



รายงานการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย Development of Products for Living of the Thai Elderly

ชาตรี หอมเขียว

Chatree Homkhiew

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์

Surasit Rawangwong

วรพงศ์ บุญช่วยแทน

Worapong Boonchouytan

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ประจำปี พ.ศ. 2565

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือ ร่วมใจหลายฝ่าย และประการสำคัญ คือ ได้รับการจัดสรรจัดงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปี พ.ศ. 2565 ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์ การวิจัยและพัฒนาวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย และสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้บริการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุ

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย และขอบคุณคณะผู้ช่วยวิจัยที่ให้ดำเนินการวิจัยในทุกขั้นตอนจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ชาตรี หอมเขียว
สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์
วรพงศ์ บุญช่วยแทน

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย

ชาตรี หอมเขียว¹ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์¹ วรพงศ์ บุญช่วยแทน¹

บทคัดย่อ

จากข้อมูลของ United Nations World Population Ageing พบว่า ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged Society) ซึ่งสหประชาชาติระบุว่า ประเทศใดมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป ในสัดส่วนเกินร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ ถือว่าประเทศนั้นก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ หรือ Aging Society และจะเป็น "สังคมผู้สูงอายุเต็มรูปแบบ" (Aged Society) เมื่อสัดส่วนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 20 โดยตัวเลขของประเทศไทย คาดการณ์ว่าในปี 2564 ไทยจะเข้าสู่สังคมประชากรสูงวัยแบบสมบูรณ์ โดยมีผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปี เกิน 20% ของจำนวนประชากรทั้งหมด ซึ่งความสำคัญประเด็นผู้สูงอายุไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ทั้งนี้เพราะเมื่ออายุมากขึ้นย่อมมีปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกายที่สรีระได้เปลี่ยนแปลงในทางที่เสื่อมถอยลง การทำงานของอวัยวะลดถอยลง ร่างกายหรืออวัยวะที่ใช้มานานอาจเกิดความขัดข้องเจ็บป่วย และการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ลดลง ซึ่งส่งผลให้พฤติกรรมและวิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์เพื่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับประเทศไทย นั่นคือ เพอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภทโต๊ะ-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุ แผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัว เบาะรองนั่งเพื่อสุขภาพผู้สูงอายุ และบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ เพื่อเป็นการรองรับสังคมผู้สูงอายุของประเทศไทย และเพื่อให้ประเทศไทยเป็นเจ้าของเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ผู้สูงอายุ และมีผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทยเอง

จากข้อมูลข้างต้น เพื่อเป็นการรองรับสังคมผู้สูงอายุของประเทศไทย และเพื่อให้ประเทศไทยเป็นเจ้าของเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ผู้สูงอายุและมีผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทยเอง การพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทยจึงเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นชุดโครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย นั่นคือ แผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัว เพอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภทโต๊ะ-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุ และบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ

คำสำคัญ : ผู้สูงอายุ การออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง แผ่นปูพื้นบันได บรรจุภัณฑ์ ยางพารา

¹ รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Development of Products for Living of the Thai Elderly

Chatree Homkhiew ¹ Surasit Rawangwong ¹ Worapong Boonchouytan ¹

Abstract

According to the United Nations World Population Aging data, Thailand is in the process of transitioning into an aged society. Which country has a population aged 60 years and over in the proportion of more than 10% of the total population. It is considered that the country has stepped into an aging society, which will become a "full aged society" (Aged society) when the proportion of the population aged 60 and over increases to 20 percent by the numbers of Thailand. It is predicted that in 2021 Thailand will enter a completely aging population society with people over 60 years old more than 20% of the total population, which the importance of the elderly does not depend on the increase in numbers alone but it depends on the quality of life of the elderly. This is because when getting older, there will always be problems with physical conditions that the body has changed in a deteriorating way and decreased organ function. The body or organs that have been used for a long time may cause problems with illness. Ability of various activities has decreased, which results in behavior and lifestyle changes. Therefore, the development of equipment or products for the living of the elderly is essential for Thailand, that is multi-purpose furniture such as tables and chairs for the elderly, self-lit stair slabs, seat cushions for the health of the elderly and non-toxic packaging for the consumption of the elderly in order to support the aging society of Thailand and to make Thailand the owner of aging product technology and there are products that are suitable for the life of Thai elderly people.

From the above information in order to support the aging society of Thailand and to make Thailand the owner of technology for elderly products and have products that are suitable for the lives of Thai elderly people. The development of products for the living of the Thai elderly is therefore essential. Therefore, this research project has an idea to develop an innovative product for living in the Thai elderly's home, that is, a stair floor mat with built-in light, multi-purpose furniture (table and chair) for the elderly and non-toxic packaging for the consumption of the elderly.

Keyword : Elderly, User-Centric Design, Stair Floor Mat, Package, Rubber

¹ Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	27
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัยชุดโครงการ	27
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 1	28
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 2	51
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 3	59
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	87
4.1 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ โครงการวิจัยย่อยที่ 1	87
4.2 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ โครงการวิจัยย่อยที่ 2	107
4.3 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ โครงการวิจัยย่อยที่ 3	115
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	188
5.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โครงการวิจัยย่อยที่ 1	188
5.2 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โครงการวิจัยย่อยที่ 2	189
5.3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โครงการวิจัยย่อยที่ 3	192
บรรณานุกรม	197

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	200
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ 1 ความต้องการของลูกค้าที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ โต๊ะ-เก้าอี้	201
แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ	

ภาคผนวก ข แบบสอบถามที่ 2 สำนัวจระดั้บคะแนนของป้จจ้ยที่ม่ผลต่อควมพ้งพอใจ ในด้านต่าง ๆ ของผลิตรัณฑ์ไต้ะ-เก้าอ้แบบเนกประสงค้สำหรับผู้สูงอายุ	205
ภาคผนวก ค แบบสอบถามที่ 3 แบบบันทึกการวัดสั้ดส่วนร่างกายเบ้้องต้น	210
ภาคผนวก ง รายละเอียดการวัดสั้ดส่วนร่างกายผู้สูงอายุทั้ง 16 สั้ดส่วน	212
ภาคผนวก จ แบบสอบถามที่ 4 การประเมินควมพ้งพอใจของผู้บริโภคและกลุ่มผู้ผลิตร ที่มีต่อผลิตรัณฑ์ไต้ะเก้าอ้แบบเนกประสงค้สำหรับผู้สูงอายุ	221
ภาคผนวก ฉ ผลิตรัณฑ์ไต้ะเก้าอ้แบบเนกประสงค้สำหรับผู้สูงอายุ	230
ภาคผนวก ช เส้นใยกาบมะพร้าวและเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) นำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์	234
ภาคผนวก ซ การทดสอบควมต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย กาบมะพร้าว	241
ภาคผนวก ฌ การทดสอบควมต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย กาบมะพร้าว	244
ภาคผนวก ญ การทดสอบควมต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	247
ภาคผนวก ฎ การทดสอบการซ้มน้้าของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	250
ภาคผนวก ฏ การทดสอบควมต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย กาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	252
ภาคผนวก ฐ การทดสอบควมต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย กาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	255
ภาคผนวก ท การทดสอบควมต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	258
ภาคผนวก ฒ การทดสอบการซ้มน้้าของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิ เอทิลีน (HDPE)	261

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ณ กระบวนการทดสอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวและบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	263

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง	13
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัยชุดโครงการ	27
3.2	การออกแบบการทดลองในสูตรส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบด้วยวิธี Box-Benhken	40
3.3	แสดงค่าแรงที่วัดได้จากโหลดเซลล์และเครื่อง Instron	48
3.4	สัญลักษณ์และความหมายของสัญลักษณ์ในค่าการเคลื่อนไหวยของค่าเป้าหมาย	54
3.5	ตัวเลขและความหมายของตัวเลขในเมทริกซ์ความสัมพันธ์	55
3.6	ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	55
3.7	การทดลองเบื้องต้นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	70
3.8	ปัจจัยการทดลองอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	71
3.9	การทดลองเบื้องต้นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน	75
3.10	ปัจจัยการทดลองอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน	76
3.11	อัตราส่วนระหว่างไคโตซาน กลีเซอรอล ทวิน 80 และ ไซฟิงที่ใช้	82
4.1	ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีย้อยไม้ยางพารา	88
4.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับรูปแบบจำลองการถดถอยต่าง ๆ ก่อนการลดรูปในแต่ละสมบัติ	89
4.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับรูปแบบจำลองการถดถอยต่าง ๆ หลังการลดรูปในแต่ละสมบัติ	90
4.4	สูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดร่วมกันของทุกสมบัติ และผลตอบสนองจากการทำนาย	106
4.5	การแปลงเสียงของลูกคำให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกคำ	109
4.6	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	117
4.7	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	117
4.8	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.9	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	120
4.10	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	121
4.11	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	122
4.12	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	123
4.13	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	124
4.14	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)	133
4.15	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)	134
4.16	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)	136
4.17	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)	137
4.18	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)	139
4.19	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)	140

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
----------	------

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.29	ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)	155
4.30	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)	157
4.31	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)	158
4.32	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)	159
4.33	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)	160
4.34	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)	161
4.35	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)	162
4.36	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)	164
4.37	ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)	165

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.38	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)	167
4.39	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)	168
4.40	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)	169
4.41	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)	170
4.42	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)	172
4.43	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)	172
4.44	การทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)	174
4.45	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)	174
4.46	ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักและค่าสีก่อนและหลังการเคลือบ	177
4.47	ผลการทดสอบประสิทธิภาพในด้านความทนต่อการรั่วซึมของภาชนะจากใยมะพร้าว	178
4.48	ผลการทดสอบหาค่าความชื้นในภาชนะจากใยมะพร้าวหลังจากการเคลือบ	179

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.49	การเปรียบเทียบค่า pH ของสารละลายที่สภาวะกรด กลาง และด่าง ในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ	180
4.50	ผลการทดสอบแรงดึงและแรงกดของภาชนะจากโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่นหลังทำการเคลือบ	181
4.51	ค่าระดับความพึงพอใจในแต่ละรายการของบรรจุภัณฑ์จากเส้นโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่น	182
4.52	ค่าระดับความพึงพอใจในแต่ละรายการของบรรจุภัณฑ์จากเส้นโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่นผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	183

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การกำหนดระนาบบนร่างกายเพื่อใช้ในการวัดสัดส่วน	7
2.2	ตำแหน่งทางกายวิภาคที่ใช้เพื่อการวัดสัดส่วนร่างกาย	8
2.3	Human Centric Design	11
2.4	สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ	12
2.5	เครื่องกดอัดไฮดรอลิก	15
2.6	เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง	15
2.7	รูปร่างของชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบสมบัติแรงดึง	16
2.8	ภาชนะเมลามีนบรรจุอาหาร	17
2.9	ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหาร	18
2.10	ภาชนะโฟมบรรจุอาหาร	18
2.11	ภาชนะที่เคลือบสารเทฟลอน	19
2.12	ภาชนะเซรามิกบรรจุอาหาร	19
2.13	ภาชนะที่ทำจากสแตนเลส	20
2.14	ภาชนะบรรจุอาหารจากธรรมชาติ	20
2.15	เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน	21
2.16	การทดสอบต้านทานแรงดึง	22
2.17	ระดับค่า PH และตัวอย่างสารละลายที่มีค่า PH ต่างกัน	24
3.1	ยางธรรมชาติอัดแท่ง เกรด STR 5L	28
3.2	สารกระตุ้นในกระบวนการคงรูปร่าง ชนิดซิงค์ออกไซด์	29
3.3	สารกระตุ้นในกระบวนการคงรูปร่าง ชนิดกรดสเตียริก	29
3.4	สารทำให้เกิดฟอง ชนิดไดไนโตรโซเพนทาเมทาซีนเตตระไมน์	29
3.5	สารเคลือบผิว ชนิดโพรโมเตอร์เอ็นพี	30
3.6	สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ ชนิดวิสเตย์แอล	30
3.7	สารตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดเมอร์แคปโตเบนโซไทโธล	31
3.8	สารตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดไดฟีนิลกัวนิติน	31
3.9	สารตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดไซโคลเฮกซิลเบนโซโรอะซิลซัลฟิनाไมด์	32
3.10	สารตัวเติม ชนิดผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา	32
3.11	สารทำให้ยางนุ่ม ประเภทน้ำมันมินเนอรัล ชนิดน้ำมันพาราฟินนิค	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.12	สารวัลคาไนซ์ ชนิดกำมะถัน	33
3.13	เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง	34
3.14	แสดงเครื่องอัดยางคงรูป	34

3.15	เครื่องอัดร้อนด้วยแม่แรงดัน	34
3.16	ตู้อบที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นชิ้นงาน	35
3.17	เครื่องซั่งดิจิตอล	35
3.18	แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน	36
3.19	หัวเจาะตัดชิ้นงานทดสอบ	36
3.20	เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์	37
3.21	อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์	37
3.22	แม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นปูพื้นบันได	38
3.23	แผนผังการดำเนินงานโครงการวิจัย	39
3.24	กระบวนการร่อนผงไม้	41
3.25	ขั้นตอนการผสมส่วนที่ 1	42
3.26	ขั้นตอนการผสมส่วนที่ 2	43
3.27	ขั้นตอนการทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อน	44
3.28	ลักษณะชิ้นงานที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบ	45
3.29	ลักษณะกราฟในการทดสอบวงรอบฮีสเตอร์สิส	46
3.30	การทดสอบฮีสเตอร์สิส	46
3.31	เครื่องทดสอบการกระแทกแบบตกกระทบในแนวตั้ง (Drop tower test)	47
3.32	แสดงบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์	48
3.33	การทดสอบเปรียบเทียบค่าแรงโหดเซลล์และเครื่องทดสอบวัสดุมาตรฐาน	49
3.34	การทดสอบความแข็ง	50
3.35	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	50
3.36	ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน	54
3.37	กาบมะพร้าว	59
3.38	เส้นใยกาบมะพร้าวแห้งเพื่อตัดเป็นเศษเส้นใยกาบมะพร้าว	60
3.39	แป้งมันสำปะหลัง	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.40	ผงพลาสติกพอลิเอทิลีน (HDPE)	61
3.41	เครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว	61
3.42	เครื่องซั่งดิจิตอล	62
3.43	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	62
3.44	เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน	63
3.45	แม่พิมพ์สี่เหลี่ยม	63
3.46	เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์	64
3.47	ถุงมือ	64

3.48	เกรียงสแตนเลส	65
3.49	แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นขึ้นงาน	65
3.50	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิทัล	66
3.51	แผนผังการดำเนินงานวิจัยบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	67
3.52	เส้นใยมะพร้าว	68
3.53	แป้งเปียก	68
3.54	คลุกเส้นใยกาบมะพร้าวกับแป้งเปียก	69
3.55	บรรจุภัณฑ์หลังจากเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแล้ว	69
3.56	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่สมบูรณ์	71
3.57	แผนผังการดำเนินงานวิจัยบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน	72
3.58	เส้นใยกาบมะพร้าว	73
3.59	ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ผสมกับเส้นใยกาบมะพร้าว	73
3.60	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีนที่ได้จากเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน	74
3.61	ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่สมบูรณ์	76
3.62	การทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	77
3.63	การทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	77
3.64	การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.65	การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	78
3.66	การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	79
3.67	การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	79
3.68	การทดสอบดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	80
4.69	การทดสอบดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	80
3.70	การทดสอบค่าความเป็นกรด-เบสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว	81
3.71	การทดสอบค่าความเป็นกรด-เบสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)	81
4.1	การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าการดูดซับพลังงาน	91
4.2	กราฟโครงสร้างผลกระทบของซีเลื้อยไม้ยางพารา สารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อค่าการดูดซับพลังงาน	92

4.3	การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าแรงกระแทกสูงสุด	93
4.4	กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลีเนียมอย่างพารา สารทำให้เกิดฟอง และอนุมูลอิสระ ขึ้นรูปต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด	94
4.5	การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าการคืนรูปภายหลัง การกดอัด	96
4.6	กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลีเนียมอย่างพารา สารทำให้เกิดฟอง และอนุมูลอิสระ ขึ้นรูปต่อค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด	97
4.7	การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าการคืนรูปภายหลัง การกดอัด (ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าที่นายต่อค่าการทดลอง จริง	99
4.8	กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลีเนียมอย่างพารา สารทำให้เกิดฟอง และอนุมูลอิสระ ขึ้นรูปต่อค่าความแข็ง	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าความแข็ง (ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าที่นายต่อค่าการทดลองจริง
4.10	กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลีเนียมอย่างพารา สารทำให้เกิดฟอง และอนุมูลอิสระขึ้นรูปต่อค่าความแข็ง
4.11	โครงสร้างสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีเนียมอย่างพารา ที่กำลังขยาย 500 เท่า
4.12	กราฟการพล็อตซ้อนทับของค่าตอบทั้งหมดตามค่าความพึงใจโดยรวม
4.13	ลักษณะ (ก) ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นบันได และ (ข) การประยุกต์ใช้งานแผ่นปูพื้น บันได
4.14	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 8 นาที
4.15	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 8 นาที
4.16	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้น ใยคาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส
4.17	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดของบรรจุภัณฑ์ จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส
4.18	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส
4.19	การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบ มะพร้าวในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส
4.20	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 8 นาที

4.21	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	126
4.22	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส	127
4.23	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)	135

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)	138
4.25	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)	141
4.26	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)	144
4.27	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)	147
4.28	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)	150
4.29	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)	153
4.30	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)	156
4.31	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)	159
4.32	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)	161

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.33	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)	163
4.34	การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)	166
4.35	การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)	169
4.36	การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)	171
4.37	การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)	173
4.38	การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)	175
4.39	บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	176
4.40	การเปรียบเทียบก่อนและหลังการเคลือบภาชนะด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ	177
4.41	ผลทดสอบการทนต่อความร้อนที่กำลังไฟสูงสุดในนาที่ที่ 1 3 และ 5 ตามลำดับ	179

บทที่ 1

บทนำ

เมื่อร่างกายของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามวัย แต่สิ่งอำนวยความสะดวกประเภทเฟอร์นิเจอร์ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามสภาพของร่างกาย จึงมีผลต่อพฤติกรรมการใช้งาน และส่งผลให้ผู้สูงอายุดำรงชีวิตในประจำวันได้ไม่สะดวก เฟอร์นิเจอร์สำหรับผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งที่น่าคำนึงถึงอย่างมากในการดำรงชีวิต เนื่องจากผู้สูงอายุไม่ค่อยได้เคลื่อนไหว หรือมีการเคลื่อนไหวที่ช้า และยากกว่าคนวัยอื่นที่มีความคล่องตัวกว่า จึงเป็นสาเหตุหนึ่งในการก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกาย ดังนั้นถ้าเฟอร์นิเจอร์ได้รับการออกแบบมาเพื่อผู้สูงอายุโดยเฉพาะก็จะส่งผลให้ผู้สูงอายุมีการดำรงชีวิตประจำวันสะดวก และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายได้ง่าย พร้อมทั้งป้องกันการเกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกายต่าง ๆ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

จากข้อมูลของ United Nations World Population Ageing พบว่า ประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged Society) ซึ่งสหประชาชาติระบุว่าประเทศใดมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป ในสัดส่วนเกินร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ ถือว่าประเทศนั้นก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ หรือ Aging Society และจะเป็น "สังคมผู้สูงอายุเต็มรูปแบบ" (Aged Society) เมื่อสัดส่วนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 20 โดยตัวเลขของประเทศไทย คาดการณ์ว่าในปี 2564 ไทยจะเข้าสู่สังคมประชากรสูงวัยแบบสมบูรณ์ โดยมีผู้ที่มีอายุมากกว่า 60 ปี เกิน 20% ของจำนวนประชากรทั้งหมด [1] ซึ่งความสำคัญประเด็นผู้สูงอายุไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ทั้งนี้เพราะเมื่ออายุมากขึ้นย่อมมีปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกายที่สรีระได้เปลี่ยนแปลงในทางที่เสื่อมถอยลง การทำงานของอวัยวะลดถอยลง ร่างกายหรืออวัยวะที่ใช้งานมานานอาจเกิดความขัดข้องเจ็บป่วย และการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ลดลง ซึ่งส่งผลให้พฤติกรรมและวิถีการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการพัฒนาอุปกรณ์หรือผลิตภัณฑ์เพื่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับประเทศไทย

เมื่อร่างกายของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงไปตามวัย แต่สิ่งอำนวยความสะดวกประเภทเฟอร์นิเจอร์ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามสภาพของร่างกาย จึงมีผลต่อพฤติกรรมการใช้งาน ซึ่งถ้าเฟอร์นิเจอร์มีลักษณะการใช้งานทางกายวิภาคที่ไม่เหมาะสมกับสภาพร่างกายก็เป็นสาเหตุหนึ่งของการเจ็บป่วย และส่งผลให้ผู้สูงอายุดำรงชีวิตในประจำวันได้ไม่สะดวก เฟอร์นิเจอร์สำหรับผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งที่น่าคำนึงถึงอย่างมากในการดำรงชีวิตทั้งในเรื่องการนั่ง การลุก การยืน เพราะเนื่องจากสูงอายุ

ไม่ค่อยได้เคลื่อนไหว หรือมีการเคลื่อนไหวที่ช้า และยากกว่าคนอื่นที่มีความคล่องตัวกว่า จึงเป็นสาเหตุหนึ่งในการก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกาย ดังนั้นถ้าเฟอร์นิเจอร์ได้รับการออกแบบมาเพื่อผู้สูงอายุโดยเฉพาะก็จะส่งผลให้ผู้สูงอายุมีการเคลื่อนไหวร่างกายที่ง่าย และทำให้มีการเคลื่อนไหวร่างกายอยู่บ่อย ๆ โดยจะช่วยให้ร่างกายสามารถชินกับการเปลี่ยนแปลงท่าทางได้มากขึ้น ซึ่งจะป้องกันไม่ให้เสียหลักหกล้มได้ง่ายและป้องกันการเกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพร่างกายต่าง ๆ ดังนั้นการพัฒนาเฟอร์นิเจอร์ประเภทประสาธต์ประสาธต์-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุและเบาะรองนั่ง จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย

ในขณะเดียวกันมีข้อมูลสถิติระบุว่า ผู้สูงอายุ “พลัดตก-หกล้ม” ต้องเข้ารับบริการทางแพทย์ฉุกเฉินเฉลี่ย 140 ครั้ง/วัน เสียชีวิตเฉลี่ย 3 คน/วัน พบรอบ 3 ปี รับบริการทางแพทย์ฉุกเฉินถึง 141,895 ราย แม้ลักษณะบ้านที่ปลอดภัยสำหรับผู้สูงอายุควรเป็น “บ้านชั้นเดียว” แต่ผู้สูงอายุกลับอยู่ “บ้านหรือตึกสองชั้นขึ้นไป” มากที่สุดที่ 44% ต้องใช้บันไดขึ้นลงทุกวัน 48.8% [2] จากข้อมูลเหล่านี้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุและลดอาการบาดเจ็บของผู้สูงอายุจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก ซึ่งการพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ จะสามารถช่วยดูดซับหรือลดแรงกระแทก ไม่ลื่น (มีแรงเสียดทานสูง) จะส่งผลให้โอกาสการลื่นจากการขึ้นลงบันไดลดลง

นอกจากนี้ การเกิดกล้ามเนื้ออ่อนแรง (Muscle weakness) ในผู้สูงอายุ เป็นภาวะที่มวลกล้ามเนื้อลดลง ทำให้ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัญหาที่พบได้บ่อยในผู้สูงอายุ ทำให้ความสามารถในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุเปลี่ยนแปลงไป บ่อยครั้งที่ผู้สูงอายุทำงาน/ขามหลุดออกจากมือโดยไม่ทราบสาเหตุ ทั้ง ๆ ที่ได้ถือจาน/ขามไว้อย่างแน่น สาเหตุเหล่านี้มักเกิดมาจากกล้ามเนื้ออ่อนแรงในผู้สูงอายุ ทำให้จาน/ขามหรือบรรจุภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุจำเป็นต้องมีคุณลักษณะพิเศษ เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถดำรงชีวิตได้อย่างปกติและไม่เกิดความเสียหายในสิ่งของ ดังนั้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุก็เป็นสิ่งจำเป็น

จากข้อมูลข้างต้น เพื่อเป็นการรองรับสังคมผู้สูงอายุของประเทศไทย และเพื่อให้ประเทศไทยเป็นเจ้าของเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ผู้สูงอายุและมีผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทยเอง การพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทยจึงเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นชุดโครงการวิจัยนี้จึงมีแนวคิดพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย นั่นคือ แผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัว เฟอร์นิเจอร์ประเภทประสาธต์ประสาธต์-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุ และบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ไม่ยางพารา สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ
- 1.2.3 เพื่อออกแบบและขึ้นรูปเฟอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภทโต๊ะ-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุ ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ร่วมกับการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centric Design)
- 1.2.4 เพื่อศึกษาและออกแบบการผลิตบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 : การพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ มีขอบเขตของโครงการวิจัย ดังนี้

1. การออกแบบการทดลองใช้วิธี Box-Benhken Design ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร สารทำให้เกิดฟองอากาศ 6-12 phr ซีลี้อยู่ไม่ยางพารา 40-80 phr และอุณหภูมิขึ้นรูป 110-130 °C
2. สูตรยางประกอบด้วย ยางธรรมชาติ 100 phr, ZnO 3 phr, Stearic acid 1 phr, Wing stay L 1 phr, MBT 1 phr, DPG 0.5 phr, CBS 0.5 phr, Oil 10 phr และ Sulfur 2.5 phr
3. ซีลี้อยู่ไม่ยางพาราที่ใช้มีขนาดผ่านตะแกรง 40 เมช
4. อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นรูป 110 °C, 120 °C และ 130 °C และแรงดันอัดขึ้นรูปควบคุมที่ค่าคงที่ 500 psi

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง มีขอบเขตของโครงการวิจัย ดังนี้

1. เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ 5 ขั้นตอน ได้แก่
 - 1) จัดประชุมคณะผู้วิจัย กลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้สูงอายุ เพื่อระดมสมองเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรม (Empathy) และสำรวจปัญหาและความต้องการของผู้สูงอายุ
 - 2) การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับถ้อยคำ การเรียกร้องของกลุ่มผู้สูงอายุ
 - 3) สำรวจความต้องการและความพึงพอใจของผู้สูงอายุ
 - 4) ทำการแปลงความต้องการของลูกค้าด้วยสร้างบ้านคุณภาพ (House of Quality; HOQ) เป็นคุณลักษณะทางเทคนิคของผลิตภัณฑ์ และ
 - 5) ออกแบบเฟอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภท โต๊ะ-เก้าอี้ และทำการขึ้นรูปเฟอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภทโต๊ะ-เก้าอี้ต้นแบบ
2. เทคนิคการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centric Design; HCD) เป็นกระบวนการคิดสร้างสรรค์นวัตกรรมอย่างเป็นระบบโดยยึด “คน” เป็นศูนย์กลางในการออกแบบเพื่อแก้ปัญหา ไม่ว่าจะเป็นขนาดสัดส่วนหรือกิจวัตรประจำวันของผู้ใช้ โดยมีกระบวนการที่สำคัญอยู่ 3 ระยะ คือ

1) ระยะเข้าใจปัญหา (Understand) เป็นระยะการใช้เวลาทำความเข้าใจปัญหาอย่างลึกซึ้ง (Empathy) และกำหนดประเด็นและทิศทางในการแก้ปัญหาที่ชัดเจน (Define) ถูกต้องตรงประเด็น

2) ระยะพัฒนาไอเดีย (Creating) เป็นการพัฒนาความคิดริเริ่มที่จะทำให้เกิดนวัตกรรมไอเดียหรือแนวคิดใหม่ ๆ เมื่อได้รับการพัฒนาจะเป็นจุดตั้งต้นของการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์

3) ระยะส่งมอบนวัตกรรม (Delivering) เป็นการเปลี่ยนไอเดียให้เป็นต้นแบบนวัตกรรมก่อนที่จะนำไปทดลองใช้

3. การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค หรือลูกค้า ผู้วิจัยใช้ทฤษฎีหรือเทคนิคในการออกแบบผลิตภัณฑ์ และหลักเกณฑ์พิจารณางานออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งผู้วิจัยนำมาใช้เป็นแนวทางการศึกษา ดังนี้ ด้านรูปแบบผลิตภัณฑ์ คุณภาพ วัสดุ ประโยชน์ใช้สอย และด้านอื่น ๆ

โครงการวิจัยย่อยที่ 3 : การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ มีขอบเขตของโครงการวิจัย ดังนี้

1. พัฒนาบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ จะแบ่งการทดลองการขึ้นรูปออกเป็น 2 แบบ คือ

1) แบบที่ 1 ใช้เส้นใยมะพร้าวขึ้นรูปผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร

2) แบบที่ 2 ใช้เส้นใยมะพร้าวและผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร

2. เตรียมแผ่นฟิล์มจากโคโตนเพื่อเคลือบบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าวแบบที่ 1

3. ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์อาหาร และการยอมรับของผู้บริโภค การทดสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์อาหารจะทำการทดสอบทางด้านกายภาพ ด้านความปลอดภัย และการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

4. ออกแบบต้นแบบภาชนะบรรจุอาหารจากวัสดุธรรมชาติร่วมกับกลุ่มลูกค้า (ผู้สูงอายุ)

5. สร้างต้นแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์อาหาร

6. สัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้บริโภคและผู้ประกอบการ และศูนย์บริหารผู้สูงอายุองค์การบริหารส่วนจังหวัดสงขลา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 : การพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. องค์ความรู้ในผลกระทบปริมาณสารเคมี ปริมาณเชื้อราไม่ยางพารา และสภาวะการขึ้นรูปต่อสมบัติทางกล ทางกายภาพ และทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

2. ต้นแบบผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ ด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ทราบถึงความต้องการผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุของกลุ่มลูกค้า เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์
2. เพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุให้สูงขึ้นจากการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ
3. ลูกค้ามีความพึงพอใจและประทับใจในตัวผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ รูปแบบใหม่มากขึ้นและสามารถตอบสนองตามความต้องการของลูกค้าได้

โครงการวิจัยย่อยที่ 3 : การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ผลงานวิจัยขออนุญาตให้ใช้สิทธิจากทรัพย์สินทางปัญญาจากหน่วยงานเอกชน
2. เปลือกมะพร้าวได้รับการนำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าและมีประโยชน์สูงสุด
3. สามารถพัฒนาองค์ความรู้จากการวิจัยไปใช้ประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม
4. เชื่อมโยงการขับเคลื่อนผลการวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการโครงการวิจัย ได้มีการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากผลงานวิจัยเกี่ยวกับผู้สูงอายุไทย จากผลงานวิจัยที่ได้ศึกษามาข้างต้นจึงได้นำมาเรียบเรียงเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและนำมาใช้ประกอบในการศึกษาจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้โดยมีงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับผู้สูงอายุ

ผู้สูงอายุในสังคมไทย หมายถึง บุคคลที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านร่างกายลักษณะของการเสื่อมถอย การเจริญเติบโตของร่างกาย และความต้านทานโรคน้อยลง ความสามารถด้านการปรับตัวและบทบาททางสังคมของแต่ละบุคคลจะมีความสามารถที่แตกต่างกันออกไป ผู้สูงอายุจะมีลักษณะและปัจจัยที่ทำให้เกิดความชรา รวมทั้งการใช้ชีวิตอยู่ในสังคมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาส่วนตัว ทางด้านทางกายความสามารถในการปรับตัวของแต่ละบุคคลที่ไม่เหมือนกัน ตลอดจนบทบาทและลักษณะนิสัยทางสังคมของผู้สูงอายุที่ได้อยู่ในสังคมนั่นเอง

1) พฤติกรรมในชีวิตประจำวันของผู้สูงอายุ

เมื่อเป็นเด็กเวลาของชีวิตถูกใช้ไปในการเรียนรู้เพื่อการทำงาน เมื่อถึงวัยทำงานเวลาของชีวิตถูกใช้ไปในการทำงานเพื่อหาเลี้ยงชีพและเพื่อความมีหน้ามีตาในสังคมในช่วงอายุนี้นี้เวลาหายาก แต่เมื่อเข้าสู่วันสูงอายุหรือเกษียณอายุการทำงานแล้วเวลาว่างหาได้ง่ายและมีมาก ผู้สูงวัยจะมีการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในชีวิต ผู้สูงวัยบางคนจากที่เคยเป็นคนทำงานต้องทำงานทุกวัน พอถึงวัยเกษียณก็ต้องอำลามาอยู่อยู่กับบ้าน ในปัจจุบันผู้สูงอายุส่วนใหญ่นี้ยังเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถและมีพลังในการทำกิจกรรมต่าง ๆ การมีกิจกรรมในยามว่าง เป็นสิ่งที่ยึดเหนี่ยวจิตใจให้ผู้สูงวัย นั้นมีความรู้ว่าตัวเองยังมีค่า และมีความหมายผู้สูงอายุบางคนได้ใช้เวลาว่างในช่วงนี้ ทำสิ่งที่ตัวเองอยากทำมานานแต่ไม่มีเวลา เช่น การอ่านหนังสือเรื่องยาว ๆ หรือการปลูกต้นไม้

ผู้สูงวัยมีอาการอย่างหนึ่งที่ส่งผลมาจากความเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย ซึ่งเป็นผลกระทบให้เวลาใน 1 วันของผู้สูงวัยมีมากขึ้น นั่นคือ อาการนอนไม่หลับ นอนน้อย หรือผู้สูงอายุ มีระยะเวลาในการหลับสั้นลง

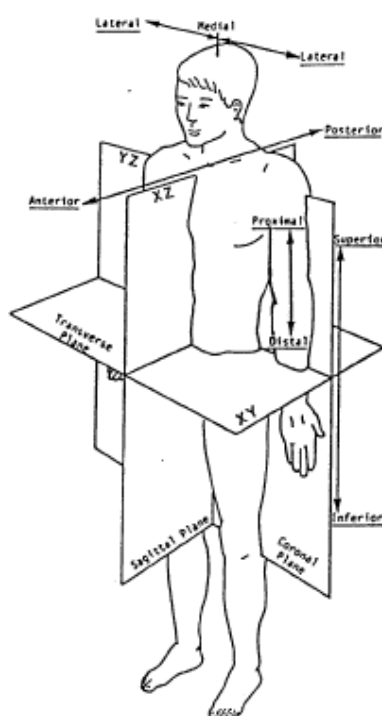
คุณหมอบรรลุ ศิริพานิช [3] กล่าวว่า สาเหตุของการที่ผู้สูงวัยนอนน้อยลงหรือนอนไม่หลับ อาจเนื่องมาจากที่ผู้สูงวัยไม่มีกิจกรรมที่ต้องใช้กำลังกายและใจในตอนกลางวัน มีการเผาผลาญพลังงานน้อยลง ทำให้ไม่เหนื่อยพอที่จะหลับในเวลากลางคืน ช่วงเวลาใน 1 วันของผู้สูงวัยจึงยาวขึ้นอีก

กิจกรรมในชีวิตประจำวันของผู้สูงวัยก็คล้ายคลึงกับช่วงที่อยู่ในวัยทำงาน จะแตกต่างกันตรงช่วงเวลา ที่ทำงานนั้นกลับเป็นช่วงเวลาว่างของผู้สูงวัย ซึ่งจะสามารถนำไปทำกิจกรรมอะไรก็ได้ตามความพึงพอใจ เช่น การทำสวนปลูกต้นไม้ การเย็บปักถักร้อย ดูทีวี ฟังเพลง หรือว่าอ่านหนังสือ จะเห็นได้ว่าช่วงเวลานี้ส่วนใหญ่จะเป็นช่วงเวลาที่ผู้สูงวัยส่วนใหญ่ใช้ไปกับ การนั่งประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เป็นส่วนใหญ่

2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์

การวัดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ (Anthropometry) เป็นการวัดขนาดรูปร่างและสัดส่วนร่างกายมนุษย์ในแง่มุมที่หลากหลาย เช่น ความสูง ความกว้าง ความหนา ทรวดทรง เป็นต้น การวัดสัดส่วนของร่างกายมนุษย์นิยมวัดกันในสภาวะหยุดนิ่ง ไม่มีการเคลื่อนไหวมาเกี่ยวข้อง โดยมีการวัดขนาดลำตัว แขน ขา ศีรษะทั้งในท่ายืนและนั่ง ด้วยการกำหนดจุดหรือสัญลักษณ์แสดงตำแหน่งที่แน่นอนตามแบบมาตรฐาน [4]

การกำหนดจุดอ้างอิงทำได้โดยการใช้หลักทางกายวิภาคมาทำการกำหนดระนาบต่าง ๆ บนร่างกาย ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การกำหนดระนาบบนร่างกายเพื่อใช้ในการวัดสัดส่วน [5]

โดยที่ X คือแกนที่ลากผ่านจากด้านไปด้านหลัง Y คือแกนที่ลากจากด้านลำตัวด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง และ Z คือแกนที่ลากจากศีรษะไปยังเท้า

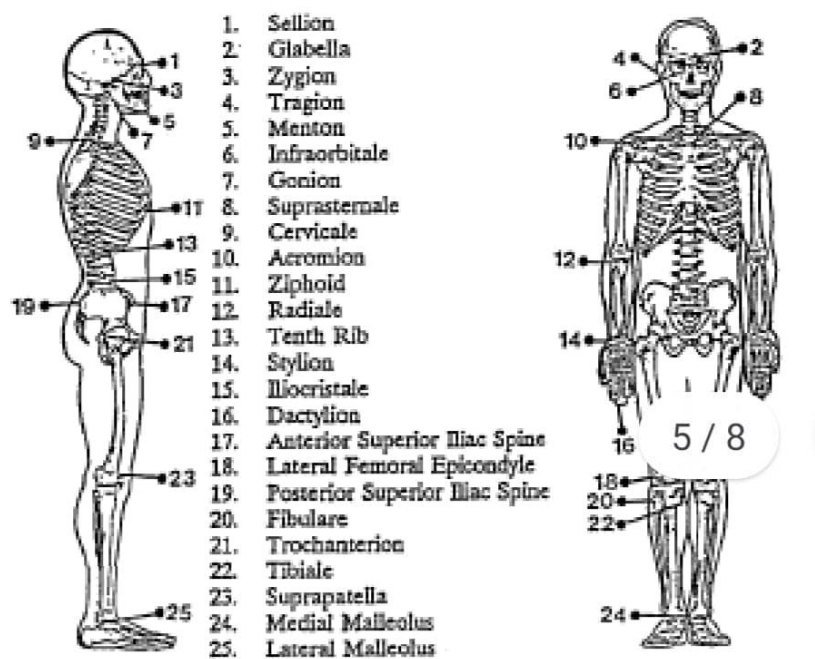
ทั้งสามแกนมีความสัมพันธ์กันและสามารถแบ่งออกได้เป็นระนาบต่าง ๆ ดังนี้

ระนาบข้าง (Sagittal plane) เป็นระนาบที่ขนานกับระนาบ XZ ที่ปรากฏในรูปที่ 2.1 สำหรับระนาบ XZ ที่แบ่งร่างกายออกเป็นสองข้างคือ ข้างซ้าย (Left side, +Y) และข้างขวา (Right side, -Y) ในลักษณะที่สมมาตรกับอาจเรียกว่า ระนาบสมดุล (Mid sagittal plane)

ระนาบหน้าหลัง (Coronal plane) เป็นระนาบที่ขนานกับระนาบ YZ จะแบ่งร่างกายออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่อยู่ทางด้านหน้า (Anterior, +X) และส่วนที่อยู่ด้านหลัง (Posterior, -X) ทั้งระนาบหน้าหลังและระนาบข้างนี้ อาจเรียกรวมกันว่า ระนาบตั้ง (Vertical plane) เพราะทั้งสอง ระนาบต้องอยู่ในแนวตั้ง

ระนาบตัดขวางหรือระนาบระดับ (Transverse plan หรือ Horizontal plane) เป็นระนาบที่ขนานกับอยู่ในแนวระดับ และจะตั้งฉากกับระนาบตั้ง (ทั้งระนาบข้างและระนาบหน้าหลัง) ระนาบตัดขวางจะแบ่งร่างกายออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนบน (Superior, +Z) และส่วนล่าง (Inferior, -Z)

นอกจากการกำหนดระนาบบนร่างกาย นักการยศาสตร์ส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการกำหนดจุดอ้างอิงบนร่างกายโดยอาศัยระบบโครงสร้างของกระดูกเพื่อใช้ในการวัดค่าสัดส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งทางกายวิภาคที่ใช้เพื่อการวัดสัดส่วนร่างกาย [5]

2.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) เป็นเทคนิคที่ประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ปรับปรุง และพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มต้นจากการนำเอาความต้องการ

ของลูกค้าผ่านขั้นตอน และวิธีการปรับเปลี่ยนให้เป็นกระบวนการในการดำเนินงานที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Dr. Yoji Akao และได้นำมาประยุกต์ใช้เป็นครั้งแรกที่อุตสาหกรรมของบริษัทมิทซูบิชิ ประเทศญี่ปุ่น (Kobe Shipyards of Mitsubishi Heavy Industries Ltd.) เมื่อปี 1972 และในระหว่างปี 1970s บริษัท โตโยต้า ได้นำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้จนกระทั่งแพร่หลายไปถึงผู้ผลิตชิ้นส่วน โดยโตโยต้า ได้บังคับให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดใช้เทคนิค QFD เพื่อช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ในปัจจุบันนี้เทคนิค QFD ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั่วญี่ปุ่น เช่น ผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ประจำบ้าน เสื้อผ้า แผงวงจรรวม ยางเทียม เป็นต้น แม้แต่อุตสาหกรรมบริการก็พบว่าเทคนิค QFD สามารถช่วยให้บริษัทเห็นความสำคัญด้านคุณภาพมากขึ้น และต่อมาประมาณปี 1983 Kogure และ Akao [21] ก็ได้พัฒนามาประยุกต์กับบริษัท ฟอर्ड มอเตอร์ ซึ่งนับว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการประยุกต์เทคนิคนี้ในประเทศสหรัฐอเมริกา และได้จัดตั้ง Ford Supplier Institute ขึ้นเพื่อพัฒนาคุณภาพของชิ้นส่วนที่ผลิตโดยผู้ผลิตชิ้นส่วนให้แก่ ฟอर्ड ต่อมาสถาบันดังกล่าวได้กลายเป็นองค์กรอิสระที่ไม่แสวงหาไรชื่อ American Supplier Institute (ASI) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้การฝึกอบรมและให้คำปรึกษาด้านเทคนิค QFD และเป็นสถาบันที่มีบทบาทสูงในการทำให้เทคนิค QFD เป็นที่นิยมในประเทศสหรัฐอเมริกา

2.1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเทคนิคการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centric Design)

ในสมัยก่อนหลักในการออกแบบผลิตภัณฑ์ สินค้า เพอร์นิเจอร์ต่าง ๆ รวมไปถึงบ้านและที่อยู่อาศัยนั้นจะออกแบบโดยให้ความสำคัญกับ ‘Product Centric’ หรือคำนึงถึงคุณภาพของสินค้าเป็นสำคัญ เพื่อที่จะดึงดูดความมั่นใจสูงสุดจากผู้บริโภค ต่อมาจึงเข้าสู่ยุค ‘Customer Centric’ ซึ่งเป็นยุคที่ลูกค้าเริ่มมีความต้องการอันหลากหลาย และผู้ประกอบการต่าง ๆ จึงคิดที่จะตอบโจทย์ความต้องการที่แตกต่างหลากหลายนั้น

ในขณะที่ปัจจุบันมีแนวโน้มที่ผู้ประกอบการที่มีวิสัยทัศน์ได้ให้ความสำคัญกับผู้บริโภคในฐานะที่เป็นมนุษย์ ไม่ใช่เพียงลูกค้า จนเกิดเป็นยุค ‘Human Centric’ หรือ Human Centered Design พุดง่าย ๆ ก็คือการออกแบบที่คำนึงถึงมนุษย์เป็นศูนย์กลางนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ข้อดีของการออกแบบดังกล่าวก็คือ เมื่อมองผู้บริโภคในฐานะที่เป็นเพื่อนมนุษย์มากกว่าที่จะเป็นเพียงผู้ใช้ประโยชน์จากงานออกแบบ (User-Centered Design) แต่หันไปให้ความสำคัญกับผู้ใช้งานในฐานะที่เป็นคนซึ่งมี ‘ความต้องการ’ และ ‘ความพึงพอใจ’ วิธีคิดเช่นนี้ก็จะสามารถทำให้มองเห็นทุกรายละเอียด แล้วนำมาสร้างสรรค์นวัตกรรมที่ผ่านการขบคิดและการทดลองขึ้นมา เพื่อมอบให้ผู้ใช้งานหรือผู้อยู่อาศัยมีประสบการณ์ที่ดีขึ้นได้

หลักคิดของการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง ถ้าว่ากันตามตรงนั้นคล้ายกับหลักการทางวิทยาศาสตร์อยู่มาก คือมุ่งไปที่การทำความเข้าใจปัญหาอย่างถ่องแท้ และคิดหาวิธีการซึ่งนำไปสู่การแก้ปัญหา โดยมีขั้นตอนปฏิบัติอยู่ 5 กระบวนการ ได้แก่

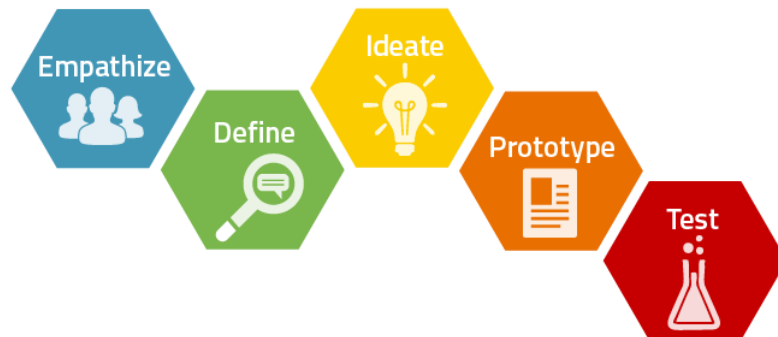
1) Empathy เป็นการทำความเข้าใจต่อกลุ่มเป้าหมายให้มากที่สุด โดยการเอาใจเขามาใส่ใจเรา ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เมื่อจะสร้างสรรค์หรือแก้ไขสิ่งใดก็ตามจะต้องเข้าใจถึงกลุ่มเป้าหมายอย่าง ถ่องแท้

2) Define การสังเคราะห์ ข้อมูล การตั้งคำถามปลายเปิดที่ผลักดันให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ไม่จำกัด กรอบของการแก้ปัญหา ซึ่งภายหลังจากที่เราเรียนรู้และทำความเข้าใจต่อกลุ่มบุคคลเป้าหมายแล้ว ก็ต้องวิเคราะห์ ปัญหา กำหนดให้ชัดเจนว่าจริง ๆ แล้ว ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร เลือก และสรุป แนวทางความเป็นไปได้

3) Ideate การระดมความคิด ใหม่ ๆ อย่างไม่มีขีดจำกัด หรือการสร้างความคิดต่าง ๆ ให้เกิดขึ้น โดยเน้นการหาแนวคิดและแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้มากที่สุด หลากหลายที่สุด โดยความคิดและแนวทางต่าง ๆ ที่คิดขึ้นมานั้นก็เพื่อตอบโจทย์ปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้น Define

4) Prototype การสร้างแบบจำลอง หรือการสร้างต้นแบบขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทดสอบและตอบคำถามหรือกระตุ้นให้เกิดการวิพากษ์วิจารณ์ เพื่อที่เราจะได้เข้าใจสิ่งที่อยากรู้อย่างยิ่งขึ้น และยิ่งสร้างเร็วเท่าไรก็ยิ่งได้ลองหาข้อผิดพลาด และเรียนรู้เกี่ยวกับไอเดียได้เร็วเท่านั้น

5) Test หรือการทดสอบ โดยนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นมา ทดสอบกับผู้ใช้หรือกลุ่มเป้าหมาย เพื่อสังเกตประสิทธิภาพการใช้งาน โดยนำผลตอบรับ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดจนคำแนะนำมาใช้ในการพัฒนา และปรับปรุงต่อไป



รูปที่ 2.3 Human Centric Design [5]

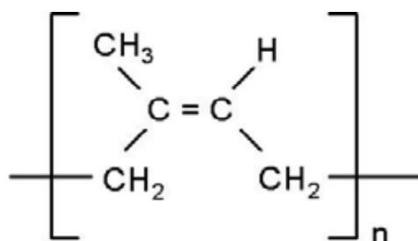
2.1.5 ความรู้พื้นฐานของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) คือ การนำเอาวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาประกอบกันสร้างเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างใหม่ [6] ซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์และวัสดุเสริมแรง โดยปกติส่วนผสมที่เป็นพอลิเมอร์จะเป็นตัวที่ยึดวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกันและมีความแข็งแรงน้อยกว่าวัสดุเสริมแรง [22] พอลิเมอร์ที่มีการนำมาผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบมีทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset) ในส่วนของวัสดุเสริมแรงมีการนำผงไม้หรือเส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรงเพื่อต้องการลดปริมาณการใช้พลาสติก เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงของพลาสติก [25, 27, 30] นอกจากนี้การประสานยึดเกาะระหว่างพลาสติกและวัสดุเสริมแรงเป็นปัจจัยหลักของการส่งถ่ายความเค้นจากพลาสติกไปยังวัสดุเสริมแรง ซึ่งการเพิ่มการประสานยึดเกาะ

ระหว่างพลาสติกและวัสดุเสริมแรงสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเพิ่มการยึดเกาะ (Coupling agent) [22, 25-27,29] โดยสารเพิ่มการยึดเกาะจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์และวัสดุเสริมแรง อย่างไรก็ตามเพื่อบรรลุสมบัติที่ต้องการของวัสดุเชิงประกอบ สมบัติของวัสดุเสริมแรงและพอลิเมอร์เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำการประเมินอิทธิพล เช่น เส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยสารทางเคมีที่สำคัญ 3 อย่างคือ Cellulose, Hemicelluloses และ Lignin [27] ซึ่งสารทางเคมีเหล่านี้สามารถเสื่อมสภาพในช่วงของกระบวนการขึ้นรูปและมีผลกระทบต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบ [28] นอกจากนี้ในกระบวนการขึ้นรูปจะส่งผลให้ความยาวของเส้นใยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [27] ดังนั้นวิธีการและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ประเภทของสารเพิ่มการยึดเกาะ การเลือกใช้ขนาด ประเภทของวัสดุเสริมแรง และพอลิเมอร์ที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นสิ่งจำเป็นในการพิจารณาเพื่อความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบ

2.1.6 ยางธรรมชาติ (Natural rubber) [26, 29]

ยางธรรมชาติ มีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) กล่าวคือ โมเลกุลของ 1 โมเลกุล จะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 4,000,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C และมี อุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; T_g) ประมาณ -72°C นั้นหมายความว่า หากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของยางธรรมชาติ [12]

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า ใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถันอยู่ ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน

2.17 การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง [28]

สูตรการผสมเคมีพื้นฐานมักประกอบไปด้วยสารเคมีและสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ มากมาย สารเคมีแต่ละชนิดเหล่านี้ล้วนมีหน้าที่เฉพาะอย่าง ดังนั้นผู้ออกสูตรการผสมเคมียางจึงต้องเลือกใช้ชนิดและปริมาณของสารเคมีด้วยความระมัดระวัง เพราะสารเคมีเหล่านี้ไม่เพียงจะมีผลโดยตรงต่อสมบัติของยาง แต่ยังมีผลต่อกระบวนการผลิตและต้นทุนอีกด้วย ปัจจุบันได้มีการผลิตสารเคมีและสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ มากมายให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ด้วยเหตุนี้ในการออกสูตรการผสมเคมียางเพื่อให้ได้ยางที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการและมีต้นทุนต่ำที่สุด ผู้ออกสูตรจำเป็นต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับหน้าที่และประสิทธิภาพของสารเคมีและสารตัวเติมแต่ละชนิด

โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 กลุ่มหลัก ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง

กลุ่ม	องค์ประกอบ
1	ยาง (Elastomers)

2	สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agents)
3	สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)
4	สารกระตุ้นและสารหน่วงปฏิกิริยา (Activators and retarders)
5	สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)
6	สารตัวเติม (Fillers)
7	สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (Plasticizers and processing aids)
8	องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น สี (Pigments) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agents) สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardants) เป็นต้น

2.1.8 สารเสริมแรง (Reinforcement)

สารเสริมแรงเป็นสารเติมแต่งที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างจากพอลิเมอร์ ช่วยทำให้สมบัติทางกลและทางกายภาพดีขึ้น เช่น เพิ่มความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงได้แก่ ไยแก้ว ไยคาร์บอน และเส้นใยธรรมชาติ ลักษณะของวัสดุเสริมแรงสามารถแบ่งตามโครงสร้างได้ดังนี้ วัสดุเสริมแรงชนิดเส้นใย วัสดุเสริมแรงชนิดเป็นอนุภาค และวัสดุเสริมแรงที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นบาง เช่นเดียวกับการเสริมแรงด้วยเส้นใยจะช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการยืด และเพิ่มความแข็งแรง ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

การเลือกใช้วัสดุเสริมแรงควรพิจารณาปัจจัยหลายอย่าง เช่น สมบัติทางกลและทางกายภาพ ขนาดของอนุภาค ความเป็นผลึก การกระจายตัว ความคงทนระหว่างการผลิตและใช้งาน ซึ่งควรคำนึงถึงหลักการดังนี้ [7]

1) เส้นใยหรือวัสดุเสริมแรงที่ใช้ต้องมีค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสสูงกว่าพอลิเมอร์ และเส้นใยต้องมีขนาดยาว 100 เท่าขึ้นไปของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

2) หน้าที่สำคัญของพอลิเมอร์ คือ การส่งผ่านและกระจายแรงระหว่างเส้นใย อีกทั้งช่วยป้องกันการเสียดสีระหว่างเส้นใยแต่ละตัว ป้องกันความชื้นไม่ให้สัมผัสกับเส้นใย ช่วยให้เส้นใยทำงานเป็นกลุ่มในการต้านทานแรงหรือการเสียรูปภายใต้การใช้งาน และป้องกันการซึมผ่านของของเหลวและอากาศ

2.1.9 การขึ้นรูปยางและการคงรูปยาง (Rubber forming and vulcanization) [7]

การขึ้นรูปเป็นขั้นตอนหลังจากการผสม ยางคอมพาวด์ที่ได้จะต้องถูกนำไปขึ้นรูปให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตามความต้องการก่อนที่จะนำไปคงรูปต่อไป

โดยทั่วไป การขึ้นรูปยางคอมพาวด์ให้เป็นผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิคใหญ่ ๆ ได้แก่ การใช้แม่พิมพ์ (Molding) การอัดรีด (Extrusion) และการใช้เครื่องรีดแบบหลายลูกกลิ้ง หรือที่เรียกว่าเครื่องคาเลนเดอร์ (Calender) ปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดเทคนิคการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางก็คือ รูปร่างของผลิตภัณฑ์นั่นเอง ตัวอย่างเช่น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างคงที่ (เมื่อ

มองในแนวภาพตัดขวาง) และมีความยาวมาก ๆ เช่น ท่อยางหรือยางขอบกระจกรถยนต์ ก็จำเป็นต้องใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยการอัดรีด แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นเรียบและมีขนาดใหญ่และยาว เช่น สายพานลำเลียงก็ควรเลือกใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ เป็นต้น

ในบางกรณีการขึ้นรูปและการคงรูปร่างอาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนเดียวกันเช่นในกรณีของการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ แต่ในบางกรณีการขึ้นรูปและการคงรูปร่างแยกออกจากกันอย่างชัดเจน ดังเช่นในกรณีของการขึ้นรูปด้วยการอัดรีดหรือการใช้เครื่องคาเลนเดอร์

การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปร่าง เป็นการขึ้นรูปร่างพร้อม ๆ กับการคงรูปโดยอาศัยความร้อนและแรงอัด การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เป็นวิธีการที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์บางส่วนใหญ่มักจะเป็นยาง โอริง ประเก็น ยางรองแท่นเครื่อง พื้นรองเท้า หรือแม้แต่ยางล้อรถยนต์ ก็ล้วนแล้วแต่ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ทั้งสิ้น การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อนที่จะนำยางไปใส่ลงในแม่พิมพ์ เพราะความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางมีความหนืดต่ำลง ยางจึงไหลเต็มแม่พิมพ์ได้ง่ายยิ่งขึ้น และเมื่อยางไหลเต็มแม่พิมพ์แล้วความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยา คงรูปต่อไป แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปร่างในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายแบบ ได้แก่ แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด(Transfer mold) และแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mold) เป็นต้น การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold) เป็นวิธีการขึ้นรูปที่ใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น ๆ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องลงทุนทางด้านเครื่องจักรสูง เพราะทั้งเครื่องกดอัดและแม่พิมพ์มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องกดอัดที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เครื่องกดอัดไฮดรอลิก [8]

2.1.10 การทดสอบสมบัติแรงดึง (Testing of tensile properties) [7]

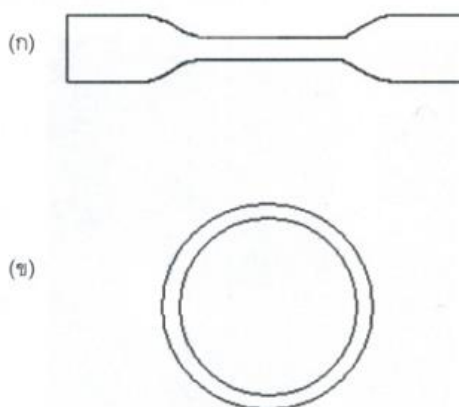
สมบัติแรงดึงที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพของยาง ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) และโมดูลัส (modulus)

สมบัติแรงดึงของยางสามารถวัดได้โดยการดึงขึ้นทดสอบมาตรฐานจนขาดด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ เครื่องที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่จะเรียกว่า เครื่อง Universal testing machine หรือ Tensile testing machine ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ในระหว่างการดึง เครื่องจะทำการวัดและบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะการยืดตัวของยางแล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณและพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด พร้อมทั้งคำนวณหาค่าความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าโมดูลัสที่ความเครียดต่าง ๆ



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง [8]

โดยทั่วไปชิ้นทดสอบที่จะนำมาทดสอบควรได้รับการคงรูปมาแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นทดสอบนั้นได้รับการคงรูปอย่างสมบูรณ์แล้ว อย่างไรก็ตามไม่ควรเก็บชิ้นทดสอบไว้นานเกิน 28 วันหลังการคงรูป (ยกเว้นในกรณีเตรียมชิ้นทดสอบจากผลิตภัณฑ์) สำหรับรูปร่างของชิ้นทดสอบมาตรฐานแบ่ง ออกได้เป็น 2 แบบ คือ รูปดัมเบลล์ และรูปวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 รูปร่างของชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบสมบัติแรงดึง (ก) รูปดัมเบลล์ และ (ข) รูปวงแหวน [7]

2.1.11 ความรู้เกี่ยวกับภาชนะบรรจุอาหาร

ภาชนะบรรจุอาหาร ตามพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 หมายถึง "วัตถุที่ใช้บรรจุอาหารไม่ว่าด้วยการใส่หรือห่อ หรือด้วยวิธีใด ๆ และให้หมายความรวมถึงฝาและจุกด้วย"

ภาชนะที่ใช้ในบรรจุอาหารมีส่วนสัมพันธ์กับการถนอมรักษาอาหารอย่างใกล้ชิดกับอาหารทุกประเภท ไม่ว่าจะเป็นอาหารกึ่งสำเร็จรูป อาหารสำเร็จรูป และอาหารผ่านวิธีการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ เช่น การแช่แข็ง การทำแห้ง หรือแม้แต่อาหารสดกล่าวคือ ภายหลังจากทำวิธีการถนอมอาหารแล้ว ภาชนะบรรจุเท่านั้นที่จะช่วยรักษาคุณภาพของอาหารนั้นให้คงสภาพที่อยู่จนถึงผู้บริโภค ถ้าภาชนะบรรจุไม่มีประสิทธิภาพอาหารนั้นจะเสื่อมเสียไป แม้ว่าจะผ่านวิธีการถนอมอาหารที่ดีเลิศมาแล้วก็ตาม นอกจากนั้นวิธีการถนอมอาหารรักษาอาหารบางวิธีไม่อาจทำได้เลย หากปราศจากภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น การใช้ความร้อนฆ่าเชื้อโรคในอาหารซึ่งบรรจุในกระป๋อง เป็นต้น

ประเภทของภาชนะบรรจุอาหาร ภาชนะบรรจุอาหาร แบ่งออกตามลักษณะการขาย เป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) ภาชนะบรรจุเพื่อการขายปลีก ควรที่จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของตัวสินค้าเองเป็นอันดับแรกว่า จุดอ่อนของความเสียหายเกิดจากอะไร (ความชื้น, ชูด่วน แตกหัก ฯลฯ) จากนั้นต้องพิจารณาถึงการสร้างมูลค่าเพิ่ม อันได้แก่คุณภาพของวัสดุที่ใช้และคุณภาพการพิมพ์ ไม่ควรใช้หญาฟางหรือเศษหนังสือพิมพ์ เป็นสารกันกระแทก เพราะทำให้การป้องกันไม่เพียงพออีกทั้งหมึกพิมพ์บนเศษหนังสือพิมพ์อาจเลอะติดกับตัวสินค้าทำให้ด้อยค่าลงได้ ฉลากที่ภาชนะบรรจุไม่ว่าจะอยู่บนภาชนะโดยตรง หรือจะเป็นแผ่นป้ายติดอยู่ก็ตาม จะต้องมีความสวยงาม ดึงดูดใจผู้ซื้อ คุณภาพการพิมพ์สูง เพราะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการช่วยจัดจำหน่ายสินค้าได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งวัสดุหรือภาชนะบรรจุที่สัมผัสกับสินค้า จะต้องเข้ากันได้กับตัวสินค้า เปื่อง่าย ใช้สะดวก จับถือได้เหมาะสม หรือมีการออกแบบพิเศษอื่น ๆ

(2) ภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่ง การรวมกลุ่มภาชนะบรรจุหน่วยเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ทำการขนส่งชนิดภาชนะนี้มีความสำคัญอย่างมาก เพราะจะเป็นภาชนะที่ช่วยสนับสนุนให้ภาชนะประเภทแรกและตัวสินค้าได้มีโอกาสไปวางขายในตลาดได้ ดังนั้นความแข็งแรงของภาชนะประเภทนี้ควรจะได้รับ การรับรองจากผู้ผลิตหรือผู้ใช้แล้วแต่กรณี บางประเทศได้กำหนดความแข็งแรงของภาชนะบรรจุแต่ละชนิดไว้ด้วย เพื่อช่วยในการลดต้นทุนและความเสียหายควรพิจารณาถึงระบบการขนส่ง ขนถ่าย รวมทั้งข้อมูลด้านการตลาดด้วย [9]

ในส่วนชนิดของภาชนะบรรจุอาหาร เราใช้ภาชนะบรรจุอาหารในการบรรจุอาหารเพื่อรับประทานและเพื่อนำอาหารติดตัวไปเพื่อรับประทานในที่ต่าง ๆ นอกจากนี้เรายังใช้ภาชนะเหล่านี้ช่วยเพิ่มความสะดวกในการจัดเตรียม จัดเก็บอาหารและจัดส่งอาหาร ปัจจุบันมีภาชนะบรรจุอาหารให้เลือกใช้มากมายหลายชนิดดังต่อไปนี้

1) ภาชนะเมลามีนบรรจุอาหาร ภาชนะเมลามีนเป็นภาชนะบรรจุอาหารชนิดหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงเนื่องจากเป็นภาชนะที่น้ำหนักเบา ตกไม่แตก และราคาไม่สูงมาก นอกจากนี้ผู้บริโภคมักคิดว่าภาชนะเมลามีนเป็นภาชนะที่สามารถทนความร้อนได้สูง การใช้ภาชนะเมลามีน

บรรจุอาหารที่อยู่ในรูปของเหลวและมีความร้อนสูง ซึ่งจัดเป็นการใช้ภาชนะบรรจุอาหารที่ไม่เหมาะสม [23] ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ภาชนะเมลามีนบรรจุอาหาร [23]

2) ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหาร นับวันจะได้รับความนิยมมากขึ้นทุกขณะเนื่องจากมีความหลากหลายทั้งรูปร่างและสีสัน วัสดุที่นำมาผลิตมีหลายชนิด และมีระดับคุณภาพต่าง ๆ กัน การจะซื้อมาใช้จึงต้องมีความระมัดระวังเลือกใช้ให้ตรงตามวัตถุประสงค์จริง ๆ ภาชนะบรรจุอาหารจะมีฉลากระบุชนิด ประโยชน์ใช้สอย การเลือกซื้อจึงควรสังเกตที่ฉลากด้วย นอกจากนี้ควรดมกลิ่นว่ามีกลิ่นเหม็นของพลาสติกหรือไม่ หรือถ้าบรรจุอาหารปิดฝาไว้แล้วทำให้อาหารนั้นมีรสกร่อยแสดงว่ามีสารเคมีจากพลาสติกระเหย หรือละลายออกมาได้ ไม่ควรนำมาใช้บรรจุอาหาร [10] ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหาร [10]

3) ภาชนะโฟมบรรจุอาหาร ภาชนะบรรจุอาหารที่ทำมาจากโฟมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ผลิตจากพลาสติกประเภทโพลีสไตรีน (Polystyrene) ถ้าถูกนำไปใช้บรรจุอาหารที่ร้อนจัดและอาหารทอดที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบจะเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้สารอันตรายแตกตัวออกมาปนเปื้อนกับอาหาร [11] ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาชนะโพลีเมอร์บรรจุอาหาร [11]

4) ภาชนะที่เคลือบสารเทฟลอน สารชนิดนี้ช่วยป้องกันการติดของอาหาร ทั้งยังทำความสะอาดง่าย และช่วยลดปริมาณไขมันในการปรุงอาหารได้ด้วย เพราะภาชนะหากไม่เคลือบเทฟลอนจะต้องใช้น้ำมันมากขึ้นเวลาผัด เพื่อไม่ให้อาหารติดกระทะ อนึ่งหากมีการลอกหลุดของสารที่เคลือบปะปนกับอาหาร ก็จะไม่เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค เนื่องจากเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ ร่างกายไม่สามารถดูดซึมเข้าไปได้ [12] แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ภาชนะที่เคลือบสารเทฟลอน [12]

5) ภาชนะเซรามิกบรรจุอาหาร ภาชนะชนิดนี้มีส่วนผสมของสารตะกั่วอยู่หากมืออยู่ในปริมาณที่มีมากเกินไปเป็นอันตรายได้ เมื่อนำไปใส่อาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด รวมทั้งมีข้อเตือนว่าไม่ควรใช้ภาชนะประเภทนี้กับกาแฟร้อน ชาร้อน ซุปมะเขือเทศและน้ำผลไม้ เพราะจะทำให้สารตะกั่วละลายออกมาได้ [12] แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ภาชนะเซรามิกบรรจุอาหาร [12]

6) ภาชนะที่ทำจากสแตนเลส ส่วนผสมของโลหะหลายชนิด เช่น นิกเกิล โครเมียม เหล็ก และโมลิบดีนัม อาจให้ประโยชน์ต่อร่างกาย เพราะสแตนเลสมีส่วนผสมของโครเมียมและธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย เมื่อนำมาใช้หุงต้มก็จะมีธาตุเหล่านี้นออกมาปะปนในอาหารเพียงเล็กน้อย จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย [12] แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ภาชนะที่ทำจากสแตนเลส [12]

7) ภาชนะอาหารจากธรรมชาติ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยธรรมชาติ นำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ เช่น แก้วกาแฟ แก้วกระดาษ ถ้วยกระดาษ หรือจานกระดาษ กล่องบรรจุอาหาร ฯลฯ ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เส้นใยธรรมชาติ ที่นำมาพัฒนาบรรจุภัณฑ์ มีมากมายหลายชนิด เช่น เส้นใยจากกากกล้วย เส้นใยจากกากไผ่ ชานอ้อย หรือเส้นใยจากใบสับปะรด ซึ่งเส้นใยจากธรรมชาติเหล่านี้เมื่อนำมาพัฒนาทำเป็นบรรจุภัณฑ์แล้ว สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [13] แสดงดังรูปที่ 2.14



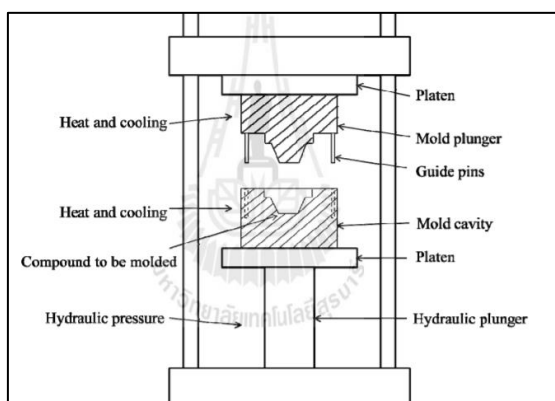
รูปที่ 2.14 ภาชนะบรรจุอาหารจากธรรมชาติ [13]

2.1.12 การขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อน

เทคนิคการอัดร้อน (Hot Compression Molding) เป็นเทคนิคการขึ้นรูปที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง แต่ก็ยังมีการใช้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวางในปัจจุบันก็ยังมีการใช้เทคนิคการอัดพลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซตและยาง

สำหรับเครื่องอัดในการแปรรูปพอลิเมอร์นั้นเริ่มต้นประมาณศตวรรษที่ 19 โดยนักอุตสาหกรรมชื่อ Thomas Hancock ใช้อัดเบ้ายางกระบวนการแปรรูปนี้ถูกจดลิขสิทธิ์ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1870 โดยนักวิทยาศาสตร์สองคนชื่อ John Wesley Hyatt และ S.Hyat กระบวนการแปรรูปโดยการอัดประยุกต์ใช้กับพลาสติกครั้งแรกหลังจาก Bakeland ค้นพบวิธีการสังเคราะห์เรซินฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ในปี ค.ศ. 1980 ปัจจุบันกระบวนการแปรรูปนี้ยังใช้กันอย่างแพร่หลาย

ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือแผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวน 2 ชุดซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อีกแผ่นจะถูกยึดติดกับด้านที่ทำให้สามารถทำการปิดเปิดเบ้าได้เนื่องจากเบ้าถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ส่วนประกอบอื่น ๆ คืออุปกรณ์ให้ความร้อนระบบไฮดรอลิกและอุปกรณ์หล่อเย็นลักษณะเครื่อง วิธีการขึ้นรูปทำได้โดยนำวัสดุผสมเข้าไปในเบ้าและให้ความร้อนขณะทำการอัดจากนั้นใช้ระบบหล่อเย็นโดยใช้น้ำไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้า [14]



รูปที่ 2.15 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน [14]

2.1.13 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

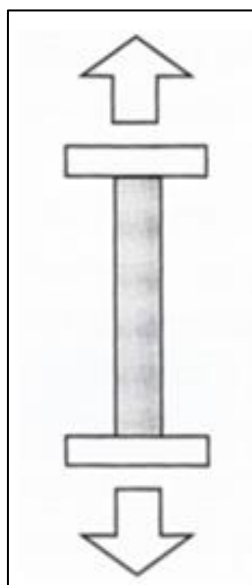
1) การทดสอบแรงกดอัด (Flexural Test)

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยตกแต่งให้มีขนาดประมาณ 127×12.7 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องเลื่อยสายพาน จากนั้นขัดผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านการตัดด้วย กระดาษทรายที่มีค่าความละเอียดระดับต่าง ๆ กันเพื่อลดความเค้นสะสมบนชิ้นทดสอบ ขนาดของชิ้นทดสอบและวิธีการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D790 - 10 ทำการทดสอบแรงดัดโค้งแบบ จุดรองรับ 3 จุด (Three - Point Bending) ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, INSTRON, Model 5565) ภาระกรรมสูงสุด 5 กิโลนิวตัน กำหนดระยะห่างแท่นวางชิ้นทดสอบ (Support Span Length) เท่ากับ 48 มิลลิเมตร ความเร็วที่ใช้ในการกดขึ้นงาน (Crosshead Speed) เท่ากับ 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบหาค่าการต้านทานแรง

ดัดโค้ง (Flexural Strength) และค่ามอดุลัสแรงดัดโค้ง (Flexural Modulus) ของชิ้นทดสอบ โดยทำการหาค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 10 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร โดยจะนำชิ้นงานมาผ่านการกด [15]

2) การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงขาด (Tensile Strength)

เป็นการทดสอบศักยภาพความทนทานต่อแรงดึงของวัสดุ โดยวัสดุบรรจุภัณฑ์จะถูกแรงดึงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งขาดออกจากกัน แล้ววัดค่าแรงดึงสูงสุดขณะที่ขาด และยึดตัวของวัสดุสุดท้ายขณะที่ขาด การทดสอบนี้นับเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกลอย่างง่ายของวัสดุที่เป็นแผ่นหรือฟิล์ม การทดสอบมักจะทำใน 2 ทิศทาง คือ ในแนวทิศที่วัสดุผลิตจากเครื่องจักรแปรรูป เรียกว่า ทิศในแนวของเครื่องจักร (Machine Direction หรือ MD) และอีกทิศหนึ่ง คือแนวที่ตั้งฉากกับ MD (Cross-Machine Direction หรือ CD) [29] แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การทดสอบต้านทานแรงดึง [16]

โดยใช้มาตรฐาน ASTM D828 มาตรฐานการทดสอบแรงดึงของกระดาษและกระดาษแข็ง การทดสอบแรงดึง คือ การทดสอบพื้นฐานในวัสดุศาสตร์และมีการดำเนินการกับวัสดุทั้งหมดหรือน้อยกว่ารวมทั้งกระดาษ ในอุตสาหกรรมกระดาษสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องทราบถึงคุณสมบัติการดึง ผลิตภัณฑ์กระดาษเป็นเส้นพิมพ์มักจะอยู่ในเครื่องอัดโนมัติที่กระดาษจะทำงานผ่านม้วนใหญ่ในระยะทางขนาดใหญ่และที่ความเร็วสูงมาก เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายและขึ้นอยู่กับความต้านทานแรงดึงสูงในระหว่างการผลิต

การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D828

- 1) ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 20 ± 5 มิลลิเมตรต่อนาที
- 2) ความยาวของชิ้นทดสอบ 250 ± 5 มิลลิเมตร
- 3) ความกว้างของชิ้นทดสอบ 25 ± 0.4 มิลลิเมตร
- 4) ความหนาของชิ้นทดสอบวัดจากชิ้นทดสอบจริง

5) ความยาวของชิ้นทดสอบ 180 มิลลิเมตร ต้องยาวพอจากการแยกด้ามจับและยังคงมีชิ้นทดสอบเพียงพอสำหรับการหนีบที่ถูกต้อง [17]

3) การดูดซึมน้ำ (Moisture Content)

ความสามารถในการดูดซึมน้ำของ กระจาดในพื้นที่ 1 ตารางเมตรภายในระยะเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร ใช้สำหรับทดสอบกับกระจาดเหนียวและแผ่นลูกฟูก คำนี้อจะบอกถึงของเหลวที่ใช้กับกระจาด เช่น น้ำกาฬเหลว หมักพืชมพ์ จะซึมเข้าไปในเนื้อกระจาดได้มากน้อยเพียงไร เป็นต้นตลอดจน มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกระจาด ในกรณีที่เป็นกล่องกระจาด ถ้ามีค่าการดูดซึมน้ำมาก ย่อมมีผลต่อค่าแข็งแรงของกล่องลดลง จึงไม่ควรนำกล่องนี้ไปบรรจุผลิตภัณฑ์ ประเภทอาหารแช่แข็ง ผัก ผลไม้ ควรเลือกใช้กล่องที่มีการเคลือบไขที่ผิวของกล่องแทน วิธีทดสอบเรียกว่า คอบบ์เทส (Cobbs Test) เครื่องมือที่ให้ทดสอบคือ Cobbs Sizing Tester โดยใช้มาตรฐาน ASTM D779 มาตรฐานการทดสอบความต้านทานต่อน้ำของกระจาดและวัสดุแผ่นอื่น ๆ

1) ความกว้างของชิ้นงาน 2.5 นิ้ว

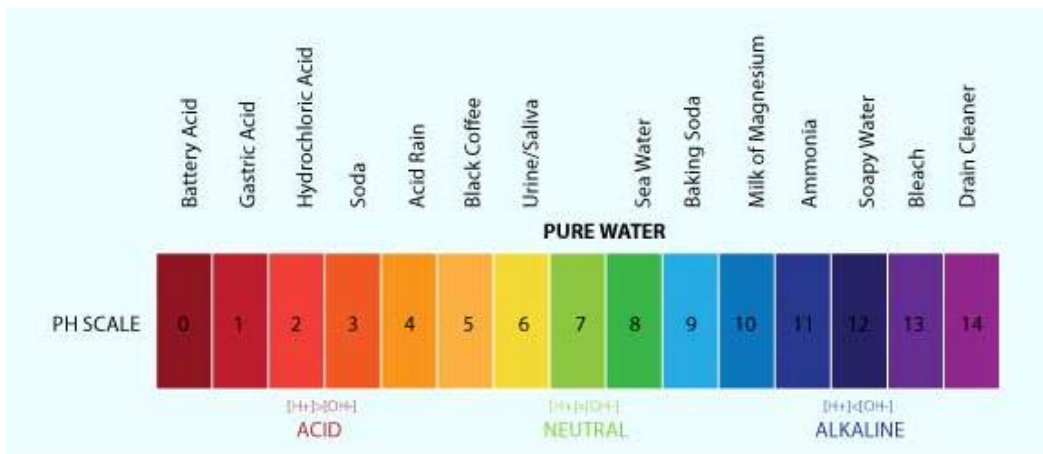
2) ความยาวของชิ้นทดสอบ 2.5 นิ้ว

3) ใช้ส่วนผสมอาหารผสมกับน้ำในอัตราส่วน สีสผสมอาหาร 1.5 กรัม กับน้ำ 100 มิลลิลิตร [18]

2.1.14 การทดสอบทางเคมี

การวัดค่า PH หรือความเป็นกรด-ด่าง หรือค่ากรด-เบส คือการวัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนในสารละลาย เพื่อระบุว่าสารละลายนั้น ๆ มีความเป็นกรดหรือเป็นด่าง การวัดค่า PH สามารถพบได้ทั่วไปในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ จะวัดค่า PH ในกระบวนการย้อมเนื่องจากความคงทนของสีและความเร็วในการย้อมขึ้นอยู่กับค่า PH อุตสาหกรรมเคมี มีการวัดค่า pH เพื่อควบคุมการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่าง ๆ ให้สมบูรณ์หรือป้องกันปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น อุตสาหกรรมกระจาด วัดค่า PH เพื่อลดความเสี่ยงในการใช้สารเคมี และในกระบวนการย่อยและฟอกขาวของกระจาด จะมีการควบคุมค่า PH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเนื่องจากค่า PH มีผลต่อความคงทนและความเร็วในการฟอก อุตสาหกรรมอาหาร น้ำดื่ม และยา มีการวัดค่า PH เพื่อตรวจสอบปฏิกิริยาเคมีในการผลิต รวมถึงการควบคุมคุณภาพรสชาติของอาหารด้วย นอกจากอุตสาหกรรมเบื้องต้นที่กล่าวมาแล้ว การวัดค่า PH ยังพบได้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย รวมถึงในภาคของการเกษตรด้วย เช่น การวัดค่า PH ในดินเพื่อปรับสภาพดินให้เหมาะสมกับการปลูกพืช หรือการวัดค่า PH เพื่อควบคุมให้เหมาะกับการเลี้ยงปลา เป็นต้น

ค่า PH จะมีค่าตั้งแต่ 0-14 โดยสารที่มีค่า PH น้อยกว่า 7 จะเป็นกรด เช่น น้ำส้มสายชู น้ำมะนาว และสารที่มีค่า PH มากกว่า 7 จะเป็นด่าง เช่น สบู่ โซดาไฟ สำหรับสารละลายที่เป็นกลางจะมีค่า PH เท่ากับ 7 เช่น น้ำกลั่น



รูปที่ 2.17 ระดับค่า PH และตัวอย่างสารละลายที่มีค่า PH ต่างกัน [19]

กระดาษลิตมัส เป็นวิธีที่สามารถระบุได้เพียงว่าสารละลายนั้นเป็นกรดหรือด่าง โดยกระดาษลิตมัสจะมี 2 สีคือ คือแดงและสีน้ำเงิน วิธีทดสอบคือ นำกระดาษทั้ง 2 สีไปจุ่มในสารละลายที่ต้องการทดสอบ ถ้าทดสอบแล้วกระดาษสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นสีแดง สารละลายนั้นคือเป็นกรด และถ้าสารละลายนั้นเป็นด่าง กระดาษสีแดงจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

กระดาษ PH เป็นการวัดค่า PH ที่สามารถระบุได้ว่าสารละลายนั้นมีความเป็นกรด-ด่างมากน้อยแค่ไหนซึ่งให้ความละเอียดมากกว่าการใช้กระดาษลิตมัส เนื่องจากจะมีแถบสีเพื่อให้เทียบว่าตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นมีความเป็นกรดหรือด่างเท่าไร หรืออีกวิธีที่ให้ความละเอียดใกล้เคียงกัน คือการใช้สารละลาย Universal Indicator ซึ่งเป็นสารละลายที่จะเปลี่ยนสีเมื่อค่า PH เปลี่ยนไป [19]

2.1.15 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นวิธีที่มนุษย์ใช้ประเมินคุณภาพอาหาร น้ำ และทุกสิ่งทุกอย่างที่ต้องการนำมาใช้ และในปัจจุบันที่มีการซื้อขายสินค้ากันเป็นระบบมากขึ้นก็ทำให้วิธีการประเมินคุณภาพอาหารโดยประสาทสัมผัสต้องพัฒนาให้มีรูปแบบที่น่าเชื่อถือมากขึ้น

ประสาทสัมผัสของมนุษย์เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ดังนี้

- ลักษณะปรากฏ ได้แก่ สี, ขนาด และรูปร่าง
- รสชาติ ได้แก่ กลิ่น และกลิ่นรส
- เนื้อสัมผัส ได้แก่ ความรู้สึกในปาก, ความหนืด และเสียง เช่น เสียงกรอบ

คุณลักษณะเหล่านี้เกิดขึ้นต่อเนื่อง และไม่สิ้นสุดเป็นการยากที่จะให้คะแนนแยกในแต่ละอย่าง เว้นแต่จะทำโดยวิธีพิเศษ เช่น ใช้ผ้าปิดตา ปิดจมูก หรือพรางแสง ประสาทสัมผัสของมนุษย์มีความแตกต่างกันได้มากกว่า 30 แบบ แต่ประสาทสัมผัสในการรับรู้อาหารสามารถรับรู้ได้โดยผ่านทางสัมผัสเหล่านี้ คือ มองเห็น (Sight), กลิ่น (Smell), รสชาติ (Taste), สัมผัส (Touch) และการได้ยิน (Hearing)

1. รูปร่างลักษณะทางกายภาพ เป็นสิ่งที่ปรากฏขึ้นในลำดับที่สอง สามารถที่จะแบ่งเป็น

- 1) รูปร่าง (Shape)

2) พื้นผิวสัมผัส (Surface Texture)

3) การเห็นความเหนียวข้น (Visual Consistency)

Shape และ Size เป็นลักษณะสำคัญของนักเทคโนโลยีการอาหาร เพราะสามารถแก้ไขได้ในระหว่างกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น ชั่นแวน, ลูกเต๋า ชั่นใหญ่ ความยาวในเฟรนช์ฟรายส์ ถั่วที่ตัดเป็นท่อน ๆ ผลิตภัณฑ์ที่อัดด้วยความดัน และความร้อนพร้อม ๆ กัน (Extrusion) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่กรอบพอง, อาหารปลา และอาหารเม็ดที่สุกแล้ว Surface Texture พื้นผิวผลิตภัณฑ์บ่งบอกลักษณะสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น เนื้อที่ถูกอากาศจนมีลักษณะเหี่ยวถึงแห้ง ผักกาดเหี่ยว Visual Consistency ความเหนียวข้นหนืด เป็นตัวบ่งชี้ความข้นหนืดของผลิตภัณฑ์ เช่น การเซตตัวของเจลลี่ น้ำเชื่อมที่ความเข้มข้นต่างกัน เนื้อผลไม้ปั่นที่มีลักษณะข้น ลักษณะปรากฏเหล่านี้เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาให้ความสำคัญเป็นจุดขายของผลิตภัณฑ์ เพราะมีอิทธิพลกับผู้ซื้อสินค้า ในการเลือกซื้อสินค้าบนชั้นวางในซูเปอร์มาร์เก็ต รวมไปถึงการวางอาหารโชว์หน้าร้านอาหาร มีปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณา ได้แก่ รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ ราคา ส่วนผสม ฯ ภาชนะบรรจุ เช่น รูปร่าง การออกแบบ สี สัน ความเด่นสะดุดตา สี สันเด่น สดใส ตัดกัน มีการให้แสงไฟส่องไปที่ผลิตภัณฑ์นั้น

2. ประสาทสัมผัสเรื่องกลิ่น (The Sense of Smell) (Odor กลิ่น / Olfaction การดมกลิ่น)

1) Stimuli คือ สารเคมีต่าง ๆ ที่ระเหยได้

2) Receptors คือ เซลล์รับกลิ่นที่อยู่ในจมูก

3) Perception คือ กลิ่นไม่ค่อยดี กลิ่นแปลก ๆ (Smell) กลิ่นในผลิตภัณฑ์ (Odor)

4) กลิ่นหอม (Aroma) กลิ่นรสอาหาร (Flavor) กลิ่นทั่วไป

การได้รับกลิ่นประสาทสัมผัสของการรับกลิ่นเป็นประสาทสัมผัสชนิดแรกที่มนุษย์ใช้เมื่อเด็กทารกพออายุจะรับรู้ความรู้สึกกลิ่น ได้แก่ จมูก แสดงความรู้สึกในกลิ่น จะเกิดขึ้นเมื่อมีสารที่ระเหยง่ายผ่านเข้าจมูกและผ่านไปยังอวัยวะหรือเซลล์รับกลิ่น (Olfactory Bulb) ที่อยู่บริเวณใต้ตา ด้านในโพรงจมูก ก่อนและหลังการรับประทานอาหารการรับรู้ความรู้สึกกลิ่นจะเกิดขึ้นตลอดเวลา การอธิบายกลิ่นดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับความจำกลิ่น ความไวในกลิ่น ความสามารถได้กลิ่นในแต่ละชนิดของแต่ละคนจะแตกต่างกันไปตามคุณภาพ และความไวของอวัยวะหรือเซลล์รับกลิ่นของคนนั้น ในการทดสอบเกี่ยวกับกลิ่น จะต้องดมตัวอย่างที่มีปริมาณกลิ่นเท่า ๆ กัน โดยเทคนิคการสูดลมหายใจสม่ำเสมอ เมื่อเปลี่ยนตัวอย่างแต่ละครั้งจะต้องรอให้อวัยวะรับกลิ่นปรับตัวจากการทดสอบกลิ่นของตัวอย่างที่ผ่านไปก่อน การตอบสนองเรื่องกลิ่นจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นสาร ให้กลิ่นบางชนิดเมื่อรับรู้ความรู้สึกที่ความเข้มข้นต่ำจะรู้สึกพอใจมากกว่าที่ระดับความเข้มข้นสูง [20]

จุดเริ่มต้นการรับรู้กลิ่น (Olfactory Threshold) Detection Threshold = ความเข้มข้นที่เราบอกได้ว่ามันมีกลิ่น Recognition Threshold = ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกระดับหนึ่งที่สามารถที่จะจำได้ว่ากลิ่นนั้นเป็นกลิ่นอะไร

การปฏิสัมพันธ์ของการรับกลิ่น (Olfactory Interactions) การตอบสนองกลิ่นจะเปลี่ยนไปเมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนไป เช่น ความเข้มข้นน้ำหอมที่ความเข้มข้นต่ำจะเป็นที่พึงพอใจมากกว่าที่ความเข้มข้นสูงๆ

การปรับตัวของอวัยวะรับกลิ่น (Olfactory Adaptation) จมูกจะมีการปรับตัว เมื่อได้รับกลิ่นครั้งแรกจะรู้สึกมากกว่ากลิ่นแรง กลิ่นนั้นก็จะอ่อนลงและจางหายไปเพราะอวัยวะรับกลิ่นมีการปรับตัว การทดสอบจะต้องมีการเว้นระยะตัวอย่าง เพื่อให้อวัยวะรับกลิ่นมีการปรับคืนสภาพ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย เพื่อนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัยชุดโครงการ

โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย กำหนดแผนการดำเนินงานรายกิจกรรมและระยะเวลาที่ใช้ทำการวิจัย 12 เดือน ในปีงบประมาณ 2565 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

[illegible]

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 1 : การพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ มีวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.2.1 วัสดุ และสารเคมี

1) ยางธรรมชาติอัดแท่ง (Natural rubber, NR) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการทำวิจัยในครั้งนี้ โดยเลือกยางธรรมชาติอัดแท่ง เกรด STR 5L จากบริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ดังแสดงในรูปที่ 3.1

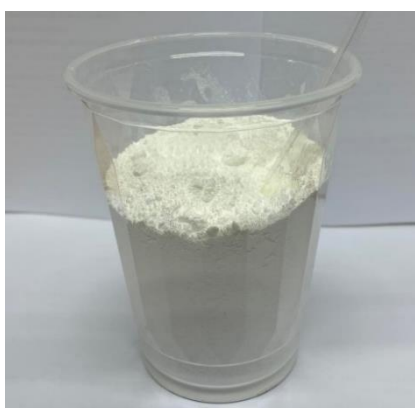


รูปที่ 3.1 ยางธรรมชาติอัดแท่ง เกรด STR 5L

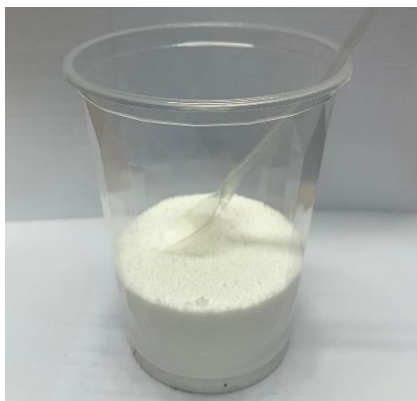
2) สารกระตุ้น (Activator) ในกระบวนการขึ้นรูปยาง ชนิดซิงค์ออกไซด์ (ZnO) นำมาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3) สารกระตุ้น (Activator) ในกระบวนการคงรูปยาง ชนิดกรดสเตียริก (Stearic acid) นำมาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.3

4) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) ใช้สำหรับการทำให้ยางฟูหรือพองตัว ทำใหยางนั้นมีฟองอยู่ภายใน เลือกใช้สารฟู ชนิด ไดไนโตรโซเพนทาเมทาซีนเตตระไมน์ (*Dinitroso pentamethylene tetramine*) ตัวย่อ (DPT) จัดซื้อจาก บริษัท เอเอฟทีริช เคมีคอลส์ จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สารกระตุ้นในกระบวนการคงรูปยาง ชนิดซิงค์ออกไซด์

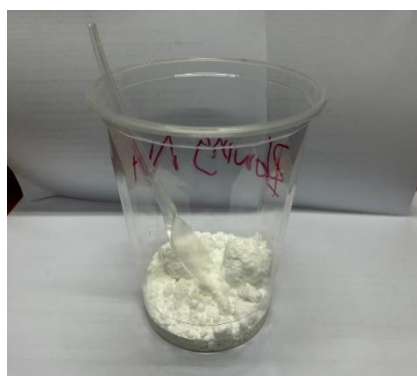


รูปที่ 3.3 สารกระตุ้นในกระบวนการคงรูปร่าง ชนิดกรดสเตียริก



รูปที่ 3.4 สารทำให้เกิดฟอง ชนิดไดไนโตรโซเพนทาเมทาไลน์เตตระไมน์

5) สารเคลือบผิว (Supercell Promotor) เพื่อใช้กับสารฟู Supercell DPT ทำหน้าที่ปรับปรุงพฤติกรรมการสลายตัวของสารฟูในการคงรูป เลือกชนิดโปรโมเตอร์เอ็นพี (Promotor NP) จากบริษัท เอ เอฟ ซูเปอร์เซลล์ (ไทยแลนด์) จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.5



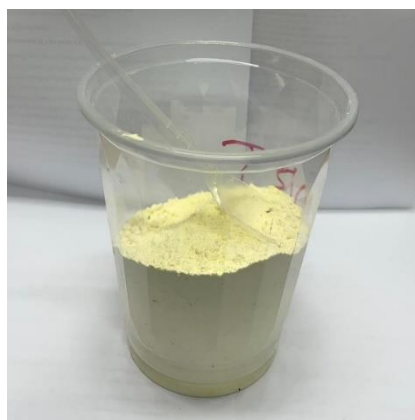
รูปที่ 3.5 สารเคลือบผิว ชนิดโปรโมเตอร์เอ็นพี

6) สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradant) ทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาที่เกิดจากพันธะคู่ของยางกับออกซิเจน งานวิจัยนี้เลือก ชนิดวินสเตย์แอล (Wing stay L) นำมาจากบริษัท พอลิเมอร์อินโนเวชั่น จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ ชนิดวินสเตย์แอล

7) สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) เลือกจากกลุ่มเมอร์แคปโต (Mercapto) ชนิดเมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล (2-mercaptobenzothiazole; MBT) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิ (Primary accelerator) ทำหน้าที่ให้ยางมีเวลาสกรอสันและมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ปานกลาง ซึ่งจะทำให้ยางที่สมบัติเชิงกลที่ดีและมีความทนทานต่อความร้อนสูง นำมาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 สารตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดเมอร์แคปโตเบนโซไทอะโซล

8) สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) เลือกจากกลุ่มกัวนิดีน (Guanidine) ชนิด ไดฟีนิลกัวนิดีน (diphenylguanidine; DPG) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Secondary accelerator) เพื่อทำงานแบบเสริมกัน (Synergistic effect) กับสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิ (Primary accelerator) ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์สูงขึ้น โดยสารดังกล่าวนี้ นำมาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สารตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดไดฟีนิลกัวนิดีน

9) สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) เลือกจากกลุ่มเบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (benzothiazole sulfenamide) ชนิด ไสโคลเฮกซิลเบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์ (N-cyclohexyl-2-benzothiazole; CBS) เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิ (Secondary accelerator) เพื่อทำงานแบบเสริมกัน (Synergistic effect) กับสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิ (Primary accelerator) ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์สูงขึ้น โดยสารดังกล่าวนี้ นำมาจากห้างหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สารตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอะโซลซัลฟิनाไมด์

10) สารตัวเติม (Filler) ชนิดผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Rubberwood sawdust) ทำหน้าที่เสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และเพื่อลดต้นทุน โดยการนำวัสดุที่เหลือใช้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



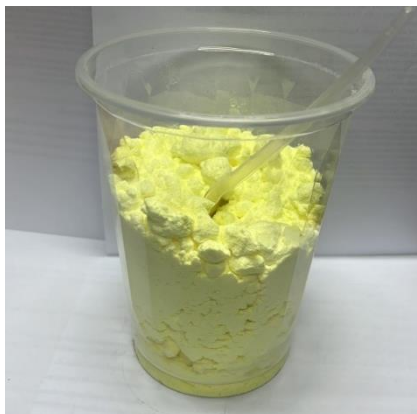
รูปที่ 3.10 สารตัวเติม ชนิดผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา

11) สารทำให้ยางนิ่ม (Plasticizer) ประเภทน้ำมันมิเนอรัล (Mineral oils) โครงสร้างเคมี คือ น้ำมันพาราฟินิก (Paraffinic oil) ทำหน้าที่ให้ยางนิ่ม และทำให้มีความเข้ากันได้ดีกับสารเคมีอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพในการผสม โดยสารดังกล่าวนี้ นำมาจากหางหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 สารทำให้ยางนิ่ม ประเภทน้ำมันมิเนอรัล ชนิดน้ำมันพาราฟินิก

12) สารวัลคาไนซ์ ชนิดกำมะถัน (Sulfur) เป็นสารที่ทำให้โมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ผ่านปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชัน ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นสูง และมีสมบัติที่เสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก โดยสารดังกล่าวนี้ นำมาจากหางหุ้นส่วนกิจไพบูลย์เคมี จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สารวัลคาไนซ์ ชนิดก้ำมะถัน

3.2.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และเครื่องจักร

1) เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ผลิตโดยบริษัท Yong Fong Machinery Co., Ltd. รุ่น YFM 160B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 6 นิ้ว ความยาว 15 นิ้ว จำนวน 2 ลูกกลิ้ง อัตราเร็วของลูกกลิ้งข้างหน้าต่อลูกกลิ้งข้างหลังเท่ากับ 1:1.22 ใช้เป็นเครื่องมือในการบดผสมและรีดยางคอมปาวด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)

2) เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Rubber compress machine) Model: SYR-20LL-1E บริษัท ลี้อี (ประเทศไทย) จำกัด ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องอัดยางคงรูป

3) เครื่องอัดร้อนด้วยแม่แรงดัน มีความดันสูงสุดถึง 200 bar โดยมีแผ่นเหล็กสามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิได้จนถึง 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เครื่องอัดร้อนด้วยแม่แรงดัน

4) ตู้อบอุณหภูมิต่ำ ใช้สำหรับอบลดความชื้นของผงไม้และชิ้นงานทดสอบก่อนทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ตู้อบที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นชิ้นงาน

5) เครื่องชั่งดิจิตอล ใช้สำหรับชั่งปริมาณสารเคมี และส่วนผสมเพื่อนำไปบดผสม รวมถึงชั่งยาผงคอมปาวด์ก่อนเข้าเครื่องอัด ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 เครื่องชั่งดิจิตอล

6) แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน แม่พิมพ์แผ่นบน และแม่พิมพ์แผ่นล่าง ใช้สำหรับประกบเพื่ออัดแบบแม่พิมพ์แผ่นกลางที่ได้ผสมส่วนผสมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน

7) หัวเจาะตัดชิ้นยางเพื่อนำไปทดสอบความทนต่อแรงกด (Compressive force) ตามมาตรฐาน ASTM 575 ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 หัวเจาะตัดชิ้นงานทดสอบ

8) เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ รุ่น NRI-TS500-50 จาก บริษัท นรินทร์ อินสทรูเมนต์ จำกัด ใช้สำหรับทดสอบสมบัติทางกล ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์

9) อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore OO durometer) เป็นอุปกรณ์ทดสอบที่นิยมสำหรับวัสดุที่เป็นโฟมยางหรือมีรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์

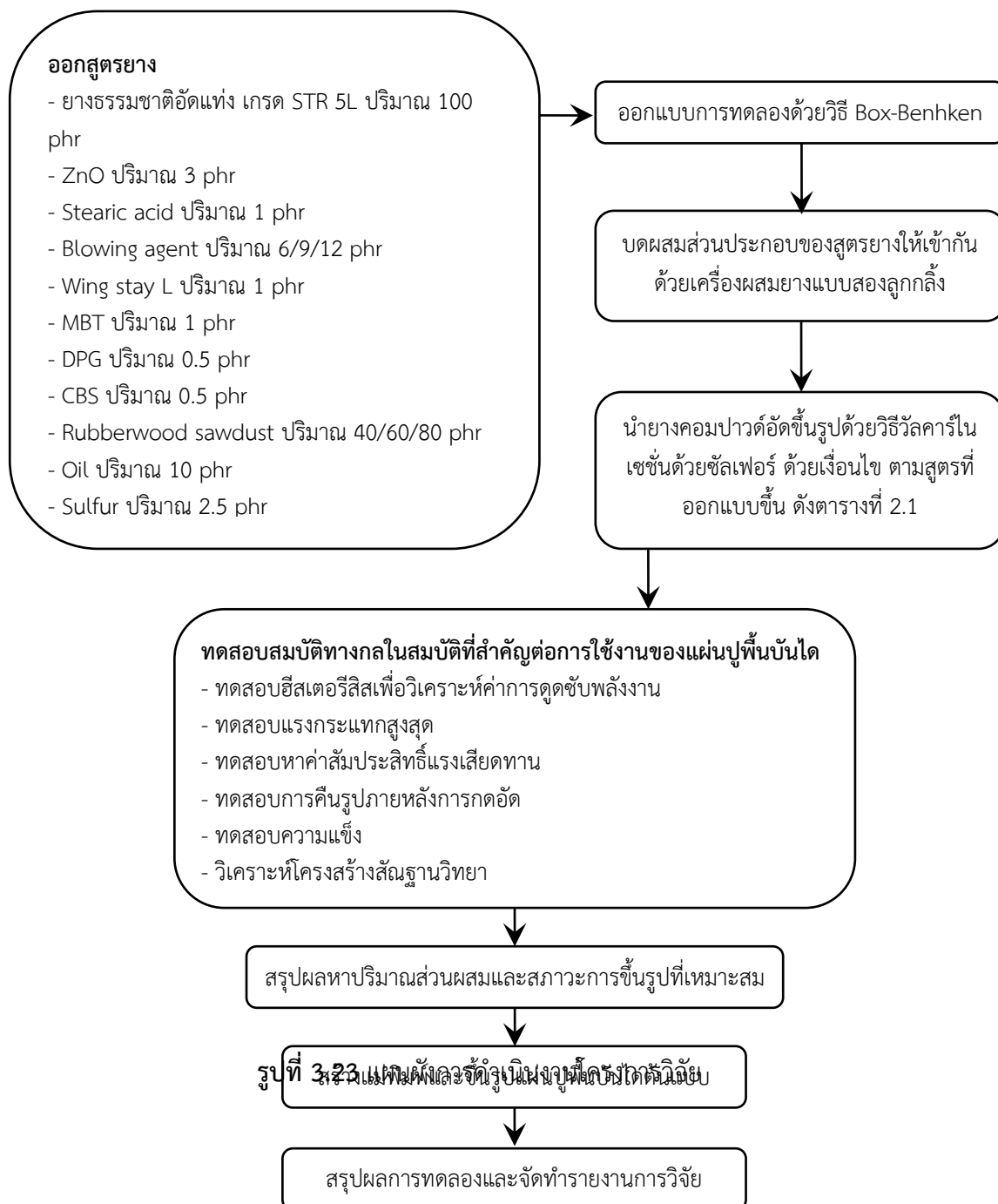
10) แม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นปูพื้นบันได ใช้สำหรับขึ้นรูปวัสดุเซิงประกอบอย่างพาราและซี
เลื่อยไม้ยางพาราเป็นแผ่นปูพื้นบันไดต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นปูพื้นบันได

3.2.3 แผนการดำเนินงาน

ในงานวิจัยการพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ มีแผนการดำเนินงานจริง ดังแสดงในรูปที่ 2.23



ตารางที่ 3.2 การออกแบบการทดลองในสูตรส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบด้วยวิธี Box-Benhken

Run	Blowing agent (phr)	Rubberwood sawdust (phr)	Curing temperature (°C)
1	6	80	120
2	9	60	120
3	12	60	110
4	6	40	120
5	9	60	120
6	9	60	120
7	9	80	130
8	6	60	130
9	9	80	110
10	9	60	120
11	9	40	110
12	12	40	120
13	12	80	120
14	9	60	120
15	6	60	110
16	12	60	130
17	9	40	130

หมายเหตุ: phr คือ part per hundred rubber

3.2.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีต ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เช่น สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ ยางพารา ชีล้อยไม้ การออกสูตรยาง การขึ้นรูปยาง การทดสอบสมบัติทางกล เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย โดยทำการศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น อินเทอร์เน็ต ห้องสมุด บทความ และหน่วยงานต่าง ๆ

2) จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

(1) จัดหาวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบ เช่น ยางพาราแท่ง STR 5L ชีล้อยไม้ยางพารา สารเชิงค้อกไซด์ สารสเตียริคเอสิช สารเรืองแสง และกำมะถัน เป็นต้น

(2) จัดหาและเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย เช่น แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง แผ่นเทฟลอน แม่พิมพ์ขึ้นรูปแผ่นยางรองบันไดต้นแบบ เป็นต้น

(3) ออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน การวิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Design-Expert software ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้

ประกอบด้วยปริมาณสารทำให้เกิดฟอง (x_1) ปริมาณขี้เลื่อยไม้ยางพารา (x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) และได้สูตรที่ใช้ในการผลิตวัสดุแข็งประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา จำนวน 17 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3) ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ เพื่อหาปริมาณส่วนผสมและหาสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม

(1) นำขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ได้จากโรงงานแปรรูปของเล่นไม้มาแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อน และร่อนให้ขี้เลื่อยผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช จากนั้นนำขี้เลื่อยที่ผ่านตะแกรงไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และทำการจัดเก็บโดยการซีลเพื่อรอการผสม ดังแสดงในรูปที่ 3.24



ผงไม้ที่ได้จากการบด

เครื่องร่อนขี้เลื่อยไม้

ผงไม้ที่ผ่านการร่อน

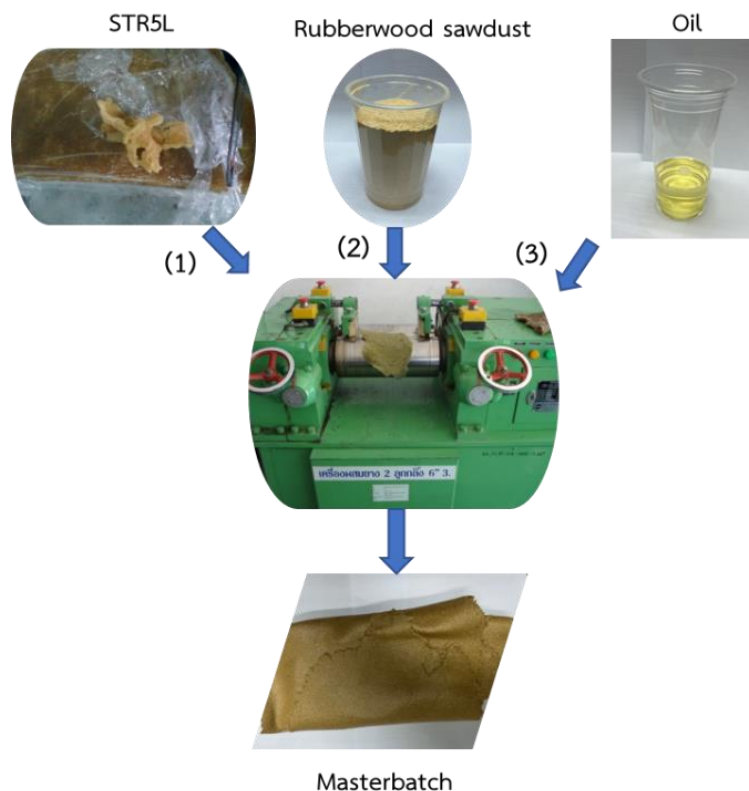
รูปที่ 3.24 กระบวนการร่อนผงไม้

(2) ผสมยางธรรมชาติกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราตามสูตรที่กำหนดดังตารางที่ 2.1 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง และเติมน้ำมันลงไปทีละนิดเพื่อให้ยางธรรมชาติเข้ากับขี้เลื่อยไม้ยางพาราได้ดี ในขั้นตอนนี้เรียกว่า ขั้นตอนการผสมส่วนที่ 1 หรือการเตรียมยางมาสเตอร์แบท ดังแสดงในรูปที่ 3.25 โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ (1) เตรียมยางธรรมชาติอัดแท่ง STR 5L จำนวน 500 g ด้วยวิธีการตัด จากนั้นนำเข้าเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง เป็นเวลา 3 นาที

ขั้นตอนที่ (2) นำขี้เลื่อยไม้ยางพาร ปริมาณตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.1 เทลงในเครื่องบด

ขั้นตอนที่ (3) ใช้น้ำมันเทลงในเครื่องบดผสมเพื่อให้ยางกับขี้เลื่อยผสมกันได้ดี โดยขั้นตอนที่ 2 และ 3 ใช้เวลารวมประมาณ 10 นาที แต่ต้องระวังความร้อนเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงที่เกิดจากขั้นตอนนี้ ซึ่งเมื่อครบเวลาก็จะได้ยางคอมปาวด์ออกมา เรียกว่ายางมาสเตอร์แบท ดังแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการผสมส่วนที่ 1

(3) ผสมส่วนผสมตามสูตรที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นผสมวัสดุให้เข้ากัน เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของส่วนผสมต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนและลำดับของการใส่สารเคมี ดังแสดงใน รูปที่ 3.26

ขั้นตอนที่ (1) นำยางคอมปาวด์มาสเตอร์แบทมาบดกับเครื่องบดผสมแบบสอง ลูกกลิ้ง เป็นเวลา 3 นาที

ขั้นตอนที่ (2) เท ZnO ลงไปผสมใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที

ขั้นตอนที่ (3) นำ Stearic acid ผสมลงไปใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที

ขั้นตอนที่ (4) นำสารฟลู Supercell DPT เป็นสาร Blowing agent ลงไปบดผสม ประมาณ 1-2 นาที

ขั้นตอนที่ (5) นำสาร Promotor NP บดผสมประมาณ 1-2 นาที

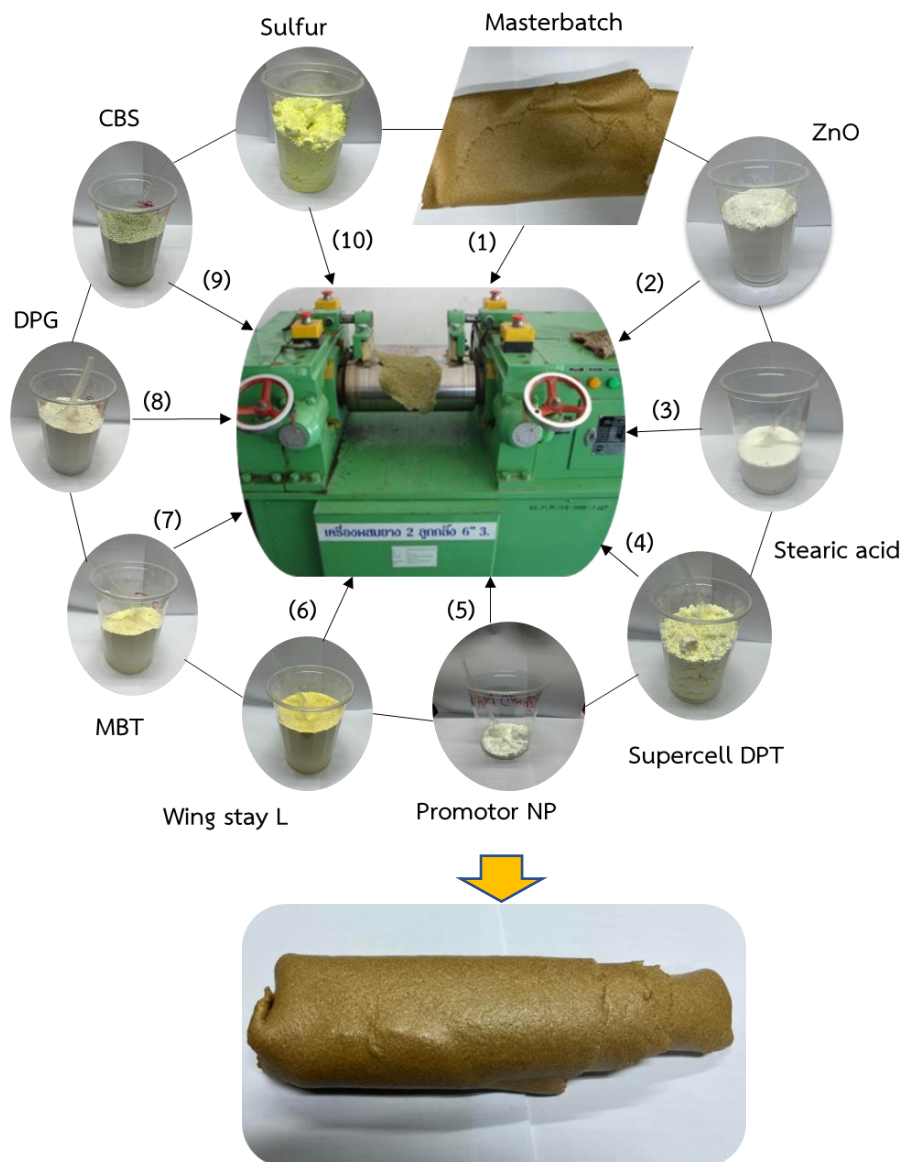
ขั้นตอนที่ (6) เทสาร Wing stay L บดผสมประมาณ 1 นาที

ขั้นตอนที่ (7) เทสาร MBT บดผสมประมาณ 1 นาที

ขั้นตอนที่ (8) เทสาร DPG บดผสมประมาณ 1 นาที

ขั้นตอนที่ (9) เทสาร CBS บดผสมประมาณ 1 นาที ขั้นตอนนี้ต้องระวังเนื่องจาก ยางคอมปาวด์จะมีความหนืดสูงซึ่งจะทำให้ติดลูกกลิ้งของเครื่องบดผสม จากนั้นตั้งยางคอมปาวด์ไว้ เพื่อให้ได้อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนที่ (10) นำยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิห้อง ผสมกับกำมะถัน โดยใช้เวลา 1-2 นาที



รูปที่ 3.26 ขั้นตอนการผสมส่วนที่ 2

(4) ขั้นตอนการทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อน โดยขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมิตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยจะต้องทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการพองตัว โดยจะทำการหาค่าเวลาด้วยวิธีการ Trial ซึ่งในการทดลองนี้จะได้เงื่อนไขดังนี้ ที่อุณหภูมิ 110°C ใช้เวลา 30 นาที 120°C ใช้เวลา 15 นาที และที่ 130°C ใช้เวลา 13 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งขั้นตอนในการทำให้ยางคงรูปมีดังนี้ นำยางคอมปาวด์ที่ได้จากการบดผสมมาชั่งกับตาชั่ง โดยจะใช้ยางที่ปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณแม่พิมพ์ เนื่องจากยางโฟมจะเกิดการขยายตัวจึงต้องใช้ยางปริมาณน้อยกว่าแม่พิมพ์ จากนั้นทำการอัดที่เครื่องอัดร้อนโดยใช้แรงดันที่ 500 psi และกดย้าขึ้นลงจำนวน 3 ครั้งเพื่อไล่อากาศ และจับเวลาในแต่ละเงื่อนไข ซึ่งจะได้ยางคงรูปออกมา ดังแสดงในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ขั้นตอนการทำให้ยางคงรูปด้วยความร้อน

4) การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

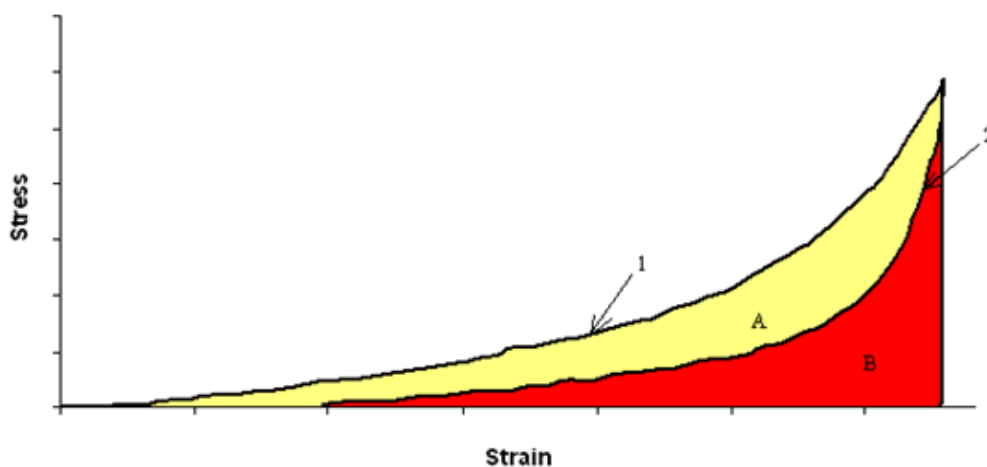
(1) การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบสมบัติทางกล เช่น การทดสอบฮีสเทอรีซิส การทดสอบการคืนรูปภายหลังการกดอัด และการทดสอบความแข็ง จะเตรียมให้ชิ้นงานทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 28.5 มิลลิเมตร และหนา 12.5 มิลลิเมตร โดยในการเตรียมชิ้นงานดังกล่าวนี้จะใช้หัวเจาะกลม ซึ่งลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการเจาะ ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ลักษณะชิ้นงานที่เตรียมไว้สำหรับทดสอบ

5) การทดสอบสมบัติทางกล

(1) การทดสอบสมบัติทางกล ที่เกี่ยวกับวงรอบฮีสเตอรีซิส (Hysteresis loop) เพื่อนำมาคำนวณหาพลังงานดูดซับ โดยทดสอบการกดตามมาตรฐาน 575 และทดสอบการกดอย่างต่อเนื่องจำนวน 5 รอบ ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 3.29 และสามารถคำนวณหาพลังงานดูดซับได้จากพื้นที่ A และในการทดสอบดำเนินการโดยใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลอเนกประสงค์ รุ่น NRI-TS500-50 จากบริษัท นรินท์ อินสทรูเมนต์ จำกัด (สมุทรปราการ ประเทศไทย) ดังแสดงในรูปที่ 3.30



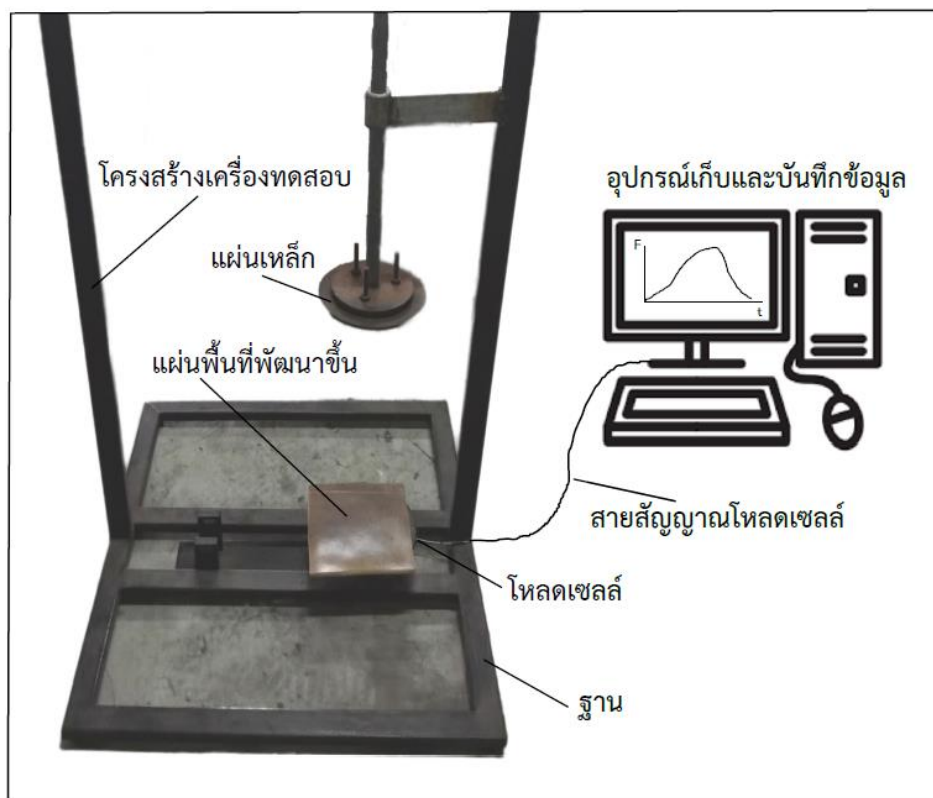
รูปที่ 3.29 ลักษณะกราฟในการทดสอบวงรอบฮีสเตอรีซิส



รูปที่ 3.30 การทดสอบฮีสเตอร์ีซิส

(2) การทดสอบแรงกระแทกสูงสุด เป็นการทดสอบการกระแทกด้วยวิธีแบบตกกระแทก มีอุปกรณ์ในการทดสอบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

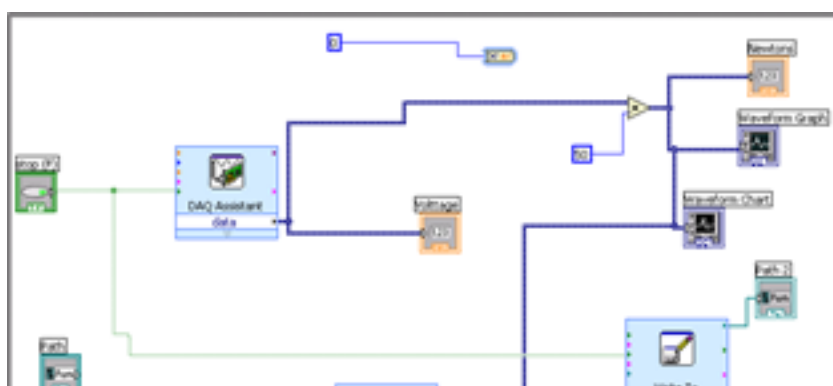
2.1) ชุดทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ชุดทดสอบประกอบไปด้วยโครงสร้างเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร หนา 25 มิลลิเมตร สำหรับสร้างโครงสร้างและฐานเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.31 แผ่นเหล็กที่มีขนาดความหนา 2.5, 5 และ 10 มิลลิเมตร ถูกนำมาทำเป็นน้ำหนักเพื่อสร้างแรงกระแทก โดยตัดเป็นรูปวงกลมที่มีรัศมี 20 เซนติเมตร และสามารถเพิ่มหรือลดแรงกระแทกได้ด้วยการเพิ่มหรือลดน้ำหนักของแผ่นเหล็กตามต้องการ ซึ่งมีท่อเหล็กยึดติดกับแผ่นเหล็กเพื่อเป็นตัวน้ำหนักให้แผ่นเหล็กตกลงมาตามแนวแกนในแนวตั้ง และมีอุปกรณ์วัดแรง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้โหลดเซลล์ (Loadcell) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 9321B ขนาดแรงสูงสุด 10 kN ทำจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ที่ถูกติดตั้งไว้ด้านล่างของฐานรองแผ่นพื้นที่พัฒนาขึ้นสำหรับทดสอบ เมื่อมีแรงมากระทำ โหลดเซลล์จะทำหน้าที่ส่งค่าประจุไฟฟ้า (Coulomb, C) ออกมาตามปริมาณแรงที่มากระทำ ซึ่งค่าประจุไฟฟ้าที่ออกมาจะมีค่าน้อยมากจึงจำเป็นต้องใช้งานผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.31 เครื่องทดสอบการกระแทกแบบตกกระทบในแนวดิ่ง (Drop tower test)

นอกจากนี้ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 5073 ถูกนำมาใช้เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น และแปลงสัญญาณจากค่าประจุไฟฟ้าให้เป็นค่าความต่างศักย์เพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูล เนื่องจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลดังกล่าวจะทำหน้าที่รับและเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปของความต่างศักย์แทน เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลในรูปสัญญาณประจุได้

2.2) อุปกรณ์เก็บข้อมูล อุปกรณ์เก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ คือ อุปกรณ์เก็บข้อมูล ยี่ห้อ National instrument รุ่น NI6009 ทำหน้าที่เก็บข้อมูลสัญญาณที่ออกมาจากอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของความต่างศักย์กับเวลา แล้วส่งต่อข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล โดยคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่สำหรับบันทึกข้อมูลสัญญาณที่ออกมาจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล ซึ่งต้องมีซอฟต์แวร์ในการแปลงและเก็บบันทึกข้อมูลของสัญญาณ จากความต่างศักย์ที่เป็นค่าของแรงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะได้ข้อมูลออกมาในรูปแบบของหน่วยแรง ด้วยการเขียนบล็อกไดอะแกรมในซอฟต์แวร์ Labview ดังแสดงในรูปที่ 2.32 โดยข้อมูลจะถูกบันทึกเป็นไฟล์ “.lmv” และจะสามารถบันทึกค่าได้จำนวน 10,000 ข้อมูลต่อ 1 วินาที

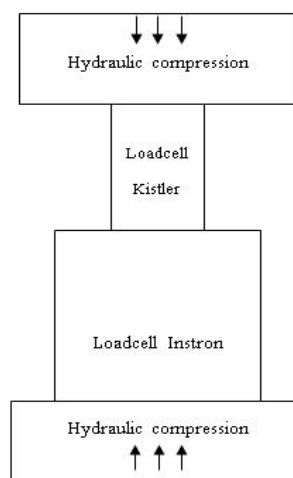
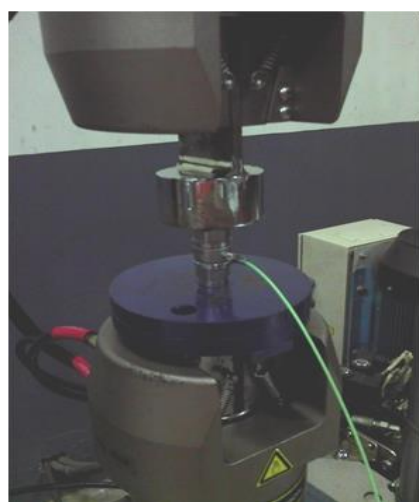


รูปที่ 3.32 แสดงบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์

ในการทดลองแต่ละครั้งจะต้องทำการตรวจสอบค่าการวัดแรงของโหลดเซลล์ (Calibration test) เนื่องจากต้องการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของโหลดเซลล์และโปรแกรมที่เขียนขึ้น เพื่อเก็บบันทึกข้อมูล จึงมีการทำการทดสอบเพื่อดูค่าแรงที่วัดออกมาจากโหลดเซลล์เปรียบเทียบกับแรงที่วัดได้จากเครื่องทดสอบวัสดุมาตรฐาน (Universal testing) โดยการใช้เครื่องทดสอบวัสดุมาตรฐานกดโหลดเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.33 เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าแรงที่โหลดเซลล์และเครื่องทดสอบวัสดุ จากผลการทดสอบพบว่า ค่าแรงที่วัดได้มีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 3 ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนของโหลดเซลล์และถือว่าโหลดเซลล์สามารถวัดแรงได้ถูกต้องและแม่นยำ

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าแรงที่วัดได้จากโหลดเซลล์และเครื่อง Instron

No.	Kistler (N)	Instron (N)	Difference (N)	% Error
1	2,520	2,586	66	2.6
2	3,620	3,696	76	2.1
3	6,630	6,732	102	1.5



รูปที่ 3.33 การทดสอบเปรียบเทียบค่าแรงโหลดเซลล์และเครื่องทดสอบวัสดุมาตรฐาน

การทดสอบแรงกระแทกในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการทดสอบด้วยการทดสอบแบบตก (Drop tower test) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการทดสอบที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย เพื่อจำลองการทดสอบแบบหกล้มกระแทกลงบนพื้น ในการทดลองนั้นทางทีมวิจัยได้นำทฤษฎีการชนหรืออิมพัลโมเมนตัม เพื่อมาวิเคราะห์ผลของแรงกระแทกที่เกิดขึ้นผ่านการวัดค่าด้วยโพลเดอร์เซลล์ที่แสดงออกมาในรูปแบบความสัมพันธ์ของแรงและเวลา ดังแสดงในสมการที่ (3.1)

$$\Sigma m_i(v_i)_1 + \Sigma \int_{t_1}^{t_2} F_i dt = \Sigma m_i(v_i)_2 \quad (3.1)$$

เมื่อ m_i คือ มวลของน้ำหนักกระแทก (kg)

$(v_i)_1$ คือ ความเร็วของมวลกระแทก (m/s)

$(v_i)_2$ คือ ความเร็วของมวลกระแทกที่แผ่นพื้นคืนรูป (m/s)

F คือ แรงปฏิกิริยาที่กระแทกลงบนแผ่นพื้น (N)

t คือ ช่วงเวลาของการกระแทกและการคืนตัวของแผ่นพื้น

การทดสอบแรงกระแทกประกอบด้วยเงื่อนไข คือ ความเร็วในการกระแทก 1.98 m/s คำนวณมาจาก $v = \sqrt{2gh}$ ที่ v คือ ความเร็ว มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ที่ค่าเท่ากับ 9.81 m/s² และ h = ความสูง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

3) การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน วิธีการอ่านค่ามุม (Sliding angle) จะถูกนำมาทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.34 ซึ่งจะหาได้จากการวางชิ้นงานไว้บนรางเลื่อนไถล จากนั้นก็ทำการยกรางเลื่อนไถลขึ้น เมื่อชิ้นงานเริ่มเคลื่อนที่ก็บันทึกค่ามุมองศา ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าองศาที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานตามสมการที่ (3.2)

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน} = \tan\theta \quad (3.2)$$

(4) การทดสอบการคืนรูปภายหลังการกดอัด ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM 575 หรือ ASTM D1055 โดยตัดชิ้นงานเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.5 มิลลิเมตร สูง 12.5 มิลลิเมตร วางชิ้นตัวอย่างในแผ่นเหล็กอัด กดให้ยุบตัว 50% จากความสูงเดิม ตั้งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ วางชิ้นตัวอย่าง 30 นาที จากนั้นวัดความสูงของชิ้นตัวอย่าง

(5) การทดสอบความแข็งของแผ่นวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา เป็นการปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D2240 โดยวัดความแข็งด้วย Durometer แบบ Shore OO scales ดังแสดงในรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การทดสอบความแข็ง

6) การวิเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานวิทยา เป็นการตรวจสอบการเกิดรูพรุนภายในวัสดุเชิงประกอบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Field Emission Scanning Electron Microscopy; FESEM) รุ่น Apreo ดังแสดงในรูปที่ 3.35 ด้วยศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ และกำลังขยาย 500 เท่า อย่างไรก็ตาม ก่อนการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผิวของชิ้นงานทดสอบมีการเคลือบด้วยทองคำ



รูปที่ 3.35 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง มีวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1) ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับผู้สูงอายุ และทฤษฎีอื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม

โดยศึกษาเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยวิเคราะห์ความต้องการของผู้สูงอายุ เพื่อนำมาออกแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้เมทริกซ์ 2 เฟสมาช่วยในการวิเคราะห์ การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิด ออกแบบโดยมีผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง เทคนิคบ้านคุณภาพ การยศาสตร์ ขนาดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุ

2) สำรวจพฤติกรรม ปัญหา ความต้องการ ขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุ และกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุ

โดยวัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ ศึกษาสภาพทั่วไปของกลุ่มผู้สูงอายุเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรม ประกอบด้วย การเก็บข้อมูลด้านปัญหาการใช้งานและความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้เอนกประสงค์ เก็บขนาดสัดส่วนของผู้สูงอายุตามหลักกายศาสตร์ พร้อมทั้งสำรวจกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุ โดยจะเป็นการสอบถามและสนทนากับผู้ที่เกี่ยวข้องในกลุ่มผู้สูงอายุ เพื่อวางแผนในการออกแบบสอบถามและการสำรวจความต้องการของลูกค้าต่อไป

3) สำรองข้อมูลเสียงเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer; VOC) และความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)

ขั้นตอนนี้จัดทำแบบสอบถามที่ 1 (แบบสอบถาม QFD) ดังแสดงในภาคผนวก ก สำหรับใช้ในการศึกษาการเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer; VOC) ตามแนวทางของเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) จากนั้นนำแบบสอบถามไปทำการสำรวจความต้องการของลูกค้าเพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการอย่างแท้จริง โดยจะสอบถามกลุ่มร้านค้าตัวแทนจำหน่าย สนทนากลุ่มย่อย ลูกค้าที่เป็นกลุ่มผู้สูงอายุ และกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

4) นำถ้อยคำการเรียกร้องของลูกค้า (Voice of Customer; VOC)

นำข้อมูลจากข้างต้นมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่แล้วจำแนกว่าถ้อยคำใดของลูกค้าที่จัดเป็นคุณลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้เอนกประสงค์ โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพ คือ แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) และรวมคุณลักษณะของการต้องการที่มีความซ้ำซ้อนกันโดยใช้แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams) มาช่วยจัดกลุ่มของความต้องการด้านคุณลักษณะผลิตภัณฑ์เฟอร์เจอร์สำหรับผู้สูงอายุเพื่อแก้ไขความสับสนและนำปัญหามาสร้างให้เกิดรูปที่ชัดเจนมากขึ้น

จากนั้นหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อความต้องการของผู้ใช้งานจากแบบสอบถามที่ 2 เป็นแบบสอบถามของเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ดังแสดงในภาคผนวก ข โดยการตอบแบบสอบถามเป็นการตอบแบบให้คะแนนความสำคัญแบบสเกล 5 ระดับ โดยการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการสำรวจความต้องการของลูกค้า ได้เลือกใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% และได้เลือกใช้สมการกรณีไม่ทราบจำนวนประชากรของ W.G.Cochran แสดงดังสมการที่ (3.3)

$$n = \frac{P(1-P)Z^2}{d^2} \quad (3.3)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวอย่างที่ต้องการ

P คือ สัดส่วนประชากรที่ผู้วิจัยต้องการสุ่ม (กำหนดใช้ $P = 0.20$)

Z คือ ระดับความมั่นใจที่กำหนดหรือระดับนัยสำคัญทางสถิติ (กำหนดใช้ $Z = 1.96$ เพราะได้กำหนดความเชื่อมั่น 95%)

d คือ สัดส่วนความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้เกิดขึ้น (กำหนดใช้ $d = 0.05$ เพราะได้กำหนดความเชื่อมั่น 95%)

$$n = \frac{0.20 (1-0.20) 1.96^2}{0.05^2}$$

$$n = 246$$

ดังนั้นในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 246 ตัวอย่าง ในการสำรวจเก็บข้อมูลระดับคะแนนของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วย ซึ่งในกลุ่มตัวอย่างในการสำรวจประกอบไปด้วย กลุ่มผู้ผลิต ร้านค้าตัวแทนจำหน่าย กลุ่มผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์จากไม้ยางพารา และร้านขายโต๊ะ-เก้าอี้ทั่วไป

จากนั้นหาค่าเฉลี่ยค่าน้ำหนักความสำคัญของความต้องการ (Important Rating; IMP) ในบ้านคุณภาพ แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามเป็นการเลือกให้ระดับคะแนน ผลคะแนนที่ได้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean) และจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิตจะมีการนิยมนำมาใช้มากที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (3.4)

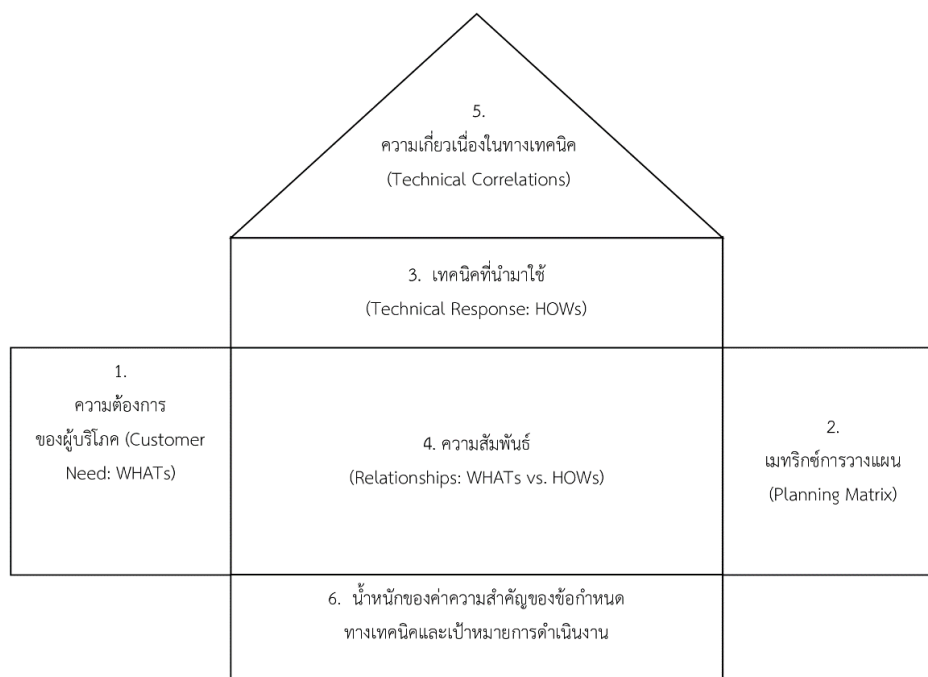
$$\text{Geometric Mean} = \sqrt[n]{N_1 \times N_2 \times N_3 \times \dots \times N_n} \quad (3.4)$$

เมื่อ N = ค่าของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม
 n = จำนวนข้อมูล

5. การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

ในส่วนของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) เริ่มจากการนำเสียงของลูกค้า (Voice of customer) แปลงหน้าที่เป็นตัววัดผลงาน ซึ่งเป็นตัวแทนคุณลักษณะทางด้านคุณภาพ (SQCs) ที่จะแสดงออกมาในรูปของผลงานที่สามารถวัดค่าได้ เช่น ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical requirement) หลังจากได้ SQCs แล้วต่อไปก็จะทำการคำนวณหาค่าเป้าหมายและอัตราของการปรับปรุงอยู่ที่ตำแหน่งใด จากนั้นจะคำนวณค่าความสำคัญของตัววัดผลงาน ซึ่งทั้ง SQCs และค่าความสำคัญของตัววัดผลงานจะนำไปใช้ต่อไปในเมทริกซ์ที่สอง ดังนั้นขั้นตอนในการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) จะเป็นการสร้างบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) ดังแสดงในรูปที่ 3.36 ซึ่งจะประกอบด้วยเมทริกซ์ย่อย ๆ 6 ส่วน และมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

- 1) สร้างความต้องการของลูกค้า (Customer need) เป็นการนำความต้องการของลูกค้าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมการมาใส่ในทางด้านซ้ายมือหรือในส่วนที่ 1 ของบ้านคุณภาพ (HOQ)
- 2) สร้างเมทริกซ์การวางแผน (Planning matrix) เป็นวิธีในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์รูปแบบเก่าและรูปแบบใหม่ เพื่อกำหนดอัตราการปรับปรุงในผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะของเมทริกซ์การวางแผน ดังแสดงในรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ส่วนประกอบของเมทริกซ์การวางแผน (อรรถกร, 2547)

3) การกำหนดข้อกำหนดทางเทคนิคที่ต้องการ (Technical requirement) ในส่วนของเทคนิคที่ต้องการนี้จะเป็นคำอธิบายทั่วไปของผลิตภัณฑ์ และการบริการในเชิงตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ (SQC) หรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ความต้องการของผลิตภัณฑ์ทางด้านเทคนิค (Product Technical Requirements, PTR) ที่มีความเกี่ยวข้องกับผู้บริโภคโดยตรง โดยในการหาเทคนิคที่นำมาใช้นี้จะได้มาจากการระดมสมอง (Brain storming) หลังจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาใส่ในเมทริกซ์ที่ 3 ของบ้านแห่งคุณภาพ และทำการกำหนดเป้าหมายทางด้านเทคนิค โดยจะพยายามกำหนดให้เป็นค่าที่สามารถวัดได้ และจะนำข้อมูลที่ได้มาใส่ในเมทริกซ์ที่ 6 ของบ้านแห่งคุณภาพ หลังจากนั้นจะทำการกำหนดค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางการทำการปรับปรุง โดยจะเป็นการให้สัญลักษณ์ แสงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์และความหมายของสัญลักษณ์ในค่าการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย
↑	ยิ่งมากยิ่งดี
○	เป้าหมายเหมาะสม
↓	ยิ่งน้อยยิ่งดี

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ลูกค้าต้องการและตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ (SQC) หรือส่วนที่ 1 และส่วนที่ 3 ของบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งการทำขั้นตอนนี้อาจจำเป็นต้องเข้าใจถึงความสามารถของแต่ละ

เทคนิคต่อระดับความพึงพอใจของลูกค้าทั้งหมด เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววัดทางเทคนิคนั้นจะสามารถช่วยตอบสนองต่อแต่ละความคาดหวังของลูกค้าได้อย่างไร ในการให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้าและเทคนิคที่ต้องการส่วนใหญ่ในประเทศญี่ปุ่นจะนิยมใช้สัญลักษณ์หรือตัวเลข 0, 1, 3 และ 9 แทนความสัมพันธ์ ไม่มีความสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์น้อย มีความสัมพันธ์ปานกลาง และมีความสัมพันธ์มาก ตามลำดับ โดยมีเกณฑ์การให้ระดับคะแนนความสัมพันธ์ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวเลขและความหมายของตัวเลขในเมทริกซ์ความสัมพันธ์

ตัวเลข	ความหมาย
-ว่าง-	ไม่มีความสัมพันธ์
1	มีความสัมพันธ์น้อย
3	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
9	มีความสัมพันธ์มาก

5) หาความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค (Technical correlations) ส่วนนี้จะเป็นส่วนหลังคาของบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งจะแสดงถึงความเกี่ยวเนื่องของเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ โดยจะเป็นการระบุว่าเทคนิคใดที่มีความเกี่ยวข้องกันบ้างและมีความเกี่ยวข้องกันมากน้อยเพียงใด สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของตัวแทนลักษณะเฉพาะและความหมาย แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค

สัญลักษณ์	ความหมาย
○	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
ช่องว่าง	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

6) ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority relationships) ในส่วนนี้จะเป็นการบ่งบอกถึงความสำคัญในปริมาณต่าง ๆ กัน เพื่อให้กลุ่มผู้พัฒนาได้ทราบว่าความต้องการใด และตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพใดที่ต้องได้รับการเอาใจใส่อย่างสูง โดยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนย่อย ๆ คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute technical requirement important) เป็นการบอกลำดับความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (3.5) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ (Relative technique requirement important) เป็นการแสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์เป็นเปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (3.6)

$$IMP = \sum (A \times B) \quad (3.5)$$

เมื่อ	IMP	คือ	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์
	A	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคต่อความต้องการของลูกค้า
	B	คือ	ค่าลำดับที่ของการให้น้ำหนักเริ่มต้น

$$\% \text{ IMP} = (\text{IMP} / \text{ผลรวมทั้งหมด IMP}) \times 100 \quad (3.6)$$

เมื่อ % IMP คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบ

หลังจากที่ได้ทำการสร้างเมทริกซ์ย่อย ๆ ทั้ง 6 ส่วนของบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) แล้ว จะทำการนำข้อมูลส่วนต่าง ๆ ทั้ง 6 ส่วนมาประกอบกัน และเมื่อได้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) แล้วต่อไปก็จะทำเมทริกซ์การแปลงการออกแบบของผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยต่อไป

6. การประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design deployment) เป็นส่วนการกระจายหรือแยกส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เราพิจารณา โดยจะพิจารณาถึงส่วนประกอบย่อยที่สามารถตอบสนองต่อเทคนิคที่นำมาใช้ได้จากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการดำเนินการในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย

1) เลือกเทคนิคที่นำมาใช้ (Technical requirement) ในการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคจากเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์หรือบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) มาแปลงเป็นข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยในที่นี้ได้ทำการเลือกข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อกำหนด โดยข้อกำหนดทางเทคนิคทุกข้อมีความสำคัญและมีผลต่อความต้องการของลูกค้า จากนั้นจะนำข้อกำหนดทางเทคนิคทั้งหมดมาใส่ทางช่องซ้ายมือของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ

2) นำค่า IMP มาใส่ในเมทริกซ์การแปลงการออกแบบ โดยค่า IMP นี้มาจากค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบของเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยจะนำมาใส่ทางด้านซ้ายของเมทริกซ์การแปลงการออกแบบติดกับข้อกำหนดทางเทคนิค

3) กำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part characteristics) โดยในการกำหนดข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยจะได้มาจากการระดมสมอง (Brain storming) ช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยและข้อกำหนดทางเทคนิคที่จะส่งผลต่อความต้องการของลูกค้า หลังจากนั้นทำการกำหนดเป้าหมายของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย โดยจะพยายามกำหนดให้เป็นค่าที่สามารถวัดได้ และทำการกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงทิศทางการปรับปรุง โดยใช้สัญลักษณ์แสดงดังตารางที่ 3.6

4) สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ (Relationships) ซึ่งจะทำให้ค่าระดับคะแนนความสัมพันธ์แบบ (1, 3, 9) เช่นเดียวกับในหัวข้อ 4) ในขั้นตอนการประยุกต์ใช้เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์

5) คำนวณหาลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ (Priority Relationships) ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์โดยประกอบด้วย 2 ส่วนย่อย ๆ คือ

- คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดส่วนประกอบย่อยสมบูรณ์ (Absolute part characteristics important) คำนวณจากสมการ 3.5

- คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยโดยเปรียบเทียบ (Relative part characteristics important) คำนวณจากสมการ 3.6

เมทริกซ์การแปลงการออกแบบนี้จะทำให้ทราบได้ว่าคุณลักษณะของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยตัวใดที่มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้าและมีการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อยโดยเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นตัววัดผลคุณลักษณะเหล่านั้นว่ามีความสำคัญมากหรือน้อยเพียงใดจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์โต้ตอบแบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยต่อไป

7. การประยุกต์ใช้หลักการยศาสตร์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์

ซึ่งทางผู้จัดทำวิจัย ได้ใช้สถิติขนาดสัดส่วนขนาดร่างกายต่าง ๆ ของผู้สูงอายุที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสถิติจากการค้นคว้าวิจัยจากหน่วยงานต่าง ๆ มาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์โต้ตอบแบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วย เพื่อให้รูปแบบของผลิตภัณฑ์เหมาะสมกับสรีระของผู้ใช้งาน

8. การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบโดยมีผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centered Design, HCD)

เป็นกระบวนการค้นคว้าและออกแบบเทคโนโลยีที่พัฒนาการแก้ปัญหาของปัญหาในมุมมองของผู้ใช้หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น ๆ ในทุก ๆ ขั้นตอนของปัญหาเกิดขึ้นว่าจะมีการแก้ไขปัญหาในแต่ละขั้นตอนได้อย่างไร การทำ HCD นั้นเป็นวิธีเหมือนทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องใช้การเฝ้าสังเกตปัญหานั้น ด้วยบริบทต่าง ๆ จนสามารถนำมาหาข้อสรุปร่วมกันในทีม สร้างทฤษฎีหรือแนวคิดจะมาพิสูจน์ในการแก้ไขปัญหา การพัฒนาการแก้ไขปัญหาและนำมาทดลองดูว่าแก้ได้ไหม ซึ่งต้องมีการเฝ้าสังเกตต่อไปและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาปรับปรุงหรือทำให้การแก้ไขปัญหาดีขึ้น กระบวนการทำ HCD นั้นเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับนวัตกรรมอย่างมากเพราะเป็นการทำสิ่งใหม่ ๆ ที่ทำให้ชีวิตของผู้ใช้นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นนั่นเองวิธีการซึ่งนำไปสู่การแก้ปัญหา โดยมีขั้นตอนปฏิบัติอยู่ 5 กระบวนการ ได้แก่

- 1) การเข้าใจปัญหา (Empathy) เป็นการทำความเข้าใจต่อกลุ่มเป้าหมายผู้สูงอายุให้มากที่สุด เพื่อจะสร้างสรรค์หรือแก้ไขสิ่งใดก็ตามจะต้องเข้าใจถึงกลุ่มเป้าหมายชัดเจนมากขึ้น

- 2) การกำหนดปัญหา (Define) ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาตีกรอบความต้องการและวิเคราะห์ปัญหาของผู้สูงอายุ โดยวิเคราะห์ขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ร่วมกับการใช้ผลิตภัณฑ์โต้ตอบแบบอเนกประสงค์

- 3) ระดมความคิด (Ideate) การระดมความคิดร่วมกับอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านการผลิต ด้านการตลาด โดยเน้นการหาแนวคิดและแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้มากที่สุด หลากหลายที่สุด

- 4) สร้างต้นแบบ (Prototype) ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบโต้ตอบแบบอเนกประสงค์

5) การทดสอบ (Test) โดยนำต้นแบบที่สร้างขึ้นมา ไปสำรวจกับผู้ใช้หรือกลุ่มเป้าหมาย เพื่อสังเกตคุณภาพในการใช้งาน โดยนำผลตอบรับ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดจนคำแนะนำมาใช้ในการพัฒนา และปรับปรุงต่อไป

9. ออกแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วย

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลจากการสำรวจ และรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามในกลุ่มผู้สูงอายุ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ และการออกแบบโดยผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง ขั้นตอนก่อนหน้าซึ่งเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ ส่งต่อให้กับทีมงานนักออกแบบเพื่อกำหนดเป็นแนวทางที่ช่วยให้นักออกแบบมีข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วย

10. สำนวจความพึงพอใจของผลิตภัณฑั้ะเก้าอ้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

ในขั้นตอนนี้เป็นการสำวจความพึงพอใจของผลิตภัณฑั้ะเก้าอ้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยรูปแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาจำนวนอย่างน้อย 3 รูปแบบ โดยในขั้นตอนนี้จะกำหนดให้ลูกค้า คือ กลุ่มร้านค้าตัวแทนจำหน่ายทั่วไป กลุ่มลูกค้าผู้สูงอายุ และลูกค้าที่ใช้ผลิตภัณฑั้ะเก้าอ้ โดยแบบสอบถามการสำวจความพึงพอใจ ดังแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งรายละเอียดการตอบแบบสอบถามผู้วิจัยได้ใช้ระดับคะแนนความพึงพอใจที่มีต่อลักษณะผลิตภัณฑั้ะเก้าอ้ ด้านการออกแบบ ด้านการผลิต และด้านคุณภาพของผลิตภัณฑั้ะเก้าอ้ เป็นต้น

11. สรุปผลการวิจัย และเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัยโครงการวิจัยย่อยที่ 3 : การพัฒนาบรรจุภัณฑั้ะปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ มีวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.4.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์

1) กาบมะพร้าว

เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมการขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 3.7 และเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยจากมะพร้าวเพื่อการขึ้นรูป แสดงดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.37 กาบมะพร้าว



รูปที่ 3.38 เส้นใยจากมะพร้าวแห้งเพื่อตัดเป็นเศษเส้นใยจากมะพร้าว

2) แป้งมันสำปะหลัง

เป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการประสานเส้นใยจากมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 แป้งมันสำปะหลัง

3) ผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

เป็นวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการประสานเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 ผงพลาสติกพอลิเอทิลีน (HDPE)

5) เครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว

อุปกรณ์สำหรับแยกเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 เครื่องแยกเส้นใยกาบมะพร้าว

6) เครื่องชั่งดิจิตอล

ยี่ห้อ Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A อุปกรณ์สำหรับชั่งวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมชิ้นรูปขึ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 เครื่องชั่งดิจิตอล

7) เครื่องอัดร้อนและอัดเย็น

สำหรับอัดร้อนให้เป็นแผ่นก่อนขึ้นรูปขึ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 เครื่องอัดร้อน อัดเย็น

8) เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน

สำหรับอัดขึ้นรูปขึ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน

9) แม่พิมพ์ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ เป็นอุปกรณ์สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานให้เป็นรูปบรรจุภัณฑ์ เป็นแม่พิมพ์ขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ รูปถ้วยสี่เหลี่ยม แสดงดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 แม่พิมพ์สี่เหลี่ยม

10) เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์

รุ่น NRI - TS500 - 50 จากบริษัท นรินท์ อินสตรูเมนต์ จำกัด ใช้สำหรับทดสอบสมบัติทางกล แสดงดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 เครื่องทดสอบสมบัติทางกลเอนกประสงค์

11) ถุงมือผ้า

ใช้สำหรับจับแม่พิมพ์ เข้า - ออก จากเครื่องอัดรีด แสดงดังรูปที่ 3.47



รูปที่ 3.47 ถุงมือ

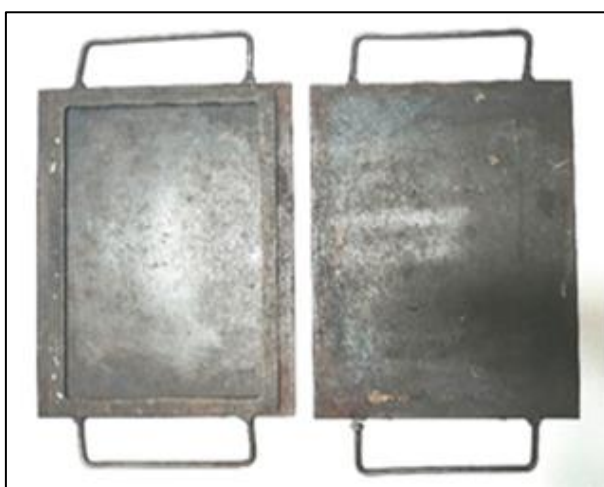
12) เกรียงสแตนเลส

ใช้สำหรับแกะหรือจัดตัวบรรจุภัณฑ์ออกจากเครื่องอัดรีด แสดงดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 เกรียงสแตนเลส

13) แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.49 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปแผ่นชิ้นงาน

14) เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล

ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร เป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานใช้สำหรับวัดขนาดของชิ้นงานทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.50



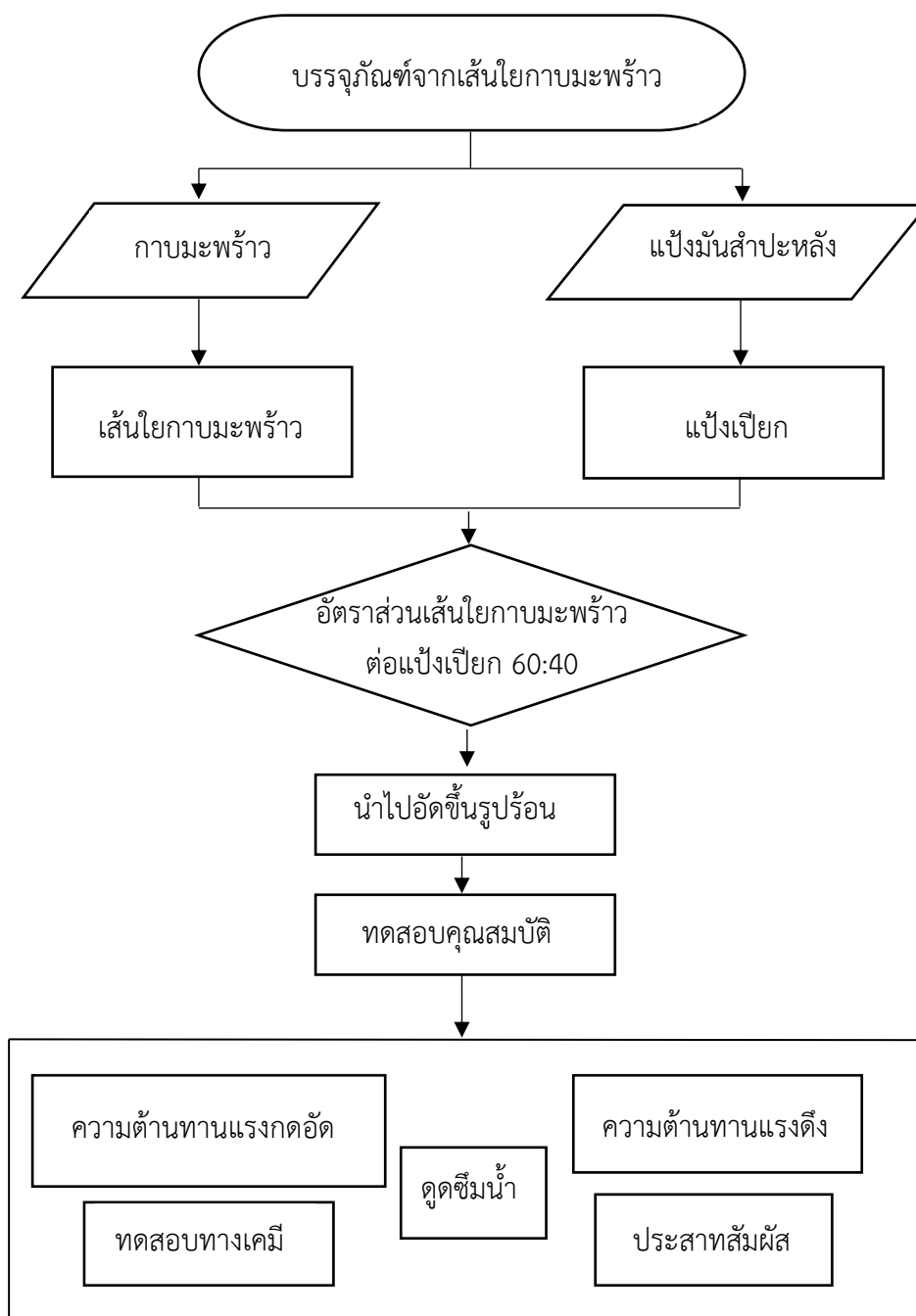
รูปที่ 3.50 เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอล

3.4.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวจะต้องมีการเตรียมเส้นใยคาบมะพร้าวเป็นวัสดุหลักในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์

1. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ จะแบ่งการทดลองการขึ้นรูปออกเป็น 2 แบบ คือ

1) บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว การออกแบบการทดลองของการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 3.7 และในการวิเคราะห์บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพของวัสดุ มีแผนผังการดำเนินงานจริง แสดงดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 แผนผังการดำเนินงานวิจัยบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

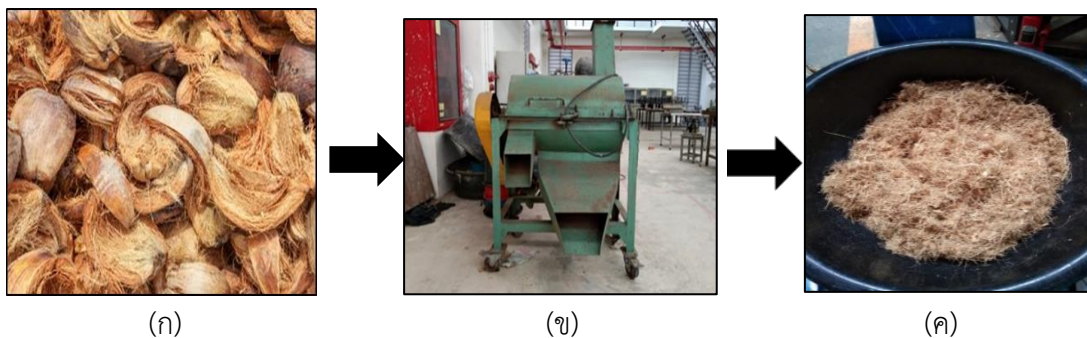
การขึ้นรูปชิ้น

(1) นำเส

สรุปผลบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

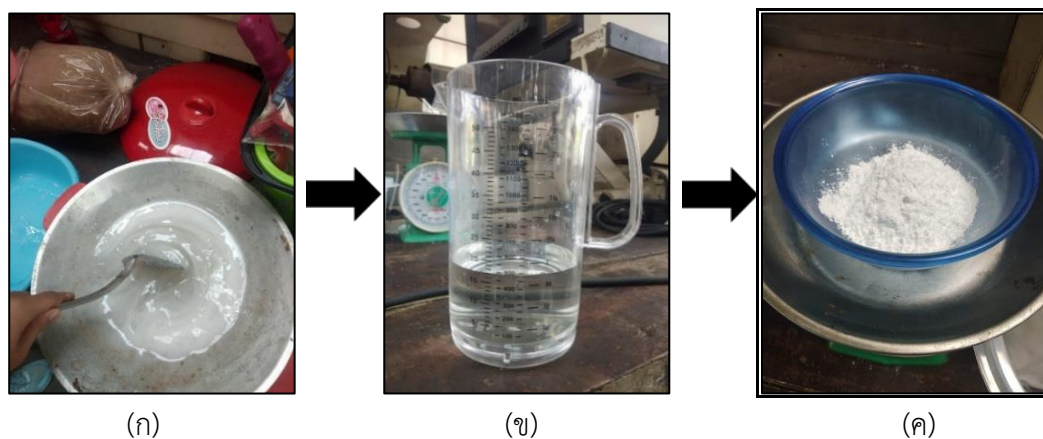
) เพื่อแยกส่วนที่

เป็นชุยกับเส้นใยออกจากกัน แสดงถึงจุดที่ 9.52



รูปที่ 3.52 เส้นใยมะพร้าว
(ก) กาบมะพร้าว (ข) เครื่องแยกกากมะพร้าว และ (ค) เส้นใยกากมะพร้าว

(2) นำแป้งมันสำปะหลังมาชั่งให้ได้ปริมาณ 40 กรัมและตวงน้ำปริมาณ 500 กรัม เพื่อนำมาทวนแป้งเปียก แสดงดังรูปที่ 3.53



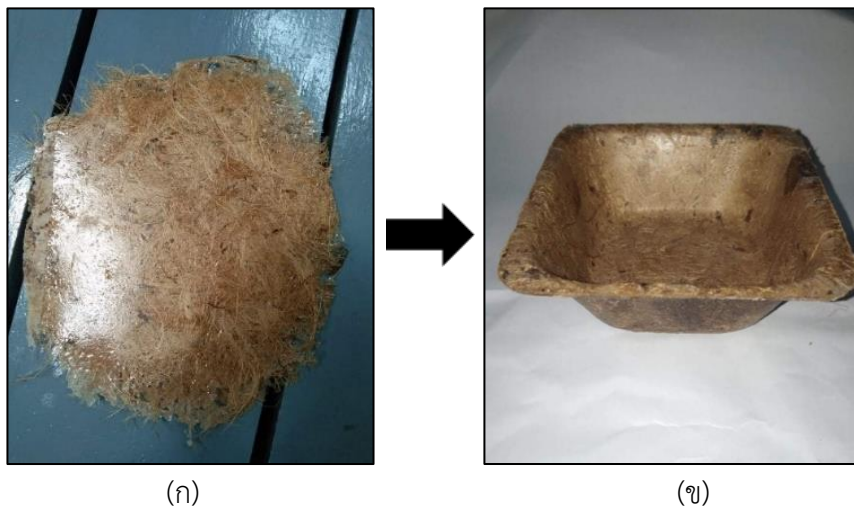
รูปที่ 3.53 แป้งเปียก
(ก) แป้งมันสำปะหลัง (ข) น้ำเปล่า และ (ค) แป้งเปียก

(3) นำเส้นใยกาบมะพร้าวกับน้ำกาวมาผสมให้เข้ากันดีในอัตราส่วน 20:35 แสดงดังรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 คลุกเส้นใยกาบมะพร้าวกับแป้งเปียก

(4) จากนั้นนำเส้นใยกาบมะพร้าวเข้าเครื่องอัดรีด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดันที่ 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อทำการอัดเป็นแผ่นแล้วนำเข้าสู่เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน แสดงดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 บรรจุภัณฑ์หลังจากเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแล้ว

ก) แผ่นเส้นใยกาบมะพร้าว และ ข) บรรจุภัณฑ์หลังจากเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแล้ว

ขั้นตอนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนโดยมีปัจจัยในการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การทดลองเป็องตันบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

แรงดัน (ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ผลการทดสอบ
2,800	130			มีความนิ่มเป็นขุยจำนวนมาก ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
	190			มีกลิ่นไหม้ และบรรจุภัณฑ์ไหม้ทั่วบรรจุภัณฑ์ ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์

จากการทดลองเป็องตันในตาราง 3.7 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส เส้นใยมีความนิ่มเป็นขุยจำนวนมาก ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ และ อุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส เส้นใยมีกลิ่นไหม้ และบรรจุภัณฑ์ไหม้ทั่วบรรจุภัณฑ์ ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ จึงได้ปัจจัยการทดสอบการอัดขึ้นรูปร้อนสถานะที่เหมาะสมเพื่อนำไปเป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ปัจจัยการทดลองอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)
2,800	150	4
		6
		8
	170	4
		6
		8

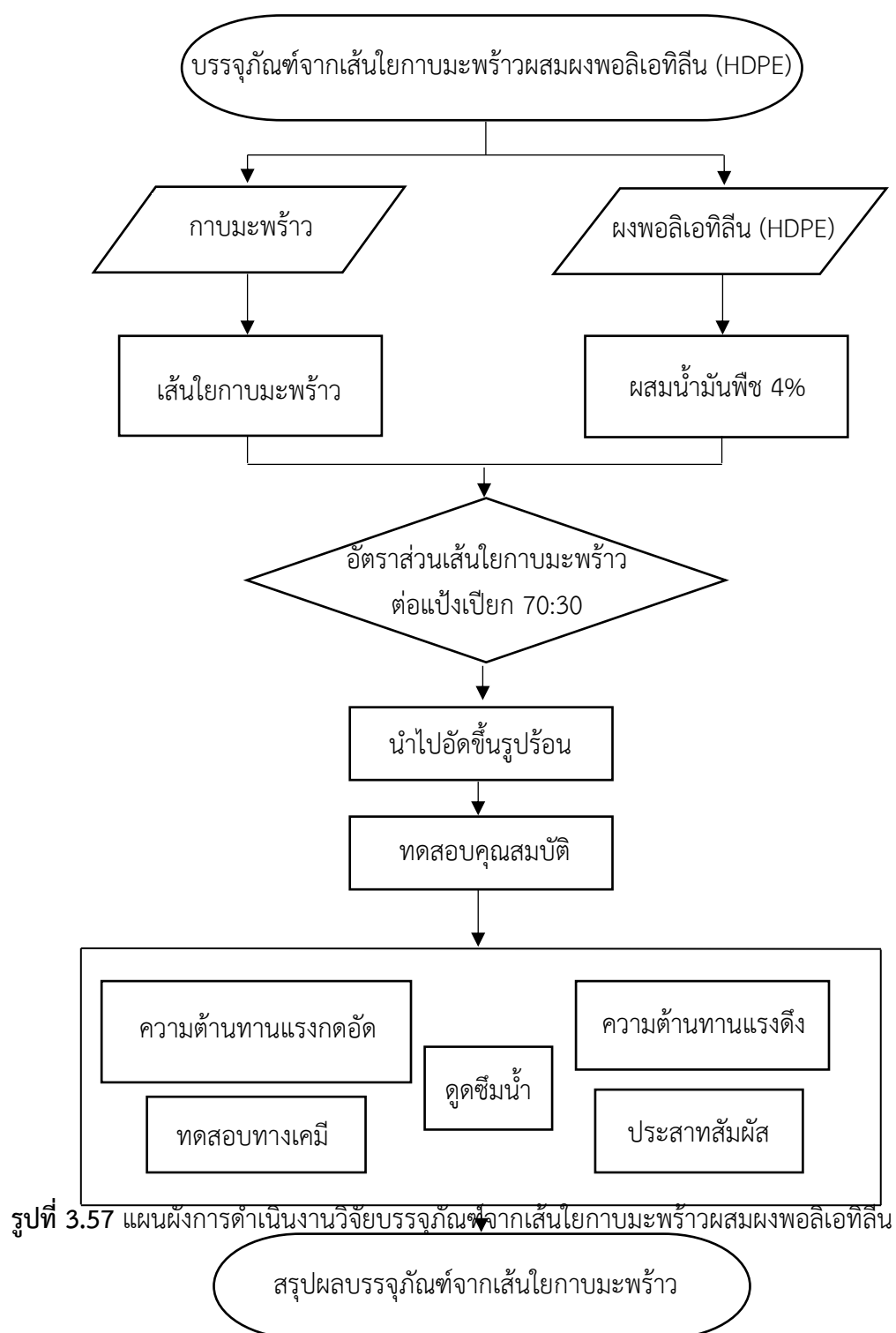
แล้วนำเส้นใยกาบมะพร้าวที่อัดร้อนขึ้นรูปออกจากแม่พิมพ์แล้วทำความสะอาดแม่พิมพ์แสดงดังรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่สมบูรณ์

2) บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

การออกแบบการทดลองของการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังตารางที่ 3.9 และในการวิเคราะห์บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพของวัสดุ มีแผนผังการดำเนินงานจริง แสดงดังรูปที่ 3.57

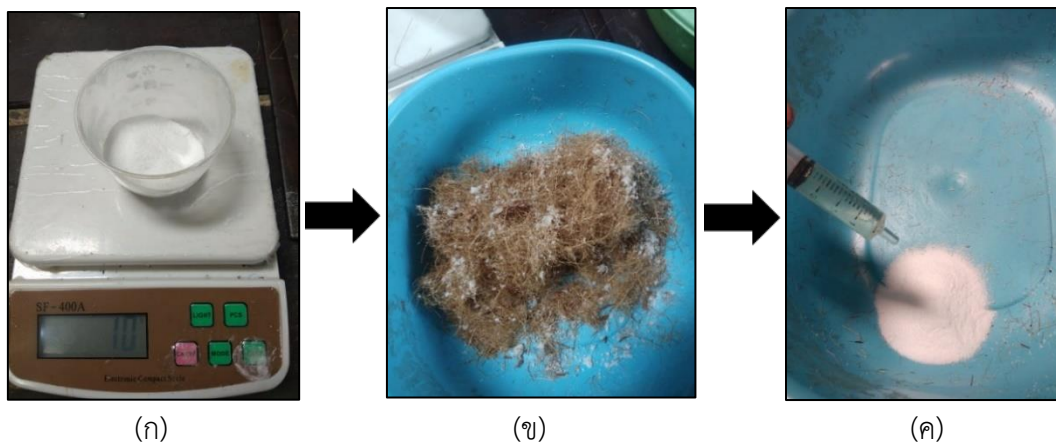


(1) เตรียมเส้นใยคาบมะพร้าวที่ได้จากการทำเป็นเส้นใยเสร็จแล้วนำมาชั่งให้ได้ปริมาณ 20 กรัม แสดงดังรูปที่ 3.58



รูปที่ 3.58 เส้นใยคาบมะพร้าว

(2) ทำการตวงซังผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในปริมาณ 10 กรัม ผสมกับน้ำมันพืช 4% และคลุกให้เข้ากัน แสดงดังรูปที่ 3.59



(ก)

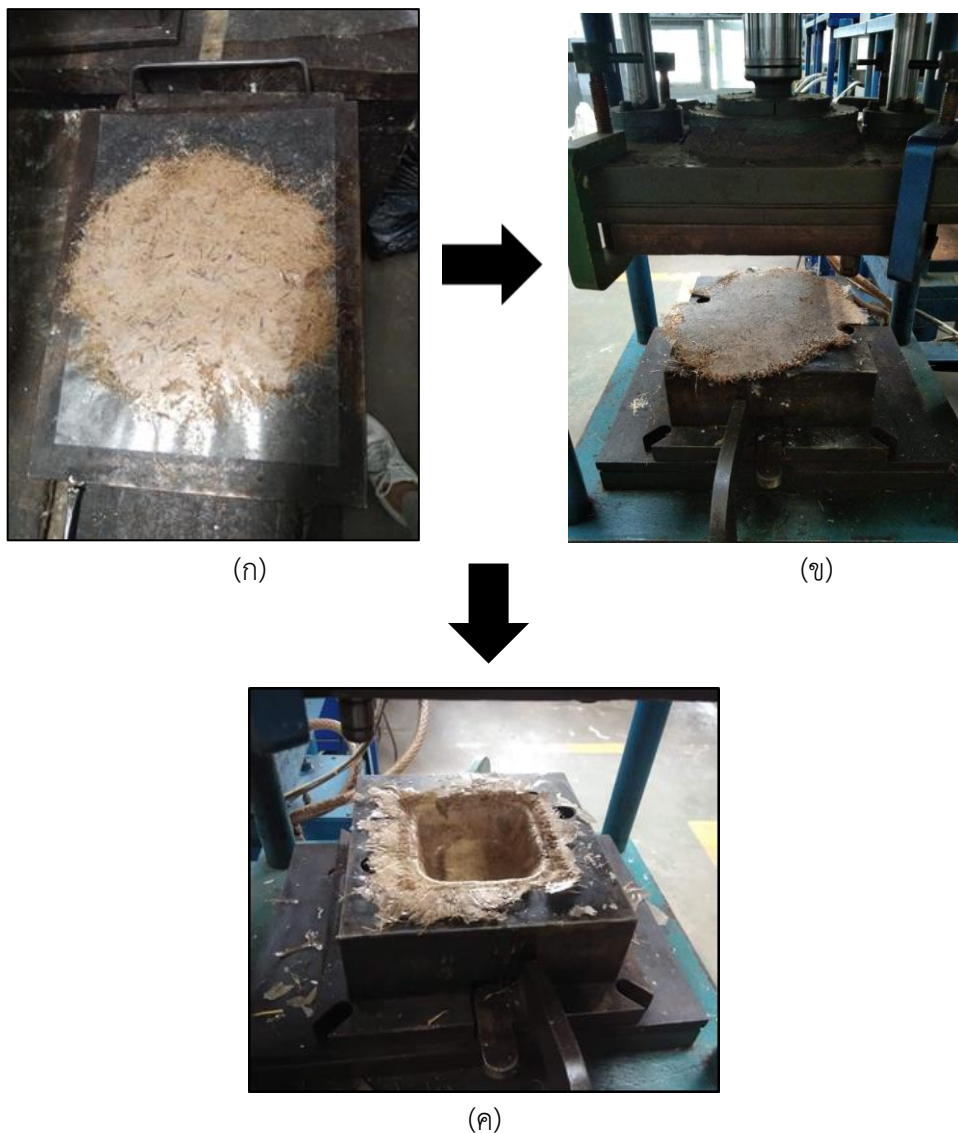
(ข)

(ค)

รูปที่ 3.59 ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ผสมกับเส้นใยคาบมะพร้าว

(ก) ผงพลาสติก 10 กรัม (ข) ผสมกับน้ำมันพืช และ (ค) คลุกเคล้าให้เข้ากัน

(3) จากนั้นนำเส้นใยคาบมะพร้าวเข้าเครื่องอัดร้อน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดันที่ 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อทำการอัดเป็นแผ่นและนำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีนที่ได้จากเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน
 (ก) แผ่นเส้นใยกาบมะพร้าวที่ได้จากการอัดร้อน (ข) นำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน และ
 (ค) บรรจุภัณฑ์หลังจากเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแล้ว

ขั้นตอนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน โดยมีปัจจัยในการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การทดลองเป็องตันบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

แรงดัน (ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ด้านหน้า	ด้านหลัง	ผลการทดสอบ
2,800	130			มีความนิ่มเป็นขุยจำนวนมาก ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
	190			มีกลิ่นไหม้ และบรรจุภัณฑ์ไหม้ทั่วบรรจุภัณฑ์ ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

จากการทดลองเป็องตันในตาราง 3.9 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส เส้นใยมีความนิ่มเป็นขุยจำนวนมาก ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ และ อุณหภูมิที่ 190 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าวมีกลิ่นไหม้ และบรรจุภัณฑ์ไหม้ทั่วบรรจุภัณฑ์ ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ จึงได้ปัจจัยการทดลองการอัดขึ้นรูปร้อนสถานะที่เหมาะสมเพื่อนำไปเป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังตาราง 3.10

ตารางที่ 3.10 ปัจจัยการทดลองอัตราขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)
2,800	150	4
		6
		8
	170	4
		6
		8

แล้วนำเส้นใยกาบมะพร้าวที่อัดร้อนขึ้นรูปออกจากแม่พิมพ์แล้วทำความสะอาดแม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 3.61



รูปที่ 3.61 ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่สมบูรณ์

2. ดำเนินทดสอบคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยทำการทดสอบทางด้านกายภาพ และการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ทดสอบคุณสมบัติทางกลโดยนำผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่พัฒนาขึ้นไปหาคุณสมบัติทางกลด้วยกระบวนการทดสอบดังนี้

(1) การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวกับเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 3.62 และ 3.63



รูปที่ 3.62 การทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว



รูปที่ 3.63 การทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

(2) ทดสอบความต้านทานแรงกดอัดของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกามะพร้าวกับเส้นใยกามะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ทั้งทางด้านบน และด้านข้าง แสดงดังรูปที่ 3.64 – 3.69



รูปที่ 3.64 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกามะพร้าว



รูปที่ 3.65 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกามะพร้าว



รูปที่ 3.66 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)



รูปที่ 3.67 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

(3) การทดสอบดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวและบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 3.68 - 3.69



รูปที่ 3.68 การทดสอบดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว



รูปที่ 3.69 การทดสอบดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

(4) การทดสอบค่าความเป็นกรด-เบส จากบรรจุภัณฑ์เส้นใยจากมะพร้าวผสมแป้งมันสำปะหลังและบรรจุภัณฑ์เส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 3.70 – 3.71



รูปที่ 3.70 การทดสอบค่าความเป็นกรด-เบสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว



รูปที่ 3.71 การทดสอบค่าความเป็นกรด-เบสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

3. กระบวนการทดสอบสารเคลือบ ปัจจุบันได้มีแนวโน้มการศึกษาและพัฒนาฟิล์มที่บริโภคได้ (Edible Film) เพื่อใช้ในการเก็บรักษาและยืดอายุผลิตภัณฑ์ โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากฟิล์มที่บริโภคได้มีคุณสมบัติรับประทานได้และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradable) ซึ่งฟิล์มที่บริโภคได้สามารถแบ่งออกเป็นรูปแบบของแผ่นฟิล์ม (Film Sheet) และสารเคลือบผิว (Coating) หรือเคลือบบรรจุภัณฑ์ที่สัมผัสอาหารโดยตรง และสารเคลือบจากธรรมชาติส่วนใหญ่มีวิธีการเตรียมที่ไม่ซับซ้อนและมีต้นทุนค่อนข้างต่ำ ใช้เวลาในการย่อยสลายไม่นาน

1) ขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบ

(1) อุปกรณ์และสารเคมี

- ไคโตซาน (chitosan)
- กลีเซอรอล (glycerol)
- ทวิน 80 (Tween 80)
- ไขผึ้ง (bee wax)
- น้ำปราศจากไอออน
- กรดอะซิติก (CH_3COOH)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมเตาให้ความร้อน (hotplate magnetic stirrers)
- แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)

2) วิธีการเตรียม

(1) เตรียมสารละลายไคโตซานปริมาตร 100 cm^3 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยปริมาตร

(2) เติมกลีเซอรอลและทวิน 80 อย่างละ 1 cm^3 กวนส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่ความเร็ว 1000 rpm เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 M ให้อยู่ในช่วง 6-7

(3) เติมไขผึ้งเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 2. แสดงดังตารางที่ 3.11 กวนส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.11 อัตราส่วนระหว่างไคโตซาน กลีเซอรอล ทวิน 80 และ ไขผึ้งที่ใช้

อัตราส่วนที่	2%w/v ไคโตซาน (ml)	กลีเซอรอล (ml)	ทวิน 80 (ml)	ไขผึ้ง (g)
1	100	1	1	5
2	100	1	1	10
3	100	1	1	15

3) ขั้นตอนการเคลือบภาชนะบรรจุอาหารจากโยมะพร้าว

ภาชนะทุกใบจะทำการบันทึกค่าน้ำหนักและค่าสีตามระบบ CIELAB หรือ $\text{CIE L}^* a^* b^*$ ก่อนการเคลือบ ในการเคลือบภาชนะจะใช้แปรงจุ่มสารเคลือบแล้วทาบนภาชนะด้านในให้ทั่ว และนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำมาเคลือบครั้งถัดไปจนครบ 3 ครั้ง เมื่อภาชนะหลังจากเคลือบแห้งสนิทแล้ว นำภาชนะที่ได้มาชั่งน้ำหนักและวัดค่าสี พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การทดสอบความทนต่อการรั่วซึม น้ำ ทดสอบการคงทนความร้อน การ

หาค่าความชื้น การทดสอบผลความเป็นกรด-ด่างของอาหาร และทดสอบแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของแผ่นประสงค์ ความเร็วในการดึง คือ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

4) การทดสอบประสิทธิภาพการนำภาชนะบรรจุอาหารจากโพลิเอทิลีนไปใช้งาน

(1) การทดสอบความทนต่อการรั่วซึมของภาชนะหลังเคลือบ เพื่อศึกษาความทนต่อการรั่วซึมของภาชนะ โดยทดสอบด้วยวิธีเทน้ำสะอาดใส่ลงในภาชนะ และจับเวลาเพื่อหาระยะเวลาที่ภาชนะสามารถทนต่อการรั่วซึม

- อุปกรณ์

น้ำสะอาด

นาฬิกาจับเวลา

- วิธีการทดสอบ

นำน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะจากโพลิเอทิลีน และเริ่มจับเวลา

ตรวจสอบผลการรั่วซึมที่ด้านหลังภาชนะทุก 15 นาที

บันทึกระยะเวลาที่ได้

(2) การทดสอบการคงทนความร้อนของภาชนะหลังเคลือบ เพื่อศึกษาการคงทนความร้อนของภาชนะบรรจุอาหารหลังเคลือบ โดยทดสอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนที่ความร้อนระดับสูงสุด (กำลังไฟ 800 วัตต์)

- อุปกรณ์

นาฬิกาจับเวลา

เตาไมโครเวฟ รุ่น ME711K/XST ยี่ห้อ Samsung

- วิธีการทดสอบ

นำภาชนะที่ผ่านการเคลือบเข้าเตาไมโครเวฟ และทดสอบที่กำลังไฟ 800 วัตต์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงในนาฬิกาที่ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ

บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกที่สังเกตได้ด้วยสายตาของภาชนะหลังการทดสอบ

(3) ขั้นตอนในการหาค่าความชื้นของภาชนะหลังเคลือบ เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราต่าง ๆ ดังนั้นการหาค่าความชื้นจึงเป็นการแสดงถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในภาชนะหลังเคลือบ

- อุปกรณ์

ตู้อบ

โถดูดความชื้น

เครื่องชั่ง

- วิธีการทดสอบ

บันทึกน้ำหนักภาชนะบรรจุอาหารจากโพลิเอทิลีนหลังการเคลือบ

นำภาชนะบรรจุอาหารจากโบริตอลโตนดหลังการเคลือบ อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำภาชนะออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที และบันทึกน้ำหนักหลังจากการอบ

ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 2 จนกระทั่งน้ำหนักหลังการอบเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5 มิลลิกรัม

(4) ขั้นตอนการทดสอบผลความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่มีต่อสารเคลือบบนภาชนะบรรจุอาหาร เพื่อศึกษาความคงทนของสารเคลือบที่สามารถบรรจุอาหารที่มีระดับความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ทดสอบโดยใช้สารละลายที่มีสภาพความเป็นกรด กลาง และด่าง ที่อุณหภูมิห้อง 60 และ 100 องศาเซลเซียส บรรจุลงในภาชนะที่เคลือบด้วยสารเคลือบที่เตรียมไว้ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายมาวัดค่า pH เพื่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH

- อุปกรณ์

สารละลายที่มีสภาพความเป็นกรด กลาง และด่าง

pH meters

- วิธีการทดสอบ

นำสารละลายที่เตรียมได้ในสภาพความเป็นกรด กลาง และด่าง ที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 100 มิลลิลิตร วัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meters พร้อมทั้งบันทึกผลที่ได้

เทสารละลายแต่ละค่า pH ลงในภาชนะที่ผ่านการเคลือบแต่ละใบ จับเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา วัดค่า pH ของสารละลายในภาชนะแต่ละใบ

ทำซ้ำข้อ 1. และข้อ 2. ที่อุณหภูมิ 60 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ บันทึกค่า pH ที่วัดได้ทุกอุณหภูมิ

(5) ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของภาชนะจากโพลิเอทิลีนหลังเคลือบ ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของภาชนะหลังเคลือบ ได้แก่ การต้านทานแรงดึงขาด และแรงกด โดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลเอนกประสงค์ ความเร็วในการดึง คือ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง

4. การทดสอบกลิ่น และสัมผัสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

จากการทดลองขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวด้วยกระบวนการอัดร้อน โइनภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ทางผู้จัดทำโครงการจึงได้จัดทำแบบสอบถามวัดระดับความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว 5 ระดับในแต่ละรายการ แสดงตัวอย่างในภาคผนวก ญ โดยมุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมายใหญ่ ๆ 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ประกอบการร้านอาหาร ผู้ใช้บริการร้านอาหาร อาจารย์ และนักศึกษา จำนวนทั้งหมด 100 คนโดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนนระดับความพึงพอใจ และคิดค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจตามเกณฑ์ของแต่ละข้อ

1) เกณฑ์การให้คะแนนของระดับความพึงพอใจ

(1) ในการกำหนดคะแนนผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ระดับความพึงพอใจ

คะแนน

มีความพึงพอใจมากที่สุด

5

มีความพึงพอใจมาก

4

มีความพึงพอใจปานกลาง	3
มีความพึงพอใจน้อย	2
มีความพึงพอใจน้อยที่สุด	1

(2) เกณฑ์การแปลความหมายของค่าคะแนนเฉลี่ยมีดังนี้

- ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.21 - 5.00 หมายความว่า มีความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวระดับมากที่สุด
- ค่าคะแนนเฉลี่ย 3.41 - 4.20 หมายความว่า มีความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวระดับมาก
- ค่าคะแนนเฉลี่ย 2.61 - 3.40 หมายความว่า มีความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวระดับปานกลาง
- ค่าคะแนนเฉลี่ย 1.81 - 2.60 หมายความว่า มีความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวระดับน้อย
- ค่าคะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.80 หมายความว่า มีความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวระดับน้อยที่สุด

โดยมีการคำนวณเกณฑ์ความพึงพอใจ ดังสมการนี้

$$\text{คะแนนเฉลี่ย (N)} = \frac{5(n_5)+4(n_4)+3(n_3)+2(n_2)+1(n_1)n}{n} \quad (3.7)$$

เมื่อ	N	คือ	คะแนนเฉลี่ย
	n	คือ	จำนวนผู้ประเมินทั้งหมด
	n ₁	คือ	จำนวนผู้ประเมินระดับพึงพอใจน้อยที่สุด
	n ₂	คือ	จำนวนผู้ประเมินระดับพึงพอใจน้อย
	n ₃	คือ	จำนวนผู้ประเมินระดับพึงพอใจปานกลาง
	n ₄	คือ	จำนวนผู้ประเมินระดับพึงพอใจมาก
	n ₅	คือ	จำนวนผู้ประเมินระดับพึงพอใจมากที่สุด

5. การสอบถามความต้องการบรรจุภัณฑ์ปลอดภัยจากเส้นใยมะพร้าวสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ การเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้สูงอายุจำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

โครงการวิจัยได้พัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย ได้แก่ แผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัว เพอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภทโต๊ะ-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุ และบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์โครงการวิจัยย่อยที่ 1 : การพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ มีผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ ดังนี้

ผลกระทบของปริมาณขี้เลื่อยไม้ยางพารา ปริมาณสารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา ตลอดจนการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาสูตรส่วนผสมและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งจากการออกแบบการทดลองมีตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent; x_1) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (Rubberwood sawdust; x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (Temperature; x_3) ซึ่งสามารถออกแบบสูตรที่ใช้ในการทดลองได้ 17 สูตร เช่นเดียวกันค่าผลตอบสนองที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าการดูดซับพลังงาน (Energy absorbed (J)) ค่าแรงกระแทกสูงสุด (Peak impact force (N)) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction coefficient) ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด (Compression set (%)) และค่าความแข็ง (Hardness (Shore OO)) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

1. การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าการดูดซับพลังงาน

1) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าการดูดซับพลังงาน

ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของรูปแบบจำลองการถดถอย ปัจจัย อันตรกิริยา (Interaction) และความสมรูป (Lack of fit) ในค่าการดูดซับพลังงาน แสดงในตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าการดูดซับพลังงานมีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง (Quadratic model) ซึ่งรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยในรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า สารทำให้เกิดฟอง (x_1) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการดูดซับพลังงาน ($p < 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์การเกิดอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยต่างๆ พบว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารทำให้เกิดฟองกับขี้เลื่อยไม้ยางพารา และระหว่างสารทำให้

เกิดพองกับอุณหภูมิการขึ้นรูปไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ซึ่งหมายความว่า การเกิดอันตรกิริยามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าการดูดซับพลังงาน ทำให้ต้องมีการลดรูปของรูปแบบจำลองการถดถอย และวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละรูปแบบจำลองอีกครั้ง ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้ รูปแบบที่เหมาะสมนี้มีค่า p -value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ซึ่งหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารา

Run no.	Variable factor			Response				
	x_1	x_2	x_3	Energy absorbed (J)	Peak impact force (N)	Friction coefficient	Compression set (%)	Hardness (Shore OO)
1	6	80	120	1.45	4848	0.533	87.7	88.2
2*	9	60	120	4.28	4393	0.531	71.9	78.2
3	12	60	110	1.61	4025	0.627	77.4	81.8
4	6	40	120	3.53	4495	0.560	79.1	76.6
5*	9	60	120	3.84	4367	0.528	69.8	78.6
6*	9	60	120	4.09	4331	0.533	72.9	79.2
7	9	80	130	1.82	4659	0.633	89.0	84.5
8	6	60	130	1.95	4373	0.625	85.4	79.4
9	9	80	110	1.11	5027	0.600	84.9	88.6
10*	9	60	120	3.91	4394	0.519	70.8	81.9
11	9	40	110	3.18	4622	0.667	78.5	80.9
12	12	40	120	4.22	3712	0.656	74.4	72.7
13	12	80	120	1.81	4252	0.559	81.5	87.0
14*	9	60	120	4.10	4443	0.530	72.6	79.1
15	6	60	110	0.76	4782	0.587	82.4	86.1
16	12	60	130	2.99	3376	0.655	82.8	74.3
17	9	40	130	4.98	4085	0.691	85.8	74.0

หมายเหตุ : *สภาวะการทดลองที่มีการทำซ้ำ

ค่า Coefficient of determination (R^2), ค่า Adjusted coefficient of determination ($\text{Adj-}R^2$) และค่า Predicted coefficient of determination ($\text{Pred-}R^2$) ที่แสดงในตารางที่ 4.3 ใช้เพื่อวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลพบว่าค่า R^2 ของรูปแบบจำลองมีค่า 98.43% นั้นหมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบจำลองการถดถอย 1.57% และค่า $\text{Adj-}R^2$ ของรูปแบบจำลองมีค่าที่สูงใกล้เคียงกับค่า R^2 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ารูปแบบการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ $\text{Pred-}R^2$ พบว่า มีค่า 94.32% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 94.32% จากข้อมูล R^2 , $\text{Adj-}R^2$ และ $\text{Pred-}R^2$ ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง 1 ซึ่งเป็นการยืนยันว่า รูปแบบการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม [24, 25]

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับรูปแบบจำลองการถดถอยต่าง ๆ ก่อนการลดรูปในแต่ละสมบัติ

	Energy absorbed	Peak impact force	Friction coefficient	Compression set	Hardness
Source	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value
Model	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
X_1	0.0012*	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0023*	0.0119*
X_2	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0004*	< 0.0001*
X_3	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0011*	0.0016*	0.0002*
X_1X_2	0.4347	0.1843	0.0036*	0.6097	-
X_1X_3	0.6479	0.1005	0.5598	0.4210	-
X_2X_3	0.0291*	0.2268	0.5988	0.2919	-
X_1^2	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0177*	0.0020*	-
X_2^2	0.1174	0.0003*	< 0.0001*	< 0.0001*	-
X_3^2	< 0.0001*	0.6993	< 0.0001*	< 0.0001*	-
<i>Lack of fit</i>	0.2971	0.0992	0.1105	0.3585	0.3335
R^2 (%)	99.01	98.92	99.13	97.82	89.68
$\text{Adj-}R^2$ (%)	97.74	97.54	98.01	95.02	87.29
$\text{Pred-}R^2$ (%)	90.36	86.53	89.26	80.33	82.44

หมายเหตุ : * ค่า *p*-value น้อยกว่า 0.05 หมายถึง ความมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับรูปแบบจำลองการถดถอยต่าง ๆ หลังการลดรูปในแต่ละสมบัติ

	Energy absorbed	Peak impact force	Friction coefficient	Compression set	Hardness
Source	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value	<i>p</i> -value
Model	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
X_1	0.0006*	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0007*	0.0119*
X_2	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*	< 0.0001*
X_3	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0003*	0.0004*	0.0002*
X_1X_2	-	-	0.0012*		-
X_2X_3	0.0266*	-	-		-
X_1^2	< 0.0001*	< 0.0001*	0.0087*	0.0006*	-
X_2^2	-	0.0002*	< 0.0001*	< 0.0001*	-
X_3^2	< 0.0001*	-	< 0.0001*	< 0.0001*	-
<i>Lack of Fit</i>	0.3024	0.0851	0.1832	0.4596	0.3335
R^2 (%)	98.43	97.75	99.04	97.10	89.68
Adj- R^2 (%)	97.49	96.72	98.30	95.36	87.29
Pred- R^2 (%)	94.32	93.42	92.93	90.97	82.44

หมายเหตุ : * ค่า *p*-value น้อยกว่า 0.05 หมายถึง ความมีนัยสำคัญ

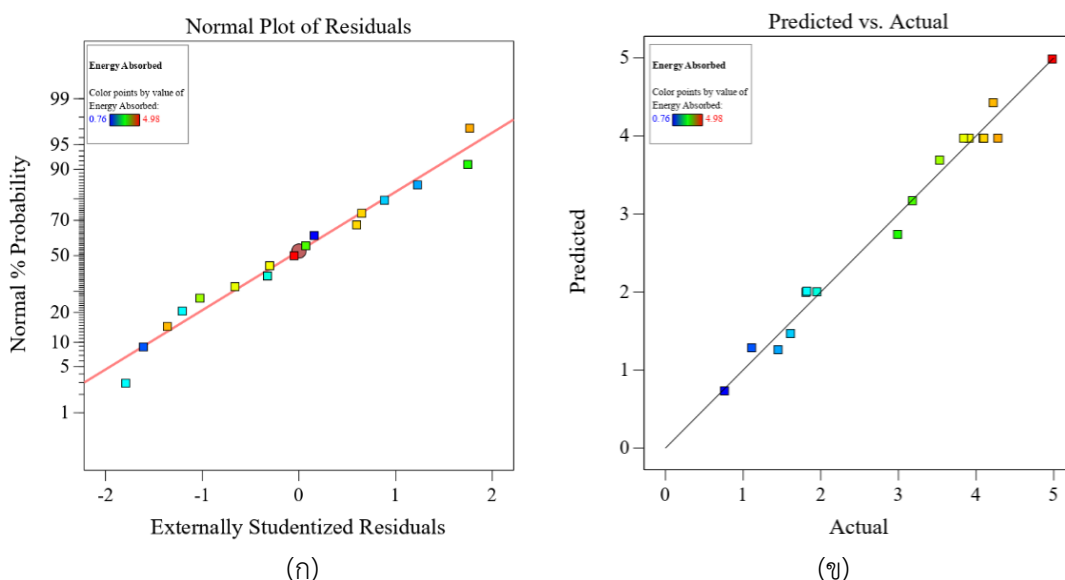
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า ค่าการดูดซับพลังงาน (Energy Absorbed) มีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับพลังงานกับตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (4.1)

$$\text{Energy Absorbed} = -180.52 + 2.38x_1 + 0.10x_2 + 2.80x_3 - 0.0014 x_2x_3 - 0.125x_1^2 - 0.011x_3^2 \quad (4.1)$$

2) การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับค่าการดูดซับพลังงาน

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของรูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้รับ จากการทดลอง รูปที่ 4.1 (ก) แสดงกราฟ Normal probability ของค่าการดูดซับพลังงาน ซึ่งพบว่าไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.1 (ข) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง โดยพบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า สมการการถดถอยสามารถทำนายค่า

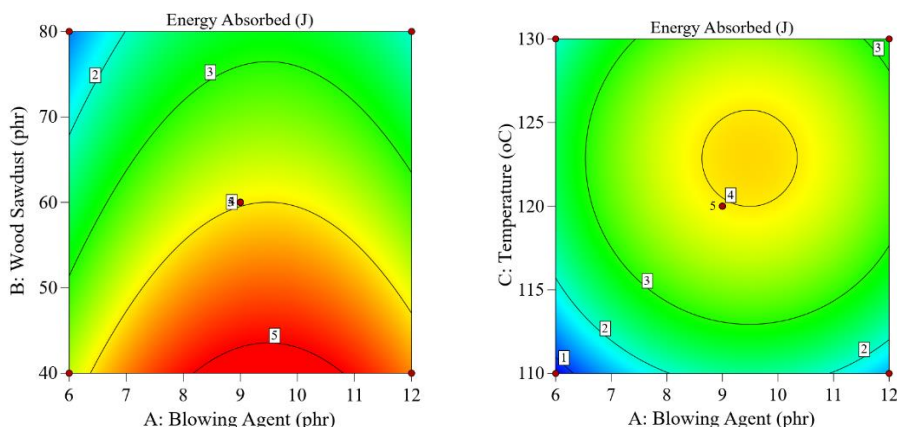
จากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 2 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง



รูปที่ 4.1 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าการดูดซับพลังงาน (ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าทำนายต่อค่าการทดลองจริง

3) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าการดูดซับพลังงาน

สมการถดถอยของค่าการดูดซับพลังงานสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง (Contour plot) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การเติมซีลี้อยู่ไม่ย่างพาราเป็นส่วนผสมมากขึ้นในช่วง 40-80 phr ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ไม่ย่างพารามีแนวโน้มลดลง แต่การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-9 phr ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ไม่ย่างพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมสารทำให้เกิดฟองมากกว่า 10 phr ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิการขึ้นรูป พบว่า การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ไม่ย่างพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-120 °C ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่หากขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิมากกว่า 125 °C ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานมีแนวโน้มลดลง นั่นหมายความว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 120-125 °C เพื่อให้ค่าการดูดซับพลังงานมีค่าที่สูง



รูปที่ 4.2 กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลี้อยไม้ยางพารา สารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อค่าการดูดซับพลังงาน

2. การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด

1) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด

ผลการทดลองในตารางที่ 4.3 สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ ANOVA ของรูปแบบจำลองการถดถอย ปัจจัย อันตรกิริยา และความสมรูปในค่าแรงกระแทกสูงสุด แสดงในตารางที่ 4.3 จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าแรงกระแทกสูงสุดมีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยในรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า สารทำให้เกิดฟอง (x_1) ซีลี้อยไม้ยางพารา (x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด ($p < 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์การเกิดอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยต่าง ๆ พบว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารทำให้เกิดฟองกับซีลี้อยไม้ยางพารา ระหว่างสารทำให้เกิดฟองกับอุณหภูมิการขึ้นรูป และระหว่างซีลี้อยไม้ยางพารากับอุณหภูมิการขึ้นรูปไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งหมายความว่า การเกิดอันตรกิริยามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด ทำให้ต้องมีการลดรูปของรูปแบบจำลองการถดถอย และวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละรูปแบบจำลองอีกครั้ง ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้ รูปแบบที่เหมาะสมนี้มีค่า p -value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ซึ่งหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูลการทดลอง

ค่า Coefficient of determination (R^2), ค่า Adjusted coefficient of determination ($Adj-R^2$) และค่า Predicted coefficient of determination ($Pred-R^2$) ที่แสดงในตารางที่ 4.3 ใช้เพื่อวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลพบว่าค่า R^2 ของรูปแบบจำลองมีค่า 97.75% นั้นหมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบจำลองการถดถอย 2.25% และค่า $Adj-R^2$ ของรูปแบบจำลองมีค่าที่สูงใกล้เคียงกับค่า R^2 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ารูปแบบการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ $Pred-R^2$ พบว่า มีค่า 93.42% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 93.42% จากข้อมูล R^2 , $Adj-R^2$ และ $Pred-R^2$ ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง

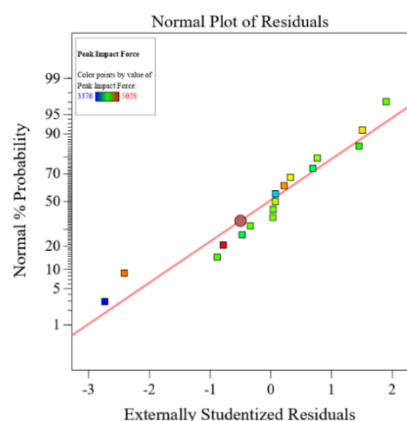
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า ค่าแรงกระแทกสูงสุด (Peak Impact Force) มีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งแบบจำลองมี

นัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกสูงสุดกับตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (4.2)

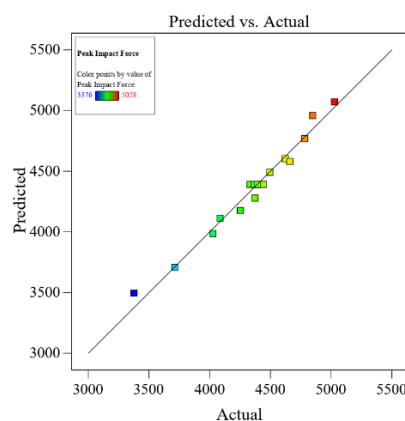
$$\text{Peak Impact Force} = 7291 + 386x_1 - 48.6x_2 - 24.54x_3 - 28.72x_1^2 + 0.50x_2^2 \quad (4.2)$$

2) การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับค่าแรงกระแทกสูงสุด

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองเพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของรูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก) กราฟ Normal probability ของค่าแรงกระแทกสูงสุดแสดงให้เห็นว่า ไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.2 (ข) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง โดยพบว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า สมการการถดถอยสามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 2 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง



(ก)



(ข)

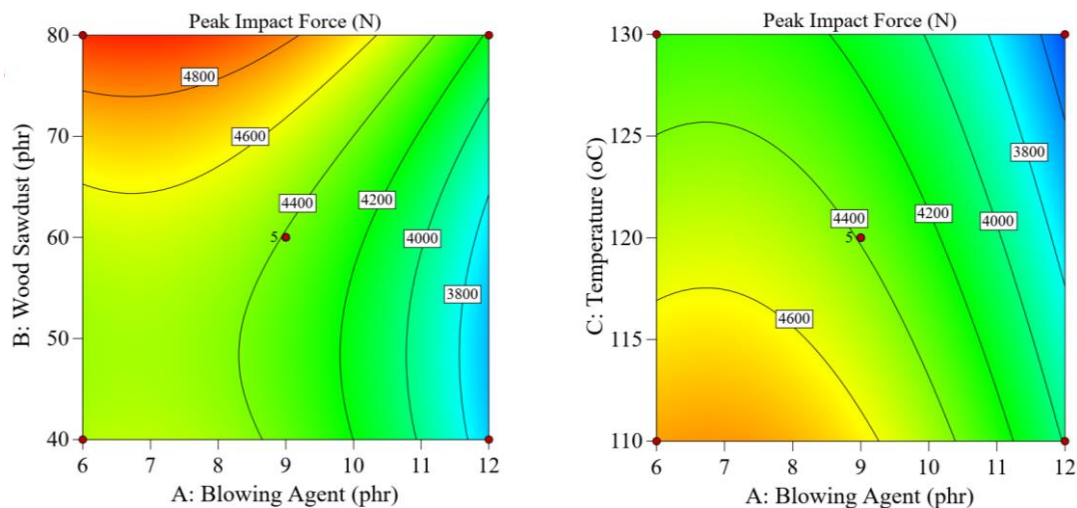
รูปที่ 4.3 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าแรงกระแทกสูงสุด

(ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง

3) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสถานะการขึ้นรูปต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด

สมการถดถอยของค่าแรงกระแทกสูงสุดสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การเติมขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 40-80 phr ส่งผลให้ค่าแรงกระแทกสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มสูงขึ้น แต่การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-12 phr ส่งผลให้ค่าแรงกระแทกสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลง สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า ฟองอากาศในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบฯ เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบฯ สามารถดูดซับแรงกระแทกที่มากกระทำได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิการขึ้นรูป พบว่า การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-130 °C ส่งผลให้ค่าแรง

กระแทกสูงสุดมีแนวโน้มลดลง นั้นหมายความว่า การขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้วัสดุแข็งประกอบๆ สามารถดูดซับแรงกระแทกที่มากกระทำได้อีกมากขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟโครงสร้างผลกระทบของซีลี้อยไม้ยางพารา สารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อค่าแรงกระแทกสูงสุด

3. การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอย ปัจจัย อันตรกิริยา และความสมรูปในค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ดำเนินการโดยใช้ ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยในรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า สารทำให้เกิดฟอง (x_1) ซีลี้อยไม้ยางพารา (x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ($p < 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์การเกิดอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยต่าง ๆ พบว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารทำให้เกิดฟองกับอุณหภูมิการขึ้นรูป และระหว่างซีลี้อยไม้ยางพารากับอุณหภูมิการขึ้นรูปไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งหมายความว่า การเกิดอันตรกิริยามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ทำให้ต้องมีการลดรูปของรูปแบบจำลองการถดถอย และวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละรูปแบบจำลองอีกครั้ง ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้ รูปแบบที่เหมาะสมนี้มีค่า p -value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ซึ่งหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูลการทดลอง

ค่า Coefficient of determination (R^2), ค่า Adjusted coefficient of determination ($Adj-R^2$) และค่า Predicted coefficient of determination ($Pred-R^2$) ที่แสดงในตารางที่ 4.3 ใช้เพื่อวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลพบว่าค่า R^2 ของรูปแบบจำลองมีค่า 99.04% นั้นหมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบจำลองการถดถอย 0.96% และค่า $Adj-R^2$ ของรูปแบบจำลองมีค่าที่สูง

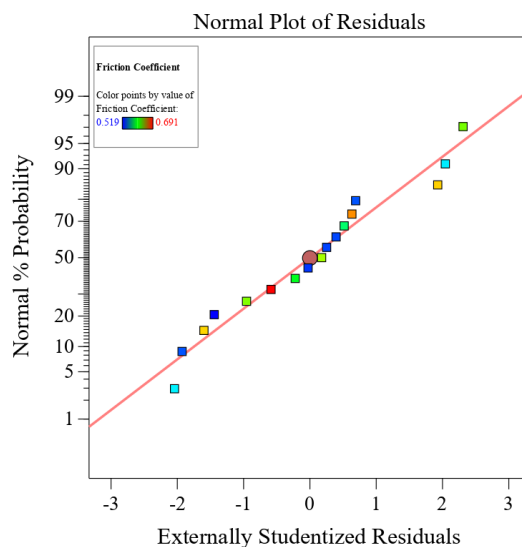
ใกล้เคียงกับค่า R^2 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ารูปแบบการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ $\text{Pred-}R^2$ พบว่า มีค่า 92.93% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 92.93% จากข้อมูล R^2 , $\text{Adj-}R^2$ และ $\text{Pred-}R^2$ ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction Coefficient) มีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (4.3)

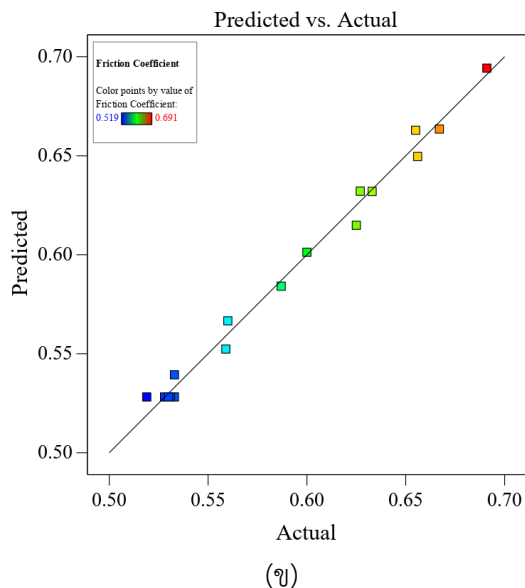
$$\begin{aligned} \text{Friction Coefficient} = & 12.6 + 0.00095x_1 - 0.00989x_2 - 0.1977x_3 - 0.000292x_1x_2 + \\ & 0.00136x_1^2 + 0.00009x_2^2 + 0.00083x_3^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

2) การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองเพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของรูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) โดยกราฟ Normal probability ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแสดงให้เห็นว่า ไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.5 (ข) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง โดยพบว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า สมการการถดถอยสามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 2 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง



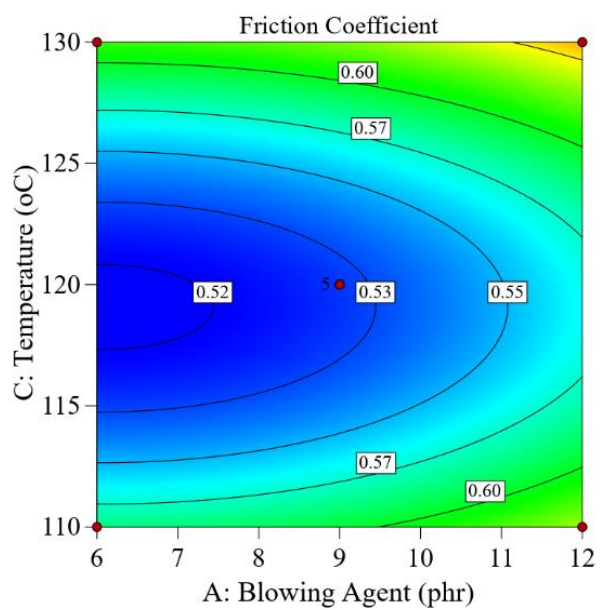
(ก)



รูปที่ 4.5 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
(ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าทำนายต่อค่าการทดลองจริง

3) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

สมการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-12 phr ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีย้อยไม้ยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน การเติมซีลีย้อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นในช่วง 40-65 phr ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีย้อยไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อเติมซีลีย้อยไม้ยางพารามากกว่า 65 phr กลับส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิการขึ้นรูป พบว่า มีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกับผลกระทบของซีลีย้อยไม้ยางพารา โดยการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลีย้อยไม้ยางพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-120 °C ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มลดลง แต่หากขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิมากกว่า 120 °C กลับทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้ง



รูปที่ 4.6 กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลี้อย่างพารา สารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูป
ต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

4. การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอย ปัจจัย อันตรกิริยา และความสมรูปในค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดโดยใช้ ANOVA จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยในรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า สารทำให้เกิดฟอง (x_1) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา (x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด ($p < 0.05$) และเมื่อวิเคราะห์การเกิดอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยต่าง ๆ พบว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารทำให้เกิดฟองกับขี้เลื่อยไม้ยางพารา ระหว่างสารทำให้เกิดฟองกับอุณหภูมิการขึ้นรูป และระหว่างขี้เลื่อยไม้ยางพารากับอุณหภูมิการขึ้นรูปไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งหมายความว่า การเกิดอันตรกิริยามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด ทำให้ต้องมีการลดรูปของรูปแบบจำลองการถดถอย และวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละรูปแบบจำลองอีกครั้ง ซึ่งแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.3 นอกจากนี้รูปแบบที่เหมาะสมนี้มีค่า p -value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ซึ่งหมายความว่ารูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูลการทดลอง

ค่า Coefficient of determination (R^2), ค่า Adjusted coefficient of determination ($\text{Adj-}R^2$) และค่า Predicted coefficient of determination ($\text{Pred-}R^2$) ที่แสดงในตารางที่ 4.3 ใช้เพื่อวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลพบว่าค่า R^2 ของรูปแบบจำลองมีค่า 97.10% นั้นหมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบจำลองการถดถอย 2.9% และค่า $\text{Adj-}R^2$ ของรูปแบบจำลองมีค่าที่สูงใกล้เคียงกับค่า R^2 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ารูปแบบการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ $\text{Pred-}R^2$ พบว่า มีค่า 90.97% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 90.97% จากข้อมูล R^2 , $\text{Adj-}R^2$ และ $\text{Pred-}R^2$ ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง

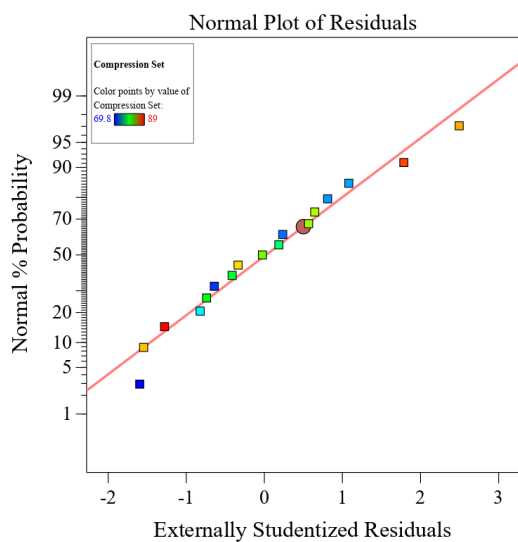
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด (Compression Set) มีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง ซึ่งแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองนี้มีนัยสำคัญ ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดกับตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (4.4)

$$\text{Compression Set} = 1148 - 7.296x_1 - 1.586x_2 - 16.88x_3 + 0.36x_1^2 + 0.0145x_2^2 + 0.07137x_3^2 \quad (4.4)$$

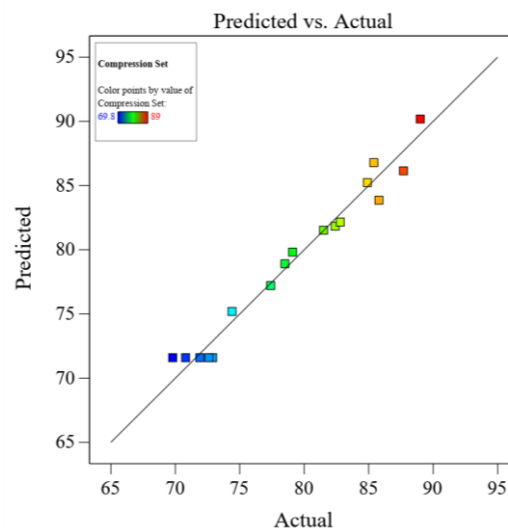
2) การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองเพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของรูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ก) โดยกราฟ Normal probability ของค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดแสดงให้เห็นว่า ไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการ

แจกแจงเป็นแบบปกติ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.7 (ข) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง โดยพบว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า สมการการถดถอยสามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 2 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง



(ก)

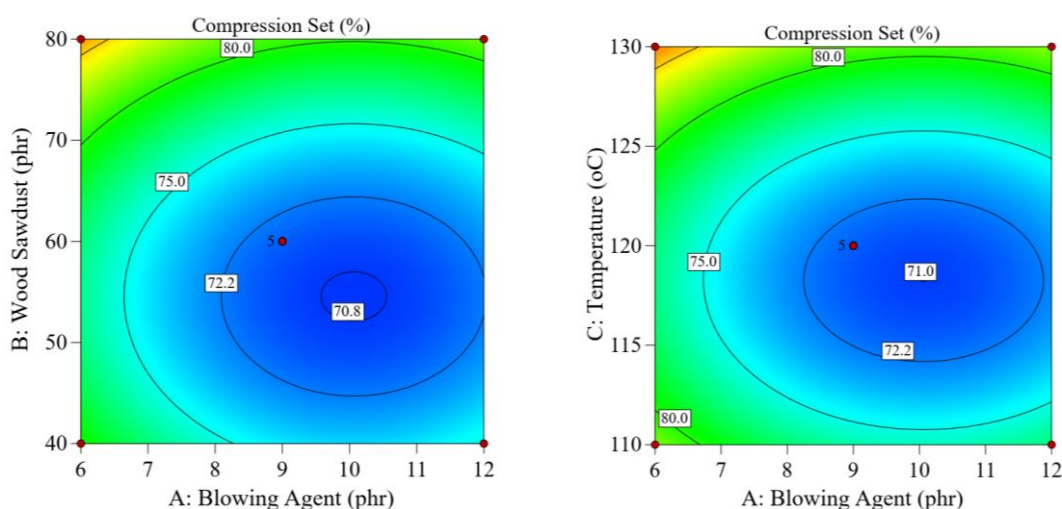


(ข)

รูปที่ 4.7 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด (ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง

3) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟโครงร่างที่สร้างจากสมการถดถอยของค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การเติมซีลี้อยู่ในปริมาณพาราเป็นส่วนผสมมากขึ้นในช่วง 40-55 phr ส่งผลให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ในปริมาณพาราที่มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเติมซีลี้อยู่ในปริมาณพาราเป็นส่วนผสมมากกว่า 55 phr กลับส่งผลให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน พบด้วยว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-10 phr ส่งผลให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ในปริมาณพาราที่มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม การเติมสารทำให้เกิดฟองมากกว่า 10 phr ส่งผลให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองประมาณ 10 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด เนื่องจาก ภายหลังการรับภาระกดอัด วัสดุเชิงประกอบฯ สามารถคืนรูปกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิการขึ้นรูป พบว่า การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ในปริมาณพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-118 °C ส่งผลให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีแนวโน้มลดลง แต่หากขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิมากกว่า 118 °C กลับส่งผลให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่า อุณหภูมิการขึ้นรูปที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 115-120 °C เพื่อให้ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีค่าที่ต่ำ



รูปที่ 4.8 กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลี้อยู่ในปริมาณพารา สารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด

5. การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสถานะการขึ้นรูปต่อค่าความแข็ง

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าความแข็ง

การวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอย ปัจจัย อันตรกิริยา และความสมรูปในค่าความแข็ง ดำเนินการโดยใช้ ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าความแข็งมีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้น (Linear model) ซึ่งรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยในรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า สารทำให้เกิดฟอง (x_1) ซีลี้อยไม้ยางพารา (x_2) และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ($p < 0.05$) นอกจากนี้ รูปแบบที่เหมาะสมนี้มีค่า p -value ของ Lack of fit ที่ไม่มีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ซึ่งหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยมีความสมรูปกับข้อมูลการทดลอง

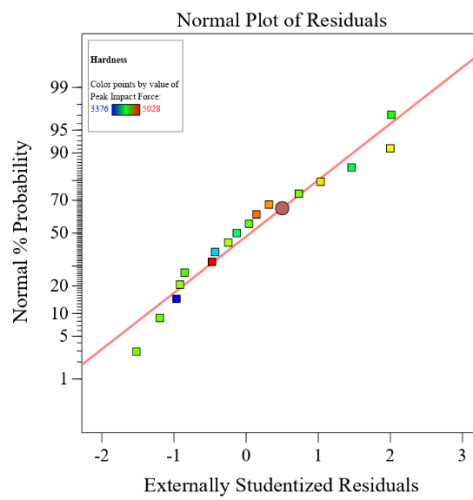
ค่า Coefficient of determination (R^2), ค่า Adjusted coefficient of determination ($\text{Adj-}R^2$) และค่า Predicted coefficient of determination ($\text{Pred-}R^2$) ที่แสดงในตารางที่ 4.2 ใช้เพื่อวิเคราะห์รูปแบบจำลองการถดถอยทางสถิติที่เหมาะสมเช่นกัน จากข้อมูลพบว่าค่า R^2 ของรูปแบบจำลองมีค่า 89.68% นั้นหมายความว่า ความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบจำลองการถดถอย 10.32% และค่า $\text{Adj-}R^2$ ของรูปแบบจำลองมีค่าที่สูงใกล้เคียงกับค่า R^2 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ารูปแบบการถดถอยที่ได้เป็นรูปแบบที่เหมาะสม และเมื่อวิเคราะห์ $\text{Pred-}R^2$ พบว่า มีค่า 82.44% นั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ 82.44% จากข้อมูล R^2 , $\text{Adj-}R^2$ และ $\text{Pred-}R^2$ ของแต่ละรูปแบบมีค่าสูงใกล้เคียง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบจำลองการถดถอยพบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) มีรูปแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสม คือ รูปแบบเชิงเส้น ซึ่งแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกันพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปแบบจำลองมีนัยสำคัญ ดังนั้น สามารถสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับตัวแปรต่าง ๆ ได้ดังสมการที่ (4.5)

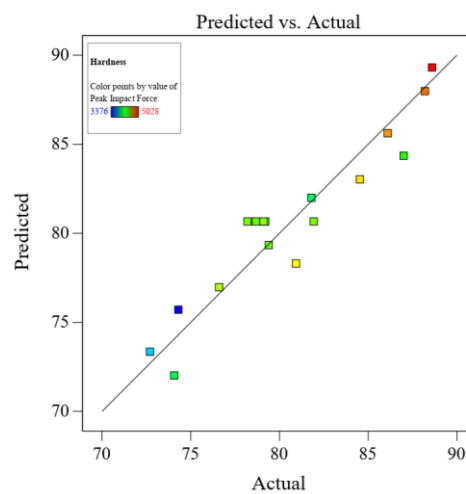
$$\text{Hardness} = 107 - 0.604x_1 + 0.275x_2 - 0.314x_3 \quad (4.5)$$

2) การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองสำหรับค่าความแข็ง

การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองเพื่อยืนยันความพอเพียงและความน่าเชื่อถือของรูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก) โดยกราฟ Normal probability ของค่าความแข็งแสดงให้เห็นว่า ไม่มีค่าที่ผิดปกติเกิดขึ้นในกราฟ ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ นอกจากนี้ในรูปที่ 4.9 (ข) แสดงกราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทำนายโดยรูปแบบจำลองการถดถอยและการทดลองจริง โดยพบว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า สมการการถดถอยสามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจากการวิเคราะห์กราฟทั้ง 2 และข้อมูลเหล่านี้สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความพอเพียง



(ก)

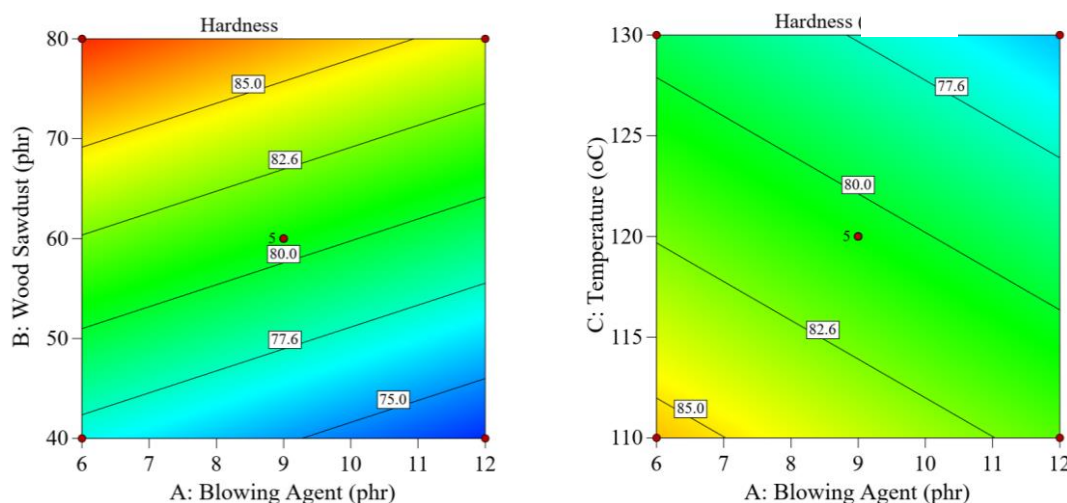


(ข)

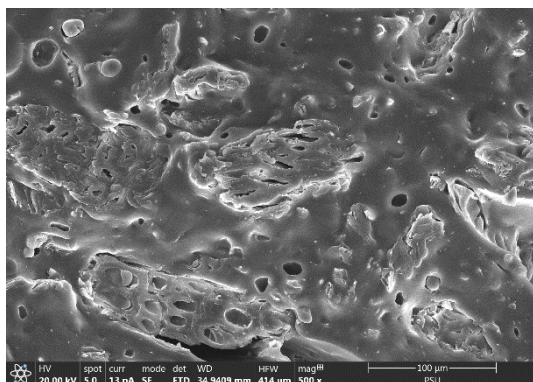
รูปที่ 4.9 การตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองการถดถอยของค่าความแข็ง
(ก) กราฟ Normal probability และ (ข) กราฟค่าทำนายต่อค่าการทดลองจริง

3) การวิเคราะห์ผลกระทบของส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปต่อค่าความแข็ง

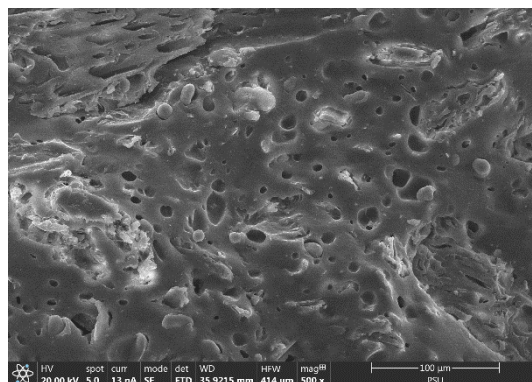
สมการถดถอยเชิงเส้นของค่าความแข็งสามารถนำมาสร้างกราฟโครงร่างดังแสดงในรูปที่ 4.10 จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การเติมซีลี้อยู่ในปริมาณพาราเป็นส่วนผสมมากขึ้นในช่วง 40-80 phr ส่งผลให้ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ในปริมาณพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ซีลี้อยู่ในปริมาณพาราเป็นวัสดุที่แข็งกว่ายางธรรมชาติ การเติมซีลี้อยู่ในส่วนผสมมากขึ้น จึงส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-12 phr ส่งผลให้ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ในปริมาณพารามีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก รูพรุนภายในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบฯ มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารทำให้เกิดฟอง ทำให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีความแข็งลดลง ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้ สามารถพิสูจน์ได้จากโครงสร้างสัณฐานวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยชี้ให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบฯ ที่เติมสารทำให้เกิดฟองปริมาณ 6 phr (รูปที่ 4.11 (ก)) มีรูพรุนภายในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบฯ น้อยกว่าวัสดุเชิงประกอบฯ ที่เติมสารทำให้เกิดฟองปริมาณ 12 phr (รูปที่ 4.11 (ข)) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิการขึ้นรูป พบว่า การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยู่ในปริมาณพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-130 °C ส่งผลให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า การขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้รูพรุนภายในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบฯ มีมากขึ้น ทำให้วัสดุเชิงประกอบฯ มีความแข็งลดลง เช่นเดียวกัน เหตุผลของพฤติกรรมนี้ สามารถพิสูจน์ได้จากโครงสร้างสัณฐานวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยชี้ให้เห็นว่า วัสดุเชิงประกอบฯ ที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 130 °C (รูปที่ 4.11 (ค)) มีรูพรุนภายในโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบฯ ขนาดใหญ่และมากกว่าวัสดุเชิงประกอบฯ ที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 110 °C (รูปที่ 4.11 (จ))



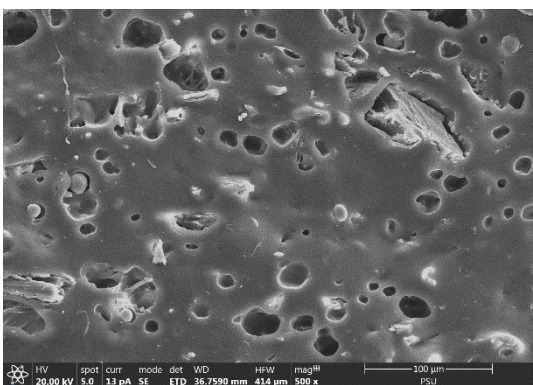
รูปที่ 4.10 กราฟโครงร่างผลกระทบของซีลี้อยู่ในปริมาณพารา สารทำให้เกิดฟอง และอุณหภูมิการขึ้นรูปต่อค่าความแข็ง



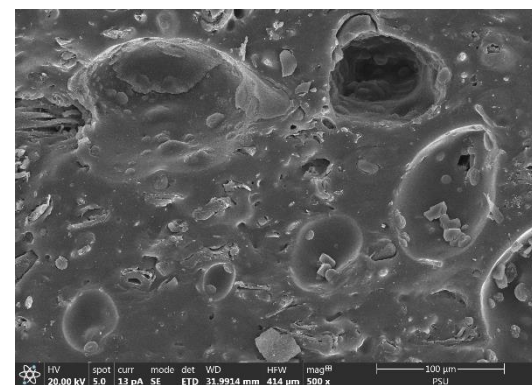
(ก) 6 phr /60 phr /130 °C



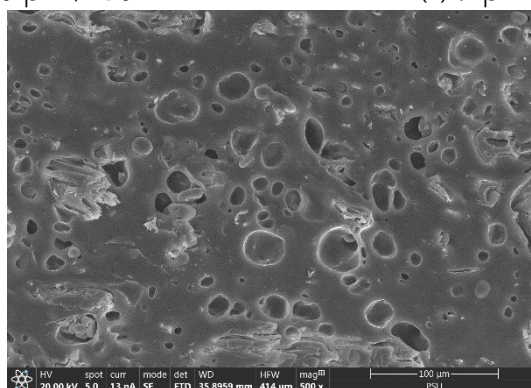
(ข) 12 phr /60 phr /130 °C



(ค) 9 phr /40 phr /130 °C



(ง) 9 phr /80 phr /110 °C

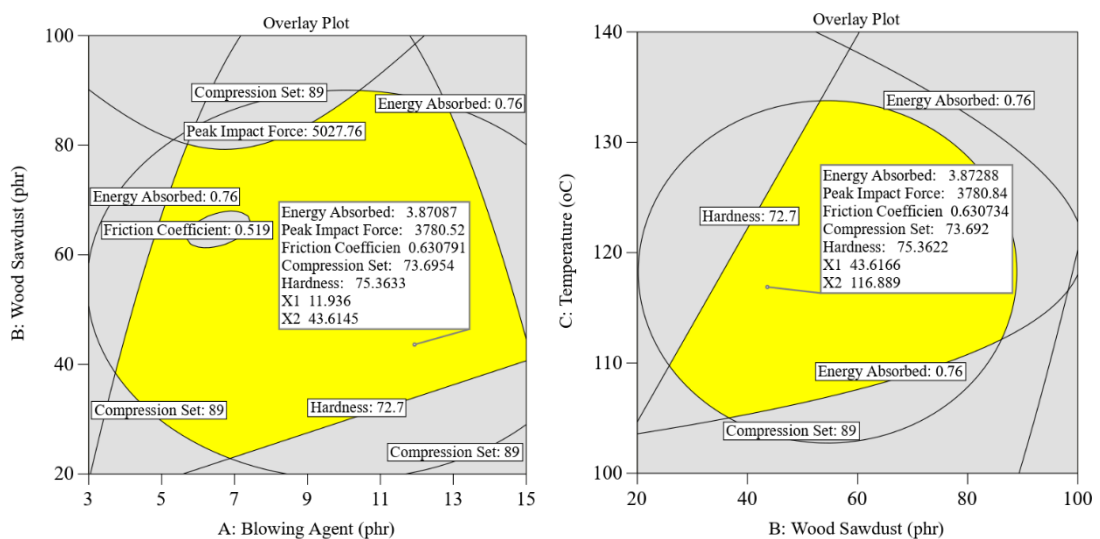


(จ) 9 phr /40 phr /110 °C

รูปที่ 4.11 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา
ที่กำลังขยาย 500 เท่า

6. สูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตแผ่นปูพื้นบันได

การหาสูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุเชิงประกอบยางพารา และ ชี้อย่อยไม้ยางพารา สำหรับใช้ผลิตแผ่นปูพื้นบันได กำหนดให้ค่าการดูดซับพลังงาน ค่าแรงกระแทกสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด และค่าความแข็ง มีค่าที่เหมาะสมที่สุดร่วมกัน สามารถกระทำได้ด้วยการใช้เทคนิคการซ้อนทับกัน (Overlay plot) ของกราฟพื้นผิวตอบสนองแต่ละตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งกำหนดให้ค่าเป้าหมายของค่าการดูดซับพลังงาน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และค่าความแข็งมีค่าสูงที่สุด ขณะที่ค่าแรงกระแทกสูงสุดและค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัดมีค่าต่ำที่สุด จากการวิเคราะห์พบว่า สูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบที่เหมาะสมที่สุดต่อสมบัติทางกลมีค่าความพึงพอใจ (Desirability score) 0.619 โดยมีสูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม คือ สารทำให้เกิดฟอง (x_1) 12 phr ชี้อย่อยไม้ยางพารา (x_2) 44 phr และอุณหภูมิการขึ้นรูป (x_3) 117 °C ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ขณะเดียวกัน ในกราฟการพล็อตซ้อนทับของคำตอบทั้งหมด สามารถทำนายค่าผลตอบสนองในแต่ละสมบัติทางกลจากส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม คือ ค่าการดูดซับพลังงาน 3.87 J ค่าแรงกระแทกสูงสุด 3780 N ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.63 ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด 73.7% และค่าความแข็ง 75.4 Shore OO



รูปที่ 4.12 กราฟการพล็อตซ้อนทับของคำตอบทั้งหมดตามค่าความพึงพอใจโดยรวม

ตารางที่ 4.4 สูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดร่วมกันของทุกสมบัติ และผลตอบสนองจากการทำนาย

	Parameter			Response				
	x_1	x_2	x_3	Energy Absorbed (J)	Peak Impact Force (N)	Friction Coefficient	Compression Set (%)	Hardness (Shore OO)
	12	44	117	3.87	3780	0.63	73.7	75.4

Predicted	12	44	117	3.87	3780	0.63	73.7	75.4
-----------	----	----	-----	------	------	------	------	------

7. ผลผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นบันไดจากวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา และการประยุกต์ใช้งาน

สูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อยไม้ยางพารา คือ สารทำให้เกิดฟอง 12 phr ซีลี้อยไม้ยางพารา 44 phr และอุณหภูมิการขึ้นรูป 117 °C สามารถนำมาใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นบันไดได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) และสามารถนำไปติดตั้งเข้ากับบันไดเพื่อประยุกต์ใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 ลักษณะ (ก) ผลผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นบันได และ (ข) การประยุกต์ใช้งานแผ่นปูพื้นบันได

4.2 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ โครงการวิจัยย่อยที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง มีผลการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ผลการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

- 1) ผลการเตรียมก่อนการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

ในขั้นตอนนี้เป็นผลของการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้ในเมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (HOQ) ซึ่งเป็นเมทริกซ์แรกของ (QFD) โดยมีผลการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

(1) ผลการสำรวจความต้องการของลูกค้า (Voice Of Customer; VOC) ซึ่งในการสำรวจความต้องการของลูกค้าได้ทำการสำรวจจากผู้ผลิต และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์สำหรับผู้สูงอายุซึ่งได้ทำการสำรวจโดยใช้การสัมภาษณ์พูดคุย และแบบสอบถามสำรวจความต้องการของลูกค้า (แบบสอบถามที่ 1) ดังแสดงในภาคผนวก ก. โดยในการกำหนดขนาดตัวอย่างการสำรวจนั้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ระดับความเชื่อมั่น 90% และได้เลือกใช้สมการกรณีไม่ทราบจำนวนประชากรของ W.G.cochran ดังสมการที่ 4.6 $P = 0.20$ $Z = 1.96$ และ $d = 0.05$

$$\text{แทนค่าในสูตร } n = \frac{0.20(1 - 0.20)1.96^2}{0.05^2}$$

ดังนั้น $n = 246$

ดังนั้นในขั้นตอนของการสำรวจความต้องการของลูกค้า ผู้วิจัยได้จำนวนขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการคำนวณได้ 246 ตัวอย่าง แต่เมื่อสำรวจจริงผู้วิจัยได้เพิ่มความต้องการของลูกค้าเป็น 39 ตัวอย่าง เพื่อเพิ่มระดับความมั่นใจขึ้น ซึ่งจากการสัมภาษณ์และเก็บแบบสอบถาม พบว่ามีเสียงความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

(2) ผลจากการนำเสียงของลูกค้ามาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ ซึ่งจากข้อมูลความต้องการของกลุ่มร้านค้าผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์ทั่วไป และลูกค้าผู้ใช้ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์ทั่วไป เป็นข้อมูลมาจากความคิดที่อาจจะไม่เป็นภาษาที่เป็นทางการหรือไม่ได้ผ่านการ กลั่นกรอง จึงจำเป็นจะต้องจัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data) ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การแปลงเสียงของลูกค้าให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกค้า

ความต้องการของลูกค้า	จัดเรียงถ้อยคำใหม่
สีเรียบ ๆ	สีนํสวยงาม
สีนํทึบ ๆ	
สีนํสดใส่ไม่ดูดแสง	
สีตามธรรมชาติ	
สีนํไม่ฉูดฉาด	
สีเรียบสบายตา	
สีธรรมชาติ	
สีนํสวย ๆ	
สีนํสบายตา	
สีธรรมชาตินํอไม้	
สีนํพาสเทล	
สีนํวินเทจ	
สีอ่อน	
สีนํสวยงาม	
สีนํโทนเข้ม	
สีนํมินิมอล	
สีที่มํองแล้วสบายตา	
สีที่เป็นธรรมชาติ	
สีนํสดใส่	
สีไม่สดมากเกินไป	
สีสวยเหมาะสม	
สีเหมาะสม	
สีสวยงาม	
สีสวยงามสดใส่	
สีสวยงามมีเสน่ห์	
สีสวยงามดั่งดุดใจ	

ตารางที่ 4.5 การแปลงเสียงของลูกคำให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกคำ (ต่อ)

ความต้องการของลูกคำ	จัดเรียงถ้อยคำใหม่
สีไม่สดใสเกินไป	สีสันทสวยงาม
สีสด	
สีเรียบ ๆ ไม่ฉูดฉาด	
สีสันไม่มากเหมาะสม	
สีไม่ฉูดฉาดเป็นไปตามโทนเดียวกัน	
สีเข้ม	
สีเหมาะสม ไม่สว่าง สีควรทึบ ๆ	
สีมืด ๆ	
สีมืด ๆ ทึบ ๆ	
สีสันทควรไปทางเดียวกัน	
สวยงาม	ความสวยงาม
สีสันทสวยงาม	
สวย	
สวยงามงาม	
ความสวยงาม	
ความสวย	
รูปทรงสวยงาม	
รูปร่างสวยงาม	
มองดูสวยงาม	
สวยงามทันสมัย	
ดีไซน์สวยงาม	
ลักษณะสวยงาม	
สบายๆ มองแล้วสวยงาม	
สวยงามมีสไตล์	
รูปร่างอิสระ	รูปแบบ/รูปทรงที่ทันสมัย
รูปร่างคลาสสิก	
รูปร่างอิสระ	

ตารางที่ 4.5 การแปลงเสียงของลูกคำให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกคำ (ต่อ)

ความต้องการของลูกคำ	จัดเรียงถ้อยคำใหม่
รูปร่างคลาสสิก	รูปแบบ/รูปทรงที่ทันสมัย
รูปร่างตามสรีระผู้สูงวัย	
รูปร่างแปลกใหม่	

ออกแบบหลากหลาย	
รูปร่างแตกต่างจากปกติ	
รูปร่างหลากหลายน่าสนใจ	
ออกแบบให้แปลกใหม่	
รูปร่างแปลกใหม่ต่างจากเดิม	
รูปทรงที่ทันสมัย	
รูปทรงทันสมัย	
ดีไซน์ทันสมัย	
รูปแบบทันสมัย	
ไม่โบราณจนเกินไป	
โมเดิร์นทันสมัย	
รูปทรงโมเดิร์นทันสมัย	
มีความเหมาะสมต่อสภาพปัจจุบัน	
มีรูปแบบที่ทันสมัย	
ไม่ล้าสมัย	
มีความแปลกใหม่	
ตามแบบสมัยนิยม	
ทันสมัยยาวนาน	
มีการดีไซน์ทันสมัยในการตกแต่ง	
อายุการใช้งานที่นาน	อายุการใช้งานยาวนาน
ใช้ได้ยาวนานมากกว่า 5 ปี	
อายุการใช้งาน 10 ปี	
อายุการใช้งาน 10-20 ปีขึ้นไป	
อายุการใช้งานที่คงทน	

ตารางที่ 4.5 การแปลงเสียงของลูกค้าให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกค้า (ต่อ)

ความต้องการของลูกค้า	จัดเรียงถ้อยคำใหม่
อายุนานคุ้มกับราคา	อายุการใช้งานยาวนาน
มีอายุยาวนาน	
ยืนนานยิ่งดี	
มีอายุการใช้งาน 7-10 ปี	
อายุการใช้งานที่เหมาะสมกับวัสดุผลิต	
มีอายุการใช้งานนาน ๆ	
ใช้งานได้นานไม่ต้องเปลี่ยนบ่อย ๆ	
อายุการใช้งานนานพอสมควร	

ใช้งานได้ในระยะยาว	ความแข็งแรงทนทาน
ใช้ได้นานหลายสิบปี	
ไม่ต่ำกว่า 10 ปี	
แข็งแรง	
ทนทาน	
คงทน	
รองรับน้ำหนักได้ดี	
หนาแน่นมั่นคง	
ไม่เสียรูปทรง	
ไม่เสียรูปทรงเมื่อมีการรับน้ำหนัก	
แข็งแรงทนทาน	
แข็งแรงคงทน	
มีความแข็งแรง	
คงทนแข็งแรง	
มีความยืดหยุ่นในส่วนต่าง ๆ	
ทนทานแข็งแรง	
ทนแดด	
ทนร้อน	
ทนน้ำ	

ตารางที่ 4.5 การแปลงเสียงของลูกค้าให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกค้า (ต่อ)

ความต้องการของลูกค้า	จัดเรียงถ้อยคำใหม่
ทนต่อทุกสภาพอากาศ	ความแข็งแรงทนทาน
ทนต่อความเปียกชื้น	
ทนแรงกระแทก	
ทนทานต่อการเคลื่อนย้าย	
ทนทานต่อสิ่งแวดล้อม	
ไม่พังง่าย	
ความแข็งแรงใช้งานได้ดี	
ไม่เปราะบาง	
ทนต่อการใช้งานได้นาน	
ความคงทนต่อสภาพอากาศ	
แข็งแรงทนทานเหมาะสมกับราคา	
แข็งแรงต่อการใช้งาน	
แข็งแรงทนทานคุ้มค่า	

แข็งแรงทนทานได้ดี	
ไม่ขึ้นราง่าย	ทนต่อความเปียกชื้น
โดนน้ำได้	
ทนต่อน้ำและความชื้น	
วัสดุกันน้ำได้	
โดนน้ำแล้วไม่พอง	
ดูแลง่าย	ดูแลทำความสะอาดได้ง่าย
ทำความสะอาดง่าย	
ทำความสะอาดได้สะดวก	
ทำความสะอาดเช็ดถู	
เช็ดถูง่าย	
เช็ดทำความสะอาด	
ทำความสะอาดโดยไม่ใช้น้ำยา	
เช็ดทำความสะอาดได้ง่าย	

ตารางที่ 4.5 การแปลงเสียงของลูกค้าให้อยู่ในรูปความต้องการของลูกค้า (ต่อ)

ความต้องการของลูกค้า	จัดเรียงถ้อยคำใหม่
ง่ายในการทำความสะดวก	ดูแลทำความสะอาดได้ง่าย
สามารถถอดชิ้นส่วนทำความสะอาดได้	
ครงสกรปรกไม่ฝึงแน่น	
สามารถทำความสะอาดได้ง่าย	
ทำความสะอาดพื้นผิวสัมผัสทั่วไป	
ดูแลรักษาง่าย	
ดูแลรักษาง่ายไม่ต้องเคลื่อนที่ไปมา	
ดูแลรักษาง่ายสะดวกซับซ้อน	
ทำความสะอาดไม่มีที่อับ	
ทำความสะอาดสะดวกสบาย	
ทำความสะอาดดูแลรักษาง่าย	
ทำความสะอาดสามารถโดนน้ำได้	
วิธีการดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก	
วิธีการทำความสะอาดไม่ยุ่งยาก	
สะดวกในการดูแลรักษา	
ดูแลทำความสะอาดได้ดี	
การดูแลรักษาที่ทำความสะอาดได้ง่ายที่สุด	
ราคาเหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์	ราคาเหมาะสม
คุณภาพดีเหมาะสมกับราคา	
ราคาคู่แข่งกับการใช้งาน	

4.3 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ โครงการวิจัยย่อยที่ 3 : การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ มีผลการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

1) การทดลองอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว โดยอุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่แรงดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลา 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8 นาที

(1) การอัดขึ้นรูปร้อนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงดังภาคผนวก ก พบว่าเส้นใยกาบมะพร้าวสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี ผิวสัมผัสของเส้นใยกาบมะพร้าวมีความเรียบ แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 8 นาที

(2) การอัดขึ้นรูปร้อนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แสดงดังภาคผนวก ก พบว่าเส้นใยกาบมะพร้าวสามารถอัดรูปได้ดีผิวสัมผัสมีความเรียบทั้งที่ก้นและรอบ ๆ บรรจุภัณฑ์ แต่ไม่ดีเท่า 150 องศา ซึ่งเมื่อได้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจึงทำให้เส้นใยมีสีที่เปลี่ยนไปแต่ไม่มาก แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 8 นาที

(3) วิเคราะห์ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ ที่มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว พบว่าทุกอุณหภูมิสามารถขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีผิวที่เรียบ เส้นใยเรียงตัวกันได้ดีและยึดเกาะกันแน่น ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีผิวที่เรียบแต่มีสีที่เปลี่ยนไป เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เส้นใยโดนความร้อนมากขึ้น จึงทำให้เส้นใยเกิดการเสียหายเมื่อโดนความร้อนมากเกินไป สีของเส้นใยจึงเปลี่ยนไปแต่ไม่มาก สามารถนำไปใช้งานได้ จึงสรุปได้บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว สามารถขึ้นรูปได้ทั้งหมด แต่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป จึงทำให้บรรจุภัณฑ์ลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันไปในแต่ละอุณหภูมิและแต่ละเวลา อยู่ที่ว่าอุณหภูมิใดและเวลาใดที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด ในการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

2. ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

(1) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดงดังภาคผนวก ข ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานแรง กดอัดทาง ด้านบน	ความเค้นแรงกด อัดทางด้านบน เฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	137.41	22.02	1.20	0.17
	6	156.68	7.95	1.59	0.18
	8	197.85	48.95	1.90	0.28

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 1.90 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 1.20 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(2) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปพร้อมบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าว ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีลักษณะกายภาพแสดงดังภาคผนวก ข ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.7

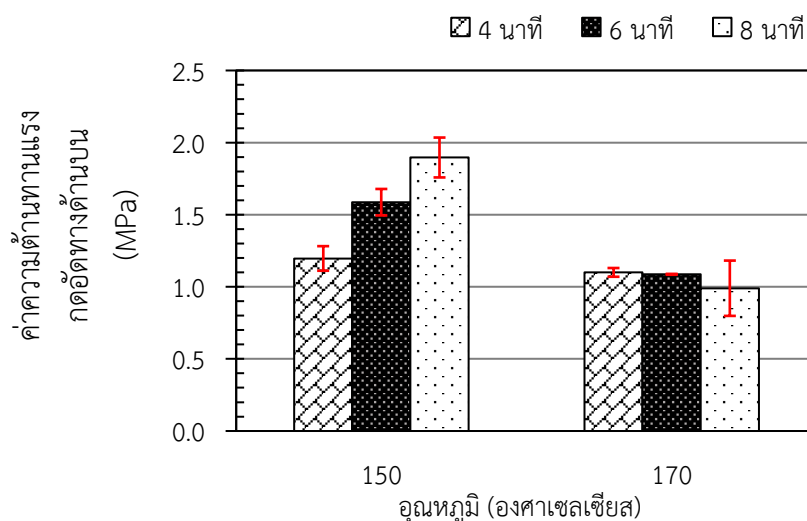
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานแรง กดอัดทาง ด้านบน	ความเค้นแรงกด อัดทางด้านบน เฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	129.55	18.91	1.10	0.06
	6	124.01	1.05	1.09	0.01
	8	118.88	14.92	0.99	0.38

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 1.10 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.99 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

(3) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในกระบวนการขึ้นรูปพร้อมบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบ

ความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 1.90 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 0.99 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหายบรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.91 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส

(4) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดงดังภาคผนวก ค ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านข้าง เฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านข้างเฉลี่ย	ส่วน เบี่ยงเบน
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)				

		(นิวตัน)	แรงกดอัด ทางด้านข้าง	(MPa)	มาตรฐาน ความเค้น
150	4	305.16	105.93	1.60	0.44
	6	516.14	114.76	2.43	0.52
	8	570.97	43.42	2.58	0.03

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที่ เท่ากับ 2.58 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที่ เท่ากับ 1.60 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

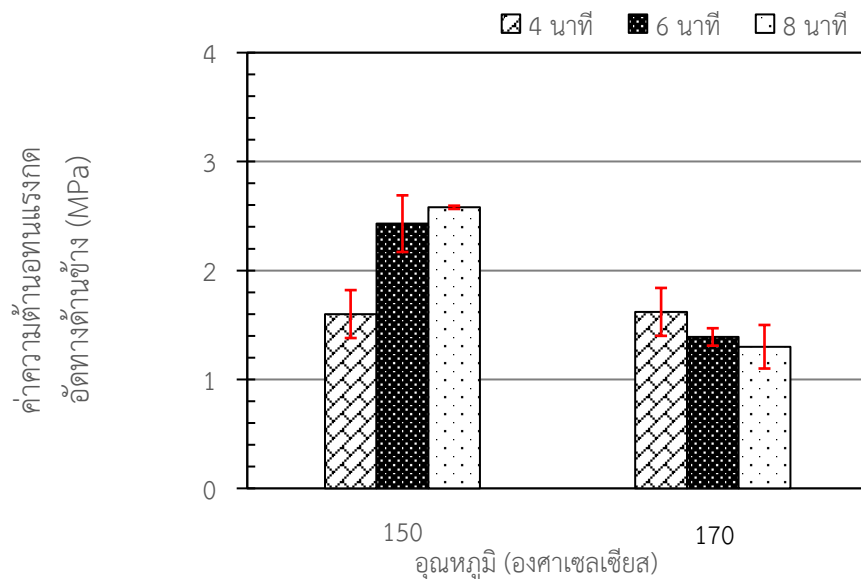
(5) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดงดังภาคผนวก ค ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านข้าง เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านข้าง	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านข้างเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	378.96	63.15	1.62	0.44
	6	314.21	24.27	1.39	0.16
	8	267.71	5.59	1.30	0.04

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 1.62 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 1.30 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะและแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

(6) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 2.58 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 1.30 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหายบรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงที่สุดและต่ำสุดต่างกันอยู่ที่ 1.28 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย
กาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส

3) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

(1) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย
กาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดง
ดังภาพผนวก ง ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการ
ทดสอบแรงดึง ASTM D828 แต่เปลี่ยนขึ้นงานการทดสอบเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ
150 องศาเซลเซียส

กระบวนการขึ้นรูป		แรงดึงเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงดึง	ความเค้น แรงดึง (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาทีก)				
150	4	207.99	53.97	1.89	0.43
	6	233.10	57.72	2.19	0.53
	8	279.61	109.21	2.48	0.77

จากตารางที่ 4.10 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
เวลา 8 นาทีก เท่ากับ 2.48 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส
เวลา 4 นาทีก เท่ากับ 1.89 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น

เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น

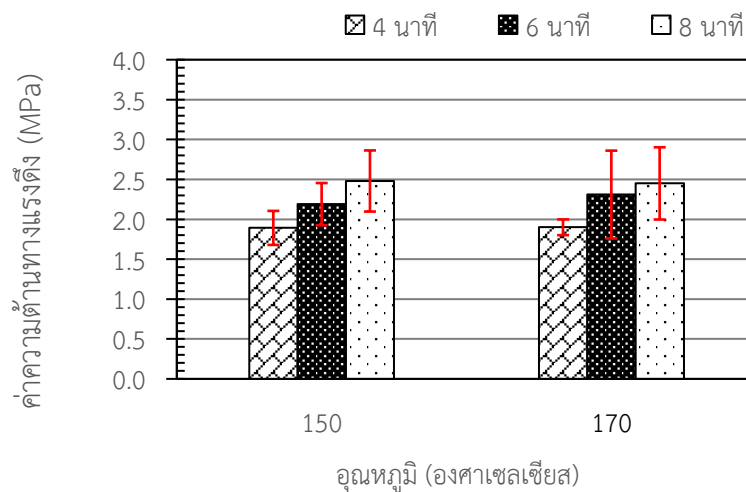
(2) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดงดังภาพผนวก ง ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ASTM D828 แต่เปลี่ยนชิ้นงานการทดสอบเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

กระบวนการขึ้นรูป		แรงดึงเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงดึง	ความเค้น แรงดึงเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	184.99	33.65	1.90	0.20
	6	225.95	96.22	2.31	1.10
	8	244.35	76.44	2.45	0.91

จากตาราง 4.11 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 2.45 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 1.90 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น

(3) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงดึงเท่ากับ 2.48 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาท มีค่าแรงดึงเท่ากับ 1.90 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในอุณหภูมิที่ต่างกัน และใช้เวลาสูงขึ้น ทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.56 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกัน และอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส

4) ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

(1) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดงดังภาพผนวก จ โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาท)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาท)						ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
150	4	10.36	10.44	10.35	11.23	15.25	11.23	2.11
	6	12.33	12.46	12.23	15.01	16.03	13.61	1.78
	8	15.36	15.22	14.56	11.36	15.10	14.32	1.68

จากตารางที่ 4.12 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 14 นาท 32 วินาที และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 11 นาท 23 วินาที พบว่าเมื่อยังเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีเรียงตัวกันได้ดี เส้นใยมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น

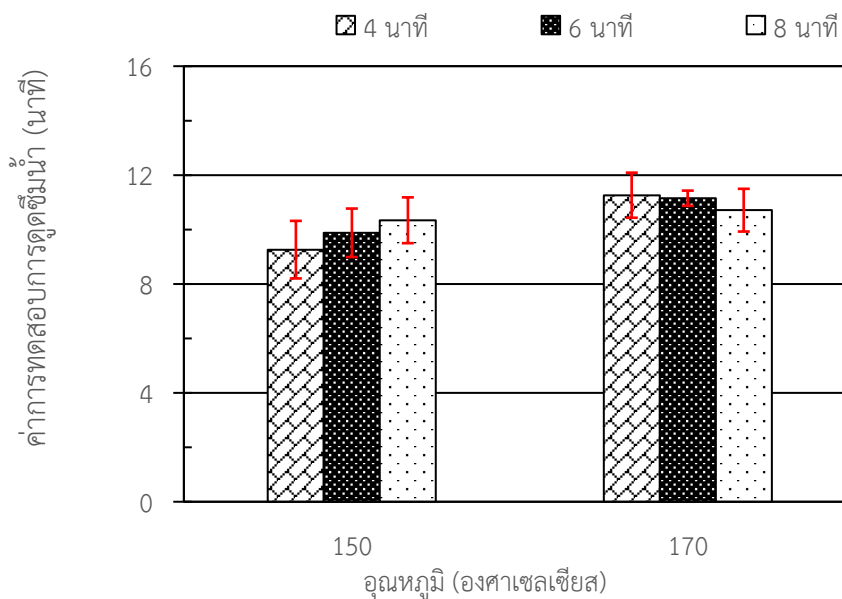
(2) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส มีลักษณะแสดงดังภาพผนวก จ โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาท)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาท)						ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
170	4	12.41	13.45	15.23	15.36	16.57	14.60	1.66
	6	14.56	14.31	14.01	13.38	13.30	13.91	0.56
	8	10.35	12.47	14.16	10.55	11.38	11.78	1.57

จากตารางที่ 4.13 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 15 นาท และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 12 นาท 18 วินาที พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลาและอุณหภูมิ ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเพิ่มเวลาสูงขึ้น

(3) วิเคราะห์ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาท พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันดีมากขึ้น จะเห็นได้ว่าในทุก ๆ อุณหภูมิเมื่อเพิ่มเวลาขึ้นค่าการดูดซึมน้ำก็มีค่าที่เพิ่มขึ้น บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาท มีค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดอยู่ที่ 15 นาท และการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาท มีค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดอยู่ที่ 11 นาท 53 วินาที ซึ่งจากค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาท มีค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดและเร็วสุด ต่างกันเป็นเวลา 3 นาท 7 วินาที สรุปได้ว่า ปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิที่ต่างกันและเวลาที่ต่างกัน มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวได้ แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส

5) ผลจากการทดสอบคุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว

จากการทดลองในการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว การทดสอบสมบัติทางกลตามมาตรฐานของ American Society for Tasting and Materials (ASTM) และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าในอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที เหมาะสมที่สุดเนื่องจากบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากและเวลาที่สูงขึ้น ทำให้เส้นใยที่เรียงตัวกันแน่นไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ผิวสัมผัสมีลักษณะทางกายภาพที่เรียบทั่วทั้งภาชนะ มีความแข็งแรง และยังคงสีธรรมชาติเดิมไม่มีสีที่เปลี่ยนไป มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนและค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างที่สูงที่สุดถึง 1.90 MPa และ 1.30 MPa มีค่าความต้านทานแรงดึง 2.48 MPa ส่วนค่าการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 14 นาที 32 วินาที เหมาะสำหรับการใส่อาหารมากกว่า ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 8 นาที

2. ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1) การทดลองอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE โดยอุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่แรงดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้เวลา 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8 นาที

(1) การอัดขึ้นรูปรีออนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงดังภาคผนวก ก พบว่าเส้นใยคาบมะพร้าวสามารถอัดขึ้นรูปได้ดี ผิวสัมผัสของเส้นใยมะพร้าวมีความเรียบ แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)
ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

(2) การอัดขึ้นรูปรีออนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส แสดงดังภาคผนวก ก พบว่าเส้นใยคาบมะพร้าวสามารถอัดรูปได้ดี ผิวสัมผัสมีความเรียบทั้งที่ก้นและรอบ ๆ บรรจุภัณฑ์ แต่ไม่ดีเท่า 150 องศา ซึ่งเมื่อได้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจึงทำให้เส้นใยมีสีที่เปลี่ยนไปแต่ไม่มาก แสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)
ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

(3) การอัดขึ้นรูปร้อนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)
ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน	อัตราส่วน			ผลการขึ้นรูป	ผลการทดสอบ
	เส้นใย กาบ มะพร้าว (กรัม)	ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) (กรัม)	น้ำมัน พืช (ml)		
90 : 10	9	4.5	1.8		ใยมะพร้าวน้อยเกินไปไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
80 : 20	16	8	3.2		ใยมะพร้าวน้อยเกินไปไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

อัตราส่วน	อัตราส่วน			ผลการขึ้นรูป	ผลการทดสอบ
	เส้นใย กาบ มะพร้าว (กรัม)	ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) (กรัม)	น้ำมัน พืช (ml)		
70 : 30	20	10	4		ใยมะพร้าว พอดี สามารถ นำมาเป็น บรรจุภัณฑ์ ได้
60 : 40	24	12	4.8		ใยมะพร้าว มากเกินไป ทำให้ ภาชนะแข็ง
50 : 50	25	12.5	5		ใยมะพร้าว มากเกินไป ทำให้ ภาชนะแข็ง
40 : 60	12	24	4.8		ใยมะพร้าว น้อยเกินไป ไม่สามารถ นำมาเป็น บรรจุภัณฑ์ ได้

อัตราส่วน	อัตราส่วน			ผลการขึ้นรูป	ผลการทดสอบ
	เส้นใย กาบ มะพร้าว (กรัม)	ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) (กรัม)	น้ำมัน พืช (ml)		
30 : 70	10.5	21	4.2		ผงพลาสติก มากเกินไป ไม่สามารถ นำมาเป็น บรรจุภัณฑ์ ได้
20 : 80	8	16	3.2		ใยมะพร้าว น้อยเกินไป ไม่สามารถ นำมาเป็น บรรจุภัณฑ์ ได้
10 : 90	4.5	9	1.8		ใยมะพร้าว น้อยเกินไป ไม่สามารถ นำมาเป็น บรรจุภัณฑ์ ได้

(4) การอัดขึ้นรูปร้อนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

อัตราส่วน	อัตราส่วน			ผลการขึ้นรูป	ผลการทดสอบ
	เส้นใยกาบมะพร้าว (กรัม)	ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) (กรัม)	น้ำมันพืช (ml)		
90 : 10	9	4.5	1.8		ใยมะพร้าวน้อยเกินไป ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
80 : 20	16	8	3.2		ใยมะพร้าวน้อยเกินไป ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
70 : 30	20	10	4		ใยมะพร้าวพอดิ สามารถ นำมา เป็นบรรจุภัณฑ์ได้
60 : 40	24	12	4.8		ใยมะพร้าวมากเกินไป ทำให้ ภาชนะแข็ง

อัตราส่วน	อัตราส่วน			ผลการขึ้นรูป	ผลการทดสอบ
	เส้นใยกาบมะพร้าว (กรัม)	ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) (กรัม)	น้ำมันพืช (ml)		
50 : 50	25	12.5	5		ใยมะพร้าวมากเกินไป ทำให้ภาชนะแข็ง
40 : 60	12	24	4.8		ใยมะพร้าวน้อยเกินไป ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
30 : 70	10.5	21	4.2		ผงพลาสติกมากเกินไป ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้
20 : 80	8	16	3.2		ใยมะพร้าวน้อยเกินไป ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

อัตราส่วน	อัตราส่วน			ผลการขึ้นรูป	ผลการทดสอบ
	เส้นใยกาบมะพร้าว (กรัม)	ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) (กรัม)	น้ำมันพืช (ml)		
10 : 90	4.5	9	1.8		ใยมะพร้าวน้อยเกินไป ไม่สามารถนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

(5) วิเคราะห์ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ ที่มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) พบว่าทุกอุณหภูมิสามารถขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส มีผิวที่เรียบ เส้นใยเรียงตัวกันได้ดีและยึดเกาะกันแน่น คือ อัตราส่วนที่ 80:20, 70:30, 60:40, 50:50

2) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

(1) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	207.11	14.70	2.51	0.20
	6	252.16	34.08	2.09	0.24
	8	209.38	18.94	2.04	0.27

จากตารางที่ 4.14 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 2.51 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 2.04 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

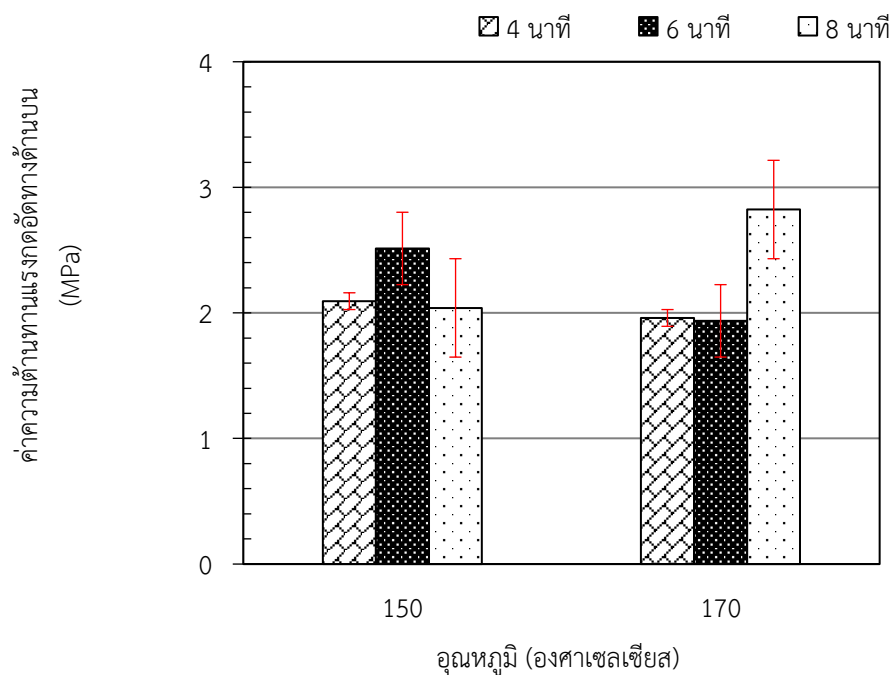
(2) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	209.96	39.21	1.96	0.62
	6	200.91	26.17	1.94	0.58
	8	303.70	18.30	2.82	0.11

จากตารางที่ 4.15 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที่ เท่ากับ 2.82 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที่ เท่ากับ 1.96 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(3) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาที่ พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที่ มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 2.82 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที่ มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 1.96 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มาก ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.86 MPa จึงสรุปปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)

(4) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัดทางด้านบนเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแรงกดอัดทางด้านบน	ความเค้นแรงกดอัดทางด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	171.19	46.68	1.65	0.38
	6	305.09	24.63	2.18	0.03
	8	558.33	155.88	3.43	0.41

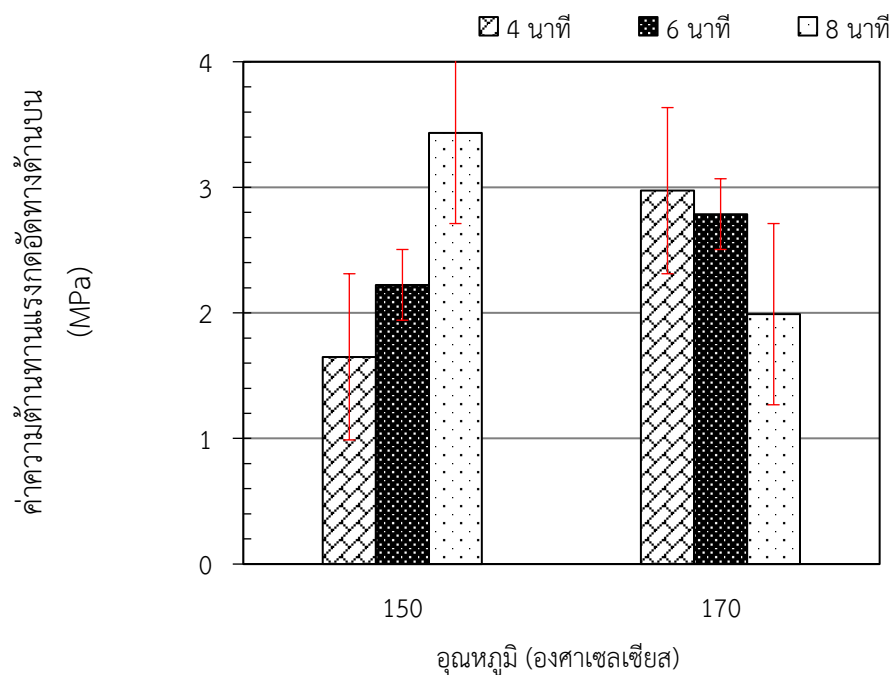
จากตารางที่ 4.16 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 3.43 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 1.65 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหายจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น (5) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	452.18	205.35	2.97	0.83
	6	417.15	194.14	2.79	0.77
	8	223.62	48.60	1.99	0.26

จากตารางที่ 4.17 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 2.97 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 1.99 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

(6) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 3.43 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 1.65 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มาก ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงที่สุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 1.78 MPa จึงสรุปปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)

(7) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัดทางด้านบนเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแรงกดอัดทางด้านบน	ความเค้นแรงกดอัดทางด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	272.96	26.91	2.33	0.32
	6	222.15	77.69	2.01	0.59
	8	240.08	48.36	1.96	0.28

จากตารางที่ 4.18 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 2.33 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 1.96 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

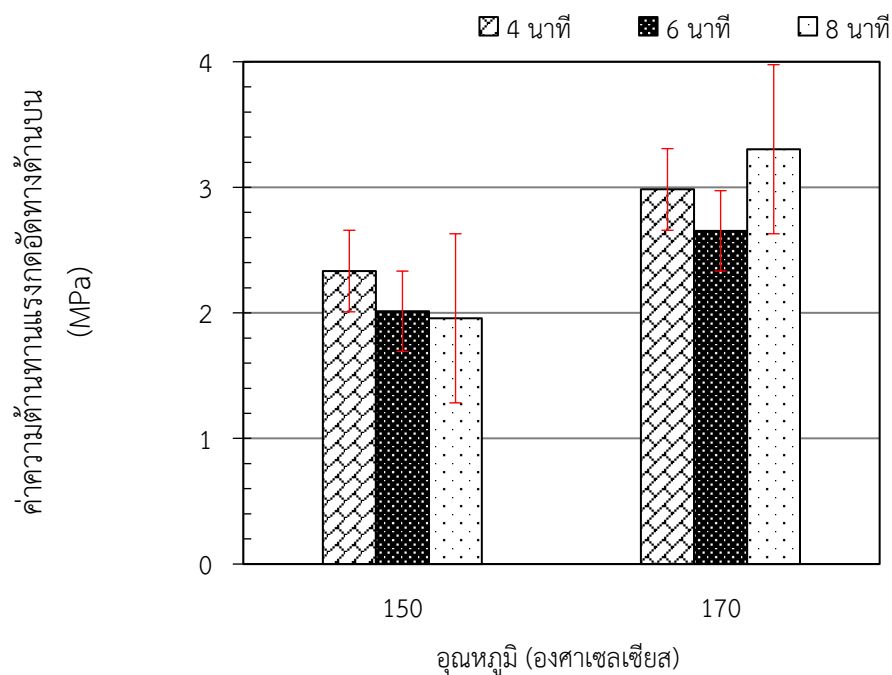
(8) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	446.27	49.53	2.98	0.04
	6	348.01	46.61	2.65	0.40
	8	486.21	95.13	3.30	0.38

จากตารางที่ 4.19 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที่ เท่ากับ 3.30 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที่ เท่ากับ 2.98 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(9) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาที่ พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที่ มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 3.30 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที่ มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 1.96 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มาก ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 1.34 MPa จึงสรุปปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)

(10) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	351.62	52.44	3.30	0.26
	6	521.62	52.44	3.30	0.26
	8	338.03	37.08	2.50	0.34

จากตารางที่ 4.20 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 3.30 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 2.50 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

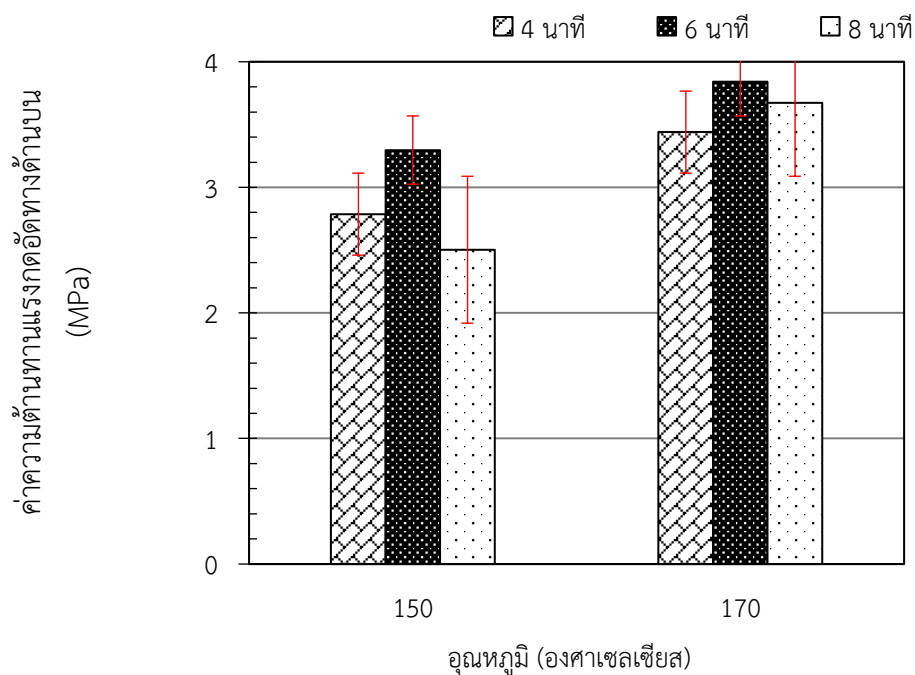
(11) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนขึ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	546.58	148.03	3.44	0.45
	6	667.85	109.31	3.84	0.32
	8	607.11	6.18	3.67	0.05

จากตารางที่ 4.21 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 3.67 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 3.44 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหายจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(12) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท้ากับ 3.67 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท้ากับ 2.50 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มาก ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 1.17 MPa จึงสรุปปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)

(13) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.22

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	17.38	11.07	0.28	0.09
	6	21.46	7.78	0.21	0.06
	8	15.04	1.61	0.18	0.07

จากตาราง 4.22 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.28 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.18 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

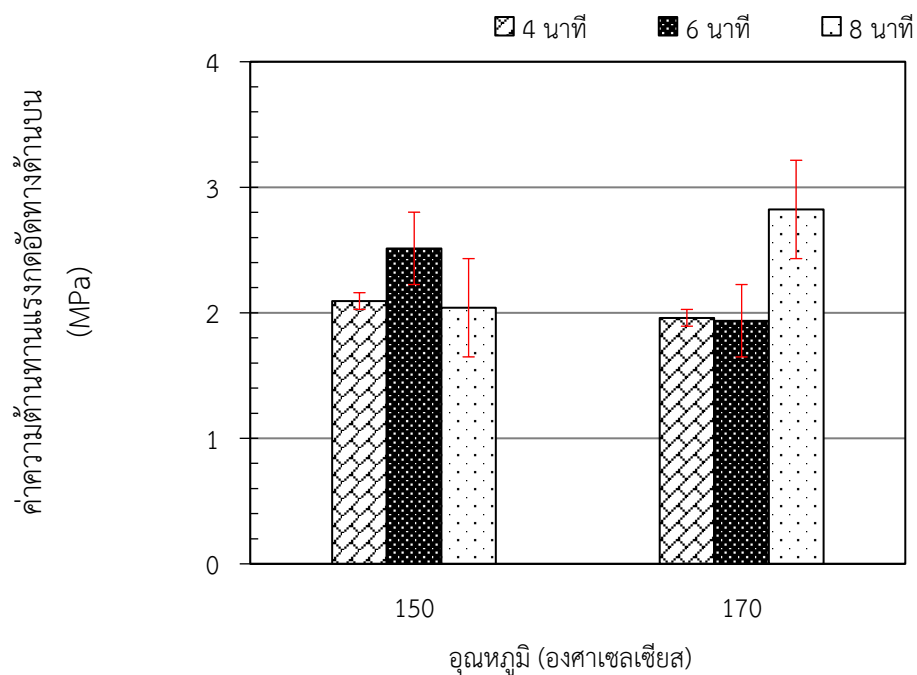
(14) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	27.96	4.90	0.17	0.08
	6	15.47	1.77	0.31	0.09
	8	35.99	24.09	0.43	0.35

จากตารางที่ 4.23 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.43 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.17 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหายจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(15) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 0.43 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 0.17 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.26 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุนหนุมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)

(16) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุนหนุมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	38.33	37.68	0.49	0.39
	6	61.40	23.47	0.69	0.31
	8	82.42	54.60	0.76	0.32

จากตารางที่ 4.24 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.49 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.76 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหายจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

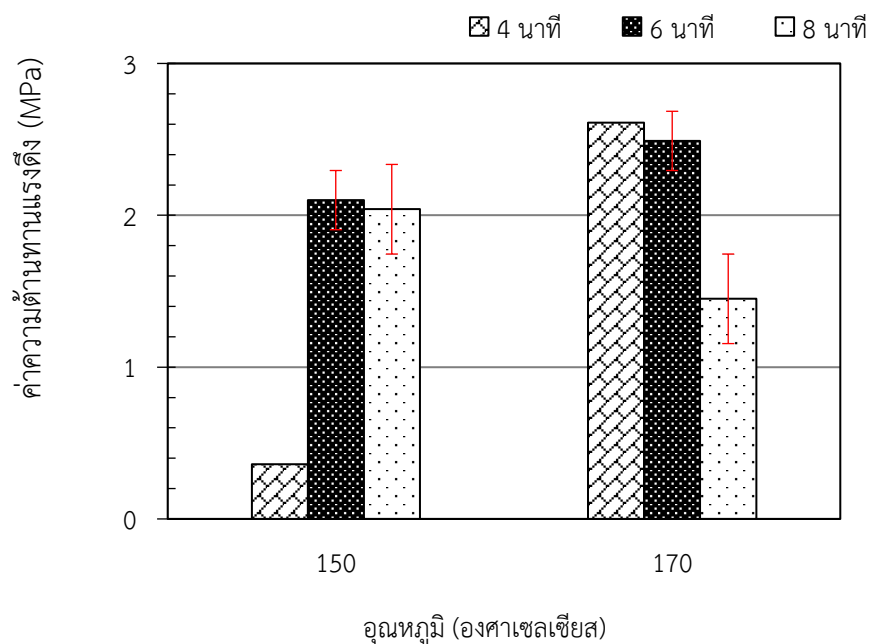
(17) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	37.23	4.09	0.42	0.09
	6	43.29	17.53	0.50	0.18
	8	72.57	24.09	0.73	0.25

จากตารางที่ 4.25 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.42 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.73 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(18) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 0.76 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 0.42 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.34 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)

(19) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	28.25	8.01	0.37	0.06
	6	34.82	14.00	0.30	0.17
	8	20.01	5.19	0.22	0.03

จากตารางที่ 4.26 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.37 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.22 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

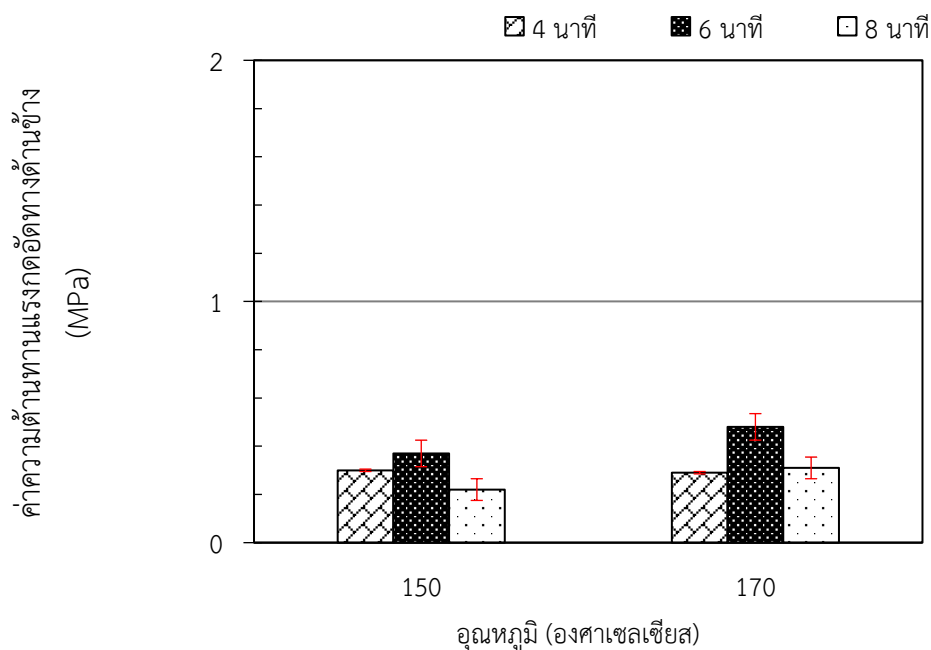
(20) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.27

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	26.06	10.60	0.29	0.10
	6	25.11	6.22	0.31	0.29
	8	38.26	22.39	0.48	0.03

จากตารางที่ 4.27 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 0.48 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 0.29 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหายจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(21) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท่ากับ 0.48 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท่ากับ 0.22 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.26 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)

(22) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้าง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.28

ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	39.42	10.76	0.47	0.37
	6	28.40	5.29	0.29	0.09
	8	38.03	26.61	0.50	0.25

จากตารางที่ 4.28 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.50 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาท เท้ากับ 0.29 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างลดลง เนื่องจากความร้อนที่สูงและเมื่อใช้เวลานาน ทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

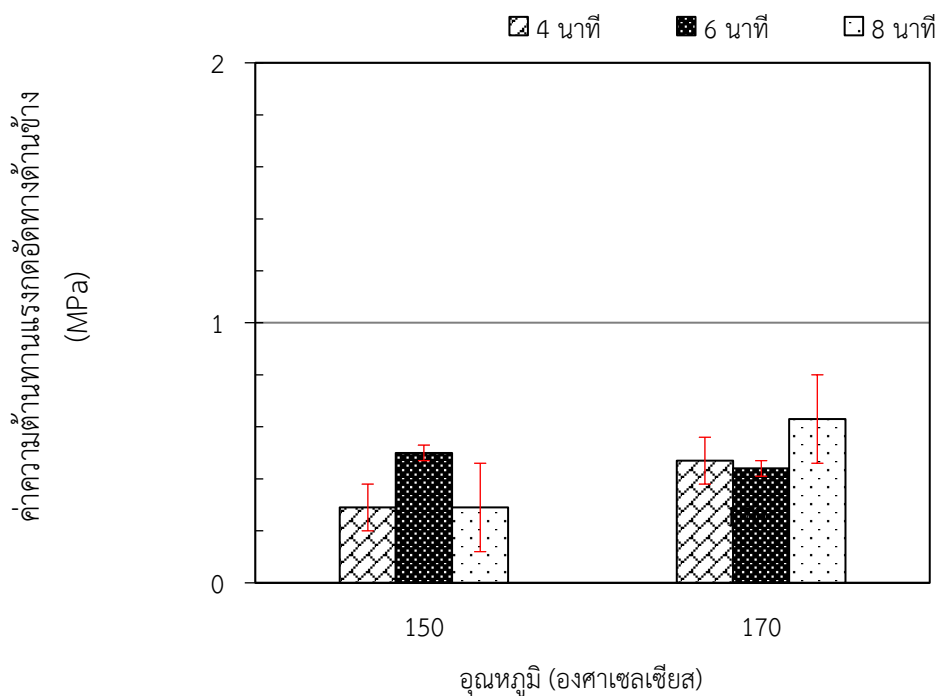
(23) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนขึ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	39.42	10.76	0.44	0.25
	6	34.90	5.44	0.47	0.15
	8	41.90	21.70	0.63	0.34

จากตารางที่ 4.29 พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.63 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.44 MPa พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่น้อยและเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นใยยึดติดกันแน่นขึ้นและทำให้เส้นใยไม่เกิดการเสียหายจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงกดอัดเพิ่มขึ้น

(24) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 0.63 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 6 นาท มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท้ากับ 0.29 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.34 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้นบนสูงสุดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)

3) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงอัดบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

(1) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ASTM D828 แต่เปลี่ยนชิ้นงานการทดสอบเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานแรง กดอัดทาง ด้านบน	ความเค้นแรงกด อัดทางด้านบน เฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	17.38	11.07	0.19	0.09
	6	21.46	7.78	0.28	0.06
	8	15.04	1.61	0.18	0.08

จากตารางที่ 4.30 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาท เท่ากับ 0.28 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 0.18 MPa พบว่าเมื่อยังเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงเนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

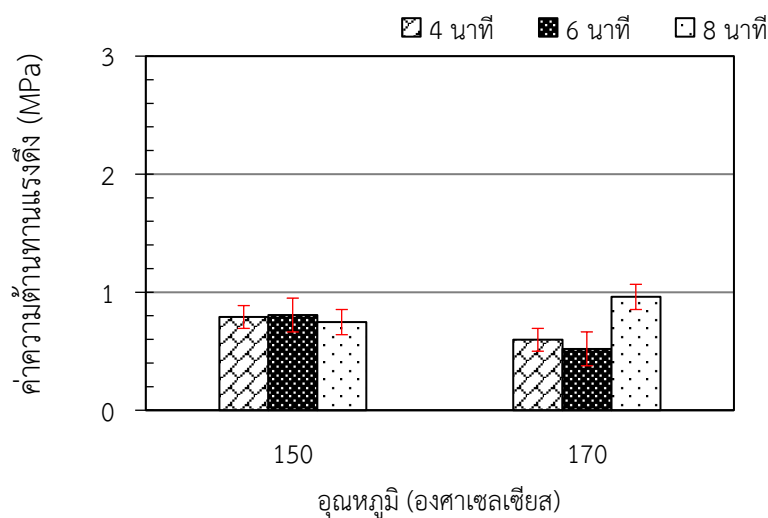
(2) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานแรง กดอัดทาง ด้านบน	ความเค้นแรงกด อัดทางด้านบน เฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	27.96	4.90	0.31	0.08
	6	15.47	1.77	0.17	0.09
	8	35.99	24.09	0.43	0.35

จากตารางที่ 4.31 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 0.43 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาท เท่ากับ 0.17 MPa พบว่าเมื่อยังเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น

(3) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาที พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงดึงเท่ากับ 0.96 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที มีค่าแรงดึงเท่ากับ 0.52 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.44 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)

(4) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
150	4	38.68	37.69	0.49	0.39
	6	61.40	23.47	0.69	0.31
	8	82.42	54.60	0.76	0.32

จากตารางที่ 4.32 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.76 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.49 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น

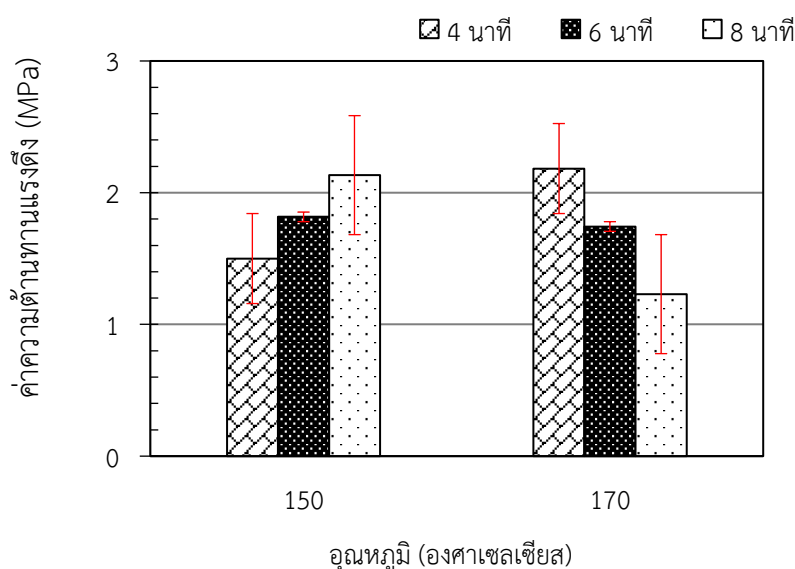
(5) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	72.57	24.09	0.73	0.18
	6	43.29	17.53	0.50	0.18
	8	37.23	4.09	0.42	0.09

จากตารางที่ 4.33 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เท่ากับ 0.73 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เท่ากับ 0.42 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

(6) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาที พบว่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงดึงเท่ากับ 0.76 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงดึงเท่ากับ 0.42 MPa ซึ่งจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.34 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)

(7) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย กาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่ สูตร (60:40) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธี มาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาทีก)				
150	4	28.25	8.01	0.30	0.06
	6	34.82	14.00	0.37	0.17
	8	20.01	5.19	0.22	0.03

จากตารางที่ 4.34 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาที เท่ากับ 0.37 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เท่ากับ 0.22 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

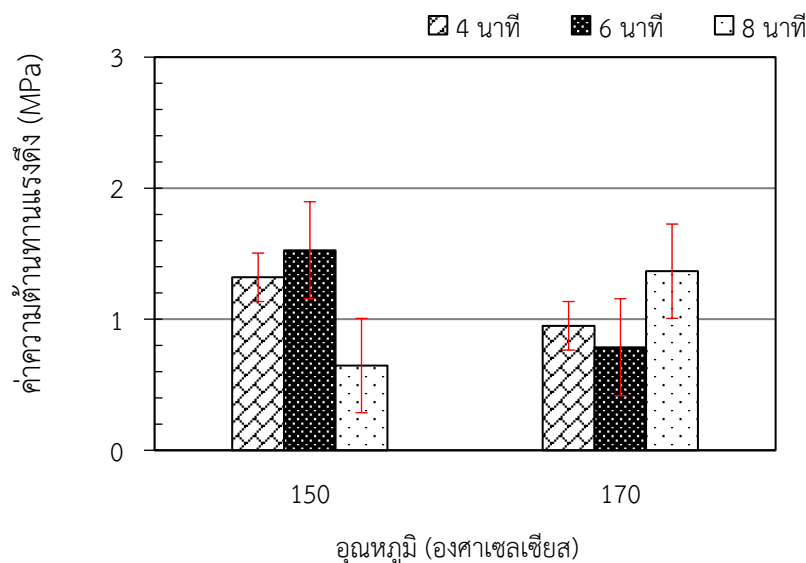
(8) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใย กาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่ สูตร (60:40) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธี มาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตาราง 4.35

ตารางที่ 4.35 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	26.06	10.60	0.29	0.10
	6	25.11	6.22	0.31	0.03
	8	38.26	22.39	0.48	0.29

จากตาราง 4.35 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.42 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท้ากับ 0.29 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น

(9) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียสเส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงดึงเท้ากับ 0.42 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงดึงเท้ากับ 0.22 MPa ซึ่งจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.20 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)

(10) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที่)				
150	4	27.16	6.48	0.29	0.10
	6	28.40	5.29	0.29	0.37
	8	38.03	26.61	0.50	0.09

จากตารางที่ 4.36 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เท่ากับ 0.50 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เท่ากับ 0.29 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้ให้เส้นใยเริ่มมีการเปราะ และแข็ง จึงทำให้มีความแข็งแรงที่ลดลง

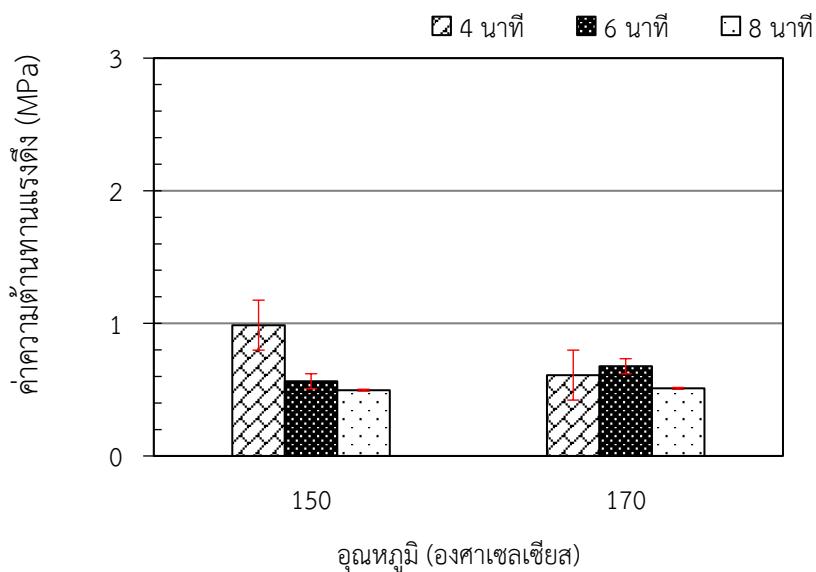
(11) การทดสอบความต้านทานแรงดึง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิ เอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบน มีแนวทางในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานการทดสอบแรงกดอัด ASTM E9 แต่เปลี่ยนชิ้นงานเป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

กระบวนการขึ้นรูป		แรงกดอัด ทางด้านบน เฉลี่ย (นิวตัน)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน แรงกดอัด ทางด้านบน	ความเค้นแรง กดอัดทาง ด้านบนเฉลี่ย (MPa)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน ความเค้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)				
170	4	39.42	10.76	0.47	0.25
	6	34.90	5.44	0.44	0.15
	8	41.90	21.70	0.63	0.34

จากตารางที่ 4.37 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท้ากับ 0.63 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาท เท้ากับ 0.44 MPa พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้น

(12) วิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ใช้เวลา 4, 6 และ 8 นาท พบว่าค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาท มีค่าแรงดึงเท้ากับ 0.63 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาท มีค่าแรงดึงเท้ากับ 0.29 MPa ซึ่งจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย บรรจุภัณฑ์มีความเปราะและแข็ง ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.34 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ในเวลาที่ต่างกันและอุณหภูมิที่ต่างกัน มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)

4) ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

(1) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20)

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาทีก)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาทีก)						
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
150	4	58.3 4	60.0 0	57.5 2	59.5 8	60.0 0	59.09	1.11
	6	60.0 0	60.0 0	59.5 5	59.5 6	59.5 9	59.79	26.74
	8	60.0 0	59.3 5	59.6 4	60.0 0	59.5 1	59.70	0.29

จากตารางที่ 4.38 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาทีก เท่ากับ 59.70 นาทีก และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาทีก เท่ากับ 59.07 นาทีก พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อน และเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีเรียงตัวกันได้ดี เส้นใยมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น

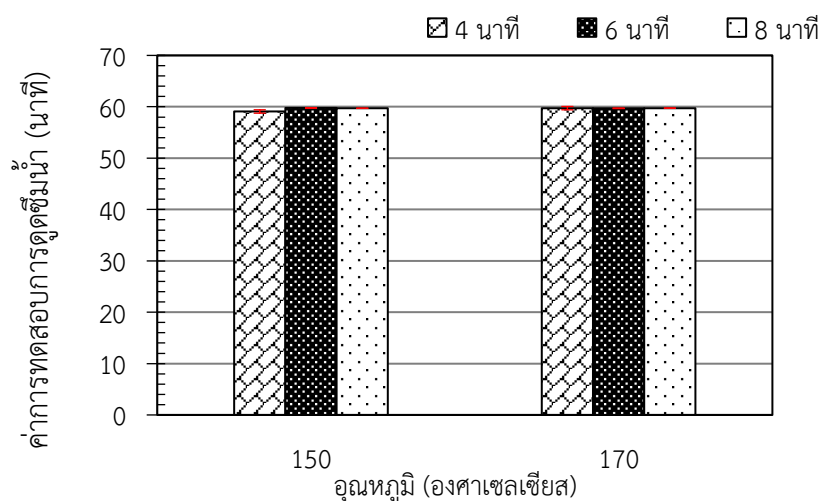
(2) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (80:20)

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาท)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาท)						
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
170	4	60.0 0	59.5 6	59.5 8	59.5 5	60.0 0	59.74	0.24
	6	59.5 4	59.5 5	60.0 0	60.0 0	59.4 2	59.70	0.28
	8	59.5 5	59.5 2	59.5 0	60.0 0	60.0 0	59.71	0.27

จากตารางที่ 4.39 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เท่ากับ 59.74 นาท และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เท่ากับ 59.71 นาท พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลาและอุณหภูมิ ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเพิ่มเวลาสูงขึ้น

(3) วิเคราะห์ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 16 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 8 กรัม น้ำมันพืช 3.2 ml. ที่สูตร (80:20) ใช้เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาท พบว่าเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันดีขึ้น บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาท มีค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่อยู่ที่ 59 นาท 74 วินาที และการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาท มีค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดอยู่ที่ 59 นาท 07 วินาที ซึ่งจากค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาท มีค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำเข้าสู่และเร็วสุดต่างกันเป็นเวลา 67 วินาที จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE ที่อุณหภูมิที่ต่างกันและเวลาที่ต่างกัน มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (80:20)

(4) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาที)						ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
150	4	28.14	32.02	25.40	29.39	31.44	29.28	2.67
	6	45.33	31.46	28.19	40.20	35.14	36.06	6.84
	8	32.54	52.00	26.35	38.12	38.44	37.49	9.49

จากตาราง 4.40 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำช้าสุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เท่ากับ 37.49 นาที และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เท่ากับ 29.28 นาที พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีเรียงตัวกันได้ดี เส้นใยมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น

(5) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศา

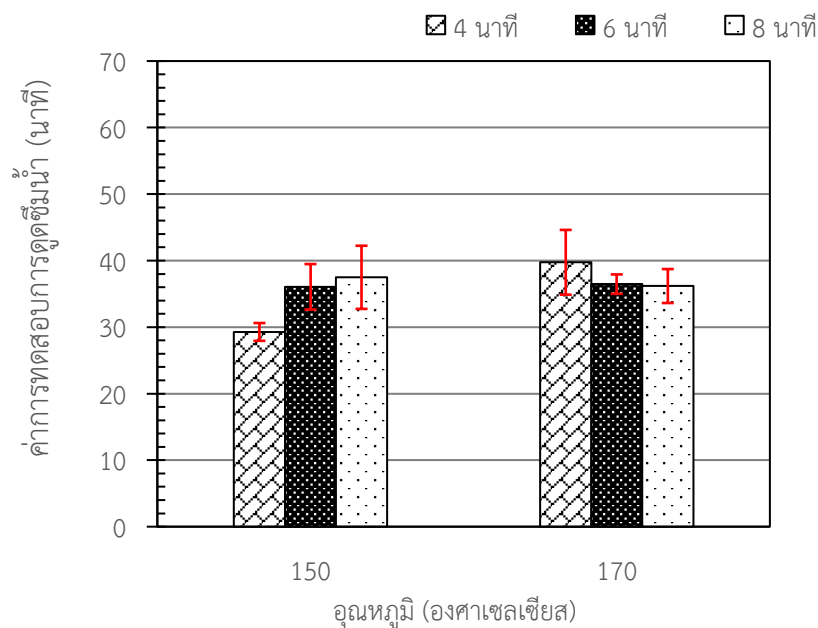
เซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30)

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (นาท)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาท)						
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
170	4	45.1 2	31.2 2	36.1 2	32.1 5	54.1 2	39.75	9.73
	6	40.3 3	34.1 1	33.4 1	35.0 4	38.4 5	36.47	2.91
	8	35.3 3	33.4 4	45.1 2	32.5 5	34.4 5	36.18	5.10

จากตารางที่ 4.41 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาท เทากับ 39.75 นาท และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาท เทากับ 36.18 นาท พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลาและอุณหภูมิ ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเพิ่มเวลาสูงขึ้น

(6) วิเคราะห์ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 20 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 10 กรัม น้ำมันพืช 4 ml. ที่สูตร (70:30) ใช้เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาท พบว่าเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันดีมากขึ้น บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาท มีค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดอยู่ที่ 39 นาท 75 วินาที และการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาท มีค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดอยู่ที่ 29 นาท 28 วินาที ซึ่งจากค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาท มีค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดและเร็วสุดต่างกันเป็นเวลา 10 นาท 47 วินาที จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมพลาสติค HDPE ที่อุณหภูมิที่ต่างกันและเวลาที่ต่างกัน มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (70:30)

(7) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.42

ตารางที่ 4.42 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาท)						ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
150	4	60.00	60.00	60.00	47.3	54.32	56.33	5.61
	6	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	0.00
	8	59.42	48.55	59.44	57.62	58.46	56.70	4.62

จากตาราง 4.42 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที่ เท่ากับ 56.70 นาที่ และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที่ เท่ากับ 56.33 นาที่ พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีเรียงตัวกันได้ดี เส้นใยมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น

(8) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.43

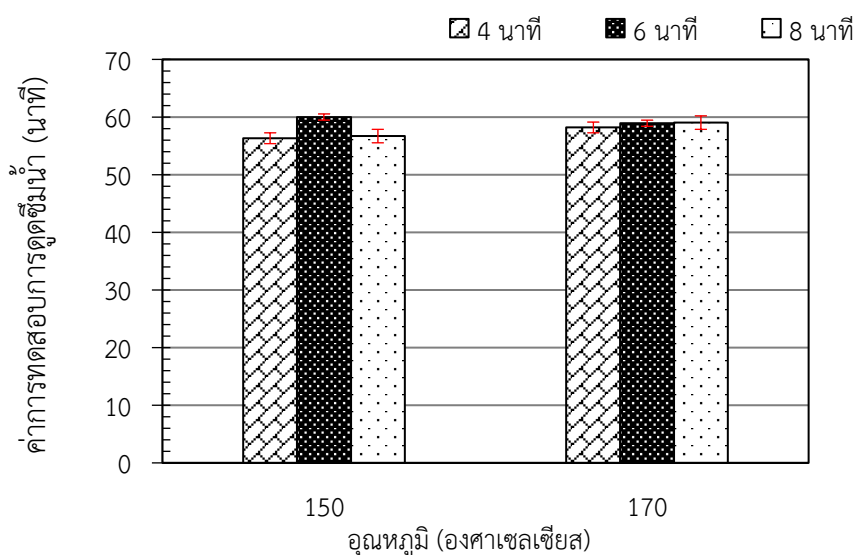
ตารางที่ 4.43 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยกาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาท)						ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
170	4	59.55	54.32	58.53	60.00	58.59	58.20	2.26
	6	60.00	59.48	58.55	59.12	57.58	58.93	0.95
	8	59.58	57.58	59.55	58.47	60.00	59.04	0.99

จากตารางที่ 4.43 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สุดเฉลี่ยอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที่ เท่ากับ 59.04 นาที่ และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 170 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที่ เท่ากับ 58.20 นาที่ พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีเรียงตัวกันได้ดี เส้นใยมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น

(9) วิเคราะห์ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800

ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 24 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12 กรัม น้ำมันพืช 4.8 ml. ที่สูตร (60:40) ใช้เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาที พบว่าเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันดีมากขึ้น บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดอยู่ที่ 59 นาที 04 วินาที และการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดอยู่ที่ 56 นาที 33 วินาที ซึ่งจากค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาที มีค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำต่ำสุดและเร็วสุดต่างกันเป็นเวลา 2 นาที 71 วินาที จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพลาสติค HDPE ที่อุณหภูมิที่ต่างกันและเวลาที่ต่างกัน มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (60:40)

(10) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 การทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเส้นใยคาบมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

อุณหภูมิ	เวลา	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาที)
----------	------	--------------------------------

(องศาเซลเซียส)	(นาทีก)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
150	4	58.59	59.47	58.45	59.56	60.00	59.21	0.67
	6	60.00	59.45	58.56	57.58	60.00	59.12	1.04
	8	58.59	58.54	55.35	57.58	59.54	57.92	1.60

จากตาราง 4.44 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สเต็มเซลล์อยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เท่ากับ 59.21 นาที และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เท่ากับ 57.95 นาที พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลาและอุณหภูมิ ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อเพิ่มเวลาสูงขึ้น

(11) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ใช้ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยจากมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) โดยใช้วิธีการทดสอบ 5 จุด แสดงดังตารางที่ 4.45

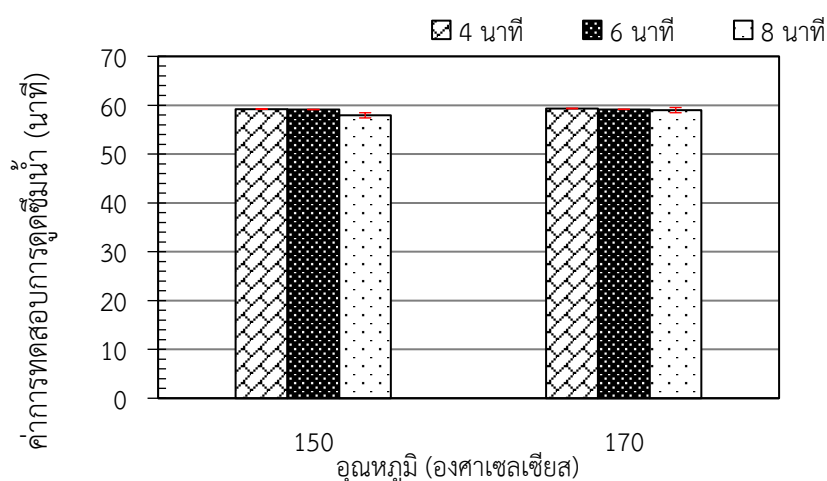
ตารางที่ 4.45 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเส้นใยจากมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาทีก)	ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ (นาทีก)						ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
170	4	59.54	59.55	59.45	58.55	59.56	59.33	0.44
	6	60.00	57.58	58.59	59.55	60.00	59.14	1.05
	8	60.00	58.56	57.25	59.55	59.59	58.99	1.11

จากตารางที่ 4.45 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สเต็มเซลล์อยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที เท่ากับ 59.33 นาที และค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เท่ากับ 58.99 นาที พบว่าเมื่อยิ่งเพิ่มเวลา ทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนและเมื่อใช้เวลานานทำให้เส้นใยมีเสียงตัวกันได้ดี เส้นใยมีการยึดเกาะกันมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้น

(12) วิเคราะห์ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในกระบวนการขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เส้นใยจากมะพร้าว 25 กรัม ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) 12.5 กรัม น้ำมันพืช 5 ml. ที่สูตร (50:50) ใช้เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาที พบว่าเมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันดีขึ้น บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่มีการอัดขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่สเต็มเซลล์อยู่ที่ 59 นาที 33 วินาที และการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดอยู่ที่ 57 นาที 95

วินาที ซึ่งจากค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3 ระดับ 4, 6 และ 8 นาที มีค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำต่ำสุดและเร็วสุดต่างกันเป็นเวลา 1 นาที 38 วินาที จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE ที่อุณหภูมิที่ต่างกันและเวลาที่ต่างกัน มีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การเปรียบเทียบค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำ ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่สูตร (50:50)

5) กระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

จากการทดลองในการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) การทดสอบสมบัติทางกลตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่าในอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที เหมาะสมที่สุดเนื่องจากบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว มีการอัดขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิไม่สูงมากและเวลาที่สั้น ทำให้เส้นใยที่เรียงตัวกันแน่นไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ผิวสัมผัสมีลักษณะทางกายภาพที่เรียบทั่วกันทั้งภาชนะ มีความแข็งแรง และยังคงสีธรรมชาติเดิมไม่มีสีที่เปลี่ยนไป มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนและค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างที่สูงที่สุดถึง 3.43 MPa และ 0.76 MPa และมีค่าความต้านทานแรงดึง 2.13 MPa และมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 37 นาที 49 วินาที ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) แสดงดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

3. ผลการทดสอบสารเคลือบ

1) ผลของสารเคลือบที่เตรียมได้

สารเคลือบที่เตรียมจากสารละลายไคโตซาน กลีเซอรอล ทวิน 80 และไขผึ้ง ในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามตาราง 1 พบว่า สารเคลือบที่ได้มีลักษณะชั้น มีความหนืด จะมีสถานะกึ่งของแข็งกึ่งของเหลวในอุณหภูมิห้อง ไม่มีกลิ่น มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.8-7.0 แสดงดังรูปที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะก่อนและหลังการเคลือบ

ลำดับการทดลอง	ก่อนเคลือบ		หลังเคลือบ	
T1				
T2				



รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการเคลือบภาชนะด้วยอัตราส่วนความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลเปรียบเทียบค่าสีตามระบบ CIELAB ของภาชนะก่อนและหลังการเคลือบ และหาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมหรือค่า ΔE^* แสดงดังตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 ผลการเปรียบเทียบน้ำหนักและค่าสีก่อนและหลังการเคลือบ

ลำดับการทดลอง	ก่อนเคลือบ			หลังเคลือบ			(ΔE^*)
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
T1	49.5	6.6	26.6	48.6	5.6	24.1	2.81
T2	49.2	7.2	27.0	48.7	6.0	24.0	3.22
T3	48.5	7.3	27.3	48.3	5.9	23.9	3.66

จะเห็นว่าค่า L* a* b* ของผิวภาชนะก่อนและหลังการเคลือบในแต่ละการทดลองมีค่าความแตกต่างน้อยมาก ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมหรือค่า ΔE^* อยู่ในช่วง 2.81-3.66 ซึ่งเป็นค่าค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบในทุกการทดลองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผิวภาชนะ

2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการนำภาชนะจากไยมะพร้าวไปใช้งาน

(1) ด้านความทนต่อการรั่วซึมน้ำ ผลการทดสอบประสิทธิภาพในด้านความทนต่อการรั่วซึมน้ำของภาชนะจากไยมะพร้าว โดยใช้น้ำสะอาดปริมาตร 100 ml ที่อุณหภูมิห้อง เทใส่ภาชนะไยมะพร้าวหลังการเคลือบ จับเวลา ตรวจสอบการรั่วซึมน้ำด้านหลังภาชนะทุก 15 นาที และบันทึกผลระยะเวลาที่ทนต่อการรั่วซึมน้ำได้ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 3 จะเห็นว่า ระยะเวลาที่ได้ในทุกการทดลองมากกว่า 60 นาที ซึ่งถ้าพิจารณาระยะเวลาในการรับประทานอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้เวลาไม่เกิน 60 นาที ดังนั้น ถ้าใช้เงื่อนไขในการบรรจุอาหารและรับประทานทันที ภาชนะหลังการเคลือบสามารถทนต่อการรั่วซึมน้ำและสามารถใช้งานได้จริง แสดงดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในด้านความทนต่อการรั่วซึมน้ำของภาชนะจากไยมะพร้าว

ลำดับการทดลอง	ระยะเวลาที่ทนต่อการรั่วซึม
T1	มากกว่า 90 นาที
T2	มากกว่า 90 นาที

T3	มากกว่า 90 นาที
----	-----------------

(2) ด้านการทนความร้อนของภาชนะจากใยมะพร้าวที่ผ่านการเคลือบ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการนำภาชนะจากใยมะพร้าวไปใช้งานในด้านการทนต่อความร้อน โดยทดสอบจากการนำภาชนะหลังการเคลือบอุ่นในเตาไมโครเวฟที่ความร้อนระดับสูงสุด (กำลังไฟ 800 วัตต์) เพื่อหาระยะเวลาสูงสุดที่ภาชนะสามารถทนความร้อนได้ พิจารณาลักษณะทางกายภาพภายนอกเป็นเกณฑ์ โดยจะถ่ายรูปภาชนะในนาที่ที่ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.41 พบว่า ในนาที่ที่ 1 และ 3 ภาชนะที่เคลือบด้วยสารเคลือบทุกการทดลองยังคงมีลักษณะทางกายภาพปกติ แต่ในนาที่ที่ 5 พบว่า การทดลองที่ 1 (T1) ภาชนะเริ่มมีรอยไหม้ การทดลองที่ 2 (T2) ภาชนะเห็นรอยไหม้ชัดเจน และเพิ่มพื้นที่ไหม้ ขณะที่การทดลองที่ 3 (T3) ภาชนะไหม้เป็นบริเวณกว้าง และทุกการทดลองการไหม้จะเริ่มจากก้นภาชนะและจะขึ้นไปบริเวณขอบ จึงสามารถบอกได้ว่าภาชนะจากใยมะพร้าวที่ผ่านการเคลือบสามารถนำไปอุ่นในเตาไมโครเวฟโดยใช้ระดับความร้อนสูงสุดหรือที่กำลังไฟ 800 วัตต์ เป็นเวลาไม่เกิน 4 นาที

ลำดับการทดลอง	ลำดับนาที่		
	1	3	5
T1			
T2			
T3			

รูปที่ 4.41 ผลทดสอบการทนต่อความร้อนที่กำลังไฟสูงสุดในนาที่ที่ 1 3 และ 5 ตามลำดับ

(3) ผลการทดสอบหาค่าความชื้นในภาชนะจากใยมะพร้าวหลังการเคลือบ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา คือ ปริมาณความชื้น ดังนั้นการทดสอบหาค่าความชื้นของภาชนะจากใยมะพร้าวหลังการเคลือบจะสามารถสะท้อนอัตราการเกิดเชื้อราบนภาชนะได้

ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.48 พบว่า ค่าความชื้นในภาชนะหลังเคลือบทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยในช่วง ร้อยละ 4.51-4.88 แสดงให้เห็นว่าภาชนะหลังการเคลือบมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ค่อนข้างต่ำ ทำให้ปัจจัยที่เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้จึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของเสาวรส (2563) ที่ได้ศึกษาค่าความชื้นจากภาชนะบรรจุอาหารจากใบทองกวาว พบว่าภาชนะที่ได้มีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 8.72 ± 0.23

ตารางที่ 4.48 ผลการทดสอบหาค่าความชื้นในภาชนะจากไยมะพร้าวหลังจากการเคลือบ

ลำดับการทดลอง	ความชื้น (ร้อยละ)
T1	4.88
T2	4.78
T3	4.51

(4) ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่มีต่อสารเคลือบบนภาชนะบรรจุอาหาร ผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคลือบบนภาชนะ ที่บรรจุอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างกันในอุณหภูมิที่แตกต่างกันด้วย ทดสอบโดยการเปรียบเทียบค่า pH ของสารละลายก่อนและหลังทดลองในภาชนะเป็นเวลา 30 นาที ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.49 จะเห็นว่า ค่า pH ของสารละลายก่อนและหลังทดลองในภาชนะหลังเคลือบมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่บรรจุ

ตารางที่ 4.49 การเปรียบเทียบค่า pH ของสารละลายที่สภาวะกรด กลาง และด่าง ในระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

ลำดับการทดลอง	อุณหภูมิ	ค่า pH ของสารละลายกรด		ค่า pH ของสารละลายกลาง		ค่า pH ของสารละลายด่าง	
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
T1	อุณหภูมิห้อง	3.707	3.809	6.849	6.746	9.786	9.741
	60 °C	3.698	3.628	6.766	6.665	9.875	9.865
	100 °C	3.642	3.621	6.791	6.685	9.908	9.890
T2	อุณหภูมิห้อง	3.707	3.730	6.849	6.892	9.786	9.721
	60 °C	3.698	3.619	6.766	6.614	9.875	9.842
	100 °C	3.642	3.609	6.791	6.670	9.908	9.895
T3	อุณหภูมิห้อง	3.707	3.750	6.849	6.809	9.786	9.705
	60 °C	3.698	3.703	6.766	6.598	9.875	9.850
	100 °C	3.642	3.598	6.791	6.664	9.908	9.893

(5) ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของภาชนะจากไยมะพร้าวหลังเคลือบ ผลแรงดึงและแรงกดที่มีต่อภาชนะหลังเคลือบ โดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลเอนกประสงค์ ความเร็วในการดึง คือ 2 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.50 พบว่า ทั้งค่าแรงดึงและแรงกดสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 374.95 – 511.18 นิวตัน และ 180.90 – 365.10 นิวตัน ตามลำดับ

ซึ่งการทดลองที่ 1 (T1) มีค่าแรงดึงและแรงกดต่ำสุด ขณะที่การทดลองที่ 2 และ 3 มีค่าแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่าแรงกดในการทดลองที่ 3 (T3) มีค่าสูงสุด (365.10 นิวตัน)

ตารางที่ 4.50 ผลการทดสอบแรงดึงและแรงกดของภาชนะจากโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่น (HDPE) หลังทำการเคลือบ

ลำดับการทดลอง	แรงดึง (N)	แรงกด (N)
T1	374.95	180.90
T2	511.18	350.86
T3	506.36	365.10

จากตารางที่ 4.50 เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ค่าต้านทานแรงดึงและแรงกดมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากโครงสร้างของไขมันมีลักษณะเป็นอสัณฐาน เมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นทำให้โครงสร้างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับภาชนะ

4. ผลการทดสอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่น (HDPE)

จากการทดลองในการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่น (HDPE) การทดสอบสมบัติทางกลตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และการทดสอบการดูดซึมน้ำ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที เหมาะสมที่สุด จึงนำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่นที่ได้มาทดสอบทางเคมี คือ การทดสอบการเป็นกรด-เบส โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 ครั้ง คือ 5, 10 และ 15 นาที พบว่าน้ำไม่พบสถานะกรด-เบสแต่มีค่า PH เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง แสดงถึงสภาพแวดล้อม

5. ผลการทดสอบกลิ่น และสัมผัสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่น

1) การทดลองขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่นด้วยกระบวนการอัดรีดอินพุท 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ทางผู้จัดทำโครงการจึงได้จัดทำแบบสอบถามวัดระดับความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนสูงความหนาแน่น 5 ระดับในแต่ละรายการ แสดงตัวอย่างในภาคผนวก ๓ โดยมุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมายใหญ่ ๆ 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ประกอบการร้านอาหาร ผู้ใช้บริการร้านอาหาร อาจารย์ และนักศึกษา จำนวนทั้งหมด 100 คนโดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนนระดับความพึงพอใจ และคิดค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจตามเกณฑ์ของแต่ละข้อ แสดงดังตารางที่ 4.51

ตารางที่ 4.51 ค่าระดับความพึงพอใจในแต่ละรายการของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

ลำดับ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
1	ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความเรียบ	3.67	มาก
2	กลิ่นไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์จากการขึ้นรูป	2.72	ปานกลาง
3	ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์	3.11	ปานกลาง
4	สีสันทนและความสวยงามของผลิตภัณฑ์	3.87	มาก
5	รูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมแก่การใช้งาน	2.73	ปานกลาง
6	ความเหมาะสมในการใช้งานจริง	3.14	ปานกลาง
7	ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมแก่การใช้งาน	2.44	น้อย
8	ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์	2.69	ปานกลาง
9	ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย	3.47	มาก
10	ผลิตภัณฑ์สามารถตอบโจทย์ด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	4.13	มากที่สุด
เฉลี่ย		3.19	ปานกลาง

จากตารางที่ 4.51 ผลจากการวัดค่าระดับความพึงพอใจโดยรวมของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว พบว่ามีค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 3.19 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความพึงพอใจปานกลาง โดยค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ อันดับที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์สามารถตอบโจทย์ด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อันดับที่ 2 คือ สีสันทนและความสวยงามของผลิตภัณฑ์ อันดับที่ 3 คือ ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย นอกจากนี้พบว่า ความพึงพอใจที่น้อยที่สุด คือ ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมแก่การใช้งาน

2) การทดลองขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ด้วยกระบวนการอัดร้อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ทางผู้จัดทำโครงการจึงได้จัดทำแบบสอบถามวัดระดับความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว 5 ระดับ ในแต่ละรายการแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ญ โดยมุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมายใหญ่ ๆ 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ประกอบการร้านอาหาร ผู้ใช้บริการร้านอาหาร อาจารย์ และนักศึกษา จำนวนทั้งหมด 100 คนโดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนนระดับความพึงพอใจ และคิดค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจตามเกณฑ์ของแต่ละข้อ แสดงดังตารางที่ 4.52

ตารางที่ 4.52 ค่าระดับความพึงพอใจในแต่ละรายการของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

ลำดับ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
1	ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความเรียบ	3.27	ปานกลาง
2	กลิ่นไม่พึงประสงค์ของผลิตภัณฑ์จากการขึ้นรูป	2.82	ปานกลาง
3	ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์	2.92	ปานกลาง
4	สีสันทนและความสวยงามของผลิตภัณฑ์	3.77	มาก
5	รูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมแก่การใช้งาน	2.63	ปานกลาง
6	ความเหมาะสมในการใช้งานจริง	3.14	ปานกลาง
7	ขนาดของผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมแก่การใช้งาน	2.46	น้อย
8	ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์	2.79	ปานกลาง
9	ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย	2.95	ปานกลาง
10	ผลิตภัณฑ์สามารถตอบโจทย์ด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	4.06	มาก
เฉลี่ย		3.08	ปานกลาง

จากตารางที่ 4.52 ผลจากการวัดค่าระดับความพึงพอใจโดยรวมของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) พบว่ามีค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 3.08 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความพึงพอใจปานกลาง โดยค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจในบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ อันดับที่ 1 คือ ผลิตภัณฑ์สามารถตอบโจทย์ด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม อันดับที่ 2 คือ สีสันทนและความสวยงามของผลิตภัณฑ์ อันดับที่ 3 คือ ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เช่น ความเรียบ นอกจากนี้พบว่าความพึงพอใจที่น้อยที่สุด คือ ขนาดของผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมแก่การใช้งาน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยได้พัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย ได้แก่ แผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัว เฟอร์นิเจอร์อเนกประสงค์ประเภทโต๊ะ-เก้าอี้สำหรับผู้สูงอายุ และบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ สามารถสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะในการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำหรับการดำรงชีวิตในบ้านพักของผู้สูงอายุไทย ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โครงการวิจัยย่อยที่ 1 : การพัฒนาแผ่นปูพื้นบันไดที่มีแสงสว่างในตัวจากยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ สำหรับใช้งานในบ้านพักผู้สูงอายุ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการวิจัย

การออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ผลทางสถิติ และวิธีพื้นผิวตอบสนองดำเนินการโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมทางสถิติ Design-Expert software ซึ่งในการออกแบบการทดลองมีตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบการทดลองประกอบด้วย สารทำให้เกิดฟอง ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และอุณหภูมิการขึ้นรูป ซึ่งสามารถออกแบบสูตรที่ใช้ในการทดลองได้ 17 สูตร และพบว่าแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับค่าการดูดซับพลังงาน ค่าแรงกระแทกสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด คือ รูปแบบเชิงเส้นโค้ง และแบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมสำหรับค่าความแข็ง คือ รูปแบบเชิงเส้น โดยแบบจำลองเหล่านี้มีค่า $Adj-R^2$ และค่า $Pred-R^2$ ที่ค่อนข้างสูงนั้นหมายความว่า รูปแบบจำลองที่ได้นี้สามารถประมาณการหรืออธิบายความผันแปรในข้อมูลใหม่ได้ค่อนข้างสูง และเมื่อตรวจสอบความพอเพียงของรูปแบบจำลองพบว่า กราฟ Normal probability ของทุกสมบัติไม่มีค่าผิดปกติเกิดขึ้น ตลอดจนข้อมูลมีการแนบชิดกับเส้นตรงหรือแสดงเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ในขณะเดียวกันพบว่า กราฟค่าที่ทำนายต่อค่าการทดลองจริงมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่า สมการการถดถอยที่ได้สามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างแม่นยำ

จากการนำสมการถดถอยที่ได้มาสร้างกราฟโครงร่างพบว่า การเติมขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมมากขึ้นในช่วง 40-80 phr ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลง แต่ส่งผลให้ค่าแรงกระแทกสูงสุดและค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและขี้เลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มสูงขึ้น ในขณะที่ การเติมขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมมากขึ้นในช่วง 40-55 phr ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าการคืนรูปภายหลัง

การกดอัดของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพารามีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเติมซีลี้อย่างพารามากกว่า 65 phr กลับส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-12 phr ส่งผลให้ค่าแรงกระแทกสูงสุดและค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพารามีแนวโน้มลดลง แต่ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันพบด้วยว่า การเติมสารทำให้เกิดฟองเพิ่มขึ้นในช่วง 6-9 phr ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมสารทำให้เกิดฟองมากกว่า 10 phr ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-130 °C ส่งผลให้ค่าแรงกระแทกสูงสุดและค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลง ขณะเดียวกัน การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-120 °C ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่หากขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิมากกว่า 125 °C ส่งผลให้ค่าการดูดซับพลังงานมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด ที่พบว่า การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบยางพาราและซีลี้อย่างพาราด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 110-120 °C ส่งผลให้ค่าทั้ง 2 มีแนวโน้มลดลง แต่หากขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิมากกว่า 120 °C กลับทำให้ค่าทั้ง 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้ง และจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Design-Expert software พบว่า สูตรส่วนผสมและสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม สำหรับการนำไปใช้ คือ สารทำให้เกิดฟอง 12 phr ซีลี้อย่างพารา 44 phr และอุณหภูมิการขึ้นรูป 117 °C ซึ่งให้ค่าความพึงพอใจ 0.619 และให้ค่าผลตอบแทนในแต่ละสมบัติทางกล คือ ค่าการดูดซับพลังงาน 3.87 J ค่าแรงกระแทกสูงสุด 3780 N ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.63 ค่าการคืนรูปภายหลังการกดอัด 73.7% และค่าความแข็ง 75.4 Shore OO

5.1.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาหาความหนาแผ่นปูพื้นบันไดที่เหมาะสมในความสามารถการรับแรงกระแทกสูงสุด และความสะดวกในการใช้งาน
- 2) ควรมีการพัฒนาให้แผ่นปูพื้นบันไดสามารถวัดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นแบบเรียลไทม์ และสามารถแจ้งเตือนแรงกระแทกที่ผิดปกติไปยังผู้ดูแลผู้สูงอายุได้

5.2 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โครงการวิจัยย่อยที่ 2 : การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ได้ดังนี้

5.2.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) และการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centric Design) เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุที่ตรงตามความต้องการของลูกค้า อีกทั้งคำนึงถึงสรีระศาสตร์ของผู้สูงอายุ ตอบสนองพฤติกรรมโดยรวมถึงการเคลื่อนไหวทางด้านร่างกายที่เหมาะสมของผู้สูงอายุ ดังนั้นในส่วนของงานวิจัยนี้เริ่มจากผลระยะทางการวางแผนผลิตภัณฑ์ โดยการสำรวจความต้องการของลูกค้าทำให้ทราบถึงความต้องการของผู้บริโภคและข้อกำหนดทางเทคนิคที่สัมพันธ์กับความต้องการนั้น ๆ หลังจากนั้นนำความต้องการที่ได้จากแบบสอบถามที่ 1 มาจัดเรียงถ้อยคำใหม่และจัดกลุ่มคุณลักษณะของความต้องการที่มีความหมายซ้ำซ้อนเข้าด้วยกัน โดยจัดกลุ่มหมวดคุณลักษณะ 6 หมวด คือ รูปแบบ คุณภาพ ความสะดวก การใช้งาน วัสดุ และอื่น ๆ จากนั้นนำความต้องการมาจัดทำแบบสอบถามที่ 2 เพื่อให้ลูกค้าได้ทำการประเมินความสำคัญ ต่อมานำข้อมูลที่ได้เข้าสู่เมทริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือที่เรียกว่าบ้านคุณภาพ รวมทั้งสามารถทำให้ทราบถึงจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ ผลจากการสำรวจและจัดทำบ้านคุณภาพทำให้นักออกแบบทราบถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยภาพรวมที่ต้องนำมาไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ จากนั้นได้ประยุกต์ใช้เมทริกซ์การแปลงการออกแบบ หรือเฟสสองของการประยุกต์ใช้การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ที่ได้มาจากบ้านคุณภาพโดยทำการหาลำดับความสัมพันธ์ของผลรวม และรวมถึงสามารถทำให้ทราบถึงจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจากการสำรวจและจัดทำบ้านคุณภาพทำให้นักออกแบบทราบถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ของชิ้นส่วนย่อยที่ต้องการนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

เนื่องจากการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพเป็นการมุ่งเน้นที่การแปลงความต้องการของลูกค้า เพื่อสร้างข้อกำหนดในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพียงเท่านั้น ไม่ได้มีขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุที่เหมาะสมกับโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำหลักการยศาสตร์และการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลางวิเคราะห์เพิ่มเติม เริ่มจากการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุของผู้ชายและผู้หญิงในกลุ่มผู้สูงอายุ ศูนย์บริบาลผู้สูงอายุ จังหวัดสงขลา จำนวน 16 สัดส่วน จำนวน 70 คน ซึ่งแยกเป็นผู้สูงอายุผู้ชายจำนวน 35 คน และผู้สูงอายุผู้หญิงจำนวน 35 คน เมื่อได้ตารางข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายต่าง ๆ โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และ 95 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลขนาดร่างกายของผู้สูงอายุ เพื่อใช้ในการออกแบบโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ นอกจากนี้การใช้แนวคิดมนุษย์เป็นศูนย์กลางในการออกแบบจากการนำผลจากการเก็บข้อมูลแบบสอบถามความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์ การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ร่วมกระทั่งด้านการตลาด โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ เพื่อสังเคราะห์มาเป็นข้อกำหนดในด้านต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ใช้ได้ใช้งานอย่างคุ้มค่า โดยมีฟังก์ชันที่ตอบสนองต่อผู้ใช้งานมากที่สุด รวมไปถึงความทันสมัยที่สามารถช่วยลดอาการบาดเจ็บเนื่องจากการนั่งนาน ๆ หรือโรคประจำตัว

ดังนั้นผลลัพธ์จากการวิจัยนี้ พบว่าผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุรูปแบบใหม่ที่ขึ้นรูปทั้ง 3 รูปแบบ มีความพึงพอใจในคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่แตกต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภครวมและกลุ่มผู้ผลิตที่มีต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “รูปแบบที่ 1” พบว่ากลุ่มลูกค้าและกลุ่มผู้ผลิตมีความพึงพอใจเชิงเทคนิคในด้านมีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.54 และมีความพึงพอใจด้านขนาดและพื้นที่ใช้สอยเป็นอันดับสอง โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมากและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50

ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภครวมและกลุ่มผู้ผลิตที่มีต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “รูปแบบที่ 2” พบว่ากลุ่มลูกค้าและกลุ่มผู้ผลิตมีความพึงพอใจเชิงเทคนิคในด้านความทันสมัยมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมากและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 และมีความพึงพอใจด้านมีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายเป็นอันดับสอง โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมากและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53

ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มผู้บริโภครวมและกลุ่มผู้ผลิตที่มีต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “รูปแบบที่ 3” พบว่ากลุ่มลูกค้าและกลุ่มผู้ผลิตมีความพึงพอใจเชิงเทคนิคในด้านรูปร่างไม่ซับซ้อนมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมากและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 และมีความพึงพอใจด้านมีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายเป็นอันดับสอง โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมากและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50

5.2.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้านความต้องการของลูกค้า ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ และสามารถนำไปประยุกต์ได้กับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม่ว่าประเภทสำหรับ ผู้สูงอายุประเภทอื่น ๆ ได้

2) ในการกำหนดลักษณะความต้องการของลูกค้าต้องมีการระดมสมอง จากหลาย ๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ประกอบการ ผู้เชี่ยวชาญด้านออกแบบ ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตเฟอร์นิเจอร์ ลูกค้า ผู้ใช้ เพื่อกำหนดความต้องการของลูกค้าเพื่อความหลากหลายและคุณภาพของข้อมูลที่ได้รับ

3) ควรที่มีการสำรวจขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุเป็นระยะเพื่อให้ข้อมูลที่ไดมาเป็นข้อมูลที่ปัจจุบันที่สุดเนื่องจากผู้สูงอายุอาจมีขนาดสัดส่วนร่างกายที่เปลี่ยนแปลงไป

4) ในการใช้จำนวนตัวอย่างในการวัดขนาดสัดส่วนร่างกาย ควรใช้จำนวนตัวอย่างที่มากพอสมควรเพื่อให้ข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

5.3 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โครงการวิจัยย่อยที่ 3 : การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ปลอดสารพิษจากเส้นใยมะพร้าวและการออกแบบเพื่อการบริโภคของผู้สูงอายุ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.3.1 สรุปผลการวิจัย

1) จากการทดลองการรูปอัดขึ้นรูปรีดอบบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว เพื่อหาสภาวะกระบวนการที่เหมาะสม โดยใช้ปัจจัยในการขึ้นรูปที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิที่ต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลาที่ 4, 6 และ 8 นาที

โดยทำการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน American Society for Tasting and Materials (ASTM) การทดสอบการต้านทานแรงดึง การทดสอบการต้านทานแรงกดอัดด้านบน การทดสอบการต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง การดูดซึมน้ำ และการทดสอบทางเคมี สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1.1) ลักษณะทางกายภาพ

จากการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ในความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวสามารถขึ้นรูปได้ทุกอุณหภูมิ ในอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส มีผิวสัมผัสที่เรียบและมีความหนาแน่นมาก อุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส มีผิวสัมผัสที่เรียบ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย จึงทำให้มีสีที่เปลี่ยนไปแต่ไม่มาก สามารถนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

1.2) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

จากการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดเท่ากับ 1.90 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก แต่เวลาที่สูง ทำให้ไม่มีช่องว่างในเส้นใย จึงส่งผลให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันแน่น

1.3) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

จากการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดเท่ากับ 1.30 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก แต่เวลาที่สูง ทำให้ไม่มีช่องว่างในเส้นใย จึงส่งผลให้เส้นใยมีการยึดเกาะกันแน่น

1.4) การทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 2.48 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและเวลาที่สูง จึงส่งผลให้เส้นใยมีการหดตัวและยึดเกาะกันแน่น

1.5) การทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

จากการทดสอบการดูดซึม พบว่ากระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำช้าอยู่ที่ 14 นาที 32 วินาที เนื่องจากใช้อุณหภูมิที่สูงและเวลาที่สูง จึงทำให้เส้นใยมีความหนาแน่นที่มากจึงมีค่าการดูดซึมน้ำได้นาน

1.6) การทดสอบทางเคมี

ทดสอบทางเคมี คือ การทดสอบการเป็นกรด-เบส โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 ครั้ง คือ 5, 10 และ 15 นาที พบว่าน้ำไม่พบสถานะกรด-เบสแต่มีค่า PH เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง

1.7) การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

จากการประเมินแบบสอบถามระดับความพึงพอใจจากกลุ่มเป้าหมาย มีระดับความพึงพอใจโดยรวมของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว พบว่ามีค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 3.19 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความพึงพอใจมาก

2) จากการทดลองการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เพื่อหาสภาวะกระบวนการที่เหมาะสม โดยใช้ปัจจัยในการขึ้นรูปที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิที่ต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลาที่ 4, 6 และ 8 นาที โดยทำการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน American Society for Tasting and Materials (ASTM) การทดสอบการต้านทานแรงดึง การทดสอบการต้านทานแรงกดอัดด้านบน การทดสอบการต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง การดูดซึมน้ำ และการทดสอบทางเคมี สามารถสรุปผลได้ดังนี้

2.1) ลักษณะทางกายภาพ

จากการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE ในความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE สามารถขึ้นรูปได้ทุกอุณหภูมิ ในอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส มีผิวสัมผัสที่เรียบและมีความหนาแน่นมาก อุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส มีผิวสัมผัสที่เรียบ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย จึงทำให้มีสีที่เปลี่ยนไปแต่ไม่มาก สามารถนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ได้

2.2) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

จากการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) กระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดเท่ากับ 3.43 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก แต่เวลาที่สูง ทำให้ไม่มีช่องว่างในเส้นใย จึงส่งผลให้เส้นใยมีการยึดเกาะกัน

2.3) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

จากการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) กระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุดเท่ากับ 0.76 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก แต่เวลาที่สูง ทำให้ไม่มีช่องว่างในเส้นใย จึงส่งผลให้เส้นใยมีการยึดเกาะกัน

2.4) การทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) กระบวนการอัดขึ้นรูปรีออนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่า

ความต้านทานแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 2.13 MPa เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงและเวลาที่สูง จึงส่งผลให้เส้นใยมีการหดตัวและยึดเกาะกันแน่น

2.5) การทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

จากการทดสอบการดูดซึม พบว่ากระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่ความดัน 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำช้าอยู่ที่ 37 นาที 49 วินาที เนื่องจากใช้อุณหภูมิที่สูงและเวลาที่สูง จึงทำให้เส้นใยมีความหนาแน่นที่มากจึงมีค่าการดูดซึมน้ำได้นาน

3) จากการทดลองการเตรียมสารเคลือบจากไคโตซาน กลีเซอรอล ทวิน 80 และไขผึ้งเคลือบภาชนะจากใยมะพร้าว พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติของภาชนะหลังเคลือบ จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1) สารเคลือบที่เตรียมได้มีความหนืดและข้นค่อนข้างสูง ไม่มีกลิ่น ค่า pH อยู่ในช่วง 6.8-7.0 เมื่อทำการเคลือบภาชนะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของภาชนะ

3.2) ผลความทนต่อการรั่วซึมน้ำของภาชนะหลังการเคลือบ พบว่าทุกการทดลองภาชนะสามารถทนต่อการรั่วซึมน้ำได้มากกว่า 90 นาที แสดงว่าภาชนะจากใยมะพร้าวสามารถบรรจุอาหารและรับประทานได้ทันทีโดยไม่ต้องมีการรั่วซึม

3.3) ผลการทนต่อความร้อนของภาชนะหลังการเคลือบ โดยทดสอบด้วยเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนที่ความร้อนระดับสูงสุด (กำลังไฟ 800 วัตต์) พบว่า ในนาที่ที่ 5 การทดลองที่ 1 (T1) ภาชนะเริ่มเกิดรอยไหม้เล็กน้อย การทดลองที่ 2 (T2) รอยไหม้เริ่มมีพื้นที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การทดลองที่ 3 (T3) รอยไหม้มีพื้นที่ประมาณร้อยละ 40 ของภาชนะ

3.4) ผลค่าความชื้นของภาชนะจากใยมะพร้าวหลังการเคลือบ พบว่า ค่าความชื้นในภาชนะหลังเคลือบทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยในช่วง ร้อยละ 4.51-4.88 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราต่าง ๆ ค่าความชื้นระดับนี้จึงเหมาะสมต่อความสามารถยืดอายุในการเก็บรักษาและการใช้งานภาชนะจากใยมะพร้าว

3.5) ผลความสามารถในการทนต่อค่า pH ที่อุณหภูมิต่างๆ ของภาชนะหลังเคลือบ พบว่า ค่า pH ของสารละลายก่อนและหลังเทลงในภาชนะมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิและค่า pH ไม่มีผลต่อสารที่เคลือบบนภาชนะใยมะพร้าว

3.6) ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของภาชนะหลังเคลือบ พบว่า ค่าแรงดึงสูงสุดและค่าแรงกดสูงสุดอยู่ในช่วง 374.95 – 511.18 นิวตัน และ 180.90 – 365.10 นิวตัน ตามลำดับ โดยที่การทดลองที่ 1 (T1) มีค่าต่ำที่สุด และที่การทดลองที่ 3 (T3) มีค่าสูงสุด

4) จากการทดสอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวและบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพลาสติก HDPE การทดสอบการเป็นกรด-เบส โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 ครั้ง คือ 5, 10 และ 15 นาที พบว่าน้ำไม่พบสถานะกรด-เบสแต่มีค่า PH เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง

5) จากผลการทดสอบกลิ่น และสัมผัสของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว การประเมินแบบสอบถามระดับความพึงพอใจจากกลุ่มเป้าหมาย มีระดับความพึงพอใจโดยรวมของ

บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว พบว่ามีค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 3.08 คะแนน ซึ่งอยู่ในช่วงระดับความพึงพอใจปานกลาง

6) ข้อจำกัดการใช้งานบรรจุภัณฑ์

6.1) บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว เหมาะสำหรับการใช้งานบรรจุอาหารประเภทของเหลวหรือของแข็งก็ได้ เช่น ต้มจืด ขนมหวาน ข้าวผัด อาหารว่างทานเล่น ปลาทอด เป็นต้น ทำความสะอาดโดยการนำทิชชู หรือผ้าสะอาดเช็ดเศษอาหารออกแล้วฟั้ลม ใช้งานซ้ำได้โดยประมาณ 2 - 3 ครั้ง หรือจะใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารเมล็ดของสัตว์เลี้ยง ในกรณีนี้ใช้ซ้ำแล้วบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวยังอยู่ในสภาวะคงรูป สามารถนำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวไปใช้เป็นกระถางเพาะปลูกต้นไม้หรือผักก่อนที่จะนำเอาลงดินได้ เช่น เพาะเมล็ดต้นกล้าพืช ถั่วงอก สารแน ดาวเรือง กุหลาบ ดอกมะลิ เป็นต้น

6.2) บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมพอลิเอทิลีน (HDPE) เหมาะสำหรับการใช้งานบรรจุอาหารประเภทแข็ง เช่น ข้าวผัด อาหารว่างทานเล่น ปลาทอด ลูกชิ้นทอด เป็นต้น ทำความสะอาดโดยการนำทิชชู หรือผ้าสะอาดเช็ดเศษอาหารออกแล้วฟั้ลม ใช้งานซ้ำได้โดยประมาณ 3 - 4 ครั้ง หรือจะใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารเมล็ดของสัตว์เลี้ยง ในกรณีนี้ใช้ซ้ำแล้วยังบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมพลาสติค HDPE อยู่ในสภาวะคงรูป สามารถนำไปใช้เป็นกระถางปลูกต้นไม้เล็ก ๆ ไว้ประดับโต๊ะทำงาน โต๊ะนั่งเล่น เช่น ต้นกระบองเพชร ต้นแก้วแคระ ต้นออมเงิน หรือใช้ปลูกผัก เช่น เพาะเมล็ดต้นกล้าพืช ผักบุ้ง สารแน เป็นต้น

5.3.2 ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษากระบวนการเพิ่มเติมที่กระบวนการใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์เพื่อจะช่วยลดต้นทุน และขั้นตอนในการผลิต

2) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปรับปรุงกลืนของผลิตภัณฑ์

3) ออกแบบรูปลักษณะของบรรจุภัณฑ์ให้มีการใช้งานได้อย่างหลากหลาย

4) ศึกษาเกี่ยวกับสารเคลือบเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซึมน้ำ

5) ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณในการใช้งานซ้ำ

6) ศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของสารปนเปื้อนทางการเกษตร เช่น สารอะฟลาทอกซิน ที่ก่อให้เกิดเชื้อรา สารเคมีกำจัดศัตรูพืช

บรรณานุกรม

- [1] ประเทศไทยกับสังคมผู้สูงอายุ ที่มา: รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุ พ.ศ.2556 โดย มส.ผส.
National Statistical Office
<https://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom12/05-03.html>
- [2] ผู้สูงอายุ ‘พลัดตก-หกล้ม’ เข้ารักษาฉุกเฉิน 140 คน/วัน เสียชีวิต 3 คน/วัน, ที่มา:
<https://www.tcijthai.com/news/2019/08/scoop/9641>. สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2563
- [3] บรรลุ ศิริพานิช. (2538). คู่มือผู้สูงอายุฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: หมอมวลชน.
- [4] ธวัชชานนท์ สิปปภาคกุล. 2548. การยศาสตร์และกายวิภาคศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : บริษัท
โรงพิมพ์สัมพันธ์กราฟฟิค จำกัด.
- [5] นริศ เจริญพร. 2543. การยศาสตร์. เอกสารประกอบการสอนวิชาการยศาสตร์. ภาควิชา
วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [6] กิตติ อนุชาผัด และคณะ, คอมโพสิต: สมาคมไทยคอมโพสิต, บริษัท โอ.เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์
จำกัด, 2548.
- [7] พงษ์ธร แห่อย และชาคริต สิริสิงห, ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ, ปทุมธานี: ศูนย์
เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550.
- [8] ณัฐพล ภูตระกูล และกนกพร บุญนวน, การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเสริมแรง
ด้วยซิลิกาจากแกลบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง, วิทยาศาสตร์บัณฑิต โปรแกรมวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 2550.
- [9] กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. **ภาชนะบรรจุอาหาร**. บทความ. แหล่งที่มา:
<https://decorreport.com>, 21 มกราคม 2564.
- [10] ศูนย์วิจัยสุขภาพกรุงเทพ. 2557. **ภาชนะพลาสติกบรรจุอาหาร**. บทความ. แหล่งที่มา:
<http://www.decorreport.com>, 28 มกราคม 2564.
- [11] ลด ละ เลิกการใช้ภาชนะโฟมบรรจุอาหาร เพื่อสุขภาพที่ดีของผู้บริโภค. 2555. **ภาชนะโฟม
บรรจุอาหาร**. บทความ. แหล่งที่มา: <http://kbphpp.nationalhealth.or.th>, 27 กุมภาพันธ์
2564.
- [12] สุขภาพอินเทอร์เน็ต. 2552. **การดูแลสุขภาพ อันตรายจากภาชนะหุงต้ม**. บทความ. แหล่งที่มา:
<https://health.kapook.com>, 27 กุมภาพันธ์ 2564.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] รีไซเคิลเดย์ Recycle Day Thailand. 2562. **บรรจุภัณฑ์จากธรรมชาติ ทางเลือกใหม่ในการลดขยะ ลดพลาสติก**. บทความ. แหล่งที่มา: <https://www.facebook.com/RecycleDayTH/posts/2419180344810044/>, 31 มกราคม 2564.
- [14] กิตติศักดิ์ เมืองกลาง ญัฐพงษ์ รักด่านกลา ญัฐวุฒิ ดงกระโทก ทักษ์ดนัย จันทินอก และธรรณธร ชิดการ. (2564). เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม** 6(2) : 65-76.
- [15] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร. 2558. **การทดสอบแรงกดอัด (compression test)**. บทความ. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/>, 5 มกราคม 2564.
- [16] ฌกาจ จบนุช. 2556. การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนาร.
- [17] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร. 2554. **ทฤษฎีมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ**. บทความ. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/>, 25 มกราคม 2564.
- [18] ไพโรจน์ วิริยจารี. 2545. **การทดสอบทางประสาทสัมผัส**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่คณะอุตสาหกรรมเกษตร, เชียงใหม่.
- [19] แสงชัยมิเตอร์. 2563. **การวัดค่า PH ในอุตสาหกรรม**. บทความ. แหล่งที่มา: <https://www.sangchaimeter.com/>, 8 มิถุนายน 2564.
- [20] พิมพ์เพ็ญ. 2553. **การประเมินคุณภาพทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัส**. บทความ. แหล่งที่มา: www.foodnetworksolution.com, 22 มิถุนายน 2564.
- [21] Akao, Y. 1997. QFD: Past, present, and Future. International Symposium on QFD' 97-Linkoping.
- [22] H. Gao, Y. M. Song, Q. W. Wang, Z. Han, and M. L. Zhang, "Rheological and mechanical properties of wood fiber-PP/PE blend composites," *Journal of Forestry Research*, vol. 19, p. 315–318, 2008.
- [23] Home Design & Life Style. 2557. **ชนิดภาชนะบรรจุอาหาร**. บทความ. แหล่งที่มา: <http://www.decorreport.com>, 28 มกราคม 2564.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] K. B. Adhikary, "Development of wood flour-recycled polymer composite panels as building materials," Chemical and Process Engineering. Doctor of Philosophy: University of Canterbury 2008.
- [25] M. Bengtsson, M. L. Baillif, and K. Oksman, "Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre–polypropylene composites," Composites: part A, vol. 38, pp. 1922–1931, 2007.
- [26] M. U. Orden, C. G. Sanchez, M. G. Quesada, and J. M. Urreaga, "Effect of different coupling agents on the browning of cellulose-polypropylene composites during melt processing," Polymer Degradation and Stability, vol. 95, pp. 201-206, 2010.
- [27] P. Nygard, B. S. Tanem, T. Karlsen, P. Brachet, and B. Leinsvang, "Extrusion-based wood fibre–PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres– a comparative study," Composites Science and Technology, vol. 68, pp. 3418–3424, 2008.
- [28] S. M. B. Nachtigall, G. S. Cerveira, and S. M. L. Rosa, "New polymeric-coupling agent for polypropylene/wood-flour composites," Polymer Testing, vol. 26, pp. 619–628, 2007.
- [29] S. Y. Lee, I. A. Kang, G. H. Doh, W. J. Kim, J. S. Kim, H. G. Yoon, and Q. Wu, "Thermal, mechanical and morphological properties of polypropylene/clay/wood flour nanocomposites," Express Polymer Letters, vol. 2, pp. 78–87, 2008.
- [30] T. T. L. Doan, S. L. Gao, and E. Mader, "Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification," Composites Science and Technology, vol. 66, pp. 952–963, 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามที่ 1 ความต้องการของลูกค้าที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์
โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ



สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

โครงการวิจัยเรื่อง: การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง

แบบสอบถามที่ 1

ความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง ด้วยการแปลงความต้องการของลูกค้าเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ โดยมีวัตถุประสงค์คือ

- 1) เพื่อหาขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ
- 2) เพื่อศึกษาข้อมูลเสียงเรียกร้องและความต้องการของลูกค้าที่มีต่อโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ
- 3) เพื่อออกแบบและขึ้นรูปโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ร่วมกับการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centric Design)
- 4) เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบในภาคใต้สำหรับนำมาเป็นสร้างโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม/สัมภาษณ์

ชื่อ..... ตำแหน่ง

หน่วยงาน/ที่อยู่ เบอร์โทร.....

- ประเภท ☐ ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โตะและเก้าอี้แบบอเนกประสงค์จากไม้ทั่วไป และไม้ยางพารา
- ☐ ผู้ผลิต/ตัวแทนจำหน่ายโตะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์จากไม้
- ☐ ลูกค้าผู้สนใจผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

ข้อ 1 ลักษณะหรือรูปแบบ ของโตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุไม้ยางพารา ที่ท่านชอบหรือที่ต้องการเป็นอย่างไร? (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง)

.....

.....

.....

ข้อ 2 อายุการใช้งาน ของโตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุไม้ยางพารา ที่ท่านชอบหรือที่ต้องการเป็นอย่างไร ? (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง)

.....

.....

.....

ข้อ 3 คุณภาพ ของผลิตภัณฑ์โตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุไม้ยางพารา ที่ท่านชอบหรือที่ต้องการเป็นอย่างไร ? (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง)

.....

.....

.....

ข้อ 4 ราคา ของผลิตภัณฑ์โตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุไม้ยางพารา ท่านอยากจะได้ควรเป็นเช่นไร ? (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง)

.....

.....

.....

ข้อ 5 วัสดุเสริมที่ใช้ในการผลิต ของการผลิตผลิตภัณฑ์โตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุไม้ยางพารา ที่ท่านต้องการควรเป็นอย่างไร ? (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง)

.....

.....

.....

ข้อ 6 การดูแลรักษา ของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์โตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ ที่ท่านต้องการเป็นอย่างไร ? (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง)

.....

.....

.....

ข้อ 7 ปัจจัยใดบ้างที่ท่านใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกซื้อ ของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์โตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ (สามารถตอบได้มากกว่า 1 อย่าง เรียงตามลำดับความสำคัญ)

.....

.....

.....

ข้อ 8 ความต้องการอื่น ๆ เกี่ยวกับ ผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์โตะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับ
ผู้สูงอายุ ที่ที่นอกเหนือจากคำถามเหล่านี้ท่านคิดว่ามีอะไรบ้าง ? (สามารถตอบได้มากกว่า 1
อย่าง)

.....

.....

.....

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้
รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะผู้วิจัย
โทร 087-291-2560

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามที่ 2 สํารวจระดับคะแนนของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ
ของผลิตภัณฑ์ไ้ตะ-แก้อี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ



สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

โครงการวิจัยเรื่อง: การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง

แบบสอบถามที่ 2

สำรวจระดับคะแนนของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ
ของผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง ด้วยการแปลงความต้องการของลูกค้าเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ โดยมีวัตถุประสงค์คือ

- 1) เพื่อหาขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้สูงอายุสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ
- 2) เพื่อศึกษาข้อมูลเสียงเรียกร้องและความต้องการของลูกค้าที่มีต่อโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ
- 3) เพื่อออกแบบและขึ้นรูปโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) ร่วมกับการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (Human Centric Design)
- 4) เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มจากไม้ยางพาราซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบในภาคใต้สำหรับนำมาเป็นสร้างโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

ข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม/สัมภาษณ์

ชื่อ..... ตำแหน่ง

หน่วยงาน/ที่อยู่ เบอร์โทร.....

ประเภท ☐ ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โต๊ะและเก้าอี้แบบอเนกประสงค์จากไม้ทั่วไป และไม้ยางพารา

- ☐ ผู้ผลิต/ตัวแทนจำหน่ายโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์จากไม้
- ☐ ลูกค้าผู้สนใจผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา

ตอนที่ 2 ประเมินปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ในการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลหรือมีผลต่อความพึงพอใจ แบ่งออกเป็น 5 ระดับคะแนนความสำคัญและผลต่อความพึงพอใจดังนี้

คะแนนระดับ 5 หมายถึง สำคัญและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด

คะแนนระดับ 4 หมายถึง สำคัญและมีผลต่อความพึงพอใจมาก

คะแนนระดับ 3 หมายถึง สำคัญและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง

คะแนนระดับ 2 หมายถึง สำคัญและมีผลต่อความพึงพอใจน้อย

คะแนนระดับ 1 หมายถึง สำคัญและมีผลต่อความพึงพอใจน้อยที่สุด

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณา

ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์		ระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
รูปแบบ	ความสวยงาม					
	สีสีนสวยงาม					
	ลวดลายตามธรรมชาติไม้					
	รูปแบบ/รูปทรงที่ทันสมัย					
	รูปทรงไม่เป็นอันตราย					
	รูปร่างมีความหลากหลาย					
ความสะดวก	ขนาดที่เหมาะสม					
	เคลื่อนย้ายได้สะดวก					
	ดูแลทำความสะอาดได้ง่าย					
	น้ำหนักเหมาะสม					

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย ☒ ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณา (ต่อ)

ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์		ระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจ				
		5	4	3	2	1
	ถอดประกอบได้					
	ซ่อมบำรุงได้ง่าย					
วัสดุ	ความแข็งแรงทนทาน					
	ใช้วัสดุตกแต่งที่มีคุณภาพ					
	ใช้วัสดุที่ได้มาตรฐาน					

	ส่วนประกอบย่อยมีคุณภาพ					
	ทนต่อความเปียกชื้น					
คุณภาพ	โครงสร้างไม่โยกคลอน					
	สามารถรองรับน้ำหนักได้ดี					
	พื้นผิวเรียบ					
	ไม่มีตำหนิหรือแตกร้าว					
	ความเงางาม					
	ไม่เป็นเชื้อรา					
	สีไม่ซีดหรือลอกออกง่าย					
	ปลวก มอด และแมลงไม่กินเนื้อไม้					
การใช้งาน	ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย					
	อายุการใช้งานยาวนาน					
	ความปลอดภัย					
อื่น ๆ	ราคาเหมาะสม					

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในผลิตภัณฑ์โต๊ะ-เก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ
คำชี้แจง กรุณาแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้
 รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะผู้วิจัย
 โทร 087-291-2560

ภาคผนวก ค

แบบสอบถามที่ 3 แบบบันทึกการวัดสัดส่วนร่างกายเบื้องต้น

แบบบันทึกการวัดสัดส่วนร่างกายเบื้องต้น

ลำดับที่

ชื่อ.....

นามสกุล.....

อำเภอ.....

จังหวัด.....

อายุ..... ปี

น้ำหนัก..... กิโลกรัม

ตำแหน่งการวัด	การวัด ครั้งที่ 1	การวัด ครั้งที่ 2	การวัด ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. ความสูงขณะนั่ง				
2. ความสูงระดับไหล่ขณะนั่ง				
3. ความสูงระดับศอกขณะนั่ง				
4. ความลึกของก้นและท้องลึกขณะนั่ง				
5. ความสูงระดับสายตาในขณะนั่ง				
6. ความสูงจากที่นั่งถึงตอบนของขาอ่อน				
7. ความยาวจากก้นถึงข้อพับเข่า				
8. ระยะจากก้นถึงเข่า				
9. ความสูงจากพื้นถึงขาอ่อนตอนล่าง				
10. ความยาวจากก้นถึงข้อพับเข่า				
11. ความกว้างของไหล่โดยอ้างอิงกล้ามเนื้อ				
12. ความกว้างไหล่โดยอ้างอิงปุ่มหัวไหล่				
13. ความกว้างของสะโพกขณะนั่ง				
14. ระยะจากศอกถึงปลายนิ้วมือ				
15. ระยะจากไหล่ถึงศอก				
16. ระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า				

ข้าพเจ้ายินยอมให้นำข้อมูลนี้ไปใช้เพื่อการศึกษาและทำรายงานวิจัย

ลงชื่อ.....

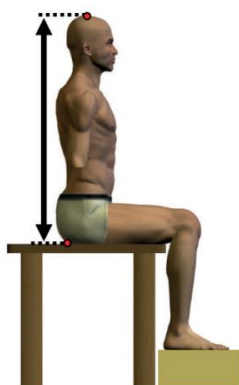
...../...../.....

ภาคผนวก ง

รายละเอียดการวัดสัดส่วนร่างกายผู้สูงอายุทั้ง 16 สัดส่วน

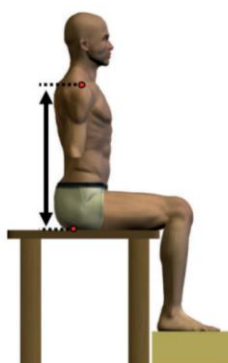
รายละเอียดของการวัดสัดส่วนร่างกายที่ทำร่างกายที่ทำการวัดทั้งหมด 16 สัดส่วน ในการดำเนินงานในครั้งนี้ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละท่าทางของสัดส่วน และได้แสดงตัวอย่างในการวัด สัดส่วนทั้ง 17 สัดส่วน ดังแสดงในภาพที่ จ-1 ถึง จ-16

1. ความสูงขณะนั่ง (Sitting height) ผู้ถูกทดสอบนั่งหลังตรงเท้าทั้งสองชิดติดกัน แขนส่วนบน แขนลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน และหันมองตรงให้ได้ระดับตาม ระนาบ Frankfurt plane ทำการวัดความสูงจากพื้นเก้าอี้ไปจนถึงระดับจุดสูงสุดของศีรษะ (Vertex)



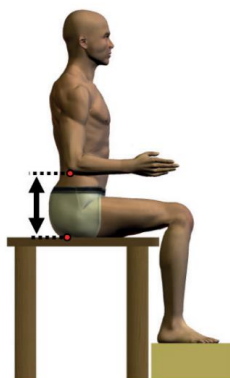
รูปที่ จ.1 แสดงการวัดความสูงขณะนั่ง (Sitting height)

2. ความสูงระดับไหล่ขณะนั่ง (Shoulder height, sitting) ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวแบบนั่งตรงโดย ให้เท้ารองรับโดยให้กระดูกต้นขาอยู่ในแนวนอนและขนานกันซึ่งกันและกัน. ไหล่ผ่อนคลายพร้อมต้น แขนห้อยอย่างอิสระ



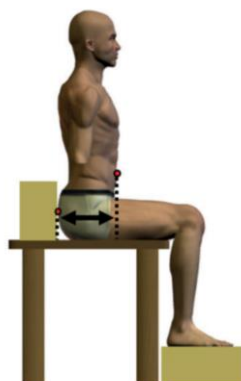
รูปที่ จ.2 แสดงการวัดความสูงระดับไหล่ขณะนั่ง (Shoulder height, sitting)

3. ความสูงระดับศอกขณะนั่ง (Elbow height, sitting) ผู้ถูกทดสอบจะนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองข้างชิดกัน แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขน ส่วนบนขาส่วนบนและ ส่วนล่างตั้งฉากกัน และทำการวัดความสูงจากพื้นเก้าอี้จนถึงระดับปุ่มข้อศอก



รูปที่ ง.3 แสดงการวัดความสูงระดับศอกขณะนั่ง (Elbow height, sitting)

4. ความลึกของก้นและท้องลึกขณะนั่ง (Buttock-abdomen depth, sitting) ผู้ถูกทดสอบนั่งตรงโดยให้เท้ารองรับโดยให้กระดูกต้นขาอยู่ในแนวนอนและขนานกันซึ่งกันและกันโดยให้จุดหลังสุดของบั้นท้ายสัมผัสกับพื้นผิวของแผงแนวตั้ง ระยะทางวัดจากแผงแนวตั้งจนถึงส่วนที่ยื่นออกมาด้านหน้าสูงสุดของช่องท้อง



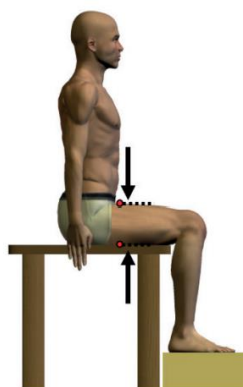
รูปที่ ง.4 แสดงการวัดความลึกของก้นและท้องลึกขณะนั่ง (Buttock-abdomen depth, sitting)

5. ความสูงระดับสายตาในขณะนั่ง (Eye height sitting) ผู้ถูกทดสอบจะนั่งหลังตรง แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน หน้ามองตรงให้ได้ระดับตามระนาบ Frankfurt plane และทำการวัดความสูงจากพื้นเก้าอี้จนถึงระดับมุมมองของหัวตา (Inner canthus)



รูปที่ จ.5 แสดงการวัดความสูงระดับสายตาในขณะนั่ง (Eye height sitting)

6. ความสูงจากที่นั่งถึงตอนบนของขาอ่อน (Thigh clearance) ผู้ถูกทดสอบนั่งตัวตรงโดยงอเข่าเป็นมุมฉาก พยางค์เท้าราบกับพื้น



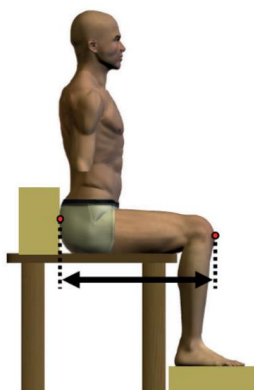
รูปที่ จ.6 แสดงการวัดความสูงจากที่นั่งถึงตอนบนของขาอ่อน (Thigh clearance)

7. ความยาวจากก้นถึงข้อพับเข่า (Buttock-popliteal length) ผู้ถูกทดสอบจะนั่งหลังตรงชิดกับกำแพง วางเท้าทั้งสองข้างชิดกัน แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างจะยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน แล้วทำการวัดความยาวจากกำแพงถึงจุดข้อพับเข่า



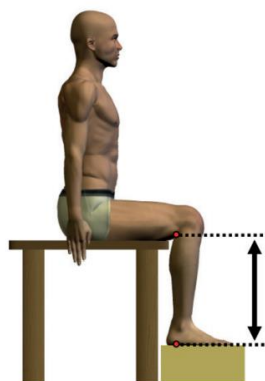
รูปที่ ง.7 แสดงการวัดความยาวจากก้นถึงข้อพับเข่า (Buttock-popliteal length)

8. ระยะจากก้นถึงเข่า (Buttock-knee length) ผู้ถูกทดสอบจะนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองวางชิดกัน แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างจะยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน และทำการวัดความยาวจากกำแพงถึงจุดที่นูนของหัวเข่า



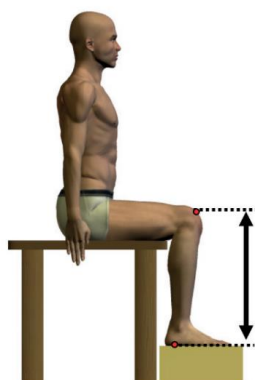
รูปที่ ง.8 แสดงการวัดระยะจากก้นถึงเข่า (Buttock-knee length)

9. ความสูงจากพื้นถึงขาอ่อนตอนล่าง (Popliteal height, sitting) ผู้ถูกทดสอบนั่งแบบนั่งโดยวางเท้าบนแท่นยกเพื่อให้ต้นขาและขาส่วนล่างอยู่ทางขวามือระหว่างการวัด แขนที่เคลื่อนที่ได้ของเครื่องมือวัดถูกกดเบาๆ เส้นเอ็นของกล้ามเนื้อ biceps femoris ที่ผ่อนคลาย



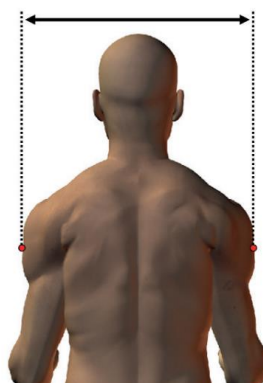
รูปที่ ง.9 แสดงการวัดความสูงจากพื้นถึงขาอ่อนตอนล่าง (Popliteal height, sitting)

10. ความยาวจากพื้นถึงเข่า (Knee height) ผู้ถูกทดสอบนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองวางชิดกัน แขนของส่วนบนแนบลำตัว และแขนส่วนล่างจะยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบน และขาของส่วนล่างตั้งฉากกัน โดยทำการวัดความสูงของเข่าขณะนั่งโดยวัดจากระดับพื้นไปจนถึงส่วนบนของกระดูกหัวเข่า



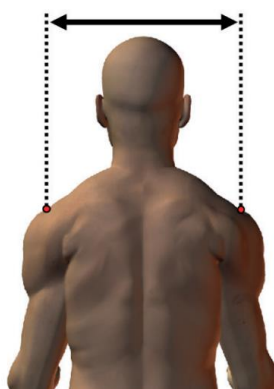
รูปที่ ง.10 แสดงการวัดความยาวจากพื้นถึงเข่า (Knee height)

11. ความกว้างของไหล่โดยอ้างอิงกล้ามเนื้อ (Shoulder breadth bideltoid) ผู้ถูกทดสอบนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน โดยขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน และทำการวัดความกว้างจากจุดที่นูนที่สุดของกล้ามเนื้อต้นแขนซ้าย (Deltoid muscle) ถึงจุดที่นูนที่สุดของกล้ามเนื้อต้นแขนขวาในระดับไหล่



รูปที่ ง.11 แสดงการวัดความกว้างของไหล่โดยอ้างอิงกล้ามเนื้อ
(Shoulder breadth bideltoid)

12. ความกว้างไหล่โดยอ้างอิงปุ่มหัวไหล่ (Shoulder breadth biacromial) ผู้ถูกทดสอบนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างตั้งฉากกัน และทำการวัดความกว้างจากจุดที่นูนที่สุดของปุ่มหัวไหล่ (Acromion) ด้านขวาถึงหัวไหล่ด้านซ้าย



รูปที่ ง.12 แสดงการวัดความกว้างไหล่โดยอ้างอิงปุ่มหัวไหล่
(Shoulder breadth biacromial)

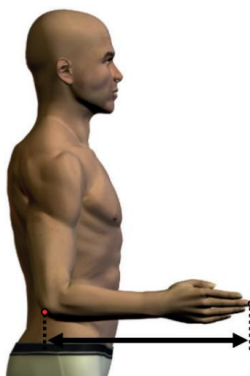
13. ความกว้างของสะโพกขณะนั่ง (Hip breadth, sitting) ผู้ถูกทดสอบจะนั่งหลังตรง เท้าทั้งสองชิดกัน แขนส่วนบนแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขา

ส่วนบนและส่วนล่างวางตั้งฉากกัน ทำการวัดความกว้างส่วนที่กว้างที่สุดของสะโพก ซึ่งปกติ การวัดจะยึดด้านนอกสุดของกระดูกเชิงกรานทั้งสองข้าง (Iliac crests)



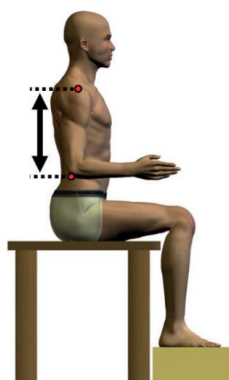
รูปที่ ง.13 แสดงการวัดความกว้างของสะโพกขณะนั่ง (Hip breadth, sitting)

14. ระยะจากศอกถึงปลายนิ้วมือ (Elbow-fingertip length) ผู้ถูกทดสอบนั่งหลังตรง หน้ามองตรง เท้าทั้งสองวางชิดกัน แขนส่วนบนวางแนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้าแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างวางตั้งฉากกัน โดยทำการวัดระยะจากด้านหลังของข้อศอกถึงปลายนิ้วกลาง



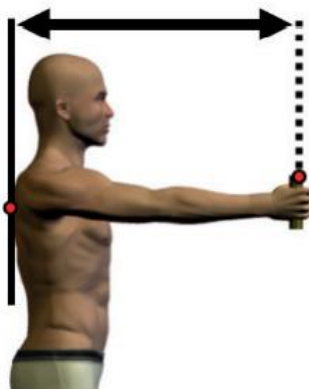
รูปที่ ง.14 แสดงการวัดระยะจากศอกถึงปลายนิ้วมือ (Elbow-fingertip length)

15. ระยะจากไหล่ถึงศอก (Shoulder-elbow length) ผู้ถูกทดสอบนั่งหลังตรงหน้ามองตรงไป ข้างหน้าระนาบกับพื้น เท้าทั้งสองวางชิดกัน แขนส่วนบนจะวางให้แนบลำตัว แขนส่วนล่างยื่นไปข้างหน้า ในแนวตั้งฉากกับแขนส่วนบน ขาส่วนบนและส่วนล่างวางตั้งฉากกัน ทำการวัดระยะจากจุดที่นูนที่สุดของปุ่มหัวไหล่ (Acromion) จนถึงปุ่มข้อศอก



รูปที่ ง.15 แสดงการวัดระยะจากไหล่ถึงศอก (Shoulder-elbow length)

16. ระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า (Forward grip reach) ผู้ถูกทดสอบยืนตัวตรงหลังชิดติดกำแพง เท้าทั้งสองวางชิดติดกัน กำมือโดยข้อมือเหยียดตรงไปด้านหน้า ทำการวัดความยาวจากกำแพงถึงจุดศูนย์กลางมือขณะกำ



รูปที่ ง.16 แสดงการวัดระยะเอื้อมแขนไปข้างหน้า (Forward grip reach)

ภาคผนวก จ

แบบสอบถามที่ 4 การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคและกลุ่มผู้ผลิตที่มีต่อ
ผลิตภัณฑ์ไอ้เต่เก๊าอ๊แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ



สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

โครงการวิจัยเรื่อง: การออกแบบและพัฒนาโต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพและการออกแบบเพื่อผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง

แบบสอบถามที่ 4 การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคและกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

จุดประสงค์ของแบบสอบถาม

แบบสอบถามฉบับนี้จัดทำเพื่อศึกษาและรวบรวมความรู้สึของผู้บริโภคและกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

รายละเอียดของแบบสอบถาม

- ส่วนที่ 1 สอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
- ส่วนที่ 2 คำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจเชิงเทคนิคของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ "แบบที่ 1"
- ส่วนที่ 3 คำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจเชิงเทคนิคของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ "แบบที่ 2"
- ส่วนที่ 4 คำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจเชิงเทคนิคของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ "แบบที่ 3"

ส่วนที่ 1 ข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

กรุณาเติมข้อความในช่องว่างและใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ หน้าข้อความต่อไปนี้

1. เพศ

☐ ชาย

☐ หญิง

2. อายุ

☐ ต่ำกว่า 21 ปี

☐ 21-30 ปี

☐ 31-40 ปี

☐ 41-50 ปี

☐ 51-60 ปี

☐ 61 ปี ขึ้นไป

3. อาชีพ

☐ พนักงานบริษัท

☐ ข้าราชการ/พนักงานของรัฐ

☐ ธุรกิจส่วนตัว

☐ รับจ้างทั่วไป

☐ แม่บ้าน

☐ นักเรียน/นักศึกษา

☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

4. ระดับรายได้ต่อเดือน

☐ ต่ำกว่า 10,000 บาท

☐ 10,000 – 20,000 บาท

☐ 20,000 – 30,000 บาท

☐ 30,000 – 40,000 บาท

☐ 40,000 – 50,000 บาท

☐ 50,001 บาทขึ้นไป

5. ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่ามัธยมศึกษาตอนต้น

☐ มัธยมศึกษาตอนต้น-ปลาย / ปวช.

☐ อนุปริญญา / ปวส.

☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ ปริญญาตรี

☐ ปริญญาโท

☐ ปริญญาเอก

ส่วนที่ 2 คำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจเชิงเทคนิคของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ "แบบที่ 1"



1. "ความพึงพอใจเชิงเทคนิค" ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ "แบบที่ 1"

คำชี้แจง : กรุณาเติมข้อความในช่องว่างและใส่เครื่องหมาย ✓ ลงใน □ ในช่องระดับคะแนนความพึงพอใจที่ท่านมีความเห็นว่าความพึงพอใจเชิงเทคนิคต่อไปนี้ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ "แบบที่ 1" รูปแบบใหม่

- 5 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกมากที่สุด
- 4 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกมาก
- 3 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกปานกลาง
- 2 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกน้อย

1 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกน้อยที่สุด

ลำดับ	คุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 1” รูปแบบใหม่	ระดับคะแนนความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
1	ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด					
2	วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ					
3	ที่นั่งและพนักพิงตามหลักสรีรศาสตร์					
4	มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย					
5	ขนาดและพื้นที่ใช้สอย					
6	ความสวยงาม					
7	อายุการใช้งาน					
8	ราคาของผลิตภัณฑ์					
9	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์					
10	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์					
11	รูปร่างไม่ซับซ้อน					
12	มุมของผลิตภัณฑ์					
13	ความทันสมัย					
14	น้ำหนัก					
15	ความคงทนของน้ำยาเคลือบ					
16	ผิวสัมผัส					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 1”
รูปแบบใหม่ (โปรดระบุ)

.....
.....

ส่วนที่ 3 คำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจเชิงเทคนิคของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ "แบบที่ 2"



1. "ความพึงพอใจเชิงเทคนิค" ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 2”

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมายลงในช่องระดับคะแนนความพึงพอใจที่ท่านมีความเห็นว่าความพึงพอใจเชิงเทคนิคต่อไปนี้ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 2” รูปแบบใหม่

- 5 หมายถึง ผลลัพธ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกมากที่สุด
- 4 หมายถึง ผลลัพธ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกมาก
- 3 หมายถึง ผลลัพธ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกปานกลาง
- 2 หมายถึง ผลลัพธ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกน้อย
- 1 หมายถึง ผลลัพธ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกน้อยที่สุด

ลำดับ	คุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 2” รูปแบบใหม่	ระดับคะแนนความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
1	ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด					
2	วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ					
3	ที่นั่งและพนักพิงตามหลักสรีรศาสตร์					
4	มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย					
5	ขนาดและพื้นที่ใช้สอย					
6	ความสวยงาม					

ลำดับ	คุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 2” รูปแบบใหม่	ระดับคะแนนความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
7	อายุการใช้งาน					
8	ราคาของผลิตภัณฑ์					
9	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์					
10	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์					
11	รูปร่างไม่ซับซ้อน					
12	มุมของผลิตภัณฑ์					
13	ความทันสมัย					
14	น้ำหนัก					
15	ความคงทนของน้ำยาเคลือบ					
16	ผิวสัมผัส					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 2”
รูปแบบใหม่ (โปรดระบุ)

.....

ส่วนที่ 4 คำถามเกี่ยวกับความพึงพอใจเชิงเทคนิคของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบ
อเนกประสงค์ "แบบที่ 3"



1. "ความพึงพอใจเชิงเทคนิค" ที่ "ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 3”

คำชี้แจง : กรุณาใส่เครื่องหมายลงในช่องระดับคะแนนความพึงพอใจที่ท่านมีความเห็นว่าความพึงพอใจเชิงเทคนิคต่อไปนี้ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 3” รูปแบบใหม่

5 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกมากที่สุด

4 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกมาก

3 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกปานกลาง

2 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกน้อย

1 หมายถึง ผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่มีผลต่อระดับคะแนนความพึงพอใจด้านความรู้สึกน้อยที่สุด

ลำดับ	คุณลักษณะที่มีผลต่อความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 2” รูปแบบใหม่	ระดับคะแนนความสำคัญ				
		5	4	3	2	1
1	ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและการยึดติด					
2	วัสดุที่ใช้มีคุณภาพ					
3	ที่นั่งและพนักพิงตามหลักสรีรศาสตร์					
4	มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย					
5	ขนาดและพื้นที่ใช้สอย					
6	ความสวยงาม					
7	อายุการใช้งาน					
8	ราคาของผลิตภัณฑ์					
9	การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์					
10	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์					
11	รูปร่างไม่ซับซ้อน					
12	มุมของผลิตภัณฑ์					
13	ความทันสมัย					
14	น้ำหนัก					
15	ความคงทนของน้ำยาเคลือบ					
16	ผิวสัมผัส					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “แบบที่ 3”
รูปแบบใหม่ (โปรดระบุ)

.....

.....

.....

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลาในการให้ข้อมูลในครั้งนี้
รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะผู้วิจัย
โทร 087-291-2560

ภาคผนวก ฉ
ผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุ

ผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุแบบใหม่



ภาพ ฉ-
1 ภาพ

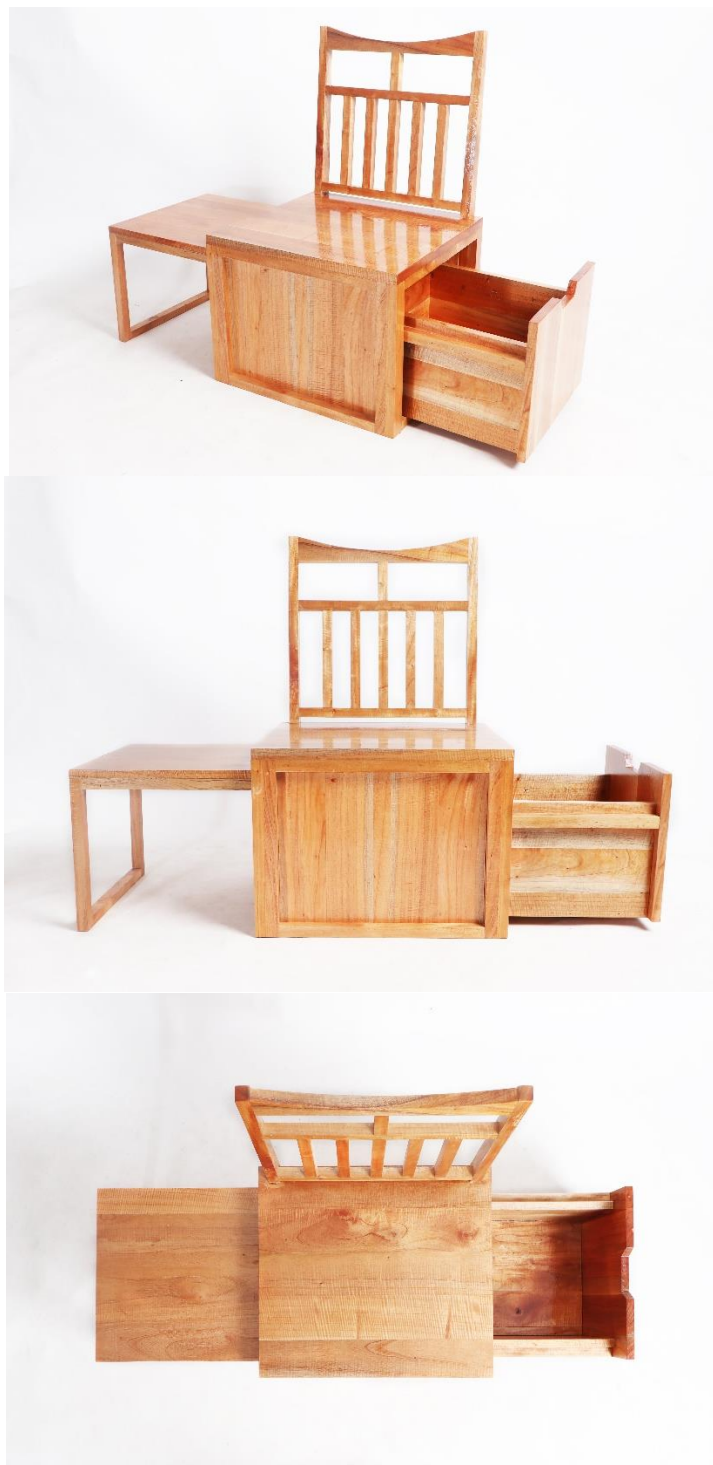
ผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “รูปแบบที่ 1”

ผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุแบบใหม่



ภาพ จ-2 ภาพผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “รูปแบบที่ 2”

ผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์สำหรับผู้สูงอายุแบบใหม่



ภาพ ฉ-3 ภาพผลิตภัณฑ์โต๊ะเก้าอี้แบบอเนกประสงค์ “รูปแบบที่ 3”

ภาคผนวก ข

เส้นใยกาบมะพร้าวและเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)
นำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวและบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1. บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว มีทั้งหมด 6 กระบวนการ ดังต่อไปนี้



รูปที่ ข.1 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 4 นาที



รูปที่ ข.2 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 6 นาที



รูปที่ ข.3 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 8 นาที



รูปที่ ข.4 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 4 นาที



รูปที่ ข.5 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 6 นาที



รูปที่ ข.6 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 8 นาที

2. บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) มีทั้งหมด 6 กระบวนการ ดังต่อไปนี้



รูปที่ ข.7 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 4 นาที



รูปที่ ข.8 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 6 นาที



รูปที่ ข.9 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ
150 องศาเซลเซียส 8 นาที



รูปที่ ข.9 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ
170 องศาเซลเซียส 4 นาที



รูปที่ ข.9 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ
170 องศาเซลเซียส 6 นาที

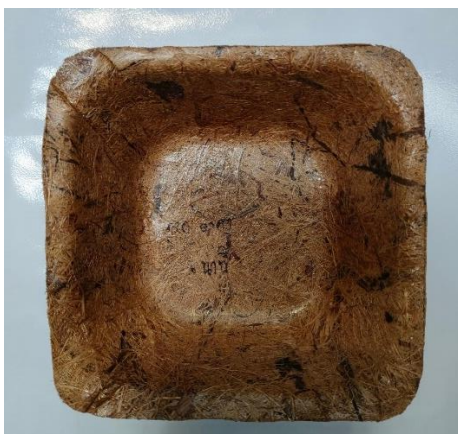


รูปที่ ข.10 บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่อุณหภูมิ
170 องศาเซลเซียส 8 นาที

ภาคผนวก ซ
การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของ
บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ซ.1



รูปที่ ซ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน

2. นำชิ้นงานบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว เข้าเครื่องกดอัด ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 20 ± 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ ซ.2



รูปที่ ซ.2 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน

3. ชิ้นงานที่ถูกทำลายจากกระบวนการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน แสดงดังรูปที่ ซ.3

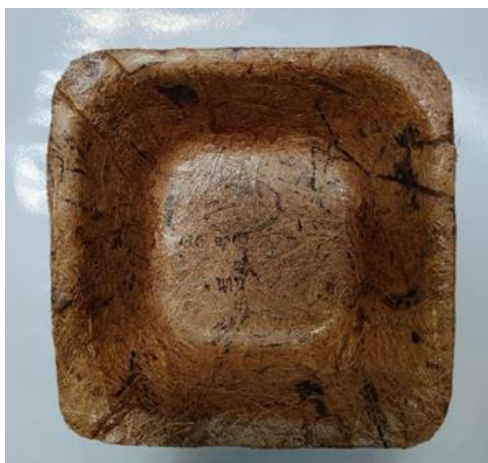


รูปที่ ซ.3 ชิ้นงานผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน

ภาคผนวก ฅ
การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของ
บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ ณ.1



รูปที่ ณ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง

2. นำชิ้นงานบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว เข้าเครื่องกดอัด ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 20 ± 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ ณ.2



รูปที่ ณ.2 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง

3. ชิ้นงานที่ถูกทำลายจากกระบวนการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง แสดงดังรูป ณ.3



รูปที่ ณ.3 ชิ้นงานผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง

ภาคผนวก ญ
การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ
บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ญ.1



รูปที่ ญ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงดึง

2. นำชิ้นงานบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวเข้าเครื่องดึงชิ้นงาน ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ แสดงดังรูปที่ ญ.2



รูปที่ ญ.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

3. ชิ้นงานที่ถูกทำลายจากกระบวนการทดสอบความต้านทานแรงดึง แสดงดังรูปที่ ญ.3



รูปที่ ญ.3 ชิ้นงานผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ภาคผนวก ก
การทดสอบการขึ้นน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าว

การทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชั้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ฎ.1



รูปที่ ฎ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการดูดซึมน้ำ

2. สีสผสมอาหารผสมกับน้ำ 1.5 กรัม กับ น้ำ 100 มิลลิตรหลังจากนั้นหยดสีจำนวน 5 หยด ลงบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ใช้นาฬิกาจับเวลาตั้งแต่เริ่มหยดสีจนกระทั่งสีเริ่มซึมเข้าไปในแผ่นชั้นทดสอบจนหมด ทำการทดสอบ 5 จุด แสดงดังรูปที่ ฎ.2



รูปที่ ฎ.2 หยดสีลงบนบรรจุภัณฑ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ

ภาคผนวก ก
การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของ
บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชั้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ฎ.1



รูปที่ ฎ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน

2. นำชิ้นงานบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว เข้าเครื่องกดอัด ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 20 ± 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ ฎ.2



รูปที่ ฎ.2 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน

3. ชิ้นงานที่ถูกทำลายจากกระบวนการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน แสดงดังรูปที่ ฎ.3



รูปที่ ฎ.3 ชิ้นงานผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน

ภาคผนวก ฐ
การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง
ของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ รูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง

2. นำชิ้นงานบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยจากมะพร้าว เข้าเครื่องกดอัด ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ 20 ± 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ รูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง

3. ชิ้นงานที่ถูกทำลายจากกระบวนการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง แสดงดังรูปที่ ฐ.3



รูปที่ ฐ.3 ชิ้นงานผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง

ภาคผนวก ๗
การทดสอบความต้านทานแรงดึงของ
บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

การทดสอบความต้านทานแรงดึงของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ท.1



รูปที่ ท.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงดึง

2. นำชิ้นงานบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยคาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) เข้าเครื่องดึงชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ ท.2



รูปที่ ท.2 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

3. ชิ้นงานที่ถูกทำลายจากกระบวนการทดสอบความต้านทานแรงดึง แสดงดังรูปที่ ท.3



รูปที่ ท.3 ชิ้นงานผ่านการทดสอบความต้านทานแรงดึง

ภาคผนวก ๓

การทดสอบการซีมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

การทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ผ.1



รูปที่ ผ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการดูดซึมน้ำ

2. สีสผสมอาหารผสมกับน้ำ 1.5 กรัม กับ น้ำ 100 มิลลิตรหลังจากนั้นหยดสีจำนวน 5 หยด ลงบนบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ใช้นาฬิกาจับเวลาตั้งแต่เริ่มหยดสีจนกระทั่งสีเริ่มซึมเข้าไป ในแผ่นชิ้นทดสอบจนหมด ทำการทดสอบ 5 จุด แสดงดังรูปที่ ผ.2



รูปที่ ผ.2 หยดสีลงบนบรรจุภัณฑ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ

ภาคผนวก ณ

กระบวนการทดสอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวและ
บรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมพอลิเอทิลีน (HDPE)

การทดสอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวและบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

1. นำบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยกาบมะพร้าว ที่กระบวนการอัดร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ณ.1



รูปที่ ณ.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบทางเคมี

2. ใช้กระดาษลิตมัสวัดค่าความเป็นกรด-เบส แสดงดังรูปที่ ณ.2



รูปที่ ณ.2 ค่าความเป็นกรด-เบส

รายงานการวิจัย

ชุดโครงการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ประจำปี พ.ศ. 2565