊าซผ่านฟิล์มไปยังอีกด้านหนึ่ง ปริมาตรของก๊าซที่วัดได้จากการซึมผ่านจะเป็นค่าคงที่ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ ณ อุณหภูมิหนึ่งและพื้นที่ผิวที่กำหนดไว้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ ซีซี/ตารางเมตร/วัน



รูปที่ 2.7 การทดสอบหาอัตราซึมผ่านของก๊าซ
ที่มา : [55]

7) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate - WVTR)
การทดสอบอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเป็นการทดสอบที่มีหลักการคล้ายคลึงกับการซึมผ่านของก๊าซ แต่แตกต่างกัน คือ แทนที่จะวัดเป็นปริมาตรจะวัดเป็นน้ำหนักแทน นอกจากนี้การวัดการซึมผ่านของไอน้ำจะวัดในสถานะที่สมดุลที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 90 โดยมีหน่วยเป็น กรัม/ตารางเมตร/วัน



รูปที่ 2.8 การทดสอบหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ
ที่มา : [55]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 อมรรัตน์ [56] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การสกัดและศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน โดยการผลิตแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนได้ผลผลิตประมาณร้อยละ 50 และ 20 ของน้ำหนักเมล็ดสดตามลำดับ ความเข้มข้นของ NaOH (ร้อยละ 0.5-2.0 w/w) และเวลาในการแช่ (7 – 60 นาที) มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อได้รับความร้อนของแป้งขนุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สตาร์ชจากเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.81 ไขมันจากแป้งที่ผ่านวิธีโม่แห้งและโม่เปียกมีค่าร้อยละ 2.19 และ 1.94 สตาร์ชจากเมล็ดขนุนมีไขมันอยู่ร้อยละ 0.90 ปริมาณอะมิโลสของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าร้อยละ 36.67-52.53 แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมี pH เป็นกลางในช่วง 6.55-6.81

2.5.2 อมรรัตน์ [57] ศึกษาและวิจัย เรื่อง สมบัติของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร ผลการศึกษาการใช้สตาร์ชขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศ พบว่า สตาร์ชขนุนซึ่งเป็นสตาร์ชจากธรรมชาติมีสมบัติเหมาะสมสำหรับการใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูงเช่นเดียวกับสตาร์ชดัดแปร และสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อทดแทนสตาร์ชดัดแปรซึ่งต้องผ่านกรรมวิธีทางกายภาพหรือเคมี

2.5.3 ดารารัตน์ [58] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์ พบว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทิไนซ์และความหนืดสูงกว่าแป้งพรีเจลาทิไนซ์ที่เตรียมโดยวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ด ($p<0.05$) 3.0-3.4 4.5-5.2 3.1-3.4 และ 10.0-11.6 เท่าตามลำดับ และสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p<0.05$) 3.8-4.3 7.2-8.4 113.8-125.3 และ 222.0-258.4 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ยังส่งผลให้แป้งพรีเจลาทิไนซ์มีค่าดัชนีการละลายน้ำ ดัชนีการดูดซับน้ำ ระดับการเกิดเจลาทิไนซ์ และความหนืดสูงขึ้นด้วย

2.5.4 รัฐภูมิ [59] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การปรับปรุงสมบัติด้านการทนความชื้นของแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากการศึกษา แป้งที่ผ่านการดัดแปรแล้วจะมีความสามารถในการทนความชื้นได้ดีและยึดเกาะกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนได้ดีขึ้น และส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าความเหนียวสูงกว่าของพอลิเมอร์ผสมแป้งปกติ (ที่ส่วนผสมเดียวกัน) และจากการทดสอบฝังดินเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าพอลิเมอร์ผสมแป้งดัดแปรจะย่อยสลายได้ช้าลงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมแป้งปกติ

2.5.5 สรวุฒิ [30] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การศึกษาเบื้องต้นของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรผสมพลาสติก จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการทนต่อความชื้นของแป้งที่ได้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณหมู่แทนที่ของแป้งดัดแปร และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่สัดส่วนผสมของปริมาณแป้งร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรที่ปริมาณหมู่แทนที่สูง ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความแข็งแรงมากขึ้นแต่สมบัติการยืดตัวลดลง ส่วนในกรณีของผลกระทบของการเติมกลีเซอรอล พบว่าการเติมสารดังกล่าวลงไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าการยืดตัวสูงในช่วงแรก หลังจากนั้นค่าการยืดตัวจะลดลงตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น และจากการทดสอบการฝังดินพบว่าอัตราการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อปริมาณหมู่แทนที่ของแป้งมันสำปะหลังดัดแปรมีค่าสูงขึ้น

2.5.6 ปิยะมาส [37] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การเตรียมพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโตรเมทธีลีนเทอเรพธาเลตและพอลิเอไมด์ 4 ที่อัตราส่วนร้อยละ 50:50 60:40 70:30 และ 80:20 โดยน้ำหนัก ทำการผสมแบบหลอดผสมด้วยเครื่องนวดผสม พบว่าทุกอัตราส่วนมีความหนืดน้อย เหลว และไหลอย่างรวดเร็ว การผสมเกิดขึ้นได้น้อย พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะแข็งเปราะ ไม่สามารถนำไปอัดขึ้นรูปได้ จึงเลือกวิธีการผสมแบบหลอมผสมใหม่โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ทำการเตรียมพอลิเมอร์ระหว่าง PTT และ PA 4 ที่อัตราส่วนร้อยละ 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยน้ำหนัก และศึกษาผลของการเติมสารช่วย

ผสมที่ร้อยละ 1 2 3 4 และ 5 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของ PTT และ PA 4 มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวผนึกเท่ากับ 229 และ 214.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2.5.7 จันทิมา [60] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและยางธรรมชาติ ด้วยกระบวนการรีดและกระบวนการเป่าฟิล์ม ภายใต้การปรับสภาวะการขึ้นรูปต่างๆ พบว่า พอลิเมอร์ผสม PLA/NR นี้สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ด้วยกระบวนการทั้งสอง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการรีด พบที่อุณหภูมิหัวรีด 147 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 3 rpm และอัตราส่วนการดึงเท่ากับ 1 โดยฟิล์มที่ได้มีลักษณะเปราะ และสภาวะที่เหมาะสมในการเป่าฟิล์ม พบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสูงสุดที่ 320 rpm

2.5.8 จิตติมณฑน์ [61] ศึกษาและวิจัย เรื่อง ผลของกรดอินทรีย์และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดสีน้ำตาลในเมล็ดขนุนลอกเปลือก เป็นการศึกษาจากปัญหาที่พบในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดขนุนลอกเปลือก ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยวิธีการศึกษาเป็นการศึกษาโดยวิธีการจุ่มเมล็ดขนุนลอกเปลือกในกรดอินทรีย์ 2 ชนิด คือ กรดออกซาลิก และกรดทาร์ทาริก จากการศึกษาพบว่า การจุ่มเมล็ดขนุนลอกเปลือกในกรดออกซาลิกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 10 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบริเวณผิวของเมล็ดขนุนลอกเปลือกได้ดีที่สุด และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดขนุนลอกเปลือกได้นานที่สุด 6 วัน

2.5.9 จิรนาท [62] ศึกษาและวิจัย เรื่อง การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชฟอสเฟตจากเมล็ดขนุน เป็นการศึกษาด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต ผลการศึกษาพบว่าสตาร์ชดัดแปรจากเมล็ดขนุนมีความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 6.7-7.2 และค่า Water Activity อยู่ระหว่าง 0.36-0.40

2.5.10 นัฐพร [63] ศึกษาและวิจัย เรื่อง อิทธิพลของ Clay ที่มีต่อสมบัติและความว่องไวต่อความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เป็นการพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของ TPS ที่ขึ้นรูปแบบ Melt Mixing และเตรียมจากแป้งข้าวเหนียว โดยใช้ Glycerol เป็นพลาสติกไซเซอร์ ด้วยการเติม Clay ชนิดต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า คุณสมบัติ TPS ที่ขึ้นรูปแบบ Melt Mixing และเตรียมจากแป้งข้าวเหนียวผสม Glycerol ในสัดส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก จะทำให้ชิ้นงานมีคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เมล็ดขนุน พันธุ์มาเลย์ จากตลาดสี่มุมเมือง

3.1.2 น้ำกลั่น (Distilled Water) จากบริษัท ทีทีไนนทีไนน

3.1.3 กลีเซอรีน (Glycerin) จากบริษัท ยูแอนด์วี โฮลดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับผลิตพลาสติกชีวภาพ

3.2.1.1 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) บริษัท Lab Tech Engineering

3.2.1.2 เครื่องชั่งละเอียด ยี่ห้อ Precisa รุ่น 4000C

3.2.1.3 เครื่องปั่นละเอียด บริษัท Thai grinder

3.2.1.4 เครื่องบดสับ ยี่ห้อ Tefal รุ่น MF 327170

3.2.1.5 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Patch รุ่น OV 663

3.2.1.6 Hot Plate ยี่ห้อ SCHOTT Instruments GmbH

3.2.1.7 แท่งแก้วคน

3.2.1.8 บีกเกอร์

3.2.1.9 กระบอกตวง

3.2.1.10 ช้อนตักสาร

3.2.1.11 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ

3.2.2.1 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1) เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ยี่ห้อ Mettler รุ่น DSC 823°

2) เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Universal Testing) ยี่ห้อ Lloyds LR 10k plus บริษัท Intro TSC Co. Led.

3) เครื่องทดสอบความแข็งแบบ Shore ยี่ห้อ PTC Instruments Model 406 Type A บริษัท Calibration Center Dctro TSC Co.Ltd.

3.2.2.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1) ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

3.2.2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

1) บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

2) แบบทดสอบ

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.2.3.1 โปรแกรมวิเคราะห์สถิติ

3.2.3.2 คอมพิวเตอร์แบบพกพา

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

3.3.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ทำการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุน โดยนำเมล็ดขนุนจากผลขนุนพันธ์มาเลย์ที่สุกแล้ว มีลักษณะสด ใหม่เมล็ดไม่เหี่ยว ไม่เน่าหรือมีกลิ่นบูด มาผลิตเป็นแป้งเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบผสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ (ดังแสดงในรูปที่ 3.1)

รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตแป้งดิบจากเมล็ดขนุน

ที่มา : [58]

1) การวิเคราะห์คุณภาพแป้งเมล็ดขนุน*

นำแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการผลิตมาทำการวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

(1) การหาค่าร้อยละผลผลิต (% yield)

การคำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นมักจะนิยมคำนวณออกมาในรูปผลผลิตร้อยละ (Percent Yield) โดยคำนวณจากสมการ

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

ผลผลิตจริง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองหรือจากการเกิดปฏิกิริยา

ผลผลิตตามทฤษฎี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมี เกิดจากปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ผลผลิตร้อยละ จะได้ไม่ถึงร้อยละ 100 เนื่องจากการทำการทดลอง จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อาจจะทำให้เกิดสารชนิดอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ สารตั้งต้นอาจจะมีสารชนิดอื่นปนอยู่ด้วย

(2) การวัดค่าความชื้น (ตามมาตรฐาน AOAC, 2012)

เป็นวิธีการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักก่อนการอบ และบันทึกน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้ง แล้วทำการคำนวณหาร้อยละความชื้นจากสูตร คือ

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

3.3.1.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ

ในการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณของกลีเซอรีน โดยแปรเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน ทำการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) จะได้สูตรการทดลองทั้งหมด 5 สูตร (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) แล้วนำมาทำเป็นพลาสติกชีวภาพตามกระบวนการผลิต (ดังแสดงในรูปที่ 3.2)

ตารางที่ 3.1 การศึกษาปริมาณกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน

สูตร	ปริมาณกลีเซอรีน (ร้อยละ)
1	0
2	25
3	50
4	75
5	100

รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ที่มา : ดัดแปลงจาก [60], [64]

1) การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน*

ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนที่ได้จำนวน 5 สูตร (ดังแสดงในตารางที่ 3.1) ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeters: DSC เพื่อหาจุดหลอมเหลวของตัวอย่างทดสอบ

หลักการทดสอบ

ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอริมิเตอร์ หรือ DSC เป็นเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน โดยมีการใช้ถาด 2 ถาด เพื่อใช้ในการทดสอบซึ่งกำหนดให้ถาดแรกเป็นถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (Sample Pan) ถาดที่สองเป็นถาดอ้างอิง (Reference Pan) เมื่อเริ่มการทดลองจะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ ซึ่งกำหนดให้ควบคุมอุณหภูมิความร้อนอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

วิธีการทดสอบ [37]

(1) ทำการเตรียมตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ โดยทำการชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 5-8 มิลลิกรัม บรรจุสารตัวอย่างลงใน Pan แล้วทำการอัดบรรจุ Pan ด้วยเครื่อง

(2) เปิดชุดทดสอบ DSC ซึ่งประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับพล็อตกราฟและบันทึกข้อมูล ด้วยระบบควบคุม DSC (DSC Controller)

(3) นำสารตัวอย่างที่บรรจุลงใน Pan เรียบร้อยแล้วใส่ไปในเตา (Furnace) ของเครื่อง DSC ซึ่งมี 2 เตา โดยเตาที่ 1 สำหรับใส่ภาชนะเปล่าเพื่อเป็นตัวอ้างอิง และเตาที่ 2 ใช้สำหรับใส่ภาชนะที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ

(4) ปิดฝาครอบ DSC

(5) กำหนดตัวแปร (Parameter) และเงื่อนไข (Condition) ในเครื่อง โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่จะทำการหาค่าอยู่ระหว่าง 20 – 300 องศาเซลเซียส กำหนดระยะเวลาการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

(6) เริ่มทำการเดินเครื่อง DSC และเปิดก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้เมื่อถึงเวลาสุดท้ายจะมีเสียงสัญญาณเตือนคอมพิวเตอร์จะหยุดการวิเคราะห์ผล

(7) ปิดวาล์วถังก๊าซไนโตรเจนและนำภาชนะบรรจุสารตัวอย่างออกจากเตาเครื่อง DSC บันทึกข้อมูล จากนั้นจะเริ่มทำการทดสอบตัวอย่างชิ้นอื่นต่อไป

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของตัวอย่างทดสอบทั้ง 5 สูตร ให้ทำการคัดเลือกตัวอย่างทดสอบโดยพิจารณาจากค่าจุดหลอมเหลวในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและลักษณะของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจากการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) ยี่ห้อ Mettler รุ่น DSC 823°

2) การผลิตพลาสติกชีวภาพ**

เมื่อทำการคัดเลือกสิ่งทดลองหลังจากทดสอบสมบัติทางความร้อนของสารตัวอย่างครบทุกชิ้นแล้วให้นำผลที่ได้ไปดำเนินการศึกษาทดลองการผลิตพลาสติกชีวภาพต่อไปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding

หลักการทดสอบ

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกดอัด (Platen) จำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า 2 แผ่น แผ่นกดอัดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกดอัด เครื่องจะสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างการผลิต [65]

วิธีการทดสอบ [66]

(1) เปิดสวิตซ์ Power และ Heater ไปที่ตำแหน่ง on

(2) ตั้งอุณหภูมิ Heater ที่ 150 องศาเซลเซียส ทั้งบนและล่าง โดยปรับตั้งที่แผงควบคุมอุณหภูมิรอจนอุณหภูมิขึ้น ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ทั้งนี้ควรทิ้งให้อุณหภูมิคงที่ก่อน โดยทิ้งไว้ที่ระยะเวลาประมาณ 1 – 1.5 ชั่วโมง

(3) ตั้งเวลาที่ Timer

(4) ตั้งแรงดันในการกดอัด

(5) นำ Mold ใส่ช่องว่างระหว่างแผ่น Plate ด้านที่มี Heater ให้ความร้อน

(6) กดปุ่ม Up แผ่น Plate ก็จะเคลื่อนขึ้น และทำงานตามเวลาและแรงดันที่ได้ปรับตั้งไว้

(7) เมื่อครบตามสภาวะที่ได้ปรับตั้งไว้ในการหลอมเหลวและการอัดให้ได้ขนาดตาม Mold แล้วจึงนำ Mold ออกจากช่องว่างระหว่าง Plate นำมาทำการหล่อเย็นด้านล่างพร้อมกับเปิดน้ำหล่อเย็น ทั้งนี้ต้องทำการปรับตั้งเวลาแรงดันในการหล่อเย็นอีกครั้ง

(8) กดปุ่ม Up แผ่น Plate จะเคลื่อนขึ้นทำการหล่อเย็นตามเวลาและแรงดันที่ได้ปรับตั้งไว้

(9) ตั้งอุณหภูมิให้ลดลง และรอจนกว่าอุณหภูมิจะลงตามที่ได้ตั้งไว้เพื่อที่จะเตรียมการปิดเครื่อง

(10) เมื่ออุณหภูมิลดลงแล้ว กดปุ่ม Emergency Stop เพื่อจะหยุดการทำงานของเครื่อง

(11) ทำการปิดเครื่อง Thermoplastics Compression Molding โดยกดสวิตซ์ Power และ Heater ไปที่ตำแหน่ง Off

3) วิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ***

ทำการศึกษาคุณภาพพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ โดยการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี ประกอบด้วย

(1) การศึกษาลักษณะที่ปรากฏ

เป็นการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้หลังจากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป Compression Molding แล้วด้วยวิธีการสังเกต

(2) การวัดค่าสี

การใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab Lovibond รุ่น SP 60 จาก บริษัท เอช. เอ.รีเสริช จำกัด) ใช้ระบบสี CIE LAB วัดค่า L* a* b* และ ΔE เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะ Color space [67] โดยกำหนดให้ L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100

a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

โดย ΔE คือ ค่าความแตกต่างของสี

(3) การทดสอบความแข็ง (ตามมาตรฐาน ASTM D 2240)

เป็นวิธีการวัดความแข็งแบบ Shore A นิยมใช้สำหรับยางอ่อน ความแข็ง Shore A คือค่าความแข็งสัมพัทธ์ของวัสดุยืดหยุ่น เช่น ยาง หรือพลาสติกอ่อน สามารถที่จะหาได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Shore A Durometer Model 473 เนื่องจากความยืดหยุ่นของยางและพลาสติก การอ่านค่าจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้น เวลาการกดบางครั้งจะถูกรายงานร่วมกับค่าความแข็ง

วิธีการทดสอบ

ทำการเตรียมตัวอย่างของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 5 สูตร ให้มีขนาด 3 X 5 เซนติเมตร เพื่อนำมาทดสอบความแข็ง โดยการกดวัดความแข็งของชิ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 3 จุด ซึ่งการทดสอบนี้จะวัดความลึกของหัวกดที่จมลงไปในเนื้อวัสดุ ภายในระยะเวลา 10 วินาที แล้วทำการบันทึกค่าความแข็งที่ได้

(4) การทดสอบความต้านทานแรงดึง (ตามมาตรฐาน ASTM D 638)

ในการทดสอบความต้านทานแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638 สำหรับการหาสมบัติแรงดึงของพลาสติกและพลาสติกเสริมแรง โดยใช้ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ (Types I – V), แท่ง หรือท่อทรงกระบอก สมบัติแรงดึงเหล่านี้ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ความเครียดที่จุดแตกหัก และมอดูลัส สมบัติทางกลของพลาสติกสามารถเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติมบางประเภทเข้าไปในพลาสติก เช่น ความแข็งแรง การยืดตัวและ ความเหนียว

วิธีการทดสอบ

ทำการเตรียมชิ้นงานแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนเพื่อทดสอบให้มีรูปทรง Dumbbell ขนาด 6.10 X 2.86 มิลลิเมตร กำหนดค่าความเร็วในการทดสอบ 5 มิลลิเมตรต่อนาที วัดช่วงความยาวประมาณ 65 มิลลิเมตร แล้วทำการยึดชิ้นงานด้วยอัตราการดึงที่คงที่ ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงและระยะยืดของชิ้นงานบริเวณตรงกลางลงในโปรแกรมเพื่อใช้รายงานผลต่อไป

(5) การวัดค่าความชื้น (ตามมาตรฐาน AOAC, 2012)

เป็นวิธีการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง บันทึกน้ำหนักก่อนการอบ และจดน้ำหนักที่น้อยที่สุดของถ้วยอลูมิเนียมและน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้ง

การคำนวณหาร้อยละความชื้นจากสูตร

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

วิธีการทดสอบ

ทำการอบถ้วยอลูมิเนียมตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ทำให้เย็นใน Desiccator นำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน โดยการนำตัวอย่างแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 105 ถึง 107 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที นำเอามาใส่ใน Desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักอบซ้ำครั้งละ 30 นาที

ทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลการศึกษาลักษณะที่ปรากฏ ค่าสี ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) ถ้าพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่าความแตกต่าง เพื่อทดสอบหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) แล้วนำมาคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการนำมาขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนต่อไป

3.3.2 สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

การสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน โดยการกำหนดรูปแบบและโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ให้สัมพันธ์กับหน้าที่ใช้สอยของผลิตภัณฑ์ เพื่อการคุ้มครองป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเสียหายและเพิ่มคุณค่าด้านจิตวิทยาต่อผู้บริโภค [68] สามารถกำหนดรูปแบบและโครงสร้างในการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนได้ 2 รูปแบบ ประกอบด้วย บรรจุภัณฑ์รูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ และบรรจุภัณฑ์รูปแบบกล่องเลื่อน (ดังแสดงในรูปที่ 3.4)

(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 รูปแบบกล่องบรรจุภัณฑ์ (ก) บรรจุภัณฑ์รูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ และ (ข) บรรจุภัณฑ์รูปแบบกล่องเลื่อน

ที่มา : [69] และ [70]

นำต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ทั้ง 2 รูปแบบมาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย

3.3.2.1 การทดสอบการดูดซับน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D570-88)

การทดสอบการดูดซับน้ำเป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D570-88 ทำการเตรียมชิ้นงานทดสอบตัวอย่างละ 2 ชิ้น ลบขอบและมุมออก และต้องไม่มีรอยแตก และชิ้นงานแต่ละชิ้นมีรูปแบบเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และมีน้ำหนักไม่เกิน 3 กรัม ก่อนทำการทดสอบชิ้นงานจะทำการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นในชิ้นงาน และชั่งน้ำหนักทันทีด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างไปวางลงในกล่องทดสอบที่มีตะแกรงอยู่ภายในเพื่อไม่ให้ชิ้นงานทดสอบสัมผัสกับก้นและขอบกล่องทดสอบ เติมน้ำให้ท่วมชิ้นงานทดสอบ บันทึกผลการทดสอบทุกวันตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ ทำให้ได้ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยทำการหยิบชิ้นงานขึ้นจากน้ำทุกวัน ซับน้ำออกจากชิ้นงานตัวอย่างด้วยกระดาษทิชชู่และชั่งน้ำหนักทันทีเพื่อคำนวณหาร้อยละการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักในแต่ละสูตร

3.3.2.2 การทดสอบการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

ทำการทดสอบโดยการนำบรรจุภัณฑ์ตัวอย่างมาทดสอบน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์แต่ละรูปแบบ ด้วยโปรแกรมคำนวณค่า BCT ของกลุ่มบริษัทอินเตอร์ [82] มาทำการคำนวณค่าน้ำหนักบรรจุภัณฑ์รวมที่สามารถรองรับได้ของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และจำนวนชั้นที่สามารถวางซ้อนบรรจุภัณฑ์ได้ ซึ่งลักษณะการวางซ้อนของบรรจุภัณฑ์ รวมถึงลักษณะของพื้นที่ที่บรรจุภัณฑ์ที่ถูกวางไว้ จะมีผลต่อความสามารถในการทนต่อแรงกดบรรจุภัณฑ์ (Box Compression Test หรือ BCT) (ดังแสดงในตารางที่ 3.2) ชัยภัทร [71] กล่าวว่า ค่าความแข็งแรงกล่อง (BCT) จะถูกกำหนดขึ้นจากลักษณะการบรรจุ การใช้งาน การขนส่ง การจัดจำหน่าย รวมถึงสภาพสินค้าที่บรรจุภายในกล่องด้วย จึงทำให้ค่าความแข็งแรงกล่องสำหรับสินค้าแต่ละประเภทในหลากหลายอุตสาหกรรมนั้นจะมีค่าที่ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ข้างต้น ซึ่งผู้ผลิตจะต้องผลิตกล่องที่มีความแข็งแรงของกล่องให้เพียงพอต่อความต้องการนั้นให้ได้

ตารางที่ 3.2 ผลต่อความสามารถในการทนต่อแรงกดในลักษณะการวางซ้อนของบรรจุภัณฑ์

ลักษณะการวางเรียงซ้อน		% BCT ที่เหลือ	f_s
ไม่วางบนกระบะ	เรียงซ้อนขนานกัน (Column Stacking)	85	0.85
ไม่วางบนกระบะ	เรียงซ้อนไขว้กัน (Interlocking)	60	0.60
วางบนกระบะ	เรียงซ้อนขนานกัน (Column Stacking)	75	0.75
วางบนกระบะ	เรียงซ้อนไขว้กัน (Interlocking)	50	0.50

ที่มา : [72]

3.3.3 สำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ทำการสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีรูปแบบแตกต่างกัน ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลความพึงพอใจของผู้บริโภคจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 2 กลุ่ม ประกอบด้วย

3.3.3.1 การสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้บริโภค จำนวน 100 คน โดยการใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน ลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List)

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา ได้แก่ การเคยซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เหตุผลสำคัญที่สุดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา แหล่งเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ปัญหาที่พบในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ความสนใจบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และความสนใจบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ มีลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List) และระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยแปรเป็น 5 ระดับ ดังนี้

5	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อย
1	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ส่วนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ได้แก่ การยอมรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน รูปแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ชอบ ราคาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนพร้อมผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่เหมาะสม ความเหมาะสมในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และความต้องการซื้อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List)

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ เป็นการตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิด โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

3.3.3.2 การสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ประกอบการ (ผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา) จำนวน 20 คน โดยการใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มผู้ประกอบการ ที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ด้วยวิธีให้คะแนนความพึงพอใจ 5 ระดับ (5 Point Hedonic Scale) แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา ลักษณะสถานประกอบการ รายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน ลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List) และชื่อสถานประกอบการ ลักษณะการตอบเป็นแบบเขียนบรรยาย

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา ได้แก่ การเคยพบปัญหาในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ปัญหาที่พบในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ความสนใจบรรจุภัณฑ์เฉพาะ สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และความสนใจบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ มีลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List) และระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยแปรเป็น 5 ระดับ ดังนี้

5	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อย
1	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ส่วนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ได้แก่ การยอมรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน รูปแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ชอบ ราคาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน พร้อมผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่เหมาะสม ความเหมาะสมในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และความต้องการซื้อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีลักษณะการตอบเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check List)

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ เป็นการตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิด โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

3.4 ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ เดือน สิงหาคม 2558 – มิถุนายน 2559

3.5 สถานที่ทำการวิจัย

3.5.1 ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.5.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.5.3 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

การวิจัย เรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีผลการทดลองและการวิจารณ์ข้อมูลดังนี้

4.1 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

4.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ

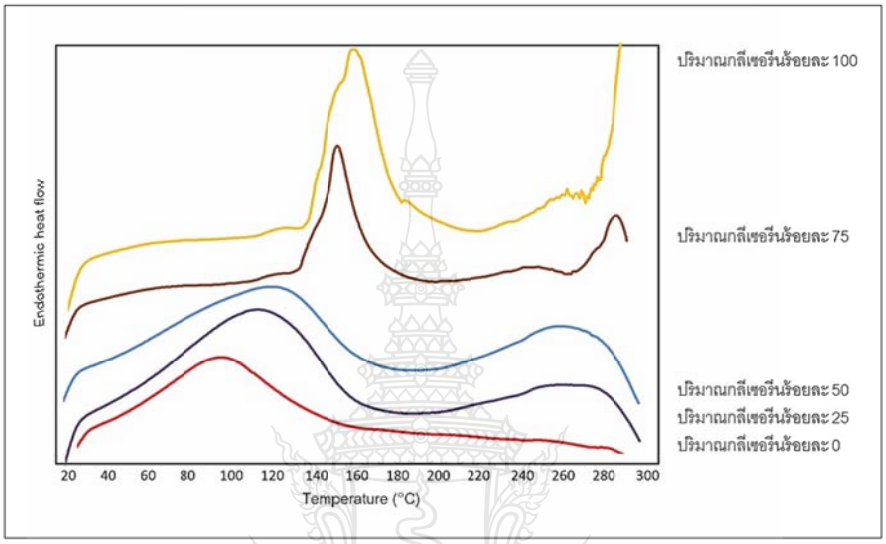
จากการศึกษาการเตรียมวัตถุดิบ พบว่า การเตรียมแป้งจากเมล็ดขนุนที่ได้ มีลักษณะสีเหลืองนวล มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 71.84 ค่า (a*) เท่ากับ +0.91 เป็นไปในทิศทางสีแดง และค่า (b*) เท่ากับ +15.11 เป็นไปในทิศทางสีเหลือง เป็นผงละเอียดไม่จับตัวเป็นก้อน มีกลิ่นตามธรรมชาติของเมล็ดขนุน ไม่มีกลิ่นอับ หรือมีกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ และปราศจากสิ่งแปลกปลอม จากการคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตที่ได้ (% yield) พบว่า ได้ผลผลิตร้อยละ 21.25 ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด ซึ่งได้ผลต่ำกว่าการศึกษาของ ดารารัตน์ [58] ได้รายงานว่า ผลผลิตแป้งเมล็ดขนุนจากวิธีการต้มเมล็ดขนุนทั้งเมล็ดในน้ำเดือด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 36.5 – 37.9 ซึ่งปริมาณผลผลิตที่แตกต่างกันนี้ อาจเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการเตรียมแป้งเมล็ดขนุน ความแตกต่างของสายพันธุ์ความแก่อ่อนของขนุน รวมถึงส่วนประกอบของเมล็ดขนุน เช่น เยื่อหุ้มสีขาวครีมและเยื่อสีน้ำตาล เป็นต้น [58] และผลการวิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่า แป้งจากเมล็ดขนุน มีค่าความชื้นร้อยละ 5.75 แสดงให้เห็นว่าแป้งเมล็ดขนุนที่ได้มีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแป้งจาก มอก. 375-2524 ที่กำหนดค่าความชื้นของแป้งไม่ควรเกินร้อยละ 14 เพื่อเป็นการหยุดการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร และจุลินทรีย์ก่อโรค ซึ่งทำให้สามารถเก็บรักษาแป้งไว้ได้นาน สอดคล้องกับรายงานของ ดารารัตน์ [58] ได้กล่าวว่าแป้งจากเมล็ดขนุนที่ได้ควรมีความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 8

4.1.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ

4.1.2.1 สมบัติทางความร้อน

ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่าของผสมระหว่างแป้งเมล็ด

ขนุนกับกลีเซอรีนทั้ง 5 สูตร แสดงพีคการดูดความร้อน (Endothermic Peak) ซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานในการหลอมละลายผลึกของของผสม (ดังแสดงในรูปที่ 4.1) จากการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_o) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_c) ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน ($T_o - T_c$) และพลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (ΔH) (ดังแสดงในตารางที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 เทอร์โมกราฟของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน

ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน

ปริมาณกลีเซอรีน	อุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน (°ซ)				พลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (ΔH) (J/g)
	T_o	T_p	T_c	$T_o - T_c$	
ร้อยละ 0 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$36.02^{d} \pm 1.44$	$90.09^{d} \pm 0.07$	$136.68^{e} \pm 0.74$	$100.66^{c} \pm 0.48$	$256.9499^{a} \pm 1.41$
ร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$44.99^{c} \pm 0.72$	$111.33^{c} \pm 1.51$	$156.19^{d} \pm 1.17$	$111.20^{b} \pm 0.10$	$226.3356^{c} \pm 0.91$
ร้อยละ 50 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$28.93^{e} \pm 0.66$	$118.10^{b} \pm 0.42$	$159.57^{c} \pm 0.62$	$130.64^{a} \pm 0.51$	$248.0680^{b} \pm 0.02$
ร้อยละ 75 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$143.75^{a} \pm 0.64$	$152.57^{a} \pm 1.23$	$166.88^{b} \pm 1.13$	$23.13^{e} \pm 0.03$	$124.1592^{e} \pm 0.15$
ร้อยละ 100 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน	$137.74^{b} \pm 0.72$	$155.80^{a} \pm 0.71$	$175.78^{a} \pm 1.26$	$38.04^{d} \pm 0.03$	$166.4512^{d} \pm 0.50$

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.1 พบว่า อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 0 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ในระดับต่ำที่สุด เท่ากับ 90.09 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของปาริฉัตร [73] ได้ศึกษาค่าจุดหลอมเหลวของแป้งจากเมล็ดขนุน พันธุ์ทองประเสริฐ พบว่า มีค่าจุดหลอมเหลว เท่ากับ 84.06 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_o) ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 50 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนต่ำที่สุด ซึ่งแสดงว่าสิ่งทดลองดังกล่าวสามารถเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชันได้เร็วที่สุด แต่มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชัน ($T_o - T_c$) สูงที่สุด และมี ΔH สูงสุดเมื่อเทียบกับสูตรที่เติมกลีเซอรีนทุกสูตร ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมากจากการเกิดความหลากหลายของของผสมทำให้เกิดความไม่เป็นหนึ่งเดียวกันของโครงสร้างผลึกและมีปริมาณผลึกในปริมาณที่สูงเช่นกัน [73] สำหรับในส่วนของค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_p) และค่าอุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทิไนเซชัน (T_c) ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนสูงขึ้นตามปริมาณของกลีเซอรีน ซึ่งเกิดขึ้นจากความยืดหยุ่นของสูตรที่เพิ่มปริมาณกลีเซอรีนมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (ΔH) พบว่า ของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 0 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนมีค่า (ΔH) สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณผลึกมากจึงส่งผลให้ต้องใช้พลังงานมากในการหลอมละลายผลึก [74] แต่เมื่อทำการพิจารณาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการอัดขึ้นรูปของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป คือ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่สามารถเกิดเจลาทิไนเซชันของสูตรทั้ง 5 สูตร คือ ปรากฏการณ์ของแป้งที่มีส่วนผสมของน้ำและกลีเซอรีนเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง เนื่องจากความร้อนทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้งลายพอลิเมอร์ [75] ดังนั้นการนำอุณหภูมิดังกล่าวมาใช้ในการอัดขึ้นรูปของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนจะสามารถอัดขึ้นรูปให้เป็นแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนได้ทุกสูตร

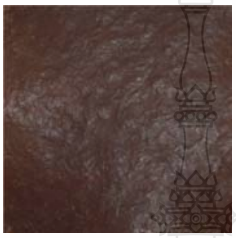
4.1.2.2 ศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป โดยใช้ระยะเวลาในการอัดผสมเป็นแผ่น 15 นาที เวลาในการหล่อเย็น 4 นาที และใช้อุณหภูมิความร้อน 150 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) ในการอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติกชีวภาพ สามารถผลิตแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 5 สูตร ที่มีขนาด 20 x 20 เซนติเมตร และมีความหนา 3 มิลลิเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและคุณภาพทางด้านเคมี ดังนี้

1) การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

(1) ลักษณะที่ปรากฏ ได้ผลการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน จากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ทั้ง 5 สูตร (ดังแสดงในตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ปริมาณกลีเซอรีน	ชิ้นงานทดสอบ	ลักษณะของสิ่งทดลอง
ร้อยละ 0 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีความแข็งไม่ยืดหยุ่น เปราะแตกได้ง่าย
ร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สามารถเกาะตัวกันได้ดีขึ้น และมีความแข็งยืดหยุ่นได้เล็กน้อย
ร้อยละ 50 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สามารถเกาะตัวเป็นแผ่นได้ดี มีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น มีความมันเงาของกลีเซอรีนติดที่แผ่นพลาสติกชีวภาพเล็กน้อย
ร้อยละ 75 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สามารถเกาะตัวเป็นแผ่นได้ดี มีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นได้ดี แต่มีความมันเงาของกลีเซอรีนขึ้นมาเคลือบที่ผิวของแผ่นพลาสติกชีวภาพมากขึ้น
ร้อยละ 100 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน		แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เกาะตัวกันได้ดี แต่มีความอ่อนนุ่มมากเกินไป เนื่องจากมีส่วนผสมของกลีเซอรีนอยู่ในระดับมาก ทำให้แผ่นพลาสติกชีวภาพมีผิวที่มันลื่นมากขึ้น

จากตารางที่ 4.2 พบว่า ลักษณะของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 5 สูตร จะพบว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่ร้อยละ 0 มีลักษณะแข็งและไม่มีความยืดหยุ่น เนื่องจากไม่มีกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่จึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มสภาพพลาสติกได้ สำหรับแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีนอยู่ร้อยละ 25 ร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ตามลำดับของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีความแข็งและยืดหยุ่นได้ดีขึ้นตามปริมาณกลีเซอรีนที่เพิ่มมากขึ้น และในส่วนของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่ร้อยละ 100 มีลักษณะเป็นแผ่นอ่อนนุ่ม ขาดง่าย และมีลักษณะผิวมันลื่นจากปริมาณกลีเซอรีนที่มากเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรีนเป็นสารจำพวกสารดูดความชื้น (Hydroscopic) จากการที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนจึงสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแป้งเมล็ดขนุนได้ [63] จึงทำให้สามารถทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มสภาพพลาสติกได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นได้ดี

(2) การวัดค่าสี

ในการวัดค่าสีของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ทั้ง 5 สูตร (ดังแสดงในตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ปริมาณของกลีเซอรีน	ค่าสี*			
	(L*)	(a*)	(b*)	ΔE
0	$54.29^{a} \pm 2.74$	$6.82^{c} \pm 0.58$	$32.69^{a} \pm 1.39$	$4.57^{c} \pm 2.52$
25	$42.86^{c} \pm 2.10$	$10.89^{a} \pm 0.71$	$26.46^{c} \pm 1.65$	$17.67^{a} \pm 2.42$
50	$43.53^{c} \pm 1.49$	$11.49^{a} \pm 0.74$	$28.65^{b} \pm 1.02$	$16.22^{a} \pm 1.53$
75	$45.08^{c} \pm 1.05$	$10.02^{b} \pm 0.47$	$26.54^{c} \pm 0.88$	$15.55^{a} \pm 1.30$
100	$50.76^{b} \pm 0.63$	$9.45^{b} \pm 0.38$	$29.74^{b} \pm 0.84$	$9.06^{b} \pm 0.71$

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.3 พบว่า แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีน ร้อยละ 0 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่าความสว่างของสี (L*) สูงสุด มีผลมาจากสีของแป้งเมล็ดขนุนที่มีลักษณะสีเหลืองนวลติดอยู่บนผิวของแผ่นพลาสติกชีวภาพ ซึ่งตัวอย่างทดสอบดังกล่าวไม่ได้มีส่วนผสมของกลีเซอรีน จึงส่งผลให้สิ่งทดลองมีค่า (L*) สูงสุด เนื่องจากสี

ของแป้งจากเมล็ดขนุนที่ปรากฏอยู่แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำหรับแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีน ร้อยละ 25, 50 และ 75 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่า (L*) ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่ในส่วนของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณกลีเซอรีน ร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน มีค่า (L*) สูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อตัวอย่างทดสอบมีปริมาณกลีเซอรีนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สิ่งทดลองมีความสว่างมากขึ้น โดยเกิดขึ้นจากน้ำมันที่เป็นส่วนผสมในการผลิตกลีเซอรีนระเหยออกมาจับตัวกันบริเวณผิวของแผ่นพลาสติกชีวภาพ และในส่วนของค่า (a*) และ (b*) พบว่า สูตรทั้งหมดมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างกระบวนการเตรียมแป้งพรีเจลาทิไนซ์ และจากการเติมปริมาณกลีเซอรีนเพื่อเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของกลีเซอรีนมีลักษณะคล้ายกับน้ำตาล [76] เมื่อได้รับความร้อนจึงส่งผลให้แผ่นพลาสติกชีวภาพมีสีออกไปในทิศทางสีแดงและสีเหลือง

(3) การทดสอบแรงดึง (ตามมาตรฐาน ASTM D882)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปทั้ง 5 สูตร ได้ผลการทดลอง (ดังแสดงในตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ปริมาณกลีเซอรีน	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Percentage Strain at Break
ร้อยละ 0	$1.79^{a} \pm 0.09$	$2659.87^{a} \pm 153.48$	$0.57^{d} \pm 0.47$
ร้อยละ 25	$0.59^{b} \pm 0.12$	$58.39^{b} \pm 0.42$	$3.18^{cd} \pm 0.01$
ร้อยละ 50	$0.57^{b} \pm 0.05$	$14.92^{b} \pm 0.77$	$8.72^{bc} \pm 1.23$
ร้อยละ 75	$0.23^{c} \pm 0.09$	$3.03^{b} \pm 0.63$	$13.16^{ab} \pm 2.95$
ร้อยละ 100	$0.11^{c} \pm 0.04$	$0.74^{b} \pm 0.04$	$17.31^{a} \pm 3.99$

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

(4) การทดสอบความแข็ง (ตามมาตรฐาน ASTM D2240)

การทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D 2240 แบบ Shore A ของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปทั้ง 5 สูตร ได้ผลการทดลอง (ดังแสดงในตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

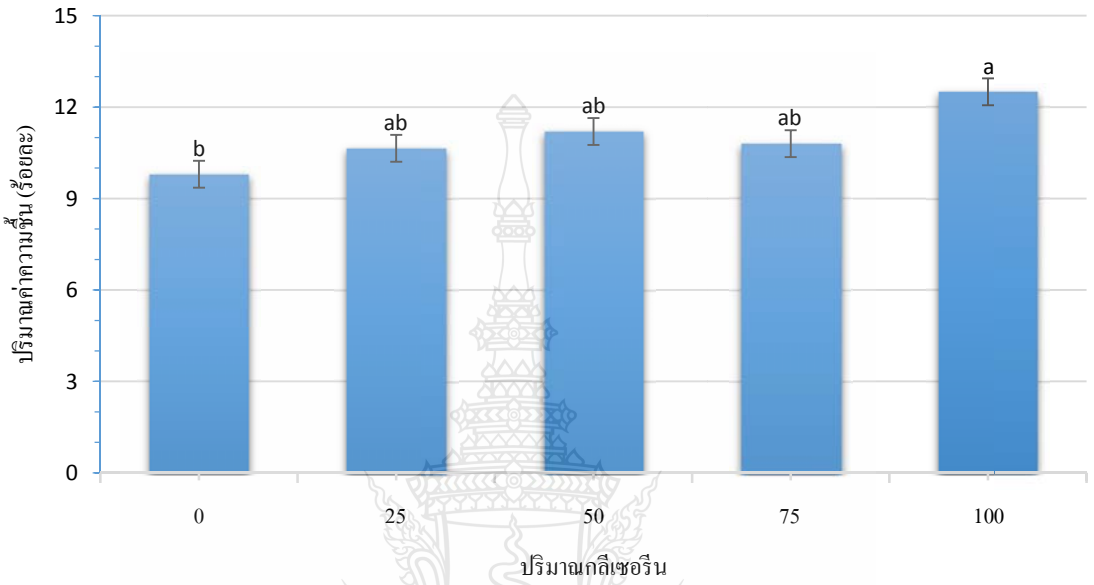
ปริมาณกลีเซอรีน	Shore Hardness Type A
ร้อยละ 0	$81.50^{a} \pm 6.95$
ร้อยละ 25	$73.30^{b} \pm 2.41$
ร้อยละ 50	$55.10^{c} \pm 3.48$
ร้อยละ 75	$32.40^{d} \pm 6.50$
ร้อยละ 100	$7.10^{e} \pm 0.99$

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าความแข็ง ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความยืดหยุ่น ลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรีนสูงขึ้น เนื่องจากกลีเซอรีนเป็นสารจำพวกสารดูดความชื้น (Hydroscopic) [63] จากการที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนจึงสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของแป้งเมล็ดขนุนให้โมเลกุลของแป้งจากเมล็ดขนุนอยู่ห่างกันมากขึ้น ซึ่งเมื่อปริมาณกลีเซอรีนเพิ่มมากขึ้นก็ยิ่งทำให้ชิ้นงานทดสอบนั้นมีความอ่อนนุ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากตารางจะพบว่า สูตรที่มีปริมาณกลีเซอรีนอยู่ร้อยละ 0 มีค่าความแข็ง ค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความยืดหยุ่นอยู่ในระดับสูงที่สุด เนื่องจากไม่มีกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมอยู่ในสูตรนั้น นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรดังกล่าวไม่มีกลีเซอรีนเป็นส่วนผสมก็จะมีความเปราะและแตกหักได้ง่าย ไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการศึกษาทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป และในทางตรงกันข้ามพบว่าค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของสูตรที่มีปริมาณกลีเซอรีนอยู่ร้อยละ 100 มีค่าอยู่ในระดับที่สูงที่สุด โดยจะพบว่าเมื่อเติมปริมาณกลีเซอรีนในระดับที่มากขึ้นจะส่งผลให้มีความความชื้นสูงขึ้น จึงทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เพิ่มขึ้นให้กับชิ้นงานทดสอบ จึงทำให้สูตรที่มีปริมาณกลีเซอรีนมากขึ้นมีค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของชิ้นงานทดสอบมากขึ้นตามลำดับ

2) การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี โดยการวัดค่าความชื้น ตามมาตรฐาน AOAC, 2012 ของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปทั้ง 5 สูตร ได้ผลการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 ผลการศึกษาค่าความชื้นของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ปริมาณกลีเซอรีนที่แปรเป็น 5 ระดับ ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุนเพิ่มมากขึ้น ค่าความชื้นของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งมีสาเหตุมาจากกลีเซอรีนที่ใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์นั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างสายโมเลกุล จึงทำให้กลีเซอรีนมีความเป็น Hydrophilic ดังนั้นเมื่อนำไปผสมกับแป้งจากเมล็ดขนุนในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน มีความเป็น Hydrophilic สูงขึ้น ดังนั้นจึงทำให้มีค่าปริมาณความชื้นสูงขึ้นตามปริมาณการเติมกลีเซอรีนด้วย [63]

4.2 ศึกษาการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

4.2.1 การสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

การสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยการศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโดยใช้พลาสติกชีวภาพจาก

แป้งเมล็ดขนุน ซึ่งจะคำนึงถึงสินค้าที่จะบรรจุในบรรจุภัณฑ์สามารถออกแบบบรรจุภัณฑ์ได้ 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 กล่องบรรจุภัณฑ์รูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ

กล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ ตัวกล่องมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 8.5 x 8.5 x 9 เซนติเมตร น้ำหนัก 139.31 กรัม และฝาปิดกล่องมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 9.5 x 9.5 x 1.5 เซนติเมตร น้ำหนัก 58.84 กรัม (ดังแสดงในรูปที่ 4.3)

รูปที่ 4.3 กล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ

รูปแบบที่ 2 กล่องบรรจุภัณฑ์รูปแบบกล่องเลื่อน

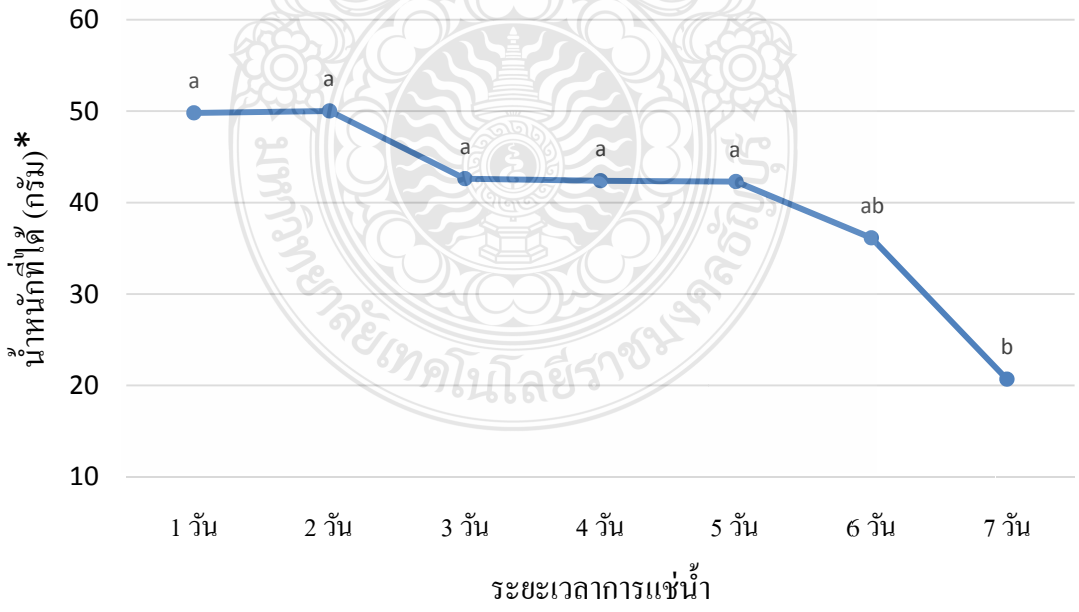
กล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบกล่องเลื่อนตัวกล่องรอบนอกมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 9 x 9 x 9.5 เซนติเมตร น้ำหนัก 170.16 กรัม และตัวกล่องภายในมีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 8.5 x 8.5 x 8 เซนติเมตร น้ำหนัก 142.00 กรัม (ดังแสดงในรูปที่ 4.4)

รูปที่ 4.4 กล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบกล่องเลื่อน

4.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

4.2.2.1 การทดสอบการดูดซับน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D570-88)

การทดสอบการดูดซับน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D570-88 ของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เป็นระยะเวลา 7 วัน ได้ผลการทดลอง (ดังแสดงในรูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ระยะเวลาในการนำชิ้นงานทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน ถึง 6 วัน น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) จากรูปที่ 4.5 พบว่าน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ได้หลังจากแช่น้ำจะลดลงเมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำนานขึ้น ส่วนในวันที่ 7 มีการแตกสลายของชิ้นงานทดสอบมากที่สุด (ดังแสดงในรูปที่ 4.6) ซึ่งจะมีน้ำหนักคงเหลือหลังการทดสอบน้อยที่สุด ทั้งนี้มีผลมาจากพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งโดยตรงจะมีขีดจำกัด ในการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น [77] เมื่อพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่นำมาทดสอบถูกทำลายจากการกระทำของน้ำที่มีการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นทุกวัน จึงส่งผลให้มีชิ้นงานทดสอบนั้นแตกสลายตัวออกและมีน้ำหนักคงเหลือหลังการทดสอบน้อยลงเรื่อยๆ จนกระทั่งย่อยสลายหมดไปในน้ำ ดังนั้นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนนี้ จึงสามารถย่อยสลายในน้ำได้ ไม่เป็นการส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณขยะและลดปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน

รูปที่ 4.6 การแตกสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

4.2.2.2 การทดสอบการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์

ในการทดสอบการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพทั้ง 2 รูปแบบ สามารถแสดงผลได้ (ดังแสดงในตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

การทดสอบ	บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	
	รูปแบบที่ 1	**รูปแบบที่ 2**
น้ำหนักบรรจุภัณฑ์โดยรวม	198.15 กรัม	312.16 กรัม
จำนวนชั้นที่สามารถวางซ้อนได้ ตามลักษณะการเรียงซ้อน		
- เรียงซ้อนขนานกันบนพื้น (Column on floor)	109 ชั้น	72 ชั้น
- เรียงซ้อนขนานกันบนกระบะ (Column on pallet)	97 ชั้น	63 ชั้น
- เรียงซ้อนไขว้กันบนพื้น (Interlocking on floor)	78 ชั้น	51 ชั้น
- เรียงซ้อนไขว้กันบนกระบะ (Interlocking on pallet)	65 ชั้น	43 ชั้น
ความสามารถในการทนต่อแรงกดกล่อง (Box Compression Test หรือ BCT)	54.80	56.39

จากตารางที่ 4.6 เมื่อทดสอบการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ของกล่องบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 2 รูปแบบ (ดังแสดงในรูปที่ 4.7) พบว่า บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 มีน้ำหนักเบากว่าบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 ถึง 114.01 กรัม เนื่องจากรูปแบบในการผลิตบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 ใช้แผ่นพลาสติกในการนำมาประกอบเป็นบรรจุภัณฑ์น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 เมื่อทำการวางซ้อนชั้นของบรรจุภัณฑ์ พบว่า บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 สามารถวางซ้อนชั้นบรรจุภัณฑ์ได้มากกว่าบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 ในทุกลักษณะของการจัดวางเรียงซ้อนชั้น โดยเฉพาะการเรียงซ้อนขนานกันบนพื้น (Column on floor) ซึ่งสามารถจัดเรียงซ้อนชั้นได้สูงถึง 109 ชั้น เนื่องจากบรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักที่เบาส่งผลให้สามารถวางซ้อนชั้นได้สูง จากการศึกษาวิจัยของประจวบ [78] กล่าวว่า บรรจุภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบาจะช่วยให้ประหยัดค่าขนส่ง และการออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้สามารถวางทับซ้อนกันได้ส่งผลให้เกิดการขนส่งเต็มคันรถ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เกิดความสะดวกในการขนย้ายสินค้า ดังนั้นการศึกษาในเรื่องการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์และการวางซ้อนชั้นของบรรจุภัณฑ์เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการเก็บรักษาและการขนย้ายสินค้าที่มีอยู่เป็นจำนวนมากได้อย่างดี

แต่เมื่อศึกษาความสามารถในการทนต่อแรงกดกล่อง (Box Compression Test หรือ BCT) ของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน พบว่า บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 มีค่า BCT สูงกว่าบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 ซึ่งแสดงถึงการมีความสามารถในการทนต่อแรงกดกล่องได้ดี

(ก) (ข)

รูปที่ 4.7 ขนาดบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน (ก) รูปแบบรูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ (ข) รูปแบบกล่องเลื่อน

4.3 การสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

4.3.1 ผลการสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้บริโภค

ผลการสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม คือ กลุ่มประชาชนทั่วไปในเขตจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดปทุมธานี จำนวน 100 คน ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ และรายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน รายงานผลการสำรวจ (ดังแสดงในตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้บริโภค

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
1. เพศ		
- ชาย	39	39.00
- หญิง	61	61.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**

ตารางที่ 4.7 ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้บริโภค (ต่อ)

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
2. เพศ		
- ชาย	39	39.00
- หญิง	61	61.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**
3. อายุ		
- 25 – 34 ปี	32	32.00
- 35 – 44 ปี	23	23.00
- 45 – 54 ปี	21	21.00
- 55 ปีขึ้นไป	24	24.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**
4. การศึกษา		
- ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี	47	47.00
- ระดับปริญญาตรี	38	38.00
- สูงกว่าระดับปริญญาตรี	15	15.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**
5. อาชีพ		
- รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	22	22.00
- พนักงานเอกชน	17	17.00
- แม่บ้าน	16	16.00
- นักเรียน/นักศึกษา	6	6.00
- รับจ้างทั่วไป	25	25.00
- ธุรกิจส่วนตัว	8	8.00
- อื่นๆ (พนักงานมหาวิทยาลัย)	6	6.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**

ตารางที่ 4.7 ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้บริโภค (ต่อ)

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
6. รายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน		
- ต่ำกว่า 10,000 บาท	34	34.00
- 10,001 – 20,000 บาท	36	36.00
- 20,001 – 30,000 บาท	15	15.00
- 30,001 บาทขึ้นไป	15	15.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าในส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 61 คน คิดเป็นร้อยละ 61.00 มีอายุระหว่าง 25 – 34 ปี จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 32.00 มีการศึกษาต่ำกว่าระดับปริญญาตรี จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 47.00 มีอาชีพรับจ้างทั่วไป จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 25.00 และมีรายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ระหว่าง 10,001 – 20,000 บาท จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 36.00

ตอนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา

ข้อมูลเพื่อการพัฒนา เป็นข้อมูลที่ดำเนินการสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา รายงานผลการสำรวจ (ดังแสดงในตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 ผลการสำรวจข้อมูลเพื่อการพัฒนา กลุ่มผู้บริโภค

ข้อมูลเพื่อการพัฒนา	ความถี่	ร้อยละ
1. ท่านเคยซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหรือไม่		
- เคย	92	92.00
- ไม่เคย	8	8.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**

ตารางที่ 4.8 ผลการสำรวจข้อมูลเพื่อการพัฒนา กลุ่มผู้บริโภค (ต่อ)

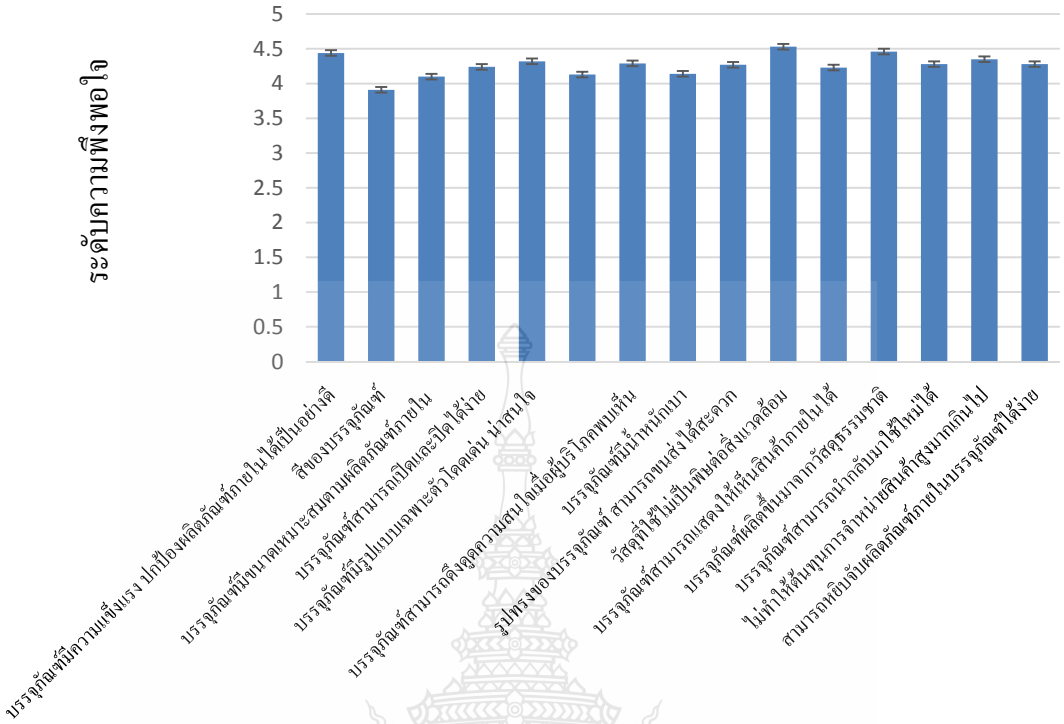
ข้อมูลเพื่อการพัฒนา	ความถี่	ร้อยละ
2. เหตุผลสำคัญที่สุดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา		
- นำไปใช้เอง	55	59.78
- เป็นของขวัญ	8	8.70
- เป็นของที่ระลึก	13	14.13
- เป็นของฝาก	16	17.39
รวมทั้งสิ้น	**92**	**100.00**
3. ท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากสถานที่ใดมากที่สุด		
- แหล่งผลิต	37	40.22
- ศูนย์จัดจำหน่าย	30	32.61
- ห้างสรรพสินค้า	8	8.70
- ตลาดนัด	14	15.22
- อื่นๆ (แหล่งท่องเที่ยว)	3	3.26
รวมทั้งสิ้น	**92**	**100.00**
4. ปัญหาที่ท่านพบในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา		
- สีสันไม่สวยงาม	8	8.70
- รูปแบบไม่ทันสมัย	12	13.04
- ไม่มีบรรจุภัณฑ์เฉพาะ	29	31.52
- ผลิตภัณฑ์แตกหักง่าย	38	41.30
- ไม่มีฉลากบอกที่มาของผลิตภัณฑ์	5	5.43
รวมทั้งสิ้น	**92**	**100.00**
5. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านสนใจหรือไม่		
- สนใจ	86	93.48
- ไม่สนใจ	6	6.52
รวมทั้งสิ้น	**92**	**100.00**

ตารางที่ 4.8 ผลการสำรวจข้อมูลเพื่อการพัฒนา กลุ่มผู้บริโภค (ต่อ)

ข้อมูลเพื่อการพัฒนา	ความถี่	ร้อยละ
6. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติท่านสนใจหรือไม่		
- สนใจ	90	97.83
- ไม่สนใจ	2	2.17
รวมทั้งสิ้น	**92**	**100.00**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าในส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนาผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เคยซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำนวน 92 คน คิดเป็นร้อยละ 92.00 เหตุผลสำคัญที่สุดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเพื่อนำไปใช้เอง จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 59.78 ซึ่งตรงกับงานวิจัยของธเนศ [79] ที่พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาไปใช้เองจำนวน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 42.00 สำหรับผลการตอบแบบสอบถามผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่แหล่งผลิต จำนวน 37 คน คิดเป็นร้อยละ 40.22 ปัญหาที่พบในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่ คือ ผลิตภัณฑ์แตกหักง่าย จำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 41.30 มีความสนใจบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำนวน 86 คน คิดเป็นร้อยละ 93.48 และมีความสนใจบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ จำนวน 90 คน คิดเป็นร้อยละ 97.83 ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ดังแสดงในรูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 ผลการสำรวจความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา กลุ่มผู้บริโภค

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยรวมเฉลี่ย 4.26 $\pm$ 0.71 โดยมีความพึงพอใจด้านวัสดุที่ใช้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 $\pm$ 0.63 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับวิลาส [80] กล่าวว่า ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพได้รับความสนใจมากเนื่องจากผลิตมาจากพืชหรือวัตถุดิบในธรรมชาติ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นอกจากนี้กระแสอนุรักษ์ธรรมชาติและความตระหนักต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหาภาวะโลกร้อนที่ทั่วโลกกำลังเผชิญร่วมกัน ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพกลายเป็นวัสดุแห่งอนาคตที่ได้รับความต้องการมากขึ้น และผู้บริโภคมีความพึงพอใจด้านสีของบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุด คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.91 $\pm$ 0.73 เนื่องจากสีของบรรจุภัณฑ์ก็เป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้บริโภค

ตอนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เป็นข้อมูลที่ใช้เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน รายงานผลการสำรวจ (ดังแสดงในตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 ผลการสำรวจความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน กลุ่มผู้บริโภค

ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	**ความถี่**	**ร้อยละ**
1. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตขึ้นมาเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ท่านยอมรับหรือไม่ เพราะเหตุใด		
- ยอมรับ		
1) ช่วยป้องกันการแตกหัก	47	47.00
2) ช่วยให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก	14	14.00
3) ช่วยลดสภาวะโลกร้อน	36	36.00
4) อื่นๆ (ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม)	1	1.00
- ไม่ยอมรับ		
1) ค่าใช้จ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์สูงขึ้น	2	2.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**
2. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านชอบรูปแบบใดมากที่สุด		
- รูปแบบที่ 1	73	73.00
- รูปแบบที่ 2	27	27.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**

ตารางที่ 4.9 ผลการสำรวจความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน กลุ่มผู้บริโภค (ต่อ)

ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	ความถี่	ร้อยละ
3. ราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ผอบเทียนหอม) พร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม		
- 59 บาท	47	47.00
- 69 บาท	26	26.00
- 79 บาท	22	22.00
- 89 บาท	5	5.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**
4. การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านคิดว่ามีความเหมาะสมหรือไม่		
- เหมาะสม	100	100.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**
5. หากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้เพื่อบรรจุสินค้าจำหน่ายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่		
- ซื้อ	100	100.00
รวมทั้งสิ้น	**100**	**100.00**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าในส่วนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ยอมรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เพราะช่วยป้องกันการแตกหัก จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 47.00 และส่วนใหญ่ชอบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน รูปแบบที่ 1 จำนวน 73 คน คิดเป็นร้อยละ 73.00 ราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ผอบเทียนหอม) พร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่กำหนดให้อยู่ที่ 59 บาท จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 47.00

สำหรับความเหมาะสมในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านให้ความเห็นว่ามีความเหมาะสม โดยให้

เหตุผลหลายประการ การประกอบด้วย ช่วยลดภาวะโลกร้อน ร้อยละ 24.59 เป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ร้อยละ 18.03 บรรจุภัณฑ์ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 18.03 เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ ร้อยละ 16.39 และเหตุผลอื่นๆ ร้อยละ 22.96

หากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้เพื่อบรรจุสินค้าจำหน่ายในท้องตลาดผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านให้ความเห็นว่าจะซื้อสินค้าดังกล่าว โดยให้เหตุผลหลายประการ การประกอบด้วย ช่วยรักษาธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ลดภาวะโลกร้อน ร้อยละ 26.56 เป็นการสนับสนุนการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากธรรมชาติ ร้อยละ 18.75 บรรจุภัณฑ์มีความแปลกใหม่ ร้อยละ 14.06 สินค้ามีความแข็งแรง สะดวกต่อการพกพาและเหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นของฝากได้ดี ร้อยละ 14.06 และเหตุผลอื่นๆ ร้อยละ 26.57

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

การตอบแบบสอบถามปลายเปิด จากผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 100 คน มีผู้ตอบแบบสอบถามให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ประกอบด้วย ควรปรับปรุงเรื่องสีสันและกลิ่นของบรรจุภัณฑ์ ร้อยละ 40.00 อยากให้มีบรรจุภัณฑ์หลากหลายรูปแบบตามผลิตภัณฑ์นั้นๆ ร้อยละ 36.00 ควรพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ และออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานของสินค้าแต่ละชนิด ร้อยละ 12.00 และข้อเสนอแนะอื่นๆ ร้อยละ 12.00

4.3.2 ผลการสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ประกอบการ

ผลการสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ประกอบการที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม คือ กลุ่มผู้ประกอบการด้านการผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำนวน 20 คน ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา ชื่อสถานประกอบการ ลักษณะสถานประกอบการ และรายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน รายงานผลการสำรวจ (ดังแสดงในตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้ประกอบการ

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
1. เพศ		
- ชาย	1	5.00
- หญิง	19	95.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
2. อายุ		
- 25 – 34 ปี	3	15.00
- 35 – 44 ปี	8	40.00
- 45 – 54 ปี	5	25.00
- 55 ปีขึ้นไป	4	20.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
3. การศึกษา		
- ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี	13	65.00
- ระดับปริญญาตรี	6	30.00
- สูงกว่าระดับปริญญาตรี	1	5.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
4. ชื่อสถานประกอบการ		
4.1 ร้านข้าวหอมดินเผา จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.2 ผู้ประกอบการร้านจงประเสริฐ จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 2 ร้าน
4.3 ร้าน ช.รุ่งโรจน์ เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.4 ร้านด่านเกวียนแอนติก จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.5 ร้านบ้านด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.6 ร้านป้าหงส์ จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.7 ร้านสานหวาย จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.8 ผู้ประกอบการลานด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 6 ร้าน
4.9 ผู้ประกอบการร้านวงศ์จำปา จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 3 ร้าน
4.10 ร้านวาสนาดินเผา จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
4.11 ร้านสุวภัทร จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน

ตารางที่ 4.10 ผลการสำรวจข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม กลุ่มผู้ประกอบการ (ต่อ)

ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม	ความถี่	ร้อยละ
4.12 ร้านหัตถศิลป์ จังหวัดนครราชสีมา		จำนวน 1 ร้าน
รวมทั้งสิ้น		**จำนวน 20 ร้าน**
5. ลักษณะสถานประกอบการ		
- แหล่งผลิตเพื่อจัดจำหน่าย	9	45.00
- ศูนย์จำหน่ายและแสดงโชว์สินค้า	4	20.00
- ตัวแทนขาย	7	35.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
6. รายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน		
- ต่ำกว่า 10,000 บาท	4	20.00
- 10,001 – 20,000 บาท	11	55.00
- 20,001 – 30,000 บาท	2	10.00
- 30,001 บาทขึ้นไป	3	15.00
รวมทั้งสิ้น		**100.00**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าในส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 20 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 95.00 มีอายุระหว่าง 35 – 44 ปี จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 40.00 มีการศึกษาต่ำกว่าระดับปริญญาตรี จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 65.00 เป็นตัวแทนผู้ประกอบการจากกลุ่มผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำนวน 12 แห่ง โดยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มผู้ประกอบการบริเวณลานด่านเกวียน จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 6 ร้าน ซึ่งเป็นลานสำหรับจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาให้สำหรับกลุ่มนักท่องเที่ยว โดยลักษณะสถานประกอบการส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งผลิตเพื่อจัดจำหน่าย จำนวน 9 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 45.00 และมีรายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ระหว่าง 10,001 – 20,000 บาท จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 55.00

ตอนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา

ข้อมูลเพื่อการพัฒนา เป็นข้อมูลที่ดำเนินการสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา รายงานผลการสำรวจ (ดังแสดงในตารางที่ 4.11)

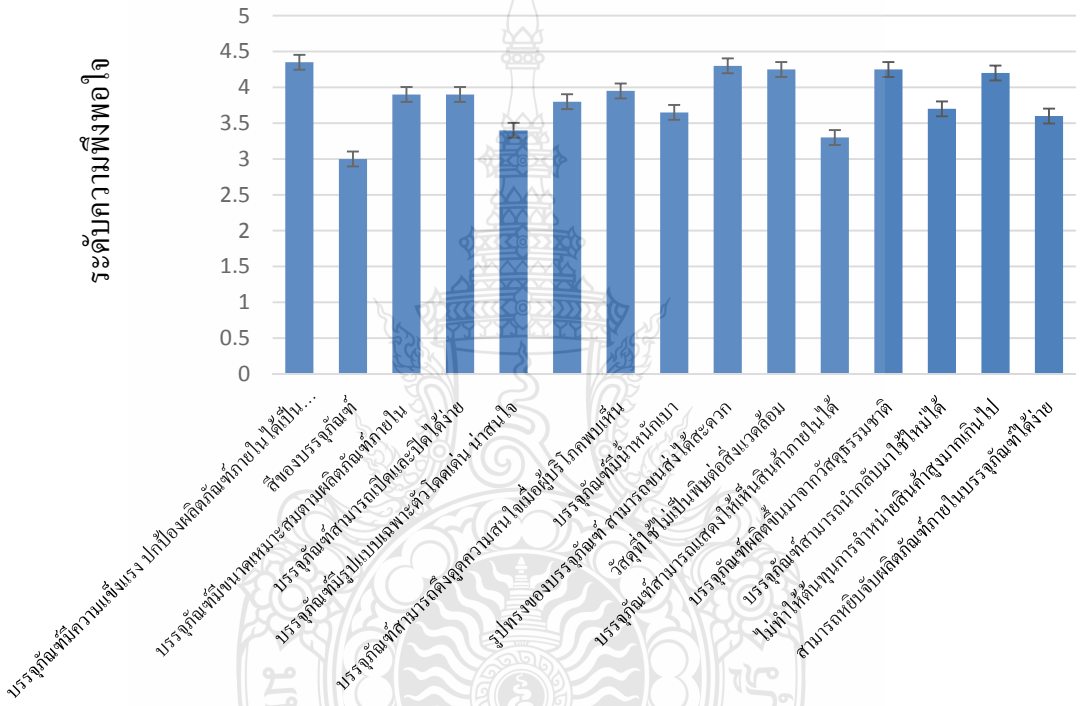
ตารางที่ 4.11 ผลการสำรวจข้อมูลเพื่อการพัฒนา กลุ่มผู้ประกอบการ

ข้อมูลเพื่อการพัฒนา	ความถี่	ร้อยละ
1. ท่านเคยพบปัญหาในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหรือไม่		
- เคย	20	100.00
รวมทั้งสิ้น		**100.00**
2. ปัญหาที่ท่านพบในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา		
- ไม่มีบรรจุภัณฑ์เฉพาะ	5	25.00
- สินค้าแตกหัก	9	45.00
- การใช้กระดาษห่อเครื่องปั้นดินเผา	2	10.00
- ผู้ซื้อมีจำนวนลดน้อยลง	4	20.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
3. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านสนใจหรือไม่		
- สนใจ	18	90.00
- ไม่สนใจ	2	10.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
4. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติท่านสนใจหรือไม่		
- สนใจ	20	100.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าในส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนาผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 20 คน ส่วนใหญ่เคยพบปัญหาในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทุกคน คิดเป็นร้อยละ 100.00 ปัญหาที่พบในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาส่วนใหญ่ คือ

ผลิตภัณฑ์แตกหักง่าย จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 45.00 มีความสนใจบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 90.00 และมีความสนใจบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติทุกคน คิดเป็นร้อยละ 100.00 ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ดังแสดงในรูปที่ 4.9)



รูปที่ 4.9 ผลการสำรวจความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา กลุ่มผู้ประกอบการ

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาโดยรวมเฉลี่ย 3.84 $\pm$ 1.06 โดยมีความพึงพอใจด้านบรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง ปกป้องผลิตภัณฑ์ภายในได้เป็นอย่างดีมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 $\pm$ 0.73 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มผู้ประกอบการมีความพึงพอใจลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องนำมาใช้งานจะต้องมีความแข็งแรง สามารถปกป้องผลิตภัณฑ์ภายในได้เป็นอย่างดี มีรูปทรงสวยงามสามารถขนส่งได้สะดวก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งจากการศึกษาของ

ประจวบ [78] กล่าวว่า การจัดการบรรจุภัณฑ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนของธุรกิจ และเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายสินค้าให้ลูกค้าได้อย่างมีคุณภาพและทันเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้ธุรกิจประสบความสำเร็จสามารถแข่งขันและอยู่รอดได้ในยุคโลกาภิวัตน์ และผู้บริโภคมีความพึงพอใจด้านสีของบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุด คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 $\pm$ 1.21 ซึ่งตรงกันกับกลุ่มผู้บริโภคที่มีความพึงพอใจด้านสีของบรรจุภัณฑ์น้อยที่สุด เนื่องจากสีเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการตัดสินใจเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์ หรือการนำบรรจุภัณฑ์ไปใช้งานต่อไป

ตอนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เป็นข้อมูลที่ใช้เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน รายงานผลการสำรวจ (ดังแสดงในตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 ผลการสำรวจความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน กลุ่มผู้ประกอบการ

ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	**ความถี่**	**ร้อยละ**
1. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตขึ้นมาเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ท่านยอมรับหรือไม่ เพราะเหตุใด		
- ยอมรับ		
1) ช่วยป้องกันการแตกหัก	10	50.00
2) ช่วยให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก	1	5.00
3) ช่วยลดสภาวะโลกร้อน	6	30.00
- ไม่ยอมรับ		
1) ค่าใช้จ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์สูงขึ้น	3	15.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**

ตารางที่ 4.12 ผลการสำรวจความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน กลุ่มผู้ประกอบการ (ต่อ)

ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน	ความถี่	ร้อยละ
2. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านชอบรูปแบบใดมากที่สุด		
- รูปแบบที่ 1	17	85.00
- รูปแบบที่ 2	3	15.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
3. ราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ผอบเทียนหอม) พร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม		
- 59 บาท	8	40.00
- 69 บาท	5	25.00
- 79 บาท	4	20.00
- 89 บาท	3	15.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
4. การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านคิดว่ามีความเหมาะสมหรือไม่		
- เหมาะสม	18	90.00
- ไม่เหมาะสม	2	10.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**
5. หากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้เพื่อบรรจุสินค้าจำหน่ายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่		
- ซื้อ	18	90.00
- ไม่ซื้อ	2	10.00
รวมทั้งสิ้น	**20**	**100.00**

ที่มา : จากการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าในส่วนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ยอมรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน เพราะช่วยป้องกันการแตกหัก จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 และส่วนใหญ่ชอบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน รูปแบบที่ 1 จำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 85.00 และราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ผอบเทียนหอม) พร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสมผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่กำหนดให้อยู่ที่ 59 บาท จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 40.00

สำหรับความเหมาะสมในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 90.00 ให้ความเห็นว่ามีความเหมาะสม โดยให้เหตุผลหลายประการ ประกอบด้วย บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนช่วยป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ ร้อยละ 36.00 สามารถย่อยสลายได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 18.00 ช่วยลดภาวะโลกร้อน ร้อยละ 18.00 และมีความแปลกใหม่ เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ชิ้นเล็กๆ ร้อยละ 18.00 โดยมีจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามอีกร้อยละ 10.00 ให้ความเห็นว่าไม่เหมาะสมในการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยให้เหตุผลว่า วัตถุดิบในการผลิตอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ควรใช้วัตถุดิบอื่นมาผลิตแทน เช่น ผักตบชวา เพราะมีจำนวนมากและไม่ค่อยได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก และให้เหตุผลว่าผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีหลายขนาด

ในการสอบถามความต้องการซื้อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน ซึ่งหากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้เพื่อบรรจุสินค้าจำหน่ายในท้องตลาดผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 90.00 ให้ความเห็นว่าจะซื้อ โดยให้เหตุผลหลายประการ ประกอบด้วย บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมีความสวยงาม ทำให้ผลิตภัณฑ์น่าสนใจ ร้อยละ 40.91 บรรจุภัณฑ์สามารถย่อยสลายได้ ร้อยละ 16.36 ราคาต้นทุนการผลิตไม่สูงมาก ร้อยละ 24.55 และช่วยลดภาวะโลกร้อน ร้อยละ 8.18 โดยยังมีจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามอีกร้อยละ 10.00 ให้ความเห็นว่าไม่ซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่มีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้บรรจุสินค้าเพื่อจำหน่ายในท้องตลาด โดยให้เหตุผลว่า ปัจจุบันนี้มีปัญหาด้านเศรษฐกิจซึ่งกลุ่มผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาต้องพยายามลดค่าใช้จ่าย ลดต้นทุนทางการผลิตสินค้าเพื่อจัดจำหน่ายสินค้า ซึ่งหากเพิ่มบรรจุภัณฑ์เข้าไปจะทำให้ราคาสินค้าแพงตามไปด้วย

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

การตอบแบบสอบถามแบบปลายเปิด จากผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 20 คน มีผู้ตอบแบบสอบถามให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ประกอบด้วย ควรผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่หลากหลายรูปแบบมากกว่านี้ ร้อยละ 50.00 ซึ่งรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่สวยงาม สามารถสร้างความประทับใจให้กับผู้บริโภค ถึงแม้ผู้บริโภคจะยังมิได้สัมผัสกับตัวผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน [81] และให้ข้อเสนอแนะว่าควรนำวัตถุดิบอื่นที่มีอยู่มากในชุมชนและหาได้ง่ายมาผลิตแทน เพราะเมล็ดขนุนอาจจะไม่เพียงพอต่อการผลิต ร้อยละ 25.00 และเนื่องจากสินค้าประเภทเครื่องปั้นดินเผามีความหลากหลายทั้งขนาดและรูปร่าง ดังนั้นการมีบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมและราคาไม่แพงจึงมีความเหมาะสมมาก ร้อยละ 25.00

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัย เรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน สร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน และสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาการผลิตพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน แป้งเมล็ดขนุนที่เตรียมได้มีคุณลักษณะเป็นสีเหลืองนวล เป็นผงละเอียดไม่จับตัวเป็นก้อน มีกลิ่นตามธรรมชาติของเมล็ดขนุน ได้ผลผลิตร้อยละ 21.25 ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด มีค่าความชื้นร้อยละ 5.75 เมื่อนำแป้งจากเมล็ดขนุนที่ได้มาศึกษาปริมาณกลีเซอรีนที่เหมาะสมในการผลิตพลาสติกชีวภาพ โดยแปรปริมาณของกลีเซอรีนที่เหมาะสมเป็น 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งเมล็ดขนุน

การวิเคราะห์ค่าจุดหลอมเหลวด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนทั้ง 5 สูตร มีค่าจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง 90.09 - 155.80 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการอัดขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ทำให้ได้แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่มีขนาด (กว้าง x ยาว) 20 x 20 เซนติเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้ลักษณะปรากฏมีความยืดหยุ่นและสามารถเกาะตัวกันได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรีนลงไปในแป้งเมล็ดขนุน มีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลือง สำหรับค่าความแข็งสิ่งทดลองที่มีปริมาณกลีเซอรีนอยู่ร้อยละ 0 มีค่าความแข็งอยู่ในระดับสูงที่สุด แต่มีความเปราะ แตกหักได้ง่าย ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่สามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความต้านทางแรงดึง ที่มีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณกลีเซอรีนมากขึ้น ตรงข้ามกับค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดและค่าความชื้นของสิ่งทดลองที่ได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณกลีเซอรีนสูงขึ้น โดยจากการทดลองสามรถสรุปได้ว่า พลาสติกชีวภาพที่มีปริมาณกลีเซอรีนร้อยละ 50 มีคุณสมบัติเหมาะที่จะนำไปทำเป็นพลาสติกชีวภาพต่อไป

5.2 สรุปผลการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการศึกษาการสร้างต้นแบบบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 2 รูปแบบ ทำให้ได้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบฝาและกล่องสวมครอบ มีขนาดของกล่องโดยรวม (กว้าง x ยาว x สูง) 8.5 x 8.5 x 9 เซนติเมตร และมีน้ำหนักโดยรวม 198.15 กรัม สำหรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนรูปแบบกล่องเลื่อน มีขนาดกล่องโดยรวม (กว้าง x ยาว x สูง) 9 x 9 x 9.5 เซนติเมตร และมีน้ำหนักโดยรวม 312.16 กรัม เมื่อนำมาแช่น้ำแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนจะเกิดการพองตัวและแตกออกจากกันทำให้น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบลดลงอย่างต่อเนื่องจากการย่อยสลายในทางชีวภาพ สำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 มีความสามารถในการทนต่อแรงกดได้มากที่สุด ส่วนบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 1 สามารถเรียงซ้อนชั้นได้มากกว่าบรรจุภัณฑ์รูปแบบที่ 2 ในทุกลักษณะของการจัดเรียงซ้อน โดยสามารถเรียงซ้อนได้สูงสุดถึง 109 ชั้น

5.3 สรุปผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนทั้ง 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้บริโภคและกลุ่มผู้ประกอบการ (ผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์) ให้ความเห็นว่าปัญหาที่พบในการซื้อและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา คือ สินค้าแตกหักมากที่สุด เนื่องจากไม่มีการใช้บรรจุภัณฑ์เฉพาะเพื่อป้องกันการแตกหักและช่วยอำนวยความสะดวกในการขนส่งสินค้า และผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 2 กลุ่มให้ความสนใจในการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา โดยกลุ่มผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญในการใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและช่วยป้องกันผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างสมบูรณ์แบบที่สุด ทั้งยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ส่วนกลุ่มผู้ประกอบการให้ความสำคัญกับลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการนำมาใช้งานคือบรรจุภัณฑ์นั้นจะต้องมีความแข็งแรง สามารถปกป้องผลิตภัณฑ์ภายในได้เป็นอย่างดี มีรูปทรงสวยงามสามารถขนส่งได้สะดวก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 2 กลุ่ม มีความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผารูปแบบที่ 1 มากที่สุด ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามทั้ง 2 กลุ่ม ประเมินราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาพร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนในราคา 59 บาท โดยส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่าการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุ

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีความเหมาะสม สามารถย่อยสลายได้และช่วยลดสภาวะโลกร้อน พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนควรมีรูปแบบและสีสันที่หลากหลายและควรใช้วัสดุอื่นที่มีในท้องถิ่นมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรพัฒนาด้านสีสันของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

5.4.2 ควรศึกษาการใช้สารพลาสติกไซเซอร์ชนิดอื่นแทนการใช้กลีเซอรีน

5.4.3 ควรออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

[1] หทัยรัตน์ ศรีสุภะ, บทวิทยุ รายการ “จากแฟ้มงานวิจัย มก.” ออกอากาศวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2554 เรื่อง “สร้างมูลค่าจากผลิตขนุน” (ออนไลน์), 2554, สืบค้นได้จาก: http://www2.rdi.ku.ac.th/newweb/?p=2053, (2 มีนาคม 2558).

[2] ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร. สถิติการปลูกไม้ผลไม้ยืนต้น ปี 2538. กรุงเทพมหานคร: กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร, 2542.

[3] “พลาสติกชีวภาพ โอกาสการลงทุนของไทย,” สยามรัฐ, 27 เมษายน 2557, หน้า 2.

[4] พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%A2%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B8%AA%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E, (21 มีนาคม 2558).

[5] คลัสเตอร์เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://cm.nesdb.go.th/pop_summary20.asp?ClusterID=C0027, (15 มิถุนายน 2558).

[6] เครื่องปั้นดินเผา (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: https://sites.google.com/site/bv540404/page1, (6 เมษายน 2558).

[7] โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล, การศึกษาความต้องการในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา, รายงานวิชา สถิติและการวิจัยทางคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2558.

[8] วันทนีย์ จองคำ, อำพล อาวรณ์, มณฑา ไก่หิรัญ และกรภัทร สมแสง. ยุทธศาสตร์นวัตกรรมพลาสติกชีวภาพไทย. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2552.

[9] ฝ่ายชุมชนและผู้ด้อยโอกาส สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. พลาสติกย่อยสลายได้...นวัตกรรมเพื่อโลก (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/39.pdf, (11 ตุลาคม 2558).

[10] ปราโมทย์ ทองเนียม. พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.thaigoodview.com/node/17034, (19 กรกฎาคม 2558).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[11] จินตมัย สุวรรณประทีป. การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547. 269 หน้า.

[12] Walmir Ribeiro Pereira Junior. Dispositivo de ensaio de impacto Charpy. (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfnQIAJ/metalurgia-soldagem?part=6, (14 ตุลาคม 2558)

[13] กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

[14] Leach, H.W., L.D. McCowen, and T.J. Schoch, "Structure of the Starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches," in *Cereal Chem.* Vol. 36, 1959, pp. 534-544

[15] Leach, H.W, "Gelatinization of starch," in *R.L: Academic press, Starch: Chemistry and Technology* Vol. 1, Whistler, E.F. Paschall, J.N. BeMiller, and H.J. Roberts (Eds.). New York. 1965, pp. 289-307.

[16] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร (modified starch) เอกสารมอก. ที่ 1073-2535, กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2535.

[17] กล้าณรงค์ ศรีรอด. เทคโนโลยีของแป้ง. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, 2542.

[18] Bobbio, A.A., El-Dash, Bobbio, P.A. and Rodrrigues, L.R. "Isolation and characterization of the physiochemical properties of the starch of jackfruit seeds (ARTOCARPUS HETEROPHYLLUS)," *in Book: Cereal Chem.* 1978, 55 (4), pp. 505-511.

[19] Oates, C.G. and Powell A.D. "Bioavailability of carbohydrate material stored in tropical fruit seeds," in Book: Food Chem. 1996, 56 (4), pp. 405.

[20] ยุทธนา พิมลศิริผล. "การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนที่สกัดด้วยวิธีปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือก," ปริญญานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.

[21] ขนิษฐา ธานุวงศ์, และประภา ทรงจินดา. "การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งเมล็ดขนุน," ปริญญานิพนธ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[22] นฤชิต แว่วศรีผ่อง. การปลูกขนุน, กรุงเทพมหานคร: บริษัท พิมพ์สวย จำกัด, 2529.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[23] Badenhuizen, N.P. "General Method for Starch Isolation," In *Whistler: Starch: Chemistry and technology. 2nd Ed. Florida: Academic Press, Inc.,* R.L., Bemiller, J.N. and Paschall, E.F. Eds., 1984, Pp. 14-15.

[24] อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. "การสกัดและศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน," สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

[25] Hizukuri, S. "Starch: Analytical aspects," in *Carbohydrate in food*. (Eliason, A., ed.), Marcel Dekker : New York, 1996, pp. 347 – 429.

[26] Tian, S. J., Rickard, J. E. and Blanshard, J. M. V. "Physicochemical properties of sweet potato starch," in *J. Sci. Food Agric.* Vol.57, 1991, pp. 459.

[27] Zobel, H. F. and Stephen, A. M. "Starch: Structure, analysis and application," *In Food polysaccharides and their applications.* Stephan, A. M., ed., Marcel Dekker, New York, 1995, pp. 19-66.

[28] Dutta, H., Paul, S. K., Kalita, D. and Mahanta, C. L. "Effect of acid concentration and treatment time on acid-alcohol modified jackfruit seed starch properties," in *Food Chem.* Vol.128, 2011, pp.284-291.

[29] Rengsutthi, K. and Charoenrein, S. "Physico-chemical properties of jackfruit seed starch *(Artocucarpus hetyerophyllus)* and its application as a thickener and stabilizer," in *chilli sauce. J. Food Sci. Technol.* Vol. 44, 2011, pp. 1309-1313.

[30] สรวุฒิ สันติคุณาภรณ์, "การศึกษาเบื้องต้นของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรผสมพลาสติก," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีวัสดุ พลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2547.

[31] กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

[32] Chollakup, R., Noomhorm, C., Piyachomkwan, K., and Tokiwa, Y., "Biodegradable and Physical Properties of Cassava Starch/Polycaprolactone Blend," Paper presented in *FoSTAT/Propak Asia'98 Food Conference, 3-4 June 1998, Bangkok International Trade and Exhibition Center, Thailand*. 1998

บรรณานุกรม (ต่อ)

[33] เฉลิมชัย ไชยธงรัตน์, “การวิเคราะห์ปัจจัยทางความร้อนที่มีผลต่อวัสดุพอลิคาร์บอเนตผสม” สาขาวิชาวิศวกรราเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2553.

[34] ธีระพงษ์ วงค์ชนะไพบูลย์. เคมีพอลิเมอร์. กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[35] ส่วนประกอบของเครื่อง DSC (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก:
http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2606/differential-scanning-calorimeter-%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%9F%E0%B9%80%E0%B8%9F%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B8%AA%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%99%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C, (19 กันยายน 2558).

[36] Differential Scanning Calorimeters (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก:
http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/thermal-analysis-instrument-menu/item/112-differential-scanning-calorimeters-dsc.html, (10 กันยายน 2558).

[37] ปิยะมาส สิริแสงสว่าง, “การเตรียมพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์.” คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2553.

[38] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การทดสอบ DSC (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=31&id=45 , (21 กันยายน 2558).

[39] เครื่องวัดความชื้น (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/moisture-content-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99, (29 กันยายน 2558).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[40] เครื่องวัดความชื้นด้วยระบบอินฟราเรด (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.beltandbearings.com/product-th-546345-2760841-FD+610+%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%9F%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%94.html, (29 กันยายน 2558).

[41] สยามเคมี, กลีเซอรีน/กลีเซอรอล (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.siamchemi.com/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%99/, (7 มีนาคม 2558).

[42] ปิยนาฏ อินทนกูล, “การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์.” ภาควิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2547.

[43] ยุวเรศ เรืองพานิช และพิเชษฐ ศรีบุญยงค์, “กลีเซอรอล: หนึ่งพลังงานทางเลือกเพื่อการผลิตอาหารสัตว์กระเพาะเดี่ยว,” ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตรกำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, มปป.

[44] สุธารักษ์ บุญโชติ, “การทำกลีเซอรีนที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันพืชให้บริสุทธิ์กระบวนการผลิต,” ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2547

[45] วิภา สุโรจนะเมธากุล, “คุณสมบัติและประโยชน์ของกลีเซอรีน,” *วารสารอาหาร*, ปีที่ 2, หน้า 87-89, เดือน เมษายน-มิถุนายน 2546.

[46] ความรู้พื้นฐานการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://netra.lpru.ac.th/~weta/c1/c1_print.html, (1 เมษายน 2558).

[47] การออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.mew6.com/composer/package/package_8.php, (5 เมษายน 2558).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[48] ก่อเกียรติ วิริยะกิจพัฒนา และเดชา อัศวสิทธิถาวร. การบรรจุภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์วังอักษร. 2546

[49] คำนาย อภิปรัชญาสกุล. สินค้าและบรรจุภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร : บริษัท โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด, 2557

[50] สถาบันพลาสติก, "ไบโอพลาสติก...โพลีเมอร์แห่งอนาคต," in *Plastics Foresight The World of Plastic Magazine.* Vol. 08-02, July – August 2013

[51] อภิวัตร โง้วธนะวัฒน์, "บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ," in *Plastic Bi-Weekly News*. กลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติก, Vol. 70, April 15, 2013.

[52] พีระศักดิ์ กิติศรีวรพันธุ์, "การศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา จังหวัดอุบลราชธานี ในโครงการ หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์." คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, 2550.

[53] สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมชุมชน. การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์เซรามิคและเครื่องปั้นดินเผา (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.dip.go.th/Portals/0/Nusa/%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%88/%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%93%E0%B8%91%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B8%84%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%B1%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%9C%E0%B8%B2.pdf, (30 กันยายน 2558).

[54] ธเนศ ภิรมย์การ. "ศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เกาะเกร็ด," *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, มปป.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[55] การทดสอบวัสดุและบรรจุภัณฑ์ ตอนที่ 1 หมวดหมู่: หนังสือบรรจุภัณฑ์อาหาร [บรรจุภัณฑ์อาหาร] (ออนไลน์), 2554, สืบค้นได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/news_and_articles/article/0131/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%AA%E0%B8%94%E0%B8%B8%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%93%E0%B8%91%E0%B9%8C-%E0%B8%95%E0%B8%AD% E0%B8%99%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0% B9%88-1, (2 มิถุนายน 2558).

[56] อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. “การสกัดและศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน”. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

[57] อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. “สมบัติของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร”. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

[58] ดารารัตน์ นาคลอ, อาภัสรา แสงนาค และกุลยา สิ้มรุ่งเรืองรัตน์. “การปรับปรุงคุณภาพของแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. ปีที่ 16, ฉบับที่ 1, หน้า 12-21, 2554.

[59] รัฐภูมิ สันตยานนท์, “การปรับปรุงสมบัติด้านการทนความชื้นของแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ,” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีวัสดุ พลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2544.

[60] จันทิมา ดีประเสริฐกุล, “การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดและยางธรรมชาติ.” สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2555.

[61] จิตติมณฑน์ วงศ์ษา และอิทธิพงษ์ วิบูลย์เลิศ, “ผลของกรดอินทรีย์และอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดสีน้ำตาลในเมล็ดขนุนลอกเปลือก.” *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. ปีที่ 43, ฉบับที่ 3 (พิเศษ), 2555, หน้า 536-539

[62] จิรนาถ บุญคง. “การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชฟอสเฟตจากเมล็ดขนุน.” *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*. ปีที่ 7, ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2554 – พฤษภาคม, 2555.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[63] นัฐพร สุรพัฒน์, “อิทธิพลของ Clay ที่มีต่อสมบัติและความว่องไวต่อความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพมหานคร, 2549.

[64] ชวนันท์ ชาติเจริญรัตน์ และคณะ, “พลาสติกชีวภาพรักษ์โลก (Bioplastics save the world).” โรงเรียนสงวนหญิง, สุพรรณบุรี, 2557.

[65] พงษ์ธร แซ่อุย และชาคริต สิริสิงห์, “ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ,” ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, พิมพ์ครั้งที่ 1, มิถุนายน 2550.

[66] การใช้งานเครื่อง Thermoplastics Compression Molding. ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2557

[67] ภัคนัย ทองทิอัมพร, การมองเห็นและการวัดสี (ออนไลน์), 2550, สืบค้นได้จาก: http://www.rmutphysics.com/charud/pdf-learning/pdf1/color.pdf, (15 พฤศจิกายน 2558).

[68] ความรู้พื้นฐานการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://netra.lpru.ac.th/~weta/c1/c1_print.html, (12 มิถุนายน 2559)

[69] บริษัท เจอาร์ พรินติ้ง แอนด์ คอมพิวท์ จำกัด. กล่องกระดาษแข็ง กล่องครีม กล่องฟอยล์ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.rongpimjr.net/13625507/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%94%E0%B8%B2%E0%B8%A9%E0%B9%81%E0%B8%82%E0%B9%87%E0%B8%87-%E0%B8%81%E0% B8%A5%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A1-%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87 %E0%B8%9F%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B8%A5%E0%B9%8C, (12 ตุลาคม 2558).

[70] ภูริทัต มีสมบัติ, การพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์และกราฟิก สำหรับบรรจุภัณฑ์ ร้านทีน เบเกอรี่ ส.3 (ออนไลน์), 2556, สืบค้นได้จาก: http://artd3302-puritud.blogspot.com/2013/09/3-result.html, (12 ตุลาคม 2558).

[71] ชัยภัทร สิริพลวัฒน์, การพัฒนาสูตรการคำนวณค่าความแข็งแรงกล่องกระดาษลูกฟูก (BCT), บริษัท เอสซีจี เปเปอร์ จำกัด (มหาชน), มปป.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[72] Toki Company Limited, ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.tokicompany.com/Corrugated_Board3.html, (27 เมษายน 2559).

[73] ปาริฉัตร พฤกษ์วิวัฒนากุล, "การผลิตสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากสตาร์ชชนิดต่างๆ และการตรวจสอบคุณสมบัติพรีไบโอติก," วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2556.

[74] Gunaratne,A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr Polym. 49: 425-437.

[75] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, Gelatinzation/การเจลาติไนซ์, ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%88%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B9%84%E0%B8%99%E0%B8%8B%E0%B9%8C, (9 พฤษภาคม 2559)

[76] นัสวัล บุญวงศ์, "การศึกษาการย่อยได้ของกลีเซอรีนดิบและผลของกลีเซอรีนดิบระดับต่างๆ ต่อสมรรถนะการผลิตและลักษณะซากในไก่กระทง," วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสัตวศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2557.

[77] พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) (ออนไลน์), 2558, สืบค้นได้จาก: http://region1.prd.go.th/ewt_news.php?nid=33274, (6 มิถุนายน 2559).

[78] ประจวบ เพิ่มสุวรรณ และพัฒน์ พิสิษฐเกษม, จะจัดการบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์อย่างไรให้มีประสิทธิภาพ, วารสารนักบริหาร ปีที่ 32 ฉบับที่ 1 มกราคม – มีนาคม 2555 มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

[79] ธเนศ ภิรมย์การ, "ศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาเกาะเกร็ด," คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[80] วิลาส รัตนานุกูล, พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) (ออนไลน์), 2554, สืบค้นได้จาก: http://biology.ipst.ac.th/?p=927, (12 มิถุนายน 2559).

[81] หลักการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ออนไลน์), สืบค้นได้จาก: http://netra.lpru.ac.th/~weta/m4/m4_print.html, (12 มิถุนายน 2559).

[82] กลุ่มบริษัทอินเตอร์, คำนวณ BCT (ออนไลน์), สืบค้นจาก: http://inter-group.co.th/calculation/, (12 มิถุนายน 2559).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

เรื่อง ความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามชุดนี้เป็นการสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อ **บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา** เพื่อใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านกรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และข้อมูลนี้ใช้ประกอบการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้เท่านั้น

คำชี้แจง

แบบสอบถามประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา

ส่วนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินการวิจัย

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) 25 – 34 ปี ( ) 35 – 44 ปี

( ) 45 – 54 ปี ( ) 55 ปีขึ้นไป

3. การศึกษา

( ) ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี ( ) ระดับปริญญาตรี

( ) สูงกว่าระดับปริญญาตรี

4. อาชีพ

( ) รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ ( ) พนักงานเอกชน

( ) แม่บ้าน ( ) นักเรียน/นักศึกษา

( ) รับจ้างทั่วไป ( ) ธุรกิจส่วนตัว

( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

5. รายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน

( ) ต่ำกว่า 10,000 บาท ( ) 10,001 – 20,000 บาท

( ) 20,001 – 30,000 บาท ( ) 30,001 บาทขึ้นไป

<u>ส่วนที่ 2</u> ข้อมูลเพื่อการพัฒนา

1. ท่านเคยซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย (ข้ามไปตอบข้อ 7)

2. เหตุผลสำคัญที่สุดในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

( ) นำไปใช้เอง ( ) เป็นของขวัญ

( ) เป็นของที่ระลึก ( ) เป็นของฝาก

( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

3. ท่านเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาจากสถานที่ใดบ่อยที่สุด

( ) แหล่งผลิต ( ) ศูนย์จัดจำหน่าย

( ) ห้างสรรพสินค้า ( ) ตลาดนัด

( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

4. ปัญหาที่ท่านพบในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

( ) สีสันไม่สวยงาม ( ) รูปแบบไม่ทันสมัย

( ) ไม่มีบรรจุภัณฑ์เฉพาะ ( ) ผลิตภัณฑ์แตกหักง่าย

( ) ไม่มีฉลากบอกที่มาของผลิตภัณฑ์ ( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

5. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านสนใจหรือไม่

( ) สนใจ ( ) ไม่สนใจ

6. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติท่านสนใจหรือไม่

( ) สนใจ ( ) ไม่สนใจ

7. ระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

ระดับความพึงพอใจ : 5 = ระดับความพึงพอใจมากที่สุด 4 = ระดับความพึงพอใจมาก

3 = ระดับความพึงพอใจปานกลาง 2 = ระดับความพึงพอใจน้อย

1 = ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

รายการประเมิน	**ระดับความสำคัญ**				
	5	**4**	**3**	**2**	**1**
1. บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง ปกป้องผลิตภัณฑ์ภายในได้เป็นอย่างดี					
2. สีของบรรจุภัณฑ์					
3. บรรจุภัณฑ์มีขนาดเหมาะสมตามผลิตภัณฑ์ภายใน					
4. บรรจุภัณฑ์สามารถเปิดและปิดได้ง่าย					
5. บรรจุภัณฑ์มีรูปแบบเฉพาะตัวโดดเด่น น่าสนใจ					

รายการประเมิน	ระดับความสำคัญ				
	5	4	3	2	1
6. บรรจุภัณฑ์บอกรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ภายในได้อย่างครบถ้วน ขนาดตัวอักษรสามารถมองเห็นได้ชัดเจน					
7. บรรจุภัณฑ์สามารถดึงดูดความสนใจเมื่อผู้บริโภคพบเห็น					
8. บรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักเบา					
9. รูปทรงของบรรจุภัณฑ์ สามารถขนส่งได้สะดวก					
10. วัสดุที่ใช้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม					
11. บรรจุภัณฑ์สามารถแสดงให้เห็นสินค้าภายในได้					
12. บรรจุภัณฑ์ผลิตขึ้นมาจากวัสดุธรรมชาติ					
13. บรรจุภัณฑ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้					
14. ไม่ทำให้ต้นทุนการจำหน่ายสินค้าสูงมากเกินไป					
15. สามารถหยิบจับผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ได้ง่าย					

<u>ส่วนที่ 3</u> ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

คำจำกัดความ: บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งเมล็ดขนุนเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตบรรจุภัณฑ์ และมีส่วนประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษต่อสิงแวดล้อม ซึ่งบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้จะสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลิตขึ้นมาสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เพื่อป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมการขายและบอกเล่าเรื่องราวให้กับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาอีกด้วย

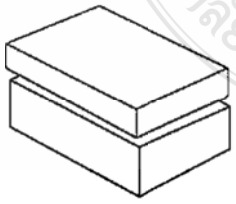
1. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตขึ้นมาเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ดังภาพ) ท่านยอมรับหรือไม่ เพราะเหตุใด

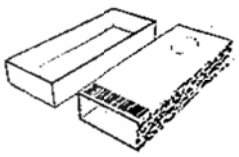
( ) ยอมรับ เพราะ
- ( ) ช่วยป้องกันการแตกหัก
- ( ) ช่วยให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก
- ( ) ช่วยลดสภาวะโลกร้อน
- ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

( ) ไม่ยอมรับ เพราะ
- ( ) ค่าใช้จ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์สูงขึ้น
- ( ) ไม่เหมาะสมในการใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
- ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

2. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านชอบรูปแบบใดมากที่สุด

( ) รูปแบบที่ 1 ( ) รูปแบบที่ 2





3. ราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ผอบเทียนหอม) พร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม

( ) 59 บาท ( ) 69 บาท

( ) 79 บาท ( ) 89 บาท

4. การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านคิดว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เพราะเหตุใด

( ) เหมาะสม เพราะ.....

.....

.....

( ) ไม่เหมาะสม เพราะ.....

.....

.....

5. หากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้เพื่อบรรจุสินค้าจำหน่ายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่ เพราะเหตุใด

( ) ซื้อ เพราะ.....

.....

.....

( ) ไม่ซื้อ เพราะ.....

.....

.....

<u>ส่วนที่ 4</u> ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

นางสาวโสภิดา วิศาลศักดิ์กุล

นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

แบบสอบถามผู้ประกอบการ

เรื่อง ความพึงพอใจที่มีต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

<u>เรียน</u> ผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามชุดนี้เป็นการสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อ **บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา** เพื่อใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์หลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นจึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่านกรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูลทั้งหมดที่ท่านตอบ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และข้อมูลนี้ใช้ประกอบการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้เท่านั้น

<u>คำชี้แจง</u>

แบบสอบถามประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเพื่อการพัฒนา

ส่วนที่ 3 ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

ขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินการวิจัย

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม

1.เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) 25 – 34 ปี ( ) 35 – 44 ปี

( ) 45 – 54 ปี ( ) 55 ปีขึ้นไป

3. การศึกษา

( ) ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี ( ) ระดับปริญญาตรี

( ) สูงกว่าระดับปริญญาตรี

4. ชื่อสถานประกอบการ.....

จังหวัด.....

5. ลักษณะสถานประกอบการ

( ) แหล่งผลิตเพื่อจัดจำหน่าย ( ) ศูนย์จำหน่ายและแสดงโชว์สินค้า

( ) ตัวแทนขาย ( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

6. รายได้โดยเฉลี่ยต่อเดือน

( ) ต่ำกว่า 10,000 บาท ( ) 10,001 – 20,000 บาท

( ) 20,001 – 30,000 บาท ( ) 30,001 บาทขึ้นไป

<u>ส่วนที่ 2</u> ข้อมูลเพื่อการพัฒนา

1. ท่านเคยพบปัญหาในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาหรือไม่

( ) เคย ( ) ไม่เคย (ข้ามไปตอบข้อ 5)

2. ปัญหาที่ท่านพบในการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

( ) ไม่มีบรรจุภัณฑ์เฉพาะ ( ) สินค้าแตกหัก

( ) ความยากลำบากในการขนส่งสินค้า ( ) การใช้กระดาษห่อเครื่องปั้นดินเผา

( ) ผู้ซื้อมีจำนวนลดน้อยลง ( ) อื่น ๆโปรดระบุ.....

3. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์เฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านสนใจหรือไม่

( ) สนใจ ( ) ไม่สนใจ

4. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ทำมาจากวัตถุดิบชีวภาพสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติท่านสนใจหรือไม่

( ) สนใจ ( ) ไม่สนใจ

5. ระดับความพึงพอใจบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

คำแนะนำ : กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

ระดับความพึงพอใจ : 5 = ระดับความพึงพอใจมากที่สุด 4 = ระดับความพึงพอใจมาก

3 = ระดับความพึงพอใจปานกลาง 2 = ระดับความพึงพอใจน้อย

1 = ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความสำคัญ				
	5	4	3	2	1
1. บรรจุภัณฑ์มีความแข็งแรง ปกป้องผลิตภัณฑ์ภายในได้เป็นอย่างดี					
2. สีของบรรจุภัณฑ์					
3. บรรจุภัณฑ์มีขนาดเหมาะสมตามผลิตภัณฑ์ภายใน					
4. บรรจุภัณฑ์สามารถเปิดและปิดได้ง่าย					
5. บรรจุภัณฑ์มีรูปแบบเฉพาะตัวโดดเด่น น่าสนใจ					
6. บรรจุภัณฑ์บอกรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ภายในได้อย่างครบถ้วน ขนาดตัวอักษรสามารถมองเห็นได้ชัดเจน					
7. บรรจุภัณฑ์สามารถดึงดูดความสนใจเมื่อผู้บริโภคพบเห็น					
8. บรรจุภัณฑ์มีน้ำหนักเบา					
9. รูปทรงของบรรจุภัณฑ์ สามารถขนส่งได้สะดวก					
10. วัสดุที่ใช้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม					
11. บรรจุภัณฑ์สามารถแสดงให้เห็นสินค้าภายในได้					
12. บรรจุภัณฑ์ผลิตขึ้นมาจากวัสดุธรรมชาติ					
13. บรรจุภัณฑ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้					
14. ไม่ทำให้ต้นทุนการจำหน่ายสินค้าสูงมากเกินไป					
15. สามารถหยิบจับผลิตภัณฑ์ภายในบรรจุภัณฑ์ได้ง่าย					

<u>ส่วนที่ 3</u> ความเหมาะสมของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

คำจำกัดความ: บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งเมล็ดขนุนเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตบรรจุภัณฑ์ และมีส่วนประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษต่อสิงแวดล้อม ซึ่งบรรจุภัณฑ์ชนิดนี้จะสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติ ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลิตขึ้นมาสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เพื่อป้องกันการแตกหักของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นการช่วยส่งเสริมการขายและบอกเล่าเรื่องราวให้กับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาอีกด้วย

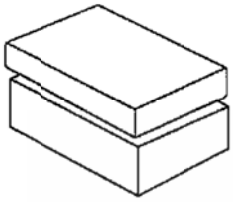
1. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่ผลิตขึ้นมาเพื่อบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ดังภาพ) ท่านยอมรับหรือไม่ เพราะเหตุใด

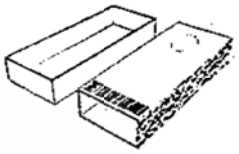
( ) ยอมรับ เพราะ
- ( ) ช่วยป้องกันการแตกหัก
- ( ) ช่วยให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก
- ( ) ช่วยลดสภาวะโลกร้อน
- ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

( ) ไม่ยอมรับ เพราะ
- ( ) ค่าใช้จ่ายในการซื้อผลิตภัณฑ์สูงขึ้น
- ( ) ไม่เหมาะสมในการใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา
- ( ) อื่น ๆ โปรดระบุ.....

2. ถ้ามีบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านชอบรูปแบบใดมากที่สุด

( ) รูปแบบที่ 1 ( ) รูปแบบที่ 2





3. ราคาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา (ผอบเทียนหอม) พร้อมบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนที่เหมาะสม

( ) 59 บาท ( ) 69 บาท

( ) 79 บาท ( ) 89 บาท

4. การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาท่านคิดว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เพราะเหตุใด

( ) เหมาะสม เพราะ.....

.....

.....

( ) ไม่เหมาะสม เพราะ.....

.....

.....

5. หากผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผามีการนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนมาใช้เพื่อบรรจุสินค้าจำหน่ายในท้องตลาดท่านจะซื้อหรือไม่ เพราะเหตุใด

( ) ซื้อ เพราะ.....

.....

.....

( ) ไม่ซื้อ เพราะ.....

.....

.....

<u>ส่วนที่ 4</u> ข้อเสนอแนะ

ขอขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

นางสาวโสภิดา วิศาลศักดิ์กุล

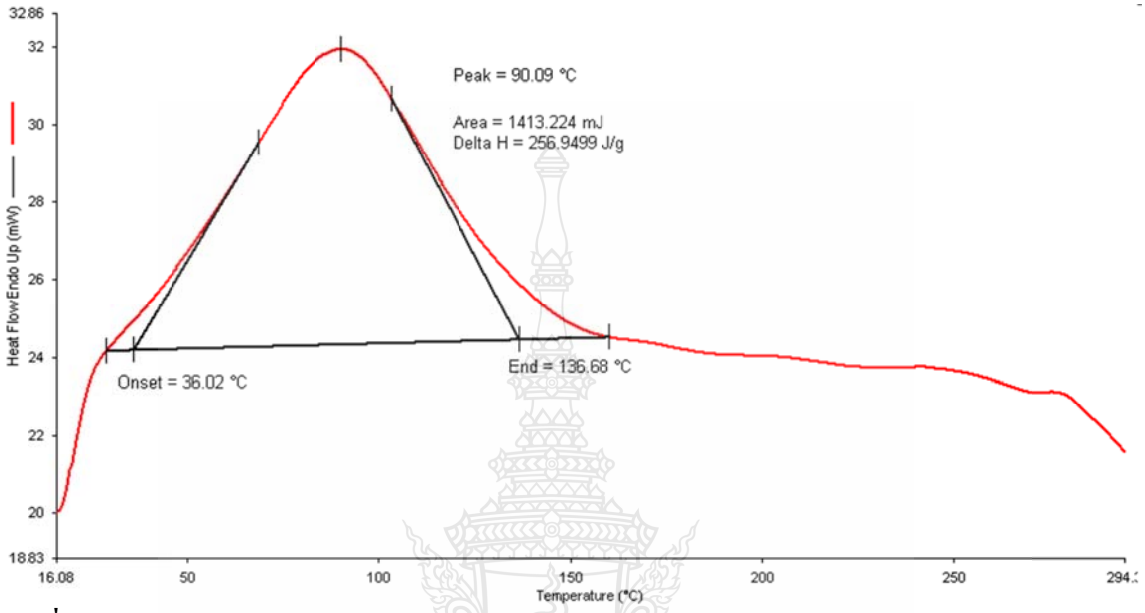
นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

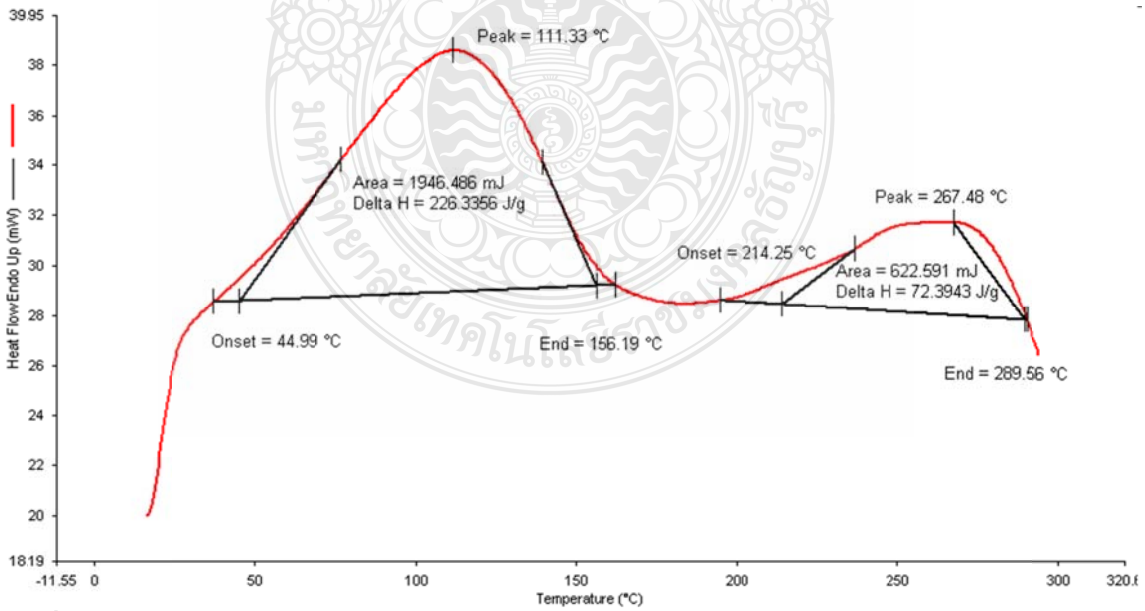
ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

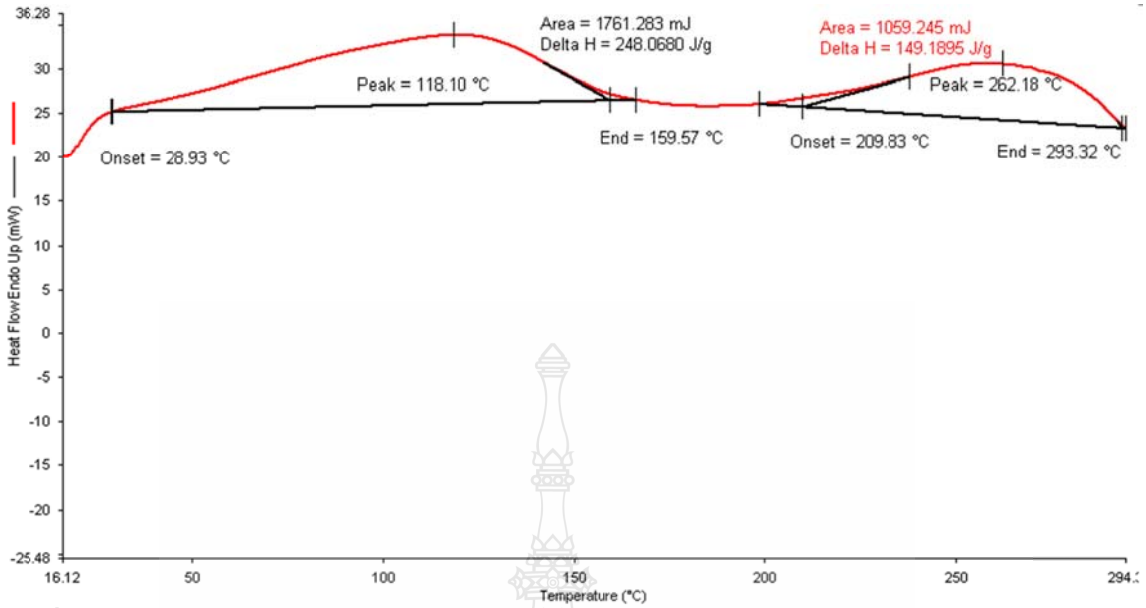
ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนในปริมาณที่แตกต่างกัน



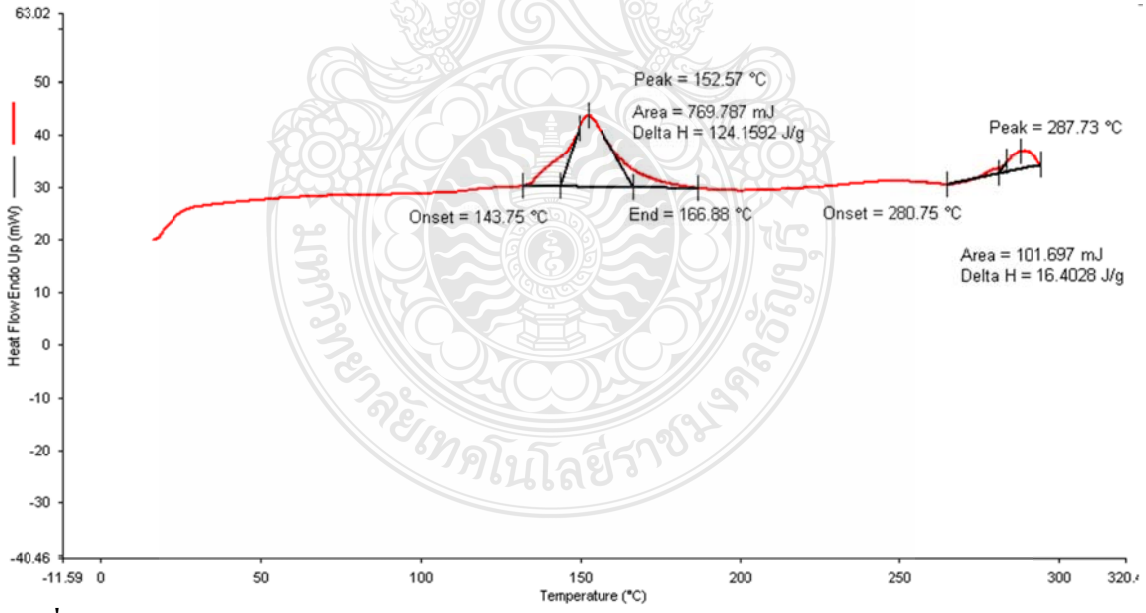
รูปที่ ข.1 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 0 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน



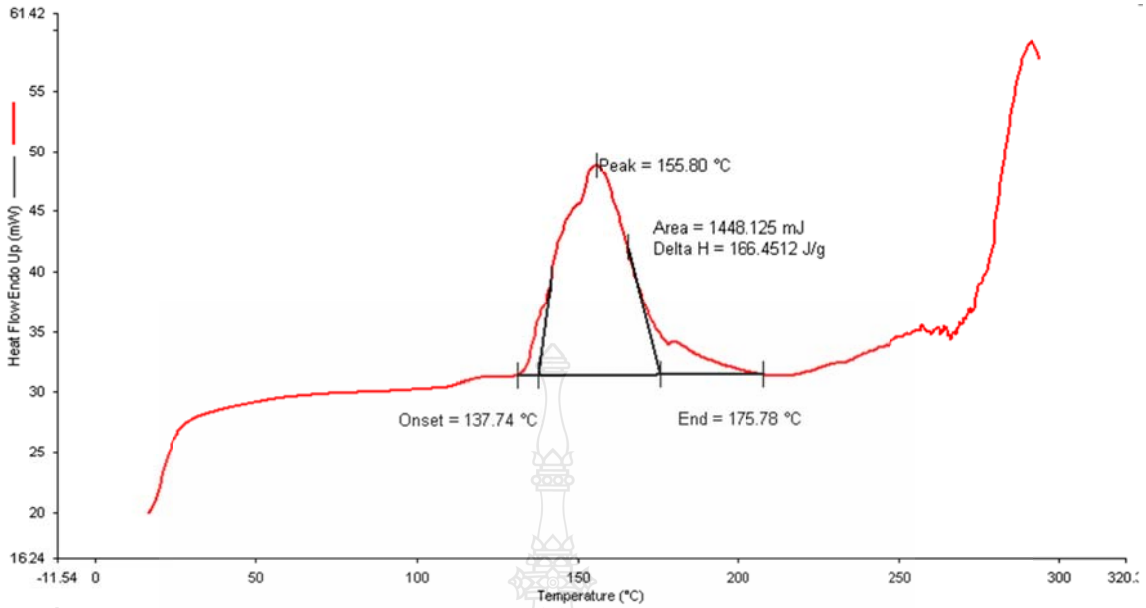
รูปที่ ข.2 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีนร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน



รูปที่ ข.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน ร้อยละ 50 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน

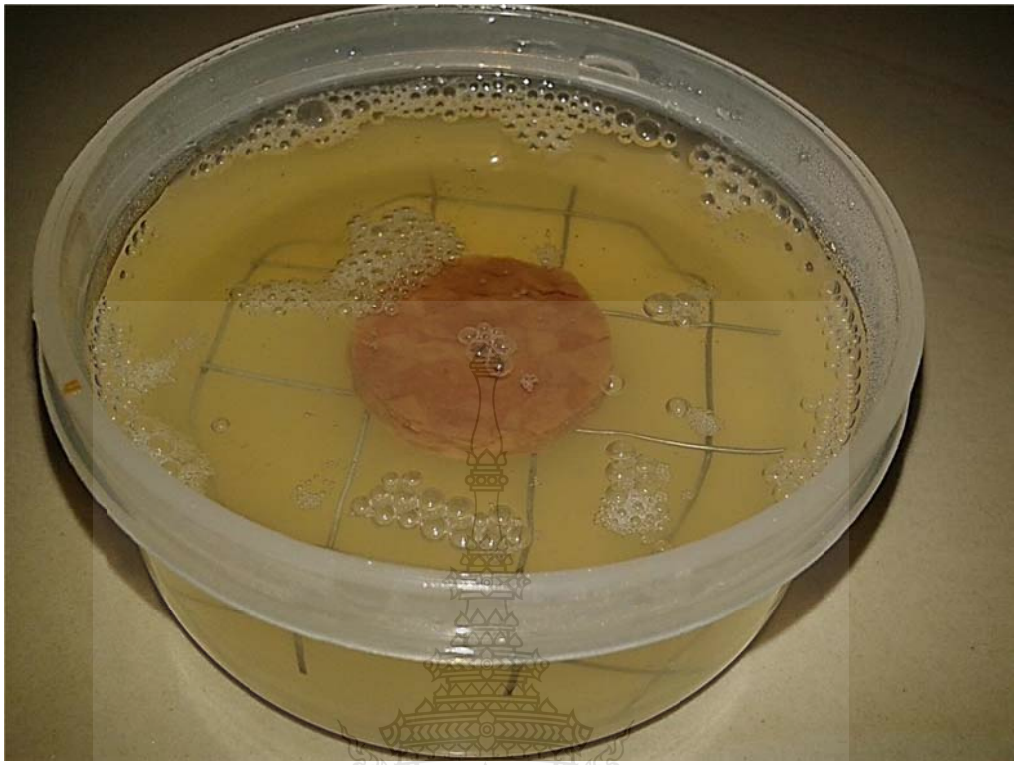


รูปที่ ข.4 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน ร้อยละ 75 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน



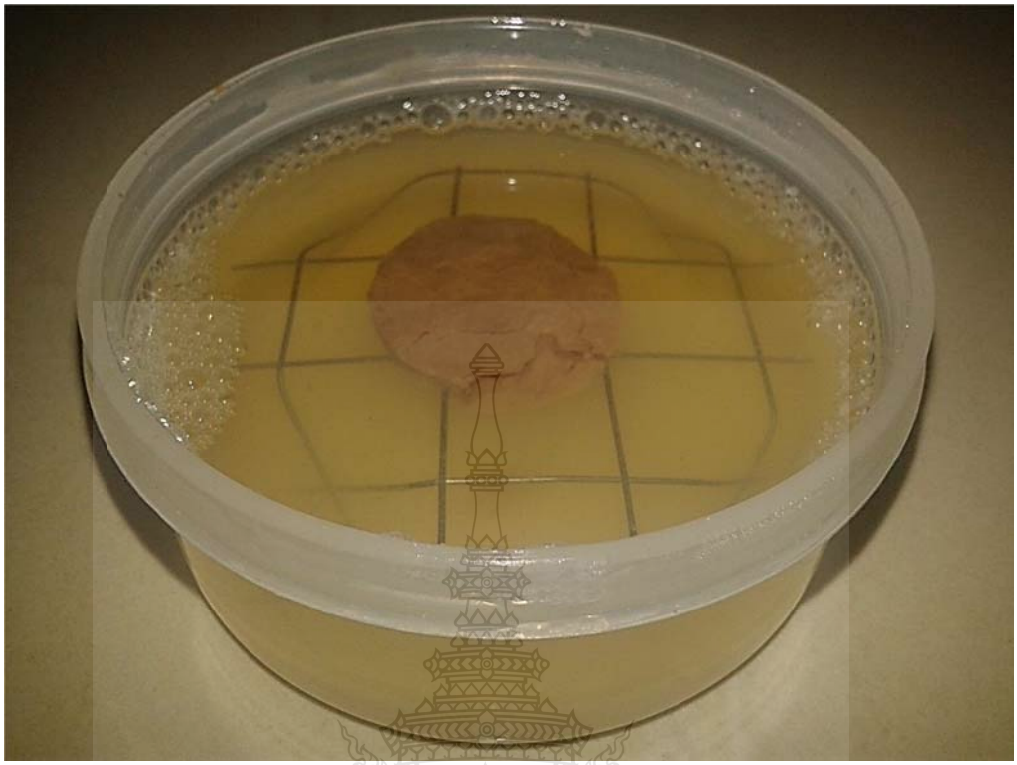
รูปที่ ข.5 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของผสมระหว่างแป้งเมล็ดขนุนกับกลีเซอรีน ร้อยละ 100 ของปริมาณแป้งเมล็ดขนุน

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบการดูดซับน้ำ



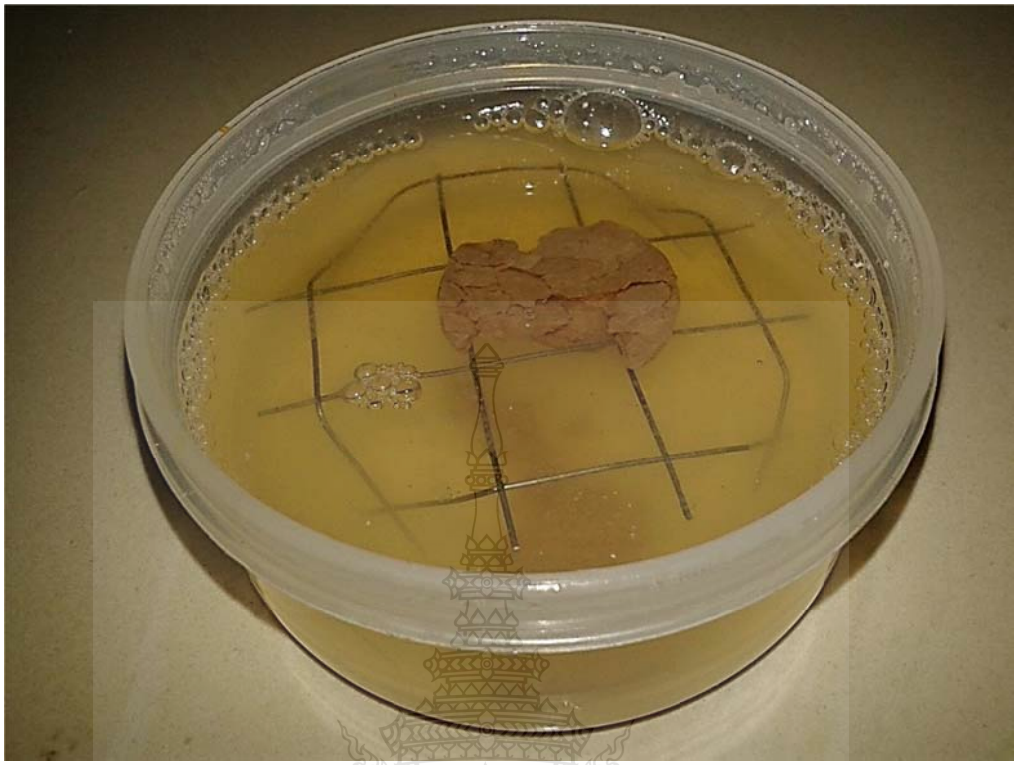
รูปที่ ค.1 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 1

รูปที่ ค.2 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 2



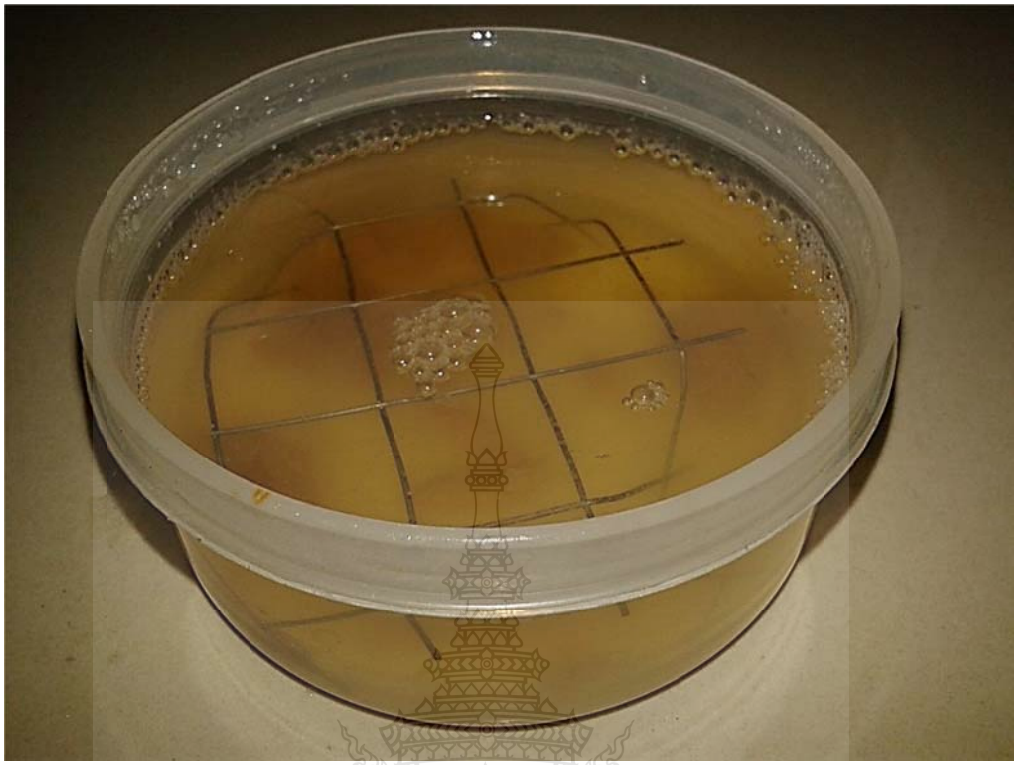
รูปที่ ค.3 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 3

รูปที่ ค.4 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 4



รูปที่ ค.5 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 5

รูปที่ ค.6 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 6



รูปที่ ค.7 ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุนวันที่ 7

ภาคผนวก ง
รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันวิจัยเคมี เดิม)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) ธัญบุรี ปทุมธานี 12110
โทรศัพท์ + 66 (0) 2549 3534,40 โทรสาร + 66 (0) 2549 3522

รายงานผลการวิเคราะห์ทดสอบ

เลขที่งาน 58/37 (รหัสงาน AS 58/14) **สาขา วิทยาศาสตร์ประยุกต์**

1. **ชื่อลูกค้า** น.ส.โสภิดา วิศาลศักดิ์กุล
   ที่อยู่ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
   โทรศัพท์ 02 - 5493162 **โทรสาร** -
2. **รายละเอียดลักษณะ สภาพ และการบ่งชี้ ของตัวอย่างที่ทดสอบ**
   แป้ง
3. **รับตัวอย่าง** วันที่ 29 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2558
4. **ทำการทดสอบ** วันที่ 19 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2558
5. **ผลการวิเคราะห์ทดสอบ**

รายการที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์ (°C)	วิธีที่ใช้	หมายเหตุ
JS1-G 0.00	36.02 – 136.68	Scan 20 – 300 °C / rate 20 °C/min	
JS1-G 0.25	44.99 – 156.19/ 214.25 – 289.56		
JS1-G 0.50	28.93 – 159.57/ 209.83 – 293.32		
JS1-G 0.75	143.75 – 166.88		
JS1-G 1.00	137.74 – 175.78		
PLA 2003D	141.76 – 154.37		

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุพัฒน์ เผ่าพงษ์ไทย)
หัวหน้าศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริแข พงษ์สวัสดิ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทดสอบเท่านั้น
2. รายงานผลการทดสอบ ต้องไม่ถูกสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งฉบับโดยได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ
3. ช่องหมายเหตุ ใช้ระบุ มาตรฐาน ข้อกำหนด detection limit หรือข้อมูลอื่นๆ ตามที่ลูกค้าร้องขอ
4. * เป็นรายการวิเคราะห์ที่ไม่รับรองโดย สมอ. และ/หรือ สรอ.
5. N.D. หมายถึง ตรวจไม่พบ , LOD หมายถึง ขีดจำกัดวิธีการวิเคราะห์

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rungsit – Nakornnayok (km.13) Rd., Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND.
Tel. + 66 (0) 2549 3534, 40 Fax. + 66 (0) 2549 3522

ภาคผนวก จ
แบบตอบรับการตีพิมพ์เผยแพร่

ที่ ศธ ๖๒๑๔.๑/วารสาร ว.๑๔๔

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

๖ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๕๙

เรื่อง แจ้งตอบรับบทความเพื่อออกเผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา

เรียน คุณโสภิดา วิศาลศักดิ์กุล คุณอรวัลภ์ อุปถัมภานนท์ คุณกุลวดี สังข์สนิท คุณสุภา จุฬคุปต์ และ คุณสุทัศนีย์ บุญโญภาส

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง **การพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากแป้งเมล็ดขนุน** เพื่อเข้ารับการพิจารณาในวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา บัดนี้กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาได้ดำเนินการตามขั้นตอนเสร็จสิ้นเรียบร้อย จึงขอแจ้งตอบรับบทความดังกล่าว โดยจะดำเนินการออกเผยแพร่**ในวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ ๒๑ (ฉบับที่ ๒) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๙** ในโอกาสนี้ กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ขอขอบคุณที่ท่านได้ให้ความไว้วางใจในการส่งบทความเพื่อเข้ารับการพิจารณาและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าท่านจะให้ความสนใจส่งบทความในโอกาสต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภูษิต มัณฑะจิตร)
บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา

งานวารสารวิทยาศาสตร์บูรพา
โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๓๐๓๔
อีเมล์ buscij@buu.ac.th
เว็บไซต์ http://www.sci.buu.ac.th/buscij/

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวโสภิดา วิศาลศักดิ์กุล
วัน เดือน ปีเกิด	วันเสาร์ที่ 21 กรกฎาคม 2533
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 48 หมู่ที่ 4 ตำบลพระพุทธ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา 30230
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2554	สำเร็จการศึกษาระดับคหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีงานประดิษฐ์สร้างสรรค์ (เกียรตินิยมอันดับ 1) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2554 – 2555	ตำแหน่ง ครู โรงเรียนสามัคคีบำรุงวิทยา แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2555 – ปัจจุบัน	ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์	089 – 5847952
อีเมล์	sopida_w@rmutt.ac.th