



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์

Packaging Technology Research and Development Project

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวศิริพร เต็งรัง

Miss Siriporn Tengrang

ปี พ.ศ. 2558



รายงานโครงการวิจัย

วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์

Packaging Technology Research and Development Project

หัวหน้าโครงการวิจัย

นางสาวศิริพร เต็งรัง

Miss Siriporn Tengrang

ปี พ.ศ. 2558

คำปรารภ

บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น สาเหตุจากการตื่นตัวจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและภัยธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี สาเหตุทั้งจากการตัดไม้ทำลายป่าของเสียจากอุตสาหกรรม และการเผาขยะซึ่งมีปริมาณมากขึ้นและกำจัดได้ยากในปัจจุบัน นอกจากนี้กลุ่มประเทศธุรกิจหลักๆ ก็ได้เล็งเห็นความสำคัญของผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อมและผลิตภัณฑ์ทดแทนพลาสติก จึงได้ออกมาตรการทางกฎหมายและด้านภาษีอย่างชัดเจน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาออกกฎหมายสนับสนุนผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับยกเว้นภาษี สำหรับประเทศไทยในขณะนี้ คณะรัฐมนตรีได้ให้ความเห็นชอบแผนที่นำทางแห่งชาติ (National Roadmap) การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2554 - 2558) เพื่อส่งเสริมให้อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพเป็นอุตสาหกรรมเพื่ออนาคตของประเทศไทย

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ในอนาคต แบ่งตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความมั่นคงและมีความพร้อมในด้านวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Biomass) ทั้งผลิตผลทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมาย จึงเป็นโอกาสดีในการนำมาวิจัยและพัฒนาเป็นพลาสติกชีวภาพ

โดยในปัจจุบันมีการศึกษาการนำผลิตผลทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ หรือบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ บรรจุภัณฑ์หรือพลาสติกชีวภาพที่ได้ ยังมีข้อจำกัดในการใช้เนื่องจาก เสียรูปได้ง่ายเมื่อได้รับความชื้นหรือสัมผัสกับสารเคมีต่างๆ คุณสมบัติเชิงกลไม่ดี ไม่ยืดหยุ่น แดกเปราะได้ง่าย เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น หรือเติมสารเติมแต่งเพิ่มคุณสมบัติ และราคาที่แพงกว่าพลาสติกจากปิโตรเคมี จึงทำให้การนำไปใช้งานยังอยู่ในวงจำกัด

ดังนั้นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม คือ การศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาผลิตผลทางการเกษตร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกลุ่มจุลินทรีย์มาผลิตบรรจุภัณฑ์ ทั้งในรูปแบบของพลาสติกชีวภาพหรือวัสดุทดแทนไม้ โดยศึกษาชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสม ศึกษาคุณสมบัติ และศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาเครื่องมือให้เหมาะสมตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบจนกระทั่งผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้เหมาะกับวัตถุดิบแต่ละชนิด

ซึ่งความสำเร็จจากการวิจัยจะทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาขยะ ลดภาวะโลกร้อน ลดการนำเข้าสินค้า เทคโนโลยีและเครื่องจักรที่มีราคาแพง ลดการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี ช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ และเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ของประเทศไทยให้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกมากยิ่งขึ้น

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| กิตติกรรมประกาศ | 1 |
| คณะผู้วิจัย | 2 |
| บทนำ | 14 |
| บทคัดย่อ | |
| กิจกรรมที่ 1 การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร | 19 |
| กิจกรรมที่ 2 การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ จากผลิตผลเกษตร | 141 |
| บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 161 |
| บรรณานุกรม | 165 |
| ภาคผนวก 1 | 179 |
| ภาคผนวก 2 | 185 |

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี จากความร่วมมือ การสนับสนุน และความอนุเคราะห์ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาจากข้าราชการ พนักงานราชการ เจ้าหน้าที่ และหน่วยงานในกรมวิชาการเกษตร ตลอดจนหน่วยงานภายนอก ที่อนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการปฏิบัติงาน ดังรายนามต่อไปนี้

ผอ. กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (กวป.)

ผอ. สุปรียา สุขเกษม ผอ. กลุ่มวิจัยและพัฒนาการแปรรูปผลิตผลเกษตร กวป.

ผู้เชี่ยวชาญนานาชาติ ณ ระนอง ผู้เชี่ยวชาญด้านผลิตภัณฑ์เกษตร

คณะผู้เชี่ยวชาญกรมวิชาการเกษตร

นางพุดผกา รุ่งระวี นักวิชาการสถิติชำนาญการพิเศษ

นางสาวอัจฉราพร ศรีจูดานู นักวิชาการโรคพืชชำนาญการ

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี สถาบันวิจัยพืชสวน

ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย สถาบันวิจัยพืชสวน

กองการยาง

กองแผนงานและวิชาการ

ข้าราชการ พนักงานราชการ และเจ้าหน้าที่ กวป. ทุกคน

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บริษัท Akzo Nobel Paints (Thailand Limited) สาขา Eka Bangkok

บริษัท บรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน)

ซึ่งประโยชน์และการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่าน และขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| นางสาวศิริพร เต็งรัง | Ms. Siriporn Tengrang |
| นายประยูร เอ็นมาก | Mr. Prayoon Enmak |
| นางสาวนภัสสร เลียบวัน | Ms. Napatsorn Leabwan |
| นายมงคล ตุ่นเฮ้า | Mr. Mongkol Tunhaw |
| นายคุรุวรรณ ภามาตย์ | Mr. Kuruwan Pramart |
| นายพุทธิพันธ์ จารูวัฒน์ | Mr. Puttinun Jaruwat |
| นายกนกศักดิ์ ลอยเลิศ | Mr. Kanoksak Loylerd |
| นางสาวสุปรียา สุขเกษม | Ms. Supreeya Sukhasem |
| นางสาววิมลวรรณ วัฒนวิจิตร | Ms. Wimonwan Wattanawichit |
| นายโกเมศ สัตยาวุธ | Mr. Komate Satyawut |
| นางสาวศุภมาส กลิ่นขจร | Ms. Supamas Klinkajorn |
| นางสาวจารุวรรณ รัตนสกุลธรรม | Ms. Charuwan Rattanasakultham |
| นายสำเริง ช่างประเสริฐ | Mr. Samreang Changprasert |
| นายรังสิทธิ์ สิริมาลา | Mr. Rungsit Sirimala |
| นายมานพ กันธามารัตน์ | Mr. Manop Kantamarat |

บทคัดย่อ

โครงการนี้จึงมุ่งเน้นวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์และเกิดมูลค่าสูงสุด โดยพัฒนาและออกแบบให้มีความจำเพาะเจาะจงหรือมีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีการผลิตตั้งแต่เตรียมวัตถุดิบจนถึงกระบวนการขึ้นรูปให้เหมาะสม ลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและสามารถใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตรและสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ระหว่างปี 2554-2558

เริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้ คือ เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและชะนี และต้นกล้วยพันธุ์น้ำว้าและไข่ เนื่องจากมีเซลลูโลสหรือเส้นใยเป็นองค์ประกอบ และถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมาก พบว่าเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสสูงที่สุด 53.7% ต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาวเส้นใยสูงที่สุด 4.01 mm. จึงนำมาเตรียมเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลส 21.51 และ 20.25% เมื่อฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% พบว่าเหลือเซลลูโลสหลังฟอก 84.80 และ 74.75% จึงเลือกเส้นใยจากเปลือกทุเรียนไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ 3 ชนิด คือ งานใยอัด กระดาษดูดซับเอทิลีน และฟิล์มคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ดังนี้

งานใยอัด ทำได้โดยนำแผ่น preform ของเส้นใยเดิมสารด้านการซึมน้ำชนิด AKD ปริมาณ 3% อัดขึ้นรูปแบบอัดร้อนด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก แรงดันสูง ในสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 160 °C ความดัน 150 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แม่พิมพ์รูปงาน พบว่าเส้นใยไม่ฟอกขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยฟอก ไม่มีรอยฉีกขาดและการหลุดร่วงของเส้นใย แต่งานใยอัดฟอกมีคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น 573.44 kg/m³ ความชื้น 0.39% การพองตัวทางความหนา 89.68% การดูดซับน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ นานกว่า 7 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ ส่วนงานใยอัดไม่ฟอกมีความต้านแรงกดด้านบนและด้านล่าง 2.97 และ 3.28 kF ความต้านแรงดันทะลุ 419 kPa ความต้านแรงทิ่มทะลุ 0.66 J ความต้านแรงดึงขาด 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72% ซึ่งคุณสมบัติโดยรวมของงานใยอัดจากเปลือกทุเรียนยังดีกว่างานชานอ้อย แต่งานใยอัดจากเส้นใยฟอกมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแข่งขันกับงานชานอ้อยได้

กระดาษดูดซับเอทิลีน จัดเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ คือ ช่วยดูดซับก๊าซเอทิลีนจากผลิตภัณฑ์เกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เริ่มโดยศึกษาคุณสมบัติของกระดาษจากเส้นใยฟอกและไม่ฟอก พบว่าเส้นใยไม่ฟอกให้กระดาษที่มีคุณสมบัติดีกว่า และเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด จากนั้นเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด เป็นตัวดูดซับก๊าซ คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงให้กระดาษดูดซับเอทิลีนที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษา

มะม่วงได้นาน 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 10.55% จากนั้นศึกษาปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม โดยทดลองที่ปริมาณ 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเส้นใย พบว่ากระดาษดูดซับเอทิลีนทุกกรรมวิธีมีคุณสมบัติเป็นไปตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด โดยเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นกระดาษมีความแข็งแรงสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กระดาษเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% มีประสิทธิภาพการยึดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องดีที่สุด คือ เก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 28.59% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่นๆ และดีกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 30.25% มีต้นทุนการผลิต 1.60 บาท/แผ่น ถูกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีราคา 2-3 บาท/ซอง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตออกมาใช้งานเชิงพาณิชย์

พลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เริ่มจากนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาสังเคราะห์เป็นคาร์บอนซีเมติกเซลลูโลส (CMC) ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพที่ละลายน้ำได้ เริ่มจากนำเส้นใยที่ผ่านการฟอกแล้วไปบดให้เป็นผงละเอียด แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะต่าง พบว่าได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.63% มีค่าองศาการแทนที่ 0.68 เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง มีต้นทุนการผลิต 23.12 บาท/กรัม เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยเติมสารเติมแต่ง 4 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอบิทอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ 10 20 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าสารละลายทุกกรรมวิธีมีความหนืดแตกต่างกัน แผ่นฟิล์มที่ได้มีความหนา ค่าสี และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและความต้านทานแรงดึงลดลง ซึ่งคุณสมบัติของฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 30% มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวสูงที่สุด ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10% มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด และฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวน้อยที่สุด โดยฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง มีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.15-17.6 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เมื่อนำฟิล์มมาประยุกต์ใช้เป็นซองบรรจุกาแฟพบว่าลักษณะปรากฏและคุณภาพของกาแฟในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลปริมาณ 20% มีค่าใกล้เคียงกับกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ทั้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและในตู้เย็น แสดงว่าซองฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนสามารถพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้

นอกจากนี้ยังได้วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากผลิตผลทางการเกษตร โดยพัฒนาเป็นฟิล์มไบโอบิดได้สำหรับอาหารและฟิล์มชีวภาพ เนื่องจากผักและผลไม้ มีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ (เพคติน และเซลลูโลส) ทำให้สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ เริ่มโดยนำผักและผลไม้มาบดให้ละเอียดแล้ว

วิเคราะห์ห้อยประกอบทางเคมี ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม และทดสอบคุณสมบัติ พบว่าเครื่องมือห้อยประกอบของเพคตินสูงที่สุด สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดีที่สุด จึงคัดเลือกมาพัฒนาต่อ โดยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มด้วยไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ เพคตินและแอลจินेटที่ 1.5 3 และ 4.5% โดยน้ำหนักแครอท พบว่าไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนา ค่า L^* ความต้านทานแรงดึงขาดและความต้านทานไอน้ำเพิ่มขึ้น (WVTR ลดลง) ($P < 0.05$) ขณะที่ความต้านทานก๊าซออกซิเจนลดลง (OTR เพิ่มขึ้น) แต่ไม่มีผลต่อการยึดตัวของฟิล์ม ($P \geq 0.05$) โดยการเติมแอลจินेटที่ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนักแครอทให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีที่สุด ดังนั้นจึงนำมาปรับปรุงความยืดหยุ่นของฟิล์ม โดยเติมไซลิทอลที่ 1.25 2.5 3.75 5 และ 6.25% โดยน้ำหนักแครอท พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไซลิทอลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนา การละลายน้ำ ความชื้นและการยึดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) แต่ทำให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาด ค่า L^* ความต้านทานไอน้ำและก๊าซออกซิเจนลดลง ($P < 0.05$) โดยเมื่อไซลิทอลสูงขึ้นส่งผลให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีเร็วขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จึงได้คัดเลือกฟิล์มที่เติมแอลจินेट 3% และไซลิทอล 3.75% ของแครอทมาห้อยผลิตภัณฑ์โดยใช้ลูกอมถั่วกะทิเป็นกรณีศึกษา เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าลูกอมที่ห้อยด้วยฟิล์มแครอทมีการเพิ่มค่าเปอร์ออกไซด์ช้ากว่าลูกอมที่ไม่ห้อยและห้อยด้วยกระดาษไข

ฟิล์มชีวภาพหรือบรรจุภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง เริ่มจากเตรียมแป้งจากมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ โดยสกัดโปรตีนและไขมัน จากนั้นเตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งกับไคโตซานที่อัตราส่วนแป้ง:ไคโตซานเท่ากับ 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานจุลินทรีย์ให้ฟิล์ม และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม ผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ให้ฟิล์มที่โปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น มีความหนาใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 มีความชื้นต่ำที่สุด 9.51% ฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุด 0.426 ฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด 22.31% ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงขึ้นเมื่อเติมไคโตซาน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.6 มีค่าสูงที่สุด 134.2 kF/cm² เปอร์เซ็นการยึดตัวมีค่าลดลงเมื่อไคโตซานเพิ่มขึ้น ซึ่งฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงที่สุด 73.77% รองลงมาคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 เท่ากับ 42.95% และความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงที่สุด 590.16 mN แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมไคโตซานด้วยกัน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:1 มีค่าสูงที่สุด 303.7 mN ฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) สูงสุด 2,105 g/m²/day และฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0.4 มีค่า WVTR ต่ำที่สุด 1,918 g/m²/day ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (< 0.05) กับที่อัตราส่วน 1:0.6 ส่วนอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0 มีค่า OTR ต่ำสุด 1.33 cm³/m²/day และที่อัตราส่วน 1:1 มีค่า OTR สูงสุด 4.29 cm³/m²/day จากนั้นนำไปทดสอบศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ โดยทดสอบกับจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* A39 พบว่าไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่

จำเป็นต้องเป็น clear zone มีต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 0.02-0.50 บาท/แผ่น ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง: โคลโคซานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปพัฒนาต่อ คือ 1:0.6 เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนอื่นๆ ที่ให้คุณสมบัติที่สุด

ผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly- β -hydroxybutyrate; PHB) จากจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสะสมสารประกอบคาร์บอนสำหรับใช้เป็นแหล่งคาร์บอนหรือแหล่งพลังงานสำรองภายในแกรนูลของเซลล์จุลินทรีย์หรือไซยาโนแบคทีเรีย อันเนื่องมาจากสภาวะที่ไม่สมดุลของสารอาหารหรือสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของเซลล์ เริ่มโดยเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียจากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้ตาข่ายแพลงก์ตอนที่มียาวขนาดตา 20 ไมโครเมตร และเก็บตัวอย่างจากรากคอรัลลอยด์ของปรัง แล้วนำมาคัดแยกโดยใช้ไมโครปิเปตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อให้ได้เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ จากนั้นนำสายพันธุ์ที่บริสุทธิ์มาตรวจสอบปริมาณการสะสมของพอลิเมอร์ชีวภาพภายในเซลล์ด้วยการย้อมสีซูดานแบลคบี พบว่าไอโซเลท SM6-3 เป็นสายพันธุ์ที่คัดแยกได้จากรากคอรัลลอยด์ของปรังในสวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ กรุงเทพมหานคร มีปริมาณพอลิเมอร์สะสมในเซลล์สูงที่สุด เนื่องจากย้อมติดสีน้ำเงินเข้มทั่วทั้งเซลล์ ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า เป็นไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มของ *Nostoc* sp. เมื่อนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 สูตรปกติและสูตรที่ไม่เติมไนโตรเจน (N_2 -free medium) ใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และแสงแดดที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง พบว่าอาหารเหลวทั้งสองสูตรไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไอโซเลท SM6-3 แต่การเพาะเลี้ยงโดยใช้แสงแดดจะมีการเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดเท่ากับ 9.96×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 18 วัน ได้ผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 1.69 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการเก็บเกี่ยวเซลล์ด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องแยกกากอัตโนมัติแล้วนำชีวมวลมาสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพออกจากเซลล์และหาปริมาณพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly- β -hydroxybutyrate, PHB) โดยการใช้ปฏิกิริยา Acid hydrolysis และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 235 นาโนเมตร พบว่ามี PHB เท่ากับ 0.33 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าเพาะเลี้ยงด้วยอาหาร BG-11 สูตรปกติ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นฟิล์มชีวภาพได้

นอกจากนี้ยังได้นำพลาสติกชีวภาพทางการค้ามาศึกษาเพิ่มเติม โดยศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด เปรียบเทียบกับถุงพลาสติกจากปิโตรเคมี โดยคัดเลือกบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพทางการค้า 3 ชนิด เป็นพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ไม่เติมสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) และพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้แป้งเป็นสารเติมแต่ง มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®] นำมาขึ้นรูปเป็นถุงขนาดบรรจุเงาะผลสด 1 กิโลกรัม ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) การย่อยสลายทางชีวภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดเปรียบเทียบกับถุง Low Density Polyethylene (LDPE) ผลการทดลองพบว่า Mater-Bi[®] และ PBS ขึ้นรูปเป็นถุงและใช้งาน

ได้ง่าย ส่วน PLA ขึ้นรูปได้ยากและไม่เหมาะในการทำงานเพราะเปิดอุณหภูมิได้ยาก เมื่อทดสอบบรรจุเงาะ ผลสดที่อุณหภูมิ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% เป็นเวลา 27 วัน พบว่าถุง PBS สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ดีที่สุด เก็บได้นาน 15 วัน ใกล้เคียงกับถุง LDPE โดยที่เปลือกและขนเกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย เงาะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเก็บในถุง PBS เท่ากับ 15.93% รองลงมาเป็นถุง LDPE 17.36% และถุง Mater-Bi® 27.33% และมีอัตราการสุก (TSS/TA) น้อยที่สุดเมื่อเก็บในถุง PBS รองลงมาคือ ถุง Mater-Bi® และถุง LDPE เท่ากับ 14.75 15.16 และ 48.40 ตามลำดับ คุณสมบัติของถุง PBS คือ มีค่า WVTR 938 g/m²/day ค่า OTR 1,218 cm³/m²/day การยืดตัวแนวนอนและแนววงเครื่อง 87 และ 5.80% ความต้านทานต่อแรงดึงแนวนอนและแนววงเครื่อง 464 และ 283 kF/m² ย่อยสลายได้เร็วที่สุด โดยเริ่มแตกเป็นชิ้นภายหลังจากฝังในดินเป็นเวลา 16 วัน และย่อยสลายได้ 31.25% ในเวลา 5 เดือน ราคา 6.69 บาท/ใบ ซึ่งสูงกว่าถุง LDPE แต่มีข้อได้เปรียบคือลดค่ากำจัดขยะ และหากใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออกจะช่วยลดการกีดกันทางการค้าและภาษีได้

ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าผลิตผลเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพและบรรจุภัณฑ์แอคทีฟได้ และมีศักยภาพในการแข่งขันกับบรรจุภัณฑ์จากปิโตรเคมีในท้องตลาด

นอกจากนี้ โครงการวิจัยยังได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องมือสำหรับเตรียมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเครื่องมือขึ้นรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นบรรจุภัณฑ์ ทำการทดลองที่สถาบันเกษตรวิศวกรรม ระหว่างปี 2555-2558 โดยวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่ศึกษา คือ เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว คือ เปลือกทุเรียนมีหนาม และต้นกล้วยมียาง ทำให้การเตรียมวัสดุทำได้ยากและต้องใช้เวลา ดังนั้นจึงต้องพัฒนาเครื่องมือเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม เช่น ต้องหั่นเปลือกทุเรียนให้มีความหนา 2-4 มม. ได้ เพื่อให้อบแห้งได้ดีและเร็ว ผลการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียน คือ ตัวเครื่องกอบด้วยใบมีดจำนวน 2 ใบ ติดตั้งบนแผ่นสแตนเลส กลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. หนา 15 มม. ติดตั้งในแนวระดับ มีช่องป้อน 2 ช่อง เป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 ซม. สูง 20 ซม. ป้อนเปลือกทุเรียนลงตามแนวตั้ง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ที่ความเร็วรอบใบมีด 540 รอบต่อนาที จำนวนคนป้อน 2 คน มีอัตราการทำงาน 392 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนเครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย มีอัตราการทำงาน 1,200 กิโลกรัม/ชั่วโมง ความเร็วรอบใบมีด 1,000 รอบ/นาที จุดคุ้มทุนการใช้เครื่องเท่ากับ 16,963 กิโลกรัม/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าจ้าง 0.21 บาท/กิโลกรัม ทำงาน 7 ชั่วโมง/วัน (อัตราการทำงานของเครื่อง 1,200 กิโลกรัม/ชั่วโมง) ส่วนเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพเป็นเครื่องสำหรับอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แบบการอัดแบบแห้งหรือการอัดร้อน โดยใช้กำลังไฮดรอลิกในการอัดขึ้นรูป ซึ่งเครื่องขึ้นรูปที่สร้างขึ้นมีความสามารถสร้างแรงดันไฮดรอลิกได้สูงสุด 30 MPa (306 kg.f/cm²) มีอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอัดแผ่นเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นงาน คือ อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 5 นาที ที่แรงดัน 150 บาร์ มีความสามารถใน

การทำงานขึ้นรูปแบบอัดขึ้นงาน (Mold) ขนาดสูงสุด 400 x 400 x 150 ลบ.มม. และผลการวิเคราะห์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ มีราคา 345,000 บาท เมื่อคำนวณที่อัตรา ราคาจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ 5.0 บาท/ชิ้น จุดคุ้มทุนอยู่ที่การผลิต 17,092 ชิ้น/ปี จะสามารถคืนทุน ได้ในเวลา 2,242 วัน ซึ่งทั้งสองเครื่องสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือพัฒนาต่อยอดกับวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตรชนิดอื่นๆ ได้

คำสำคัญ: เปลือกทุเรียน ตันกล้วย เนื้อผักและผลไม้ ไชยาโนแบคทีเรีย พอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แผ่นใยอัด งานใยอัด ไฮโดรคอลลอยด์ ไชลิทอล ก๊าซเอทิลีน ถ่านกัมมันต์ ไคโตซาน ลูกอมถั่วกะทิ กาแฟ เฉาก๊วย สารเติมแต่ง พลาสติกชีวภาพ บรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ชีวภาพ บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์สีเขียว การคัดแยก การเพาะเลี้ยง หลังการเก็บเกี่ยว อายุการเก็บรักษา อัดขึ้นรูป อัดแบบแห้ง อัดด้วยความร้อน แม่พิมพ์

Abstract

This study aimed to produce the degradable packaging from agricultural products and agricultural residues for useful and value added and developed the processing and forming machine on packaging production.

Start for researched the agricultural residues; husk of durian fruit (Cv. Monthong and Chanee) and banana pseudo-stem (Cv. Namwa and Khai). The agricultural residues were selected from best properties, which monthong husk and namwa pseudo-stem were selected because monthong husk had highest holocellulose content of 53.7%, pseudo-stem of namwa had highest of fiber length was 4.01 mm. Afterthat monthong husk and namwa pseudo-stem were extracted for cellulose using sodium hydroxide and then lignin removed with hydrogen peroxide. The percent yield of cellulose from husk of durian fruit and banana pseudo-stem were 21.51% and 20.25% whereas the yield of cellulose after bleaching were 84.80% and 74.75%. The cellulose of durian husk was selected to produce the degradable packaging; fiberboard, ethylene absorber paper and carboxymethyl cellulose (CMC).

Monthong husk fiber with 3%AKD was processed to 7 inch plate by hot compression molding at 160 °C, 150 bar and 5 min. The plate from unbleached fiber was best forming than bleached fiber but plate from bleached fiber was best physical properties; density of 573.44 kg/m³, moisture content of 0.39%, thickness swelling of 89.68%, water absorption of 294.09% and time for absorption of 0.05 cm³ water was morethan 7 hrs. Mechanical properties of plate from unbleached fiber were compression strength at Top and bottom were 2.97 and 3.28 kF, burst strength of 419 kPa, puncture resistance of 0.66 J, tensile strength of 9.63 kN/m and elongation of 1.72%, which cannot test in plate from bleached fiber. The results indicated that properties of fiberboard plate from agricultural residues were lower than plate from bagasse but plate from bleached fiber had could be a potential for development.

Ethylene Absorber Paper (EAP) as active packaging for ethylene gas removal from agricultural products, which extend the duration of shelf life. The fiber (bleach and unbleached) of durian husk were produced to paper by sheet former. The suitable of fiber type was unbleached fiber because the paper was best properties, which following to Thai industrial standard: 170-2550 (55 grammage of Kraft Paper) except tensile strength. Afterward, unbleached fiber was prepared to EAP, which added with three different type of activated carbon *viz.* powder, granular and rod as ethylene absorber materials. Powder Activated Carbon (PAC) type was selected because mango kept in EAP with PAC had the lowest weight loss (10.55%) and could extend postharvest life of mango for 10 days at room temperature storage. Afterthat, demonstrated the suitable content of PAC added in EAP at 0, 5, 15, 25

and 35% (w/w) compared with commercial ethylene absorber. The results EAP with 5% of PAC shown greater extend postharvest life of mango for 15 days at room temperature storage and mango had lowest weight loss (28.59%) significantly different with other condition and commercial ethylene absorber. The properties of all EAP were following to Thai industrial standard: 170-2550 except tensile strength but can be improved by added dry strength agent. Cost of EAP with 5% PAC was 1.60 Baht/sheet while commercial ethylene absorber was 2-3 Baht/small pack. The results indicated that EAP from agricultural residues with 5% PAC had could be a potential for development.

Bioplastic from cellulose of husk of durian fruit was water soluble polymer. The cellulose powder from bleached fiber was then synthesized to carboxymethyl cellulose (CMC) by chloroacetic acid in alkaline condition. The percent yield of CMC was 138.12%. The obtained CMC powder had 95.63% purity and a degree of substitution (DS) at 0.68. It was water soluble with low viscosity at 429.9 cPs and appeared in pale yellow color. CMC solutions were added with four different additives viz. glycerol, sorbitol, polyethylene glycol and calcium carbonate at 10, 20, 30 and 40% (w/w) then it was casted to form the CMC film. The higher content of all additives resulted to the thicker film, greater elongation (%), poorer water solubility and lower tensile strength. The films formed with 30% glycerol had the highest elongation whereas film with 10% calcium carbonate highly resisted to tensile strength. The film with 40% calcium carbonate had the highest rate for oxygen transmission whist the properties of water solubility and elongation became low as compared to other treatments. Besides, all films were heat sealable and allowed oxygen transmitted through at rate of 1.15-17.6 cm²/m²/day. All CMC-based films could be degraded within 24 hour by burying it in high moisture content soil. Afterward, CMC films were processed to sachets for storing dry coffee powder. CMC-20% polyethylene glycol sachets could maintain quality of dry coffee power as similar as the coffee packed in aluminum foil bags at either ambient air or refrigerated storage. The results indicated that bioplastic derived from the husk of durian fruit could be a potential material for dry food packaging.

Agriculture products such as fruit and vegetable have been studied as potential film forming materials to be used as food bio-packaging and biofilm because of their chemical composition of polysaccharide such as pectin and cellulosic substance. Puree from fruits and vegetables were prepared and used as raw materials for film processing. Chemical compositions and film properties were determination. Among the purees, carrot showed the highest pectin, could produce the best film. The film's properties was Improved by adding hydrocolloids, pectin and alginate at 1.5, 3 and 4.5% w/w of puree. The results showed that increasing concentration of both hydrocolloids were increased thickness, L*, tensile strength and water barrier (WVTR decreased) of film (P<0.05) while oxygen barrier of film

were reduced (OTR increased). Film containing 3% alginate had better properties than other films. However, both of hydrocolloids could not improve elongation of films. So, xylitol at 1.25, 2.5, 3.75, 5 and 6.25% w/w of carrot puree were added to increased film's elongation. The results showed increasing concentration of xylitol that increased thickness, water solubility, moisture content and elongation of film ($P < 0.05$). On the other hands, tensile strength, water vapor barrier, L^* and oxygen barrier of film were reduced ($P < 0.05$). The higher levels xylitol caused the increased discolored of carrot film between storage. Afterward, carrot with 3% alginate and 3.75% xylitol was selected to form peanut toffee wrapper. During 6 weeks at 65% RH, peroxide value of samples that wrapped with carrot based film was slower increasing than samples that wrapped with wax paper and unwrapped.

Bio-packaging form cassava starch was determined for value added the cassava and produced the antimicrobial packaging for food. Cassava starch-chitosan blended film were prepared; mixed cassava starch solution with chitosan solution in starch:chitosan ratio (g): 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 and glycerol were added 40% w/w of total solid for plasticizers. The solution were casted in acrylic plate for forming. The result shown best forming, transparent films and the yellow color score (b^*) was increase when increase chitosan. The properties of blend films were demonstrated. All of films shown best properties and significantly different ($p < 0.05$); moisture content 9.51-10.45%, water activity (a_w) 0.426-0.437, that shown the microbial can't grow and water solubility 22.31-29.75%, which starch:chitosan 1:0.2 blend film was lower solubility. Afterthat, demonstrated the mechanical properties, water vapour transmission rate (WVTR) and oxygen transmission rate (OTR) of films. The results starch:chitosan 1:0.6 blend film shown higher tensile strength 134.2 kF/cm^2 , starch:chitosan 1:0 blend film shown higher %elongation 73.77%, starch:chitosan 1:0 blend film shown higher tear strength 590.16 mN, starch:chitosan 1:0 blend film shown higher WVTR and lower OTR, starch:chitosan 1:0.4 blend film shown lower WVTR and starch:chitosan 1:1 blend film shown higher OTR. The efficiency of blend films for antimicrobial packaging were tested. The result shown blend film couldn't inhibit the *Aspergillus flavus* A39 growth, that didn't have clear zone surrounded the piece of blend film. However, should other different microbial test in the future. Cost of blend film was 0.02-0.50 bath/sheet. The starch:chitosan 1:0.6 have potential for more researched on food packaging in the future because it have good properties same as film, that best properties (not significantly different).

Poly- β -hydroxybutyrate (PHB) is a type of the PHA family of polyesters. PHB has been detected in Cyanobacteria such as *Spirulina* sp., *Nostoc* sp., or *Oscillatoria* sp. This research work aims to collect Cyanobacteria from the samples of natural water basin and Corralloid roots of *Cycas* sp. investigates of biopolymer production of Cyanobacteria as raw material for biodegradable polymer

production. Firstly, Cyanobacteria samples were collected from natural water basin using plankton net and Corralloid roots of *Cycad*. Then, they were isolated by observation of their cells under microscopes. The isolated of SM6-3 was collected from Corralloid roots of *Cycas* sp. of Queen Sirikit Park in Bangkok, Thailand. This isolate was identified as *Nostoc* sp. by Morphology. However, this strain showed a large of polyester's droplets stained with Sudan Black B. Thus, this strain was selected to cultivate in BG-11 culture medium under indoor and outdoor cultivation with continues aeration. The results revealed that BG-11 that lack of nitrogen (N_2 -free medium) under outdoor condition was suitable for biopolymer production. The cell of Cyanobacteria was reached a maximum growth of 9.96×10^6 cell ml^{-1} within 18 days cultivation and the maximum biomass was 1.69 gL^{-1} . After harvesting by centrifugal technique by using a high performance self-cleaning Separator, the biomass was extracted by Acid hydrolysis technique. Total PHB was presented as 0.33 gL^{-1} that was higher than cultivated with the normal BG-11 medium.

Moreover, Effect of bio-packaging materials on postharvest life of rambutan fruit was investigated. Three different bio-packaging materials *viz.* polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS) and Mater-Bi[®] were blown molded to be bags for containing one kg of rambutan fruit while low-density polyethylene (LDPE) bags were used as control group. There was no additive compound into PLA and PBS film during forming process. All films were measured for mechanical properties, water vapor and oxygen transmission rates, and biodegradability. Afterwards, rambutan fruits were randomly divided into four groups, packed in mentioned packaging and stored at $13 \pm 2^\circ\text{C}$ with 78% RH. Mater-Bi[®] and PBS bags were easier to produce and use than PLA bags. The highest levels of both water vapor and oxygen transmission rates were detected in Mater-Bi[®] film followed by PBS and PLA bags, respectively. Percentage of elongation of Mater-Bi[®] in machine direction and transverse were significantly higher than other films whilst the tensile strength of Mater-Bi[®] was the lowest values in both machine direction and transverse followed by PBS and PLA, respectively. Mater-Bi[®] and PLA films took over 100 days to start degrading in moist soil whereas PBS film could degrade by 16 days and its degradation increased to 31.25% in 161 days. Rambutan kept in PBS bags had the lowest weight loss (%) with yellowish red color skin and fresh green spintern. The greater weight loss and brown skin appearance were found in rambutan packed in Mater-Bi[®] bags followed by fruit in LDPE. The results indicated that packaging made from PBS film could extend postharvest life of rambutan fruit for 15 days at $13 \pm 2^\circ\text{C}$ storage.

According to above data, that shown the agricultural products and agricultural residues can be used to produce bio-packaging and active packaging, which have the potential to compete with the petrochemical packaging.

In addition, this research aims to develop a machine for preparing and forming agricultural residue for bio-packaging. Durian husk and banana pseudo-stem were selected for research, that difficult to prepared and take a lot of time. So be prepared to develop tools such as durian husk to slice a 2-4 mm. thickness has to be dried well and quickly. The design and construction of shredding fresh durian husk the casing enclosing the blades of two blades climb up on a stainless steel circular diameter of 30 cm. thick, 15 mm. mounted in a horizontal box, enter the second channel is a cylinder diameter of 7.6. cm high, 20 cm for enter durian peel down vertically. Use one electric motor power at blade speed 540 rpm that a rate of 392 kg per hour worked assume as 2 worker. The shredding machine for banana shown a work rate 1200 kg/hr. Speed Blade 1000 rpm. Break equivalent to using 16,963 kg per year, which compared to the wage rate 0.21 baht/.kg, running time 7 hrs/day (work rate of 1200 kg/hr).

The bio-packaging former as compression molding or dry heat compression machine, that using a hydraulic press. Forming machine, which was built with the ability to create hydraulic pressure of up to 30 MPa (306 kg.f/cm²) and mold heating part. The optimal conditions for the plate's fibers from durian husk were 160 ° C for 5 min at pressures of 150 bar, with the ability to work forming press machine (Mold) Maximum size 400 x 400 x 150. mm³. Cost of forming packaging machines was 345,000 baht. If the price of bio-packaging 5.0 baht/piece, break at producing was 17,092 pieces/year will be payback time in 2,242 days.

Both of which can be applied to or further development of other types of agricultural waste.

Keywords: durian husk, banana pseudo-stem, fruit and vegetable puree, cyanobacteria, poly-β-hydroxybutyrate, carboxymethyl cellulose, fiberboard, fiberboard plate, hydrocolloid, xylitol, ethylene gas, activated carbon, chitosan, peanut toffee, coffee, rambutan, additive, bioplastic, packaging, bio-packaging, active packaging, antimicrobial packaging, green packaging, isolation, cultivation, postharvest, storage life, hydraulic press, dry press, hot press, mold

บทนำ

ในปัจจุบันบรรจุก๊าซที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเน้นตั้งแต่วัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนกระทั่งเป็นบรรจุก๊าซ โดยเฉพาะบรรจุก๊าซเพื่อการส่งออก สาเหตุจากการตื่นตัว โดยกลุ่มประเทศธุรกิจหลักๆ ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญของผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อมและผลิตภัณฑ์ทดแทนพลาสติก ได้ออกมาตรการทางกฎหมายและด้านภาษีอย่างชัดเจน เริ่มจากประเทศญี่ปุ่นที่ออกกฎหมายการซื้อสีเขียว และกฎหมายการนำกลับมาใช้อีก ประเทศสหรัฐอเมริกาออกกฎหมายสนับสนุนผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้บรรจุก๊าซที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับการยกเว้นภาษี และตั้งเป้าการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจาก 5% ใน ค.ศ. 2002 เป็น 12% ใน ค.ศ. 2010 และ 20% ใน ค.ศ. 2030 ประเทศเยอรมนีออกนโยบายให้บรรจุก๊าซที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับการยกเว้นภาษี ประเทศเดนมาร์กประกาศห้ามใช้ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และประเทศฝรั่งเศสกำหนดว่า ค.ศ. 2010 ถุงใส่ของที่ต้องย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (แนวหน้า, 2552) สำหรับประเทศไทยในขณะนี้ คณะรัฐมนตรีได้ให้ความเห็นชอบแผนที่นำทางแห่งชาติ (National Roadmap) การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2554 - 2558) ซึ่งปรับจากแผนที่นำทางแห่งชาติการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพระหว่างปี พ.ศ. 2551-2555 เพื่อส่งเสริมให้อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพเป็นอุตสาหกรรมเพื่ออนาคตของประเทศไทย (วันทนิย์, 2554) ทำให้พลาสติกชีวภาพเป็นที่สนใจของคนไทยและทั่วโลก

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัตถุดิบหลักในการพัฒนาเป็นบรรจุก๊าซในอนาคต แบ่งตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (petroleum-based biodegradable plastics) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (bio-based biodegradable plastics) ซึ่งในปัจจุบันพลาสติกประเภทหลังกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง โดยนักวิทยาศาสตร์ตลอดจนนักธุรกิจและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในระดับแนวหน้า ทั่วโลก กำลังตื่นตัวในการคิดค้นหาวัตถุดิบมวลชีวภาพ (biomass) ในการผลิตพลาสติกชนิดใหม่ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) หรือพอลิแลคไทด์ (Polylactide) และกลุ่มพอลิไฮดรอกซีอัลคานอยเอต (Polyhydroxyalkanoates, PHAs) ฯลฯ เพื่อรองรับมาตรการและนโยบายในการจัดการด้านการรักษาสีเขียว และแนวโน้มการค้าขายสินค้าอุปโภคบริโภคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความมั่นคงและมีความพร้อมทั้งในด้านวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Biomass) ผลิตผลทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมาย จึงเป็นโอกาสที่ดีในการวิจัยและพัฒนานำวัตถุดิบมาใช้ผลิตวัสดุเพื่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบทางการเกษตรและผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย

ตัวอย่างวัตถุดิบที่สามารถนำมาพัฒนาสู่อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพได้ เช่น มันสำปะหลัง มันเทศ ข้าวโพด กัญชง และอ้อย เป็นต้น โดยในปัจจุบันประเทศไทยผลิตหัวมันสดเป็นอันดับ 3 ของโลก และส่งออกเป็นอันดับ 1 ของโลก มีอุตสาหกรรมรองรับในการพัฒนาพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ โดยผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สำคัญของประเทศ ได้แก่ ถุง กระสอบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทาง

เศรษฐกิจกว่า 200,000 ล้านบาท (ศราวุธ, 2555) ส่วนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมักทิ้งเป็นขยะ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ถึงแม้จะมีการนำบางส่วนมาผลิตปุ๋ยแต่ก็ยังมีอีกจำนวนมากที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ หากสามารถนำมาแปรรูปเพิ่มมูลค่าได้จะเป็นการสร้างรายได้ให้เกษตรกรและช่วยลดปัญหาขยะ ซึ่งสอดคล้องและสนับสนุนนโยบายภาครัฐในด้านการปรับโครงสร้างภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่พบส่วนมากเกิดจากการแปรรูปและบริโภค เช่น เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด เปลือกเงาะ ชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนำไปแปรรูปเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์ได้ เช่น สกัดเอาสารสำคัญจากเปลือกหรือเนื้อมาใช้ทางยา สกัดเยื่อเปลือกหรือเนื้อผลไปผลิตพลาสติกชีวภาพ และนำเส้นใยจากเปลือกไปผลิตบรรจุภัณฑ์แผ่นใยอัดขึ้นรูป (Fiberboard) เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการศึกษาการนำผลผลิตทางการเกษตรมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ (Tharanathan, 2003) เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น บรรจุภัณฑ์สำหรับผลไม้แปรรูปหลายๆ ชนิด (กล้วยกวน ลูกหยีกวน) นิยมห่อหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อให้ผู้บริโภคสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักเหนียวติดบรรจุภัณฑ์ และยากต่อการรับประทาน จึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาฟิล์มที่บริโภคได้มาห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะห่อด้วยบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามอีกชั้นหนึ่ง โดยฟิล์มที่บริโภคได้ยังเป็นการชิมผ่านของความชื้น การดูดซับออกซิเจน การสูญเสียกลิ่นและสารที่ระเหย และการออกซิเดชันของไขมันได้ ซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณภาพและอายุการเก็บของอาหาร โดยสารประกอบของฟิล์มที่บริโภคได้ ได้แก่ โปรตีน อนุพันธ์ของเซลลูโลส อัลจินท เพคติน สตาร์ช แวกซ์ และสารประกอบอื่นๆ ซึ่งได้มีการพัฒนาฟิล์มจากเนื้อผักและผลไม้ เช่น พืช แอปเปิลสตอเบอร์รี่ มะเขือเทศ บลอคเคอรี เป็นต้น (Sothornvit and Pitak, 2007) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาฟิล์มชีวภาพที่ผลิตจากสตาร์ชหรือแป้ง แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากเสีรูปได้ง่าย เมื่อได้รับความชื้น การวางซ้อน หรือสัมผัสกับสารเคมีต่างๆ คุณสมบัติเชิงกลที่ได้ต่ำ แดกเปราะง่าย จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมสารเติมแต่ง

บรรจุภัณฑ์สำหรับผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นสินค้าส่งออกหลักที่สร้างรายได้ให้กับประเทศโดยเฉพาะผักและผลไม้ แต่พบว่ายังมีความเสียหายเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายเป็นจำนวนมาก คิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 35% ของมูลค่าโดยรวมหรือประมาณ 10,000 ล้านบาทต่อปี โดยการสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ไม่ว่าจะเป็นสาเหตุมาจากโรค แมลง การเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผักผลไม้จากการหายใจหรือสูญเสีย น้ำ ทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุผลิตผลให้นานขึ้น หรือแม้กระทั่งบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยควบคุมคุณภาพตั้งแต่อยู่ในแปลง ซึ่งกระดาษถูกนำมาใช้จำนวนมากในปัจจุบัน โดยเป็นกระดาษที่มีคุณสมบัติพิเศษหรือจำเพาะ เช่น กระจกกระดาษหุ้มผลไม้ ช่วยควบคุมคุณภาพให้น่ารับประทานและป้องกันแมลง กระจกกระดาษชนิดทึบแสง (กระดาษคาร์บอน) ช่วยกรองแสงป้องกันแสงทำปฏิกิริยากับสีเขียวของผลผลิต กระจกชนิดโปร่งแสงหรือถุงสีขาว ทำจากกระดาษใบ ช่วยดึงแสงเข้าไปกระตุ้นเมล็ดสีของ

ผลไม้ ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าปกติ เมื่อผลไม้สุกงอมจะมีสีสันท่ารับประทาน ขณะเดียวกัน กระจกชายังป้องกันฝนได้เป็นอย่างดี เป็นต้น นอกจากนี้มียังการใช้กระจกเพื่อห่อผลิตผลหรือใช้กล่อง กระจกเพื่อบรรจุผลิตผลสำหรับการขนส่งและจำหน่าย ซึ่งควรเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษหรือ จำเพาะสำหรับผลิตผล เช่น อ่อนนุ่มเป็นพิเศษ ดูดซับน้ำได้ดี แต่ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ยังไม่มีการ พัฒนาหรือออกแบบให้จำเพาะกับผลิตภัณฑ์หรือผลิตผลใดเลย

การพัฒนาเครื่องมือเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ต้องมีการวิจัยเพื่อรองรับเทคโนโลยีการผลิตบรรจุ ภัณฑ์ชีวภาพจากผลิตผลและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ได้มีการศึกษาขึ้น เพื่อให้กระบวนการผลิต เป็นกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เกิดของเสียในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดหรือเป็นเทคโนโลยี สะอาด (Cleaner Technology) ได้ขนาดของวัสดุเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน สามารถขึ้นรูปได้ ขนาดที่เหมาะสมและไม่เสียรูป และสามารถนำไปส่งเสริมให้เกิดการใช้งานจริงได้อย่างแพร่หลายต่อไป

โครงการนี้จึงมุ่งเน้นวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตผลทาง การเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์และเกิดมูลค่าสูงสุด เช่น บรรจุภัณฑ์จากแผ่น ใยอัด บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน บรรจุภัณฑ์กระดาษ บรรจุภัณฑ์ชีวภาพสำหรับ อาหาร แผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกชีวภาพจากจุลินทรีย์หรือสาหร่ายสีเขียวแกม น้ำเงิน โดยพัฒนาและออกแบบบรรจุภัณฑ์ให้มีความจำเพาะเจาะจงหรือมีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้น เช่น อ่อนนุ่ม ดูดซับก๊าซเอทิลีน ดูดความชื้น ด้านทานเชื้อแบคทีเรีย และย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ พร้อม ทั้งพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีการผลิตตั้งแต่เตรียมวัตถุดิบจนถึงกระบวนการขึ้นรูปให้เหมาะสม ลด การสูญเสียในกระบวนการผลิตและสามารถใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ เป็นแนวทางในการผลิตบรรจุภัณฑ์ ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาขยะ ลดการนำเข้าสินค้า เทคโนโลยีและเครื่องจักรที่มี ราคาสูง ช่วยลดภาวะโลกร้อน เพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ และเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรม ของประเทศให้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกมากยิ่งขึ้น

มีวัตถุประสงค์และขอบเขตดังนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรได้อย่างน้อย 2 ผลิตภัณฑ์ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ได้อย่างน้อย 1 ผลิตภัณฑ์
3. เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นใยอัดและบรรจุภัณฑ์แผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
4. เพื่อศึกษาและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
5. เพื่อศึกษาสมบัติของบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและโคโคซาน
6. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร
7. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ใน อุตสาหกรรมเกษตร

8. เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ ที่มีศักยภาพในการผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพ สำหรับนำมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ ได้อย่างน้อย 1 สายพันธุ์
9. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพ
10. เพื่อศึกษาชนิดและคุณสมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพ สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้นในการขึ้นรูปเป็นพลาสติกชีวภาพ
11. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและการตรวจสอบบรรจุภัณฑ์ชีวภาพประเภทฟิล์มที่บริโภคได้ สำหรับอาหาร
12. เพื่อพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับการหั่น บด ย่อย วัสดุทางการเกษตร อย่างน้อย 1 เครื่อง
13. เพื่อพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตรอย่างน้อย 1 เครื่อง

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเกษตร เพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์
2. ศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
3. ศึกษาแนวทางและกรรมวิธีการผลิตแผ่นใยอัด การพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์ พร้อมทดสอบคุณสมบัติแผ่นใยอัดและบรรจุภัณฑ์
4. ศึกษาแนวทางและกรรมวิธีในการผลิตกระดาษคูล์ชเบอทีลีน การพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์ พร้อมทดสอบคุณสมบัติกระดาษและบรรจุภัณฑ์
5. ศึกษาสายพันธุ์เชื้อจุลินทรีย์ กระบวนการหมัก และสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากจุลินทรีย์ ศึกษาชนิดและคุณสมบัติของพอลิเมอร์ชีวภาพ พร้อมการพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์
6. ศึกษาองค์ประกอบและคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร การเตรียมเนื้อผลไม้และส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตฟิล์ม กรรมวิธีการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม และคุณภาพของฟิล์มที่บริโภคได้ และการนำไปใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์ผลไม้แปรรูป
7. ศึกษาองค์ประกอบและคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังและโคโคซาน กรรมวิธีการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม คุณภาพของฟิล์ม และการนำไปใช้ประโยชน์
8. ศึกษาและพัฒนาเครื่องมือสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร ได้แก่ เครื่องหั่นย่อยและบดวัสดุทางการเกษตร และเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ พร้อมทดสอบการใช้งาน
9. ทดสอบการยอมรับและประเมินประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์ และเครื่องมือการผลิต เพื่อสรุปผลและนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ พร้อมทั้งถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยีการบรรจุภัณฑ์
10. ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

ทั้งนี้ ภายใต้โครงการวิจัยประกอบด้วย 2 กิจกรรม 9 การทดลอง คือ

กิจกรรมที่ 1 การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร

- การทดลองที่ 1.1 วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
- การทดลองที่ 1.2 วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร
- การทดลองที่ 1.3 การผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพจากจุลินทรีย์
- การทดลองที่ 1.4 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพสำหรับอาหาร
- การทดลองที่ 1.5 การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน
- การทดลองที่ 1.6 ผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับ
ยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด
- การทดลองที่ 1.7 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

กิจกรรมที่ 2 การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร

- การทดลองที่ 2.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยและบดวัสดุทางการเกษตร
- การทดลองที่ 2.2 วิจัยและพัฒนาเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

ซึ่งทั้ง 2 กิจกรรม มีวิธีการดำเนินการและผลการวิจัยแตกต่างกัน ดังนี้

กิจกรรมที่ 1

การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร

Research and Development for Degradable Packaging from Agricultural Products

ศิริพร เต็งรัง ประยูร เอ็นมาก นภัสสร เลียบวัน กนกศักดิ์ ลอยเลิศ สุปรียา สุขเกษม
วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร โกเมศ สัตยาวุธ สุภมาส กลิ่นขจร จารุวรรณ รัตนสกุลธรรม
และ สำเร็ง ช่างประเสริฐ

Siriporn Tengrang Prayoon Enmak Napatsorn Leabwan Kanoksak Loylerd Supreeya Sukhasem
Wimonwan Wattanawichit Komate Satyawut Supamas Klinkajorn Charuwan Rattanasakultham and
Samreang Changprasert

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลิตผลทางการเกษตรรวมถึงวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรม
การเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าโดยผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ชีวภาพ สามารถย่อยสลายได้
เองตามธรรมชาติ ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผล
เกษตร ระหว่างปี 2554-2558

เริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้ คือ เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและชะนี และต้น
กล้วยพันธุ์น้ำว้าและไข่ เนื่องจากมีเซลลูโลสหรือเส้นใยเป็นองค์ประกอบ และถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมาก
พบว่าเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสสูงที่สุด 53.7% ต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาว
เส้นใยสูงที่สุด 4.01 mm. จึงนำมาเตรียมเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1
M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลส 21.51 และ 20.25% เมื่อฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจน
เปอร์ออกไซด์ 30% พบว่าเหลือเซลลูโลสหลังฟอก 84.80 และ 74.75% จึงเลือกเส้นใยจากเปลือกทุเรียน
ไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ 3 ชนิด คือ งานใยอัด กระดาษดูดซับเอทิลีน และฟิล์มคาร์บอกซี
เมทิลเซลลูโลส (CMC) ดังนี้

งานใยอัด ทำได้โดยนำแผ่น preform ของเส้นใยเดิมสารด้านการซึมน้ำชนิด AKD ปริมาณ 3%
อัดขึ้นรูปแบบอัดร้อนด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก แรงดันสูง ในสภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 160 °C
ความดัน 150 บาร์ เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แม่พิมพ์รูปจาน พบว่าเส้นใยไม่ฟอกขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยฟอก
ไม่มีรอยฉีกขาดและการหลุดร่วงของเส้นใย แต่งานใยอัดฟอกมีคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่า คือ มีความ
หนาแน่น 573.44 kg/m³ ความชื้น 0.39% การพองตัวทางความหนา 89.68% การดูดซับน้ำ 294.09% และ
ใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ นานกว่า 7 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้
ส่วนงานใยอัดไม่ฟอกมีความต้านแรงกดด้านบนและด้านล่าง 2.97 และ 3.28 kF ความต้านแรงดันทะลุ

419 kPa ความต้านแรงที่มทะเล 0.66 J ความต้านแรงดึงขาด 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72% ซึ่งคุณสมบัติโดยรวมของงานใยอัดจากเปลือกทุเรียนยังดีกว่างานชานอ้อย แต่งานใยอัดจากเส้นใยพอกมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแข่งขันกับงานชานอ้อยได้

กระดาษดูดซับเอทิลีน จัดเป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ คือ ช่วยดูดซับก๊าซเอทิลีนจากผลิตภัณฑ์เกษตร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เริ่มโดยศึกษาคุณสมบัติของกระดาษจากเส้นใยพอกและไม่พอก พบว่าเส้นใยไม่พอกให้กระดาษที่มีคุณสมบัติดีกว่า และเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด จากนั้นเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด เป็นตัวดูดซับก๊าซ คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงให้กระดาษดูดซับเอทิลีนที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้อง ได้ดีที่สุด คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 10.55% จากนั้นศึกษาปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม โดยทดลองที่ปริมาณ 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเส้นใย พบว่ากระดาษดูดซับเอทิลีนทุกกรรมวิธีมีคุณสมบัติเป็นไปตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด โดยเมื่อประมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นกระดาษมีความแข็งแรงสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กระดาษเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% มีประสิทธิภาพการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องดีที่สุด คือ เก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 28.59% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่นๆ และดีกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก 30.25% มีต้นทุนการผลิต 1.60 บาท/แผ่น ถูกกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีราคา 2-3 บาท/ซอง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตออกมาใช้งานเชิงพาณิชย์

พลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน เริ่มจากนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาสังเคราะห์เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพที่ละลายน้ำได้ เริ่มจากนำเส้นใยที่ผ่านการพอกแล้วไปบดให้เป็นผงละเอียด แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะต่าง พบว่าได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.63% มีค่าองศาการแทนที่ 0.68 เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร มีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง มีต้นทุนการผลิต 23.12 บาท/กรัม เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยเติมสารเติมแต่ง 4 ชนิด คือ กลีเซอรอล ซอบิทอล พอลิเอทิลีนไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณ 10 20 30 และ 40% โดยน้ำหนัก พบว่าสารละลายทุกกรรมวิธีมีความหนืดแตกต่างกัน แผ่นฟิล์มที่ได้มีความหนา ค่าดี และเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น แต่มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและความต้านทานแรงดึงลดลง ซึ่งคุณสมบัติของฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 30% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุด ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10% มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด และฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยที่สุด โดยฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยการฝังกลบในดินที่มี

ความชื้นสูง มีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะสามารถปิดผนึกได้ด้วย ความร้อน และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง $1.15-17.6 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เมื่อนำฟิล์มมา ประยุกต์ใช้เป็นซองบรรจุกาแฟพบว่าลักษณะปรากฏและคุณภาพของกาแฟในซองฟิล์มซีเอ็มซีดีเอ็มพอลิ เอทิลีน ไกลคอลปริมาณ 20% มีค่าใกล้เคียงกับกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมพอยล์ทั้งที่เก็บที่ อุณหภูมิห้องและในตู้เย็น แสดงว่าซองฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนสามารถพัฒนาไปเป็นบรรจุภัณฑ์ สำหรับอาหารแห้งได้

นอกจากนี้ยังได้วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากผลิตผลทางการเกษตร โดยพัฒนาเป็นฟิล์มบรีโกล ได้สำหรับอาหารและฟิล์มชีวภาพ เนื่องจากผักและผลไม้ มีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ (เพคติน และเซลลูโลส) ทำให้สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ เริ่มโดยนำผักและผลไม้มาบดให้ละเอียดแล้ว วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม และทดสอบคุณสมบัติ พบว่าแครอทมีองค์ประกอบ ของเพคตินสูงที่สุด สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดีที่สุด จึงคัดเลือกมาพัฒนาต่อโดยปรับปรุงคุณสมบัติของ ฟิล์มด้วยไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ เพคตินและแอลจินตที่ 1.5 3 และ 4.5% โดยน้ำหนักแครอท พบว่า ไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนา ค่า L^* ความต้านทานแรงดึงขาดและความต้านทานไอน้ำ เพิ่มขึ้น (WVTR ลดลง) ($P < 0.05$) ขณะที่ความต้านทานก๊าซออกซิเจนลดลง (OTR เพิ่มขึ้น) แต่ไม่มีผลต่อ การยึดตัวของฟิล์ม ($P \geq 0.05$) โดยการเติมแอลจินตที่ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนักแครอทให้ฟิล์มที่มี คุณสมบัติดีที่สุด ดังนั้นจึงนำมาปรับปรุงความยืดหยุ่นของฟิล์มโดยเติมไซลิทอลที่ 1.25 2.5 3.75 5 และ 6.25% โดยน้ำหนักแครอท พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไซลิทอลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนา การละลายน้ำ ความชื้นและการยึดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) แต่ทำให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาด ค่า L^* ความ ต้านทานไอน้ำและก๊าซออกซิเจนลดลง ($P < 0.05$) โดยเมื่อไซลิทอลสูงขึ้นส่งผลให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสี เร็วขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จึงได้คัดเลือกฟิล์มที่เติมแอลจินต 3% และไซลิทอล 3.75% ของแครอท มาห่อผลิตภัณฑ์โดยใช้ลูกอมถั่วกะทิเป็นกรณีศึกษา เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าลูกอมที่ห่อด้วยฟิล์ม แครอทมีการเพิ่มค่าเปอร์ออกไซด์ช้ากว่าลูกอมที่ไม่ห่อและห่อด้วยกระดาษไข

ฟิล์มชีวภาพหรือบรรจุภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง เริ่มจากเตรียมแป้งจากมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที โดยสกัดโปรตีนและไขมัน จากนั้นเตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งกับไคโตซานที่อัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานจุลินทรีย์ ให้ฟิล์ม และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม ผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธี ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ให้ฟิล์มที่โปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น มีความหนา ใกล้เคียงกัน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 มีความชื้นต่ำที่สุด 9.51% ฟิล์มที่มีอัตราส่วน แป้ง:ไคโตซาน 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุด 0.426 ฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด 22.31% ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงขึ้นเมื่อเติมไคโตซาน โดยฟิล์มที่มี อัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.6 มีค่าสูงที่สุด $134.2 \text{ kF}/\text{cm}^2$ เปอร์เซ็นการยึดตัวมีค่าลดลงเมื่อไคโตซาน เพิ่มขึ้น ซึ่งฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงสุด 73.77% รองลงมาคือฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2

เท่ากับ 42.95% และความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงสุด 590.16 mN แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมไคโตซานด้วยกัน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:1 มีค่าสูงสุด 303.7 mN ฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) สูงสุด 2,105 g/m²/day และฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0.4 มีค่า WVTR ต่ำที่สุด 1,918 g/m²/day ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (<0.05) กับที่อัตราส่วน 1:0.6 ส่วนอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0 มีค่า OTR ต่ำสุด 1.33 cm³/m²/day และที่อัตราส่วน 1:1 มีค่า OTR สูงสุด 4.29 cm³/m²/day จากนั้นนำไปทดสอบศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ โดยทดสอบกับจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* A39 พบว่าไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น clear zone มีต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 0.02-0.50 บาท/แผ่น ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปพัฒนาต่อ คือ 1:0.6 เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่มีอัตราส่วนอื่นๆ ที่ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุด

ผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly-β-hydroxybutyrate; PHB) จากจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสะสมสารประกอบคาร์บอนสำหรับใช้เป็นแหล่งคาร์บอนหรือแหล่งพลังงานสำรองภายในแกรนูลของเซลล์จุลินทรีย์หรือไซยาโนแบคทีเรีย อันเนื่องมาจากสภาวะที่ไม่สมดุลของสารอาหารหรือสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของเซลล์ เริ่มโดยเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียจากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยใช้ตาข่ายแพลงก์ตอนที่มีย่านตา 20 ไมโครเมตร และเก็บตัวอย่างจากรากคอรัลลอยด์ของปรัง แล้วนำมาคัดแยกโดยใช้ไมโครปิเปตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อให้ได้เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ จากนั้นนำสายพันธุ์ที่บริสุทธิ์มาตรวจสอบปริมาณการสะสมของพอลิเมอร์ชีวภาพภายในเซลล์ด้วยการย้อมสีซูดานแบลคบี พบว่าไอโซเลท SM6-3 เป็นสายพันธุ์ที่คัดแยกได้จากรากคอรัลลอยด์ของปรังในสวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ กรุงเทพมหานคร มีปริมาณพอลิเมอร์สะสมในเซลล์สูงสุด เนื่องจากย้อมติดสีน้ำเงินเข้มทั่วทั้งเซลล์ ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเป็นไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มของ *Nostoc* sp. เมื่อนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 สูตรปกติและสูตรที่ไม่เติมไนโตรเจน (N₂-free medium) ใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และแสงแดดที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง พบว่าอาหารเหลวทั้งสองสูตรไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไอโซเลท SM6-3 แต่การเพาะเลี้ยงโดยใช้แสงแดดจะมีการเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเท่ากับ 9.96 x 10⁶ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 18 วัน ได้ผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 1.69 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการเก็บเกี่ยวเซลล์ด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องแยกกากอัตโนมัติแล้วนำชีวมวลมาสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพออกจากเซลล์และหาปริมาณพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly-β-hydroxybutyrate, PHB) โดยการใช้ปฏิกิริยา Acid hydrolysis และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 235 นาโนเมตร พบว่ามี PHB เท่ากับ 0.33 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าเพาะเลี้ยงด้วยอาหาร BG-11 สูตรปกติ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นฟิล์มชีวภาพได้

นอกจากนี้ยังได้นำพลาสติกชีวภาพทางการค้ามาศึกษาเพิ่มเติม โดยศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด เปรียบเทียบกับถุงพลาสติกจากปิโตรเคมี โดยคัดเลือกบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพทางการค้า 3 ชนิด เป็นพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ไม่เติมสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) และ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) และพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้แป้งเป็นสารเติมแต่ง มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®] นำมาขึ้นรูปเป็นถุงขนาดบรรจุเงาะผลสด 1 กิโลกรัม ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) การย่อยสลายทางชีวภาพ และการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดเปรียบเทียบกับถุง Low Density Polyethylene (LDPE) ผลการทดลองพบว่า Mater-Bi[®] และ PBS ขึ้นรูปเป็นถุงและใช้งานได้ง่าย ส่วน PLA ขึ้นรูปได้ยากและไม่เหมาะในการใช้งานเพราะเปิดถุงได้ยาก เมื่อทดสอบบรรจุเงาะผลสดที่อุณหภูมิ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% เป็นเวลา 27 วัน พบว่าถุง PBS สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ดีที่สุด เก็บได้นาน 15 วัน ใกล้เคียงกับถุง LDPE โดยที่เปลือกและขนเกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย เงาะมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเก็บในถุง PBS เท่ากับ 15.93% รองลงมาเป็นถุง LDPE 17.36% และถุง Mater-Bi[®] 27.33% และมีอัตราการสุก (TSS/TA) น้อยที่สุดเมื่อเก็บในถุง PBS รองลงมาคือ ถุง Mater-Bi[®] และถุง LDPE เท่ากับ 14.75 15.16 และ 48.40 ตามลำดับ คุณสมบัติของถุง PBS คือ มีค่า WVTR 938 g/m²/day ค่า OTR 1,218 cm³/m²/day การยืดตัวแนวขนานและแนวขวางเครื่อง 87 และ 5.80% ความต้านทานต่อแรงดึงแนวขนานและแนวขวางเครื่อง 464 และ 283 kF/m² ย่อยสลายได้เร็วที่สุด โดยเริ่มแตกเป็นชิ้นภายหลังการฝังในดินเป็นเวลา 16 วัน และย่อยสลายได้ 31.25% ในเวลา 5 เดือน ราคา 6.69 บาท/ใบ ซึ่งสูงกว่าถุง LDPE แต่มีข้อได้เปรียบคือลดค่ากำจัดขยะ และหากใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออกจะช่วยลดการกีดกันทางการค้าและภาษีได้

ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าผลิตผลเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพและบรรจุภัณฑ์เอกทิฟได้ และมีศักยภาพในการแข่งขันกับบรรจุภัณฑ์จากปิโตรเคมีในท้องตลาด

คำสำคัญ: เปลือกทุเรียน ต้นกล้วย เนื้อผักและผลไม้ ไชยาโนแบคทีเรีย พอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส แผ่นใยอัด งานใยอัด ไฮโดรคอลลอยด์ ไชลิตอล ก๊าซเอทิลีน ถ่านกัมมันต์ ไคโตซาน ลูกอมถั่วกะทิ กาแฟ เงาะ สารเติมแต่ง พลาสติกชีวภาพ บรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ชีวภาพ บรรจุภัณฑ์เอกทิฟ บรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ บรรจุภัณฑ์สีเขียว การคัดแยก การเพาะเลี้ยง หลังการเก็บเกี่ยว อายุการเก็บรักษา

Abstract

This study aimed to produce the degradable packaging from agricultural products and agricultural residues for useful and value added.

Start for researched the agricultural residues; husk of durian fruit (Cv. Monthong and Chane) and banana pseudo-stem (Cv. Namwa and Khai). The agricultural residues were selected from best properties, which monthong husk and namwa pseudo-stem were selected because monthong husk had highest holocellulose content of 53.7%, pseudo-stem of namwa had highest of fiber length was 4.01 mm. Afterthat monthong husk and namwa pseudo-stem were extracted for cellulose using sodium hydroxide and then lignin removed with hydrogen peroxide. The percent yield of cellulose from husk of durian fruit and banana pseudo-stem were 21.51% and 20.25% whereas the yield of cellulose after bleaching were 84.80% and 74.75%. The cellulose of durian husk was selected to produce the degradable packaging; fiberboard, ethylene absorber paper and carboxymethyl cellulose (CMC).

Monthong husk fiber with 3%AKD was processed to 7 inch plate by hot compression molding at 160 °C, 150 bar and 5 min. The plate from unbleached fiber was best forming than bleached fiber but plate from bleached fiber was best physical properties; density of 573.44 kg/m³, moisture content of 0.39%, thickness swelling of 89.68%, water absorption of 294.09% and time for absorption of 0.05 cm³ water was morethan 7 hrs. Mechanical properties of plate from unbleached fiber were compression strength at Top and bottom were 2.97 and 3.28 kF, burst strength of 419 kPa, puncture resistance of 0.66 J, tensile strength of 9.63 kN/m and elongation of 1.72%, which cannot test in plate from bleached fiber. The results indicated that properties of fiberboard plate from agricultural residues were lower than plate from bagasse but plate from bleached fiber had could be a potential for development.

Ethylene Absorber Paper (EAP) as active packaging for ethylene gas removal from agricultural products, which extend the duration of shelf life. The fiber (bleach and unbleached) of durian husk were produced to paper by sheet former. The suitable of fiber type was unbleached fiber because the paper was best properties, which following to Thai industrial standard: 170-2550 (55 grammage of Kraft Paper) except tensile strength. Afterward, unbleached fiber was prepared to EAP, which added with three different type of activated carbon *viz.* powder, granular and rod as ethylene absorber materials. Powder Activated Carbon (PAC) type was selected because mango kept in EAP with PAC had the lowest weight loss (10.55%) and could extend postharvest life of mango for 10 days at room temperature storage. Afterthat, demonstrated the suitable content of PAC added in EAP at 0, 5, 15, 25 and 35% (w/w) compared with commercial ethylene absorber. The results EAP with 5% of PAC shown

greater extend postharvest life of mango for 15 days at room temperature storage and mango had lowest weight loss (28.59%) significantly different with other condition and commercial ethylene absorber. The properties of all EAP were following to Thai industrial standard: 170-2550 except tensile strength but can be improved by added dry strength agent. Cost of EAP with 5% PAC was 1.60 Baht/sheet while commercial ethylene absorber was 2-3 Baht/small pack. The results indicated that EAP from agricultural residues with 5% PAC had could be a potential for development.

Bioplastic from cellulose of husk of durian fruit was water soluble polymer. The cellulose powder from bleached fiber was then synthesized to carboxymethyl cellulose (CMC) by chloroacetic acid in alkaline condition. The percent yield of CMC was 138.12%. The obtained CMC powder had 95.63% purity and a degree of substitution (DS) at 0.68. It was water soluble with low viscosity at 429.9 cPs and appeared in pale yellow color. CMC solutions were added with four different additives viz. glycerol, sorbitol, polyethylene glycol and calcium carbonate at 10, 20, 30 and 40% (w/w) then it was casted to form the CMC film. The higher content of all additives resulted to the thicker film, greater elongation (%), poorer water solubility and lower tensile strength. The films formed with 30% glycerol had the highest elongation whereas film with 10% calcium carbonate highly resisted to tensile strength. The film with 40% calcium carbonate had the highest rate for oxygen transmission whist the properties of water solubility and elongation became low as compared to other treatments. Besides, all films were heat sealable and allowed oxygen transmitted through at rate of 1.15-17.6 $\text{cm}^2/\text{m}^2/\text{day}$. All CMC-based films could be degraded within 24 hour by burying it in high moisture content soil. Afterward, CMC films were processed to sachets for storing dry coffee powder. CMC-20% polyethylene glycol sachets could maintain quality of dry coffee power as similar as the coffee packed in aluminum foil bags at either ambient air or refrigerated storage. The results indicated that bioplastic derived from the husk of durian fruit could be a potential material for dry food packaging.

Agriculture products such as fruit and vegetable have been studied as potential film forming materials to be used as food biopackaging and biofilm because of their chemical composition of polysaccharide such as pectin and cellulosic substance. Puree from fruits and vegetables were prepared and used as raw materials for film processing. Chemical compositions and film properties were determination. Among the purees, carrot showed the highest pectin, could produce the best film. The film's properties was Improved by adding hydrocolloids, pectin and alginate at 1.5, 3 and 4.5% w/w of puree. The results showed that increasing concentration of both hydrocolloids were increased thickness, L^* , tensile strength and water barrier (WVTR decreased) of film ($P < 0.05$) while oxygen barrier of film were reduced (OTR increased). Film containing 3% alginate had better properties than other films.

However, both of hydrocolloids could not improve elongation of films. So, xylitol at 1.25, 2.5, 3.75, 5 and 6.25% w/w of carrot puree were added to increased film's elongation. The results showed increasing concentration of xylitol that increased thickness, water solubility, moisture content and elongation of film ($P < 0.05$). On the other hands, tensile strength, water vapor barrier, L^* and oxygen barrier of film were reduced ($P < 0.05$). The higher levels xylitol caused the increased discolored of carrot film between storage. Afterward, carrot with 3% alginate and 3.75% xylitol was selected to form peanut toffee wrapper. During 6 weeks at 65% RH, peroxide value of samples that wrapped with carrot based film was slower increasing than samples that wrapped with wax paper and unwrapped.

Bio-packaging form cassava starch was determined for value added the cassava and produced the antimicrobial packaging for food. Cassava starch-chitosan blended film were prepared; mixed cassava starch solution with chitosan solution in starch:chitosan ratio (g): 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 and glycerol were added 40% w/w of total solid for plasticizers. The solution were casted in acrylic plate for forming. The result shown best forming, transparent films and the yellow color score (b^*) was increase when increase chitosan. The properties of blend films were demonstrated. All of films shown best properties and significantly different ($p < 0.05$); moisture content 9.51-10.45%, water activity (a_w) 0.426-0.437, that shown the microbial can't grow and water solubility 22.31-29.75%, which starch:chitosan 1:0.2 blend film was lower solubility. Afterthat, demonstrated the mechanical properties, water vapour transmission rate (WVTR) and oxygen transmission rate (OTR) of films. The results starch:chitosan 1:0.6 blend film shown higher tensile strength 134.2 kF/cm^2 , starch:chitosan 1:0 blend film shown higher %elongation 73.77%, starch:chitosan 1:0 blend film shown higher tear strength 590.16 mN, starch:chitosan 1:0 blend film shown higher WVTR and lower OTR, starch:chitosan 1:0.4 blend film shown lower WVTR and starch:chitosan 1:1 blend film shown higher OTR. The efficiency of blend films for antimicrobial packaging were tested. The result shown blend film couldn't inhibit the *Aspergillus flavus* A39 growth, that didn't have clear zone surrounded the piece of blend film. However, should other different microbial test in the future. Cost of blend film was 0.02-0.50 bath/sheet. The starch:chitosan 1:0.6 have potential for more researched on food packaging in the future because it have good properties same as film, that best properties (not significantly different).

Poly- β -hydroxybutyrate (PHB) is a type of the PHA family of polyesters. PHB has been detected in Cyanobacteria such as *Spirulina* sp., *Nostoc* sp., or *Oscillatoria* sp. This research work aims to collect Cyanobacteria from the samples of natural water basin and Corralloid roots of *Cycas* sp. investigates of biopolymer production of Cyanobacteria as raw material for biodegradable polymer production. Firstly, Cyanobacteria samples were collected from natural water basin using plankton net

and Coralloid roots of Cycad. Then, they were isolated by observation of their cells under microscopes. The isolated of SM6-3 was collected from Coralloid roots of *Cycas* sp. of Queen Sirikit Park in Bangkok, Thailand. This isolate was identified as *Nostoc* sp. by Morphology. However, this strain showed a large of polyester's droplets stained with Sudan Black B. Thus, this strain was selected to cultivate in BG-11 culture medium under indoor and outdoor cultivation with continues aeration. The results revealed that BG-11 that lack of nitrogen (N_2 -free medium) under outdoor condition was suitable for biopolymer production. The cell of Cyanobacteria was reached a maximum growth of 9.96×10^6 cell ml^{-1} within 18 days cultivation and the maximum biomass was 1.69 gL^{-1} . After harvesting by centrifugal technique by using a high performance self-cleaning Separator, the biomass was extracted by Acid hydrolysis technique. Total PHB was presented as 0.33 gL^{-1} that was higher than cultivated with the normal BG-11 medium.

Moreover, Effect of bio-packaging materials on postharvest life of rambutan fruit was investigated. Three different bio-packaging materials *viz.* polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS) and Mater-Bi[®] were blown molded to be bags for containing one kg of rambutan fruit while low-density polyethylene (LDPE) bags were used as control group. There was no additive compound into PLA and PBS film during forming process. All films were measured for mechanical properties, water vapor and oxygen transmission rates, and biodegradability. Afterwards, rambutan fruits were randomly divided into four groups, packed in mentioned packaging and stored at $13 \pm 2^\circ\text{C}$ with 78% RH. Mater-Bi[®] and PBS bags were easier to produce and use than PLA bags. The highest levels of both water vapor and oxygen transmission rates were detected in Mater-Bi[®] film followed by PBS and PLA bags, respectively. Percentage of elongation of Mater-Bi[®] in machine direction and transverse were significantly higher than other films whilst the tensile strength of Mater-Bi[®] was the lowest values in both machine direction and transverse followed by PBS and PLA, respectively. Mater-Bi[®] and PLA films took over 100 days to start degrading in moist soil whereas PBS film could degrade by 16 days and its degradation increased to 31.25% in 161 days. Rambutan kept in PBS bags had the lowest weight loss (%) with yellowish red color skin and fresh green spintern. The greater weight loss and brown skin appearance were found in rambutan packed in Mater-Bi[®] bags followed by fruit in LDPE. The results indicated that packaging made from PBS film could extend postharvest life of rambutan fruit for 15 days at $13 \pm 2^\circ\text{C}$ storage.

The above data shown that agricultural products and agricultural residues can be used to produce bio-packaging and active packaging, which have the potential to compete with the petrochemical packaging.

Keywords: durian husk, banana pseudo-stem, fruit and vegetable puree, cyanobacteria, poly- β -hydroxybutyrate, carboxymethyl cellulose, CMC, fiberboard, fiberboard plate, hydrocolloid, xylitol, ethylene gas, activated carbon, chitosan, peanut toffee, coffee, rambutan, additive, bioplastic, packaging, bio-packaging, active packaging, antimicrobial packaging, green packaging, isolation, cultivation, postharvest, storage life,

บทนำ

บรรจุภัณฑ์อาหารมีหน้าที่ปกป้อง ค้ำครองอาหารจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ช่วยยืดอายุการเก็บอาหาร และป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และทางเคมี มีบทบาทอย่างมากในการใช้ชีวิตประจำวันและมีมูลค่าสูงมากในทางธุรกิจ แต่ก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะบรรจุภัณฑ์จะกลายเป็นขยะทันทีหลังจากสินค้าถูกเปิดออกหรือใช้งานหมด โดยจากการสำรวจส่วนแบ่งตลาดของวัสดุบรรจุในปี 2012 พบว่าบรรจุภัณฑ์อาหารมากกว่า 30% เป็นพลาสติกสังเคราะห์ ซึ่งย่อยสลายได้ยากและก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม (Tharanathan, 2003) ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,000 ตันต่อวัน เป็นถุงพลาสติกถึงร้อยละ 80 หรือ 5,300 ตันต่อวัน หรือประมาณ 2 ล้านตัน ใช้เวลาย่อยสลายนานถึง 450 ปี ใช้พื้นที่ฝังกลบสูงถึง 3 เท่า และเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดภาวะโลกร้อน (ปิยาพรรณ, 2558)

บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเน้นตั้งแต่วัตถุดิบกระบวนการผลิต จนกระทั่งเป็นบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออก สาเหตุจากการตื่นตัวโดยกลุ่มประเทศธุรกิจหลักๆ ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญของผลิตภัณฑ์รักษ์สิ่งแวดล้อมและผลิตภัณฑ์ทดแทนพลาสติก ได้ออกมาตรการทางกฎหมายและด้านภาษีอย่างชัดเจน เริ่มจากประเทศญี่ปุ่นที่ออกกฎหมายการซื้อสีเขียว และกฎหมายการนำกลับมาใช้อีก ประเทศสหรัฐอเมริกาออกกฎหมายสนับสนุนผลิตภัณฑ์รักษาสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับการยกเว้นภาษี และตั้งเป้าการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพจาก 5% ใน ค.ศ. 2002 เป็น 12% ใน ค.ศ. 2010 และ 20% ใน ค.ศ. 2030 ประเทศเยอรมนีออกนโยบายให้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้จะได้รับการยกเว้นภาษี ประเทศเดนมาร์กประกาศห้ามใช้ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มที่ทำจากพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และประเทศฝรั่งเศสกำหนดว่า ค.ศ. 2010 ถุงใส่ของที่ต้องย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (แนวหน้า, 2552) สำหรับประเทศไทยในขณะนี้ คณะรัฐมนตรีได้ให้ความเห็นชอบแผนที่นำทางแห่งชาติ (National Roadmap) การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2554 - 2558) ซึ่งปรับจากแผนที่นำทางแห่งชาติการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพระหว่างปี พ.ศ. 2551-2555 เพื่อส่งเสริมให้อุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพเป็นอุตสาหกรรมเพื่ออนาคตของประเทศไทย (วันทนี, 2554) ทำให้พลาสติกชีวภาพเป็นที่สนใจของคนไทยและทั่วโลก ดังนั้นจึงมีการคาดการณ์ไว้ว่าจะมีความต้องการบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจะสูงถึง 884,000 ตัน ในปี 2020 โดยในปี 2010 ที่ผ่านมามีสัดส่วนทางการตลาดของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพจาก Polylactic acid (PLA) สูงที่สุด คือ 42.5% รองลงมา คือ Starch 22.2% และจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต (Smithers, 2010)

ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ (Bio-packaging) ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ออกมาในหลายรูปแบบ รวมถึงในรูปของฟิล์มและสารเคลือบบริโภคได้ (edible film and coating) เพื่อนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ (Karina *et al.*, 1999) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติความสามารถในการกั้นการผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจน การเกิดออกซิเดชันของไขมัน

และการสูญเสียกลิ่นและรสชาติ (Kester and Fennema, 1986) คุณสมบัติเชิงหน้าที่เหล่านี้มาจาก ส่วนประกอบหลักของฟิล์มบิโพลิเมอร์ได้ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ (สตาร์ช เพคติน แอลจินेट อนุพันธ์เซลลูโลส) โปรตีน และลิพิด ซึ่งอาจใช้เป็นวัตถุดิบชนิดเดียวหรือผสมกัน

จากความตื่นตัวด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพทั้งด้านนโยบายการวิจัยและพัฒนา อุตสาหกรรมและการสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อเร่งรัดให้เกิดการตลาดพลาสติกทั่วไปนั้น เป็นไปอย่างรวดเร็ว และมีขั้นตอนที่มีทิศทางอย่างชัดเจนส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วในยุโรป สหรัฐอเมริกา รวมทั้งญี่ปุ่น โดยสามารถผลิตเม็ดพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพในระดับอุตสาหกรรมแล้ว เช่นบริษัท Natureworks (สหรัฐอเมริกา) ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตกรดแลคติกและ PLA บริษัท Metabolix, Inc. (สหรัฐอเมริกา) สามารถผลิต PHAs ในระดับนำร่องและอยู่ระหว่างการสร้างโรงงานผลิต PHAs แห่งแรกในระดับอุตสาหกรรม โดยร่วมกับบริษัท ADM (สหรัฐอเมริกา) ในระดับนโยบายนั้น สหรัฐอเมริกาได้ตั้งเป้าหมายที่จะให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์มวลชีวภาพจากปริมาณร้อยละ 5 ในปี ค.ศ. 2002 เพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ในปี ค.ศ. 2010 และร้อยละ 20 ในปี ค.ศ. 2030

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) หมายถึง พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีส่วนประกอบสำคัญ อย่างน้อยหนึ่งชนิดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดหรือบางส่วนเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตหรือปลูกขึ้นใหม่ทดแทนได้ (Renewable raw materials) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด เป็นต้น พืชดังกล่าวมีส่วนประกอบของแป้ง น้ำตาล และเส้นใยซึ่งใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพได้โดยใช้กระบวนการผลิตทางเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnology) หรือ กระบวนการหมัก (fermentation) ผสมกับเทคโนโลยีดีเอ็นเอระดับสูง เช่นกระบวนการสังเคราะห์ และกระบวนการขึ้นรูป เป็นต้น นอกจากนี้พลาสติกชีวภาพยังมีคุณสมบัติที่สามารถแตกสลายทางชีวภาพ (biodegradable) ได้ย่อยสลายตามธรรมชาติ โดยจะถูกจุลินทรีย์ในธรรมชาติใช้ไปเป็นอาหารและย่อยสลายได้ พลาสติกชีวภาพก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่น้อยกว่พลาสติกทั่วไปไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 ทั้งนี้สมาคม European Bioplastics ได้ทำการศึกษากำหนดการผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลก ดังแสดงใน Figure 1 โดยในปี พ.ศ. 2552 มีกำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพรวมประมาณ 440,000 ตัน และจะเติบโตขึ้นเป็นประมาณ 1.47 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2556 คิดเป็นการเติบโตร้อยละ 35 ต่อปี

นอกจากนี้ European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE) และ European Bioplastics ได้มีการประมาณการว่ากำลังการผลิตของพลาสติกชีวภาพในปี พ.ศ. 2550 ทั่วโลกมีกำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพประมาณ 360,000 ตัน และจากการประกาศการเพิ่มกำลังการผลิตและโรงงานที่จะเกิดขึ้นใหม่ ทำให้คาดการณ์ว่ากำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพจะเติบโตเป็น 2.32 ล้านตัน และ 3.45 ล้านตัน ในปี พ.ศ. 2556 และปี พ.ศ. 2563 ตามลำดับ คิดเป็นการเติบโตร้อยละ 36 ต่อปี (พ.ศ. 2550-2556) และร้อยละ 6 ต่อปี (พ.ศ. 2556-2563) ตามลำดับ ซึ่งนับว่าค่อนข้างสูง โดยคิดเป็นอัตราส่วนของพลาสติกชีวภาพต่อลักษณะชนิดดังแสดงใน Figure 2 จะเห็นว่าพลาสติกชีวภาพที่ผลิตกันมาก

ที่สุดในปัจจุบัน คือ พลาสติกจากแป้ง โดยมีสัดส่วนร้อยละ 40 รองลงมา คือ PLA มีสัดส่วนใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 39 แต่คาดการณ์ว่าในอนาคตประเภทพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจะมีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพอลิโอทิลีนที่ผลิตจากวัตถุดิบชีวมวล กำลังมีการก่อสร้างโรงงานที่ประเทศบราซิล และ PHA ที่จะมีการเพิ่มกำลังการผลิตทั้งจากโรงงานเดิมและมีโรงงานที่เกิดขึ้นใหม่

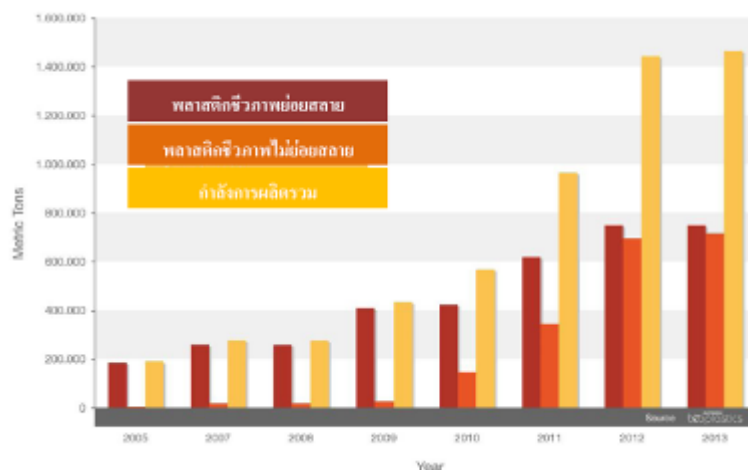


Figure 1 แสดงกำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลกปี พ.ศ. 2548-2556

หมายเหตุ: Other = Cellulose Film, PTT, Nylon and Polyurethane

ที่มา: Utrecht University, "Pro-Bip 2009", commissioned by EPNOE and European Bioplastics

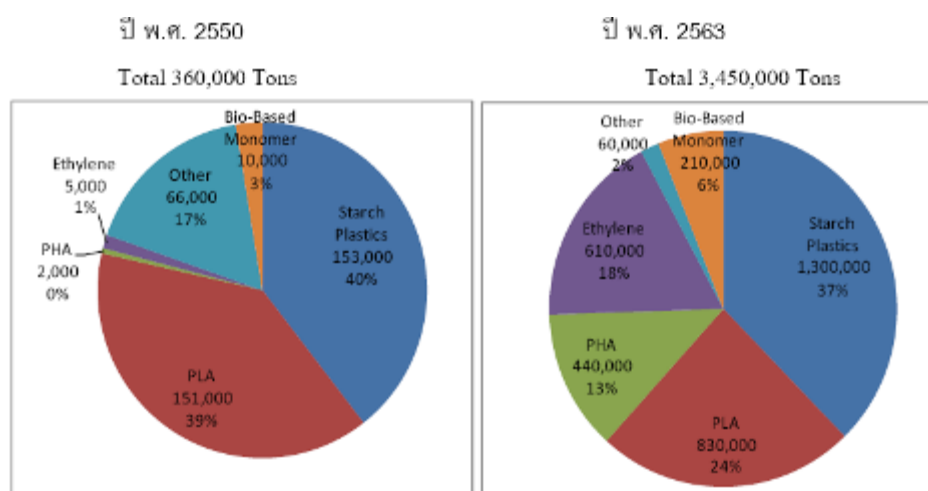


Figure 2 แสดงการผลิตพลาสติกชีวภาพแบ่งตามชนิดของพลาสติกชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แบ่งตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (petroleum-based biodegradable plastics) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (bio-based biodegradable plastics)

1. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (petroleum-based biodegradable plastics) ได้แก่ Polycaprolactone, Polyvinyl alcohol เป็นต้น (Figure 3)

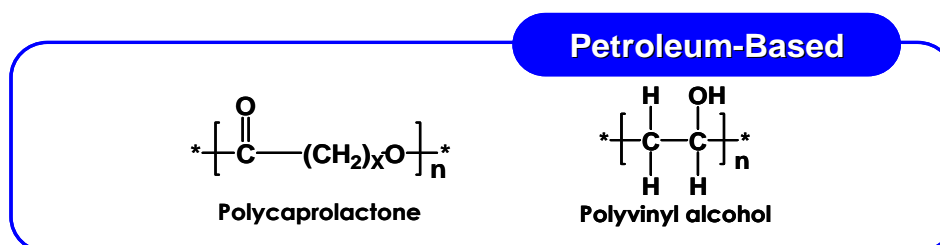


Figure 3 Petroleum-based biodegradable plastics

2. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (bio-based biodegradable plastics) ได้แก่ วัสดุที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น กลุ่มพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates, PHAs) ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ผลิตและสะสมเอาไว้ในเซลล์ และวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์ มักจะเกิดจากผลผลิตของกระบวนการหมัก (fermentation) เช่น สารประกอบโปรตีน หรือเพคติน ที่สามารถจะพัฒนาต่อไปเป็นสารพอลิเมอร์ รวมทั้งสาร polylactic acid (PLA) ซึ่งได้จากกระบวนการ Polymerization) ของ กรดแลคติก

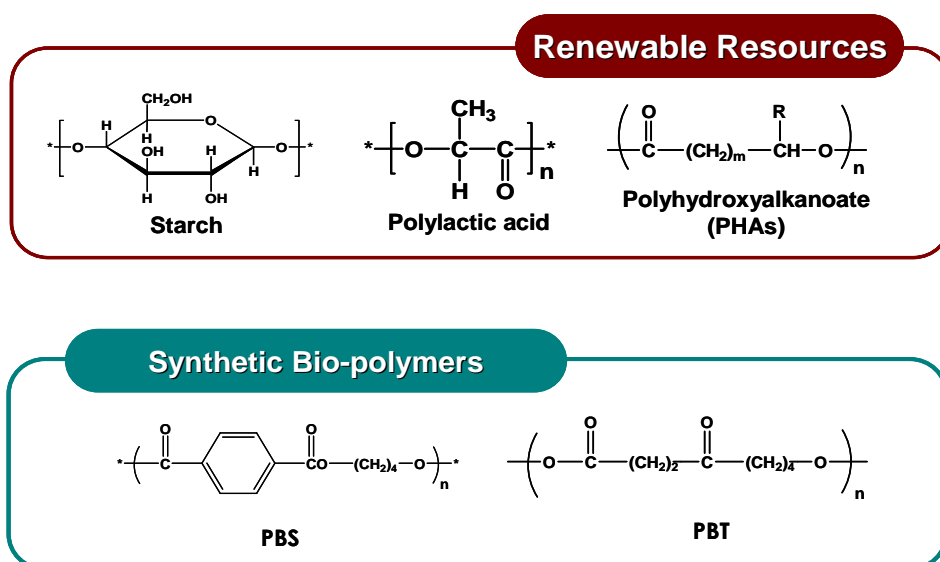


Figure 4 Bio-based biodegradable plastics

ซึ่งในปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ได้จากวัตถุดิบมวลชีวภาพ กำลังได้รับความนิยมสนใจเป็นอย่างมาก โดยยังได้นักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนนักธุรกิจและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

กำลังตื่นตัวในการคิดค้น นวัตกรรมชีวภาพ (Biomass) ในการผลิตพลาสติกชนิดใหม่ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) หรือพอลิแลคไทด์ (Polylactide) และกลุ่มพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (Polyhydroxyalkanoates, PHAs) ฯลฯ เพื่อรองรับมาตรการและนโยบายในการจัดการ การรักษาสีสิ่งแวดล้อม ม พรมทั้งแนว โน ม การ ขยาย สิ้น ข อนุ โภค บริ โภค ที่ เป น มิ ตร ด อ ล ี ง แ ล อ ม

กระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพ สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มเทคโนโลยีได้ 3 กลุ่มเทคโนโลยี คือ

1. เทคโนโลยีต้นน้ำ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการหมัก (Fermentation) ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ
2. เทคโนโลยีกลางน้ำ ได้แก่ กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)
3. เทคโนโลยีปลายน้ำ ได้แก่ กระบวนการคอมพาวด์ดิ้ง (Compounding) หรือกระบวนการขึ้นรูป

กระบวนการหมัก (Fermentation) โดยใช้ เทคโนโลยีชีวภาพ

1. การเตรียมน้ำตาล โดยเริ่มต นจากการบดหรือโม่ ผลผลิตทางการเกษตรโดยให้ ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป งให้ เป นน้ำตาลโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสที่มีเอนไซม์ หรือกรดเป นตัวเร งปฏิกิริยา
2. การเตรียมโมโนเมอร์ โดยการนำน้ำตาลไปหมักด วยจุลินทรีย์ ที่เหมาะสมเพื่อผลิตโมโนเมอร์
3. การเตรียมพอลิเมอร์ เช่น ในกรณีของ PHAs เป นกระบวนการหมักโดยตรงจากน้ำตาลด วยจุลินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนโครงสร้าง างทางเคมีของน้ำตาลไปเป นพอลิเมอร์ โดยจะผลิตเก็บไว้ ภายในเซลล์

กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

เป็นกระบวนการสังเคราะห์ พอลิเมอร์ จากโมโนเมอร์ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาเคมีแล วเชื่อมต อกันเป นสายยาว ภายใต้สภาวะต่างๆ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ ความดัน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ได้ แ แ

1. ปฏิกิริยาการควบแน่น น (condensation) : โมโนเมอร์ มีส วนที่ไวต อปฏิกิริยาที่ปลายทั้งสอง เมื่อทำปฏิกิริยากันแล วจะเกิดการเชื่อมต อกันเป นสายยาว
2. ปฏิกิริยาการเติม (addition) : โมโนเมอร์ มีพันธะคู่ อยู่ ในโครงสร้าง าง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพันธะคู่ จะเปิดออก แล วจึงเชื่อมต อเป นสายยาว
3. ปฏิกิริยาการเป ดวง (ring-opening): โมโนเมอร์ มีโครงสร้าง างเป นวงแหวน เมื่อเกิดปฏิกิริยาจะเกิดการเป ดวงแล วจึงเชื่อมต อเป นสายยาว

กระบวนการคอมพาวด์ดิ้ง (Compounding)

เป็เทคโนโลยีที่สำคัญและจำเป็นในการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลให้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพแสดงปรากฏการณ์การไหลและการก่อตัวที่ดี รวมทั้งมีความยืดหยุ่น แก่ปัญหาเรื่องความเปราะบาง เพื่อให้เข้าใกล้กับสมบัติเดิมของพลาสติกที่มาจากปิโตรเคมีที่เราคุ้นเคยกันดี โดยเฉพาะให้ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนหรือพอลิโพรพิลีนให้มากที่สุด โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) เช่น พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) สารช่วยผสม (compatibilizer) ฟลเลอร์ (filler) สารเสริมแรง (reinforcing agent) สารก่อผลึก (nucleating agent) เป็นต้น

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) คือ ที่นิยมใช้งานได้แก่

— PLA ผลิตจากแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง เป็นพอลิเอสเทอร์สายโซ่ตรง มีลักษณะใสและมีความแวววาวสูง มีสมบัติทางกลและนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับพอลิเมอร์พื้นฐานทั่วไปที่เป็นเทอร์โมพลาสติก สามารถกักเก็บกลิ่นและรสชาติได้ดี ด้านทานต่อน้ำมันและไขมันสูง ในขณะที่ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำสามารถแพร่ผ่านได้ดี และสามารถนำไปตัดแปรรูปหรือปรับปรุงให้มีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) หรือพลาสติกโอเลฟินส์จากปิโตรเคมีได้ มักผสมกับแป้งเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำ ถูพลาสติก ฟิล์มสำหรับห่อ เป็นต้น (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

— PBS ผลิตจากแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง เป็นพอลิเอสเทอร์สายโซ่ตรง เป็นเทอร์โมพลาสติก มีสมบัติเชิงกลสูงและทนความร้อนได้ถึง 200 °C โดยไม่เสียสภาพ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดี สามารถใช้แทน PP, LDPE และ PLA ได้ และสามารถนำมาผสมกับแป้งเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลได้ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ฟิล์ม บรรจุภัณฑ์อาหาร และขวดน้ำ เป็นต้น (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

— พลาสติกชีวภาพทางการค้าที่ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเติมสารเติมแต่งแล้ว เช่น พอลิเมอร์ที่มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®] ผู้ผลิตได้ผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน คือ พอลิเอสเทอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง เช่น PLA หรือ PBS และแป้ง (Starch-Polyester blends) ร่วมกับสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล การขึ้นรูป และการย่อยสลายให้ดีขึ้น เป็นต้น นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

การผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพ จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของพลาสติก ความสามารถในการควบคุมการหายใจของผลิตภัณฑ์ การป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ การเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรในสภาพตัดแปรรบรยากาศเพื่อควบคุมการสุกและยืดอายุการเก็บรักษา การช่วยลดการแพร่ผ่านของไขมัน รักษาความสมบูรณ์ทางโครงสร้างและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตผลทางการเกษตรจากจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาได้ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องอาศัยองค์ประกอบอื่นๆ มาช่วย เพื่อให้บรรจุภัณฑ์ชีวภาพสามารถนำไปใช้ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น (Tharanathan, 2003) ซึ่งกระบวนการคอมพาวด์ (Compounding) หรือกระบวนการผสมเพื่อผลิต

พอลิเมอร์ผสม (polymer blends) เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญและจำเป็นในการปรับสมบัติทางกายภาพและทางกลให้พลาสติกชีวภาพเกิดการไหล และการก่อตัวได้ดี รวมทั้งมีความยืดหยุ่น แก้ปัญหาเรื่องความเปราะบาง เพื่อให้เข้าใกล้กับสมบัติเด่นของพลาสติกที่มาจากปิโตรเคมี โดยเฉพาะ PE หรือ PP โดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือการเติมสารเติมแต่ง (additive) ให้เหมาะสมทั้งกับเงื่อนไขการขึ้นรูปและการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น พลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) สารช่วยผสม (compatibilizer) ฟิลเลอร์ (filler) สารเสริมแรง (reinforcing agent) และสารก่อผลึก (nucleating agent) เป็นต้น (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2551)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความพร้อมในด้านการผลิตพลาสติกชีวภาพ ทั้งผลิตผลทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมาย จึงเป็นโอกาสที่ดีในการวิจัยและพัฒนานำวัตถุดิบมาใช้ผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบทางการเกษตรและผลิตภัณฑ์นั้นๆ ด้วย

โดยเฉพาะพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (Starch) เนื่องจากประเทศไทยที่มีปริมาณการผลิตมันสำปะหลังเป็นอันดับ 2 ของโลก ประมาณ 29.84 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นมูลค่า 2,212 ล้านบาท ในปี 2558 แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังสูงถึงร้อยละ 55 และมีการคาดการณ์ไว้ว่าในปี 2564 จะสามารถผลิตหัวมันสดได้ 34.51 ล้านตัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2016) ซึ่งสามารถนำมาใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยประเทศไทยมีอุตสาหกรรมที่รองรับการพัฒนาพลาสติกชีวภาพโดยมุ่งเป้าไปที่อุตสาหกรรมพลาสติก ได้แก่ ถุง กระสอบพลาสติก และแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมกว่า 200,000 ล้านบาท (ศราวุธ, 2555)

ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้มันสำปะหลังแล้วยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านบรรจุภัณฑ์ให้มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถสร้างให้เกิดนวัตกรรมของประเทศและพัฒนาไปสู่ระดับที่มีกำลังรองรับได้ ในเวทีการควาสาถลควย เช่น สหภาพยุโรปได้กำหนดนโยบายและเป้าหมายในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากของเสียบรรจุภัณฑ์ ซึ่งผู้ผลิตและผู้นำเข้าสินค้ามีภาระต้องรับผิดชอบต่อบรรจุภัณฑ์ของสินค้าตนเองโดยการชำระค่าธรรมเนียมการกำจัดหรือนำบรรจุภัณฑ์ใช้แล้วกลับไป ดังนั้นหากใช้บรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้เองจะช่วยลดค่าธรรมเนียมได้ (นิรนาม, 2003)

ปัจจุบันจึงมีการวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมากขึ้น เช่น Bourtoom (2008) ได้ศึกษาผลของพลาสติกไซเซออร์ต่อคุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งข้าวผสมไคโตซาน พบว่าเมื่อปริมาณพลาสติกไซเซออร์เพิ่มขึ้นฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาดลดลง มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำและการละลายเพิ่มขึ้น โดยชอบให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติเปราะที่สุดแต่มีความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด ส่วนกลีเซอรอลและพอลิทีลิน ไกลคอลให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี Chillo *et al.*, (2008) ได้ศึกษาผลของกลีเซอรอลและไคโตซานต่อคุณสมบัติของแป้งมัน พบว่าไคโตซานช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติต้านแรงดึงขาดดีขึ้น แต่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ส่วนกลีเซอรอลให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติกลับกัน โดยปริมาณที่เหมาะสมของไคโตซานและกลีเซอรอลคือ 0.55 และ 0.5% และ Pitak *et*

al., 2011) ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้จากแป้งกล้วยผสมไคโตซาน พบว่าไคโตซานมีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นฟิล์ม โดยทำการผสมแป้งกล้วยและไคโตซานในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ค่าแรงดึงขาดมีค่าสูงขึ้น

เนื้อผักและผลไม้ เช่น แครอท มะเขือเทศ แอปเปิ้ล มีองค์ประกอบของเพคติน ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) มีคุณสมบัติการกระจายในน้ำดี และสามารถเกิดฟิล์มได้ (นิธิยา, 2553) ทำให้เนื้อของผักและผลไม้เหล่านี้สามารถตีปั่นได้เป็นเนื้อละเอียด (Puree) และมีความข้นหนืด นอกจากนี้เนื้อผักและผลไม้ยังมีเส้นใยซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของเนื้อฟิล์ม และสารสำคัญ เช่น วิตามิน เบต้าแคโรทีน และสารประกอบฟีนอลซึ่งมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นอีกวัตถุดิบอีกชนิดที่ได้รับความสนใจนำมาผลิตเป็นฟิล์มบริโภคน้ำได้ อย่างไรก็ตามฟิล์มจากเนื้อผักและผลไม้ นั้นยังคุณสมบัติหลายประการด้อยกว่าฟิล์มจากพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดอื่นๆ เช่น ความแข็งแรงเชิงกล และการกั้นผ่านมวลสาร โดยจากการศึกษาของ McHugh *et al.*, (1996) พบว่าเนื้อของพีช แอปเปิ้ล แอปริคอต และลูกแพร์ มีคุณสมบัติที่สามารถขึ้นรูปฟิล์มที่ได้ โดยมีคุณสมบัติกั้นการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนที่ดี แต่กั้นการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ จึงมีการนำสารเติมแต่งชนิดต่างๆ มาปรับปรุงคุณสมบัติให้กับฟิล์ม ทั้งสารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ เช่น เพคติน (อรัญญา, 2007) แอลจินेट (Rojas *et al.*, 2007, Azedo *et al.*, 2011) และ อนุพันธ์เซลลูโลส (Wang, 2011) เป็นต้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเชิงกล พลาสติไซเซอร์ (plasticizer) เช่น พอลิเอทิลีนไกลคอล กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และไซลิทอล เป็นต้น เพื่อปรับปรุงการยึดตัวของฟิล์ม (Yoo and Krochta, 2012) และไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น น้ำมันพืช กรดโอเลอิก เป็นต้น เพื่อเพิ่มความต้านทานการผ่านของไอน้ำ (McHugh and Senesi, 2000) เป็นต้น

เพคติน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของพอลิแซ็กคาไรด์พบอยู่ในผนังเซลล์ของพืช โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส ทำหน้าที่ยึดเกาะผนังเซลล์ พบในผักและผลไม้ดิบ เปลือกผลไม้วงศ์ส้ม เช่น ส้มเขียวหวาน ส้มโอ มะนาว มีโครงสร้างหลักที่ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ที่ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง β -(1 \rightarrow 4) โดยหมู่คาร์บอกซิล ในโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิกบางส่วนจะถูกเอสเทอร์ไรฟด์ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทอกซิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นตัวแบ่งชนิดและสมบัติของเพคติน โดยเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลมาก เรียกว่า high-methoxyl pectin หรือ HM-pectin จะมีระดับของเมทอกซิเลชัน (degree of methoxylation) มากกว่า 50% จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง จะสามารถเกิดเจลได้ดีที่ pH 2.0-3.5 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 65-70% ขณะที่เพคตินที่มีค่า degree of methoxylation น้อยกว่า 50 หรือ Low-methoxyl pectin (LM-Pectin) จะมีกลไกการเกิดเจลจากการเชื่อมข้าม (cross-link) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและกับแคลเซียม สามารถเกิดเจลได้ดีในช่วง pH 2.5-5.5 (นิธิยา, 2553)

แอลจินेट เป็นสารสกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (Phaeophyceae) เป็นพอลิเมอร์ผสมชนิดสายตรงของกรดแมนูโรนิกและกรดกูลูโรนิก ผลิตทั้งในรูปอนุพันธ์ของเกลือโซเดียม โพแทสเซียม แอมโมเนียม เป็นต้น แอลจินेटจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน (นิธิยา, 2553) จากการศึกษาการเกิดเจลของแอลจินेटของ Mancini and McHugh (2000) พบว่าแอลจินेटสามารถเกิดเจลได้

โดยอาศัยผลไม้ที่มีความเข้มข้นสูง (26-37%) ซึ่งเป็นผลจากการเชื่อมพันธะระหว่าง HM-Pectin กับ กรด
 กรูโรนิกของแอลจินेट

สารกลุ่มพอลิโออล (polyols) เป็นสารให้ความหวานแต่พลังงานต่ำ (Yadav *et al.*, 2014) ถูก
 นำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอรส์เพื่อลดความกรอบเปราะ (brittleness) ให้กับฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพ โดยจะ
 เข้าไปแทรกตัว รบกวนพันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ เกิดเป็นช่องว่าง (free volume)
 ภายในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น จึงยืดหยุ่นมากขึ้น
 (Sothornvit and Krochta, 2000) พอลิโออลที่นิยมนำมาเป็นพลาสติกไซเซอรส์มากที่สุด คือ กลีเซอรอล
 เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้เข้าไปแทรกและกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี อย่างไรก็ตาม
 เนื่องจากกลีเซอรอลทำให้เกิดการเคลื่อนที่สู่ผิวฟิล์มระหว่างเก็บได้รวดเร็ว Tong *et al.* (2013) ได้ศึกษา
 ผลของพอลิโออล 4 ชนิด ได้แก่ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล ไชลิตอล และฟรุคโตส ในการเป็นพลาสติกไซ
 เซอรส์ของฟิล์มผสมโพลูลาน แอลจินेटและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่าไชลิตอลสามารถเพิ่มการยึด
 ตัวของฟิล์มได้รองจากกลีเซอรอล นอกจากนี้ไชลิตอลยังให้พลังงานต่ำกว่ากลีเซอรอลและให้ความ
 หวานได้เทียบเท่ากับน้ำตาลซูโครส จึงมีความน่าสนใจนำมาใช้เป็นพลาสติกไซเซอรส์ให้กับฟิล์มจากผักและ
 ผลไม้ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา)

และเนื่องจากการผลิตพลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่เป็นการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรซึ่งเป็นแหล่ง
 ของอาหาร ซึ่งอาจทำให้เกิดการขาดแคลนและส่งผลให้ราคาของอาหารสูงขึ้นได้ จึงทำให้แนวคิดในการ
 ผลิตสารพอลิเมอร์ (Polymers) จากสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นพืช หรือเชื้อจุลินทรีย์ ขึ้นมา
 ทดแทน โดยกลุ่มจุลินทรีย์เป็นอีกชีวมวลอีกแหล่งหนึ่งที่กำลังเป็นที่น่าสนใจของนักวิจัย และมีการศึกษา
 ค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยพบว่าพอลิเมอร์กลุ่ม Poly- β -hydroxybutyrate (PHB) เป็น
 ส่วนประกอบที่พบในเซลล์ชั้นในของสิ่งมีชีวิตในกลุ่มโปรคาริโอตเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญ
 ของ PHB คือมีความสามารถทนความร้อนได้สูง ไม่ละลายน้ำและสามารถย่อยสลายได้ส่วนใหญ่ผลิตได้
 จากกระบวนการหมักจากแบคทีเรียไซยาโนแบคทีเรีย หรือที่รู้จักกันในชื่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
 (blue-green algae) เป็นอีกหนึ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีการสะสมพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดนี้ไว้ภายในเซลล์
 เช่นเดียวกัน โดย Khanna และ Srivastava (2005) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้แหล่ง
 คาร์บอนชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุคโตส น้ำตาลกลูโคส กรดแลกติก กรดน้ำตล กลีเซอรอล
 กรดอะซิติก ไชโลส กรดโพรไพโอนิก แป้ง และน้ำตาลแลคโตสพบว่าน้ำตาลฟรุคโตส เป็นแหล่ง
 คาร์บอนที่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ *Ralstonia eutropha* สามารถผลิต PHAs ได้สูงสุด Stein buchyl (1991) ได้
 ศึกษาการผลิต PHAs จากจุลินทรีย์สายพันธุ์ต่างๆ พบว่าสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ต่างกัน จะมีศักยภาพในการ
 ผลิต PHAs ได้ต่างกัน ซึ่งมีองค์ประกอบของ PHAs ที่แตกต่างกันด้วย และผลการทดลองของ Timm และ
 คณะในปี ค.ศ. 1990 ก็ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน การผลิต PHAs มักจะผลิตที่อุณหภูมิ 30 °C ความ
 เป็นกรด-ด่าง (pH) 7.0 ซึ่งสภาวะดังกล่าวอาจเหมาะสมกับการผลิต PHAs ของจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่

เปลือกทุเรียนซึ่งถูกทิ้งจำนวนมาก โดยจากการศึกษาของลือพงษ์และจรรยาพงศ์ (2552) พบว่าการทำทุเรียนทอดโดยใช้ทุเรียนสด 1 ตัน มีเปลือกทิ้งสูงถึง 585.60 กิโลกรัม หรือ 58.60% ซึ่งถูกกองทิ้งไว้เป็นขยะส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงมีการนำเปลือกทุเรียนมาเพิ่มมูลค่าโดยทำปุ๋ยพืชสด กระดาษ ถ่าน และเนื่องจากเปลือกทุเรียนมีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสสูงถึง 30% จึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมได้ (กฤษณา และคณะ, 2005)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือซีเอ็มซี (Carboxymethyl Cellulose, CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสในรูปของเกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็น “พอลิเมอร์ชีวภาพ” ชนิดที่มีประจุลบ มีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมหลายชนิด มีการนำเข้าเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ได้จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟาเซลลูโลสกับไฮดรอกซีฟอสฟอริกแอเจนต์ในสภาวะต่าง ดัง Figure 5

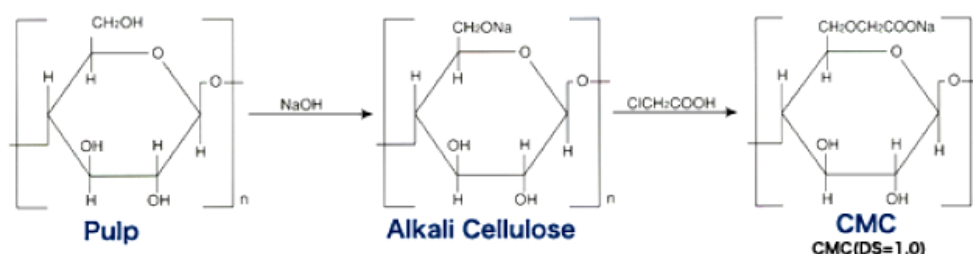


Figure 5 The reaction for the production of CMC (กฤษณา และคณะ, 2005)

ซีเอ็มซี เป็นของแข็งสีขาวถึงขาวครีม ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ละลายได้ในน้ำ ไม่ละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายหนืดใส ไม่มีกลิ่น ความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อพีเอช (pH) ลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของซีเอ็มซีขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่คาร์บอกซีเมทิลที่เข้าไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลใน 1 หน่วยของกลูโคสบนสายโซ่เซลลูโลส หรือเรียกว่า ค่าองศาการแทนที่ (Degree of Substitution, DS) (Bono, *et al.*, 2009) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมซักฟอก สิ่งทอ กระดาษ เซรามิก สี กาว อาหารและยานิยมใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ สารเพิ่มความหนืด สารยึดเกาะ (binder) และสารคงสภาพ (Stabilizer)

การผลิตซีเอ็มซีในต่างประเทศจะผลิตจากไม้ยืนต้น เช่น สนและยูคาลิปตัส เนื่องจากให้เยื่อเซลลูโลสที่มีคุณภาพสูงและสามารถควบคุมคุณภาพเยื่อได้ ประเทศไทยมีพืชและผลไม้หลายชนิดที่สามารถนำมาสกัดแยกเยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงและนำมาเตรียมซีเอ็มซีได้ ซึ่งกฤษณาและคณะ (2005) ได้เตรียมซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน โดยการทำปฏิกิริยาของเยื่อแอลฟาเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนกับสารไฮดรอกซีฟอสฟอริกแอเจนต์ในสภาวะต่าง พบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ กมลพรและคณะ (2551) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเยื่อฟางข้าว ถิรนันท์และคณะ (2549) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกมะละกอ ปราณีและคณะ (2542) เตรียมซีเอ็มซีจากขานอ้อยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดโมโนคลอโรแอซิดในการทำปฏิกิริยาไฮดรอลิเคชันด้วยระบบที่ใช้ตัวทำละลาย พบว่าความสามารถ

ในการละลายน้ำและค่าองศาการแทนที่ (Degree of Substitution, DS) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ โดยซีเอ็มซีที่เตรียมโดยใช้เอ็กรคกลอโรอะซิติก 1:1 และ 1:1.25 มีคุณสมบัติส่วนใหญ่สูงกว่าซีเอ็มซีเกรดการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

การนำซีเอ็มซีมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม จำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้ฟิล์ม ซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมใช้แบ่งออกตามคุณสมบัติได้ดังนี้ สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ทางชีวภาพและลดต้นทุนการผลิต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตและแป้งมัน สารเติมแต่งเพื่อพัฒนาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น สารอินทรีย์จำพวกพอลิเอทิลีนไกลคอล และสารเติมแต่งเพื่อลดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เช่น กลีเซอรอล เป็นต้น ซึ่งนิลวรรณและคณะ (2551) ได้เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน โดยใช้กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง พบว่าฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 1.2% โดยน้ำหนัก มีศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ฉัฎฐ์ชาติและคณะ (2555) เตรียมฟิล์มซีเอ็มซีจากเยื่อฟางข้าวโดยใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่ง พบว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลปริมาณ 33.3% โดยน้ำหนัก มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนดีที่สุด

ดังนั้นการนำเปลือกทุเรียนมาเพิ่มมูลค่าโดยการสังเคราะห์เป็นซีเอ็มซี และพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ซึ่งย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ นอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรแล้ว ยังตอบสนองต่อความต้องการใช้วัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

นอกจากนี้ยังสามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมได้ ใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ซึ่งกำลังได้รับความนิยมเนื่องจากหาได้ง่าย ต้นทุนถูก และช่วยลดปัญหาการตัดไม้ทำลายป่า สามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดขึ้นรูป (Fiberboard) เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เฟอร์นิเจอร์หรือฉนวน ซึ่งมีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมได้ แผ่นใยไม้อัด (Fiberboard) คือ กลุ่มของวัสดุที่ทำจากเส้นใยหรือเยื่อไม้หรือทำจากเส้นใยของวัสดุที่มีลิกนินและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการอัดร้อนหรือให้ความร้อนเพื่อให้ใยไม้ติดกันเป็นแผ่น ซึ่งอาจมีการใช้กาวหรือไม่ใช้กาวเป็นส่วนประกอบ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) โดยแรงยึดเหนี่ยวภายในส่วนใหญ่เกิดจากการสานตัวของเส้นใยร่วมกับการยึดเหนี่ยวกันระหว่างเส้นใยเอง แต่อย่างไรก็ตามอาจต้องมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อให้แผ่นใยไม้อัดมีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น สารต้านการซึมน้ำ (sizing agent) เป็นสารที่ช่วยทำให้แผ่นใยไม้อัดต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น ได้แก่ ไขผึ้ง (wax) สารส้มและชันสน (alum/rosin) และอัลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl Ketene Dimer; AKD) สารเพิ่มความเหนียว ได้แก่ แป้งปรุงแต่ง (modified starch) และแป้งธรรมชาติ

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษานำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรหลายชนิดมาผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัด เช่น อัญชติและคณะ (2550) ได้ศึกษาการเตรียมแผ่นใยไม้อัดโดยนำเส้นใยจากกล้วยน้ำว้ามาผสมโพลีพอลิสไตรีนที่ใช้แล้ว อมเรศและคณะ (2551) ได้นำเส้นใยเปลือกทุเรียนมาผสมกับโพลีเอทิลีนและอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นใยไม้อัดเทียม พบว่าปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการรับแรง

คัดและความแข็งที่ผิวสูงขึ้น นพพันธ์ (2545) นำเปลือกทุเรียนและขี้มะพร้าวมาผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำและทำเป็นฉนวนของกำแพงและฝ้าในอาคาร พบว่าช่วยให้การใช้พลังงานในอาคารลดลง สุภาพรและคณะ (2553) และ Wiyaratn *et al.* (2012) ได้ศึกษาโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยเปลือกทุเรียน ขางพาราและสารเติมแต่งอัลคิลลิทีนไดเมออร์ (AKD) เพื่อพัฒนาแผ่นใยไม้อัดหนาแน่นปานกลาง พบว่าการเติม AKD ที่ร้อยละ 4 ค่อน้ำยาทำให้ขางพาราและเส้นใยเปลือกทุเรียนเชื่อมติดกัน และช่วยให้แผ่นใยไม้อัดดูดซึมน้ำลดลง เป็นต้น และมีการนำขานอ้อย มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์แล้ว ได้แก่ ภาชนะและกล่อง ซึ่งในกระบวนการผลิตไม่ใช้คลอรีนในการฟอกสีจึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นไม่แตกหักง่าย สามารถบรรจุของร้อนและเย็นได้ ใช้ได้กับตู้อบและเตาไมโครเวฟ ย่อยสลายได้ภายใน 45 วัน และผ่านการฆ่าเชื้อด้วยแสง UV (บริษัทบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551)

บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตผลทางการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นสินค้าส่งออกหลักที่สร้างรายได้ให้กับประเทศโดยเฉพาะผักและผลไม้ แต่พบว่ายังมีความเสียหายเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งและการวางจำหน่ายเป็นจำนวนมาก คิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 35% ของมูลค่าโดยรวมหรือประมาณ 10,000 ล้านบาทต่อปี โดยความเสียหายระหว่างการขนส่งร้อยละ 15-50 (นิรนาม, 2014) โดยการสูญเสียผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว ไม่ว่าจะมาจากโรค แมลง การเปลี่ยนแปลงทางสรีระของผักผลไม้จากการหายใจหรือสูญเสียน้ำ ซึ่งยังเกิดขึ้นอยู่แม้จะเก็บเกี่ยวมาแล้ว เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชทุกชนิดสามารถสร้างก๊าซเอทิลีนได้ ทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุผลิตผลให้นานขึ้น หรือแม้กระทั่งบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยควบคุมคุณภาพตั้งแต่อยู่ในแปลง ซึ่งกระดาษถูกนำมาใช้จำนวนมากในปัจจุบัน โดยเป็นกระดาษที่มีคุณสมบัติพิเศษหรือจำเพาะ เช่น กระดาษหุ้มผลไม้ ช่วยควบคุมคุณภาพให้น่ารับประทานและป้องกันแมลง กระจกกระดาษชนิดทึบแสง (กระดาษคาร์บอน) ช่วยกรองแสงป้องกันแสงทำปฏิกิริยากับสีเขียวของผลผลิต กระจกชนิดโปร่งแสงหรือกระจกสีขาว ทำจากกระดาษไข ช่วยดึงแสงเข้าไปกระตุ้นเม็ดสีของผลไม้ ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าปกติ เมื่อผลไม้สุกงอมจะมีสีสันท่าน่ารับประทาน ขณะเดียวกันกระดาษไขยังป้องกันฝนได้เป็นอย่างดี เป็นต้น นอกจากนี้มียังการใช้กระดาษเพื่อห่อผลิตผลหรือใช้กล่องกระดาษเพื่อบรรจุผลิตผลสำหรับการขนส่งและจำหน่าย ซึ่งควรเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษหรือจำเพาะสำหรับผลิตผล เช่น อ่อนนุ่มเป็นพิเศษ ดูดซับน้ำได้ดี แต่ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์เหล่านี้ยังไม่มีการพัฒนาหรือออกแบบให้จำเพาะกับผลิตภัณฑ์หรือผลิตผลใดเลย

เอทิลีน (C_2H_4) เป็นฮอร์โมนพืชชนิดหนึ่งซึ่งช่วยเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืช โดยปกติการผลิตเอทิลีนจะมีปริมาณต่ำ แต่เมื่อผลไม้สุกหรือถูกกระทบกระเทือนจะเกิดการเร่งกระบวนการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น (จริงแท้, 2544) โดยเอทิลีนจะไปกระตุ้นเนื้อเยื่อพืชให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น กระตุ้นให้เกิดการสุก ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สั้นลง ซึ่งผักและผลไม้แต่ละชนิดผลิตก๊าซเอทิลีนได้แตกต่างกัน เช่น มะม่วง กล้วยหอม มังคุด มะเขือเทศ และทุเรียน อยู่ในกลุ่มผลิตก๊าซเอทิลีนได้

ปานกลาง คือ ผลิตได้ในอัตรา 1.0-10.0 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{hr}$ ที่ 20 °C (นิรนาม) ซึ่งวิธีการช่วยชะลอหรือยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ คือ การเก็บรักษาผลิตผลเกษตรที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดช้าลง ทั้งการหายใจ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี รวมถึงการสร้างและการตอบสนองต่อก๊าซเอทิลีน (Nayik and Muzaffar, 2014) อีกแนวทางหนึ่งคือการเก็บรักษาผักและผลไม้ในบรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) ซึ่งมีรายงานว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเกษตรได้นานขึ้น (ROONEY, 1995)

บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active Packaging) นอกจากมีหน้าที่ปกป้องอาหารจากการปนเปื้อนและความเสียหายที่เกิดจากภายนอกแล้ว ยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเกษตรได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น กำจัดหรือป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ กำจัดความชื้น กำจัดหรือปลดปล่อยก๊าซบางชนิด เป็นต้น ซึ่งจะใช้สารที่มีคุณสมบัติพิเศษเป็นส่วนประกอบหรือเป็นส่วนผสมในบรรจุภัณฑ์ เช่น สารกำจัดก๊าซเอทิลีน สารกำจัด/ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สารดูดซับความชื้น หรือสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยมีการคาดการณ์ว่ามูลค่าของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟทั่วโลกจะสูงขึ้นจาก 1.558 ล้านดอลลาร์ในปี 2005 เป็น 2.649 ล้านดอลลาร์ในปี 2010 (Day, 2008) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์แอคทีฟกำลังเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความสนใจและใช้งานกันมากขึ้นในอนาคต โดยบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่น่าสนใจ คือ บรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้ เนื่องจากก๊าซเอทิลีนมีผลต่อการสุกของผลิตผลเกษตร ซึ่งเป็นสินค้าหลักของประเทศไทย และมีมูลค่าทางการตลาดเพิ่มขึ้นจาก 62 ล้านดอลลาร์ ในปี 2005 เป็น 121 ล้านดอลลาร์ ในปี 2010 (Day, 2008)

ในปัจจุบันมีสารเคมีและวัสดุที่สามารถกำจัดก๊าซเอทิลีนได้หลายชนิด โดยที่นิยมใช้กันในปัจจุบันและมีออกมาจำหน่ายทางการค้าเป็นจำนวนมาก คือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ซึ่งจะถูกรวบรวมใส่ซองขนาดเล็ก ใช้งานโดยนำมาวางในกล่องหรือบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการยืดอายุการเก็บรักษา แต่เนื่องจาก KMnO_4 ออกซิไดส์ได้ง่ายและเป็นพิษ จึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารโดยตรง (ROONEY, 1995) และอาจมีปัญหาในการกำจัด วัสดุอีกชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่สนใจ คือ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เนื่องจากมีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก มากกว่า 400 ตารางเมตร/กรัม (McDOUGALL, 1991) ทำให้อุณหภูมิของสารและโมเลกุลของก๊าซสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ในรูพรุนได้ (บุญรักษ์, 2016) รวมทั้งก๊าซเอทิลีน โดยลักษณะของรูพรุนและการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์แสดงดัง Figure 6 คือ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่หรือเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนและเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก๊าซกับคาร์บอน โดยแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) ซึ่งมีความแข็งแรงน้อย (McDOUGALL, 1991)

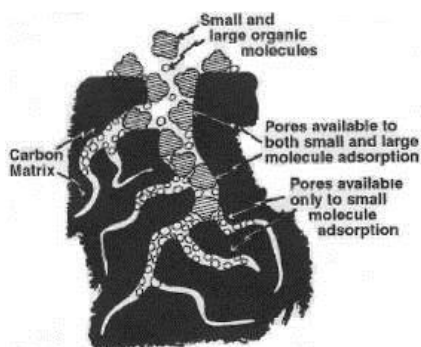


Figure 6 Illustrates the internal surface and concept of adsorption of activated carbon (บุญรักษา, 2016)

การใช้งานในปัจจุบันคือบรรจุในช่องขนาดเล็กหรือผสมลงในตัวบรรจุภัณฑ์เลย (Day, 2008) เมื่อประสิทธิภาพลดลงของถ่านกัมมันต์ลดลง สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำเพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ ออก (บุญรักษา, 2016) ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นจึงได้มีการวิจัยนำถ่านกัมมันต์มาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การทดลองนำถ่านกัมมันต์ชนิดผง ชนิดแกรนูลและชนิดเกล็ด บรรจุในถุงชาถุงละ 10 กรัม ใส่ในกล่องที่บรรจุมะม่วงน้ำดอกไม้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 1 °C 95 ± 2 %RH นาน 37 วัน เปรียบเทียบกับการรม 1-MCP และใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า พบว่าถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดให้ผลการยืดอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และยังไม่ดีเท่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและ 1-MCP (ศักยะ และคณะ, 2555) การผสมผงถ่านกัมมันต์กับเชื้อกระดาษลอนลูกฟูกเก่าเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาด้วยหอมทองและมะม่วงน้ำดอกไม้ พบว่าผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25% โดยน้ำหนักเชื้อ ให้ผลการทดลองดีที่สุด คือ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาด้วยหอมทองได้ 21 วัน และเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้ 18 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (สุพรรณ, 2550) การศึกษากระดาษชะลอสุกจากเชื้อยูลาคาลิปต์สโดยเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 25% ของน้ำหนักเชื้ออบแห้งร่วมกับสารยับยั้งเชื้อรา พบว่าช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ได้นาน 30 วัน ที่อุณหภูมิ 13 °C 90 ± 5 %RH (สุพรรณ, 2554) และการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากฟางข้าวโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับเอทิลีน พบว่าการเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักเชื้อ ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับก๊าซเอทิลีนได้สูงที่สุด 77% (Sothornvit and Sampoompuang, 2012) และการเคลือบสารดูดซับเอทิลีนที่มีผงถ่านกัมมันต์เป็นส่วนประกอบบนแผ่นกระดาษกันกระแทก พบว่าช่วยยืดอายุด้วยหอมทองได้ 18 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 25 °C 60 ± 5 %RH (อภิญา และคณะ, 2554) เป็นต้น และในปัจจุบันได้มีการผลิตบรรจุภัณฑ์ดูดซับเอทิลีนที่ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับออกมาจำหน่ายแล้วทั้งในรูปแบบของฟิล์มและกระดาษ เช่น บริษัท Honshu Paper Ltd. ประเทศญี่ปุ่น ได้ผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนออกมาจำหน่ายในชื่อ Hatofresh (Day, 2008) แต่ยังคงมีราคาสูง

เงาะเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากมีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554) ที่มีการส่งออกเงาะผลสดเพิ่มขึ้นจาก 5,347 ตัน มูลค่า 69.70 ล้านบาท ในปี 2552 เป็น 7,822 ตัน มูลค่า 93.02 ล้านบาท ในปี 2553

และเพิ่มขึ้นเป็น 12,027 ตัน มูลค่า 124.82 ล้านบาท ในปี 2554 แต่เป็นเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับการบริโภคภายในประเทศและผลผลิตทั้งหมด ซึ่งหากพิจารณาเฉพาะในปี 2554 พบว่ามีการส่งออกเงาะผลสดเพียง 3.90% ของผลผลิตทั้งหมด ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้การส่งออกเงาะมีปริมาณน้อย คือ เงาะเป็นผลไม้ที่มีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยเมื่อเก็บเงาะไว้ที่อุณหภูมิห้องเปลือกและขนจะเหี่ยวและแห้งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือดำภายในเวลา 4-5 วัน (Landrigan, *et al.*, 1994) เกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็วไม่ทนทานต่อการขนส่ง ซึ่งผลจากการส่งออกได้น้อย เน่าเสียอย่างรวดเร็ว และผลผลิตออกสู่ตลาดพร้อมๆ กันจึงทำให้เกิดปัญหาเงาะราคาตกต่ำในทุกปี

ในปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดมากขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณการส่งออก ซึ่งการวิจัยโดยมากนิยมบรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดต่างๆ เช่น นิลวอร์มและคณะ (2551) ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดให้ยาวนานขึ้นเพื่อการส่งออกทางเรือ ทดสอบโดยใช้เงาะผลสดระยะ 3 สี คือ ปลายขนสีเขียว โคนขนสีแดง และผิวเปลือกเงาะสีเหลืองปนแดง ขนาด 28-31 ผล/กิโลกรัม เก็บเกี่ยวแบบไม่ให้ปลายขนเงาะหักชำล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดและสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 200 ppm ร่วมกับสารป้องกันกำจัดเชื้อรา แล้วผึ่งให้แห้งในที่ร่ม จากนั้นบรรจุในถุง LDPE (low density polyethylene) ที่มีค่า OTR (oxygen transmission rate) 10,000-12,000 ml/m²/day, CTR (Carbon dioxide transmission rate) 30,000 -36,000 ml/m²/day และค่า WVTR (water vapor transmission rate) 5.74 ml/m²/day เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 14 °C สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ 14-18 วัน และสามารถขนส่งทางเรือในตู้ขนส่งตู้ควบคุมอุณหภูมิ 14 °C ไปยังประเทศจีนโดยใช้เวลา 6-11 วัน ได้ โดยคุณภาพผลเงาะสดที่ปลายทางยังคงสดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สิริกานต์และเบญจมาศ (2552) ได้ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาเงาะโรงเรียน ซึ่งในการวิจัยได้ใช้เงาะผลสดระยะ 3 สี ทำความสะอาดเงาะด้วยน้ำสะอาดและน้ำสบู่อ่อนแล้วผึ่งให้แห้ง บรรจุในถุงพลาสติกชนิดต่างๆ พบว่าการบรรจุในถุงชนิด LDPE, LLDPE (linear low density polyethylene) ที่มีความหนา 5 ไมครอน และถุง active packaging ชนิด M4 ที่มีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 12,000 cm³/m²/day ที่อุณหภูมิ 13 °C ช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเงาะและรักษาคุณภาพเงาะได้นาน 16 วัน และคุชฎีและคณะ (2554) รายงานว่าการเก็บเงาะที่อุณหภูมิ 13 °C บรรจุในถุงพอลิเอทิลีน (PE) ชนิดเอกทีพีและถุง PE ทัวไปเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร จำนวน 4 8 และ 12 รู สามารถเก็บรักษาเงาะได้ 15 วัน โดยถุง PE ชนิดเอกทีพีช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีขนและการเกิดโรคได้ แม้บรรจุภัณฑ์หลายชนิดจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาก็คือขยะจากบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวในข้างต้น ซึ่งในอนาคตการใช้พลาสติกหรือบรรจุภัณฑ์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติจะถูกนำมาเป็นข้อจำกัดทางการค้า ดังนั้นหากสามารถใช้ถุงพลาสติกชีวภาพมาบรรจุและยืดอายุการเก็บรักษาเงาะได้ จะเป็นการช่วยลดข้อกีดกันทางการค้าที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต

จากข้อมูลข้างต้นจึงมีแนวคิดในการนำวัสดุเหลือใช้และผลิตผลทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า โดยการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ได้แก่ การผลิตเป็นแผ่นใยอัด โดยนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรมาสกัดเอาเส้นใย แล้วอัดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮดรอลิกโดยไม่ใช้กาว เดิมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อยทางการค้า การผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีน โดยใช้เส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรทำแผ่นกระดาษ และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซ แล้วประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลเกษตร การผลิตพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดยนำเปลือกทุเรียนมาสกัดเซลลูโลสแล้วสังเคราะห์เป็นซีเอ็มซี เพื่อผลิตเป็นแผ่นฟิล์มซึ่งละลายน้ำได้ โดยเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ ทดสอบการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ และทดสอบการย่อยสลายได้ของฟิล์ม

นอกจากนี้ยังศึกษาองค์ประกอบของเนื้อผักและผลไม้ที่เหมาะสมในการผลิตเป็นฟิล์มบิโกลได้ โดยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มด้วยไฮโดรคอลลอยด์ และไซลิทอลในปริมาณต่างๆ เพื่อให้สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์บิโกลได้สำหรับอาหาร และการนำสตาร์ชหรือแป้งมันสำปะหลังมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ โดยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มให้แข็งแรงขึ้นด้วยการผสมกับไคโตซาน และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม พร้อมทดสอบศักยภาพการเป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์

รวมถึงการหาชีวมวลอื่นๆ มาผลิตพลาสติกชีวภาพ เพื่อลดการใช้วัตถุดิบจากแหล่งอาหาร โดยคัดแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์ หรือไซยาโนแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการสะสมพอลิเมอร์ไว้ในเซลล์ ตลอดจนศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้ชีวมวลสูง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการสกัดใช้เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพต่อไป ตลอดจนศึกษาบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพทางการค้าทั้งเดิมและไม่เติมสารเติมแต่ง เพื่อดูประสิทธิภาพในการยืดอายุและเก็บรักษาเงาะผลสด ซึ่งหากสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้จะช่วยลดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวได้ทางหนึ่ง

งานวิจัยทั้งหมดจะเป็นประโยชน์แก่เกษตรกร ภาคการศึกษาและภาคเอกชนในการนำไปใช้ประโยชน์และพัฒนาต่อไป ทั้งยังตอบสนองต่อความต้องการใช้วัสดุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและป้องกันการกีดกันทางการค้าที่มีโช่งภัยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ลดการนำเข้าสินค้าและเทคโนโลยีที่มีราคาสูง ทั้งยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและประเทศ รวมถึงการช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศให้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกมากขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย: กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2553 – กันยายน 2558

อุปกรณ์และสารเคมี

1. วัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมการเกษตร ได้แก่ เปลือกทุเรียนจากตลาดไท และต้นกล้วยจาก ศูนย์วิจัยพืชสวนสุโขทัย และกองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป ผลิตผลเกษตร
2. ผลิตผลเกษตร ได้แก่ มันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที กล้วยน้ำว้า แครอท มะม่วง กะหล่ำปลีแดง และ มะเขือเทศ จากตลาดไท
3. งานชานอ้อยทางการค้า
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide pellet, RPE-ACS)
5. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide 30%, Fisher)
6. โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate, Riedel-de Haen)
7. แมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium Sulfate, Laboratory reagent grade, Fisher Scientific)
8. อัลคิลลิทีนไคเมอร์; AKD (Eka DR D10, Eka Chemicals (Thailand) Ltd.)
9. เพคตินชนิดเมทอกซิลสูง (High Methoxyl Pectin, Food Grade, เคมีภัณฑ์)
10. โซเดียมแอลจินเนต (Sodium Alginate, Food Grade, รวมเคมี)
11. ซิลิทอล (Xylitol, Food Grade, รวมเคมี)
12. ไคโตซาน เกรดห้องปฏิบัติการ
13. กรดอะซิติก (Acetic acid 100%, Merck)
14. ซorbitol (D-Sorbitol \geq 98%, Sigma-Aldrich)
15. กลีเซอรอล (Glycerol, AR Grade, Fisher Scientific)
16. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ DPPH Trolox
17. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเพคติน ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid)
18. แคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (Calcium chloride anhydrous) ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)
19. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Charcoal Activated Powder QR, Panreac)
20. ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด (Activated Charcoal untreated, granular, Sigma-Aldric)
21. ถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง (Activated Charcoal Norit[®], rod, Sigma-Aldric)
22. พอลิบิวทิลีนซัลเฟต (PBS)
23. พลาสติกชีวภาพ มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®] เกรดฟิล์ม
24. ลูกอมถั่วกะทิ
25. โถดูดความชื้น
26. ตะแกรงสแตนเลสสำหรับแยกเซลล์ูโลส
27. ตะแกรงสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว ขนาดช่องตะแกรง 300 เมช สำหรับเตรียม ตัวอย่างก่อนอัดขึ้นรูป (Preform)

28. แม่พิมพ์ขนาด 6×6 ตารางนิ้ว
29. แม่พิมพ์รูปจานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว
30. กระดาษซับน้ำ Blotting Paper 250±10 grammage, Gurley
31. เครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ Sheet Former “Tappi” semi-automatic, Xell GmbH
32. เครื่องอัดแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ Automatic Sheet Press according to TAPPI and SCAN, FRANK-PTI
33. เครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮดรอลิก WABASH, บริษัท Intro Enterprise Co., Ltd.
34. เครื่องอัดขึ้นรูประบบไฮดรอลิก En Mach Tablet Press
35. เครื่องหั่นย่อย robot coupe, CL60 บริษัท C.L. Foods
36. เครื่องปั่นเอนกประสงค์ MOULINEX รุ่น DP705G
37. ตู้อบลมร้อน KOTTERMANN 2736
38. ตู้อบแห้งระบบหมุนเวียนอากาศ Cabinet Tray drier บริษัท ยูซิคอร์ป จำกัด
39. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง Mettler AE200
40. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง Mettler RM480 DeltaRange
41. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า Magnetic Multistirrer, SBS A-08 Series B
42. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง พีเอช Meter UB-10, Denver Instrument
43. เครื่องวัดสี Konica Minolta Chroma meter: Model: CR-400
44. เครื่องวัดขนาด เวอร์เนีย: SOMET
45. เครื่องวัดความหนา Dial Thickness Gauge, MOORE & WEIRHT
46. เครื่องวัดความชื้น Sartorius ME model
47. เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนแบบมือกด ZHENGXIONG, Model:FS-300
48. เครื่องบดขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร Armfield, Retsch Muhle
49. เครื่องคั้นน้ำกะทิ Hydraulic Machine to Press Coconut milk, Model :12 turboเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ Novasina รุ่น TH 200
50. เครื่อง Universal Testing Machine , Instron model 3345
51. เครื่อง UV Spectrophotometer Shimudzu UV-2600
52. เครื่องปั่นผสมอาหารเอนกประสงค์ (Phillip)
53. เครื่องวัดอุณหภูมิ
54. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
55. เครื่องดูดจ่ายสารเคมีอัตโนมัติ (Auto-pipette)
56. เครื่องวัดจำนวนเซลล์ (Haemacytometer)

57. เครื่องวัดความเข้มของแสง
58. เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง
59. เครื่องเขย่า
60. กล้องจุลทรรศน์
61. แผ่นอะคริลิกสำหรับขึ้นรูป (ขนาด 30×30×0.4 เซนติเมตร)
62. ถ้วยอลูมิเนียม (Aluminium can)
63. พอลิแลคติกแอซิด (PLA)
64. ถุงผ้าคั้นน้ำกะทิ
65. ถังพลาสติกมีฝาปิด ขนาด 10 ลิตร
66. หม้อนึ่งฆ่าเชื้ออัดความดัน
67. ตาข่ายแพลงก์ตอน ขนาด 45 ไมโครเมตร
68. หลอดฟลูออเรสเซนส์
69. บั้มอากาศ
70. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
71. อุปกรณ์เย็บเชือก (loop)
72. สารเคมีอื่นๆ ได้แก่ KNO_3 , MnCl_2 , Citric acid, K_2HPO_4 , ZnSO_4 , H_3BO_3 , MgSO_4 , CuSO_4 , KOH , CaCl_2 , CoCl_2 , HCl , Na_2MoO_4 , Fe citrate, Dimethyl sulfoxide (DMSO), Methanol, Ethanol, Chloroform, Sulfuric acid, Hexane, Acetonitrile, Nigrosin, Sudan Black B และ Xylene

วิธีการดำเนินการ

กิจกรรมนี้ประกอบด้วย 7 การทดลอง ซึ่งทั้ง 7 การทดลองมีวิธีการดำเนินแตกต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 1 วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

1. คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

นำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่สนใจมาศึกษาคุณสมบัติ และคัดเลือกเพื่อนำไปศึกษาต่อ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่อไปนี้

1.1) คุณสมบัติและองค์ประกอบของวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร ทดสอบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดังต่อไปนี้

- a) ขนาดเส้นใย ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T233: 2006
- b) โสไลเซลล์ูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI Section
- c) อัลฟ่าเซลล์ูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 203 cm-99
- d) เบต้าเซลล์ูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 203 cm-99

- e) แกมมาเซลลูโลส ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 203 cm-99
- f) ลิกนิน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 222 cm-02
- g) เพนโตซาน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 223 cm-01
- h) ปริมาณเถ้า ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 211 cm-02
- i) การละลายในน้ำร้อน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 207 cm-99
- j) การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซีน ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T211cm-02
- k) การละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI T 221 cm-02

คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่มีเส้นใยยาว มีปริมาณเซลลูโลสสูง และมีสารแทรกน้อย

1.2) ศึกษาปริมาณเส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร เมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามวิธีของศิริพรและคณะ (2555) โดยนำวัสดุเหลือใช้ที่คัดเลือกจากข้อ 1.1) มาทำล้างด้วยน้ำสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยเครื่องหั่นย่อย อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C จากนั้นนำมาเตรียมเส้นใย ดังนี้

a) เตรียมเส้นใยไม่ฟอก: นำวัสดุเหลือใช้ที่แห้งแล้วมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง ปั่นด้วยเครื่องปั่นเอนก ประสงค์จนเส้นใยแยกออกจากกัน บีบน้ำออก อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

b) เตรียมเส้นใยฟอก: นำเส้นใยไม่ฟอกมาต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟตปริมาณ 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักเส้นใย ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

คำนวณปริมาณเส้นใยที่เตรียมได้ แล้วคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่ให้ปริมาณเส้นใยสูงและเตรียมตัวอย่างได้ง่ายไปศึกษาต่อ

2. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป

นำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่คัดเลือกได้จากข้อ 1. มาศึกษาต่อ โดย

2.1) เตรียมเส้นใยตามวิธีตามวิธีของศิริพรและคณะ, 2555 ดังข้อ 1.2)

2.2) เตรียมแผ่นเส้นใยก่อนขึ้นรูป (Preform) ทั้งเส้นใยฟอกและไม่ฟอก โดยนำเส้นใยจากข้อ 2.1) ปริมาณ 10 กรัม เติมน้ำ 1000 มิลลิลิตร ปั่นให้เส้นใยกระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ จากนั้นนำไปเทบนตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว (300 มม) กระจายเส้นใยให้สม่ำเสมอ ทิ้งไว้ให้หมาดแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 °C ดัง Figure 7

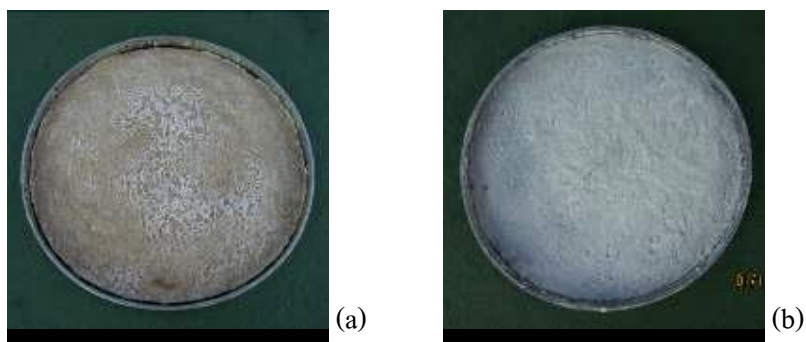


Figure 7 Preparation of preform: a) unbleached fiber and b) bleached fiber

2.3) เตรียมแผ่นใยอัด โดยนำแผ่น preform ที่แห้งแล้ว (Figure 8) มาวางบนแม่พิมพ์ขนาด 6×6 ตารางนิ้ว หนา 4 mm. อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก WABASH ที่ความดัน 22.5 T/cm² เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปตามกรรมวิธีดังแผนการทดลองต่อไปนี้

วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 8 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C

กรรมวิธีที่ 2 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C

กรรมวิธีที่ 3 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180 °C

กรรมวิธีที่ 4 เส้นใยฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 °C

กรรมวิธีที่ 5 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 °C

กรรมวิธีที่ 6 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 °C

กรรมวิธีที่ 7 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 180 °C

กรรมวิธีที่ 8 เส้นใยไม่ฟอก อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 °C



Figure 8 Illustrates the preform after dried at 55 °C

นำแผ่นใยอัดไปทดสอบคุณสมบัติ เพื่อคัดเลือกกรรมวิธีที่เหมาะสม ดังนี้

a) ความหนา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: วัดด้วยเครื่องวัดความหนา โดยวัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 mm.

b) ความหนาแน่น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: ตัดตัวอย่างขนาด $40 \times 40 \text{ mm}^2$ ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม วัดความหนาตรงจุดกึ่งกลางของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดความหนา วัดความกว้างและความยาวด้วยเวอร์เนียร์ นำไปคำนวณค่าดังนี้

$$\text{ความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)} = \frac{m}{V} \times 10^6$$

เมื่อ m = น้ำหนักตัวอย่าง (g) และ V = ปริมาตรตัวอย่าง (mm^3)

c) ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: ตัดตัวอย่างขนาด $40 \times 40 \text{ mm}^2$ ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำไปชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ (m_1) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ เก็บให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังอบ (m_2) นำไปคำนวณค่าดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

d) การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน JIS A 5906-1994: ตัดตัวอย่างขนาด $40 \times 40 \text{ mm}^2$ ตัวอย่างละ 5 ชิ้น นำไปชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ (W_1) จากนั้นแช่ตัวอย่างในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชม. โดยตั้งตัวอย่างให้ได้จากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 mm. แต่ละชิ้นต้องห่างกันและห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 mm. จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นมาชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำ (W_2) โดยไม่ต้องซับน้ำ จากนั้นนำไปคำนวณค่า ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

e) การพองตัวทางความหนาตาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547: ตัดตัวอย่างขนาด $40 \times 40 \text{ mm}^2$ ตัวอย่างละ 5 ชิ้น ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาที่บริเวณกึ่งกลางของขอบตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน วัดความหนาก่อนแช่น้ำ (t_1) จากนั้นแช่ตัวอย่างในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชม. โดยตั้งตัวอย่างให้ได้จากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 25 mm. แต่ละชิ้นต้องห่างกันและห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 mm. จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นมาซับน้ำที่ผิวนอกให้หมดด้วยผ้าหมาด วัดความหนาที่ตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ (t_2) นำไปคำนวณค่า ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การพองตัวทางความหนา} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

3. การศึกษาปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

เตรียมแผ่นเส้นใยก่อนขึ้นรูป (preform) โดยนำเส้นใย 10 กรัม เติมน้ำ 1000 มิลลิลิตร ปั่นให้เส้นใยกระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ เติมน้ำสารกันซึมชนิดอัลคิลคีทีนไดเมอรั (AKD) โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB แปรปริมาณ AKD 5 ระดับ คือ 1.25 2.50 3.00 4.00 และ 5.00% โดยน้ำหนักเส้นใย จำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นกวนให้สารกันซึมกระจายตัว นำไปเทบนตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว (300 เมช) กระจายเส้นใยให้สม่ำเสมอ ทิ้งไว้ให้หมาดดัง Figure 1 แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55 °C นำแผ่น preform มาทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน JIS A 5906-1994 ทดสอบการดูดซึมน้ำแบบ Drop test ตามมาตรฐาน มอก.321-2530 และทดสอบการพองตัวทางความหนาตามมาตรฐาน มอก. 966-2547 เพื่อคัดเลือกรูปแบบสารกันซึมที่เหมาะสม

4. ผลิตแผ่นใยอัดเป็นบรรจุภัณฑ์ (กรณีศึกษางาน)

เตรียมแผ่นเส้นใยก่อนขึ้นรูป (preform) โดยเติมน้ำสารกันซึมตามปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 3. จากนั้นนำ preform มาวางในแม่พิมพ์รูปงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว (Figure 9) อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบอัตโนมัติ En Mach Tablet Press ที่ความดัน 150 bar เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 2. จากนั้นนำงานใยอัดไปทดสอบคุณสมบัติ



Figure 9 Illustrates the compression mold

5. ทดสอบคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์จากใยอัด (กรณีศึกษางาน)

ทดสอบคุณสมบัติของงานใยอัดจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมเกษตรเปรียบเทียบกับงานชานอ้อยทางการค้า ดังนี้

- a) ความหนา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- b) ความหนาแน่น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- c) ปริมาณความชื้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- d) การดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน JIS A 5906-1994
- e) การพองตัวทางความหนาตาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 966-2547
- f) ความต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97

(Reapproved 2002) Tensile Properties of Paper Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123

- g) ความต้านแรงกด: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ASTM D 642-00 (Reapproved 2010) Determining Compressive Resistance of Shipping Containers Components, and Unit Loads ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123
- h) ความต้านแรงทิ่มทะลุ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน TAPPI T 803 om-06 Puncture Test of Container board
- i) ความต้านแรงคั่นทะลุ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ISO 2759-2001(E) Board-Determination of bursting strength ด้วยเครื่อง Mullen Tester
- j) การดูดซึมน้ำแบบ Drop test: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน มอก. 321-2530 การทำกระดาษลูกฟูก

6. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตงานใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร เปรียบเทียบกับงานชานอ้อยตามท้องตลาด

การทดลองที่ 2 วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

1. ศึกษาชนิดของเส้นใยที่เหมาะสม

1.1 เตรียมเส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่นำมาใช้ คือ เปลือกทุเรียน เริ่มจากนำเปลือกทุเรียนมาล้างด้วยน้ำสะอาด หั่นให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหั่นย่อย จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55-60 °C นำไปเตรียมเส้นใยตามวิธีของศิริพร และคณะ (2556) ดังนี้

1.1.1 เตรียมเส้นใยไม่ฟอก: นำวัสดุเหลือใช้ที่แห้งแล้วมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง บั่นด้วยเครื่องบั่นเอนกประสงค์จนเส้นใยแยกออกจากกัน บีบน้ำออก อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

1.1.2 เตรียมเส้นใยฟอก: นำเส้นใยไม่ฟอกมาต้มที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 20 นาที ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 30% เดิมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต ปริมาณ 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักเส้นใย ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์ ล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C

1.2 ขึ้นรูปแผ่นกระดาษ

นำเส้นใยที่เตรียมได้จากข้อ 1 ทั้งชนิดฟอก และไม่ฟอก มาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษให้มีน้ำหนักมาตรฐาน 55±5 กรัมต่อตารางเมตร ตามคุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษห่อของตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) โดยนำเส้นใยมาแช่น้ำปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชม. เพื่อให้เส้นใยเกิดการพองตัว จากนั้นเติมน้ำอีก 750 มิลลิลิตร เติมนสารกันซึมชนิดอัลคิลทีนไคเมอร์ (AKD) 3% โดยน้ำหนักเส้นใย ปั่นเส้นใยให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่นกระดาษด้วยเครื่องขึ้นแผ่นกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยตั้งเวลาในการเติมน้ำ 40 วินาที เวลาในการกวน 8 วินาที และเวลาในการเซตตัว 5 วินาที แล้วนำไปอัดแผ่นที่แรงดัน 0.8 บาร์ เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปทำให้เรียบด้วยเครื่องอัดแผ่นกระดาษแบบอัตโนมัติ ที่แรงดัน 3.5 บาร์ 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 นาที และ 2 นาที ตามลำดับนำไปผึ่งให้แห้ง จะได้กระดาษจากเปลือกทุเรียน

1.3 ทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

นำกระดาษที่เตรียมได้จากข้อ 1.2 ไปทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ดังนี้

- a) น้ำหนักมาตรฐาน คัดแปลงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 170-2550
- b) ปริมาณความชื้น ทดสอบด้วยเครื่องวัดความชื้น (Moisture Balance)
- c) การดูดซึมน้ำ แบบ Drop test: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน มอก. 321-2530 การทำกระดาษลูกฟูก
- d) ความต้านแรงฉีกขาด: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ISO 1974-2012(E) Paper-Determination of testing resistance (Elmendorf method)
- e) ความต้านแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D 828-97 (Reapproved 2002) Tensile Properties of Paper Using Constant-Rate-of-Elongation Apparatus
- f) ความต้านแรงดันทะลุ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย วว. ตามมาตรฐาน ISO 2758-2001(E) Paper-Determination of bursting strength

2. ศึกษาชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ถ่านกัมมันต์ที่ใช้เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนมี 3 ชนิด คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

2.1 เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน

นำเส้นใยที่คัดเลือกได้จากข้อ 2. มา 1.25-1.26 กรัม (สำหรับกระดาษ 55±5 แกรม) แช่น้ำปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชม. เพื่อให้เส้นใยเกิดการพองตัว จากนั้นเติมน้ำอีก 750 มิลลิลิตร เติมน้ำถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ ปริมาณ 25% โดยน้ำหนักเยื่อ (ปริมาณที่ดีที่สุดจากการทดลองของ สุพัฒน์, 2550) ปั่นเส้นใยและถ่านกัมมันต์ให้กระจายตัวด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปเตรียมเป็นแผ่นกระดาษตามวิธีในข้อ 1.2 จะได้กระดาษดูดซับเอทิลีน

2.2 ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ

นำกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 ไปทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 4 กรรมวิธี โดยแปรชนิดของกระดาษห่อมะม่วง คือ กระดาษไม่เติมถ่านกัมมันต์ กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด และกระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง โดยนำผลมะม่วงวางบนกระดาษดูดซับเอทิลีนผลละ 1 แผ่น และหุ้มด้วยโฟมตาข่าย ดัง Figure 10 จากนั้นบรรจุใส่กล่องวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงทุก 2 วัน เป็นเวลา 10 วัน ดังนี้ ลักษณะภายนอก ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และน้ำหนักที่เปลี่ยนไป จากนั้นคัดเลือกชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมคือช่วยรักษาคุณสมบัติทางกายภาพของมะม่วงได้ดีที่สุด ไปใช้ทดลองในขั้นต่อไป



Figure 10 Illustrates the mango storage with ethylene absorber paper

3. ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

3.1 เตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีน

เตรียมกระดาษเช่นเดียวกับข้อ 2.1 เติมถ่านกัมมันต์ชนิดที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 2. ในปริมาณต่างๆ ตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 3 ซ้ำ 5 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 กระดาษไม่เติมถ่านกัมมันต์

กรรมวิธีที่ 2 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย

กรรมวิธีที่ 3 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 15% โดยน้ำหนักเส้นใย

กรรมวิธีที่ 4 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 25% โดยน้ำหนักเส้นใย

กรรมวิธีที่ 5 กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 35% โดยน้ำหนักเส้นใย

3.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีน

ทำการทดสอบเช่นเดียวกับข้อ 1.3

3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ

นำกระดาษดูดซับเอทิลีนที่เตรียมได้จากข้อ 3.1 ไปทดสอบการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ น้ำดอกไม้เบื่องต้น ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 6 กรรมวิธี โดย

- 1) กรรมวิธีที่ 1-5 แปรชนิดของกระดาษห่อมะม่วงตามข้อ 3.1 โดยนำผลมะม่วงวางบนกระดาษดูดซับเอทิลีนผลละ 1 แผ่น และหุ้มด้วยโฟมตาข่าย จากนั้นบรรจุในกล่องวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- 2) กรรมวิธีที่ 6 ใช้สารกำจัดเอทิลีนทางการค้า โดยนำผลมะม่วงหุ้มด้วยโฟมตาข่าย และบรรจุในกล่องที่มีสารกำจัดเอทิลีนทางการค้าจำนวน 2 ซอง วางไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- 3) เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมะม่วงทุกๆ 2 วัน เป็นเวลา 14 วัน ดังนี้ ลักษณะภายนอก ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และน้ำหนักที่เปลี่ยนไป

4. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ทางอุตสาหกรรมเกษตร เปรียบเทียบกับสารกำจัดเอทิลีนทางการค้า

การทดลองที่ 3 การผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพจากจุลินทรีย์

1. การเก็บตัวอย่างและคัดแยกเชื้อไซยาโนแบคทีเรีย

1.1 การเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

การทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่เจริญและลอยอยู่ในผิวน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าตาข่ายแพลงก์ตอนขนาด 20 ไมโครเมตร ที่ปลายตาข่ายจะมีกระบอกสำหรับเก็บตัวอย่างเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย วิธีการใช้งานตาข่ายแพลงก์ตอน ให้ใช้มือที่ไม่ถนัดจับที่ปลายเชือก ส่วนมือที่ถนัดให้จับตาข่ายแพลงก์ตอนโยนไปในบริเวณตัวแทนของแหล่งน้ำที่ต้องการเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างน้ำลงในภาชนะเก็บตัวอย่างขนาด 250 มิลลิเมตร แช่เย็นไว้ในภาชนะบรรจุน้ำแข็งที่เตรียมไว้เพื่อนำมาเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนเซลล์ให้ห้องปฏิบัติการต่อไป

1.2 การเก็บตัวอย่างจากรากปรัง

การทดลองในครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมรากคอร์ลลอยด์ซึ่งเป็นรากของต้นปรังที่เจริญขึ้นมาเหนือผิวดิน นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ แล้วนำส่วนปลายราก (Root tip) ของรากคอร์ลลอยด์มาผ่าออกตามแนวขวาง ใช้เข็มเย็บเย็บเอาส่วนที่เป็นสีเขียวบริเวณ Cyanobacterial zone ด้วยเทคนิคที่ปลอดเชื้อ แล้วนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 เพื่อขยายจำนวนเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย

1.3 การเพิ่มจำนวนตัวอย่างเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย

การทดลองนี้ใช้อาหารเหลวสูตร BG-11 ซึ่งเป็นอาหารสูตรมาตรฐานสำหรับเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย โดยนำชุดตัวอย่างจากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 มาเพาะเลี้ยงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีอาหารสูตร BG-11 ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 250 มิลลิลิตร ให้อากาศที่ผ่านการกรองจากปั๊มให้อากาศเป็นเวลา

30-60 วัน หรือจนกว่าตัวอย่างนั้นๆจะมีสีเขียวหรือสีเขียวก่อนน้ำเงิน

2. การคัดแยกไซยาโนแบคทีเรีย

เมื่อเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนเซลล์ที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งต่างๆแล้ว ตามขั้นตอนที่ 3.1.3 นำตัวอย่างที่ได้มาทำการคัดแยกเซลล์เพื่อให้ได้ตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียที่เป็นเซลล์เดี่ยวสายพันธุ์ที่มีความบริสุทธิ์ โดยใช้วิธีคูดอกโดยใช้ไมโครปิเปตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ยูวดี, 2546) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 2.1 เจือจางปริมาณเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียด้วยอาหารสูตร BG-11 ที่หยดบนแผ่นกระจกสไลด์ 3-5 ครั้ง
- 2.2 นำแผ่นสไลด์หลุมที่มีไซยาโนแบคทีเรียมาหาตัวเซลล์ที่เป็นสายพันธุ์ที่พบเป็นหลักๆในแต่ละแหล่ง (Dominant species) ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า
- 2.3 จุ่มปลายไมโครปิเปตที่ดึงเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียจากข้อ 2 ลงในอาหารเหลวที่หยดไว้บนแผ่นสไลด์แผ่นใหม่โดยใช้ จุกยางสวมที่ปลายไมโครปิเปต บีบอาหารเหลวที่มีเซลล์ออก จากนั้นตรวจดูเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยวิธีการเดียวกับที่กล่าวมาตามข้อ 2 จนได้เพียง 1 เซลล์ แล้วจึงย้ายไปลงในอาหารเหลวสำหรับเพาะเลี้ยงต่อไป

3. การเก็บรักษาสายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่คัดแยกได้

นำหัวเชื้อไซยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่คัดแยกได้จากข้อ 3.2 ปริมาณ 2 มิลลิลิตร มาเก็บรักษาไว้ในหลอดแช่แข็ง (Cryotube) ซึ่งภายในหลอดมีสารละลาย 20% ไดเมทิลซัลไฟด์ (Dimethyl sulfoxide, DMSO) ในสภาพปลอดเชื้อ โดยนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

4. การคัดเลือกไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพได้

นำตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่แยกได้มาคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีคุณสมบัติในการสะสมพอลิเมอร์ไว้ในเซลล์สูง โดยใช้เทคนิคการย้อมด้วยสีซูดาน แบลค บี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า ซึ่งวิธีการย้อมด้วยสี Sudan Black B (ดัดแปลงจาก Burdon, 1946)

- 1) เตรียมแผ่นฟิล์มของเซลล์จูลินทรีย์หรือไซยาโนแบคทีเรียบนแผ่นสไลด์ โดยนำเซลล์มาหยดลงบนแผ่นสไลด์ที่สะอาด ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วตรึงรอยแผ่นฟิล์มหรือรอยเสมีร์ด้วยเปลวไฟ
- 2) จุ่มแผ่นสไลด์ในสารละลาย 0.3% ซูดาน แบลค บี ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที
- 3) ล้างสีในส่วนที่เกินออกด้วยน้ำสะอาดหรือจุ่มใน Xylene หลายๆครั้ง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง
- 4) ย้อมทับด้วยสารละลาย 0.5% safranin ในน้ำกลั่น เป็นเวลา 10 วินาที
- 5) ล้างแผ่นสไลด์ด้วยน้ำสะอาดแล้วซับให้แห้ง แล้วหาปริมาณพอลิเมอร์ที่สะสมในเซลล์สำหรับด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100X (จะสังเกตเห็นเป็นเม็ดสีน้ำเงินเข้มหรือจุดดำภายในเซลล์)

5. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย

5.1 การเตรียมกล้าเชื้อตั้งต้น (Starter culture)

นำไซยาโนแบคทีเรียที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.4 มาเพาะเลี้ยงในระดับห้องปฏิบัติการโดยเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเหลวสูตรมาตรฐาน BG-11 ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เขย่าด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด cool white ในอัตรา 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีระดับความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักซ์ และอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส จนเชื้อเจริญเข้าสู่ระยะ log phase หรือวัดค่าความขุ่นได้ประมาณ 0.3 ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

5.2 การเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย

นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากข้อ 3.5.1 มาศึกษาอัตราการเจริญเติบโตด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงแบบกะ ในระดับฟลาस्क (Flask scale) ขนาด 5 ลิตร ด้วยอาหารเหลวสูตรมาตรฐาน BG-11 โดยมีการศึกษากรรมวิธีการให้แสง 2 กรรมวิธี ได้แก่

- 1) การเพาะเลี้ยงแบบให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์; เพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียภายในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส โดยให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Cool white ที่มีความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ในอัตรา 12 ชั่วโมงต่อวัน
- 2) การเพาะเลี้ยงแบบให้แสงจากแสงแดด; เพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียนอกห้องปฏิบัติการ ในบริเวณที่มีแสงแดดส่องได้ทั่วถึงตลอดวัน บันทึกอุณหภูมิและความเข้มของแสงทุกวัน วันละ 3 ครั้ง คือ เวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น.

5.3 การติดตามการเจริญเติบโต

ตลอดกระบวนการเพาะเลี้ยงทั้ง 2 กรรมวิธีนี้จะเก็บตัวอย่างเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน โดยมีวิธีการติดตามการเจริญเติบโตดังนี้

- 1) การวัดความหนาแน่นของเซลล์ ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร
- 2) การนับจำนวนเซลล์ โดยใช้แผ่นสไลด์นับจำนวนเซลล์ (Heamacytometer) ภายใต้วัดกล้องจุลทรรศน์ ที่มีกำลังขยาย 40X
- 3) การวัดน้ำหนักเซลล์แห้ง โดยเก็บตัวอย่างเซลล์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงขนาดเล็กที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ล้างตะกอนเซลล์ให้สะอาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในตู้ดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณน้ำหนักแห้ง

6. การสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพจากเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย (John et a., 1960)

นำชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงได้จากข้อ 3.5 มาสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพออกจากเซลล์และหาปริมาณพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly- β -hydroxybutyrate, PHB) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความ

ยาวคลื่น 235 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 6.1 นำชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรีย 1 กรัม เติมคลอโรฟอร์ม 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
- 6.2 นำไปบ่มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 6.3 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร
- 6.4 นำไปบ่มในน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 6.5 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 6.6 เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 235 นาโนเมตร

7. การเตรียมแผ่นฟิล์มเบื้องต้นโดยใช้เซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย

ศึกษาอัตราส่วนระหว่างเซลล์ชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียกับสารพลาสติกไซเซอร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 7.1 นำเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย 50 กรัม มาเติมกลีเซอรอลให้มีอัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15, 20, 30
- 7.2 ต้มกับน้ำสะอาดปริมาตร 140 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที
- 7.3 เทส่วนผสมลงในแผ่นเพลทแก้วแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 7.4 คึงแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ออกจากแผ่นเพลทแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ คือ ความหนา ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณความชื้น ค่าสี และค่าการละลายน้ำ

การทดลองที่ 4 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพสำหรับอาหาร

1. คัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ

นำผลิตภัณฑ์เกษตร ล้างน้ำสะอาด ปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก หนึ่งประมาณ 20 นาทีหรือจนกว่าเนื้อนุ่ม นำไปบดละเอียด

1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

1.1.1 ความเป็นกรดเบส

1.1.2 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (1990)

1.1.3 ปริมาณเพคติน ในรูปแคลเซียมเพคเตต ตามวิธีของ Ruck (1995)

ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยค่อยเติมน้ำกลั่นทดแทนส่วนที่ระเหย จากนั้นปรับปริมาณเป็น 500 มิลลิลิตร แล้วกรองแยกส่วนใสออกมา

นำตัวอย่างใส 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นเติมสารละลายกรดแอสซิดิกความเข้มข้น 1 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 นอร์มัล 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปต้มนาน 1

นาที่ กรองขณะร้อน ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นร้อน จนกว่าสารละลายใส ไม่เกิดตะกอนขาวเมื่อไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 1%

หาน้ำหนักของตะกอนเพคตินที่กรองได้ โดยอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสด้วย ตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังอบ นำมาคำนวณ เปอร์เซนต์แคลเซียมเพคเตตต่อน้ำหนักแห้งตัวอย่าง (จากข้อ 1.2.2) ดังนี้

$$\text{เปอร์เซนต์แคลเซียมเพคเตต} = \frac{\text{น้ำหนักแคลเซียมเพคเตต}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

1.1.4 ปริมาณเยื่อใย (Crude fiber) ตามวิธี AOAC (1990)

1.2 ศึกษาการเตรียมฟิล์มจากผลิตผลเกษตร คัดแปลงจาก McHugh (1996)

เตรียมวัตถุดิบที่ความเข้มข้น 20-40% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เติมน้ำจนมีปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร กวนด้วย magnetic stirrer ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 20 นาที หรือจนกว่าจะเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นอะคริลิกขนาด 30 x 30 เซนติเมตรหนา 4 เซนติเมตร อบแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 65±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วลอกแผ่นฟิล์มออกจากแผ่นอะคริลิก เปรียบเทียบความสามารถในการลอกออก โดยเลือกความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดของแต่ละชนิด ผลิตผลที่สามารถลอกออกได้

1.3 ทดสอบคุณสมบัติ

เตรียมฟิล์มตามความเข้มข้นที่ได้จากข้อ 1.3 เก็บฟิล์มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำไปมาทดสอบคุณสมบัติ ดังนี้

1.3.1 ความหนา (Thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนา

1.3.2 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity a_w)

1.3.3 ความชื้น คัดแปลงจาก AOAC (1990)

อบถ้วยอลูมิเนียม ที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนอย่างละเอียด 0.0001 กรัม ชั่งฟิล์ม 1.5 กรัม บันทึกน้ำหนัก (A_0) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ บันทึกน้ำหนัก (A_1) คำนวณค่าความชื้นตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซนต์ความชื้น} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

1.4 คัดเลือกผลิตผลที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

2. ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

เตรียมผลิตผลคัดเลือกตามข้อ 1 นำผลิตผล 60 กรัม เติมน้ำเติมน้ำตามกรรมวิธี โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 7 กรรมวิธี ดังนี้ แปรปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดคือ เพคตินชนิดเมทอกซิลสูง และ แอลจินेट เป็น 1.5%, 3% และ 4.5% โดยน้ำหนักผลิตผล ตามลำดับ เติมน้ำจันมีปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร ขึ้นรูปตามกรรมวิธีข้อ 1.2 นำมาทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่

2.1 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

2.1.1 ความหนา (Thickness)

2.1.2 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

2.1.3 ปริมาณความชื้น คัดแปลงจาก AOAC (1990) (ตามข้อ 1.1.3)

2.1.4 ค่าสี ระบบ CIE Lab ($L^*a^*b^*$) โดยเครื่อง Konica Minolta Chroma meter

2.1.5 ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile strength) และการยืดตัว (Elongation) ตาม ASTM D882-10 โดยตัดตัวอย่างขนาด 25x100 มิลลิเมตร ตัวอย่างละ 8 ซ้ำ ปรับสภาวะที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำมาทดสอบ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron ระยะห่างระหว่างปากจับ 100 มิลลิเมตร ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที

2.1.6 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E96-00 Water Vapor Transmission of Materials สภาวะในการทดสอบ คืออุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2.1.7 อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate, OTR)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor สภาวะในการทดสอบ คืออุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0% ด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Tester; Illinois 8000 โดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

2.2 เลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

3. ศึกษาปริมาณโซลิตอลที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม

วางแผนการทดลองแบบ RCB 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ได้แก่ ฟิล์มจากข้อ 2 ไม่เติมโซลิตอลเป็นชุดควบคุม และ ฟิล์มเติมโซลิตอล 1.25% 2.5% 3.75% 5.0% และ 6.25% โดยน้ำหนักผลิตผล ตามลำดับ เติมน้ำจันมีปริมาตรรวม 200 มิลลิลิตร ขึ้นรูปตามกรรมวิธีข้อ 1.2 นำมาทดสอบคุณสมบัติ

3.1 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

3.1.1 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม ความชื้น a_w ความชื้น ค่าสี ความต้านทานต่อแรงดึงขาด และการยืดตัว อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนตามข้อ 2.3

3.1.2 การละลายน้ำ (Water solubility) ตามวิธีของ Su, *et al.*(2010) และ Tongdeesootorn *et al.* (2011) ดังนี้ ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 50x50 มิลลิเมตร หรือน้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการละลาย (W_0) แฉในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง)นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย (W_1) นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

3.1.3 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มระหว่างการเก็บ ทุก 10 วัน เป็นระยะเวลา 50 วัน ได้แก่ ค่าสีระบบ CIE Lab ($L^*a^*b^*$) เทียบกับวันที่ 0 นำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี (Total Color Different, ΔE) ตามสูตร

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

3.2 เลือกกรรมวิธีที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ศึกษาในขั้นต่อไป

4. ศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร

4.1 ทดสอบคุณภาพและความปลอดภัยของการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

4.1.1 ตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ โดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

4.1.2 วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ โดยบริษัทห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

4.1.3 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ตามวิธีของ Li *et al.* (2015)

โดยคำนวณปริมาณการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็น ไมโครโมลโทรลออกซ์ ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g DW}$) โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน โทรลออกซ์ ความเข้มข้น 0-250 ไมโครโมลาร์

4.2 ศึกษาการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ลูกอมกะทิ โดยเลือกฟิล์ม ขนาด 7x10 เซนติเมตร ห่อลูกอมถั่วกะทิ เก็บตัวอย่างที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 นำมาทดสอบคุณภาพดังนี้

4.2.1 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

4.2.2 ค่าเปอร์ออกไซด์ คัดแปลงจาก AOAC (1990) และ AOCS (1997)

ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายผสมกรดอะซิติกและกลูโคโรฟอร์ม 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที กรองด้วย Whatman เบอร์ 4 ภายใต้สภาวะสุญญากาศ นำสารละลายที่ได้เติม

โพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว 1 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 5 นาที นำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มัลจนเป็นสีเหลืองอ่อน หลังจากนั้นเติมสารละลายแป้ง 1% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

5. จำนวนต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มจากสตาร์ชมันสำปะหลัง

คำนวณต้นทุนการผลิตฟิล์ม และต้นทุนต่อชิ้นบรรจุภัณฑ์

การทดลองที่ 5 การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

1. การเตรียมเซลลูโลส (แอลฟาเซลลูโลส) จากเปลือกทุเรียน (นิลวรรณ และคณะ, 2551)

ทำความสะอาดเปลือกทุเรียนโดยล้างเอาเนื้อทุเรียนและคราบไขออกด้วยน้ำสะอาด หั่นเป็นแผ่นเล็กๆ ตามแนวขวางด้วยเครื่องหั่นย่อยโดยใช้ใบมีดตัดเบอร์ 3 จะได้เปลือกทุเรียนหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนักตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเยื่อแล้วล้างด้วยน้ำสะอาดจนไม่มีฟอง ต้มภายใต้สภาวะเดิมซ้ำอีกครั้ง ปั่นเยื่อด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์จนเส้นใยบริเวณหนามของเปลือกทุเรียนแยกออกจากกัน บีบน้ำออก ฟอกเยื่อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% เติมโซเดียมซัลไฟต์และแมกนีเซียมซัลเฟต ปริมาณ 2 และ 0.05% โดยน้ำหนักตัวอย่าง ปรับพีเอชให้เป็นด่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ ต้มที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด Armfield ขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร นำไปตรวจเอกลักษณ์เซลลูโลสโดยนำสารที่สกัดได้ไปย่อยด้วยกรดแล้วทดสอบด้วยสารละลายเบนเดคิกต์ จากนั้นจึงนำไปสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

2. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน ดัดแปลงจากวิธีของนิลวรรณ และคณะ (2551) และ Bono, et al. (2009)

ชั่งผงเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน (จากข้อ 1) 15 กรัม เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 350 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 40% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนต่อเป็นเวลา 30 นาที เติมกรดคลอโรแอซิก 18 กรัม กวนต่ออีก 30 นาที จากนั้นปิดปากบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที สารจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ สารละลายใสอยู่ส่วนบนและของแข็งอยู่ส่วนล่าง รินสารละลายใสส่วนบนทิ้ง แล้วเติมสารละลายเมทานอลเข้มข้น 70% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 90% ทิ้งไว้ 10 นาที กรองเก็บส่วนที่เป็นของแข็ง ล้างด้วยสารละลายเอทานอลเข้มข้น 70% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยแช่ทิ้งไว้ 10 นาที ทำซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นล้างด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กรองแยกส่วนที่

เป็นของเหลวออก แล้วนำส่วนที่เป็นของแข็ง ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท (ความชื้นคงที่) นำไปตรวจเอกลักษณ์ซีเอ็มซีโดยทดสอบการเกิดฟองและการตกตะกอนด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (FAO JECFA Monographs 11, 2011) จากนั้นนำซีเอ็มซีไปทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ ค่าสี ความชื้น ความบริสุทธิ์ และค่าองศาการแทนที่ ตามมาตรฐาน ASTM D1439-03 (2004)

3. จำนวนต้นทุนการผลิตซีเอ็มซี

คำนวณต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนเปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้า

4. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (ฟิล์มซีเอ็มซี) ดัดแปลงจากวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) และวรรษมนและคณะ (2449) และทดสอบคุณสมบัติ

นำผงซีเอ็มซี 9 กรัม เติมน้ำเติมแต่งตามกรรมวิธี ดังนี้ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) 3 ซ้ำ 17 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสไม่เติมน้ำเติมแต่ง

กรรมวิธีที่ 2 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 10% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 3 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 20% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 4 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 30% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 5 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 40% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 6 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 10% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 7 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 20% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 8 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 30% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 9 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 40% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 10 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 10% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 11 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 20% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 12 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 30% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 13 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 40% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 14 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 10% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 15 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 20% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 16 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 30% โดยน้ำหนัก

กรรมวิธีที่ 17 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เติมน้ำ 40% โดยน้ำหนัก

จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน วัดค่าความหนืดของสารละลายด้วยเครื่องวัดความหนืดใช้เข็มเบอร์ LV02 ความเร็วรอบ 30 rpm จากนั้นขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบนแผ่นกระจกขนาด 30×30

เซนติเมตร หน้า 0.5 เซนติเมตร อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จนแห้ง แล้วลอกแผ่นฟิล์มออก (Figure 11)

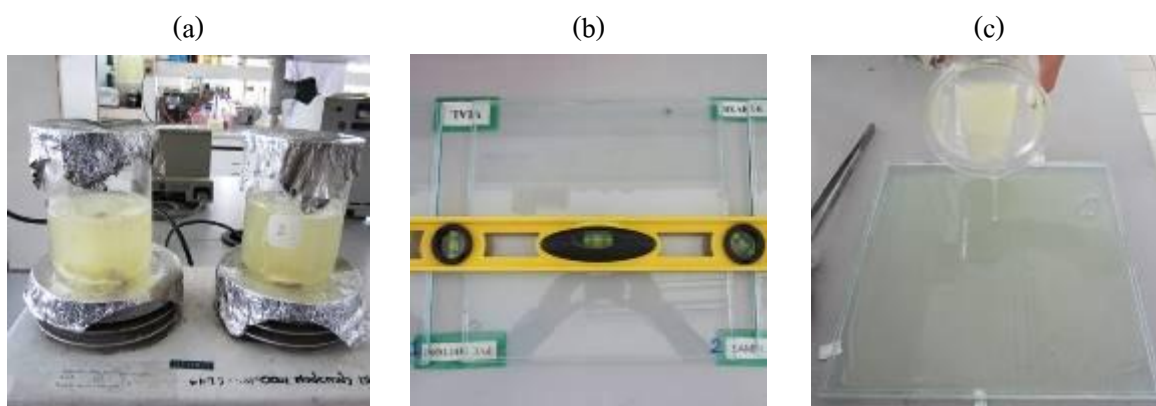


Figure 11 CMC films preparation; (a) CMC solution with additive, (b) plate set up for film forming and (c) films forming.

จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปทดสอบคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี
- 2) ความหนา วัดด้วยเครื่องวัดความหนา
- 3) การละลายน้ำ (Water solubility) ทดสอบตามวิธีของ Su, *et al.* (2010) และ Tongdeesoontorn, *et al.* (2011) ดังนี้

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 50×50 มิลลิเมตร หรือน้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการละลาย (W_0) แช่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย (W_1) นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

- 4) สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงขาด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM D882-10 Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27±1 °C ความเร็วในการดึง 250

มิลลิเมตร/นาที่ ความกว้างขึ้นทดสอบ 25 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างปากจับ 50 มิลลิเมตร จำนวน 5 ขึ้นทดสอบ/ตัวอย่าง

5) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR)

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor ด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Tester; Illinois 8000 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 0%

6) การย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ทดสอบโดยดัดแปลงวิธีของ Gouhua, *et. al.*(2006) และ Rudnik and Briassoulis (2011) ดังนี้

ตัดชิ้นฟิล์มขนาด 5×5 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เก็บในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (A_0) ผึ่งในกระถางที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร กลบด้วยดินสำเร็จรูปสำหรับปลูกไม้ดอกไม้ประดับ เก็บข้อมูลดินด้วยเครื่องวัดดินระบบดิจิทัล AMTAST ทุกวัน วางกระถางในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (Figure 12) ขุดฟิล์มตัวอย่างทุก 1 วัน นำมาทำความสะอาด อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เก็บในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (A_1) นำน้ำหนักมาคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

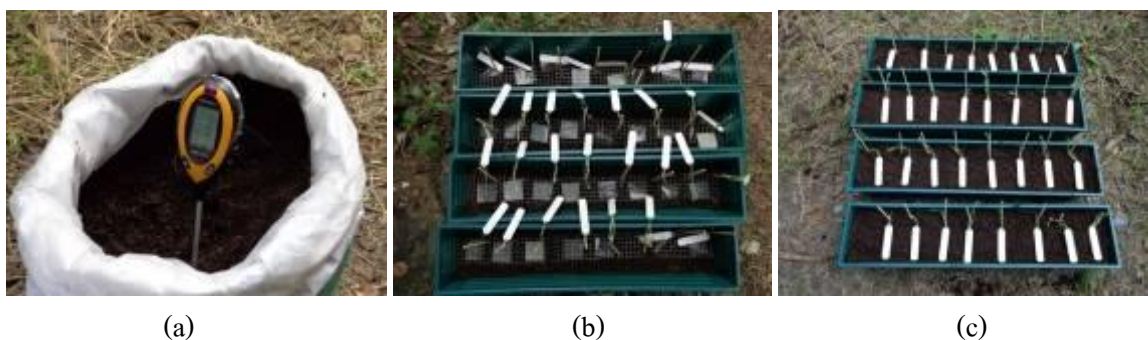


Figure 12 Preparation to biodegradation test of CMC films in soil burial; (a) soil preparation, (b) preparation CMC films in plastic boxes and (c) after soil burial.

5. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

พิจารณาผลการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนของฟิล์มซีเอ็มซี จากนั้นนำไปบรรจุผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยเตรียมซองซีเอ็มซี ขนาด 4.5×6 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 6 ซอง แบ่งเป็น 2 ชุด บรรจุผลิตภัณฑ์ซองละ 2 กรัม และปิดผนึกด้วยความร้อน (Figure 13) เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชุด และตู้เย็น 1 ชุด บันทึกอุณหภูมิและความชื้นตลอดการเก็บรักษา จากนั้นทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าสีในระบบ L* a* และ b* และความชื้น

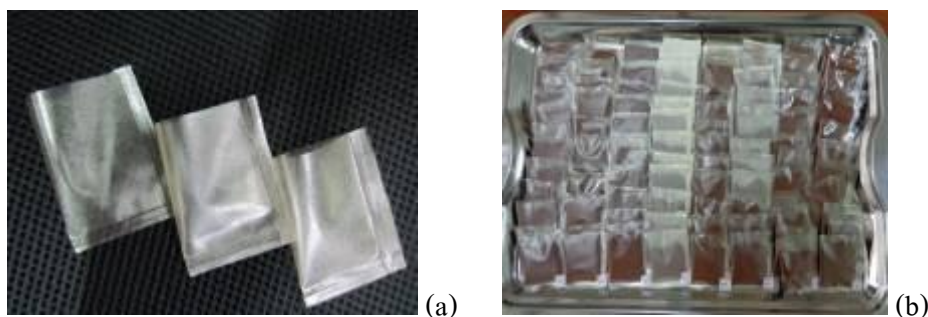


Figure 13 Preparation of CMC packaging; (a) CMC packaging and (b) sample of coffee in CMC packaging

6. การทดสอบความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุของซีเอ็มซี (ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC)

อบฟอยล์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักฟอยล์ (ใช้แทนถ้วยอะลูมิเนียม) ซึ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 0.5 ± 0.02 กรัม บันทึกน้ำหนัก (A_0) ใส่ในฟอยล์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เก็บให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังอบ บันทึกน้ำหนัก (A_1) คำนวณค่าความชื้นของตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

การทดลองที่ 6 ผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

1. การคัดเลือกพลาสติกชีวภาพ

คัดเลือกพลาสติกชีวภาพทางการค้าที่ไม่เติมสารเติมแต่งและพลาสติกชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งแล้ว โดยพิจารณาเลือกชนิดที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์จาก Data Sheet หรือเอกสารแนบของเม็ดพอลิเมอร์แต่ละชนิด

2. การขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

ขึ้นรูปพลาสติกชีวภาพเป็นถุงสำหรับบรรจุเงาะผลสดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม โดยการเป่าขึ้นรูป

3. การทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ ได้แก่

- 1) ความหนา วัดด้วยเครื่องวัดความหนา
- 2) ความต้านทานแรงดึงขาด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM D882-10 Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine; Instron model 1123 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 2\%$

ความเร็วในการดึง 500 mm./min ความกว้างชิ้นทดสอบ 25.4 mm. ระยะห่างระหว่างปากจับ 50 mm. จำนวน 5 ชิ้นทดสอบ/ตัวอย่าง

3) ความต้านทานแรงฉีกขาด

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM D1922-03a Propagation Tear Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by Pendulum Method สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $65\pm 2\%$

4) ความหนาแน่น

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM D792-00 Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 27 ± 1 °C ความชื้นสัมพัทธ์ $65\pm 2\%$

5) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR)

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor ด้วยเครื่อง Oxygen Permeation Tester; Illinois 8000 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 23 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 0%

6) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR)

ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ตามมาตรฐาน ISO 15106-1 : 2003 (E) Plastics-Film and sheetinf-Determination of water vapour transmission rate-Part 1 : Humidity detection sensor method ด้วยเครื่อง Vapour Permeation Tester; Lyssy L80-4000 สภาวะในการทดสอบ คือ อุณหภูมิ 38 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 90%

4. การทดสอบคุณสมบัติการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

ทดสอบโดยคัดเลือกเงาะผลสดระยะสามสี มาทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าและสารละลายคลอรีนเข้มข้น 200 ppm ตามลำดับ ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บรรจุใส่ถุงพลาสติกชีวภาพที่คัดเลือกจากข้อ 1 เปรียบเทียบกับถุง LDPE โดยบรรจุถุงละ 1 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% ตุ่มผลเงาะทุก 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 และ 27 วัน ครั้งละ 10 ผล นำมาตรวจลักษณะภายนอกและคุณภาพภายใน ได้แก่ สีเปลือก สีขน วัดปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (Titratable acidity, TA) วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids, TSS) ค่า TSS/TA ซึ่งเป็นค่าดัชนีชี้วัดการสุก และการสูญเสียน้ำหนัก(%) เปรียบเทียบกับถุง LDPE ทางการค้า ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับที่ใช้ทดสอบโดยนิลวรรณและคณะ (2551)

5. การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ตามวิธีของ Gouhua, *et. al* (2006) และ Rudnik and Briassoulis (2001)

ทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยการฝังกลบในดิน โดยตัดฟิล์มให้มีขนาด 5×5 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 55 °C เก็บในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (A_0) ฝังในกระถางที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร กลบด้วยดินสำเร็จรูปสำหรับปลูกต้นไม้ เก็บข้อมูลดินด้วยเครื่องวัดดินระบบดิจิทัล AMTAST วางกระถางในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ชูดฟิล์มตัวอย่างทุก 1, 2 และ 4 สัปดาห์ นำมาทำความสะอาดแล้วอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เก็บในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก (A_1) นำมาคำนวณ ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

6. จำนวนต้นทุนในการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตถุงพลาสติกชีวภาพ ได้ดังนี้

$$\text{ต้นทุนการผลิตถุงพลาสติกชีวภาพ (บาท/ใบ)} = \frac{\text{ราคามัดพลาสติกชีวภาพ} \left(\frac{\text{บาท}}{\text{กก.}} \right) + \text{ค่าดำเนินการขึ้นรูป (บาท)}}{\text{จำนวนถุงพลาสติกชีวภาพที่ได้ (ใบ)}}$$

การทดลองที่ 7 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

1. เตรียมสตาร์ชหรือแป้งมันสำปะหลัง

นำมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที่ มาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด และเตรียมสตาร์ชตามวิธีของกนกศักดิ์ และคณะ (2556) ดังนี้ ปอกเปลือกและแช่ในน้ำส้มสายชูความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ลดขนาดมันสำปะหลังให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องหั่นย่อยแล้วห่อด้วยถุงผ้าคั้นน้ำกะทิ นำไปบีบอัดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิ จากนั้นนำกากที่เหลือจากการบีบอัดนำมาผสมน้ำสะอาดที่อัตราส่วนกากมันสำปะหลัง:น้ำ เท่ากับ 1:2 กรองเอาน้ำแป้งที่ได้เก็บไว้ในถัง ส่วนกากแป้งที่เหลือจากการกรองนำไปบีบอัดด้วยเครื่องคั้นน้ำกะทิอีกครั้งหนึ่ง นำน้ำแป้งที่ได้เก็บไว้ในถังพลาสติกมีฝาปิดขนาด 10 ลิตร เติมน้ำให้ได้ 2 ใน 3 ส่วนของถัง พลาสติก ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เหน้าทิ้งให้เหลือแต่ส่วนของแป้งที่ตกตะกอน ทำซ้ำโดยเติมน้ำ 2 ใน 3 ส่วนของถังพลาสติกอีกครั้ง กวนให้เนื้อแป้งผสมกับน้ำ ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้แป้งให้ตกตะกอน หรือเปลี่ยนน้ำอีก 2-3 ครั้ง จนกว่าแป้งที่ตกตะกอนจะเป็นสีขาว จากนั้นรินน้ำทิ้งให้เหลือแต่แป้ง แล้วเทลงถาดสเตนเลส นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแป้งที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบด Armfield ขนาดช่องตะแกรง 0.25 มิลลิเมตร เก็บสตาร์ชที่ได้ในถุง Low Density Polyethylene (LDPE) แบบ Ziploc ที่อุณหภูมิห้อง นำไปศึกษาคุณสมบัติและใช้ในขั้นตอนต่อไป

2. เตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน (starch-chitosan blend) ตัดแปลงจากวิธีของ Bourtoom (2008) และ Xu, et al., 2005 ดังนี้

2.1 เตรียมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น 5% (w/v) โดยนำแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้จากข้อ 1. มาละลายด้วยน้ำกลั่น และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าจนเกิดเจลใส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.2 เตรียมสารละลายไคโตซาน ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5% (w/v) โดยละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% (v/v) กวนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จนละลายหมด จากนั้นกรองเก็บสารละลายด้วยชุดกรองสุญญากาศ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.3 เตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน ที่อัตราส่วนต่างๆ ของน้ำหนักแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน (กรัม) โดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 3 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังไม่ผสมไคโตซาน (1:0)

กรรมวิธีที่ 2 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:0.2

กรรมวิธีที่ 3 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:0.4

กรรมวิธีที่ 4 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:0.6

กรรมวิธีที่ 5 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:0.8

กรรมวิธีที่ 6 ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน ในอัตราส่วน 1:1

เตรียมโดยผสมสารละลายแป้งมันสำปะหลังเข้มข้น 5% ที่เตรียมได้จากข้อ 2.1 100 ml กับสารละลายไคโตซานเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5% ที่เตรียมได้จาก ข้อ 2.2 ความเข้มข้นละ 100 ml เดิมกลีเซอรอลปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของของแข็ง (Bourtoom, 2008) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้แผ่นฟิล์ม กวนจนสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ จากนั้นเทสารละลายบนแผ่นอะคริลิกเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม วางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แคะแผ่นฟิล์มออก แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติ

3. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มสตาร์ชมันสำปะหลังผสมไคโตซาน

นำฟิล์มที่เตรียมได้จากข้อ 2 มาทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานดังนี้

- 1) ความหนา (Thickness) วัดด้วยเครื่องวัดความหนา
- 2) ค่าสี (Color) วัดด้วยเครื่องวัดสี
- 3) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) วัดด้วยเครื่องวัดความชื้น
- 4) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) วัดด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ
- 5) การละลายน้ำ (Water solubility) ตามวิธีของ Su, J., *et al.* (2010) และ Tongdeesootorn, W., *et al.* (2011) ดังนี้

ตัดแผ่นฟิล์มขนาด 50x50 มิลลิเมตร หรือน้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม ตัวอย่างละ 3 ชิ้น อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักก่อนการละลาย (W_0) แหะในบีกเกอร์ที่มีน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปิดปากบีกเกอร์ด้วยพาราฟิล์ม วางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24

ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 (กระดาษกรองที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักหลังการละลาย (W_1) นำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำ ดังนี้

$$\% \text{ Solubility} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

6) ความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D882-10 Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting

7) ความต้านทานแรงฉีกขาด: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D 1922-09 Propagation Tear Resistance of Plastic Film and thin Sheeting by Pendulum Method

8) อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM E 96-00 Water Vapor transmission of Materials

9) อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน: ทดสอบโดยศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ตามมาตรฐาน ASTM D3985-05 Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor

4. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

นำฟิล์มที่ได้มาศึกษาศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ต้านจุลินทรีย์ โดยการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราของแผ่นฟิล์มโดยวิธี paper disc โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ทดสอบ คือ *Aspergillus flavus* A39 ซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถผลิตสารแอฟลาทอกซินปริมาณสูง

เริ่มโดยการ spread เชื้อราบนอาหาร PDA (Potato dextrose agar) ใช้เชื้อปริมาณ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ตัดไว้ขนาด 5×5 มิลลิเมตร มาวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยวางตัวอย่างละ 3 ชิ้น/จานเลี้ยงเชื้อ ดัง Figure 14 บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกผลการทดลองโดยสังเกตโซนใส (Clear zone) หรือบริเวณยับยั้งที่ไม่พบการเจริญของเชื้อรารอบตัวอย่าง (อมรา และคณะ, 2555)

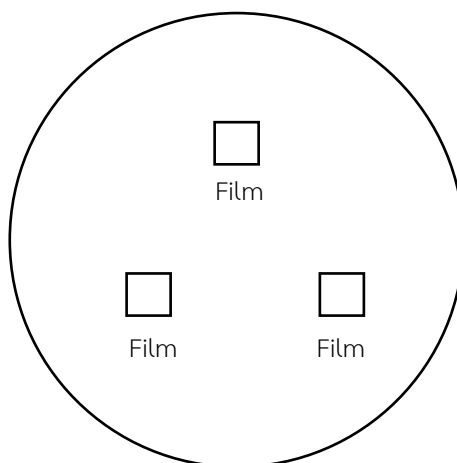


Figure 14 Illustrate the model for antimicrobial test of cassava-chitosan blended film

5. ต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 1.1 วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

1. คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่สนใจ คือ เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย เนื่องจากเปลือกทุเรียนถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากจากการบริโภคและแปรรูป ส่วนต้นกล้วยถูกตัดทิ้งหลังจากให้ผลผลิต ซึ่งทั้งเปลือกทุเรียนและต้นกล้วย มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสามารถนำมาศึกษาเพื่อเพิ่มมูลค่าได้ โดยจากการศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบพบว่าเปลือกทุเรียนมีปริมาณ โอลิโกเซลลูโลสและลิกนินสูงกว่าต้นกล้วย แต่มีสารแทรกน้อยกว่า โดยเปลือกทุเรียนพันธุ์หอมทองมีปริมาณ โอลิโกเซลลูโลสและลิกนิน สูงที่สุด = 53.7 และ 12.3% รองลงมา คือ เปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนี = 51.6 และ 10.6% ต้นกล้วยไข่ = 49.5 และ 5.01% และต้นกล้วยน้ำว้า = 31.7 และ 2.72% ตามลำดับ แต่ต้นกล้วยมีความยาวเส้นใยมากกว่าเปลือกทุเรียนโดยต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาวมากที่สุด = 4.01 mm. รองลงมา คือ ต้นกล้วยไข่ เปลือกทุเรียนพันธุ์ชะนี และเปลือกทุเรียนพันธุ์หอมทอง = 3.17 1.86 และ 1.84 mm. ตามลำดับ (Table1) ซึ่งเส้นใยจากต้นกล้วยจัดเป็นเส้นใยยาวเนื่องจากมีความยาวในช่วง 3-5 mm. ส่วนเส้นใยจากเปลือกทุเรียนจัดเป็นเส้นใยสั้น (ดรรรชนี, 2556) และเมื่อพิจารณาปริมาณเซลลูโลส ลิกนิน และความยาวเส้นใยจึงเลือกเปลือกทุเรียนพันธุ์หอมทองและต้นกล้วยน้ำว้าไปศึกษาต่อ เพราะปริมาณเซลลูโลสสูงจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง ปริมาณลิกนิน สูงจะช่วยให้แผ่นใยอัดยึดติดกันได้ดี และเส้นใยที่ยาวจะทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งแรง

Table 1 Physical and chemical properties of Agriculture residues

| Properties | Unit | Durian Husk | Banana pseudo-stem |
|------------|------|-------------|--------------------|
|------------|------|-------------|--------------------|

| | | Cv. Monthong | Cv. Chancee | Cv. Namwa | Cv. Khai |
|--------------------------------|----|--------------|-------------|-----------|----------|
| Avg. fiber length | mm | 1.84 | 1.86 | 4.01 | 3.17 |
| Holocellulose | % | 53.7 | 51.6 | 31.7 | 49.5 |
| - Alpha-cellulose | % | 36.9 | 35.7 | 20.7 | 34.8 |
| - Beta-cellulose | % | 9.00 | 7.12 | 2.75 | 3.86 |
| - Gamma-cellulose | % | 7.85 | 8.83 | 8.28 | 10.9 |
| Lignin | % | 12.3 | 10.6 | 2.72 | 5.01 |
| Pentosan | % | 17.9 | 14.8 | 7.58 | 8.76 |
| Ash | % | 5.30 | 5.02 | 7.68 | 16.0 |
| hot water solubility | % | 30.4 | 34.2 | 66.9 | 47.1 |
| alcohol and benzene solubility | % | 11.6 | 15.7 | 24.7 | 12.3 |
| 1% sodium hydroxide solubility | % | 54.8 | 53.1 | 81.6 | 68.9 |

เมื่อนำเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองและต้นกล้วยน้ำว้ามาเตรียมตัวอย่างเพื่อสกัดเส้นใย พบว่าเปลือกทุเรียนเตรียมตัวอย่างได้ง่ายกว่า เนื่องจากหั่นได้ง่ายและไม่มียาง (Figure 15 และ Figure 16) และเมื่อนำมาสกัดเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลสประมาณ 21.51 และ 20.25% ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง มีลักษณะเป็นเส้นใยสีน้ำตาล (Figure 17 (a) และ Figure 18 (a)) มีค่าความสว่าง (L^*) = 45.13 และ 36.58 เนื่องจากการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสซึ่งละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก เหลือส่วนของเอลฟาเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งลิกนินจะถูกกำจัดออกโดยการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยหลังการฟอกพบว่าเส้นใยขาวขึ้น (Figure 17 (b) และ Figure 18 (b)) คงเหลือน้ำหนัก 84.80 และ 74.65% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า L^* = 91.54 และ 90.01



(a)



(b)

Figure 15 Illustrates the durian husk (a) and after dried at 55 °C (b)



Figure 16 Illustrates the banana pseudo-stem (a) and after dried at 55 °C (b)



Figure 17 Illustrates the cellulose from durian husk. (a) Cellulose was extracted with 1 M NaOH at 80-90 °C for 1 hour. (b) Cellulose after bleaching with 30% H₂O₂ at 80-90 °C for 20 min.



Figure 18 Illustrates the cellulose from banana pseudo-stem. (a) Cellulose was extracted with 1 molar NaOH at 80-90 °C for 1 hour and (b) cellulose after bleaching with 30% H₂O₂ at 80-90 °C for 20 min.

ดังนั้นจึงคัดเลือกเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองไปศึกษาต่อ เนื่องจากเตรียมตัวอย่างได้ง่ายและได้ปริมาณเส้นใยมากกว่า

2. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป

เมื่อนำแผ่น preform จากเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมาอัดขึ้นรูปที่ความดัน 22.5 T/cm^2 เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 150 160 170 และ 180°C พบว่าทุกตัวอย่างขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีโดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน เช่นเดียวกับการทดลองของวิวัฒน์และนิคม (2549) ที่ขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดจากชานอ้อยด้วยการอัดร้อนโดยไม่ใช้กาว ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมจากการทดลอง คือ 160°C เนื่องจากให้แผ่นใยอัดมีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า ดัง Table 2 โดยการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180°C ให้แผ่นใยอัดเส้นใยไม่ฟอกที่มีความชื้น 3.50 1.11 และ 2.43% ตามลำดับ มีความหนาแน่น 566.83 613.57 และ 583.05 kg/m^3 ตามลำดับ มีการพองตัวทางความหนา 107.07 101.54 และ 90.24% ตามลำดับ ส่วนแผ่นใยอัดเส้นใยฟอก มีความชื้น 4.18 4.32 และ 4.12% ตามลำดับ มีความหนาแน่น 548.77 565.40 และ 620.62 kg/m^3 ตามลำดับ มีการพองตัวทางความหนา 85.32 80.55 และ 71.80% ตามลำดับ

Table 2 Effect of press temperature on properties of fiberboard from durian husk fiber.

| Fiber Types | Press Temperature ($^\circ\text{C}$) | Properties | | | |
|-------------|---|--------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|
| | | Thickness (mm.) | Moisture Content (%) | Density (kg/m^3) | %Thickness swelling |
| Unbleached | 150 | 3.60 ^a | 3.32 ^c | 566.25 ^{ab} | 110.21 ^a |
| | 160 | 3.67 ^a | 3.50 ^c | 566.83 ^{ab} | 107.07 ^a |
| | 170 | 3.70 ^a | 3.11 ^c | 613.57 ^{ab} | 101.54 ^{ab} |
| | 180 | 3.70 ^a | 2.43 ^d | 583.03 ^{ab} | 90.24 ^{cd} |
| Bleached | 150 | 3.60 ^a | 4.92 ^a | 583.49 ^{ab} | 95.67 ^{bc} |
| | 160 | 3.60 ^a | 4.18 ^b | 548.77 ^b | 85.32 ^d |
| | 170 | 3.60 ^a | 4.32 ^b | 565.40 ^{ab} | 80.55 ^{de} |
| | 180 | 3.60 ^a | 4.12 ^b | 620.62 ^a | 71.80 ^c |

Means within the same column followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$)

ซึ่งเมื่ออุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปสูงขึ้นมีผลทำให้เส้นใยเกิดแรงกระทำกัน ได้มากขึ้น ความชื้นลดลง ความหนาแน่นสูงขึ้น และการพองตัวทางความหนาลดลง โดยแผ่นใยอัดที่ได้มีลักษณะเรียบ แข็ง มีความหนาเฉลี่ย 3.60 mm. (Figure 19) จัดเป็นแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547) ซึ่งมีความหนาแน่นในช่วง $400\text{-}800 \text{ kg/m}^3$ โดยแผ่นใยอัดเส้นใยฟอกมี

คุณสมบัติโดยรวมดีกว่าแผ่นใยอัดเส้นใยไม่ฟอก เนื่องจากเส้นใยไม่ฟอกยังมีสารแทรกเป็นองค์ประกอบ ทำให้เส้นใยเกิดแรงกระทำระหว่างกันได้ไม่ดี

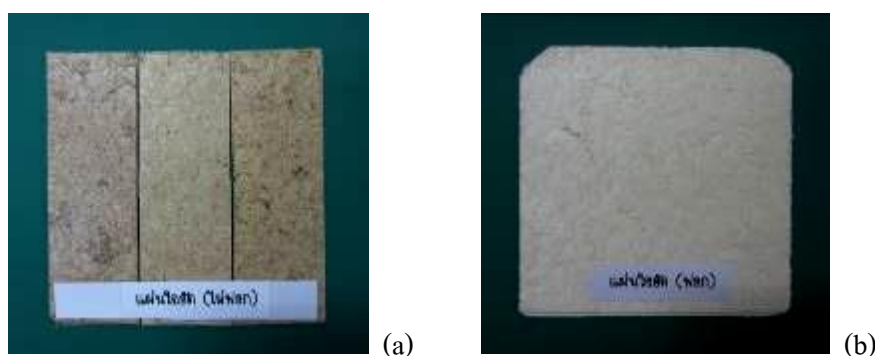


Figure 19 Illustrates the fiberboard from durian husk after compressed at 22.5 T/cm^2 , 5 min; (a) fiberboard from unbleached fiber and (b) Fiberboard from bleached fiber.

3. การศึกษาปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

การเติมสารกันซึม (sizing agent) เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นใยอัด ซึ่งจากการทดสอบจับเวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยด (ทดสอบการดูดซึมน้ำโดยวิธี drop test) ของแผ่น preform ที่ไม่เติมสารกันซึม พบว่าน้ำซึมลงในแผ่น preform อย่างรวดเร็ว (Figure 20 (a)) เนื่องจากเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นส่วนประกอบจึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ทำให้ดูดซึมน้ำได้ดี (มาลินี, 2553) และเมื่อหยดน้ำลงบนแผ่น preform ที่เติมสารกันซึมชนิด AKD พบว่าหยดน้ำไม่ซึมลงในแผ่น preform ในทันที (Figure 20 (b))

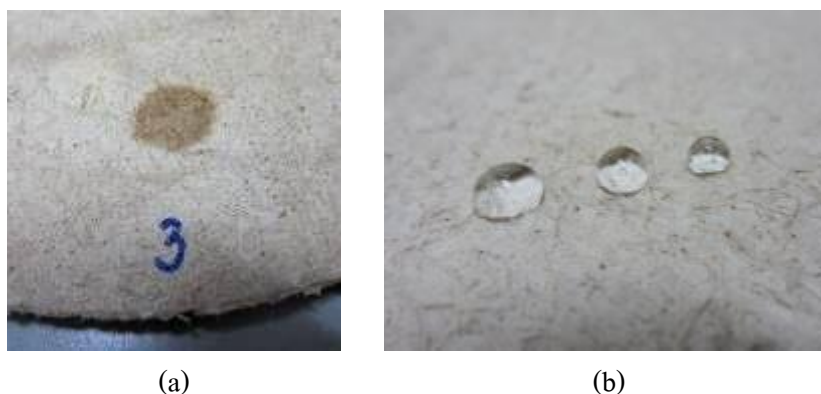


Figure 20 Effect of sizing agent on fiberboard preform after drop test; (a) No sizing agent added and (b) sizing agent added.

เนื่องจาก AKD สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของทั้งเส้นใยและน้ำ เกิดเป็นสารกลุ่ม คีโตน (Garnier *et al*, 1998) โดยเกิดพันธะโควาเลนต์กับเส้นใยเซลลูโลส (Zule and Dolenc, 2005) จึงทำให้เส้นใยดูดซึมน้ำได้น้อยลง (สุภาพร, 2553) ซึ่งจากการทดลองพบว่าปริมาณ AKD ที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ 3% ของน้ำหนักเส้นใย ดัง Table 3

Table 3 Effect of sizing agent (AKD) on properties of fiberboard preform from unbleached durian husk fiber.

| Treatment | AKD (%) | Thickness (mm.) | Moisture Content (%) | Thickness swelling (%) | Water absorption (%) | Drop test (sec/H ₂ O 0.05 cm ³) |
|-----------|---------|-------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--|
| 1 | 1.25 | 0.83 ^a | 7.22 ^a | 4.02 ^b | 332.63 ^a | 82.67 ^a |
| 2 | 2.5 | 1.01 ^a | 6.50 ^a | 16.33 ^a | 244.57 ^b | 129.33 ^a |
| 3 | 3.0 | 0.81 ^a | 3.99 ^b | 1.83 ^b | 257.59 ^b | 129.67 ^a |
| 4 | 4.0 | 0.93 ^a | 3.87 ^b | 6.44 ^b | 257.34 ^b | 135.67 ^a |
| 5 | 5.0 | 0.81 ^a | 4.40 ^b | 13.47 ^a | 196.90 ^c | 118.33 ^a |

Means within the same column followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$)

เนื่องจากแผ่น preform มีคุณสมบัติการพองตัวทางความหนาแน่นน้อยที่สุด 1.83% การดูดซับน้ำ 257.59% และเวลาในการดูดซับน้ำ 1 หยด 129.67 นาที ซึ่งดีกว่าแผ่น preform ที่เติม AKD ปริมาณ 1.25 และ 2.5% และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับแผ่น preform ที่เติม AKD ปริมาณ 4 และ 5% ซึ่งมีการพองตัวทางความหนา 6.44 และ 13.47% การดูดซับน้ำ 257.34 และ 196.90% และเวลาในการดูดซับน้ำ 1 หยด 135.67 และ 118.33 นาที (Table 3)

4. ผลผลิตแผ่นใยอัดเป็นบรรจุภัณฑ์ (กรณีศึกษาจาน)

เมื่อนำแผ่น preform เส้นใยเติม AKD ปริมาณ 3% ของน้ำหนักเส้นใย มาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 160 °C ความดัน 150 bar เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แม่พิมพ์รูปจาน พบว่าเส้นใยไม่พอกสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยพอก (Figure 21)

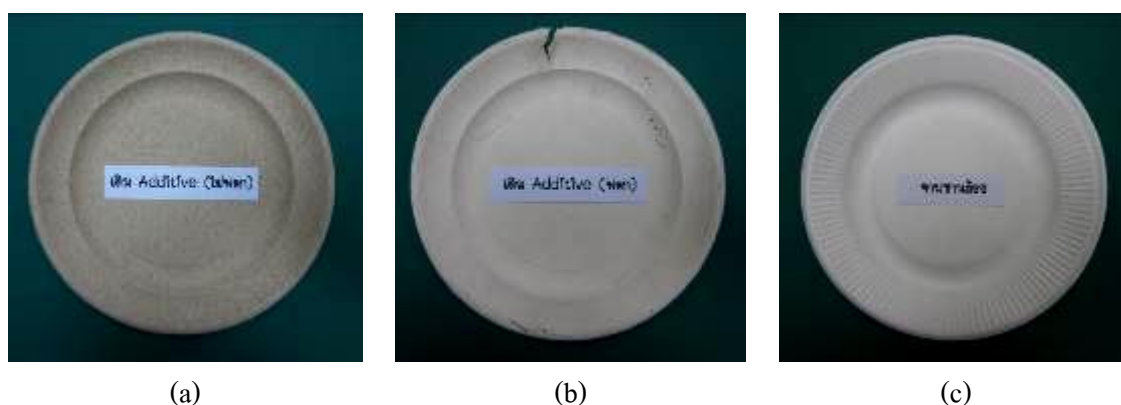


Figure 21 Illustrates the fiberboard plates were compressed at 160 °C, P 150 bar, 5 min: (a) plate from unbleached fiber and AKD added (b) plate from bleached fiber and AKD added and (c) commercial plate from bagasse.

เนื่องจากเส้นใยไม่ฟอกยังมีลิกนินเป็นส่วนประกอบ ซึ่งลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่เมื่อได้รับความร้อนสูงจะอ่อนตัวและเหนียวจึงช่วยให้เกิดการยึดกันของเส้นใย (กิตติพงศ์, 2543) โดยงานใยอัดจากเส้นใยฟอกมีรอยฉีกขาดและมีการหลุดร่วงของเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของงานใยอัดกับงานชานอ้อยตามท้องตลาดพบว่างานใยอัดมีคุณสมบัติโดยรวมต่ำกว่า ยกเว้นปริมาณความชื้นของงานใยอัด และเวลาในการดูดซึมน้ำแบบ drop test ของงานใยอัดฟอก โดยคุณสมบัติของงานใยอัดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดัง Table 4

Table 4 Fiber board (plate) properties from durian husk fiber.

| Properties | Commercial | Fiber board plate | |
|--|---------------------|---------------------|----------------------|
| | Plate | unbleached fiber | bleached fiber |
| Weight (g) | 10.36 ^a | 8.80 ^b | 8.40 ^b |
| Thickness (mm.) | 0.52 ^b | 0.66 ^a | 0.65 ^a |
| Density (kg/m ³) | 657.43 ^a | 567.23 ^b | 573.44 ^{ab} |
| Moisture Content (%) | 1.17 ^a | 1.07 ^a | 0.39 ^b |
| Thickness Swelling (%) at 24 hrs. | 40.23 ^c | 150.18 ^a | 89.68 ^b |
| Water Absorption (%) | 119.56 ^c | 500.65 ^a | 294.09 ^b |
| Drop test (sec/H ₂ O 0.05 cm ³) | > 7 hr | 192 | > 7 hr |
| Compression strength (Top) (kF) | 12.50 | 2.97 | N/A |
| Compression strength (Bottom) (kF) | 11.80 | 3.28 | N/A |
| Burst Strength (kPa) | 887 | 419 | N/A |
| Puncture resistance (J) | 1.12 | 0.66 | N/A |
| Tensile Strength (kN/m) | 9.63 | 3.10 | N/A |
| Elongation (%) | 2.92 | 1.72 | N/A |

Means within the same row followed by different letter are significantly different (P<0.05)

N/A mean cannot test sample

เมื่อเปรียบเทียบงานใยอัดฟอกกับงานใยอัดไม่ฟอก พบว่างานใยอัดฟอกมีคุณทางกายภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น 573.44 kg/m³ มีความชื้น 0.39% มีการพองตัวทางความหนา 89.68% มีการดูดซึมน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ มากกว่า 7 ชั่วโมง เช่นเดียวกับงานชานอ้อย ส่วนงานใยอัดไม่ฟอก มีความหนาแน่น 567.23 kg/m³ มีความชื้น 1.07% มีการพองตัวทางความหนา

150.18% มีการดูดซับน้ำ 500.65% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm^3 192 วินาที เนื่องจากเส้นใยฟอกมีสารแทรกน้อยจึงเกิดแรงกระทำระหว่างเส้นใยกับเส้นใย และเส้นใยกับ AKD ได้ดี คุณสมบัติจึงดีกว่า

เมื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่างานใยอัดฟอกไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากตัวอย่างึกขาด จึงไม่สามารถเตรียมเป็นชิ้นทดสอบได้ ส่วนงานใยอัดไม่ฟอกและงานชานอ้อยมีความต้านแรงกด ค้านบน 2.97 และ 12.50 kF ความต้านแรงกดค้ำล่าง 3.28 และ 11.80 kF ความต้านแรงค้ำทะลุ 419 และ 887 kPa ความต้านแรงค้ำทะลุ 0.66 และ 1.12 J ความต้านแรงค้ำดง 3.10 และ 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72 และ 2.92% ซึ่งแสดงให้เห็นว่างานใยอัดจากเปลือกทุเรียนมีความแข็งแรงน้อยกว่างานชานอ้อยมาก เนื่องจากชานอ้อยมีความยาวเส้นใยมากกว่าเปลือกทุเรียน อีกทั้งในกระบวนการผลิตอาจมีการเติมสารเติมแต่งหลายชนิดเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้ผลิตภัณฑ์

5. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตงานใยอัดไม่ฟอกจากเปลือกทุเรียน = 11.90 บาท/ใบ ซึ่งเป็นเพียงต้นทุนจากการสกัดเซลลูโลส (1.19 บาท/กรัม) เท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานชานอ้อยในท้องตลาดพบว่าราคายังสูงกว่ามาก

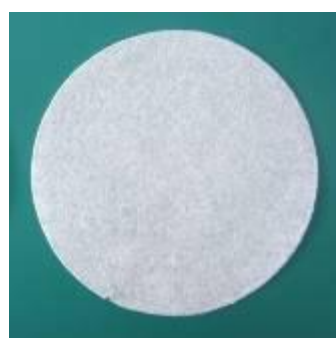
การทดลองที่ 1.2 วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

1. ศึกษาชนิดของเส้นใยที่เหมาะสม

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่นำมาเตรียมเส้นใยเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ คือ เปลือกทุเรียน เนื่องจากถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากจากการบริโภคและแปรรูป และมีรายงานว่าสามารถนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ (ศิริพร และคณะ, 2556) ซึ่งผลจากการนำมาเตรียมกระดาษด้วยเครื่องขึ้นรูปกระดาษ (sheet former) พบว่าได้กระดาษค่อนข้างเรียบ มีความหนาสม่ำเสมอทั้งแผ่น โดยกระดาษจากเส้นใยไม่ฟอกมีสีน้ำตาลอ่อน ส่วนกระดาษจากเส้นใยฟอกมีสีขาวตามสีของเส้นใย ดัง Figure 22 (a) และ (b) มีน้ำหนักเฉลี่ย 60.25 และ 59.41 กรัมต่อตารางเมตร (แกรม) ตามลำดับ



(a)



(b)

Figure 22 Durian Husk fiber papers: (a) unbleached fiber and (b) bleached fiber

เมื่อนำกระดาษไปทดสอบคุณสมบัติ พบว่ากระดาษไม่ฟอกมีคุณสมบัติโดยรวมดีกว่ากระดาษฟอก เนื่องจากกระดาษไม่ฟอกยังมีลิกนินซึ่งทำหน้าที่คล้ายกาวเป็นตัวยึดเหนี่ยวให้เส้นใยติดกัน (ศิริรัตน์, 2010) ทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่า ดัง Table 5 คือ ปริมาณความชื้น เท่ากับ 7.99 และ 7.03% ความต้านแรงฉีกขาด เท่ากับ 453 และ 206 mN ความต้านทานแรงดึงขาด เท่ากับ 1.09 และ 0.52 kN/m และความต้านแรงดันทะลุ เท่ากับ 289 และ 222 kPa ซึ่งกระดาษไม่ฟอกมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) คือ มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 10% ความต้านแรงฉีกขาดแนวขนานเครื่องไม่น้อยกว่า 260 mN และความต้านแรงดันทะลุไม่น้อยกว่า 140 kPa แต่ความต้านแรงดึงขาดยังมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ คือ ไม่น้อยกว่า 2.00 kN/m แต่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านนี้ได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent) เช่น แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลาไมด์ (ดรธรณี, 2556) ส่วนความต้านทานการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ ด้านตะแกรงของกระดาษไม่ฟอกและฟอก เท่ากับ 61.8 และ 4 วินาที ดังนั้นจึงคัดเลือกเส้นใยไม่ฟอกไปเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อไป

Table 5 Properties of durian husk paper

| Properties | Unit | Unbleached paper | Bleached paper | Thai Industrial Standard 170-2550 |
|------------------------------|---|------------------|----------------|-----------------------------------|
| Basis weight | Grammage (g/m ²) | 60.25 | 59.41 | 55±5 |
| Moisture Content | % | 7.99 | 7.03 | ≤10 |
| Water Absorption (Drop test) | sec/H ₂ O 0.05 cm ³ | | | - |
| - felt side (FS) | | 46.6 | 4.6 | |
| - wire side (ws) | | 61.8 | 4.0 | |
| Tear Resistance | mN | 453 | 206 | 260 |
| Tensile Strength | kN/m | 1.09 | 0.52 | ≥2 |
| Elongation | % | 1.73 | 1.02 | - |
| Bursting strength | kPa | 289 | 222 | 140 |

2. ศึกษาชนิดของถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ มีรูพรุนและพื้นที่ผิวภายในจำนวนมาก มากกว่า 400 ตารางเมตร/กรัม (McDOUGALL, 1991) ทำให้ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดเป็นตัวดูดซับที่ดีสามารถดูดซับกลิ่น ไออน้ำ และแก๊สต่างๆ ไปได้ รวมถึงก๊าซเอทิลีน ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านกัมมันต์เนื่องจากมีขนาดและจำนวนรูพรุนแตกต่างกัน (Tanatchporn, 2015) โดยผลการเตรียม

กระดาษดูดซับเอทิลีนจากเส้นใยเปลือกทุเรียนไม่พอกผสมกับถ่านกัมมันต์ชนิดต่างๆ พบว่ากระดาษที่ได้มีสีเทาทั่วทั้งแผ่น เนื่องจากถ่านกัมมันต์กระจายตัวได้ค่อนข้างดีดัง Figure 23

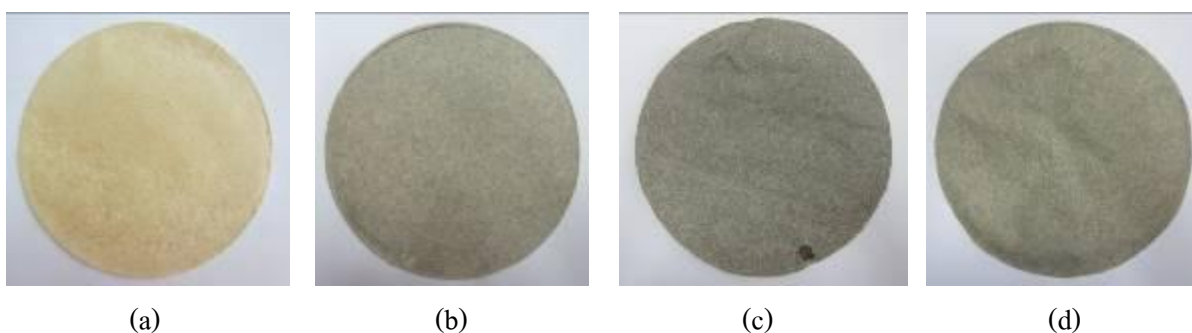


Figure 23 Illustrates the ethylene absorber paper at various activated carbon (AC) types; (a) without AC (b) Powder type (c) Granule type (GAC) and (d) Rod type

ซึ่งกระดาษที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีการหลุดร่วงของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากชนิดเม็ดและชนิดแท่งมีขนาดอนุภาคใหญ่ทำให้การแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยในเนื้อกระดาษเกิดได้ไม่ดี จึงมีบางส่วนหลุดร่วงออกมา และเมื่อนำกระดาษมาทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น โดยทดสอบการยืดอายุ การเก็บรักษาผลมะม่วงเป็นเวลา 10 วัน พบว่ามะม่วงเริ่มเน่าเสียในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ดัง Figure 24 และสามารถเก็บรักษาได้นาน 10 วัน เมื่อห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีน





Figure 24 Outer appearance of the mango storage at room temperature for 1 and 8 days (left to right)

with ethylene absorber paper various types; (a) paper without activated carbon (AC) (b) paper with powder AC (c) paper with granule AC and (d) paper with rod AC

โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 10.50% อาจเนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาณมากที่สุด เมื่อเทียบกับชนิดแท่งและชนิดเม็ด (บุญรักษ์, 2016) ทำให้สามารถดูดซับก๊าซได้มากกว่า รองลงมาคือเติมถ่านกัมมันต์ชนิดแท่ง ชนิดเม็ด และไม่เติมถ่านกัมมันต์ เท่ากับ 11.10 11.54 และ 12.29 ตามลำดับ (Table 6 และ Figure 25) และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกน้อยที่สุด ดัง Figure 26 ดังนั้นจึงเลือกถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder) ไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

Table 6 Effect of Activated Carbon (AC) Types on properties of Ethylene Absorber Paper for properties of mango at 10th of storage time at RT

| Treatment | AC Types | %Weight loss | Color | | |
|-----------|----------|--------------|-------|------|-------|
| | | | L* | a* | b* |
| 1 | Non | 12.29a | 66.23 | 6.47 | 39.42 |
| 2 | Powder | 10.50a | 67.48 | 5.34 | 37.79 |
| 3 | Granular | 11.54a | 67.99 | 6.27 | 39.53 |
| 4 | Rod | 11.10a | 67.65 | 7.25 | 40.35 |

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

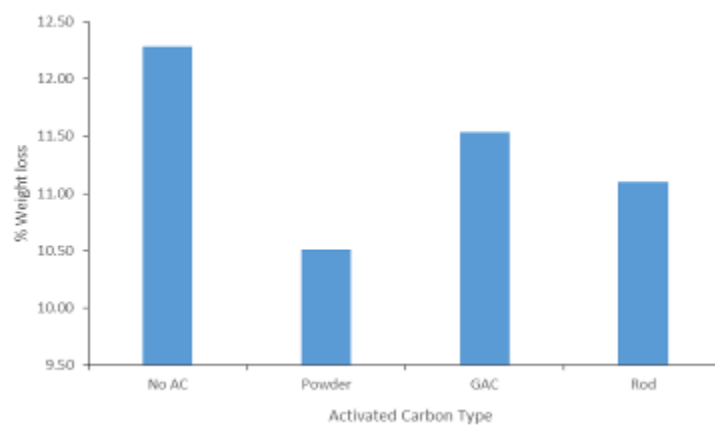
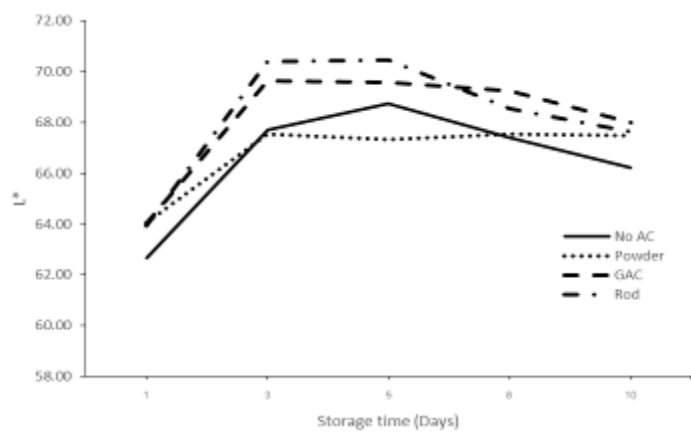
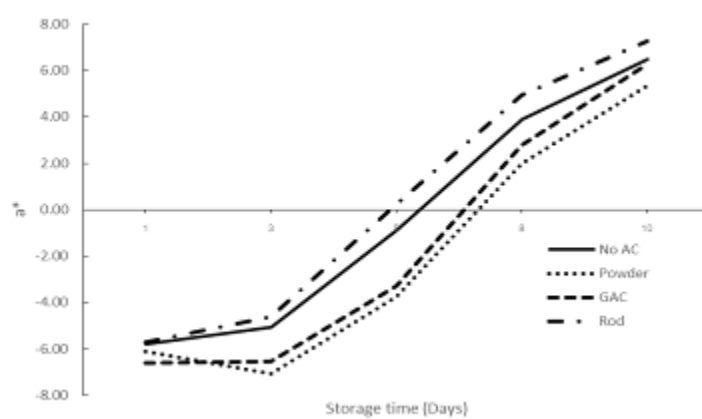


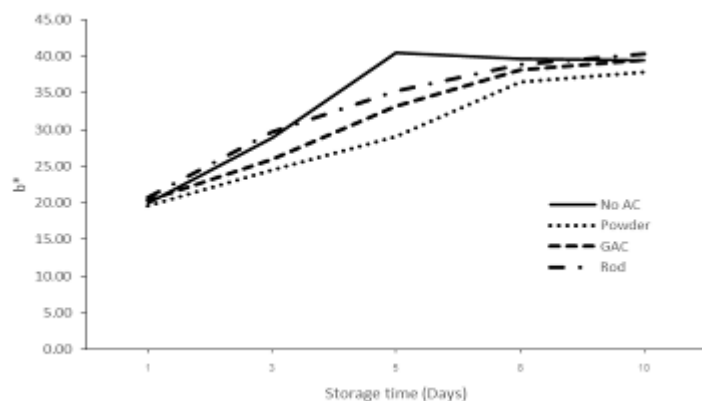
Figure 25 Weight loss of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon types) during storage at RT for 8 days



(a)



(b)



(c)

Figure 26 Color score of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon types) during storage at RT for 8 days; (a) L*, (b) a* and (c) b*

3. ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม

จากการทดลองในข้อ 2 พบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงให้ผลการทดลองดีที่สุด ดังนั้นจึงนำมาหาปริมาณที่เหมาะสมในการเตรียมกระดาษดูดซับเอทิลีนต่อ โดยเตรียมกระดาษจากเส้นใยไม้ฟอกเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงปริมาณ 5 15 25 และ 35% โดยน้ำหนักเยื่อ ซึ่งเป็นปริมาณที่ครอบคลุมการทดลองของสุพัฒน์ (2550) ที่ทำการทดลองเติมผงถ่านกัมมันต์ในเยื่อกระดาษลอนลูกฟูกเก่า ปริมาณ 0 5 10 15 20 และ 25% โดยน้ำหนักเยื่อ จากการทดลองพบว่าไม่มีการหลุดร่วงของผงถ่านกัมมันต์ กระดาษมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เพิ่มขึ้นดัง Figure 27 และมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาดที่น้อยกว่ามาตรฐาน (Table 7) แต่สามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านนี้ได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent) เช่น แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลาไมด์ (ดรรรชนี, 2556)



Figure 27 Ethylene absorber paper with various activated carbon powder content; left to right 0, 5, 15, 25 and 35% w/w

Table 7 Effect of activated carbon (AC) powder on properties of ethylene absorber paper from unbleached durian husk fiber.

| Treatment | AC (%) | Thickness (grammage) | Moisture Content (%) | Tear strength (mN) | Tensile Strength (kN/m) | Elongation (%) | Bursting strength (kPa) |
|-----------|--------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 56.14d | 7.99ab | 477.10a | 1.08a | 1.66a | 296.06b |
| 2 | 5 | 53.28e | 7.21b | 344.80c | 0.57c | 1.37b | 190.69c |
| 3 | 15 | 59.12c | 7.78ab | 355.40c | 0.55c | 1.45ab | 191.81c |
| 4 | 25 | 60.98b | 8.41a | 386.70bc | 0.63b | 1.56ab | 198.56c |
| 5 | 35 | 64.74a | 8.62a | 408.10ab | 0.67b | 1.56ab | 314.44a |

Means within the same column followed by different letter are significantly different ($P < 0.05$)

จากตารางที่ 7 พบว่ากระดาษที่ไม่เติมผงถ่านกัมมันต์ มีความแข็งแรงสูงกว่ากระดาษที่เติมผงถ่านกัมมันต์และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากผงถ่านกัมมันต์ไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใย ทำให้แรงยึดเหนี่ยวชนิด ระหว่างเส้นใยกับเส้นใยลดลง กระดาษจึงมีความแข็งแรงลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกระดาษที่เติมผงถ่านกัมมันต์ด้วยกัน พบว่ากระดาษมีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์สูงขึ้น เนื่องจากแรงดึงดูดชนิด Van der Waals ระหว่างผงถ่านกัมมันต์ด้วยกันช่วยเสริมแรงให้กระดาษแข็งแรงขึ้น แต่แรง Van der Waals มีความแข็งแรงน้อยกว่า Hydrogen bonding ซึ่งผลทดสอบกระดาษไม่เติมถ่านกัมมันต์ กระดาษเติมถ่านกัมมันต์ 0 5 15 25 และ 35% มีความต้านทานแรงฉีกขาด เท่ากับ 477.01, 344.08 355.40 386.70 และ 408.10 mN ตามลำดับ ความต้านทานแรงดึงขาด เท่ากับ 1.08 0.57 0.55 0.63 และ 0.67 kN/m ตามลำดับ ความต้านทานแรงดันทะลุ เท่ากับ 296.06 190.69 191.81 198.56 และ 314.44 kPa ตามลำดับ แต่ความชื้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณผงถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านมีรูพรุนที่สามารถดูดความชื้นเข้าไปในรูพรุนได้ เมื่อมีปริมาณผงถ่านกัมมันต์สูงขึ้นจึงดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ทำให้มีความชื้นสะสมในกระดาษสูงขึ้น

เมื่อนำกระดาษดูดซับเอทิลีนมาทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นโดยการห่อผลมะม่วงเป็นเวลา 15 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเปลือกมะม่วงเริ่มเหี่ยวในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และสามารถเก็บรักษาได้นาน 15 วัน ดังภาพใน Table 8 โดยผลมะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษาไป 15 วัน เท่ากับ 28.59% ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับมะม่วงที่เก็บรักษาด้วยสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าและห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 0 15 25 และ 35% เท่ากับ 30.25 29.57 32.83 32.13 และ 31.12% ตามลำดับ (Table 9 และ Figure 28)

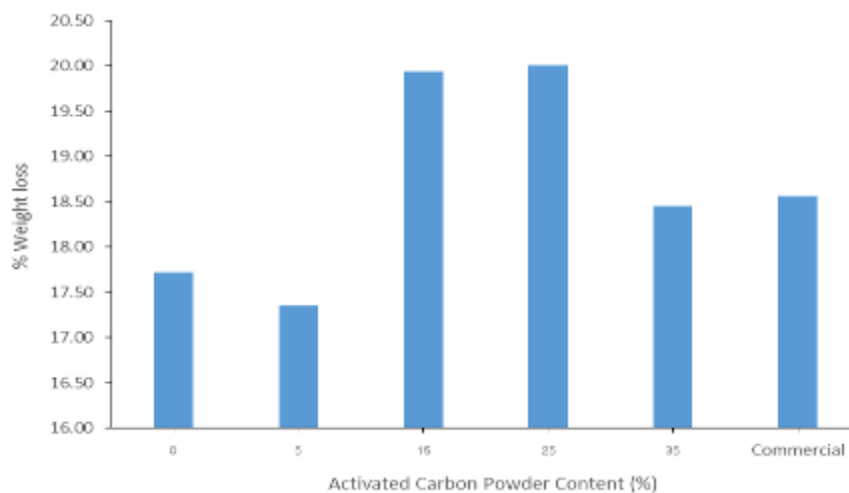

















Figure 28 Weight loss of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon powder content) during storage at RT for 15 days

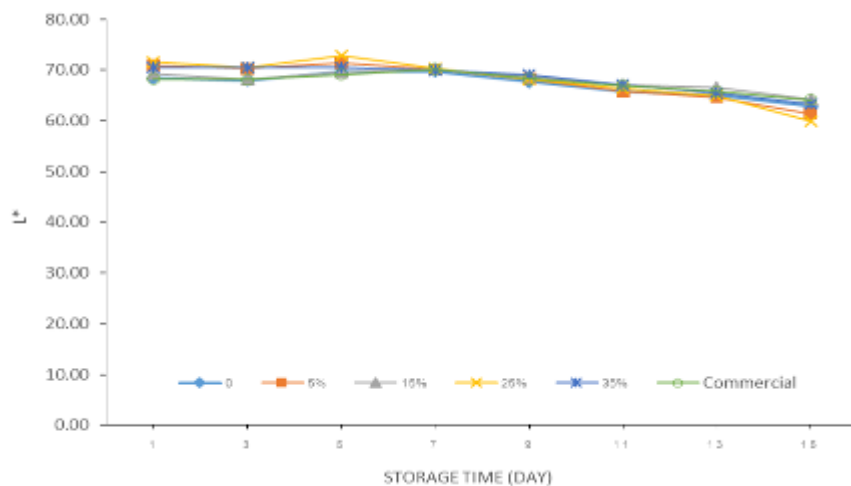
Table 9 Effect of Activated Carbon (AC) Powder content on properties of Ethylene Absorber Paper for properties of mango at 15th of storage time at RT

| Treatment | AC Content (%) | %Weight loss | Color | | |
|-----------|---------------------------------|--------------|-------|------|-------|
| | | | L* | a* | b* |
| 1 | 0 | 29.57ab | 62.83 | 2.83 | 34.30 |
| 2 | 5 | 28.59a | 61.39 | 2.52 | 30.16 |
| 3 | 15 | 32.83b | 64.27 | 5.94 | 36.21 |
| 4 | 25 | 32.13ab | 59.86 | 1.33 | 27.81 |
| 5 | 35 | 31.12ab | 63.34 | 5.82 | 31.61 |
| 6 | Commercial Ethylene Absorber | 30.25ab | 64.07 | 1.58 | 35.32 |

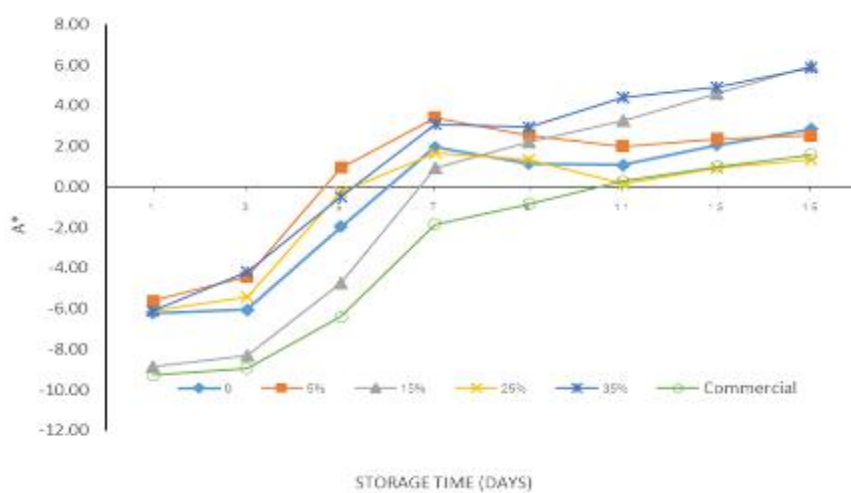
Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

Table 8 Outer and inner appearance of the mangoes storage at room temperature for 15days with ethylene absorber paper various activated carbon content

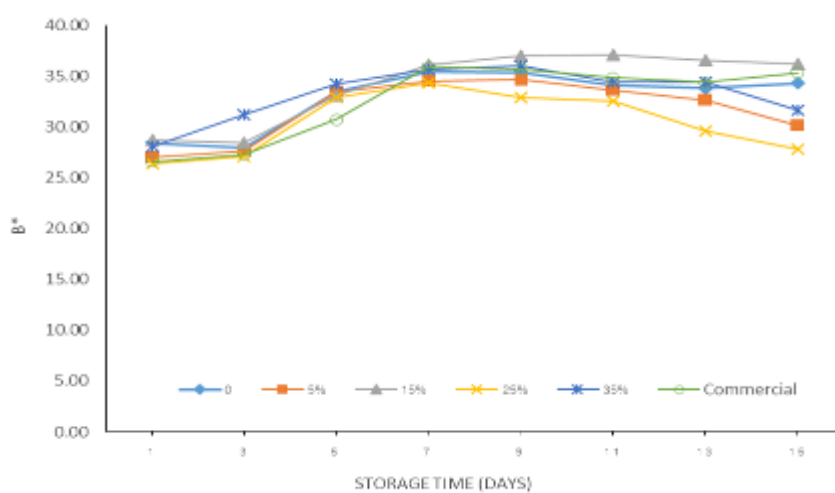
| AC Content (%) | Storage Time (Days) at Room Temperature | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|
| | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | | |
| 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 25 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| 35 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |
| Commercial Ethylene Absorber |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |



(a)



(b)



(c)

Figure 29 Color score of mango in ethylene absorber paper (various activated carbon powder content) during storage at RT for 15 days; (a) L*, (b) a* and (c) b*

จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณถ่านกัมมันต์สูงชันการดูดซับก๊าซไม่ได้เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเมื่อปริมาณถ่านกัมมันต์เพิ่มขึ้นการกระจายอากาศตัวเกิดได้ไม่ดีถ่านกัมมันต์จับกันเป็นกลุ่มก้อน รุพรุนถูกปิดกั้นทำให้ก๊าซไม่สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนได้หรือเมื่อการกระจายตัวเกิดได้ไม่ดีส่งผลให้พื้นที่ผิวลดลงการดูดซับจึงเกิดได้น้อยลง อีกทั้งถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับได้ทั้งไอน้ำและก๊าซหลายชนิด ซึ่งอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับก๊าซเอทิลีนลดลง ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากรายงานของสุพัฒน์ (2550) ที่รายงานว่าผงถ่านปริมาณ 25% โดยน้ำหนักของเยื่อกระดาษลอนลูกฟอกเก่า ให้ผลดีที่สุด ทั้งนี้อาจขึ้นกับชนิดของวัสดุที่นำมาเตรียมกระดาษที่แตกต่างกันหรือเกรดของถ่านกัมมันต์ที่แตกต่างกัน คือ สารเคมีที่ใช้ในการผลิต (treat) ถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน มีผลทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซแตกต่างกัน (Tanatchporn, 2015) ส่วนค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน (Figure 29) โดยมะม่วงที่ห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผงถ่านกัมมันต์ 25% มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีน้อยที่สุด คือ $L^* 59.86$ $a^* 1.33$ และ $b^* 27.81$ รองลงมาคือห่อด้วยกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% คือ $L^* 61.39$ $a^* 2.52$ และ $b^* 30.16$ (Table 9) ดังนั้นกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการนำไปพัฒนา

4. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนชนิดเติมผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย เท่ากับ 1.59 บาท/แผ่น ซึ่งเป็นต้นทุนจากการสกัดเซลลูโลส 1.49 บาท (1.19 บาท/กรัม) และต้นทุนผงถ่านกัมมันต์ 0.10 บาท (1.54 บาท/กรัม) เท่านั้น ซึ่งมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าที่มีราคาประมาณ 2.50 บาท/ซอง

การทดลองที่ 1.3 การผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพจากจุลินทรีย์

1. การเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรีย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรีย 2 รูปแบบ คือ

1.1 การเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียที่เจริญอยู่ตามแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยใช้ตาข่ายแพลงก์ตอน (Plankton net) ขนาด 20 ไมโครเมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร หรือไม่ต่ำกว่าที่ระดับแสงสามารถส่องผ่านได้ ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง ดังแสดงใน Figure 30



Figure 30 แหล่งน้ำธรรมชาติที่เก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรีย

- 1) อ่างเก็บน้ำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (วิทยาเขตคอดยสะเก็ด) จ.เชียงใหม่
- 2) อ่างเก็บน้ำห้วยยาง จ.สระแก้ว
- 3) เขื่อนปากมูล จ.อุบลราชธานี
- 4) เขื่อนขุนด่านปราการชล จ.นครนายก
- 5) แหลมผักเบี้ย จ.เพชรบุรี
- 6) บ่อพันขัน จ.ร้อยเอ็ด

1.2 การเก็บตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในบริเวณรากของปรง โดยเก็บรวบรวมรากคอรัลลอยด์ซึ่งเป็นรากของต้นปรงที่เจริญขึ้นมาเหนือผิวดิน ไม่มีการตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก จากสวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ กรุงเทพมหานคร รากคอรัลลอยด์มีลักษณะปลายรากแตกเป็นสองแฉกคล้ายปะการัง ไม่มีหมวกราก ที่บริเวณ Cyanobacterial zone ของรากคอรัลลอยด์ ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ มีสีเขียวของไซยาโนแบคทีเรียที่อยู่ภายในรากตรงกลางชั้นคอร์เทกซ์และเซลล์ชั้นนี้จะถูกล้อมรอบด้วยเซลล์เยื่อทั้งด้านนอกและด้านใน ดังแสดงใน Figure 31



Figure 31 ลักษณะรากคอรัลลอยด์ของปรง ; ก. ตำแหน่งของราก (สรชี้); ข. การแตกแขนงของราก; ค. บริเวณที่ไซยาโนแบคทีเรียอาศัยอยู่ (สรชี้)

2. การคัดแยกไซยาโนแบคทีเรีย

เมื่อนำตัวอย่างน้ำมาเพิ่มปริมาณเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียโดยเฉพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BG-11 แล้วนำมาคัดแยกให้ได้เซลล์บริสุทธิ์โดยใช้วิธีคูดอกด้วยไมโครปิเปตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Manipulative methods) เป็นวิธีการแยกไซยาโนแบคทีเรียที่ต้องการโดยวิธีกล ซึ่งของเหลวและเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย จะไหลเข้าสู่ไมโครปิเปตเองโดยอาศัยแรงตึงแคปิลลารี จากนั้นนำไซยาโนแบคทีเรียที่แยกได้ไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวเพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ ในขั้นตอนนี้ใช้ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงประมาณ 60–120 วัน ในสภาวะแบบออโตโทรฟิก โดยให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Cool white ที่มีความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ในอัตรา 12 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิห้องเฉลี่ยประมาณ 28-29 องศาเซลเซียส การตรวจสอบว่าไซยาโนแบคทีเรียเจริญขึ้นหรือไม่โดยสังเกตจากสีของอาหารเหลวซึ่งจะมีสีเขียวหรือสีเขียวแกมน้ำเงิน ตรวจสอบว่าได้สายพันธุ์บริสุทธิ์หรือไม่ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า ดังแสดงใน Figure 32

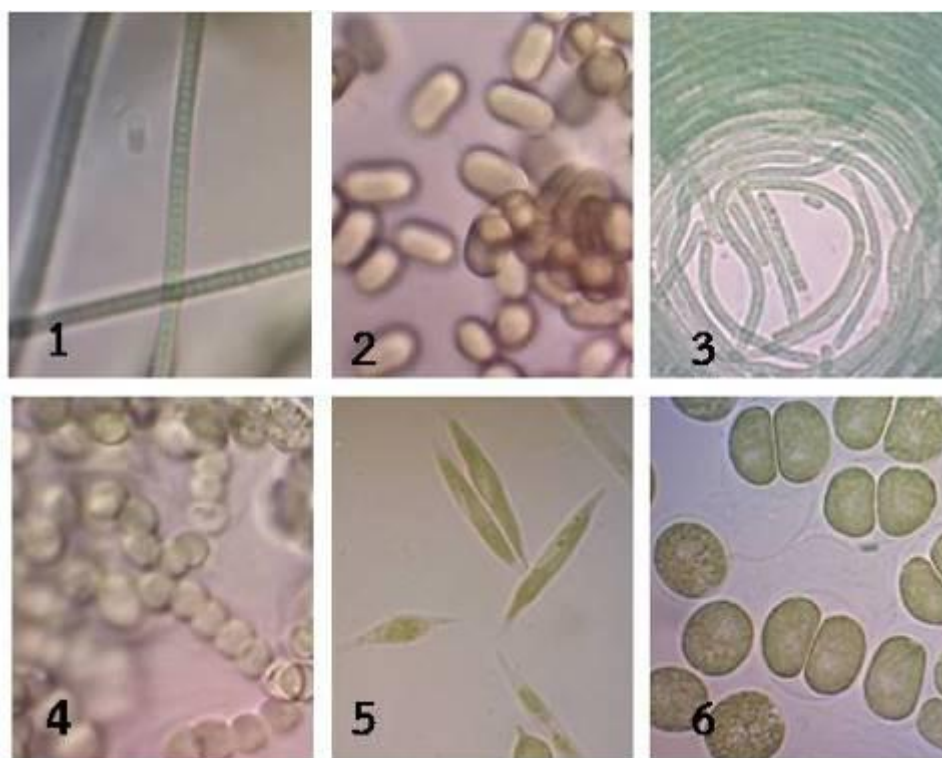


Figure 32 ลักษณะทางสรีรวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียที่คัดแยกได้; 1) NT01-1; 2) SM5-1; 3) NT05-5; 4) SM6-3; 5) LH01-3; 6) NT05-3

เมื่อนำตัวอย่างไซยาโนแบคทีเรียบริสุทธิ์ที่แยกได้มาคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีการสะสมพอลิเมอร์ไว้ในเซลล์ โดยใช้เทคนิคการย้อมด้วยสีซูดาน แบลค บี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าไอโซเลท SM6-3 เป็นไซยาโนแบคทีเรียที่คัดแยกได้จากรากคอรัลลอยด์ของปรังมีเมล็ดสีน้ำเงินเข้มหรือจุดดำภายในเซลล์มากที่สุด ดังแสดงใน Figure 33 จึงเลือกสายพันธุ์นี้มาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ โดย

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ ไอโซเลท SM6-3 มีรูปร่างเป็นกลุ่มเซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นสาย trichome ประกอบด้วย vegetative cell และ heterocyst cell เรียงสลับหรืออยู่ปลายสุดของเส้นสาย trichome

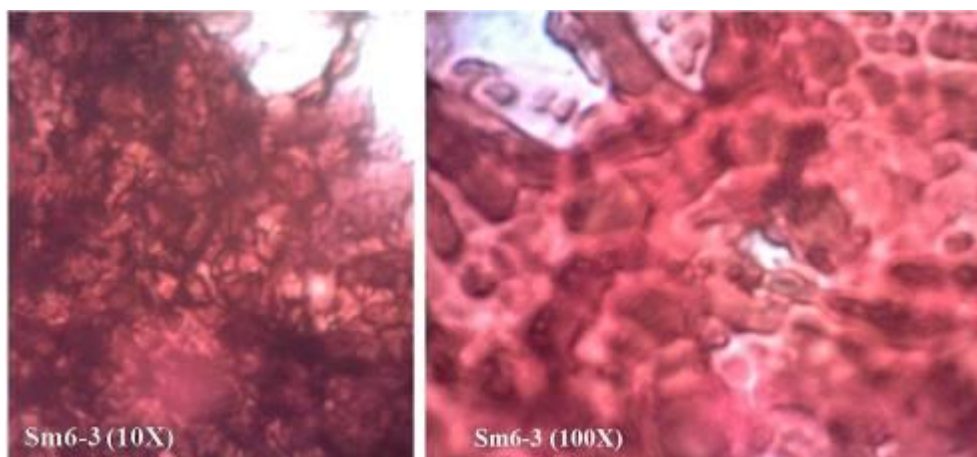


Figure 33 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ ไอโซเลท SM6-3 เมื่อผ่านการย้อมด้วยสีชูแดนแบลค บี ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 100 เท่า

3. การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของไอโซเลทที่เรีย

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไอโซเลทที่เรียไอโซเลท SM6-3 โดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงสูตร BG-11 ที่มีปริมาณกล้าเชื้อเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ หรือมีปริมาณเซลล์เริ่มต้น 1×10^7 เซลล์/มิลลิลิตร ให้อากาศบริสุทธิ์แบบต่อเนื่องจากบ่อก๊าซที่มีการกรองอากาศด้วย Filter membrane ขนาด 0.45 ไมครอน เพาะเลี้ยงด้วยแสง 2 แบบ คือ การให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Cool white ที่มีความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ในอัตรา 12 ชั่วโมง/วัน ในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส และเพาะเลี้ยงนอกห้องปฏิบัติการ ในบริเวณที่มีแสงแดดส่องได้ทั่วถึงตลอดวัน

ผลการศึกษาพบว่าเซลล์ที่เพาะเลี้ยงแบบใช้แสงแดดมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและให้ผลผลิตสูงกว่าเซลล์ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ กล่าวคือเซลล์มีการเจริญเติบโตเข้าสู่ช่วง Stationary phase ในวันที่ 20 ของการเพาะเลี้ยง มีความหนาแน่นของเซลล์สูงสุด 1.035×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผลิตชีวมวลได้สูงสุด 1.75 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เพาะเลี้ยงโดยใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีการเจริญเติบโตเข้าสู่ช่วง Stationary phase ในวันที่ 28 ของการเพาะเลี้ยง ซึ่งมีความหนาแน่นของเซลล์สูงสุด 6.74×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผลิตชีวมวลได้สูงสุด 0.84 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงใน

Figure 34

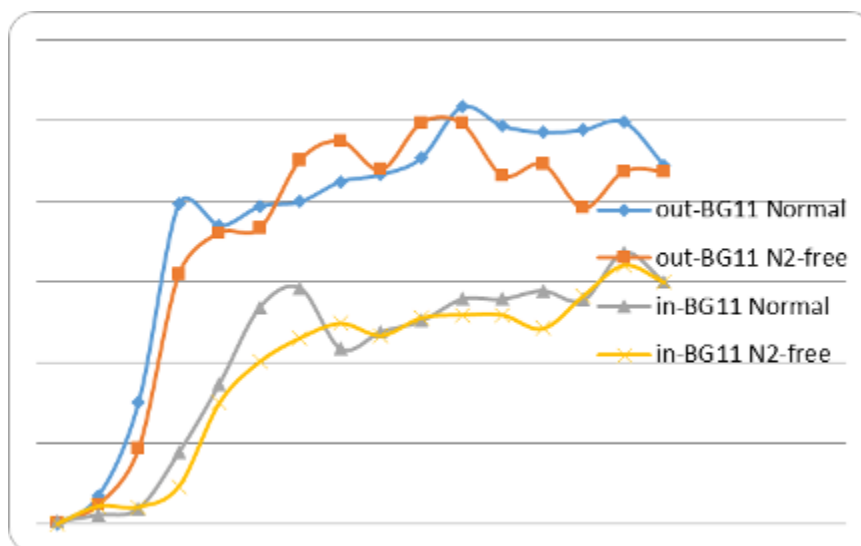


Figure 34 กราฟแสดงอัตราการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียไอโซเลท SM6-3 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง (date) กับความหนาแน่นของเซลล์ (cell/ml)

ในขณะเดียวกันเมื่อปรับสูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงโดยไม่มีการเติมธาตุไนโตรเจนลงไปในการเพาะเลี้ยง (N-free medium) พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรียไอโซเลท SM6-3 แต่อย่างไรก็ตาม เซลล์มีการเจริญเติบโตเข้าสู่ช่วง Stationary phase ในวันที่ 18 ของการเพาะเลี้ยง มีความหนาแน่นของเซลล์สูงสุด 9.96×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผลผลิตชีวมวลได้สูงสุด 1.69 กรัมต่อลิตร ซึ่งอาจจะสืบเนื่องจากไซยาโนแบคทีเรียสายพันธุ์นี้เป็นชนิดที่อาศัยอยู่ร่วมกันในรากปรองแบบเอนโดไฟต์ (endophyte) ทำให้สามารถตรึงไนโตรเจนได้ (N_2 -fixation) ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกสภาวะในการเพาะเลี้ยงเซลล์โดยไม่มีการเติมไนโตรเจนลงไปในการเพาะเลี้ยงสูตรอาหาร BG-11

4. การเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียในระดับขยายขนาด

การศึกษาวิธีการเพาะเลี้ยงในระดับขยายขนาดในครั้งนี้ได้ออกแบบบ่อเพาะเลี้ยงเป็นแบบเปิดนอกห้องปฏิบัติการ (Raceway pond) โดยติดตั้งใบพัดมอเตอร์เพื่อให้เกิดการไหลเวียนน้ำเพาะเลี้ยงในบ่อ เพื่อให้เซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ ลดปริมาณออกซิเจนในบ่อที่อาจจะเป็นอันตรายต่อเซลล์จากปฏิกิริยา Photo oxidation ได้ รวมทั้งป้องกันการตกตะกอนของเซลล์ในระหว่างการเพาะเลี้ยง โดยบ่อเพาะเลี้ยงที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นชุดของบ่อที่มีขนาดความจุ 1,000 ลิตร จำนวน 6 บ่อ ดังแสดงใน Figure 35

ผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียในระดับขยายขนาด ใช้สูตรอาหาร BG-11 ที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium) ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงแบบออโตโทรฟิก ได้รับแสงจากธรรมชาติ (แสงแดด) มีความหนาแน่นของเซลล์ 1.035×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผลผลิตชีวมวล (yield) สูงสุด 1.88 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 18 วัน โดยตลอดระยะเวลาในการศึกษาในครั้งนี้มีระดับความเข้มของแสงอยู่ในช่วง 11-17 kLux และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35-41 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน Figure 36

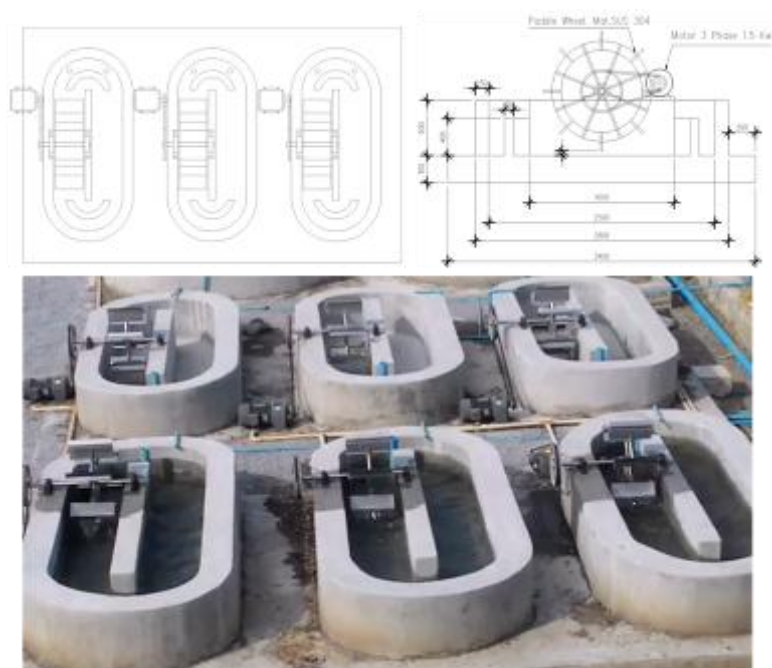


Figure 35 บ่อเพาะเลี้ยงขนาด 1,000 ลิตร ประกอบด้วยบ่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาด 1.3 x 2.8x 0.6 เมตร ใบบัดสแตนเลส และมอเตอร์ไฟฟ้าทรงรอบเฟืองโซ่ ขนาด 1.5 kw ความเร็วรอบ 30-50 rpm. จำนวน 6 ชุด

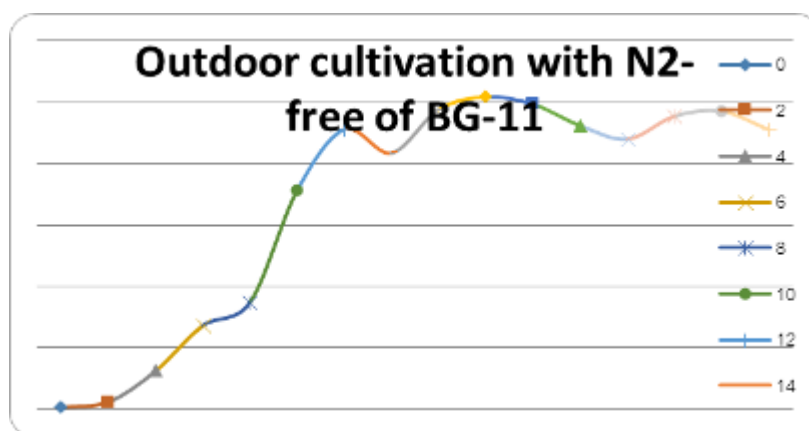


Figure 36 กราฟแสดงอัตราการเจริญเติบโตของของไซยาโนแบคทีเรียไอโซเลท SM6-3 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับขยายขนาด โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง (date) กับความหนาแน่นของเซลล์ (cell/ml)

5. วิธีการเก็บเกี่ยวชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรีย

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเก็บเกี่ยวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียโดยใช้หลักการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยก ชีวมวลและอาหารเพาะเลี้ยงออกจากกันด้วยเครื่องแยกกากเซลล์แบบอัตโนมัติ (High performance self-cleaning Separator) ซึ่งสามารถนำอาหารเพาะเลี้ยงหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังแสดงใน Figure 37 โดยสภาวะการทำงานของเครื่องแยกกากที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรีย ไอ

โซลเทท SM6-3 คือ ใช้อัตราในการป้อนน้ำเพาะเลี้ยงเซลล์ 400 ลิตรต่อชั่วโมง ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที และเก็บกากชีวมวลอัตโนมัติที่เวลา 50 นาทีต่อครั้ง ทั้งนี้การทำงานของเครื่องสามารถปรับสถานะได้ตามความต้องการขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำชีวมวลไปใช้ในลำดับต่อไป



Figure 37 (ซ้าย) เครื่องแยกกากเซลล์แบบอัตโนมัติ (High performance self-cleaning Separator)
(ขวา) ชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงในระบบขยายขนาด

เมื่อนำชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียที่ได้จากการเก็บเกี่ยว มาศึกษาปริมาณและองค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น ความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน และเส้นใย พบว่ามีผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 10

Table 10 ปริมาณสารอาหารและองค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย ไอโซเลท SM6-3 ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium)

| ปริมาณและองค์ประกอบต่างๆภายในเซลล์ (% gDW) | |
|--|-------|
| ความชื้น (Moisture) | 5.79 |
| เถ้า (Ash) | 6.58 |
| ไขมัน (Fat) | 10.11 |
| โปรตีน (Protein) | 29.97 |
| เส้นใย (Fiber) | 6.55 |
| คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) | 41.00 |

ชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียที่ปั่นแยกกากได้มาจะมีลักษณะคล้ายเยลลี่หรือวุ้น น่าจะเนื่องมาจากภายในเซลล์มีองค์ประกอบเป็นพอลิแซคคาไรด์ เมื่อตรึงเซลล์แล้วข้อมด้วยสปีโนโกรซิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า พบว่ามีลักษณะมีวงใสๆอยู่ล้อมรอบเซลล์ ดังแสดงใน Figure 38

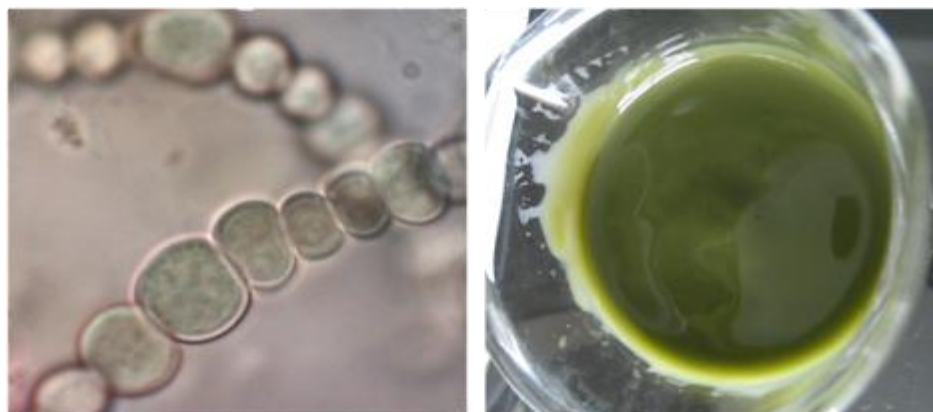


Figure 38 (ซ้าย) ลักษณะของพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย ไอโซเลท SM6-3 เมื่อย้อมด้วยสีใน โกรซิน ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า, (ขวา) ชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียที่เก็บเกี่ยวได้ซึ่งมีลักษณะคล้ายวุ้นหรือเยลลี่

6. การสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพจากเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย

เมื่อนำชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียที่ปั่นแยกกากได้มาสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพออกจากเซลล์และหาปริมาณพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly- β -hydroxybutyrate, PHB) โดยการใช้ปฏิกิริยา Acid hydrolysis และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 235 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยงเซลล์ด้วยอาหาร BG-11 สูตรปกติ มีปริมาณพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (PHB) เท่ากับ 0.21 กรัมต่อลิตร ในขณะที่เซลล์ที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium) มีปริมาณเท่ากับ 0.33 กรัมต่อลิตร นั่นคือเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย ไอโซเลท SM6-3 มีการสะสมปริมาณของพอลิเมอร์ชีวภาพสูงกว่าอาหารสูตรปกติ โดยที่มีอัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ในอาหารทั้งสองสูตร ดังแสดงใน Table 11

Table 11 น้ำหนักเซลล์แห้งของไซยาโนแบคทีเรีย ไอโซเลท SM6-3 และปริมาณ PHB ที่ผลิตได้เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร BG-11 แบบปกติ (Normal) และแบบที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium)

| สูตรอาหาร | ชีวมวล (Dry cell weight) (กรัม/ลิตร) | ปริมาณ PHB (กรัม/ลิตร) | ปริมาณ PHB (% cdw) |
|------------------------------|---|---------------------------|-----------------------|
| BG-11 (Normal) | 1.75 | 0.21 | 14.00 |
| BG-11 (N ₂ -free) | 1.69 | 0.33 | 19.53 |

7. การเตรียมแผ่นฟิล์มเบื้องต้นโดยใช้เซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาอัตราส่วนระหว่างเซลล์ชีวมวลของไซยาโนแบคทีเรียกับสารพลาสติกไซเซอร์ เพื่อทดสอบการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มเบื้องต้น โดยนำเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย 50 กรัม เดิมกลีเซอรอลให้มีอัตราส่วนร้อยละเท่ากับ 5 10 15 20 25 30 อบให้แห้งแล้วนำมาตั้งแผ่นฟิล์มที่ผลิตได้ออกจากแผ่นเพลท พบว่าแผ่นฟิล์มที่ได้จากเซลล์ชีวมวลโดยตรง ไม่สามารถขึ้นรูปแผ่นฟิล์มได้ ในขณะที่เมื่อเติมกลีเซอรอลใน ปริมาตรร้อยละ 20-30 แผ่นฟิล์มจะมีลักษณะเปื่อยยุ่ยและเยิ้มที่ผิว ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ มีเพียงร้อยละ 10-15 ที่สามารถตั้งแผ่นฟิล์มออกมาจากเพลทได้ ดังแสดงใน Figure 39

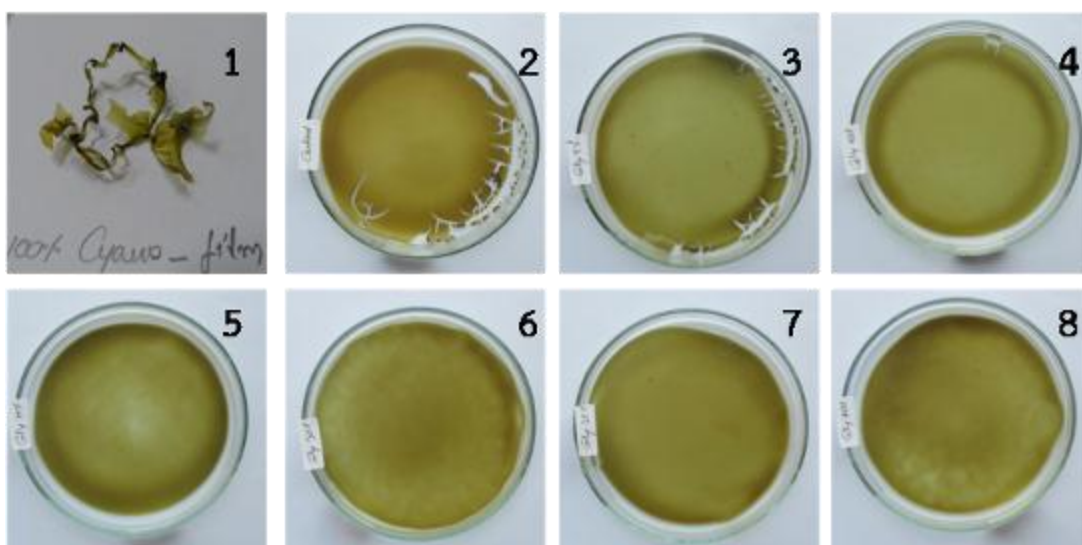


Figure 39 ลักษณะทางสรีรวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียที่คัดแยกได้ ; 1.- 2. Control; 3. +Glycerol 5%; 4. +Glycerol 10%; 5. +Glycerol 15%; 6. +Glycerol 20% 7. +Glycerol 25% 8. +Glycerol 30%

เมื่อนำแผ่นฟิล์มไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความหนา ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ปริมาณความชื้น และการละลาย พบว่าชุดทดสอบที่เป็นส่วนผสมระหว่างชีวมวลกับกลีเซอรอล 15% มีความหนาของฟิล์ม เท่ากับ 0.11 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Table 12

อย่างไรก็ตามลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้ยังไม่มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นมากเท่าที่ควร ทำให้ไม่มีแรงต้านในการดึง ฉีกขาดได้ง่าย ทั้งนี้จำเป็นต้องศึกษาวิธีการ และอัตราส่วนผสมต่างๆ เพิ่มเติมในลำดับต่อไป

Table 12 คุณสมบัติของแผ่นฟิล์มจากเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย ไอโซเลท SM6-3

| อัตราส่วนผสม ของแผ่นฟิล์ม | ความชื้น (%) | ความหนา (mm.) | ค่าปริมาณน้ำ อิสระ (Aw, %) | ค่าการ ละลายน้ำ (%) | L | ค่าสี a* | b* |
|------------------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|------------------------|-------|-------------|-------|
| control | 16.50 | - | - | - | - | - | - |
| +Glycerol 5% | 19.37 | 0.05 | 4.26 | 44.91 | - | - | - |
| +Glycerol 10% | 20.40 | 0.09 | 3.39 | 67.81 | 31.66 | 2.73 | -0.30 |
| +Glycerol 15% | 13.79 | 0.11 | 2.57 | 76.83 | 30.17 | 1.76 | -2.34 |
| +Glycerol 20% | 12.32 | 0.11 | 2.65 | 80.99 | 32.85 | 1.50 | -1.91 |
| +Glycerol 25% | 7.64 | 0.14 | 2.53 | 78.68 | 32.01 | 1.03 | -1.23 |
| +Glycerol 30% | 7.83 | 0.23 | 1.78 | 77.18 | 25.67 | 0.28 | -1.60 |

การทดลองที่ 1.4 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพสำหรับอาหาร

1. คัดเลือกผลิตผลที่เหมาะสมสำหรับขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ

1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผล

ผลิตผลเกษตรมีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ ได้แก่ เพคติน เซลลูโลส สตาร์ช ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพทำให้สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ โดยเพคตินเป็นส่วนที่เชื่อมเนื้อเยื่อของเซลล์เข้าด้วยกันส่งผลต่อความยืดหยุ่นและปั้นเนื้อเดียวกันเมื่อนำไปขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพ ขณะที่เส้นใย (Crude fiber) เป็นส่วนของเซลลูโลสที่เป็นโครงสร้างของเซลล์พืช ทำให้ฟิล์มมีความคงตัวมากขึ้น (จริงแท้, 2539) จากการศึกษาเนื้อผักและผลไม้ (puree) 5 ชนิดพบว่ามีองค์ประกอบเคมีแตกต่างกัน ดังแสดงใน Table 13

Table 13 Chemical Properties of Selected fruit and vegetable

| Sample | Chemical Properties | | | |
|-------------|---------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|
| | pH | Dry matter (%) | Pectin (% dry wt.) | Crude fiber (%dry wt.) |
| Banana | 6.24±0.06 | 33.13 ±0.21 | 3.68 ±0.27 | 2.69 ±0.45 |
| Carrot | 7.62±0.12 | 10.75 ±0.08 | 6.58 ±0.10 | 8.33 ±0.92 |
| Mango | 3.43±0.07 | 10.80 ±0.22 | 5.51 ±0.37 | 8.02 ±6.06 |
| Red Cabbage | 5.87±0.10 | 7.44 ±0.08 | 6.44 ±0.38 | 13.6 ±3.61 |
| Tomato | 4.44±0.15 | 5.51 ±0.29 | 4.33 ±0.27 | 5.70 ±1.32 |

จากตารางพบว่าแครอทมีปริมาณเพคตินสูงที่สุดคือ 6.58 ± 0.10 % ของน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ กะหล่ำปลีแดง และมะม่วง 6.44 ± 0.38 และ 5.51 ± 0.37 % ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ขณะที่กะหล่ำปลีแดงมีปริมาณเส้นใยสูงที่สุด คือ 13.6 ± 3.61 % ของน้ำหนักแห้ง

1.2 ศึกษาการเตรียมฟิล์มจากผลิตผลเกษตร

จากการทดสอบขึ้นรูปฟิล์มที่ความเข้มข้น 20-40% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าแครอทและมะม่วงสามารถขึ้นรูปได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุดคือ 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขณะที่กะหล่ำปลีแดงและมะเขือเทศต้องใช้ความเข้มข้นเป็น 40% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะสามารถลอกออกจากเพลทได้ ขณะที่กล้วยน้ำว่าไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ เนื่องจากกรอบแตก เมื่อผ่านกระบวนการอบ อาจเนื่องมาจากกล้วยน้ำว่าดิบมีองค์ประกอบของแป้งสูงและเพคตินซึ่งช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นแก่ฟิล์มต่ำ ทำให้ฟิล์มกรอบเปราะและแตกออกมา (Vieira *et al.*, 2011)

1.3 คุณสมบัติของฟิล์มจากผลิตผลเกษตร

ฟิล์มจากผลิตผลเกษตรแต่ละชนิดมีลักษณะคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยแครอทและมะม่วงให้ฟิล์มที่มีลักษณะพื้นผิวแห้งและยืดหยุ่นเล็กน้อย ขณะที่กะหล่ำปลีแดงให้ฟิล์มที่มีลักษณะกรอบเปราะ (Brittleness) และมะเขือเทศให้ฟิล์มที่มีลักษณะเหนียวยืด (Table 14) ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของผลิตผลแต่ละชนิด โดยปริมาณเพคตินและเส้นใยของผลิตผลควรมีสัดส่วนที่เหมาะสมกัน หากปริมาณเส้นใยมีปริมาณมากจะส่งผลให้ฟิล์มมีความกรอบเปราะสูงเช่นเดียวกับฟิล์มจากกะหล่ำปลีแดง ขณะที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้ฟิล์มขึ้นและเหนียวยืดในลักษณะเดียวกับฟิล์มจากมะเขือเทศ ซึ่งส่งผลต่อการลอกออกจากเพลท และการเก็บรักษา

Table 14 Film Properties of selected fruit and vegetable

| Sample | Concentration (%w/v) | Film Properties | | | | | |
|-------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-------|-------------|----------|------------------|
| | | Thickness (mm) | Moisture (%) | a_w | Peelability | Color | Appearance |
| Carrot | 30 | 0.08 | 14.32 | 0.58 | Easy | Orange | Dry, Flexible |
| Mango | 30 | 0.20 | 7.66 | 0.52 | Easy | Yellow | Dry, Flexible |
| Red Cabbage | 40 | 0.12 | 15.61 | 0.57 | Difficult | Purple | Dry, Brittleness |
| Tomato | 40 | 0.13 | 17.22 | 0.49 | Difficult | Dark Red | Sticky, Flexible |

อย่างไรก็ตามแม้ว่าแครอทและมะม่วงจะให้ฟิล์มที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมะม่วงดิบมีค่าความเป็นกรดสูง คือ $\text{pH } 3.43 \pm 0.07$ ส่งผลให้ฟิล์มมีรสเปรี้ยว แครอทจึงมีความเหมาะสมมากกว่าในการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ

2. ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มแครอทที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ มีความหนาและความสว่าง (L^*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่ม แต่ไม่มีผลให้เกิดความแตกต่าง ($P \geq 0.05$) ของความชื้น a_w ค่าสี a^* และ b^* ของฟิล์ม (Table 15)

เมื่อนำฟิล์มมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่าการเติมไฮโดรคอลลอยด์ไม่ผลให้เกิดความแตกต่างของการยืดตัวของฟิล์ม ($P \geq 0.05$) แต่มีผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงขาดของฟิล์มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (Table 3) เนื่องจากเพคตินและแอลจินเตเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับสายโซ่พอลิเมอร์ของเพคตินในเนื้อแครอท เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (network) ส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (McHugh and Olsen, 2004) ซึ่งแอลจินเตมีผลต่อการเพิ่มความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มมากกว่าเพคตินเนื่องจากการเชื่อมพันธะของหมู่เมทิลเอสเทอร์ของเพคตินกับหมู่พอลิกลูโรเนตของกรดกลูโคนิกในแอลจินเตนั้นให้โครงสร้างเจลที่แข็งแรงมากกว่า (Mancini and McHugh, 2000) เช่นเดียวกับรายงานของ Galus and Lenart (2013) ซึ่งพบว่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มประกอบแอลจินเตและเพคติน มีค่าสูงกว่าฟิล์มจากเพคตินอย่างเดียว โดยการเติมแอลจินเตที่ 4.5% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากที่สุด คือ 228.40 kgF/cm^2

การเติมไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงใน Table 15 อาจเกิดจากการเข้าไปแทรกตัวของในเนื้อแครอทของไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ได้เข้าไปสร้างพันธะกับเพคตินในเนื้อแครอท ทำให้เส้นใยในเนื้อแครอทซึ่งทำหน้าที่กั้นขวางการผ่านของก๊าซออกซิเจนในลักษณะเดียวกับเส้นใยเซลลูโลส (cellulose whisker) ในเนื้ออะเซโรลา ของ Azeredo *et al.* (2011) เกิดกระจายตัว ทำให้มีช่องว่างให้ก๊าซออกซิเจนสามารถแพร่ผ่านเข้ามาได้มากขึ้น โดยการเติมแอลจินเตทำให้ OTR ของฟิล์มเพิ่มขึ้นน้อยกว่าเพคตินอาจเนื่องมาจากโครงสร้างของแอลจินเตมีความแข็งแรงมากกว่าเพคตินทำให้กั้นการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดีกว่า

ขณะที่การเติมแอลจินเตส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) ของฟิล์มที่มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) อาจเป็นผลมาจากแอลจินเตส่วนที่ไปสร้างพันธะกับเพคตินในเนื้อแครอท ทำให้โครงสร้างในส่วนเพคตินซึ่งชอบน้ำ (hydrophilic) ของฟิล์มแข็งแรงขึ้น ทำให้ไอน้ำที่ซึมผ่านบริเวณได้น้อยลง เป็นผลให้ WVTR ของฟิล์มลดลงด้วย ขณะที่การเติมเพคตินที่ 4.5% เท่านั้นที่ส่งผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดควบคุม ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความหนาที่เพิ่มขึ้นของฟิล์ม โดย Cuq *et al.*, (1996) กล่าวว่า การซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มที่ทำจากวัตถุดิบธรรมชาติจะมีผลมาจากความหนาของฟิล์ม ซึ่งแตกต่างจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ซึ่งมีค่าการซึมผ่าน (permeability) คงที่ไม่ขึ้นกับความหนา

จากคุณสมบัติของฟิล์ม การเติมแอลจินเตที่ 3% ของเนื้อแครอท เป็นปริมาณที่ความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปศึกษาต่อ เนื่องจากสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) จากการเติมแอลจินเตที่ 4.5% และให้ค่า WVTR ต่ำที่สุด คือ $2,755.33 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$

3. ศึกษาปริมาณไซลิทอลที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม

ฟิล์มจากเนื้อแครอทที่เติมแอลจินเตมีมีการยืดตัวต่ำ การเติมสารกลุ่มพอลิแอลกอฮอล์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลาสติกไซเซออร์สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นแก่ฟิล์มได้ โดยปรับชนิดพลาสติกไซเซออร์จากกลีเซอรอลโดย Wang *et al.* (2011) เป็นไซลิทอล เนื่องจากมีแคลอรีต่ำกว่าและความหวานเทียบเท่าน้ำตาลซูโครส (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1628/sugar-alcohol>) เติมที่ระดับ 1.25-6.25% โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับการเติมกลีเซอรอลของ Wang *et al.* (2011) (1.26-6.30%) พบว่าปริมาณไซลิทอลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณสมบัติต่างๆของฟิล์มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 16 โดยพบว่าปริมาณไซลิทอลส่งผลให้ฟิล์มมีความหนา การละลายน้ำ และความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากไซลิทอลเป็นสารที่ชอบน้ำและละลายน้ำได้ เข้าไปแทรกตัวในเนื้อฟิล์ม ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวภายในของพอลิเมอร์ลดลง การละลายน้ำและความชื้นของฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น ขณะที่ความสว่างของฟิล์มลดลงจากการกระจายตัวข้างต้น ส่วนความหนาของฟิล์มที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากการเติมไซลิทอลทำให้ความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ขณะที่พื้นที่เตรียมฟิล์มเท่าเดิมจึงส่งผลให้ความหนาเพิ่มมากขึ้น

การเติมไซลิทอลส่งผลให้การยืดตัวฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มลดลง ดังแสดงใน Table 16 และ Figure 40 โดยที่เติมไซลิทอลที่ปริมาณ 6.25% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ให้การยืดตัวสูงสุด คือ 22.38 % และความต้านต่อแรงดึงขาดต่ำที่สุดคือ 89.36 kgF/cm^2 เนื่องจากการเข้าไปแทรกตัวของไซลิทอลที่กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์อ่อนแอลง ความแข็งแรงจึงลดลงและการยืดตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลองของ Wang *et al.* (2011) ที่การเติมกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นส่งผลให้ฟิล์มแครอทมีการยืดตัวเพิ่มขึ้นและความแข็งแรงลดลง

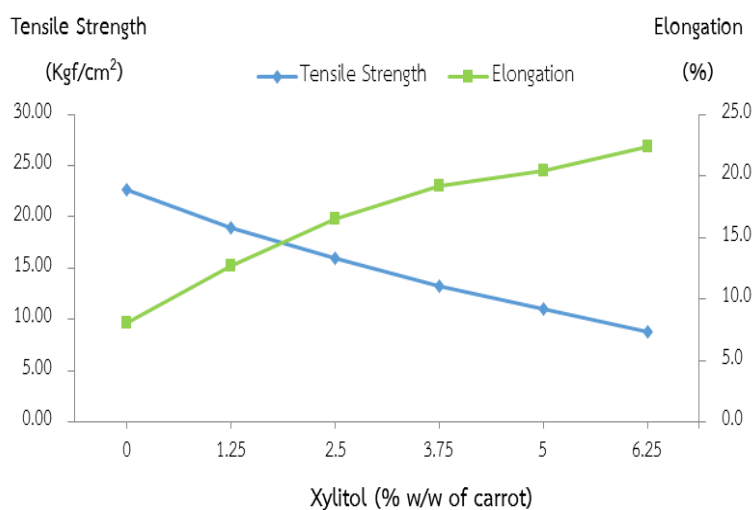


Figure 40 Effect Xylitol on mechanical properties of Carrot-Alginate film

Table 15 Effect Hydrocolloid on Carrot film properties

| Carrot films | Thickness (mm.) | Moisture (%) | a _w | Color Score | | | Tensile Strength (kgF/cm ²) | Elongation (%) | WVTR * (g/m ² .day) | OTR ** (cm ³ /m ² .day) |
|---------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--|--------------------|-----------------------------------|--|
| | | | | L* | a* | b* | | | | |
| Control | 0.083 ^d | 12.67 | 0.54 | 44.49 ^c | 4.36 | 9.18 | 78.58 ^d | 9.35 | 3254.33 ^b | 1.45 |
| 1.5% Pectin | 0.094 ^c | 12.60 | 0.57 | 44.60 ^c | 4.80 | 8.63 | 113.14 ^c | 8.93 | 3436.67 ^b | 2.29 |
| 3.0% Pectin | 0.098 ^{bc} | 11.96 | 0.55 | 45.14 ^{bc} | 4.79 | 8.24 | 138.67 ^{bc} | 9.26 | 3370.33 ^b | 2.50 |
| 4.5% Pectin | 0.102 ^a | 12.58 | 0.54 | 45.20 ^{bc} | 4.77 | 8.36 | 134.89 ^{bc} | 10.00 | 2832.00 ^a | 2.34 |
| 1.5% Alginate | 0.088 ^d | 12.40 | 0.56 | 46.28 ^{bc} | 4.47 | 8.82 | 141.17 ^b | 10.55 | 2937.67 ^a | 1.63 |
| 3.0% Alginate | 0.96 ^{bc} | 12.80 | 0.55 | 47.44 ^b | 4.75 | 9.37 | 207.12 ^a | 10.24 | 2755.33 ^a | 1.78 |
| 4.5% Alginate | 0.101 ^{ab} | 11.64 | 0.55 | 48.09 ^a | 4.68 | 9.79 | 228.40 ^a | 7.71 | 2774.33 ^a | 2.02 |
| CV (%) | 3.3 | 5.7 ^{ns} | 2.0 ^{ns} | 2.9 | 12.8 ^{ns} | 7.1 ^{ns} | 9.7 | 31.5 ^{ns} | 5.1 | - |

* WVTR = Water Vapor Transmission Rate , **OTR = Oxygen Transmission Rate

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

Table 16 Effect Xylitol on Carrot - Alginate film properties

| % Xylitol | Thickness (mm) | Solubility (%) | Moisture (%) | a_w | Color score | | | Tensile Strength (kgF/cm ²) | Elongation (%) | WVTR (g/m ² .day) | OTR (cm ³ /m ² .day) |
|-----------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---|--------------------|---------------------------------|---|
| | | | | | L* | a* | b* | | | | |
| Control | 0.09 ^c | 68.68 ^c | 13.42 ^d | 0.47 | 48.75 ^a | 3.96 ^{ab} | 9.22 | 229.87 ^a | 8.06 ^c | 3283.00 ^a | 1.61 |
| 1.25% | 0.10 ^c | 70.70 ^d | 14.15 ^c | 0.48 | 48.35 ^{ab} | 3.92 ^{ab} | 8.82 | 192.01 ^b | 12.65 ^d | 3619.75 ^b | 1.88 |
| 2.5% | 0.10 ^c | 71.50 ^c | 14.76 ^c | 0.48 | 48.13 ^{bc} | 3.75 ^b | 9.06 | 161.50 ^c | 16.49 ^e | 3691.75 ^b | 1.76 |
| 3.75% | 0.11 ^b | 74.81 ^{ab} | 14.57 ^b | 0.48 | 48.10 ^{bc} | 4.13 ^{ab} | 9.39 | 133.60 ^d | 19.18 ^b | 4241.00 ^c | 1.89 |
| 5% | 0.11 ^{ab} | 74.33 ^b | 15.04 ^b | 0.48 | 47.73 ^{cd} | 4.40 ^a | 9.32 | 110.97 ^d | 20.40 ^b | 4127.50 ^c | 2.36 |
| 6.25% | 0.11 ^a | 76.00 ^a | 15.68 ^a | 0.48 | 47.34 ^d | 4.12 ^{ab} | 8.87 | 89.36 ^e | 22.38 ^a | 4044.50 ^c | 2.62 |
| CV | 3.4 | 4.3 | 4.1 | 5.9 ^{ns} | 0.8 | 7.9 | 4.5 ^{ns} | 5.2 | 7.4 | 4.1 | - |

* WVTR = Water Vapor Transmission Rate , **OTR = Oxygen Transmission Rate

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

ระดับไซลิทอลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า OTR และ WVTR ของฟิล์ม มีแนวโน้มสูงขึ้น ดังแสดงใน Table 16 และ Figure 41 เนื่องจากไซลิทอลจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อฟิล์มทำให้เกิดช่องว่างขึ้นทำให้ ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำสามารถผ่านฟิล์มได้มากขึ้น อีกทั้งไซลิทอลยังเป็นสารชอบน้ำอาจเป็นตัวเหนียวน้ำให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่ฟิล์มได้มากขึ้นด้วย โดยฟิล์มที่ไม่เติมไซลิทอลมีค่า OTR และ WVTR ต่ำที่สุดคือ $1.61 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ และ $3,283 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ ตามลำดับ ขณะที่ฟิล์มที่เติมไซลิทอล 6.25% จะมีค่า OTR สูงที่สุดคือ $2.62 \text{ cm}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ แต่ฟิล์มที่เติมไซลิทอล 3.75% มีค่า WVTR สูงกว่าการเติมที่ระดับอื่นๆ คือ $4,241 \text{ g} / \text{m}^2 \cdot \text{day}$ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความหนาของฟิล์มที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีของฟิล์มแคโรทที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ส่งผลให้ค่า WVTR ของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มแคโรทระหว่างการเก็บ 50 วัน พบว่าการเปลี่ยนแปลงสี (TCD) ของฟิล์มสูงขึ้นเมื่อระดับไซลิทอลเพิ่มขึ้น (Figure 42 และ 43) อาจเนื่องจากฟิล์มสูญเสียเบต้าแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ โดยน้ำที่ไซลิทอลเหนียวน้ำเข้ามาอาจเป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ตามคำอธิบายของนิธิยา (2553) ที่ว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำส่งเสริมให้ปฏิกิริยาต่างๆ ในผลิตภัณฑ์แห้งที่มีค่า a_w ในช่วง 0.3-0.8 เกิดเร็วขึ้น โดยในการเก็บที่ 40 พบว่าฟิล์มที่เติมไซลิทอลที่ระดับ 6.25% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์เริ่มมีการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลไซลิทอลออกมาสู่ผิวฟิล์ม เกิดเป็นรอยสีขาวทำให้ค่า TCD ของฟิล์มผกผันไป

การทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่า การเติมไซลิทอล 6.25% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ให้ค่าการยึดตัวสูงที่สุด แต่ฟิล์มมีลักษณะค่อนข้างเหนียวติดกัน เก็บรักษาได้ยาก และมีอายุการเก็บสั้นกว่าตัวอย่างอื่น เนื่องจากมีการเคลื่อนย้ายของไซลิทอลสู่ผิว การเติมไซลิทอลที่ระดับ 3.75% ของเนื้อแคโรท จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากให้คุณสมบัติต่างๆ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) กับการเติมไซลิทอลที่ 5% โดยน้ำหนักผลิตภัณฑ์ และมีค่า OTR ต่ำกว่า

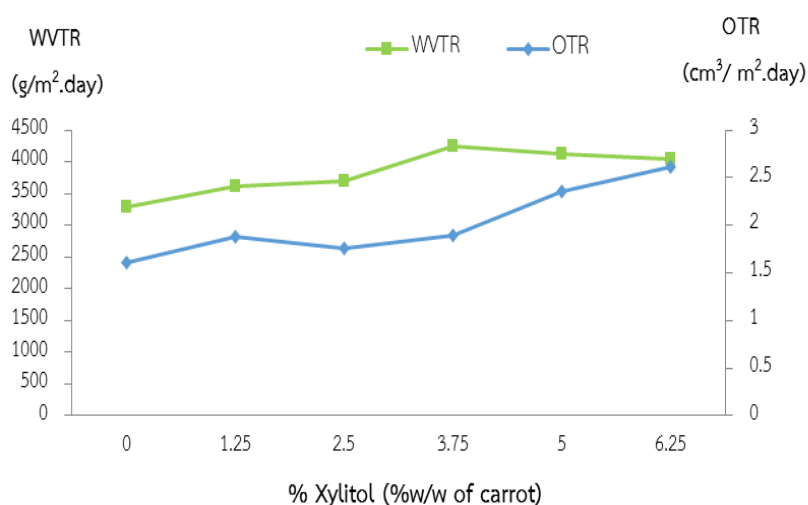


Figure 41 Effect Xylitol on Barrier Properties of Carrot-Alginate film

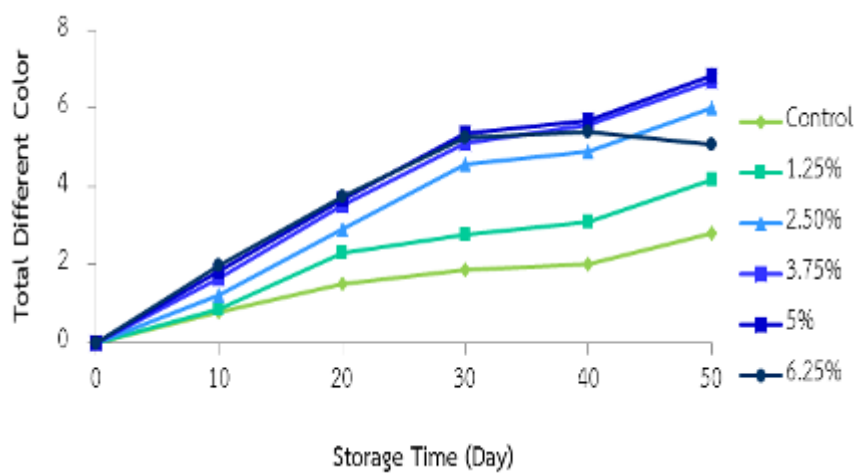


Figure 42 Effect xylitol on color change of film during storage time

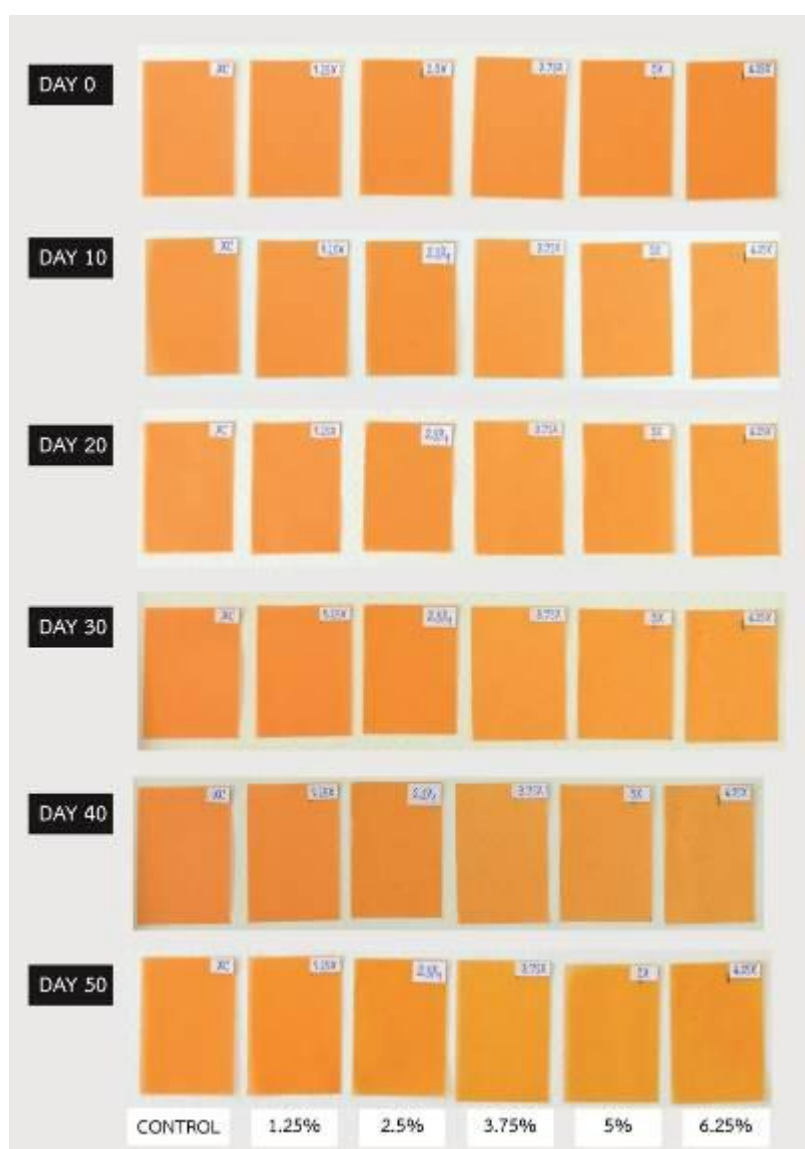


Figure 43 effect Xylitol on color different of carrot film during storage

4. การนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

4.1 ผลการทดสอบคุณภาพและความปลอดภัยของการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ แสดงดังนี้

Table 17 Microbial in carrot film

| รายการวิเคราะห์ | ผลการทดสอบ |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Total Bacteria Count | < 2.5x10 ² cfu/g |
| Yeast and Mold | est. 2.5x10 cfu/g |
| <i>E. Coli</i> | <3.0 MPN/g |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | <10 est. cfu/g |
| <i>Samonella spp.</i> | ND in 10 g |
| <i>Clostridium perfringers</i> | ND in 0.1 g |

Table 18 Nutrition of carrot film

| Description | Results | |
|--|-----------|------------------------------|
| | Per 100 g | Per 8 g (Film size 28x28 cm) |
| Calories (kcal) | 331.40 | 25.00 |
| Calories from Fat (kcal) | 5.76 | 0.00 |
| Total Fat (g) | 0.64 | 0.00 |
| Saturated Fat (g) | 0.12 | 0.00 |
| Cholesterol (mg) | | 0.00 |
| Protein (g) | 4.33 | 0.00 |
| Total Carbohydrate (g) | 77.08 | 6.00 |
| Dietary Fiber (g) | 25.61 | 2.00 |
| Sugar (g) | 24.57 | 2.00 |
| Sodium (mg) | 2019.92 | 160.00 |
| Vitamin A * (µg) | 7219.48 | 577.56 |
| Beta-carotene (µg) | 43,316.86 | 3765.35 |
| Vitamin B1 (mg) | 0.048 | 0.00 |
| Vitamin B2 (mg) | 0.062 | 0.00 |
| Calcium (mg) | 170.73 | 13.66 |
| Iron (mg) | 3.50 | 0.28 |
| Ash (g) | 7.07 | 0.00 |
| Moisture (g) | 10.88 | 0.00 |
| Antiradical Scavenging DPPH· (µmol TE)** | 1,773.37 | 141.87 |

*Calculate from Betacarotene, **TE = Trolox Equivalent

ผลการตรวจเชื้อจุลินทรีย์แสดงใน Table 17 พบว่าจุลินทรีย์ที่พบอยู่ในเกณฑ์ของประกาศมาตรฐานอุตสาหกรรม ของผลไม้แห้งคือ ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 cfu/g ยีสต์ไม่เกิน 1×10^4 cfu/g ราไม่เกิน 500 cfu/g และ E. Coli < 3.0 MPN/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) ส่วนคุณค่าทางโภชนาการดังแสดงใน Table 18 พบว่าฟิล์มมีปริมาณวิตามินเอสูงคือ 7,219.48 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และมีค่าการต้านอนุมูลอิสระเป็น $1,773.37 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ จากเบต้าแคโรทีนในเนื้อแครอท

4.2 ศึกษาการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ลูกอมกะทิ

ฟิล์มซึ่งมีการต้านอนุมูลอิสระที่ดีและค่า OTR ที่ต่ำแต่ไม่สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ จึงนำมาประยุกต์เป็นบรรจุภัณฑ์ปฐมภูมิ ได้แก่ ฟิล์มห่อผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการหืน โดยเลือกลูกอมถั่วกะทิเป็นกรณีศึกษา เปรียบเทียบกับลูกอมถั่วกะทิที่ไม่ห่อ และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในท้องตลาด ได้แก่ กระดาษไข ที่ระยะเวลาเก็บ 6 สัปดาห์ ลักษณะดังแสดงใน Figure 44



Figure 44 Appearance of Thai Peanut Toffee in different packaging

จากการทดสอบคุณภาพของตัวอย่างลูกอมถั่วกะทิที่ห่อด้วยฟิล์มแครอท กระดาษไข และไม่ห่อ ระหว่างการเก็บ 6 สัปดาห์แสดงใน พบว่าความชื้นและ a_w ของตัวอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 45 Figure 46 และ Figure 47 ตามลำดับ ขณะที่เมื่อนำมาทดสอบค่าเปอร์ออกไซด์ พบว่าตัวอย่างลูกอมถั่วกะทิที่ไม่ห่อ มีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเร็วกว่าตัวอย่างที่ห่อฟิล์มแครอท และกระดาษอย่างชัดเจน ดังแสดงใน Figure 43 เนื่องจากสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดเปอร์ออกไซด์มากกว่า (นิธิยา, 2553) ตัวอย่างที่ห่อฟิล์มแครอทและกระดาษการเพิ่มค่าเปอร์ออกไซด์ใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างที่ห่อด้วยฟิล์มแครอทมีการเพิ่มขึ้นช้ากว่าเล็กน้อย

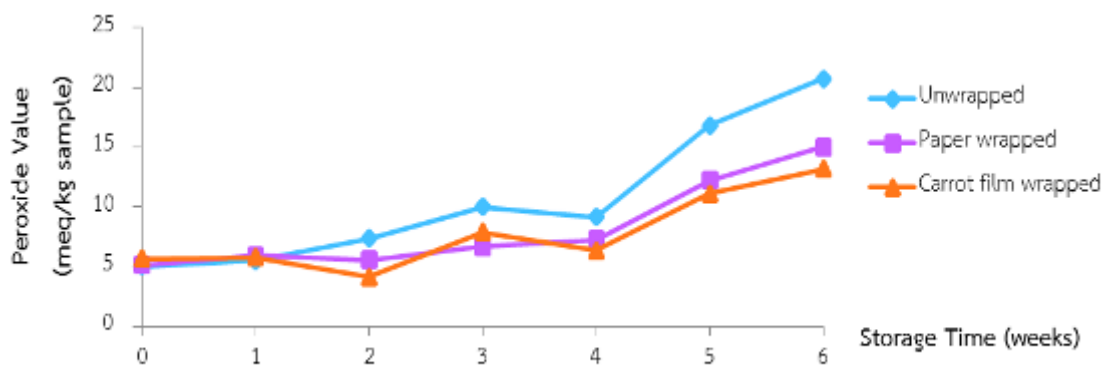


Figure 45 Peroxide Value of Thai Peanut Toffee during storage

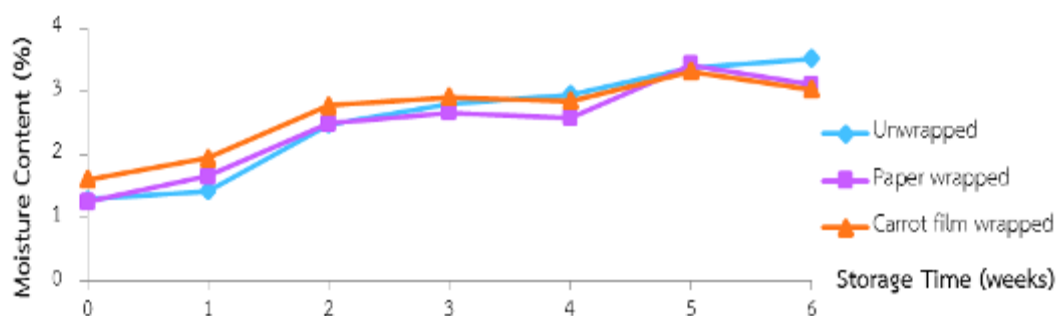


Figure 46 Moisture Content of Thai Peanut Toffee during storage

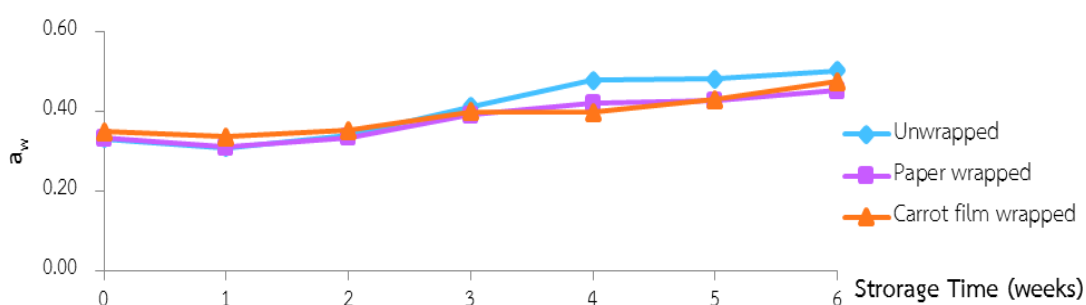


Figure 47 Change Water activity of Thai Peanut Toffee during storage

5. คำนวณต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์ม

ต้นทุนการผลิตฟิล์มจากแคโรทเท่ากับ 3.69 – 4.71 บาท/แผ่นฟิล์มขนาด 28x28 cm² สามารถตัดเป็นฟิล์มขนาด 7x9 cm² ได้ 12 แผ่น

การทดลองที่ 1.5 การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

1. การเตรียมเซลลูโลส (แอลฟาเซลลูโลส) จากเปลือกทุเรียน

เปลือกทุเรียนประกอบด้วยเซลลูโลสหรือแอลฟาเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เป็นองค์ประกอบหลัก การต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการกำจัดเฮมิเซลลูโลสซึ่งละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก เหลือส่วนของเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งในการเตรียมได้ดัดแปลงวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จาก 0.625 โมลาร์ เป็น 1 โมลาร์ และต้มโดยใช้เตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส แทนการใช้หม้อต้มอัดความดันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และลดเวลาในการต้มลงจาก 10 ชั่วโมง เป็น 1 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิในการฟอกจาก 70-80 องศาเซลเซียส เป็น 80-90 องศาเซลเซียส และลดเวลาในการฟอกลงจาก 3 ชั่วโมง เป็น 20 นาที ได้เซลลูโลสมีลักษณะเป็นเส้นใยสีน้ำตาล (Figure 48 (a)) ปริมาณ 21.51% ของน้ำหนักเปลือกแห้ง มีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 45.13 โดยสีน้ำตาลเป็นสีของลิกนินซึ่งกำจัดออกโดยการฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 30% ทำให้เซลลูโลสขาวขึ้น (Figure 46 (b)) คงเหลือน้ำหนัก 84.80% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า L^* เท่ากับ 91.54 เมื่อนำมาย่อยด้วยกรดและทดสอบด้วยสารละลายเบเนดิกต์พบว่าเกิดตะกอนสีแดงอิฐ แสดงว่าสิ่งที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน คือ เซลลูโลส เนื่องจากเมื่อเซลลูโลสถูกย่อยด้วยกรดจะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ กลูโคส ซึ่งทำปฏิกิริยากับสารละลายเบเนดิกต์ได้ตะกอนสีแดงอิฐ

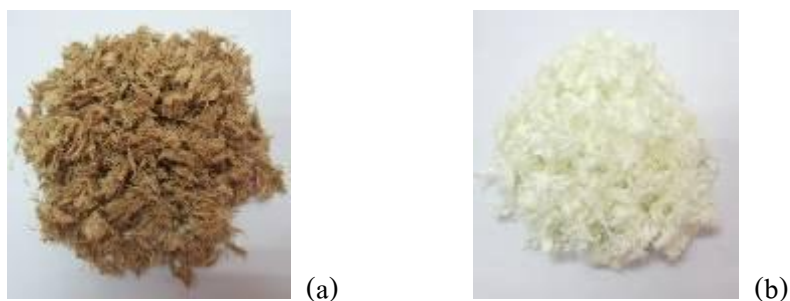


Figure 48 Illustrates the cellulose from durian husk. (a) Cellulose was extracted with 1 molar NaOH at 80-90 °C for 1 hour. (b) Cellulose after bleaching with 30% H_2O_2 at 80-90 °C for 20 min.

2. การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน

ซีเอ็มซีมีลักษณะเป็นของแข็ง ได้จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟาเซลลูโลสกับอีเธอร์รีไฟอิงเอเจนต์ในสถานะค่าง (Figure 5) เป็นปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลบนสายโซ่เซลลูโลสด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ซึ่งในการสังเคราะห์ได้ปรับเวลาและวิธีในการทำปฏิกิริยาจาก 3 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบตามวิธีนิลวรรณและคณะ (2551) และทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ให้ความร้อนโดยแช่ในอ่างน้ำร้อนพร้อมเขย่าตามวิธีของ Bono, *et al.* (2009) ไปเป็นใช้เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง 30 นาที ให้ความร้อนโดยอบในตู้อบแทน พบว่าได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น เนื่องจากการสังเคราะห์เป็น

ปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนในสายโซ่เซลลูโลสด้วยหมู่คาร์บอกซีเมทิล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น น้ำหนักซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ได้จึงเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลืองอ่อน (Figure 49) มีความบริสุทธิ์ 95.63% มีความชื้น 13.59% ไม่เกิดฟองเมื่อเขย่ากับน้ำ และเกิดตะกอนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (FAO JECFA Monographs 11, 2011) ความสามารถในการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลหรือค่าองศาการแทนที่ (DS) เท่ากับ 0.682 แสดงว่าซีเอ็มซีละลายน้ำได้ดี เนื่องจากค่า DS เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการละลายน้ำหากมีค่ามากกว่า 0.4 จะละลายน้ำได้ดี สอดคล้องกับการทดลองของ Bono, *et al.* (2009) ที่เตรียมซีเอ็มซีจากกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม มีค่า DS เท่ากับ 0.68 สามารถละลายน้ำได้ดี ซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนมีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Hoefler) มีค่าความสว่าง (L^*) 85.82 ค่าแสดงความเป็นสีแดงหรือเขียว (a^*) -0.67 และค่าแสดงความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b^*) 18.05 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับซีเอ็มซีทางการค้า



Figure 49 Carboxymethyl cellulose (CMC) powder, which synthesized by reacting alkali-cellulose with chloroacetic acid, yield = 138.12%, purity = 95.63%, color score: $L^* = 85.82$
 $a^* = -0.67$ and $b^* = 18.05$

3. คำนวณต้นทุนการผลิตซีเอ็มซี

ต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 23.12 บาท/กรัม แยกเป็นต้นทุนในการสกัดเซลลูโลส 1.19 บาท/กรัม ต้นทุนในการฟอกเซลลูโลส 6.27 บาท/กรัม และต้นทุนในการสังเคราะห์ 24.48 บาท/กรัมเซลลูโลส รวมเป็น 31.94 บาท/กรัมเซลลูโลส แต่เนื่องจากสังเคราะห์ซีเอ็มซีได้ 138.12% ของเซลลูโลสตั้งต้น จึงทำให้ต้นทุนในการผลิต เท่ากับ 23.12 บาท/กรัม ซึ่งล้วนแต่เป็นต้นทุนของสารเคมี เมื่อเปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ (19 บาท/กรัม) พบว่ายังมีราคาสูงกว่า แต่ซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

4. การเตรียมฟิล์มพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (ฟิล์มซีเอ็มซี) และการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม

ฟิล์มซีเอ็มซีมีลักษณะกรอบและแข็ง จึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ฟิล์มมีความแข็งแรง ยืดหยุ่น และอ่อนนุ่มขึ้น ซึ่งในการเตรียมได้ปรับความเข้มข้นของสารละลายซีเอ็มซีจาก 5.6% โดยนิลวรรณ และคณะ (2551) เป็น 3% พบว่าทำให้ฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และปรับปริมาณสารเติมแต่งจาก 1.2% เป็น 10-40% โดยน้ำหนัก ซึ่งครอบคลุมปริมาณที่ฉัฏฐ์ชวดีและคณะ (2555) ใช้ (8.88-33.33%) พบว่าฟิล์มมีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่าวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) โดยสารเติมแต่งที่ใช้ คือ กลีเซอรอล ซorbitol พอลิเอทิลีน ไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งมีผลทำให้ฟิล์มมีลักษณะปรากฏและคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงใน Table 19 สาเหตุเกิดจากน้ำหนักโมเลกุล โครงสร้าง และความหนืดของสารเติมแต่งที่ต่างกัน

Table 19 Effect of additive types and concentrations on properties of CMC films.

| CMC films | Viscosity (cPs)** | Thickness (mm.) | Color Score | | | % Solubility | Tensile Strength (kF/cm ²) | % Elongation | Oxygen transmission rate (OTR) (cm ³ /m ² /day) |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--|-----------------|--|
| | | | L* | a* | b* | | | | |
| CMC | 61.2 | 0.13 ^h | 110.22 ^a | 1.32 ^a | -2.99 ^d | 98.91 ^a | 581 | 4.31 | 1.34 |
| Commercial | | | | | | | | | |
| 0% additive | 429.9 | 0.17 ^g | 87.80 ^{bcd} | -0.79 ^{fg} | 6.72 ^c | 78.58 ^{de} | 243 | 15.90 | 1.18 |
| 10% Gly | 383.0 | 0.19 ^{def} | 88.34 ^b | -0.56 ^{cdef} | 4.34 ^c | 85.23 ^b | 166 | 29.60 | 1.25 |
| 20% Gly | 396.0 | 0.18 ^{fg} | 88.32 ^{ab} | -0.57 ^{cdef} | 4.23 ^c | 84.44 ^{bc} | 134 | 41.10 | 1.35 |
| 30% Gly | 394.0 | 0.19 ^{def} | 88.21 ^{bc} | -0.63 ^{cdef} | 4.57 ^c | 81.30 ^{cd} | 157 | 50.20 | 1.34 |
| 40% Gly | 420.0 | 0.21 ^{bc} | 88.26 ^b | -0.65 ^{def} | 4.58 ^c | 82.23 ^{bc} | 118 | 46.00 | 1.40 |
| 10% Sor | 402.2 | 0.19 ^{def} | 88.38 ^b | -0.22 ^{bc} | 3.72 ^c | 85.01 ^b | 257 | 9.78 | 2.17 |
| 20% Sor | 407.2 | 0.19 ^{def} | 88.39 ^b | -0.29 ^{bcd} | 3.62 ^c | 84.33 ^{bc} | 250 | 10.10 | 1.52 |
| 30% Sor | 434.9 | 0.20 ^{de} | 88.20 ^{bc} | -0.26 ^{bcd} | 3.67 ^c | 81.80 ^{bc} | 188 | 9.54 | 1.17 |
| 40% Sor | 436.6 | 0.21 ^{ab} | 86.87 ^c | -0.08 ^b | 2.98 ^c | 83.03 ^{bc} | 166 | 6.49 | 1.15 |
| 10% PEG | 413.0 | 0.19 ^{def} | 88.16 ^{bc} | -0.32 ^{bcd} | 3.90 ^c | 83.68 ^{bc} | 279 | 10.20 | 1.22 |
| 20% PEG | 423.3 | 0.20 ^{de} | 88.14 ^{bc} | -0.46 ^{bcd} | 4.52 ^c | 83.73 ^{bc} | 210 | 11.20 | 1.33 |
| 30% PEG | 440.9 | 0.21 ^{ab} | 87.96 ^{bcd} | -0.69 ^{efg} | 5.88 ^c | 83.74 ^{bc} | 172 | 18.00 | 1.46 |
| 40% PEG | 425.9 | 0.22 ^a | 87.88 ^{bcd} | -0.70 ^{efg} | 6.23 ^c | 84.46 ^{bc} | 145 | 24.00 | 1.79 |
| 10% CaCO₃ | 386.2 | 0.19 ^{def} | 86.99 ^{de} | -1.07 ^g | 11.47 ^b | 77.66 ^c | 322 | 3.47 | 2.45 |
| 20% CaCO₃ | 415.9 | 0.18 ^{fg} | 87.21 ^{cde} | -1.62 ^h | 14.27 ^{ab} | 76.73 ^c | 271 | 3.09 | 3.52 |
| 30% CaCO₃ | 415.2 | 0.20 ^{cd} | 87.75 ^{bcd} | -1.84 ^h | 15.17 ^a | 64.19 ^f | 222 | 3.16 | 8.01 |
| 40% CaCO₃ | 418.5 | 0.21 ^{ab} | 88.11 ^{bc} | -1.98 ^h | 15.77 ^a | 55.91 ^g | 171 | 2.42 | 17.6 |

where: Gly = Glycerol, Sor = Sorbitol, PEG = Polyethylene glycol and CaCO₃ = Calcium carbonate

** Brookfield; Spindle No. LV02, Spindle speed 30 rpm, T 25±1 °C

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

จากตารางแสดงให้เห็นว่าความหนืดของสารละลายซีเอ็มซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเติมแต่งที่เพิ่มขึ้น (Figure 50) เช่นเดียวกับความหนาของฟิล์ม ทั้งนี้อาจเนื่องจากพื้นที่ในการเตรียมฟิล์มเท่าเดิมแต่ความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้นความหนาจึงเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างของฟิล์มลดลงอาจเนื่องจากส่วนของสารเติมแต่งที่กระจายตัวในแผ่นฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำที่ลดลงอาจเนื่องจากมีส่วนของสารเติมแต่งที่ไม่ละลายและเซลลูโลสที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ซึ่งการเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล 30% ทำให้สารละลายมีความหนืดสูงสุด เท่ากับ 440.9 cPs เพราะพอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นของเหลวหนืดมีน้ำหนักโมเลกุลสูงสุด ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาถึง 0.22 มิลลิเมตร

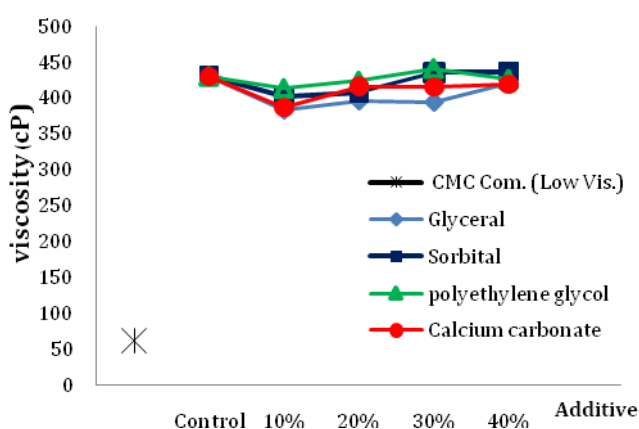


Figure 50 Effect of additive types and concentrations on viscosity of CMC solution.

ฟิล์มทุกตัวอย่างมีสีน้ำตาลอ่อน ขุ่น โปร่งแสง อ่อนตัว ละลายน้ำได้ดีใกล้เคียงกันยกเว้นฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นของแข็งสีขาว ไม่ละลายน้ำ มีคุณสมบัติเพิ่มความแข็งแรงให้พลาสติก ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตแขวนลอยในสารละลาย เมื่อนำมาขึ้นรูปจึงกระจายตัวอยู่บนฟิล์ม ฟิล์มจึงมีสีขาวขุ่นทึบแสง มีค่า L^* อยู่ในช่วง 86.99-88.11 ซึ่งน้อยที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำต่ำสุด เท่ากับ 55.91% (ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40%) เกิดจากแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งไม่ละลายน้ำหลงเหลืออยู่หลังการทดสอบ (Table 19)

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่งกับฟิล์มซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำพบว่าฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่งมีคุณสมบัติโดยรวมต่ำกว่า ยกเว้นความหนืดและเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่สูงกว่า ดังแสดงใน Table 19 อาจเนื่องมาจากซีเอ็มซีที่เตรียมได้มีเปอร์เซ็นต์การแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลและความบริสุทธิ์น้อยกว่าเมื่อนำฟิล์มมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่าความต้านทานแรงดึงขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเติมแต่งชนิดกลีเซอรอล ซอบิทอล และพอลิเอทิลีน ไกลคอล เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซี ทำให้แรงกระทำระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีลดลง ความแข็งแรงจึงลดลง

และส่งผลให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งกลีเซอรอลมีผลทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นสูงที่สุด เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดจึงสามารถกระจายและแทรกตัวในโมเลกุลซีเอ็มซีได้ดีที่สุด ดังแสดงใน Figure 51 และ Table 19 เช่นเดียวกับรายงานของนิลวรรณและคณะ (2551) และพรชัยและคณะ(2550)

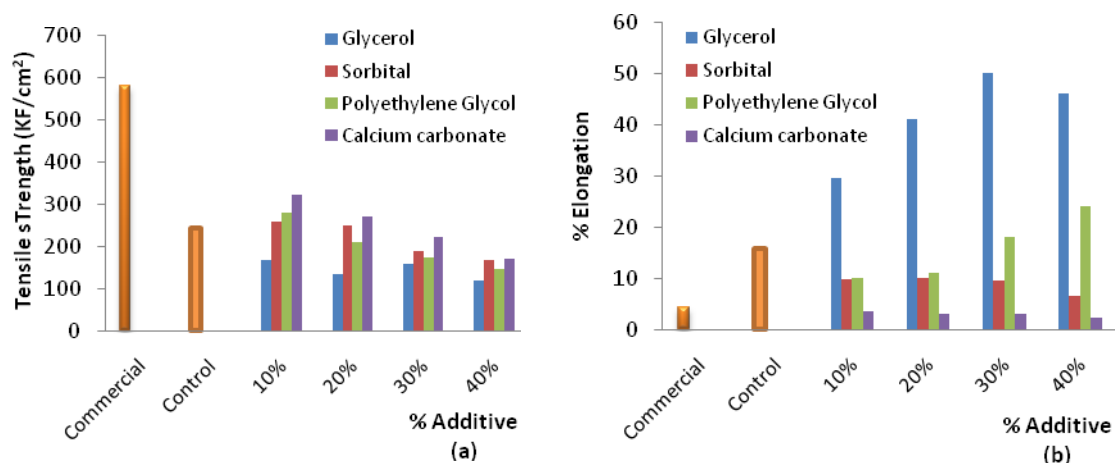


Figure 51 Effect of additive types and concentrations on mechanical properties of CMC films; (a) Tensile strength, (b) %Elongation.

ส่วนฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีความแข็งแรงสูงที่สุด เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่งประเภทช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้พลาสติก แต่การเพิ่มปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตไม่ได้ทำให้ฟิล์มแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเข้าไปแทรกตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในโมเลกุลของซีเอ็มซีมากขึ้นทำให้เกิดรูพรุนในฟิล์มมากขึ้น (สมใจ และณัฐวรรธ, 2552) ความแข็งแรงจึงลดลงและยืดหยุ่นได้ไม่ดี เปอร์เซ็นต์การยึดตัวจึงน้อยที่สุดและมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น (Figure 51 และ Table 19)

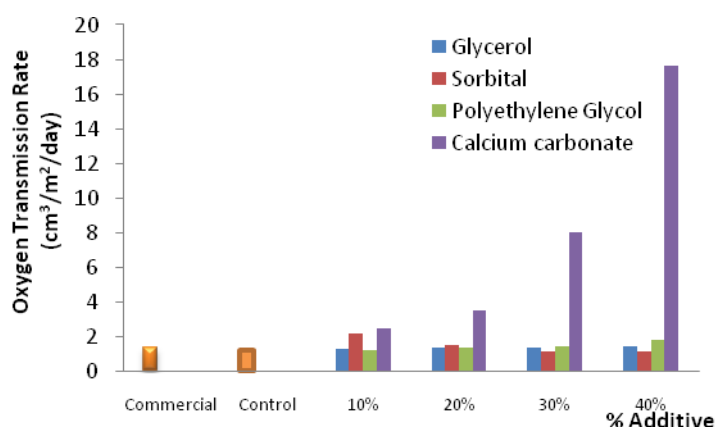


Figure 52 Effect of additive types and concentrations on oxygen transmission rate (OTR) of CMC films

ฟิล์มมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) เพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่งและเมื่อปริมาณสารเติมแต่งชนิดกลีเซอรอล พอลิเอทรีน ไกลคอล และแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น ดัง Figure 52 และ Table 1 เนื่องจากซีเอ็มซีมีโครงสร้างเป็นอัญฐานมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล สารเติมแต่งจะเข้าไปแทรกอยู่ในโครงสร้างทำให้ขนาดของช่องว่างเพิ่มขึ้น (ณัฐธวัชและคณะ, 2555) ก๊าซจึงผ่านเข้าออกได้ดีขึ้น โดยฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40% มีค่า OTR สูงที่สุด สอดคล้องกับรายงานของสมใจและณัฐวรธร (2552) ที่ว่าการเพิ่มสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลทำให้ค่า OTR ของฟิล์มเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ อนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตนอกเหนือจากการเพิ่มขนาดช่องว่างในโครงสร้างซีเอ็มซี จึงทำให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ดีกว่าการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ ส่วนฟิล์มที่เติมซอบิทอลมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากซอบิทอลประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลถึง 5 หน่วย จึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับซีเอ็มซี ทำให้โครงสร้างของซีเอ็มซีแน่นขึ้น ช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลงก๊าซจึงผ่านเข้าออกได้น้อยลง ซึ่งค่า OTR ของฟิล์มที่ไม่เติมสารเติมแต่ง ฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล ซอบิทอล และพอลิเอทรีน ไกลคอล ทุกความเข้มข้น อยู่ในช่วง 1.15–2.17 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ส่วนฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่า OTR อยู่ในช่วง 2.45-17.16 $\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ พบว่าอยู่ในช่วงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ เช่น กาแฟ ขนมหอบเคี้ยว สมุนไพรและเครื่องเทศ นมผงและไก่ไก่ผง (STORAENSO)

เมื่อนำฟิล์มซีเอ็มซีมาทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ พบว่าไม่มีฟิล์มเหลืออยู่ในดินจุดที่ฝังกลบดัง Figure 53 แสดงว่าฟิล์มทุกตัวสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยการฝังกลบในดินสำหรับปลูกต้นไม้ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีความชื้นในดินมากกว่า 30% อุณหภูมิ 29 ± 1 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 5 ± 1 และมีความเข้มแสงในช่วง 10,000 – 25,000 ลักซ์ สาเหตุที่ย่อยสลายได้เร็วเนื่องจากฟิล์มซีเอ็มซีเป็นพลาสติกที่ละลายน้ำได้ เมื่อฝังในดินที่มีความชื้นสูงจึงเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยมีอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างของดินเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

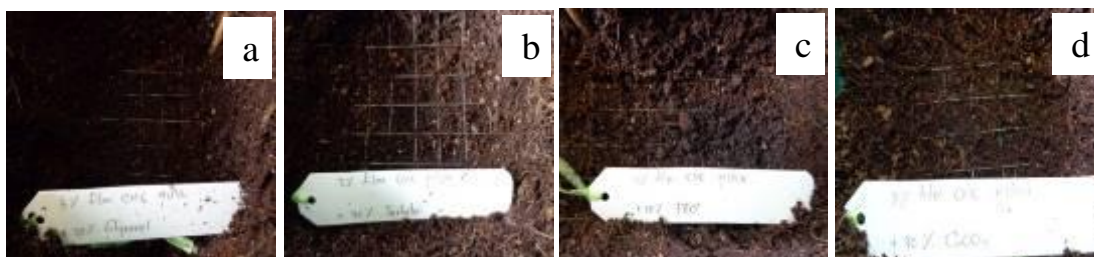


Figure 53 Photos of CMC films with various additives after 24 hour of biodegradation studies in soil burial: (a) Glycerol, (b) Sorbitol, (c) Polyethylene Glycol and (d) Calcium carbonate.

5. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

จากค่า OTR ของฟิล์มซีเอ็มซีพบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้ จึงนำมาสอบบรรจุผงกาแฟสดเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ซองอะลูมิเนียมฟอยล์ (A1) เนื่องจากอะลูมิเนียมฟอยล์มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนได้ดี (Kiyoi, 2010) ซึ่งลักษณะปรากฏของกาแฟในซองฟิล์มซีเอ็มซี แสดงดัง Figure 54 โดยซองฟิล์มซีเอ็มซีทุกตัวอย่างปิดผนึกได้ดีด้วยความร้อนแตกต่างกับรายงานของนิลวรรณและคณะ (2551) ที่รายงานว่าไม่สามารถปิดผนึกได้ดีด้วยความร้อน ทั้งนี้แม้ซองฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล จะปิดผนึกได้ยากแต่สามารถปิดผนึกได้โดยใช้น้ำเป็นตัวช่วย

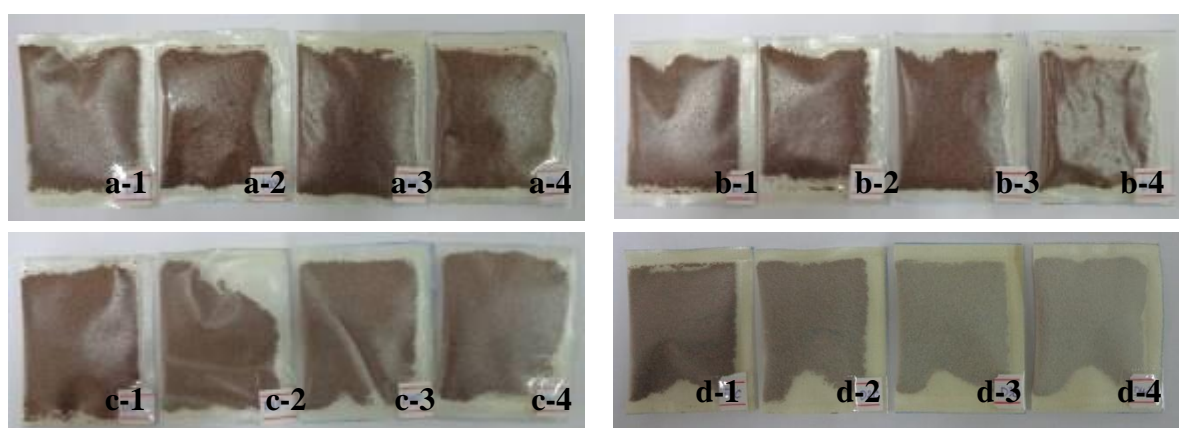


Figure 54 Effect of additive types and concentrations on appearance of coffee in CMC film

packages, (a1-a4) CMC film with 10-40 wt% glycerol, (b1-b4) CMC film with 10-40 wt% Sorbitol, (c1-c4) CMC film with 10-40 wt% polyethylene glycol and (d1-d4) CMC film with 10-40 wt% calcium carbonate.

คุณภาพของกาแฟหลังการบรรจุและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $25 \pm 1\%$) และเก็บในตู้เย็น (5 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $30 \pm 1\%$) เป็นเวลา 1 เดือน แสดงดัง Table 20 พบว่าความชื้นและค่าสีของกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีและซองอะลูมิเนียมฟอยล์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยการเก็บที่อุณหภูมิห้องมีความชื้นอยู่ในช่วง 4.26-4.98% สูงกว่าการเก็บในตู้เย็นซึ่งมีความชื้นในช่วง 0.89-2.48% สาเหตุเนื่องจากฟิล์มซีเอ็มซีมีความว่องไวต่อความชื้น (นิลวรรณและคณะ, 2551) เมื่อเก็บในสถานะที่มีความชื้นสูงจึงอาจส่งผลให้กาแฟมีความชื้นสูงขึ้น

คุณภาพของกาแฟในซองบรรจุเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าความชื้นของกาแฟที่บรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์เท่ากับ 2.07% ซึ่งน้อยที่สุด รองลงมาคือ ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล 10

และ 20% ซึ่งมีความชื้นเท่ากัน คือ 4.26% โดยกาแฟมีความชื้นสูงที่สุดเมื่อบรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอล 10% เท่ากับ 4.98% เนื่องจากกลีเซอรอลดูดความชื้นได้ดี และเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้น ความชื้นของกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอร์บิทอล และพอลิเอทิลีนไกลคอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ต่างกับที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอลและแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีแนวโน้มลดลง ค่า L* ของกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 30% เท่ากับกลีเซอรอล 30% แคลเซียมคาร์บอเนต 40% และพอลิเอทิลีนไกลคอล 40% มีค่าไม่แตกต่างกับการบรรจุในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีค่า L* สูงที่สุด เท่ากับ 39.66 นั่นคือสีของกาแฟยังคงเข้มอยู่

Table 20 The quality of coffee in CMC packaging.

| CMC packaging | Quality of coffee | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | Store at room temperature | | | | Stored at refrigerator | | | |
| | % | Color score | | | % | Color score | | |
| | | Humidity | L* | a* | | b* | Humidity | L* |
| Al-Foil | 2.07 ^p | 39.66 ^a | 9.39 ^g | 3.62 ^b | 2.10 ^c | 38.88 ⁱ | 9.02 ⁱ | 2.80 ⁱ |
| 0% additive | 4.89 ^d | 39.29 ^{cdef} | 9.33 ^h | 3.27 ^f | 2.48 ^a | 39.25 ^d | 8.99 ⁱ | 2.95 ^{gh} |
| 10% Gly | 4.98 ^a | 39.26 ^{defg} | 9.71 ^b | 3.53 ^{cd} | 1.17 ^k | 39.15 ^{ef} | 9.24 ^e | 3.21 ^{dc} |
| 20% Gly | 4.61 ^g | 39.11 ^{efgh} | 9.40 ^g | 3.11 ^g | 1.55 ^h | 39.27 ^d | 9.23 ^{de} | 3.20 ^{dc} |
| 30% Gly | 4.61 ^g | 39.52 ^{abc} | 9.67 ^c | 3.60 ^b | 1.47 ⁱ | 39.11 ^f | 9.22 ^{de} | 3.06 ^{fg} |
| 40% Gly | 4.60 ^h | 38.94 ^h | 9.27 ^j | 2.90 ⁱ | 2.05 ^c | 38.96 ^h | 9.15 ^f | 2.95 ^h |
| 10% Sor | 4.38 ^m | 39.09 ^{fgh} | 9.33 ^h | 3.08 ^h | 1.46 ⁱ | 39.70 ^a | 9.11 ^g | 3.34 ^c |
| 20% Sor | 4.42 ^j | 39.39 ^{bcd} | 9.33 ^h | 3.27 ^f | 1.16 ^{kl} | 39.19 ^{de} | 9.32 ^c | 3.19 ^{de} |
| 30% Sor | 4.69 ^f | 39.37 ^{bcde} | 9.53 ^f | 3.45 ^e | 2.08 ^d | 39.68 ^b | 9.46 ^a | 3.65 ^a |
| 40% Sor | 4.37 ⁿ | 38.98 ^{gh} | 9.30 ⁱ | 2.95 ⁱ | 2.20 ^b | 39.12 ^f | 9.33 ^{bc} | 3.00 ^{fgh} |
| 10% PEG | 4.26 ^o | 39.25 ^{defg} | 9.77 ^a | 3.76 ^a | 1.32 ^j | 39.35 ^e | 9.24 ^d | 3.06 ^f |
| 20% PEG | 4.26 ^o | 39.25 ^{defg} | 9.77 ^a | 3.76 ^a | 0.89 ⁿ | 38.99 ^h | 9.10 ^{gh} | 2.87 ⁱ |
| 30% PEG | 4.39 ^o | 38.91 ^{ab} | 9.20 ^k | 2.81 ^j | 1.14 ^l | 39.08 ^f | 9.24 ^d | 3.15 ^c |
| 40% PEG | 4.41 ^k | 39.44 ^{abcd} | 9.56 ^{de} | 3.56 ^{bc} | 1.09 ^m | 39.64 ^b | 9.21 ^{de} | 3.42 ^b |
| 10%CaCO₃ | 4.94 ^c | 38.95 ^h | 9.55 ^c | 3.07 ^h | 1.18 ^k | 38.83 ⁱ | 9.21 ^e | 2.84 ⁱ |
| 20%CaCO₃ | 4.95 ^b | 38.18 ⁱ | 9.40 ^g | 3.27 ^f | 1.85 ^f | 39.12 ^f | 9.37 ^b | 3.25 ^d |
| 30%CaCO₃ | 4.50 ⁱ | 39.32 ^{bcde} | 9.59 ^d | 3.46 ^e | 1.75 ^g | 39.26 ^d | 9.43 ^a | 3.24 ^d |
| 40%CaCO₃ | 4.74 ^e | 39.50 ^{abcd} | 9.41 ^g | 3.51 ^{de} | 1.86 ^f | 39.03 ^{gh} | 9.08 ^h | 2.72 ^j |

Where: Gly = Glycerol, Sor = Sorbitol, PEG = Polyethylene glycol and CaCO₃ = Calcium carbonate

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

คุณภาพของกาแฟในซองบรรจุเก็บรักษาในตู้เย็น พบว่าซองบรรจุที่ทำให้ความชื้นของกาแฟน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 20, 40 และ 30% มีความชื้นเท่ากับ 0.89, 1.09% และ 1.14% ตามลำดับ และซองบรรจุที่ทำให้ความชื้นของกาแฟสูงที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ซองฟิล์มซีเอ็มซีไม่เติมสารเติมแต่ง เท่ากับ 2.48 ซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมซอบิทอล 40% เท่ากับ 2.20% และซองอะลูมิเนียมฟอยล์เท่ากับ 2.10% โดยเมื่อปริมาณสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมกลีเซอรอล ซอบิทอล และแคลเซียมคาร์บอเนตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลมีแนวโน้มลดลง ค่า L^* ของกาแฟที่บรรจุในซองฟิล์มซีเอ็มซีมีค่ามากกว่า 39 ซึ่งสูงกว่าค่า L^* ของกาแฟในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เท่ากับ 38.88 และใกล้เคียงกับค่า L^* ของกาแฟที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง

การทดลองที่ 1.6 ผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

1. การคัดเลือกพลาสติกชีวภาพ

คัดเลือกพลาสติกชีวภาพทางการค้าที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับพอลิเมอร์จากปิโตรเคมี และมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- 1) พลาสติกชีวภาพทางการค้ากลุ่มที่ไม่เติมสารเติมแต่ง มี 2 ชนิด คือ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS)
- 2) พลาสติกชีวภาพทางการค้ากลุ่มที่เติมสารเติมแต่ง มี 1 ชนิด มีชื่อทางการค้าว่า Mater-Bi[®]เกรดฟิล์ม

พลาสติกชีวภาพทั้งสองกลุ่ม เป็นพอลิเมอร์กลุ่มพอลิเอสเทอร์ สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือดัดแปลงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอสเทอร์จากปิโตรเคมี เช่น PE และ LDPE ซึ่งนิยมนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะได้ ดังเช่นคุชฎีและคณะ (2554) ได้ศึกษาการยืดอายุเงาะพันธุ์โรงเรียนด้วยถุง PE เจาะรู พบว่าสามารถเก็บรักษาเงาะได้นาน 15 วัน นิลวรรณและคณะ (2551) ได้วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดให้ยาวนานขึ้นเพื่อการส่งออกทางเรือซึ่งพบว่าถุง LDPE ที่มีค่า OTR 10,000-12,000 ml/m²/day สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ 14-18 วัน ดังนั้นจึงได้คัดเลือกพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด มาทำการทดลอง

2. การขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์

การขึ้นรูปเม็ดพลาสติกชีวภาพเป็นถุงสำหรับบรรจุเงาะโดยการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) ด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม พบว่าพลาสติกชนิด Mater-Bi[®] ขึ้นรูปได้ง่ายที่สุด เนื่องจากเป็นพลาสติกชีวภาพที่ได้มีการปรับแต่งคุณสมบัติเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูปแล้ว รองลงมา คือ PBS และ PLA ตามลำดับ เนื่องจากไม่ได้เติม

สารเติมแต่งเพื่อช่วยในการขึ้นรูป ทำให้เป่าขึ้นรูปได้ยาก มีการสูญเสียเม็ดพลาสติกขณะขึ้นรูป ซึ่งลักษณะปรากฏของถุงแสดงดัง Figure 55



Figure 55 Bioplastic bags from (a) PLA, (b) PBS and (c) Mater-Bi[®]

โดยถุง Mater-Bi[®] มีสีขาวขุ่น และนิ่ม หนา 12 ไมโครเมตร ซึ่งอาจทำให้ถุงไม่แข็งแรง ถุง PBS มีสีขาวขุ่น แต่น้อยกว่าถุง Mater-Bi[®] หนา 15 ไมโครเมตร ซึ่งทั้ง 2 ชนิด สามารถนำมาบรรจุอะไหล่ได้แต่ความขุ่นของถุงอาจมีผลต่อการมองเห็นผลเงาจากภายนอก ส่วนถุง PLA มีลักษณะใส โปร่งแสง หนา 23 ไมโครเมตร แข็ง ย่นติดกันทำให้เปิดถุงได้ยาก จึงไม่เหมาะในการนำมาใช้งาน

3. การทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ

การทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ เป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากเป็นการประเมินคุณภาพของบรรจุภัณฑ์ โดยสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength) การยืดตัว (Elongation) ความต้านทานแรงฉีกขาด (Tear Strength) ความหนาแน่น (Density) บวกถึงความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ ส่วนอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor Transmission Rate) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (Oxygen Transmission Rate) บวกถึงความสามารถในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ซึ่งจาก Table 21 แสดงให้เห็นว่าถุง PLA มีความแข็งแรงมากที่สุดเนื่องจากมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงถึง 586 kF/cm^2 ในแนวขนานเครื่อง และ 496 kF/cm^2 ในแนวขวางเครื่อง สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่น้อยที่สุด เท่ากับ 18.8 และ 5.50% ในแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องตามลำดับ รองลงมาคือ ถุง PBS และถุง Mater-Bi[®] ทั้งนี้เนื่องจาก PLA มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) สูงกว่าอุณหภูมิที่ทดสอบ (ทดสอบที่ $27 \text{ }^\circ\text{C}$) ทำให้ขณะทดสอบ PLA มีลักษณะแข็ง ดึงยึดได้น้อย ส่วน PBS และ Mater-Bi[®] มี T_g ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทดสอบ ทำให้ขณะทดสอบ Mater-Bi[®] มีลักษณะนิ่มยืดหยุ่นได้ดีจึงต้านทานต่อแรงดึงได้น้อยดิ่งยึดได้สูง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏของถุง โดยถุง Mater-Bi[®] ยืดตัวได้ถึง 301 และ 653% และต้านทานแรงฉีกขาดได้ 203 และ 375 gF ในแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องตามลำดับ เนื่องจาก ถุง Mater-Bi[®] ได้มีการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติแล้ว ส่วนถุง PBS ดิ่งยึดได้ 87 และ 5.8% ต้านทานแรงฉีกขาดน้อยที่สุด เท่ากับ 2.08 และ 3.75 gF ตามแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถุง Mater-Bi[®] มีความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาคือ ถุง PBS และถุง PLA

Table 21 Properties of bioplastic bags

| Properties | Bioplastics bags | | |
|---|------------------|-------|-----------------------|
| | PLA | PBS | Mater-Bi [®] |
| Tensile Strength (kF/cm ²) | | | |
| Parallel machine | 586 | 464 | 241 |
| Across machine | 496 | 283 | 107 |
| Elongation (%) | | | |
| Parallel machine | 18.8 | 87.0 | 301 |
| Across machine | 5.50 | 5.80 | 653 |
| Tear Strength (gF) | | | |
| Parallel machine | 10.8 | 2.08 | 203 |
| Across machine | 12.8 | 3.75 | 375 |
| Density (g/cm ³) | | | |
| | 1.24 | 1.30 | 1.26 |
| Water vapor Transmission Rate (WVTR) (g/m ² /day) | | | |
| | 692 | 938 | 1,390 |
| Oxygen Transmission Rate (OTR) (cm ³ /m ² /day) | | | |
| | 630 | 1,218 | 4,106 |

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) ของถุง Mater-Bi[®] = 1,390 g/m²/day และ 4,106 cm³/m²/day ตามลำดับ ซึ่งสูงที่สุด รองลงมาเป็นถุง PBS มีค่า WVTR = 938 g/m²/day และ OTR = 1,218 cm³/m²/day และถุง PLA มีค่า WVTR = 692 g/m²/day และ OTR = 630 cm³/m²/day เมื่อเปรียบเทียบกับถุง LDPE ที่ทดสอบโดยนิลวรรณและคณะ (2551) ถุงพลาสติกชีวภาพมีค่า OTR น้อยกว่า แต่มีค่า WVTR สูงกว่า

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ พบว่าสามารถนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับเงาะผลสดได้ เนื่องจากมีความแข็งแรง(ความต้านทานแรงดึงขาดสูง) และที่สำคัญ คือ มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูง ซึ่งจะช่วยให้ไอน้ำที่เกิดจากการหายใจของเงาะระเหยผ่านออกไปได้ เป็นการลดโอกาสการเน่าเสียของเงาะทางหนึ่ง

4. การทดสอบคุณสมบัติการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

ทดสอบบรรจุเงาะผลสดกับถุง PBS และ Mater-Bi[®] เปรียบเทียบกับถุง LDPE ส่วนถุง PLA ไม่ได้ทดสอบเนื่องจากถุงมีลักษณะกรอบ เปิดถุงได้ยากไม่เหมาะกับการนำมาใช้งานจริง

ผลการทดสอบบรรจุเงาะผลสดระยะสามสัปดาห์จำนวน 1 กิโลกรัม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีขนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น โดยเงาะที่เก็บในถุง PBS เริ่มเกิดจุดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกเฉลี่ยผลละ 1 จุด ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ผิวเปลือกยังคงมีสีเหลืองปนแดงอย่างชัดเจน ส่วนปลายขนมีสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อยส่วนมาก

ยังคงมีสีเขียวและสีแดง โดยเกิดการเน่าเสียอย่างชัดเจนในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา คือ เกิดสีน้ำตาลทั่วผิวเปลือกและปลายขนถึง 50% ของผลเงาะทั้งหมด (Figure 56)



Figure 56 Outer and inner appearance of the rambutans storage at 78% RH 13 ± 2 °C for 27 days in PBS bag (top to bottom: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 and 21 days).



Figure 57 Outer and inner appearance of the rambutans storage at 78% RH 13 ± 2 °C for 27 days in Mater-Bi® bag (top to bottom: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 and 21 days).

ส่วนการเก็บรักษาเงาะในถุง Mater-Bi® ผิวเปลือกและขนเงาะเริ่มเกิดสีน้ำตาลในวันที่ 15 ของการเก็บรักษา โดยผิวเปลือกส่วนมากยังคงมีสีเหลืองปนแดงอยู่แต่ปลายขนเกิดการเหี่ยวถึง 60% ของผลเงาะทั้งหมด และเกิดอย่างรวดเร็วในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา คือ เกิดสีน้ำตาลทั่วผิวเปลือก 30% ของ

ผลเงาะทั้งหมด และปลายขนเหี่ยวอย่างชัดเจนทุกผล (Figure 57) สอดคล้องกับการสูญเสียน้ำหนักของเงาะที่เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น สาเหตุเกิดจากเงาะมีการหายใจจึงทำให้เกิดการคายน้ำออกมา อีกทั้งมีพื้นที่ผิวสูงและขนเงาะมีปากใบมากจึงทำให้มีการสูญเสียน้ำหนักสูง (จริงแท้, 2549) โดยเกิดอย่างรวดเร็วในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาในถุง PBS และวันที่ 15 ของการเก็บรักษาในถุง Mater-Bi[®] คือ 13.53 และ 24.28% ตามลำดับ

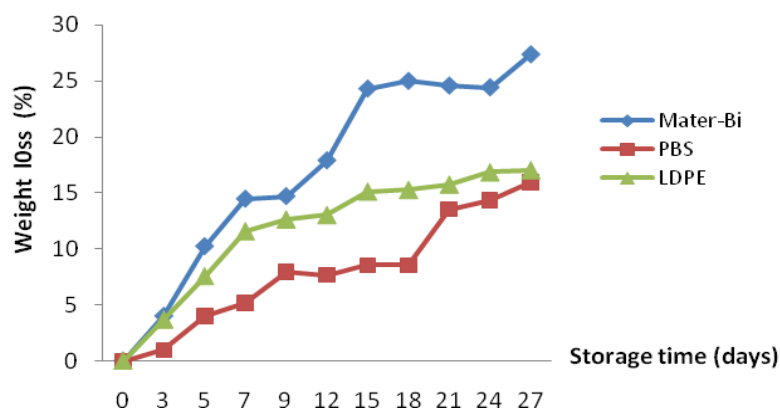


Figure 58 Weight loss of rambutan in bioplastic bags and LDPE bag during storage at 13 ± 2 °C 78% RH for 27 days

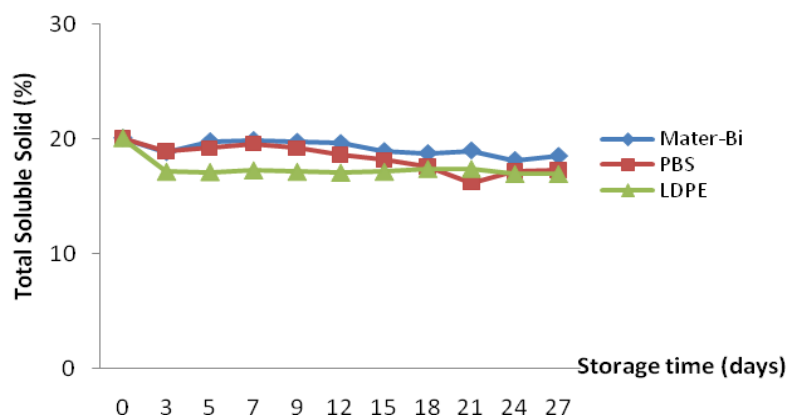


Figure 58 Total Soluble Solid of rambutan in bioplastic bags and LDPE bag during storage at 13 ± 2 °C 78% RH for 27 days

ส่วนถุง LDPE มีการสูญเสียน้ำหนักอย่างรวดเร็วในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา 11.59% (Figure 58) และจากการสังเกตพบว่ามีไอน้ำเกาะภายในถุง Mater-Bi[®] และ PBS น้อยกว่าในถุง LDPE เนื่องจากพลาสติกชีวภาพมีค่า WVTR สูงทำให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นระเหยหรือแพร่ผ่านออกจากถุงได้ดี จึงช่วยชะลอการเน่าเสียขณะเก็บรักษา

ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายในของผลเงาะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (TA) โดย TSS แสดงถึงปริมาณน้ำตาลชนิดต่างๆ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น (Figure 59) เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ และค่า TA ที่แสดงถึงปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บในถุงพลาสติกชีวภาพนานขึ้น แต่ลดลงเมื่อเก็บในถุง LDPE (Figure 60) เนื่องจากเริ่มเกิดการเน่าเสียของเงาะและถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ โดยจากการเก็บเงาะเป็นเวลา 27 วัน พบว่าเงาะที่บรรจุในถุง Mater-Bi[®] มีค่า TSS 18.5% ค่า TA 1.22% ซึ่งสูงที่สุด รองลงมาเป็นเงาะที่บรรจุในถุง PBS มีค่า TSS 17.26% ค่า TA 1.17% และถุง LDPE มีค่า TSS 16.94% ค่า TA 0.35% และเมื่อพิจารณาค่า TSS/TA ซึ่งเป็นค่าดัชนีชี้วัดการสุก พบว่าเงาะมีอัตราการสุกมากที่สุดเมื่อเก็บในถุง LDPE รองลงมาคือถุง Mater-Bi[®] และถุง PBS โดยมีค่า TSS/TA = 48.40, 15.16 และ 14.75 ตามลำดับ สอดคล้องกับลักษณะภายนอกของเงาะ

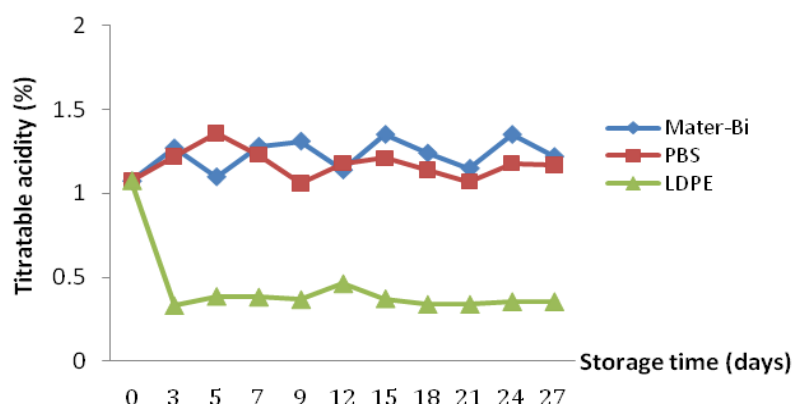


Figure 60 Titratable acidity of rambutan in bioplastic bags and LDPE bag during storage at 13 ± 2 °C 78% RH for 27 days

5. การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

จากการฝังกลบพลาสติกชีวภาพในดินสำหรับปลูกต้นไม้ ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีความชื้นในดินมากกว่า 30% อุณหภูมิ 29 ± 1 °C ความเป็นกรด-ด่าง 5 ± 1 และความเข้มแสงในช่วง 10,000–25,000 ลักซ์ เป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตุลาคม 2555 – มีนาคม 2556) พบว่า PBS ย่อยสลายได้เร็วที่สุด โดยเริ่มเกิดการย่อยสลายเมื่อฝังกลบเป็นเวลา 16 วัน และเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วเมื่อฝังกลบไปแล้ว 100 วัน รองลงมาเป็น Mater-Bi[®] และ PLA โดยเริ่มเกิดการย่อยสลายเมื่อฝังกลบไปแล้วมากกว่า 100 วัน มีน้ำหนักหายไปหรือมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลาย 31.25, 5.79 และ 1.62% ของน้ำหนักเริ่มต้นตามลำดับ เนื่องจาก PBS เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) Mater-Bi[®] เป็นพอลิเอสเทอร์ผสมแป้ง ซึ่งการเติมแป้งจะช่วยให้ย่อยสลายได้เร็วขึ้น โดยย่อยสลายได้เร็วกว่า PLA ซึ่งไม่เติมสารเติมแต่ง แต่ช้ากว่า PBS อาจเนื่องจากสารเติมแต่งอื่นๆ ที่เติมเพื่อช่วยให้พอลิเอสเทอร์กับแป้งผสมเข้ากันได้ดีขึ้น ส่วน PLA

จะไม่ย่อยสลายทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C (สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ทั้งนี้การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้มากขึ้นเมื่อฝังกลบนานขึ้น (Figure 61) โดยลักษณะการแตกสลายของ PBS จะเริ่มจากการแตกออกเป็นชิ้นส่วนใหญ่ๆ และแต่ละชิ้นส่วนจะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ เมื่อฝังกลบนานขึ้น ส่วน Mater-Bi® และ PLA มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เกิดรอยแตกในบางจุดและแตกเป็นชิ้นใหญ่ๆ อย่างชัดเจนเมื่อฝังกลบไปแล้ว 161 วัน (Figure 62)

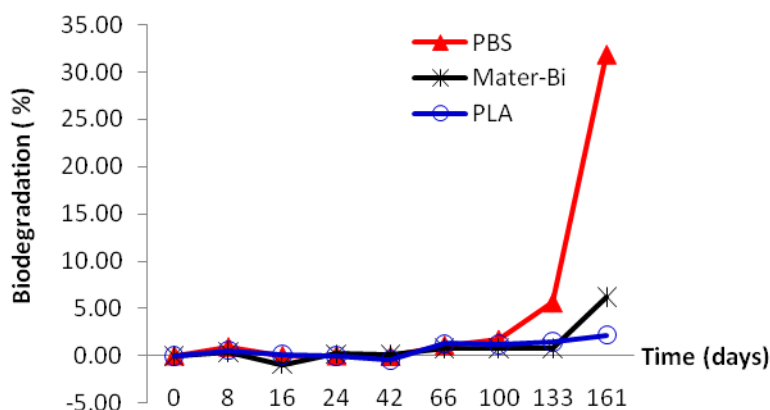


Figure 61 Biodegradation of bioplastics in soil burial test.

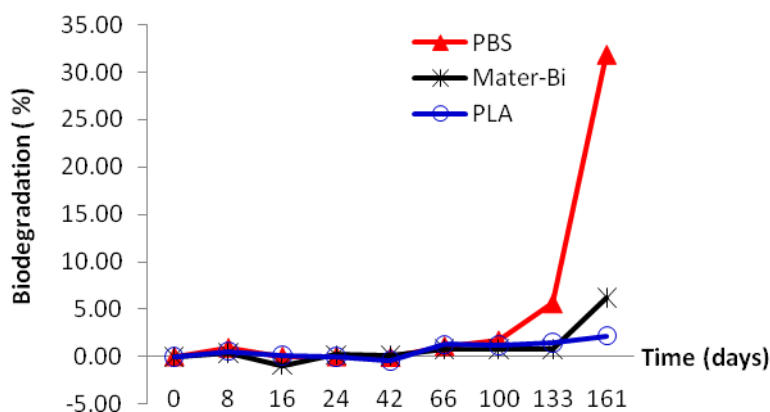


Figure 62 Biodegradation of bioplastics in soil burial test.

6. คำนวณต้นทุนในการผลิต

ต้นทุนในการผลิตถุงจากพลาสติกชีวภาพยังมีราคาค่อนข้างสูง (Table 22) เนื่องจากต้องนำเข้าเม็ดพลาสติกจากต่างประเทศ อีกทั้งมีการสูญเสียพลาสติกขณะขึ้นรูปเนื่องจากไม่ได้เติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการขึ้นรูป ซึ่ง PLA มีราคาสูงที่สุด 14.98 บาท/ใบ แม้ต้นทุนเม็ดพลาสติกจะมีราคาถูกที่สุดแต่เกิดความสูญเสียขณะขึ้นรูปสูงที่สุด รองลงมาเป็น Mater-Bi® 8.79 บาท/ใบ และ PBS 6.69 บาท/ใบ เนื่องจาก Mater-Bi® มีการเติมสารเติมแต่งจึงทำให้ราคาเม็ดพลาสติกสูง แต่ในอนาคตจะมี

โรงงานผลิตเม็ดพลาสติกชีวภาพในประเทศไทยซึ่งจะทำให้ต้นทุนเม็ดพลาสติกถูกลง และหากมีการผลิตถุงในระดับอุตสาหกรรมโดยเติมสารเติมแต่งเพื่อลดความสูญเสียระหว่างการขึ้นรูปจะทำให้ราคาต้นทุนของถุงถูกลงเช่นกัน

Table 22 The production cost of bioplastic bags

| Bioplastic Bag | Bioplastic granule price (Baht) | Bioplastic forming cost (Baht) | Amount forming a plastic bag (Baht/piece) | Cost of bioplastic bag (Baht/piece) |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------------------|
| PLA (PLA 2003D) | 210 | 7,000 | 20 | 14.98 |
| PBS (PBS FZ91PD) | 305 | 7,000 | 60 | 6.69 |
| Mater-Bi® | 320 | 7,000 | 56 | 8.79 |

การทดลองที่ 1.7 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

1. เตรียมสตาร์ชมันสำปะหลัง

แป้ง คือ พงละเอียดยที่มี สตาร์ช (starch) เป็นส่วนประกอบหลัก ได้จากการนำส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด ราก หัว ฝัก และยังมีส่วนประกอบอื่น เช่น โปรตีน (protein) และไขมัน (lipid) รวมอยู่ด้วย (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2010) โดยในการทดลองได้เตรียมแป้งตามวิธีของ กนกศักดิ์ และคณะ (2556) ซึ่งมีกระบวนการสกัด โปรตีนและไขมันออกจึงเหลือเฉพาะส่วนของสตาร์ช โดยสตาร์ชมันสำปะหลังที่ได้เป็นผงละเอียดสีขาว ดัง Figure 63 มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 106.55 และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าสตาร์ชมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาที มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 85.48% เส้นใย 1.24% ไขมัน 0.27% และความชื้น 12.58% ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันมีน้อยมาก เท่ากับ 0.20 และ 0.23% (Table 23) เนื่องจากถูกกำจัดออกในขั้นตอนการเตรียมสตาร์ช



Figure 63 Illustrate the cassava starch

Table 23 Chemical Composition of cassava starch

| Carbohydrate (%) | Fiber (%) | Ash (%) | Moisture Content (%) | Protein (%) | Oil (%) |
|------------------|-----------|---------|----------------------|-------------|---------|
| 85.48 | 1.24 | 0.27 | 12.58 | 0.20 | 0.23 |

Table 24 Effect of chitosan concentration for cassava starch-chitosan blend films properties.

| cassava starch:chitosan ratio (g) | Properties | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------|-------|-------|----------------------------|----------------|----------------------------|--|-------------------|--------------------------|---|---|
| | Thickness (mm) | Color Score | | | Moisture Content (%) | a _w | Water Solubility (%) | Tensile Strength (kF/cm ²) | Elongation (%) | Tear Strength (mN) | Water Vapor Transmission Rate (g/m ² /day) | Oxygen Transmission Rate (cm ³ /m ² /day) |
| | | L* | a* | b* | | | | | | | | |
| 1:0 | 0.14a | 93.43 | 2.08 | -4.22 | 9.78ab | 0.443b | 22.42d | 51.72c | 73.77a | 590.16a | 2,105.00ab | 1.33a |
| 1:0.2 | 0.10d | 93.55 | 1.44 | -1.74 | 9.51b | 0.449a | 22.31d | 123.4a | 42.95b | 214.7c | 2,199.67a | 1.65b |
| 1:0.4 | 0.11c | 91.17 | -0.53 | 11.41 | 9.98ab | 0.451a | 25.67bc | 125.8a | 33.10c | 237.0c | 1,918.00c | 2.34c |
| 1:0.6 | 0.13b | 91.04 | -0.67 | 12.32 | 10.20ab | 0.439c | 25.09c | 134.2a | 27.93cd | 304.7b | 1,919.67c | 2.68d |
| 1:0.8 | 0.13b | 89.20 | -0.68 | 21.55 | 10.45a | 0.437c | 27.19b | 82.46b | 23.67cd | 306.5b | 2,072.00b | 3.56e |
| 1:1 | 0.13b | 88.61 | -0.72 | 24.34 | 9.93ab | 0.426d | 29.75a | 58.66c | 22.97d | 303.7b | 2,101.00ab | 4.29f |

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

2. เตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากสตาร์ชมันสำปะหลังผสมไคโตซาน (starch-chitosan blend)

ฟิล์มสตาร์ชมีลักษณะแข็งเปราะไม่สามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มหรือบรรจุภัณฑ์ได้โดยตรง ต้องเติมสารเติมแต่งหรือผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของฟิล์มให้มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากขึ้น (Lui, 2006) การทดลองนี้จึงเตรียมฟิล์มสตาร์ชผสมกับไคโตซานที่อัตราส่วนต่างๆ และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่ง เนื่องจากมีรายงานว่าไคโตซานช่วยให้ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดี ช่วยให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยเฉพาะความต้านทานแรงดึง และกลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นและมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำดีขึ้น (Chillo *et al.*, 2008) อีกทั้งมีรายงานว่ากลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ดีที่สุดสำหรับฟิล์มแป้งผสมไคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบกับซอบิทอลและพอลิเอทิลีนไกลคอล และเลือกเติมที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของของแข็ง เนื่องจากมีรายงานว่าช่วยให้ฟิล์มมีคุณสมบัติดีในทุกๆ ด้าน (Bourtoom, 2008)

จากผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีสามารถขึ้นรูปฟิล์มเป็นแผ่นได้ดี มีความยืดหยุ่น ทำให้แกะออกจากแผ่นอะคริลิกได้ง่าย โดยฟิล์มที่ได้มีลักษณะโปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น ดัง Figure 64 โดยความหนาของฟิล์มในทุกกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 0.10-0.14 มิลลิเมตร ส่วนค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณไคโตซานที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 มีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง (Figure 65) เท่ากับ 93.43, 93.55, 91.17, 91.04, 89.20 และ 88.61 ตามลำดับ และมีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น (Figure 65) เท่ากับ 4.22, -1.74, 11.41, 12.32, 21.55 และ 24.34 ตามลำดับ ดัง Table 24

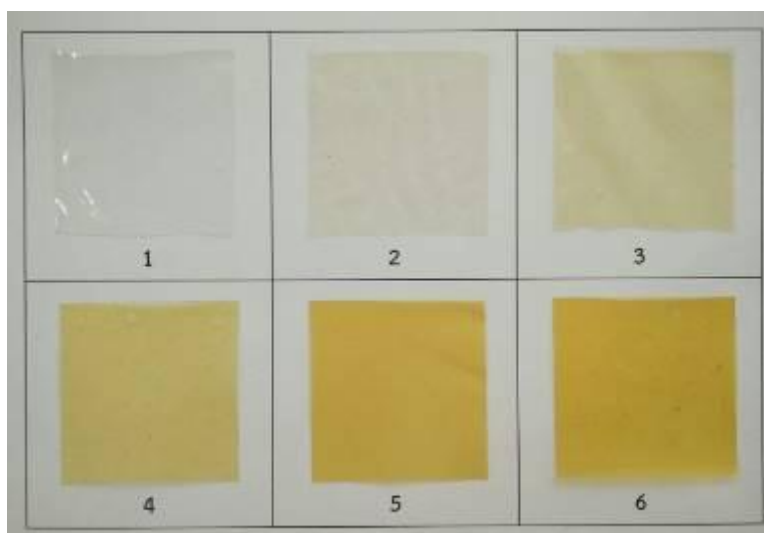


Figure 64 Cassava starch-Chitosan blend films appearance at various cassava starch:chitosan ratio (g); no.1-6 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 respectively.

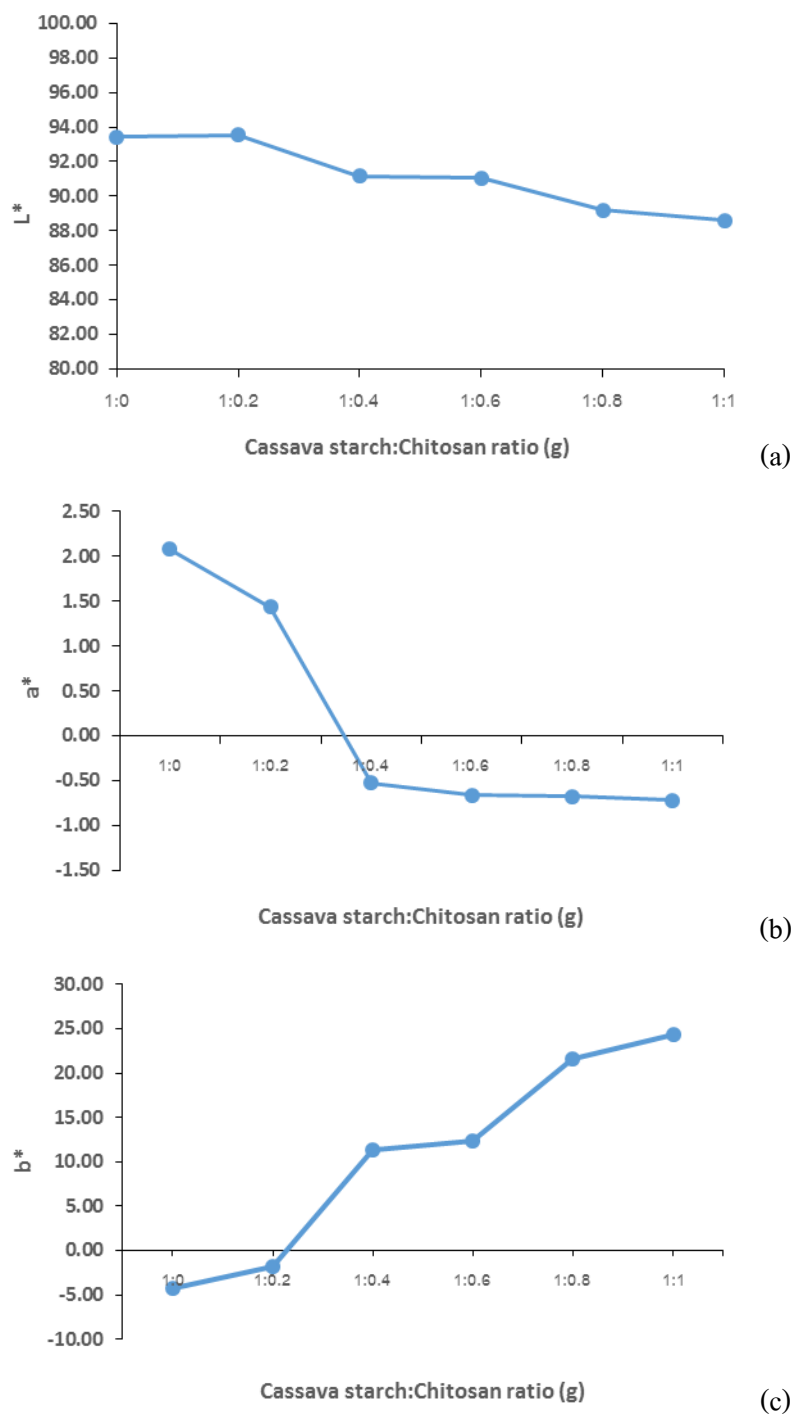


Figure 65 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on color score of cassava starch-chitosan blend films; (a) L*, (b) a* and (c) b*

3. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซาน

คุณสมบัติของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดัง Table 24 ดังนี้ ค่าความชื้นของฟิล์มมีค่าอยู่ในช่วง 9.51-10.45 % ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานสูงขึ้น ซึ่งที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 มีค่า

น้อยที่สุด และมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.8 (Figure 66) เนื่องจากไคโตซานมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในสายโซ่โมเลกุลจึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของไอน้ำในอากาศได้ ส่งผลให้ความชื้นสูงขึ้นเมื่อไคโตซานเพิ่มขึ้น

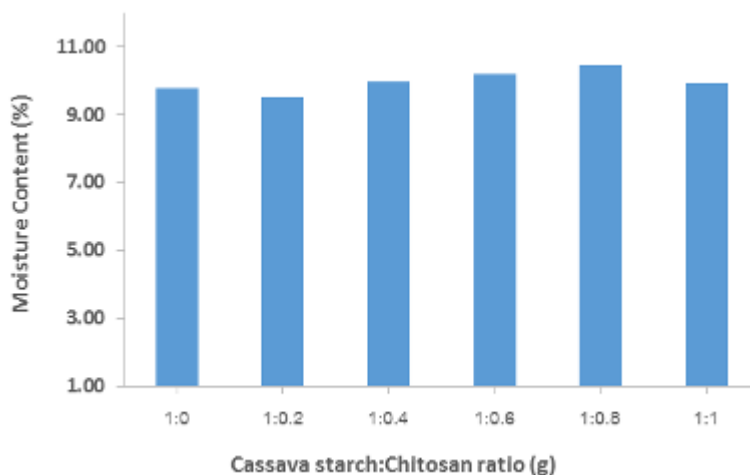


Figure 66 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on moisture content of cassava starch-chitosan blend films

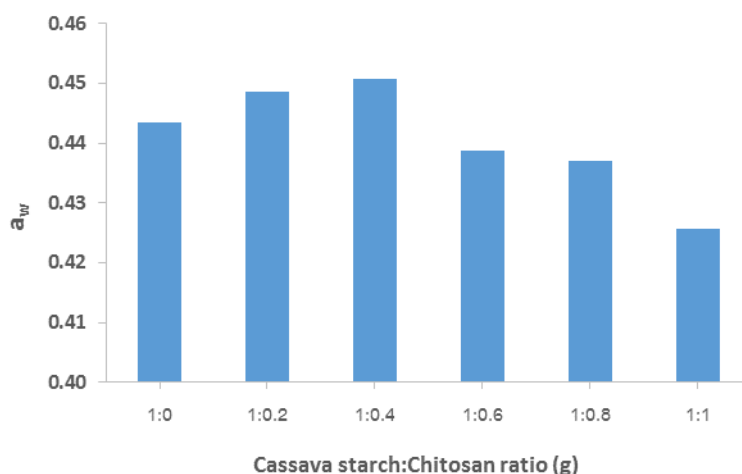


Figure 67 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on water activity (a_w) value of cassava starch-chitosan blend films

ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) โดยค่า a_w เป็นค่าที่บอกระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในฟิล์มที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) โดยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.426-0.437 (Table 2) และมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานสูงขึ้นดัง Figure 67 เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของหน่วยย่อยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส (กมลศรี, 2552) ซึ่งจากข้อมูล

พบว่าน้ำตาลกลูโคสสามารถช่วยลดค่า a_w ได้ (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) โดยฟิล์มที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับที่อัตราส่วนอื่นๆ และฟิล์มที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 มีค่า a_w สูงที่สุด

ความสามารถในการละลายน้ำของฟิล์ม เป็นค่าที่บอถึงความสามารถในการต้านทานน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของพลาสติกชีวภาพที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ซึ่งหากมีค่าสูงแสดงว่าฟิล์มมีความสามารถในการต้านทานน้ำต่ำ (Bourtoom *et al.*, 2008) โดยฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำอยู่ในช่วง 22.31-29.75% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (Table 2) และมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานเพิ่มขึ้นดัง Figure 68 โดยที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของแป้งและไคโตซานค่อนข้างแข็งแรง ซึ่งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดแรงกระทำกันทั้งภายในและภายนอกของโมเลกุล โดยส่วนที่ละลายอาจจะเป็นส่วนของมอโนเมอร์หรือเปปไทด์โมเลกุลเล็ก (Bourtoom *et al.*, 2008) ดังนั้นสามารถนำฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารได้

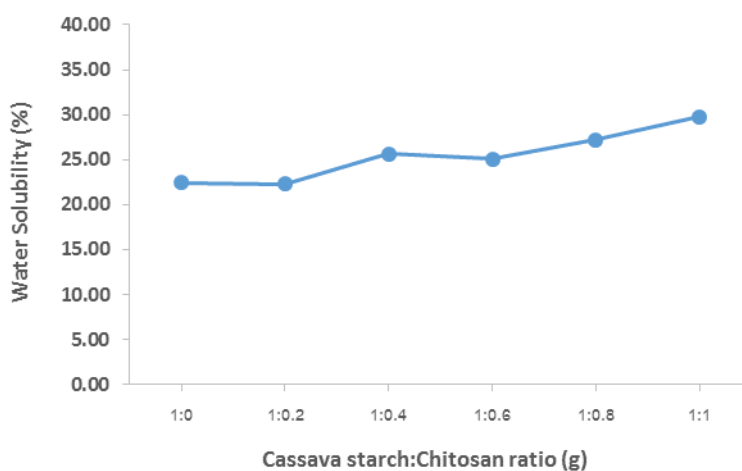


Figure 68 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on water solubility of cassava starch-chitosan blend films

คุณสมบัติเชิงกล เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของของฟิล์มซึ่งหากมีค่าสูงก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ดี โดยความแข็งแรงของฟิล์มเกิดขึ้นจากแรงกระทำทั้งภายในและภายนอกโมเลกุลผ่านพันธะไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของโมเลกุลแป้ง และหมู่ $-NH_3^+$ ของโมเลกุลไคโตซาน (Bourtoom *et al.*, 2008) ซึ่งในการทดลองได้ทดสอบค่า ความต้านทานแรงดึงขาด ความสามารถในการยึดตัว และความต้านทานแรงฉีกขาด ซึ่งผลการทดลองพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่อัตราส่วนไคโตซานต่างกัน ดัง Table 24 ดังนี้

ความต้านทานแรงดึงขาด (Tensile Strength; TS) ของฟิล์มมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ฟิล์ม (Chillo *et al.*, 2008) คือ ค่า TS ของฟิล์มไม่เติมไคโตซานมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 51.72 kF/cm^2 ในขณะที่ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อไคโตซาน เท่ากับ 1:0.6 มีค่า TS สูงที่สุดเท่ากับ 134.2 kF/cm^2 แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.2 และ 1:0.4 และลดลงเมื่อฟิล์มมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.8 และ 1:1 ตามลำดับ (Figure 69)

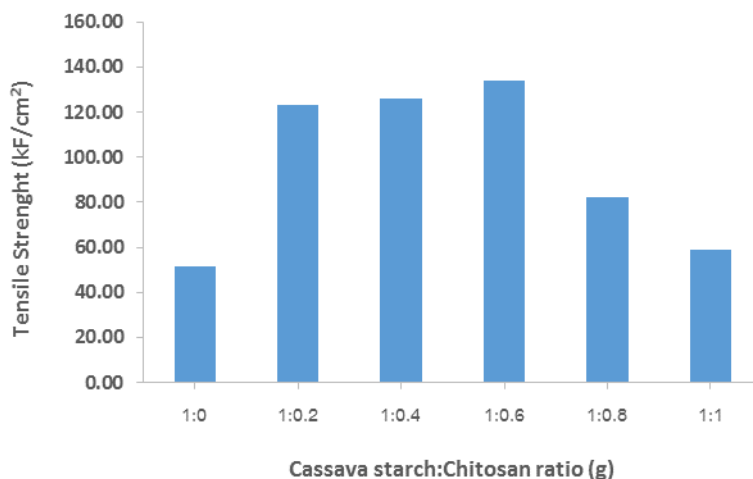


Figure 69 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on tensile strength of cassava starch-chitosan blend films

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation; E) ของฟิล์มมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานเพิ่มขึ้น (Fig 70) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์ม คือ เมื่อฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากขึ้นก็จะมีเปอร์เซ็นต์หรือความสามารถในการยืดตัวน้อยลง โดยฟิล์มแป้งไม่เติมไคโตซานมีค่า E สูงที่สุดเท่ากับ 73.77% แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อาจเนื่องจากโมเลกุลของแป้งสามารถเกิดแรงกระทำกับกลีเซอรอลได้ดีไม่มีโมเลกุลของไคโตซานมาขัดขวางและกลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นดีขึ้น (Chillo *et al.*, 2008) ฟิล์มจึงยืดตัวได้ดี รองลงมาคือฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานที่อัตราส่วน แป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 เท่ากับ 42.95% ส่วนที่อัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เท่ากับ 33.10, 27.93, 23.67 และ 22.97% ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของแป้งกับไคโตซานเพิ่มมากขึ้น ฟิล์มจะมีความแข็งแรงมากขึ้น ทำให้ดึงยืดได้น้อยลง ยกเว้นที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซาน เท่ากับ 1:0.8 และ 1:1 ที่มีค่าลดลงทั้งค่า TS และ E

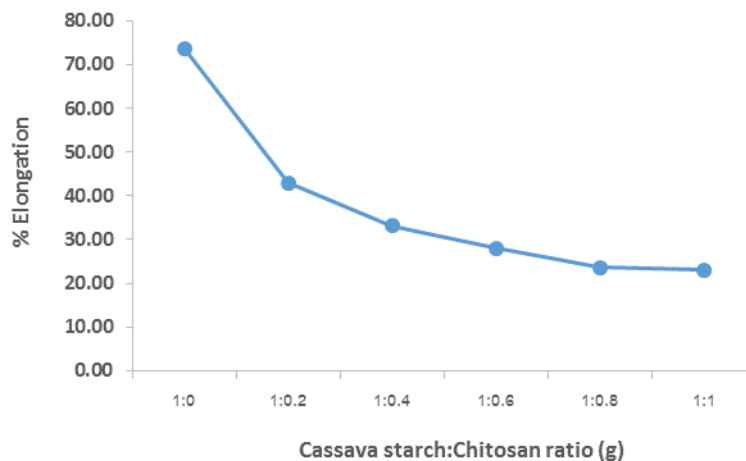


Figure 70 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on elongation of cassava starch-chitosan blend films

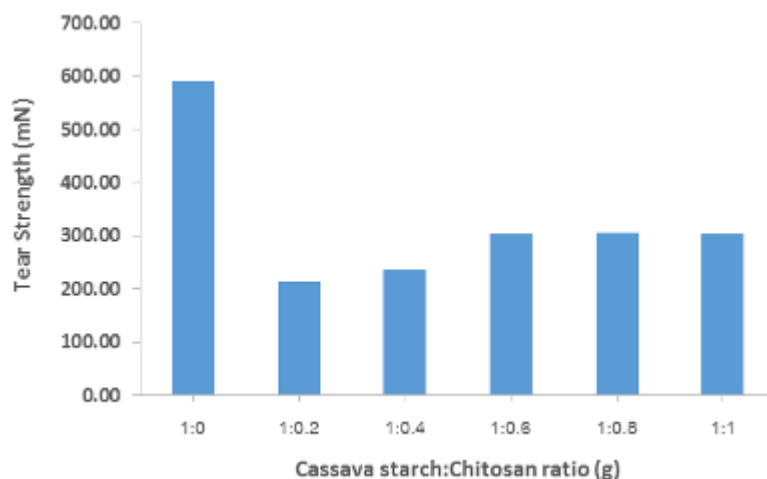


Figure 71 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on tear strength of cassava starch-chitosan blend films

ความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 590.16 mN และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับฟิล์มที่เติมไคโตซาน อาจเนื่องจากฟิล์มไม่เติมไคโตซานเกิดแรงกระทำกับกลีเซอรอลได้ดี ไม่มีโมเลกุลของไคโตซานมาขัดขวางทำให้ฟิล์มดึงยึดได้ดี การฉีกขาดจึงเกิดได้ไม่ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมไคโตซานด้วยกัน พบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้นฟิล์มมีความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้น (Figure 71) ดังนั้น ฟิล์มที่อัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 มีค่าเท่ากับ 214.7, 237.0, 304.7, 306.5 และ 303.7 ตามลำดับ ซึ่งที่อัตราส่วน 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดัง Table 24

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ คือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) เนื่องจากมีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะมีความต้องการแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยผลการทดลองพบว่า ฟิล์มแป้งไม่เติมไคโตซานมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงที่สุด (Figure 72) เท่ากับ $2,105 \text{ g/m}^2/\text{day}$ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับฟิล์มที่เติมไคโตซานในอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2, 1:0.8 และ 1:1 ที่มีค่าเท่ากับ 2,199.67, 2,072 และ $2,101 \text{ g/m}^2/\text{day}$ ตามลำดับ (Table 2) และมีค่าลดลงที่อัตราส่วน 1:0.4 และ 1:0.6 เท่ากับ 1,918 และ $1,919.67 \text{ g/m}^2/\text{day}$ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Selleh *et al.* (2009) เนื่องจากทั้งแป้งและไคโตซานเป็นพอลิแซคคาไรด์พอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymer) จึงดูดซับโมเลกุลของน้ำและทำให้น้ำผ่านเข้าออกได้ดี แต่เมื่ออัตราส่วนของแป้งและไคโตซานเหมาะสมจะเกิดแรงกระทำระหว่างทั้ง 2 โมเลกุลได้ดี ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ช้าลงและมีช่องว่างลดลงส่วนที่ชอบน้ำลดลง ส่งผลให้ค่า WVTR ลดลง

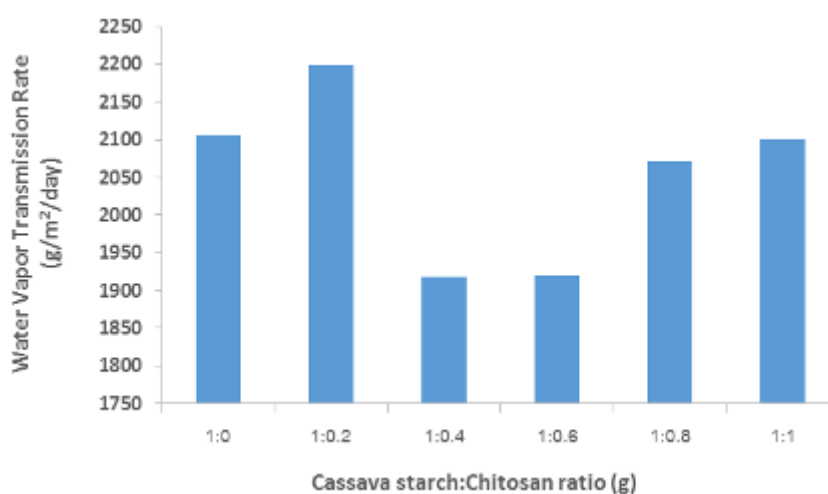


Figure 72 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on water vapor transmission rate (WVTR) of cassava starch-chitosan blend films

ส่วนอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) พบว่า ฟิล์มแป้งผสมไคโตซานเป็นฟิล์มที่ต้านการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนได้ดีเนื่องจากมีค่า OTR น้อยกว่า $50 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ (Selleh *et al.*, 2009) คืออยู่ในช่วง $1.33\text{-}4.29 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ เนื่องจากแป้งมีโครงสร้างเป็นผลึกและมีแรงกระทำกันภายในโมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้ก๊าซซึมผ่านได้ไม่ดี (Vartiainen and Harlin, 2011) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น (Figure 73) และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้น ฟิล์มที่อัตราส่วนของแป้ง:ไคโตซาน 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 และ 1:1 มีค่า OTR เท่ากับ 1.33, 1.65, 2.34, 2.68, 3.56 และ $4.29 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day}$ ตามลำดับ (Table 2) เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมฟิล์มแป้งผสมไคโตซานความร้อนและความชื้นทำให้ความเป็นผลึกของแป้งและไคโตซานลดลง ทำให้มีช่องว่างภายในโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้มากขึ้น

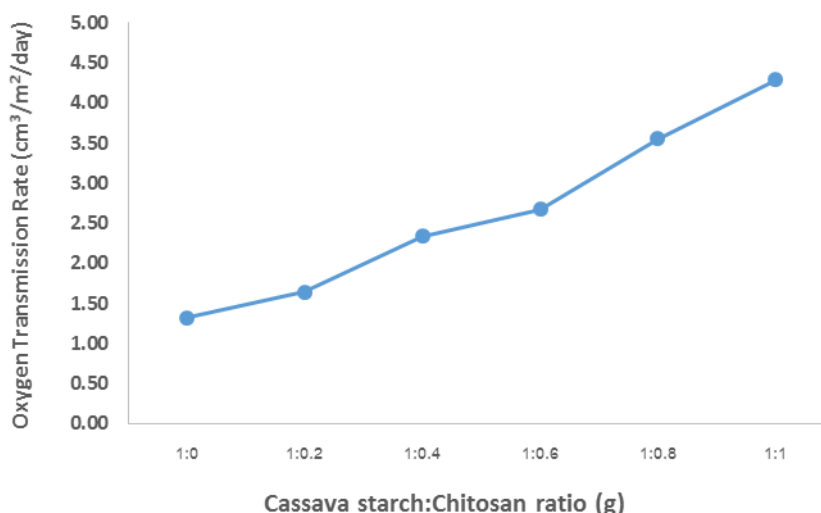


Figure 73 Effect of cassava starch:chitosan ratio (g) on oxygen transmission rate (OTR) of cassava starch-chitosan blend films

4. ศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

เนื่องจากมีรายงานว่าฟิล์มผสมไคโตซานสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ และมีการใช้ไคโตซานเป็นฟิล์มต้านจุลินทรีย์ในอาหารอย่างกว้างขวาง (Pitak and Rakshit, 2011 , Raju *et. al.*, 2015, Salleh, *et. al.*, 2009 and Tripathi, *et. al.*, 2008) งานวิจัยนี้จึงนำฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตมาศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ สืบเนื่องจากงานวิจัยที่ได้อ้างอิงไว้และจากผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มในข้อ 3 ที่แสดงว่าฟิล์มมีค่า a_w ต่ำ คือ อยู่ในช่วง 0.426-0.437 ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.7 (ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 2546) และค่า OTR ของฟิล์มมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ (Salleh, *et. al.*, 2009 and Tripathi *et. al.*, 2008) โดยจุลินทรีย์ที่นำมาทดสอบคือ *Aspergillus flavus* A39 ซึ่งเป็นเชื้อราที่สามารถผลิตสารแอฟลาทอกซินได้ และพบได้มากในผลิตภัณฑ์เกษตรรอบแห้ง และจากรายงานของ Raju *et. al.* (2015) พบว่าฟิล์มแป้งผสมไคโตซานสามารถยับยั้งเชื้อ *Aspergillus flavus* (NCDC-268) ได้ ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม ในทุกกรรมวิธี ดัง Figure 74 ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณของไคโตซานยังไม่เพียงพอต่อการยับยั้ง หรือฟิล์มยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับเชื้อที่นำมาทดสอบ แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น clear zone

5. กำหนดต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้ง(สตาร์ช)มันสำปะหลังและสตาร์ชมันเทศ

ต้นทุนการผลิตแผ่นฟิล์มแป้ง(สตาร์ช)มันสำปะหลังผสมไคโตซาน เท่ากับ 0.02–0.50 บาท/แผ่น (คำนวณจากการใช้แป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม/ฟิล์มขนาด 30x30 cm²) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง

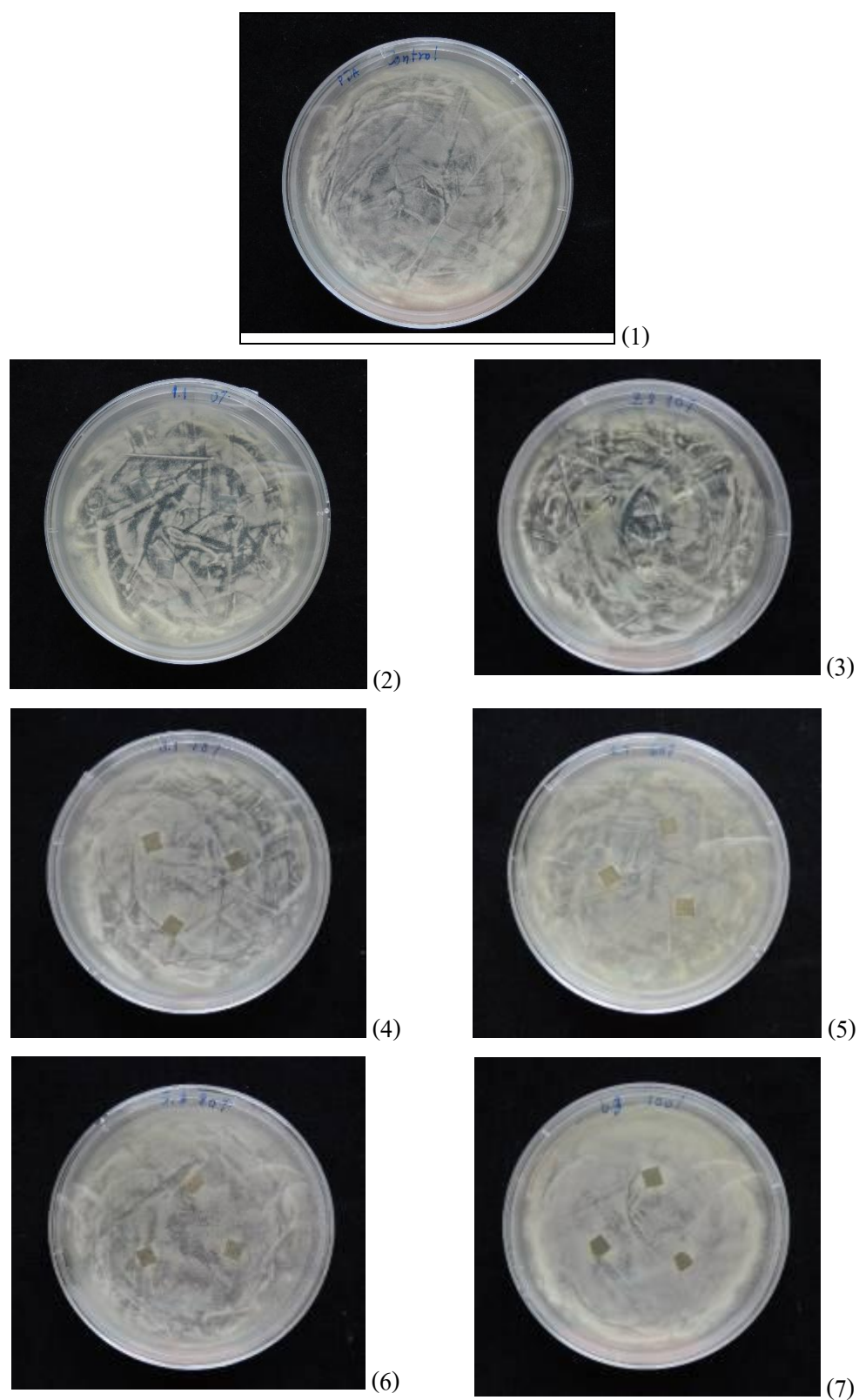


Figure 74 Efficiency of cassava starch-chitosan blend films to inhibit *Aspergillus flavus* A39 in the laboratory at various cassava starch:chitosan ratio (g); no.1-7 control(PDA) 1:0, 1:0.2, 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8 and 1:1 respectively.

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดลองที่ 1.1 วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

1. คัดเลือกวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่สนใจ คือ เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย เนื่องจากถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากและมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจึงสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้ โดยเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณไฮโดรเซลลูโลสและลิกนินสูงที่สุด 53.7 และ 12.3% ต้นกล้วยน้ำว้ามีความยาวเส้นใยสูงที่สุด 4.01 mm. จึงนำมาเตรียมเส้นใยโดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M พบว่าเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยมีเซลลูโลส 21.51 และ 20.25% ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง เส้นใยมีสีน้ำตาล มีค่า L^* 45.13 และ 36.58 หลังการฟอกพบว่าเส้นใยขาวขึ้น คงเหลือน้ำหนัก 84.80 และ 74.65% ของน้ำหนักก่อนฟอก มีค่า L^* 91.54 และ 90.01 ดังนั้นจึงเลือกเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองไปศึกษาต่อเนื่องจากเตรียมตัวอย่างได้ง่ายและมีปริมาณเส้นใยสูงกว่าต้นกล้วย

2. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูป

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปเส้นใยที่ความดัน 22.5 T/cm² เป็นเวลา 5 นาที คือ 160 °C เนื่องจากขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีโดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน แผ่นใยอัดมีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า โดยให้แผ่นใยอัดเส้นใยไม่ฟอกที่มีความชื้น 3.50 % มีความหนาแน่น 566.83 kg/m³ และมีการพองตัวทางความหนา 107.07 % ส่วนแผ่นใยอัดเส้นใยฟอกมีความชื้น 4.18% มีความหนาแน่น 548.77 kg/m³ และมีการพองตัวทางความหนา 85.32 %

3. การศึกษาปริมาณสารกันซึมที่เหมาะสม

การเติมสารกันซึม (sizing agent) เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของแผ่นใยอัด ซึ่งสารกันซึมที่ใช้คือ อัลคิลคีทีนไคเมอร์ (AKD) โดยปริมาณ AKD ที่เหมาะสมในการใช้งาน คือ 3% ของน้ำหนักเส้นใย เนื่องจากแผ่น preform มีคุณสมบัติการพองตัวทางความหนาน้อยที่สุด 1.83% ดูดซึมน้ำ 257.59% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำ 1 หยด 129.67 นาที

4. ผลิตแผ่นใยอัดเป็นบรรจุภัณฑ์ (กรณีศึกษาจากงาน)

เมื่อนำแผ่น preform ที่เติม AKD ปริมาณ 3% ของน้ำหนักเส้นใย มาอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 160 °C ความดัน 150 bar เป็นเวลา 5 นาที โดยใช้แม่พิมพ์รูปจาน พบว่าเส้นใยไม่ฟอกขึ้นรูปได้ดีกว่าเส้นใยฟอก ไม่มีรอยฉีกขาดและการหลุดร่วงของเส้นใย แต่งานใยอัดฟอกมีคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น 573.44 kg/m³ ความชื้น 0.39% การพองตัวทางความหนา 89.68% การดูดซึมน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ มากกว่า 7 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ ส่วนงานใยอัดไม่ฟอกมีความต้านแรงกดด้านบน 2.97 kF ความต้านแรงกด

ค้ำล่าง 3.28 kF ความต้านแรงคั้นทะลุ 419 kPa ความต้านแรงทิ่มทะลุ 0.66 J ความต้านแรงดึงขาด 9.63 kN/m และการยืดตัว 1.72 % ซึ่งน้อยกว่างานชานอ้อย

ดังนั้นเส้นใยฟอกมีศักยภาพในการนำไปศึกษาต่อเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพสามารถแข่งขันกับงานชานอ้อยได้ โดยอาจต้องปรับกระบวนการอัดขึ้นรูป เพิ่มปริมาณเส้นใยในการเตรียม preform ที่น่าจะไปอัดขึ้นรูปในแต่ละครั้ง เดิมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เช่น สารเพิ่มความแข็งแรง สารช่วยยึดติด หรือผสมกับวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่นที่เป็นเส้นใยยาวเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เป็นต้น

5. ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนการผลิตงานใยอัดไม่ฟอกจากเปลือกทุเรียน = 11.90 บาท/ใบ ซึ่งสูงกว่างานชานอ้อยในท้องตลาดมาก

การทดลองที่ 1.2 วิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร

กระดาษดูดซับเอทิลีน เตรียมโดยนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรมาทำกระดาษเนื่องจากมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ หาง่าย และมีราคาถูก และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับก๊าซเอทิลีนเนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี ปลอดภัยต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีการใช้อย่างกว้างขวางทางการแพทย์ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ด้วยการนำไปผ่านการกระตุ้นซ้ำ (re-activated) เพื่อกำจัดสารต่างๆ ที่ถ่านดูดซับเอาไว้ออกไป

ในการทดลองได้เลือกเปลือกทุเรียนมาทำกระดาษ เนื่องจากถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมากทั้งจากการบริโภคและแปรรูป และที่สำคัญคือมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบซึ่งสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษได้ โดยเส้นใยที่เหมาะสม คือ เส้นใยชนิดไม่ฟอก เนื่องจากให้กระดาษที่มีคุณสมบัติแข็งแรงกว่ากระดาษจากเส้นใยฟอก จากนั้นทดลองเติมถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด คือ ชนิดผง ชนิดเม็ด และชนิดแท่ง โดยชนิดผงมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากกระจายตัวได้ดีในแผ่นกระดาษ ไม่มีการหลุดร่วงของผงถ่าน และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของกระดาษโดยการห่อผลมะม่วงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบว่ากระดาษเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงสามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 10 วัน โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด เท่ากับ 10.55% ซึ่งปริมาณผงถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสม คือ 5% โดยน้ำหนักเส้นใย เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดีที่สุดและดีกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 28.59% และมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2550) ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent)

ต้นทุนการผลิตกระดาษดูดซับเอทิลีนเติมผงถ่านกัมมันต์ 5% จากเปลือกทุเรียนไม่พอกเท่ากับ 1.60 บาท/แผ่น ซึ่งถูกกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าชนิดของ อย่างไรก็ตามในการใช้งานแต่ละครั้งจะต้องใช้กระดาษดูดซับเอทิลีน 1 แผ่น/ผล ในขณะที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2-3 ซองต่อกล่อง ซึ่งอาจทำให้ต้นทุนแพงขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป คือ ศึกษาอัตราการดูดซับเอทิลีนของกระดาษแต่ละแผ่นเพื่อนำมาคำนวณถึงประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีน โดยแท้จริง เพื่อแนะนำการใช้งานกระดาษในแต่ละครั้งให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิดซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน และศึกษาถึงประสิทธิภาพของการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ และพัฒนาเป็นกล่องบรรจุต่อไป

การทดลองที่ 1.3 การผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพจากจุลินทรีย์

1. ไชยาโนแบคทีเรียที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นไอโซเลท SM6-3 ซึ่งคัดแยกได้จากรากคอรด์ลอยด์ของปรงมีรูปร่างเป็นกลุ่มเซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นสาย trichome ประกอบด้วย vegetative cell และ heterocyst cell เรียงสลับหรืออยู่ปลายสุดของเส้นสาย trichome จากการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเป็นไชยาโนแบคทีเรียสกุล *Nostoc* sp.

2. สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือการเพาะเลี้ยงแบบใช้แสงแดด ด้วยอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium) โดยพบว่าเมื่ออัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับ BG-11 สูตรปกติ ซึ่งมีอัตราการเจริญ 9.96×10^6 cells ml⁻¹ เมื่อเพาะเลี้ยง 18 วัน ได้ชีวมวล 1.69 กรัมต่อลิตร

3. การเพาะเลี้ยงในระบบเปิดในระดับขยายขนาดโดยใช้อาหารสูตร BG-11 ที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium) ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงแบบอโตโทรฟิกในระบบเปิดนอกห้องปฏิบัติการ พบว่ามีจำนวนเซลล์สูงที่สุด 1.02×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยง 18 วัน ได้ชีวมวล 1.88 กรัมต่อลิตร

4. การสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพออกจากเซลล์ของไชยาโนแบคทีเรียโดยการใช้ปฏิกิริยา Acid hydrolysis พบว่า ปริมาณพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly- β -hydroxybutyrate, PHB) เท่ากับ 0.33 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเซลล์ด้วยอาหาร BG-11 สูตรที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium)

5. การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มเบื้องต้นโดยใช้เซลล์ไชยาโนแบคทีเรียผสมกับกลีเซอรอล 10-15% สามารถผลิตแผ่นฟิล์มที่มีความหนาขนาด 0.11 มิลลิเมตร แต่ยังคงมีความยืดหยุ่นน้อย จะต้องหาสารช่วยสร้างความยืดหยุ่นและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

การทดลองที่ 1.4 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพสำหรับอาหาร

1. การคัดเลือกผลิตผลสำหรับขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตผล 5 ชนิด ได้แก่ กัวยน้ำว่าดิบ แครอท มะม่วงดิบ กะหล่ำปลีแดง และมะเขือเทศ และนำมาขึ้นรูปตามวิธีของ McHugh et al. (1996) และศึกษาคุณสมบัติฟิล์ม พบว่าองค์ประกอบทางเคมีส่งผลต่อคุณสมบัติของฟิล์ม โดยปริมาณเพคตินและเส้นใยในเนื้อผลไม้ต้องมีสัดส่วนที่เพียงพอและเหมาะสม โดยแครอทใช้ปริมาณในการขึ้นรูป 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ฟิล์มที่สามารถลอกออกจากเพลทได้ง่าย แห้ง ไม่เหนียวและไม่แตกเปราะ จึงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาพัฒนาเป็นฟิล์มบิโพลได้

2. การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณสมบัติของฟิล์ม โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ เพคตินชนิดเมทอกซิลสูง และแอลจินเตที่ระดับ 1.5-4.5% โดยน้ำหนักผลิตผล พบว่าไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดส่งผลให้ความแข็งแรงเชิงกลและค่า OTR ของฟิล์มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ขณะที่ส่งผลต่อค่า WVTR แตกต่างกัน คือ เพคตินส่งผลให้ WVTR ของฟิล์มสูงขึ้น ขณะที่แอลจินเตส่งผลให้ WVTR ของฟิล์มลดลง การเติมแอลจินเตที่ 3% ของเนื้อแครอท เป็นปริมาณที่ความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปศึกษาต่อ เนื่องจากสามารถเพิ่มความต้านทานแรงดึงขาดของฟิล์มได้ไม่แตกต่างทางสถิติ ($P \geq 0.05$) จากการเติมแอลจินเตที่ 4.5% และให้ค่า WVTR ต่ำที่สุด

3. ศึกษาปริมาณโซลิตอลที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม โดยปรับชนิดพลาสติกไซเซอรัจากกลีเซอรอลโดย Wang et al. (2011) เป็นโซลิตอล เนื่องจากมีเคลอรัต่ำกว่าและความหวานเทียบเท่าน้ำตาลซูโครส ปริมาณ 1.25-6.25% โดยน้ำหนักของผลิตผล ช่วงเดียวกับการเติมกลีเซอรอลของ Wang et al. (2011) (1.26-6.30%) พบว่าปริมาณโซลิตอลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ฟิล์มมีความหนา การละลาย น้ำ ความชื้น การยืดตัว ค่า OTR และ WVTR เพิ่มขึ้น ขณะที่ความสว่างของฟิล์มลดลง สีของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเมื่อปริมาณโซลิตอลในตัวอย่างเพิ่มขึ้น การเติมโซลิตอลที่ระดับ 3.75% ของเนื้อแครอท จึงเป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากให้คุณสมบัติต่างๆ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) กับการเติมโซลิตอลที่ 5% โดยน้ำหนักผลิตผล และมีค่า OTR ต่ำกว่า ขณะที่ตัวอย่างที่เติมโซลิตอล 6.25% มีลักษณะเหนียวติดกันเก็บรักษาได้ยากและมีการเคลื่อนย้ายของโซลิตอลสู่ผิวในวันที่ 40

4. นำฟิล์มที่คัดเลือก ทดสอบปริมาณจุลินทรีย์พบว่าจุลินทรีย์ที่พบอยู่ในเกณฑ์ของประกาศมาตรฐานอุตสาหกรรมและเมื่อทดสอบคุณค่าทางโภชนาการ พบว่า ฟิล์มมีปริมาณวิตามินเอสูงคือ 7,219.48 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม และมีค่าการต้านอนุมูลอิสระเป็น 1,773.37 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ นำมาประยุกต์เป็นฟิล์มห่อผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการหืน โดยใช้ลูกอมถั่วกะทิเป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับลูกอมที่ไม่ห่อและห่อกระดาษไข พบว่าตัวอย่างที่ห่อด้วยฟิล์มแครอทมีการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ช้ากว่าตัวอย่างที่ห่อกระดาษไขเล็กน้อย ขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างที่ไม่ห่อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

5. ต้นทุนการผลิตฟิล์มจากแครอทเท่ากับ 3.69 – 4.71 บาท/แผ่นฟิล์มขนาด 28x28 cm^2 สามารถตัดเป็นฟิล์มขนาด 7x9 cm^2 ได้ 12 แผ่น

การทดลองที่ 1.5 การเตรียมพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

1. การเตรียมเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน ได้ตัดแปลงวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) เตรียมโดยต้มเปลือกทุเรียนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้เตาไฟฟ้า ได้เซลลูโลส 21.51% ของน้ำหนักเปลือกทุเรียนแห้ง ฟอกด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 30% ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ได้เซลลูโลสหลังฟอก 84.80% ของน้ำหนักก่อนฟอก ลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว ซึ่งการปรับวิธีการทดลองช่วยลดเวลาและลดการใช้พลังงาน

2. การสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส ได้ตัดแปลงวิธีของนิลวรรณและคณะ (2551) และ Bono, *et al.* (2009) เตรียมโดยนำเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมาทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสถานะค้าง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น เป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.63% ความชื้น 13.59% มีค่าองค์การแทนที่ (DS) 0.682 และมีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

3. ต้นทุนการผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน เท่ากับ 23.12 บาท/กรัม พบว่าสูงกว่าซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ แต่ยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

4. การเตรียมฟิล์มซีเอ็มซี เตรียมโดยใช้สารละลายซีเอ็มซีเข้มข้นของ 3% เดิมสารเดิมแต่งปริมาณ 10-40% โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปบนแผ่นกระจก พบว่าฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน มีความอ่อนตัว มีสีน้ำตาลอ่อน ชุ่ม โปร่งแสง ยกเว้นฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีสีขาวอมน้ำตาล ทึบแสง โดยฟิล์มที่เติมกลีเซอรอล 30% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุดเหมาะในการพัฒนาเป็นฟิล์มยืด และฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงสุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยที่สุด เหมาะสำหรับพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง ฟิล์มทุกชนิดสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง

5. ฟิล์มซีเอ็มซีมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งเพราะมีค่าอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนอยู่ในช่วง 1.15-17.6 $\text{cm}^2/\text{m}^2/\text{day}$ และสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน และโดยฟิล์มที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 20% มีศักยภาพดีที่สุดในการบรรจุกาแฟ

การทดลองที่ 1.6 ผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

บรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเตอร์ไม่เติมสารเติมแต่งชนิด PBS สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดพันธุ์โรงเรียนที่อุณหภูมิตั้งที่ 13 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78% ได้ดีที่สุด โดยเก็บรักษาได้นาน 15 วัน โดยที่ลักษณะภายนอกและคุณภาพภายในเป็นที่ยอมรับได้ และเก็บได้นานถึง 21 วัน โดยที่ลักษณะภายในยังเป็นที่ยอมรับได้ รองลงมาคือถุง LDPE เป็นพลาสติกจากปิโตรเคมี และถุง Mater-Bi® เป็นพลาสติกชีวภาพทางการค้ากลุ่มพอลิเอสเตอร์ผสมแป้งและสารเติมแต่งอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้พลาสติกชีวภาพชนิดไม่เติมสารเติมแต่งเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนของถุง PBS กับถุง LDPE พบว่าถุง PBS มีต้นทุนการผลิตสูงกว่า แต่มีข้อได้เปรียบคือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะลงได้ และหากใช้บรรจุเงาะผลสดเพื่อการส่งออกจะช่วยลดข้อจำกัดทางการค้าหรือลดภาษีได้ เนื่องจากถุง PBS สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

การทดลองที่ 1.7 วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

งานวิจัยนี้ได้เตรียมบรรจุภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลังพันธุ์ 5 นาฮี โดยในขั้นตอนการเตรียมแป้งได้สกัดโปรตีนและไขมันออกจนได้สตาร์ท ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรต 85.48% จากนั้นนำมาเตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งกับไคโตซานที่อัตราส่วนแป้ง:ไคโตซานต่างๆ ดังนี้ 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานจุลินทรีย์ให้ฟิล์ม และใช้กลีเซอรอลเป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้ฟิล์ม

จากผลการทดลองพบว่าทุกกรรมวิธีขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ดี ให้ฟิล์มที่โปร่งแสง มีสีเหลืองขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น มีความหนาใกล้เคียง มีความชื้นอยู่ในช่วง 9.51-10.45% โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 ให้ฟิล์มที่มีความชื้นต่ำที่สุด มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.426-0.437 ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่า a_w ต่ำกว่า 0.9 โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:1 มีค่า a_w น้อยที่สุด และฟิล์มมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ อยู่ในช่วง 22.31-29.75% โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.2 มีค่าความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด

คุณสมบัติของฟิล์มเชิงกลของฟิล์ม: ความต้านทานแรงดึงขาคมีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมไคโตซาน โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:0.6 มีค่าสูงที่สุด 134.2 kF/cm^2 เพอร์เซ็นต์การยึดตัวมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่ไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 73.77% รองลงมาคือฟิล์มแป้งมันสำปะหลังผสมไคโตซานที่มีอัตราส่วน 1:0.2 เท่ากับ 42.95% และความต้านทานแรงฉีกขาดของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังไม่เติมไคโตซานมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 590.16 mN แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มที่เติมไคโตซานด้วยกัน พบว่าเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มขึ้น โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนแป้ง:ไคโตซาน 1:1 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 303.7 mN

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ คือ อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) และอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (OTR) โดยผลการทดลองพบว่า พลาสติกแข็งผสมโพลีโพรพิลีนมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) อยู่ในช่วง 1,918-2,105 g/m²/day โดยฟิล์มไม่เติมโพลีโพรพิลีนมีค่าสูงที่สุด 2,105 g/m²/day และฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:โพลีโพรพิลีน 1:0.4 มีค่า WVTR ต่ำที่สุด 1,918 g/m²/day ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (<0.05) กับที่อัตราส่วน 1:0.6 ส่วนค่า OTR พบว่าฟิล์มแข็งผสมโพลีโพรพิลีนมีค่า OTR อยู่ในช่วง 1.33-4.29 cm³/m²/day โดยฟิล์มที่มีอัตราส่วนของแป้ง:โพลีโพรพิลีน 1:0 มีค่า OTR ต่ำสุด และที่อัตราส่วน 1:1 มีค่า OTR สูงสุด

การศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ด้านจุลินทรีย์ โดยทดสอบกับจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* A39 พบว่าไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น clear zone ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อไป

ต้นทุนการผลิตอยู่ในช่วง 0.02-0.50 บาท/แผ่น ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง

ข้อเสนอแนะในการทดลองต่อไป คือ ทดสอบศักยภาพการต้านจุลินทรีย์ของฟิล์มกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ และทดลองการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:โพลีโพรพิลีนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปทดลองต่อ คือ 1:0.6 เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนอื่นๆ ที่ให้คุณสมบัติดีที่สุด

กิจกรรมที่ 2

การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตภัณฑ์เกษตร

Machine Research and Development for Degradable Packaging from Agricultural Products

มงคล ตุ่นเฮ้า้ คุรุวรรณ ภาษาคย์ พุทธินันท์ จารุวัฒน์ รังสิทธิ ศรีมาลา และ มานพ คันธามารัตน์
Mongkol Tunhaw Kuruwan Pramart Puttinun Jaruwat Rungsit Sirimala and Manop Kantamarat

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือสำหรับเตรียมวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเครื่องมือขึ้นรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นบรรจุภัณฑ์ ทำการทดลองที่สถาบันเกษตรวิศวกรรมระหว่างปี 2555-2558 โดยวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรที่ศึกษา คือ เปลือกทุเรียนและต้นกล้วย ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัว คือ เปลือกทุเรียนมีหนาม และต้นกล้วยมียาง ทำให้การเตรียมวัสดุทำได้ยากและต้องใช้เวลาดังนั้นจึงต้องพัฒนาเครื่องมือเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม เช่น ต้องหันเปลือกทุเรียนให้มีความหนา 2-4 มม. ได้ เพื่อให้อบแห้งได้ดีและเร็ว ผลการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียน คือ ตัวเครื่องประกอบด้วยใบมีดจำนวน 2 ใบ ติดตั้งบนแผ่นสแตนเลส กลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. หนา 15 มม. ติดตั้งในแนวระดับ มีช่องป้อน 2 ช่อง เป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 ซม. สูง 20 ซม. ป้อนเปลือกทุเรียนลงตามแนวตั้ง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ที่ความเร็วรอบใบมีด 540 รอบ/นาที จำนวนคนป้อน 2 คน มีอัตราการทำงาน 392 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนเครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย มีอัตราการทำงาน 1,200 กิโลกรัม/ชั่วโมง ความเร็วรอบใบมีด 1,000 รอบ/นาที จุดคุ้มทุนการใช้เครื่องเท่ากับ 16,963 กิโลกรัม/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าจ้าง 0.21 บาท/กิโลกรัม ทำงาน 7 ชั่วโมง/วัน (อัตราการทำงานของเครื่อง 1,200 กิโลกรัม/ชั่วโมง) ส่วนเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ เป็นเครื่องสำหรับอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แบบการอัดแบบแห้งหรือการอัดร้อน โดยใช้กำลังไฮดรอลิกในการอัดขึ้นรูป ซึ่งเครื่องขึ้นรูปที่สร้างขึ้นมีความสามารถสร้างแรงดันไฮดรอลิกได้สูงสุด 30 MPa (306 kg.f/cm²) มีอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอัดแผ่นเส้นใยจากเปลือกทุเรียนเป็นงาน คือ อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 5 นาที ที่แรงดัน 150 บาร์ มีความสามารถในการทำงานขึ้นรูปแบบอัดขึ้นงาน (Mold) ขนาดสูงสุด 400 x 400 x 150 ลบ.มม. และผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ มีราคา 345,000 บาท เมื่อคำนวณที่อัตราค่าจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ 5.0 บาท/ชิ้น จุดคุ้มทุนอยู่ที่การผลิต 17,092 ชิ้น/ปี จะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 2,242 วัน ซึ่งทั้งสองเครื่องสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือพัฒนาต่อยอดกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ได้

คำสำคัญ: เปลือกทุเรียน ต่อกกล้วย แผ่นใยอัด งานใยอัด บรรจุภัณฑ์ชีวภาพ บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้
บรรจุภัณฑ์ อัดขึ้นรูป อัดแบบแห้ง อัดด้วยความร้อน แม่พิมพ์

Abstract

This research aims to develop a machine for preparing and forming agricultural residue for bio-packaging. Durian husk and banana pseudo-stem were selected for research, that difficult to prepared and take a lot of time. So be prepared to develop tools such as durian husk to slice a 2-4 mm. thickness has to be dried well and quickly. The design and construction of shredding fresh durian husk the casing enclosing the blades of two blades climb up on a stainless steel circular diameter of 30 cm. thick, 15 mm. mounted in a horizontal box, enter the second channel is a cylinder diameter of 7.6. cm high, 20 cm for enter durian peel down vertically. Use one electric motor power at blade speed 540 rpm that a rate of 392 kg per hour worked assume as 2 worker. The shredding machine for banana shown a work rate 1200 kg/hr. Speed Blade 1000 rpm. Break equivalent to using 16,963 kg per year, which compared to the wage rate 0.21 baht/.kg, running time 7 hrs/day (work rate of 1200 kg/hr).

The bio-packaging former as compression molding or dry heat compression machine, that using a hydraulic press. Forming machine, which was built with the ability to create hydraulic pressure of up to 30 MPa (306 kg.f/cm²) and mold heating part. The optimal conditions for the plate's fibers from durian husk were 160 ° C for 5 min at pressures of 150 bar, with the ability to work forming press machine (Mold) Maximum size 400 x 400 x 150. mm³. Cost of forming packaging machines was 345,000 baht. If the price of bio-packaging 5.0 baht/piece, break at producing was 17,092 pieces/year will be payback time in 2,242 days.

Both of which can be applied to or further development of other types of agricultural waste.

Keywords: durian husk, banana pseudo-stem, fiberboard, fiberboard plate, bio-packaging, degradable packaging, packaging, hydraulic press, dry press, hot press, mold

บทนำ

วัสดุการเกษตรที่เหลือจากการใช้ประโยชน์หลัก ได้ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ตามแนวคิด Zero Waste ลดขยะ ลดภาวะโลกร้อน ซึ่งพบว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) หรือ พลาสติกชีวภาพจากเซลลูโลส งานชานอ้อย กระดาษใยกล้วย เป็นต้น โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สนใจ คือ เปลือกทุเรียนกับต้นกล้วย เนื่องจากมีเซลลูโลสซึ่งเป็นวัสดุหลักในการผลิตบรรจุภัณฑ์ และถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมาก ซึ่งขั้นตอนหลักในการผลิตบรรจุภัณฑ์ คือการเตรียมวัสดุและการขึ้นรูป แต่เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีหนามและต้นกล้วยมียางจึงทำให้ยากต่อการเตรียมวัตถุดิบ และต้องใช้เวลาานจึงจะได้ปริมาณวัตถุดิบที่ต้องการ

เนื่องจากเปลือกทุเรียนเกิดเชื้อราได้ง่ายจึงต้องเตรียมเปลือกทุเรียนแห้งไว้สำหรับเป็นวัตถุดิบ โดยหั่นเปลือกทุเรียนให้เป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้แห้งอย่างรวดเร็วด้วยการตากแดดหรืออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แต่เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีลักษณะที่แข็งด้านนอก นุ่มด้านใน และมีเส้นใย การใช้เครื่องหั่นย่อยที่มีอยู่โดยทั่วไป จึงไม่สามารถกระทำได้ ซึ่งเบื้องต้นได้ทดสอบ กับเครื่องหั่นฟาง เครื่องหั่นย่อยขนาดเล็ก เครื่องหั่นเปลือกทุเรียนแบบเดิม และเครื่องหั่นย่อยต้นกล้วยลิสง เพื่อให้ได้เครื่องหั่นที่มีความเหมาะสมสำหรับการหั่นเปลือกทุเรียนและพัฒนาเป็นเครื่องหั่นเปลือกทุเรียน เพื่อใช้ในขั้นตอนการเตรียมเป็นบรรจุภัณฑ์ต่อไป

ในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์ จำเป็นต้องมีเครื่องมือเฉพาะเพื่อให้สามารถพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้จำเพาะเจาะจงหรือเหมาะสมกับวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิด เช่น การอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากหญ้าแฝกหรือฟางข้าว บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย จะต้องใช้เครื่องอัดที่ให้ความร้อนและความดันเพียงพอและเหมาะสมเพื่อให้วัตถุดิบคงรูปอยู่ได้ตามแบบรูปร่างที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยสนใจนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาอัดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือและแม่พิมพ์ที่เหมาะสม และไม่แพง

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องมือเตรียมวัตถุดิบและขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ ดยประยุกต์จากเครื่องที่มีการศึกษาขึ้นและที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ให้มีการใช้งานที่เหมาะสมหรือนำไปประยุกต์ใช้ได้กับวัสดุทางการเกษตรหลายๆชนิด เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลดปริมาณขยะ ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม เพื่อรองรับข้อกีดกันทางการค้าจากบรรจุภัณฑ์ และเพื่อพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสม ลดการนำเข้าเครื่องจักรที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ โดยสามารถผลิตได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

ระเบียบวิธีวิจัย

สถานที่ทำการวิจัย: ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี และ
สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาดำเนินงาน: ตุลาคม 2554 – กันยายน 2558

อุปกรณ์และสารเคมี

วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการ มีดังนี้

1. เครื่องหั่นย่อยแบบต่างๆ
2. เหล็กขนาดและรูปร่างต่าง ๆ ตลอดจนวัสดุอื่น ๆ เช่น ลูกป้อนตุ๊กตา สายพาน และ เครื่องยนต์
ต้นกำลัง เป็นต้น ตลอดจนเครื่องจักรกลโรงงานต่าง ๆ เช่น เครื่องกลึง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า ฯลฯ
ที่ใช้ในการสร้างและประกอบต้นแบบ
3. เครื่องวัดความเร็วรอบ
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เครื่องชั่ง
6. เครื่องวัดอุณหภูมิ
7. ไมโครมิเตอร์
8. คอมพิวเตอร์
9. อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องสแกน กล้องถ่ายรูป
10. วัสดุโรงงาน สำหรับการสร้างเครื่องต้นแบบ
11. เครื่องมือเครื่องกลโรงงาน เช่น เครื่องเชื่อมไฟฟ้า สว่าน หินเจียร เครื่องกลึง เครื่องกัด
เครื่องไส ประแจ ไขควง เป็นต้น
12. เปลือกทุเรียน

วิธีการดำเนินการ

กิจกรรมนี้ประกอบด้วย 2 การทดลอง ซึ่งมีวิธีดำเนินการแตกต่างกัน ดังนี้

การทดลองที่ 2.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยและบดวัสดุทางการเกษตร

1. ทดสอบเครื่องหั่นย่อยแบบต่างๆ กับเปลือกทุเรียน
2. พัฒนาเครื่องต้นแบบใหม่
3. สร้างและประกอบเครื่องต้นแบบ
4. ทดสอบ ปรับปรุง คัดแปลง แก้ไข เครื่องต้นแบบเบื้องต้น
5. ทดสอบ รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข

6. ทดสอบเครื่องต้นแบบในสภาพใช้งานจริง และ เขียนแบบชิ้นส่วนและกลไกต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ
7. ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ แล้วทำการทดสอบครั้งสุดท้าย
8. สานิต เผยแพร่ ปรับปรุงแก้ไขแบบรายละเอียดชิ้นส่วนและกลไกต่าง ๆ
9. จัดทำรายงาน

การทดลองที่ 2.2 วิจัยและพัฒนาเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

1. ตรวจสอบเอกสาร คุณสมบัติของวัสดุเกษตรที่จะนำไปเป็นวัสดุทำบรรจุภัณฑ์ การใช้วัสดุทางการเกษตรเพื่อการทำบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ และเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์
2. ออกแบบและสร้างต้นแบบให้เหมาะสมกับวัสดุเกษตรที่เลือกใช้เพื่อขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ
3. ทดสอบเครื่องต้นแบบเบื้องต้นและปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่อง
4. ทดสอบขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ และประเมินผลการใช้งานกับวัสดุทางการเกษตรชนิดต่างๆ
5. ทดสอบเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพระยะยาว และเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพ ความสามารถในการทำงาน ความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน เป็นต้น
6. วิเคราะห์ข้อมูลในเชิงปริมาณและคุณภาพวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม
7. สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองที่ 2.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยและบดวัสดุทางการเกษตร

ได้ทำการศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติเบื้องต้นของต้นกล้วยและเปลือกทุเรียนสดซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตรสำหรับนำมาทำบรรจุภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่าต้นกล้วยมีความชื้นเฉลี่ย 91.73% มาตรฐานเปียก เป็นวัสดุที่มีเส้นใยเป็นองค์ประกอบประมาณ 23.9% และมีส่วนประกอบทางเคมี (% dry matter) คือ ไขมัน โปรตีน และเถ้า เป็นปริมาณ 0.4, 4.1 และ 31.4 ตามลำดับ ในขณะที่เปลือกทุเรียนมีความชื้นเฉลี่ย 80% มาตรฐานเปียก เป็นวัสดุที่มีเส้นใยเป็นองค์ประกอบประมาณ 79% และมีส่วนประกอบทางเคมี(% dry matter) คือ โปรตีน ไขมัน และเถ้า เป็นปริมาณ 5.48, 0.82, และ 3.58 ตามลำดับ จึงได้ทำการสำรวจเครื่องหั่นย่อยที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทดสอบหั่นย่อยต้นกล้วยและเปลือกทุเรียน ดัง Figure 75-80 ที่ประกอบด้วยเครื่องหลายลักษณะด้วยกัน

ต่อมาได้ทดสอบหารูปแบบของเครื่องต้นแบบที่เหมาะสมที่จะนำมาหั่นย่อยต้นกล้วยและเปลือกทุเรียน ผลการทดสอบเครื่องต่างๆ พบว่าเครื่องฟานเนื้อผลไม้และเนื้อทุเรียน (Figure 75) เมื่อทดสอบการทำงานพบว่าจะได้ชิ้นของเศษวัสดุเป็นมีลักษณะที่เป็นแผ่นหนาบางปะปนกัน และมีชิ้นวัสดุติดอยู่ที่

ตัวเครื่องเป็นจำนวนมาก (Figure 81 และ Figure 82) ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไข หากต้องการนำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าว



Figure 75 แสดงเครื่องฟานเนื้อผลไม้แบบของบริษัทเอกชน



Figure 76 แสดงเครื่องฟานเนื้อทุเรียนแบบของกรมวิชาการเกษตร



Figure 77 แสดงเครื่องหั่นย่อยกิ่งไม้แบบของกรมวิชาการเกษตร



Figure 78 ลักษณะของไบมิดและตัวตี



Figure 79 แสดงเครื่องหั่นทางปาล์มน้ำมันแบบของกรมวิชาการเกษตร



Figure 80 แสดงเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสงแบบของกรมวิชาการเกษตร

สำหรับเครื่องหั่นย่อยกิ่งไม้ (Figure 77) จากการทดสอบพบว่าสามารถหั่นย่อยต้นกล้วยไม้และเปลือกทุเรียนได้แต่พบปรากฏมีเส้นใยจากวัสดุไปติดขัดที่แกนเพลลาของเครื่องเมื่อทดสอบระยะเวลาานเครื่องจะติดขัด ลักษณะขึ้นที่ได้ เป็นขึ้นเล็ก (Figure 83-85) เครื่องหั่นทางปาล์มน้ำมัน (Figure 79) และเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง (Figure 80) ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกัน เมื่อทดสอบพบว่าสามารถหั่นย่อยพืชที่เป็นลักษณะเส้นใยได้ดี ซึ่งต้นกล้วยและเปลือกทุเรียนจัดเป็นวัสดุทางการเกษตรเป็นพืชที่มีเส้นใยพิจารณาว่าควรนำมาใช้สำหรับการหั่นต้นกล้วยที่ควรปรับปรุงช่องป้อนให้มีความเหมาะสม

เมื่อปรับปรุงและทำการทดสอบเก็บข้อมูลเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสงแล้วนำมาหั่นต้นกล้วย โดยได้ทำการปรับปรุงช่องป้อนให้สามารถป้อนท่อนกล้วยได้ พบว่าสามารถหั่นต้นกล้วยได้ดีแต่ (Figure 86 และ Figure 87) ต้นกล้วยมีความชื้นสูงและมีน้ำปะปนออกมา วัสดุตัวเครื่องที่เป็นเหล็กเมื่อถูกความชื้นจะเป็นสนิม จึงเห็นควรที่จะปรับเปลี่ยนวัสดุบางชิ้นส่วนเพื่อป้องกันการเกิดสนิมต่อไป



Figure 81 แสดงลักษณะของเนื้อทุเรียนที่ฝานได้



Figure 82 แสดงชิ้นเนื้อทุเรียนที่ฝานได้ติดที่ตัวเครื่องจำนวนมาก



(a)



(b)

Figure 83 แสดงลักษณะของเปลือกทุเรียนติดอยู่ที่เครื่องหั่นย่อยกิ่งไม้ (a) และ แสดงลักษณะของเส้นใยต้นกล้วยติดอยู่ที่เครื่องหั่นย่อยกิ่งไม้ (b)



Figure 84 แสดงการทดสอบหั่นย่อยต้นกล้วยด้วยเครื่องหั่นทางปาล์มน้ำมัน



Figure 85 แสดงการทดสอบหั่นย่อยด้วยเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง



Figure 86 แสดงทดสอบหั่นต้นกล้วยต้องสับแบ่งต้นกล้วยก่อนป้อน



Figure 87 แสดงต้นกล้วยที่หั่นย่อยได้

การทดสอบการหั่นย่อยเปลือกทุเรียนด้วยเครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใย ผลการทดสอบพบว่าเครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใยสามารถหั่นย่อยเปลือกทุเรียนในช่วงแรกได้แต่เมื่อทำงานไปสักระยะจะเกิดการติดของเศษเปลือก ทุเรียนหั่นย่อยซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืดภายในห้องหั่นย่อยไม่สามารถพ่นออกมาได้หมด (Figure 88 และ Figure 89) และจะสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเครื่องลักษณะนี้สามารถนำมาพัฒนาให้เหมาะสำหรับการหั่นย่อยเปลือกทุเรียนในอนาคตได้ โดยให้เปลือกทุเรียนหั่นย่อยออกจากเครื่องที่ด้านล่าง และต้องปรับช่วงป้อนให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นทุเรียน และทดลองปรับเปลี่ยนลักษณะของใบมีดที่ตัดเฉือน



Figure 88 แสดงทดสอบเครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใย



Figure 89 แสดงเศษเปลือกทุเรียนหนืดในห้องหั่นย่อย

ข้อมูลเบื้องต้นจากผลการทดสอบพอสรุปได้ว่าเครื่องหั่นทางปาล์มและเครื่องหั่นต้นถั่วลิสงมีศักยภาพในการนำมาวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้ในการหั่นย่อยต้นกล้วยได้ และเครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใยและเครื่องฟาน สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการหั่นย่อยเปลือกทุเรียน (Figure 90-92) หากต้องการลักษณะของชิ้นที่เป็นแผ่นควรปรับปรุงจากเครื่องฟาน แต่หากต้องการชิ้นทุเรียนควรปรับปรุงจากเครื่องหั่นย่อยซากพืชซึ่งข้อมูลผลการทดสอบแสดงตาม Table 25 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องหั่นทางปาล์มสำหรับหั่นย่อยต้นกล้วย และ Table 26 แสดงผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใยสำหรับหั่นย่อยเปลือกทุเรียน



Figure 90 แสดงเครื่องหันทางปาล์มน้ำมัน



Figure 91 แสดงเครื่องหันย่อยต้นถั่วลิสง



Figure 92 แสดงเครื่องหันย่อยพืชเส้นใย

Table 25 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องหันทางปาล์มในการหันย่อยต้นกล้วย

| หัวข้อทดสอบ | ความเร็วรอบแกนเพลลาใบมีด(รอบ/นาที) | | | |
|---|------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| ต้นกำลังเครื่องยนต์ดีเซล Kubota 9.5 แรงม้า | 632 | 815 | 912 | 1,010 |
| ความสามารถในการหันย่อยต้นกล้วย (ก.ก./ชั่วโมง) | 1,910 ^d | 2,040 ^c | 2365 ^b | 2463 ^a |
| การสูญเสีย (%) | 7.22 ^a | 5.88 ^b | 1.09 ^d | 1.54 ^c |
| ขนาดชิ้นต้นกล้วย(กว้างxยาว : ซม.) | 1.2x1.7 | 1.1x1.5 | 1x1.2 | 0.8x1 |
| อัตราการใช้เชื้อเพลิง(ลิตร/ชม.) | 1.62 ^d | 1.73 ^c | 1.84 ^b | 2.13 ^a |

วางแผนการทดสอบแบบ CRD ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Table 26 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องหันพืชเส้นใยในการหันย่อยเปลือกทุเรียน

| หัวข้อทดสอบ | ความเร็วรอบแกนเพลลาใบมีด(รอบ/นาที) | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ต้นกำลังเครื่องยนต์เบนซิน Honda 5.5 แรงม้า | 1,416 | 1,541 | 1,678 | 1,729 |
| ความสามารถในการหันย่อยเปลือกทุเรียน (ก.ก./ชั่วโมง) | 370.64 ^d | 420.29 ^c | 544.63 ^b | 655.46 ^a |
| การสูญเสีย (%) | 5.38 ^a | 3.98 ^b | 3.45 ^c | 3.33 ^c |
| ขนาดชิ้นเปลือกทุเรียน(กว้างxยาว : ซม.) | 0.9x1.2 | 0.7x1.3 | 0.6x1.2 | 0.5x1 |
| อัตราการใช้เชื้อเพลิง(ลิตร/ชม.) | 1.65 ^d | 1.77 ^c | 2.21 ^b | 2.80 ^a |

วางแผนการทดสอบแบบ CRD ใช้ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การดำเนินการปรับปรุงและทดสอบเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนต้นแบบ ได้ทดลองปรับปรุงต้นแบบสำหรับทดสอบ 2 เครื่องคือ เครื่องแบบ A (Figure 96) ได้ปรับปรุงเครื่องฝานเพื่อให้ได้ชิ้นเปลือกทุเรียนที่เป็นแผ่น และ เครื่องแบบ B (Figure 97) ปรับปรุงจากเครื่องหั่นย่อยซากพืชเส้นใย ซึ่งเป็นชิ้นละเอียด ซึ่งเครื่องต้นแบบ A ซึ่งทำจาก สแตนเลส มีลักษณะใบมีดสองใบวางตามแกนตั้ง มีช่องสำหรับป้อนสองช่องและป้อนชิ้นงานเข้าด้านบนของตัวเครื่อง ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 220 โวลต์ การทำงานของเครื่องคือกดชิ้นเปลือกทุเรียนเข้าช่องป้อนด้านบนด้วยอุปกรณ์สำหรับกดชิ้นงาน ใบมีดจะหั่น โดยลักษณะฝาน ลักษณะของชิ้นงานที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่น ตาม Table 27

Table 27 แสดงผลการทดสอบ เครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียน แบบ A

| ความเร็วรอบใบมีด | อัตราการทำงาน (kg/hr) | ขนาดชิ้นงาน (mm) | | | |
|------------------|-----------------------|------------------|-------|-------|------|
| | | กว้าง | ยาว | หนา | |
| 200 (rpm) | A | 64.5 | 38.25 | 83.5 | 3.5 |
| 250 (rpm) | B | 121.5 | 48.25 | 98.5 | 3.25 |
| 300 (rpm) | C | 126 | 49.5 | 96.25 | 4 |

ผลจากการทดสอบพบว่า การทำงานของเครื่องต้นแบบ A มีการตกค้างชิ้นงานที่หั่นได้ในตัวเครื่อง การปรับใบมีดให้ได้ชิ้นงานตามลักษณะที่ต้องการ (บาง-หนา) ต้องอาศัยทักษะด้านช่าง ซึ่งยากสำหรับคนใช้งานทั่วไป การถอดทำความสะอาด โดยทั่วไปทำได้ไม่สะดวก ซึ่งถือเป็นข้อปรับปรุงแก้ไขที่จะต้องดำเนินการต่อไป

ต้นแบบสำหรับการหั่นย่อยเปลือกทุเรียน ที่นำมาทดสอบมีลักษณะการทำงานโดยการฝานเป็นชิ้นแผ่นบาง หนา 3-4 มิลลิเมตร โดยตัวเครื่องมีลักษณะการทำงานโดยป้อนชิ้นงานเข้าด้านบนและใช้อุปกรณ์ช่วยป้อนชิ้นงานเข้าหาใบมีด (Figure 93) เบื้องต้นพบว่าลักษณะของชิ้นงานเป็นที่น่าพอใจแต่รูปแบบการทำงานยังไม่เหมาะสมเนื่องจาก

1. คนป้อนชิ้นงานต้องอาศัยแรงดันชิ้นงานเพื่อให้เข้าถึงใบมีดตัดเมื่อบ่อยครั้งทำให้เกิดความเมื่อยล้า ดังภาพ
2. การปรับระยะใบมีด เพื่อกำหนดขนาดความหนา-บางของชิ้นงานทำได้โดยต้องอาศัยเทคนิคทางช่าง ซึ่งบุคคลที่ใช้งานทั่วไป ทำได้ไม่สะดวก
3. ชิ้นงานที่ได้จากการหั่นย่อยแล้ว จะตกค้างอยู่กับตัวเครื่องเป็นส่วนใหญ่เนื่องจาก ความชื้นของชิ้นงานที่ได้จากการหั่นย่อยและมุมการไหลที่น้อยเกินไป

สำหรับเครื่องต้นแบบ B ได้ปรับปรุงจากเครื่องหั่นย่อยซากพืชเส้นใยของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมโดย ในการออกแบบสร้างให้มีขนาดช่องป้อนกว้างขึ้นสามารถใส่ชิ้นเปลือกทุเรียนให้มีควม

สะดวก และแก้ไขให้ช่องทางออกของชิ้นเปลือกทุเรียนที่หั่นย่อยแล้วออกได้สะดวกขึ้นเพื่อลดการ
ตกร้างในตัวเครื่อง และปรับเปลี่ยนใบมีดให้เป็นแบบยาว(Figure 94 และ Figure 95)



Figure 93 แสดงเครื่องหั่นเปลือกทุเรียนต้นแบบ

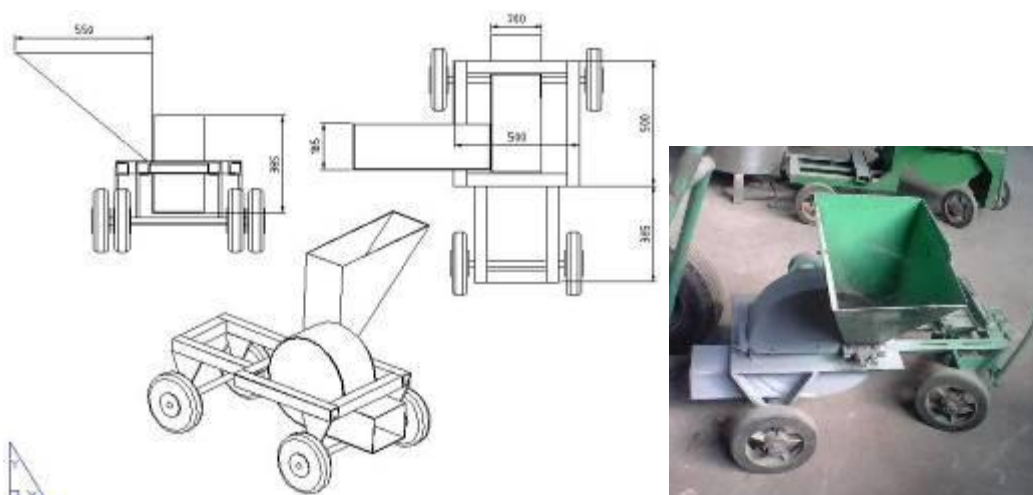


Figure 94 แสดงแบบของเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนแบบ B



Figure 95 การออกแบบและแก้ไขต้นแบบ เครื่องหั่นย่อยสำหรับเปลือกทุเรียน

ต้นแบบเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนแบบ B ซึ่งปรับปรุงจากเครื่องหั่นย่อยซากพืชเส้นใย โดย
ปรับช่องชิ้นงานออกให้อยู่ด้านล่างเพื่อให้ชิ้นงานที่หั่นย่อย ระบายออกได้สะดวกไม่ตกร้าง ใบมีดวาง

ตามแนวแกนนอน ป้อนชิ้นงานเข้าช่องป้อนมุมประมาณ 45 องศา ผลจากการทดสอบพบว่ามียัตราการทำงาน 300- 500 kg/hr ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง การป้อนชิ้นงานเป็นไปด้วยความไม่สะดวกต้องใช้อุปกรณ์ หากแต่ลักษณะของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะของขนาดชิ้นงานที่ไม่แน่นอนและตัวเครื่องทำจากเหล็กซึ่งเป็นสนิมได้ ต้นกำลังใช้เครื่องยนต์ 6 แรงม้า ซึ่งไม่เหมาะกับงานที่จะนำชิ้นงานไปแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร แต่จะเหมาะสำหรับนำชิ้นงานไปใช้งานในลักษณะอื่น จากข้อมูลการผลของการนำชิ้นทดสอบไปอบแห้งทำให้ทราบว่าชิ้นของเปลือกทุเรียนควรมีลักษณะเป็นแผ่นบาง จะทำให้แห้งเร็วและไม่มีความชื้น จึงเป็นข้อมูลตัดสินใจที่จะพัฒนาเครื่องสำหรับใช้ชิ้นงานที่เป็นเปลือกทุเรียน โดยปรับปรุงใหม่และทำการหาประสิทธิภาพใหม่อีกครั้ง

เมื่อทำการแก้ไขเครื่องสำหรับการหั่นเปลือกทุเรียนนั้น ได้แก้ไขชิ้นส่วนที่สัมผัสกับชิ้นวัสดุ ให้เป็นสแตนเลส เพื่อลดการปนเปื้อนของสนิม ซึ่งเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียน มีลักษณะตัวเครื่องประกอบด้วยใบมีดจำนวน 2 ใบ ติดตั้งบนแผ่นสแตนเลส กลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตรหนา 15 มิลลิเมตร ติดตั้งในแนวระดับ มีช่องป้อน 2 ช่องทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร (3 นิ้ว) ซึ่งเป็นขนาดท่อกลมที่เป็นมาตรฐานขายทั่วไปและเป็นขนาดที่พอดีกับขนาดชิ้นเปลือกทุเรียน โดยเบื้องต้นได้ทดลองใช้ท่อกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร(4 นิ้ว) สูง 15 เซนติเมตรเป็นช่องป้อน พบว่าการตัดเฉือนของใบมีดไม่สามารถทำได้เนื่องจากขนาดช่องป้อนที่มีขนาดโตกว่า ทำให้เกิดการพับและการอัดเปลือกทุเรียนและไม่ตัดเฉือนตามแนวขวาง ทำให้การตัดเฉือนทำได้ยาก จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนขนาดช่องป้อนให้มีขนาดเล็กลงเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร (3 นิ้ว) สูง 15 เซนติเมตร พบว่าเมื่อป้อนเปลือกทุเรียนทำให้เปลือกทุเรียนอยู่ในแนวขวางกับใบมีดตลอดและการตัดเฉือนของใบมีดเป็นไปได้ดี แต่ด้วยขนาดความยาวของเปลือกทุเรียนที่มากกว่าขนาดท่อกลมของช่องป้อน การป้อนด้วยการกดอัดจึงทำได้ไม่สะดวก จึงได้เพิ่มความสูงของช่องป้อนเป็น 20 เซนติเมตร โดยการป้อนเปลือกทุเรียนจะป้อนลงตามแนวดิ่ง ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ดัง Figure 96- Figure 100 และที่ความเร็วรอบใบมีด 300-540 รอบต่อนาที จำนวนคนป้อน 2 คน มียัตราการทำงาน 131-392 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และได้เก็บข้อมูลตาม Table 28

Table 28 ผลการทดสอบเครื่องหั่นเปลือกทุเรียน ที่ปรับปรุงแก้ไข

| ขนาดพู่เส้ | ขนาดพู่เส้ | ความเร็วรอบ | ความเร็วรอบใบมีด | อัตราการทำงาน (กก./ชม.) | ขนาดชิ้นเปลือกทุเรียน | | |
|---------------|---------------|-------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----|-----|
| | | | | | กว้าง | ยาว | หนา |
| ตัวขับ (นิ้ว) | ตัวคาน (นิ้ว) | มอเตอร์ | (รอบ/นาที) | | | | |
| 2.5 | 12 | 1440 | 300 | 131 | 35 | 89 | 4 |
| 3 | 12 | 1440 | 360 | 227 | 34 | 86 | 3.3 |
| 2.5 | 8 | 1440 | 450 | 329 | 27 | 68 | 3 |
| 3 | 8 | 1440 | 540 | 392 | 33 | 83 | 2.3 |



Figure 96 เครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนแบบ A



Figure 97 เครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนแบบ B

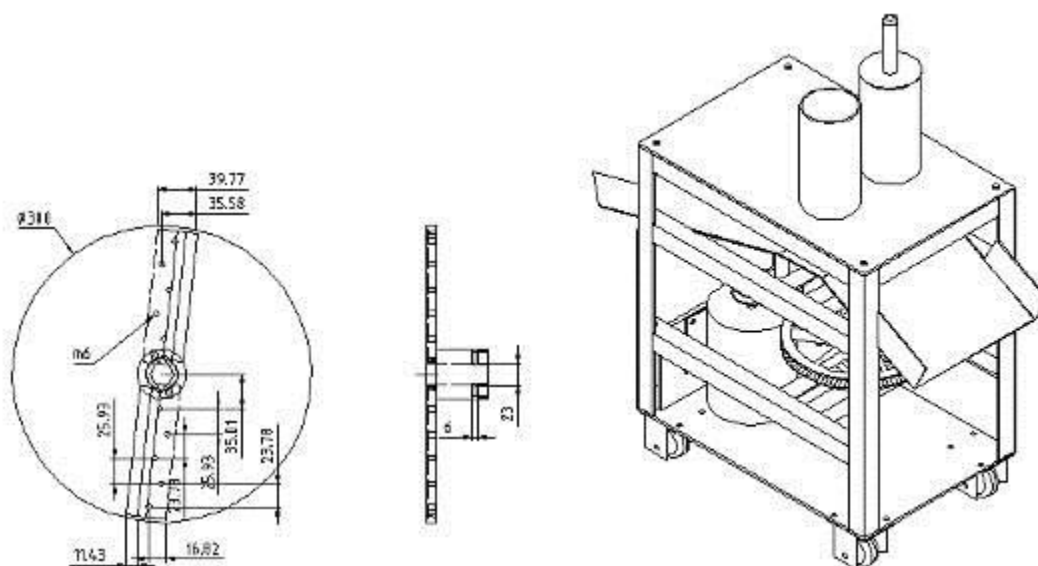
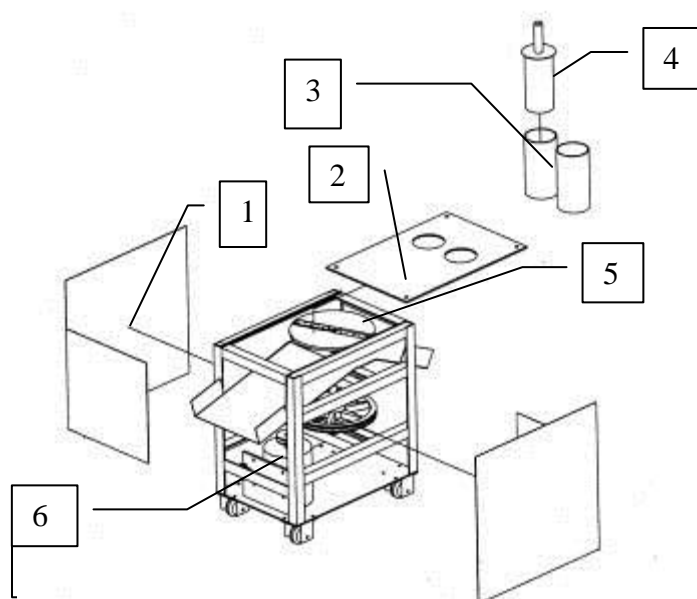


Figure 98 แสดงรายละเอียดเครื่องหั่นเปลือกทุเรียน ต้นแบบ



Figure 99 แสดงเครื่องหันเปลือกทุเรียนหลังการปรับปรุง



รายละเอียดส่วนประกอบเครื่องหันเปลือกทุเรียน

1. ฝาครอบเครื่องด้านข้าง
2. ฝาครอบเครื่องด้านบน
3. ช่องป้อน
4. กระบอกรับ
5. จานใบมีด
6. มอเตอร์ไฟฟ้า

Figure 100 แสดงส่วนประกอบเครื่องหันย่อยเปลือกทุเรียน

สำหรับเครื่องหันย่อยต้นกล้วยที่ได้พัฒนาปรับปรุงจากเครื่องหันย่อยต้นถั่วลิสง นั้นเมื่อปรับช่องป้อนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความเหมาะสมจึงได้ผลการทดสอบตาม Table 29

Table 29 แสดงผลการทดสอบเครื่องหันย่อยวัสดุการเกษตรสำหรับหันย่อยต้นกล้วย

| หัวข้อการทดสอบ | ความเร็วรอบแกนเพลลาใบมีด(รอบ/นาที) | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | 650 | 800 | 900 | 1000 |
| ขนาดชิ้นงาน(กว้างxยาว) เซนติเมตร | 1.5x3.5 | 1.3x4 | 1.3x4 | 1.0x3 |
| ปริมาณการติดค้างในเครื่อง (%) | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.5 |
| ความสามารถในการทำงาน (ก.ก/ชม) | 560 | 700 | 980 | 1,200 |
| อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ลิตร/ชม) | 1 | 1.2 | 1.4 | 1.5 |

โดยเครื่องที่ใช้หั่นต้นกล้วยตัดแปลงจากเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง ซึ่งมีลักษณะของ ตัวเครื่องมี ใบมีดสำหรับหั่นย่อยจำนวน 2 ใบ ความยาว 1 ฟุต ทำจากเหล็กไฮสปีด ติดตั้งตรงข้ามกัน วางมุมเอียง 18 องศา กับแนวระดับ ภายในชุดโครเมียมป้องกันการเกิดสนิม ต้นกำลังใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ที่ ความเร็วรอบใบมีด 1,000 รอบต่อนาที มีอัตราการทำงาน 1,200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดชิ้นของการหั่น โดยเฉลี่ยมีความยาว 3 เซนติเมตรและกว้าง 1 เซนติเมตร (Figure 101)



Figure 101 แสดงเครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย หลังการปรับปรุง

เครื่องต้นแบบเครื่องหั่นย่อยต้นแบบวัสดุการเกษตรทั้งสองแบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาี้ เพื่อใช้งาน สำหรับการหั่นวัสดุที่เป็นลักษณะเฉพาะคือ หั่นเปลือกทุเรียนและหั่นต้นกล้วย เป้าหมายเพื่อนำวัสดุที่ได้ จากการหั่นนี้ไปใช้ในกระบวนการแปรรูปตามขั้นตอนต่อไป เพื่อให้ได้ซึ่งผงคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส หรือผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่น ที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่เป็นเป้าหมายหลักของโครงการ สำหรับการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ทราบความคุ้มค่าของเครื่องนั้น ทางผู้วิจัยได้คำนวณ เปรียบเทียบเฉพาะเครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย ซึ่งใช้ข้อมูลที่เกษตรกรรับจ้างหั่นเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ ส่วน เครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนนั้น เป็นลักษณะเฉพาะงานซึ่งยังไม่มีข้อมูลสำหรับพิจารณาในการคำนวณ

เครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย นอกจากจะหั่นย่อยต้นกล้วยแล้วยังสามารถหั่นย่อยพืชต้นพืชอื่นได้เช่น ข้าวโพด สำหรับใช้เลี้ยงสัตว์ได้ ซึ่งลักษณะการใช้งานของเกษตรกร โดยทั่วไปไม่นิยมรับจ้างมากนัก จะ มีใช้เป็นส่วนตัวสำหรับหั่นย่อยพืชเพื่อเป็นอาหารสัตว์

วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ตามภาคผนวกที่ 1 โดยจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องเท่ากับ 16,963 กิโลกรัมต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าจ้าง 0.21 บาท/กก ที่ทำงาน 7 ชั่วโมง/วัน อัตราการทำงานของ เครื่อง 1,200 กก/ชั่วโมง

การทดลองที่ 2.2 วิจัยและพัฒนาเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

ได้ดำเนินการตรวจสอบเอกสาร เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเกษตรที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุทำบรรจุภัณฑ์ การใช้วัสดุทางการเกษตรเพื่อการทำบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ และเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้ในปัจจุบัน

โดยผลการศึกษาได้เลือกวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้คือ เส้นใยจากต้นกล้วย และเปลือกทุเรียน ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ โดยดำเนินการทดสอบ รวบรวมข้อมูลจากการทดสอบ การอัดวัสดุทางการเกษตรดังแสดงใน Figure 102 และ Figure 103 และได้ทราบข้อมูลในการออกแบบคือ

1. เครื่องมือมีความต้องการแรงอัดขึ้นงาน น้อยกว่า 2000 psi หรือ 200 บาร์ (138 kg/cm²)
2. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแผ่นอัดขึ้นรูปคือ 160 องศาเซลเซียส



Figure 102 การอัดทดสอบ โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปยางแผ่น ของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร



Figure 103 ผลิตภัณฑ์ชีวภาพที่ได้จากการอัดด้วยวัสดุเปลือกทุเรียน

จากข้อมูลดังกล่าวนำมาออกแบบเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่มีขนาดเหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งานอัดขึ้นรูปวัสดุ โดยเครื่องมือมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องอัดขึ้นรูปยางซึ่งมีส่วนประกอบของเครื่องดังต่อไปนี้

1. ส่วนสร้างแรงกลในการอัด ใช้ไฮดรอลิกเป็นอุปกรณ์สร้างแรงกลในการขึ้นรูปวัสดุ
2. ส่วนให้ความร้อนวัสดุ มีหน้าที่ให้ความร้อนแก่วัสดุที่จะขึ้นรูป
3. ส่วนควบคุม มีหน้าที่ในการควบคุมวงจรไฮดรอลิกสำหรับควบคุมแรงกลในการขึ้นรูปวัสดุ และควบคุมอุณหภูมิของส่วนให้ความร้อนวัสดุ (Figure 104)

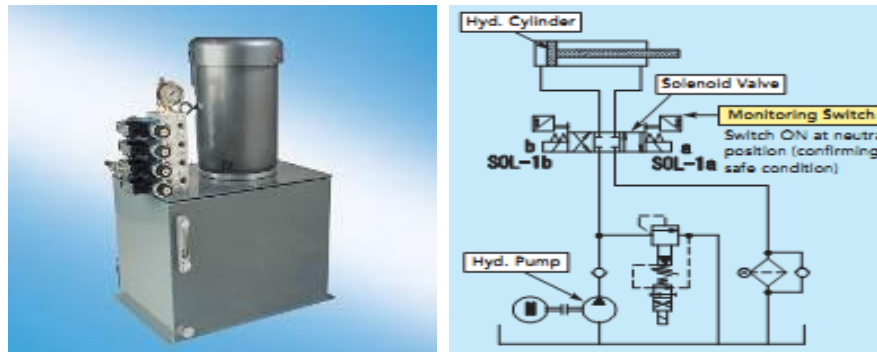


Figure 104 แสดงภาพจำลองระบบต้นกำลังไฮดรอลิกและวงจรไฮดรอลิก

และได้ดำเนินการจากนั้นดำเนินการออกแบบ (Figure 105 และภาคผนวก 2) และสร้างต้นแบบเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ (Figure 106) และดำเนินการทดสอบเครื่องฯ (Figure 107) จากผลการทดสอบนำข้อมูลการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ได้ดังแสดงใน Table 30

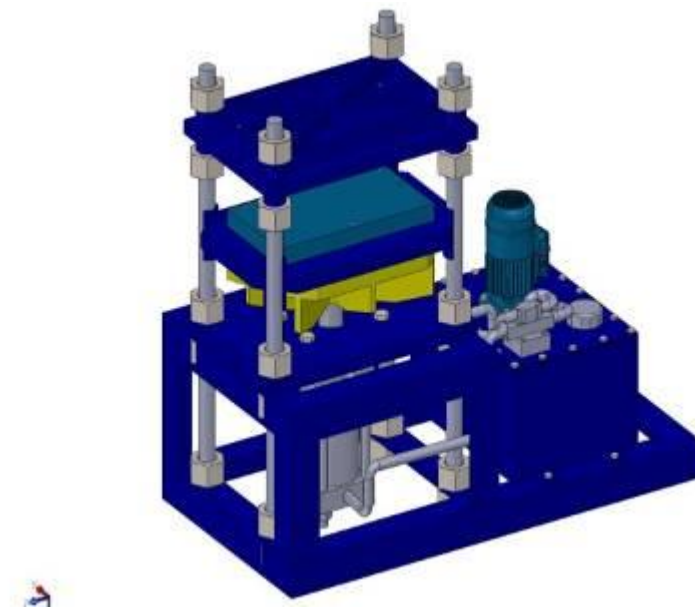


Figure 105 แบบจำลองคอมพิวเตอร์เครื่องต้นแบบเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ



Figure 106 ภาพรวมของเครื่องต้นแบบขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพต้นแบบ



Figure 107 การอัดขึ้นรูปงาน โดยเครื่องต้นแบบขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ และบรรจุภัณฑ์ที่ได้

Table 30 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ผลิตจากเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

| ชุดตัวอย่าง | ปริมาตร (mm ³) | ความหนาแน่น (kg/m ³) | ความชื้น (%) | การดูดซึมน้ำ (%) | การพองตัวทางความ หนา(%) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------|
| AVG1 | 562.19 | 824.63 | 4.05 | 415.23 | 211.17 |
| AVG2 | 573.03 | 881.69 | 4.19 | 444.28 | 216.12 |
| AVG3 | 573.55 | 908.84 | 3.84 | 531.14 | 280.93 |
| AVG4 | 555.75 | 840.13 | 3.29 | 499.23 | 248.96 |
| AVG5 | 550.65 | 722.61 | 2.86 | 452.64 | 186.51 |
| AVG6 | 1,075.19 | 549.84 | 2.08 | 417.51 | 97.75 |

(จากเครื่องขึ้นรูปบรรจุ
ภัณฑ์ชีวภาพ)

ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ตามภาคผนวก 1 พบว่า เครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ มีราคา 345,000 บาท ถ้าอัตราราคาจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ 5.0 บาท/ชิ้น. จุดคุ้มทุนอยู่ที่การผลิต 17,091.52 ชิ้น/ปี และสามารถคืนทุนได้ในเวลา 11.21 ปี หรือ (2,242 วัน)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดลองที่ 2.1 วิจัยและพัฒนาเครื่องหั่นย่อยและบดวัสดุทางการเกษตร

เครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนและต้นกล้วยที่ได้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้มีเป้าหมายหลักสำหรับใช้ในกระบวนการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อใช้เตรียมวัตถุดิบให้ง่ายขึ้นและลดเวลาในการเตรียม ซึ่งเป็นเครื่องที่ออกแบบสร้างเป็นลักษณะเฉพาะงาน และได้คำนวณทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อแสดงให้เห็นความคุ้มค่าในบางส่วน โดยจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องเท่ากับ 16,963 กิโลกรัมต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าจ้าง 0.21 บาท/กก ที่ทำงาน 7 ชั่วโมง/วัน อัตราการทำงานของเครื่อง 1,200 กก/ชั่วโมง ซึ่งเครื่องเครื่องต้นแบบทั้งสองเครื่องนี้ยังสามารถปรับปรุงหรือดัดแปลงเพื่อใช้งานในประโยชน์ด้านอื่นได้อีกด้วย

แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นให้การทำงานของตัวเครื่องมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในกระบวนการแปรรูปเพื่อเตรียมวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งต้องใช้กระบวนการอีกหลายขั้นตอน การหั่นย่อยและบดเป็นเพียงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นเท่านั้น และทั้งนี้การใช้งานจริงต้องมีการปรับแต่ง เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโดยรวมต่อไป

การทดลองที่ 2.2 วิจัยและพัฒนาเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

เครื่องมือขึ้นรูปที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพแบบการอัดแบบแห้ง (Dry pressing) โดยใช้กำลังไฮดรอลิกในการอัดขึ้นรูป (Hydraulic Press) ซึ่งสรุปลักษณะการทำงานได้ดังนี้

1. มีการส่งกำลังอัดแบบ ขึ้น-ลง ตามแนวระบอบกสูบ
2. มีความสามารถในการทำงานขึ้นรูปแบบอัดขึ้นงานขนาด 400 x 400 x 150 มิลลิเมตร
3. มีแผ่นให้ความร้อนที่แผ่นรองแบบอัด ชุดบนและล่าง ขนาดชุดละ 2,000 วัตต์ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เฟสเดียว
4. ชุดให้กำลังไฮดรอลิก ไฮดรอลิกปั๊มขนาดแรงดันสูงสุด 30 MPa (306 kg.f/cm²). 300 bar กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ช่วงชักกระบอกสูบ 20 เซนติเมตร ดันกำลังมอเตอร์ขนาด 4 แรงม้า ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส
5. ระบบควบคุมทิศทางไฮดรอลิก แบบไฟฟ้า การควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบควบคุมการหยุดการเคลื่อนที่โดยใช้แรงดันไฮดรอลิก

ราคาเครื่องต้นแบบประมาณ 345,000 บาท ซึ่งถ้าอัตราค่าจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ 5.0 บาท/ชิ้น จุดคุ้มทุนอยู่ที่การผลิต 17,091.52 ชิ้น/ปี และสามารถคืนทุนได้ในเวลา 11.21ปี หรือ (2,242 วัน)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร

การวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตผลเกษตร สามารถพัฒนาบรรจุภัณฑ์ได้ 7 ชนิด ดังนี้

1.1 งานใยอัดจากเส้นใยเปลือกทุเรียน

เตรียมโดยอัดขึ้นรูปเส้นใยด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 160 °C ความดัน 150 bar เป็นเวลา 5 นาที โดยงานใยอัดจากเส้นใยพอกมีคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่า คือ มีความหนาแน่น 573.44 kg/m³ ความชื้น 0.39% การพองตัวทางความหนา 89.68% การดูดซับน้ำ 294.09% และใช้เวลาในการดูดซึมน้ำปริมาตร 0.05 cm³ มากกว่า 7 ชั่วโมง มีต้นทุนการผลิต 11.90 บาท/ใบ ซึ่งสูงกว่างานชานอ้อยมาก แต่มีศักยภาพในการนำไปศึกษาต่อเนื่องจากคุณสมบัติสามารถแข่งขันกับงานชานอ้อยได้ โดยอาจต้องปรับกระบวนการอัดขึ้นรูป เพิ่มปริมาณเส้นใยหรือเติมสารเติมแต่งชนิดเพิ่มความแข็งแรง สารช่วยยึดติด หรือผสมกับวัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น

1.2 กระดาษดูดซับเอทิลีน

เตรียมโดยผสมเส้นใยไม่พอกจากเปลือกทุเรียนกับผงถ่านกัมมันต์ปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก เส้นใย มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องได้ดี และดีใกล้เคียงกับสารดูดซับเอทิลีนทางการค้า คือ สามารถเก็บรักษามะม่วงได้นาน 15 วัน โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยเท่ากับ 28.59% โดยกระดาษมีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะของกระดาษห่อของชนิด 55 แกรม ตาม มอก.170-2550 ยกเว้นความต้านทานแรงดึงขาด ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการเติมสารเติมแต่งชนิดสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (dry strength agent) มีต้นทุน 1.60 บาท/แผ่น ถูกว่าสารดูดซับเอทิลีนทางการค้าชนิดของ แต่อย่างไรก็ตามในการใช้งานแต่ละครั้งจะต้องใช้กระดาษดูดซับเอทิลีน 1 แผ่น/ผล ในขณะที่ใช้สารดูดซับเอทิลีนทางการค้า 2-3 ซองต่อกล่อง ซึ่งอาจทำให้ต้นทุนต่อครั้งแพงขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป คือ ศึกษาอัตราการดูดซับเอทิลีนของกระดาษแต่ละแผ่นเพื่อนำมาคำนวณถึงประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซเอทิลีนโดยแท้จริง เพื่อแนะนำการใช้งานกระดาษในแต่ละครั้งให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิดซึ่งมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน และศึกษาถึงประสิทธิภาพของการนำกระดาษกลับมาใช้ใหม่ และพัฒนาเป็นกล่องบรรจุต่อไป

1.3 พอลิเมอร์ชีวภาพจากจุลินทรีย์

ผลิตจากไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc sp.* ไอโซเลท SM6-3 คัดแยกได้จากรากคอรัลลอยด์ของปรัง มีรูปร่างเป็นกลุ่มเซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นสาย trichome สภาพที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ เพาะเลี้ยงแบบใช้แสงแดด ด้วยอาหารสูตร BG-11 ที่ไม่เติมธาตุไนโตรเจน (N-free medium) พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโต 9.96×10^6 cells ml⁻¹ สามารถเก็บเกี่ยวชีวมวลได้ 1.69 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงได้ 18 วัน สกัดพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดพอลิเบต้าไฮดรอกซีบิวไทเรต (Poly-β-hydroxybutyrate, PHB) ได้

0.33 กรัม/ลิตร เมื่อนำมาผสมกับกลีเซอรอล 10-15% พบว่าสามารถผลิตเป็นแผ่นฟิล์มได้ แต่มีความยืดหยุ่นน้อย ต้องเติมสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

1.4 บรรจุภัณฑ์ชีวภาพสำหรับอาหาร

เป็นบรรจุภัณฑ์ที่บริโภคได้ ผลิตจากแคโรทเติมแอลจินเตต 3% ของเนื้อแคโรท เพื่อเพิ่มความต้านทานแรงดึงขาด และเติมไซลิทอล 3.75% ของเนื้อแคโรท เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ค่า OTR และค่า WVTR ของฟิล์ม โดยฟิล์มมีวิตามินเอสูงคือ 7,219.48 ไมโครกรัม/100 กรัม และมีค่าการต้านอนุมูลอิสระ 1,773.37 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ สามารถประยุกต์เป็นฟิล์มห่อผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการหืนได้ โดยใช้ลูกอมถั่วกะทิเป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับไม่ห่อและห่อด้วยกระดาษไข พบว่าตัวอย่างที่ห่อด้วยฟิล์มแคโรทมีการเพิ่มของค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าตัวอย่างที่ห่อด้วยกระดาษไขเล็กน้อย ขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างที่ไม่ห่อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีต้นทุนการผลิต 3.69 – 4.71 บาท/แผ่นฟิล์มขนาด $28 \times 28 \text{ cm}^2$

1.5 พลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน หรือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC)

เตรียมโดยนำผงเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมาทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติกในสภาวะค้าง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ที่ 55 องศาเซลเซียส ได้ซีเอ็มซี 138.12% ของน้ำหนักเซลลูโลสตั้งต้น เป็นผงสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้ดี มีความบริสุทธิ์ 95.63% ความชื้น 13.59% มีค่าองศาการแทนที่ (DS) 0.682 และมีความหนืด 429.9 cPs จัดเป็นซีเอ็มซีชนิดความหนืดปานกลาง มีต้นทุนการผลิต 23.12 บาท/กรัม พบว่าสูงกว่าซีเอ็มซีทางการค้าชนิดความหนืดต่ำเกรดห้องปฏิบัติการ แต่ยังคงมีศักยภาพในการแข่งขันทางด้านราคา เนื่องจากหากผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้นทุนของสารเคมีจะลดลง

ฟิล์มซีเอ็มซี เตรียมโดยใช้สารละลายซีเอ็มซีเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ โดยฟิล์มสามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน มีความอ่อนตัว มีสีน้ำตาลอ่อน โปร่งแสง ย่อยสลายได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยการฝังกลบในดินที่มีความชื้นสูง ซึ่งฟิล์มเติมกลีเซอรอล 30% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงเหมาะในการพัฒนาเป็นฟิล์มยืด และฟิล์มเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูง มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อย เหมาะสำหรับพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการความแข็งแรง และฟิล์ม CMC มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้ง เพราะมีค่า OTR ต่ำอยู่ในช่วง $1.15-17.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2/\text{day}$ โดยฟิล์มที่เติมพอลิเอทธีลีนไกลคอล 20% มีศักยภาพดีที่สุดในการบรรจุกาแฟ

1.6 ผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกชีวภาพสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสด

พบว่าสารเติมแต่งไม่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดในถุงพลาสติกชีวภาพ โดยถุงพลาสติกชีวภาพกลุ่มพอลิเอสเทอร์ไม่เติมสารเติมแต่งชนิด PBS สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเงาะผลสดพันธุ์โรงเรียนที่อุณหภูมิตั้งที่ $13 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 78% ได้ดีที่สุด โดยเก็บรักษาได้นาน 15 วัน โดยที่ลักษณะภายนอกและคุณภาพภายในเป็นที่ยอมรับได้ และเก็บได้นานถึง 21 วัน โดยที่ลักษณะภายในยัง

เป็นที่ยอมรับได้ รองลงมาคือถุง LDPE ซึ่งเป็นพลาสติกจากปิโตรเคมีและมีการเติมสารเติมแต่ง โดยถุง PBS มีค่า WVTR 938 g/m²/day, ค่า OTR 1,218 cm³/m²/day, การยืดตัวแนวนอนและแนวขวางเครื่อง 87 และ 5.80% ตามลำดับ ความต้านทานต่อแรงดึงแนวนอนและแนวขวางเครื่อง 464 และ 283 kF/ m² ตามลำดับ ย่อยสลายได้เร็วที่สุดโดยเริ่มแตกเป็นชิ้นภายหลังจากฝังในดินเป็นเวลา 16 วัน และย่อยสลายได้ 31.25% ในเวลา 5 เดือน ราคา 6.69 บาท/ใบ ซึ่งสูงกว่าถุง LDPE แต่มีข้อได้เปรียบคือลดค่ากำจัดขยะและหากใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการส่งออกจะช่วยลดการกีดกันทางการค้าและภาษีได้

1.7 บรรจุภัณฑ์ชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง

เตรียมฟิล์มโดยผสมแป้งสตาร์ชกับไคโตซานที่อัตราส่วน 1:0 1:0.2 1:0.4 1:0.6 1:0.8 และ 1:1 เติมน้ำเกลือเป็นสารเติมแต่ง พบว่าฟิล์มมีความชื้นอยู่ในช่วง 9.51-10.45% มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.426-0.437 ซึ่งแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ อยู่ในช่วง 22.31-29.75% มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) อยู่ในช่วง 1,918-2,105 g/m²/day มีค่า OTR อยู่ในช่วง 1.33-4.29 cm³/m²/day โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลัง:ไคโตซานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปทดลองคือ 1:0.6 เนื่องจากให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับฟิล์มที่อัตราส่วนอื่นๆ ที่ให้คุณสมบัติที่ดีที่สุด ทดสอบศักยภาพการต้านจุลินทรีย์ *Aspergillus flavus* A39 พบว่าไม่พบการเกิด clear zone เนื่องจากไม่พบสารยับยั้งแพร่ออกมาจากแผ่นฟิล์ม และไม่พบการเกิดเชื้อราบนแผ่นฟิล์ม แต่ทั้งนี้ลักษณะการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องเป็น clear zone ดังนั้นจึงมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อไป ต้นทุน 0.02-0.50 บาท/แผ่น ขึ้นอยู่กับราคามันสำปะหลัง

ข้อเสนอแนะ คือ ทดสอบศักยภาพการต้านจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ และทดลองการนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์

2. การวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับทำบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้จากผลิตภัณฑ์เกษตร

2.1 เครื่องหั่นย่อยและบดวัสดุทางการเกษตร

ได้พัฒนาเครื่องหั่นย่อยเปลือกทุเรียนและต้นกล้วย ช่วยใช้เตรียมวัตถุดิบให้ง่ายขึ้น ได้ขนาดตามต้องการ และลดเวลาในการเตรียม โดยจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องเท่ากับ 16,963 กิโลกรัมต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าจ้าง 0.21 บาท/กก ที่ทำงาน 7 ชั่วโมง/วัน อัตราการทำงานของเครื่อง 1,200 กก/ชั่วโมง ซึ่งเครื่องเครื่องต้นแบบนี้ยังสามารถปรับปรุงหรือดัดแปลงเพื่อใช้งานในประโยชน์ด้านอื่นได้อีกด้วย

2.2 เครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

เป็นเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพแบบการอัดแบบแห้ง (Dry pressing) โดยใช้กำลังไฮดรอลิกในการอัดขึ้นรูป (Hydraulic Press) ซึ่งสรุปลักษณะการทำงานได้ดังนี้

- 1) มีการส่งกำลังอัดแบบ ขึ้น-ลง ตามแนวกระบอกสูบ

- 2) ใช้กับแม่พิมพ์ขนาด 400 x 400 x 150 ลบ.มิลลิเมตร
- 3) มีแผ่นให้ความร้อนสำหรับแม่พิมพ์ ชุดบนและล่าง ขนาดชุดละ 2,000 วัตต์ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เฟสเดียว
- 4) มีชุดให้กำลังไฮดรอลิก: ไฮดรอลิกปั๊มขนาดแรงดันสูงสุด 30 MPa (306 kg.f/cm²) 300 bar กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ช่วงชักกระบอกสูบ 20 เซนติเมตร ดันกำลังมอเตอร์ขนาด 4 แรงม้า ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส
- 5) มีระบบควบคุมทิศทางไฮดรอลิก แบบไฟฟ้า การควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ระบบควบคุมการหยุดการเคลื่อนที่โดยใช้แรงดันไฮดรอลิก

ราคาเครื่องต้นแบบประมาณ 345,000 บาท จุดคุ้มทุนอยู่ที่การผลิต 17,091.52 ชิ้น/ปี และสามารถคืนทุนได้ในเวลา 11.21ปี หรือ (2,242 วัน) เมื่อมีราคาจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่ 5.0 บาท/ชิ้น

ซึ่งเกษตรกร หน่วยงานต่างๆ และผู้ประกอบการที่สนใจผลิตบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ และเครื่องมือเตรียมตัวอย่างและเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ สามารถนำทั้งหมดไปใช้หรือพัฒนาต่อยอดได้ ซึ่งจะส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าและสร้างคุณค่าแก่ผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ลดปริมาณขยะ ได้บรรจุภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรอย่างยั่งยืน

บรรณานุกรม

- กฤติกา ตันประเสริฐ, รัศมี นาคทับทิม, สุขปา เนตรประดิษฐ์ และสุพิภรณ์ พุกษेत्रฐ. การพัฒนา
กระดาษห่อบรรจุคูดัชนีความชื้นเพื่อรักษาคุณภาพรักษาคุณภาพกระดาษแข็งระหว่างเก็บ
และขนส่ง. สืบค้นจาก: http://www.irpus.or.th/project_file/2551/KI251A13016_Complete.pdf.
[30 กรกฎาคม 2552].
- กฤษณา ศิริเลิศมุกด, ศรีไฉล ขุนทน, ณัฐภรณ์ สุวรรณโณ และสุนันท์ พงษ์สามารถ. 2005. การเตรียม
คาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกทุเรียน. 31st Congress on Science and Technology of
Thailand at Suranaree University of Technology. 18-20 October 2005. 3 หน้า.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. สถานการณ์มลพิษด้านกากของเสียและสารอันตราย. วารสารหมายเหตุมลพิษ
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 3(4): 12-13.
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2541. บรรจุภัณฑ์: ยุทธปัจจัยการส่งเสริมการตลาด. รายงานประจำปี 2541
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. หน้า 63-67.
- กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2553. สรุปผลการดำเนินงานแผนงานภาคความร่วมมือ ในช่วง
ปี 2538-2542 ภายใต้อำนวยการพลังงาน. กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. สืบค้นจาก:
<http://www.eppo.go.th/encon/Strategy/encon-ReportVolun-T.html>.
- กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และศิริพร เต็งรัง. 2556. การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพจากแป้งของพืชที่มีศักยภาพ. ใน:
รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2556. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและ
แปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 312-328.
- กมลพร จอมพันธ์, ณัฐวดี จินาพันธ์ และสุพัฒน์ คำไทย. 2551. การผลิตฟิล์มคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือก
จากเยื่อฟางข้าวแบบโซดาแอนทราควิโนน. สืบค้นจาก:
http://www.irpus.or.th/project_file/2551/C057_R51D05006_Complete.pdf. [30 กรกฎาคม 2552].
- กมลศิริ พันธนิยะ. 2552. ไคติน-ไคโตซาน. ใน: บทความนานาชาติ. สืบค้นจาก:
http://www.nicaonline.com/articles9/site/view_aritle.asp?idarticle=158. [20 กรกฎาคม 2558].
- กิตติพงศ์ ตั้งกิจ. 2543. ความเหมาะสมของการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากทางใบ, ลำต้นและทะลายผลเปล่า
ของปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คงศักดิ์ เลิศอนันตสุข และเบญจรัตน์ พงษ์ศิริศิลป์. 2548. การศึกษาสมบัติของกระดาษจากเยื่อผสมของ
เปลือกทุเรียนและปอสาเพื่อใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์. โครงการระดับปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีการ
พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- จารุวัฒน์ มงคลชนทรรศ, ทรงยศ จันทรมานิตย์ และสุชาติ สุขนิยม. 2544(ก). ทดสอบและพัฒนาเครื่อง
หั่นย่อยซากพืช. เครื่องจักรกลเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
กรุงเทพ ฯ. หน้า 56-57
- จารุวัฒน์ มงคลชนทรรศ, วีระ สุขประเสริฐ และอนุชา เชาวน์โชติ. 2544(ข). ทดสอบและพัฒนาเครื่องหั่น
ฟาง. เครื่องจักรกลเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพ ฯ.
หน้า 65-71
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนัก
พิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ ฯ. 396 หน้า.
- จิ่งแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชา
พืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม. 396 หน้า.
- ชัยรัตน์ สัมฉุน. 2550. เครื่องสับหั่นบด. แม่ใจ สู้ภัยภัยเครื่องขยายเกษตรกรรม. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ ฉบับ
วันอังคาร ที่ 14 สิงหาคม 2550.
- ณัฐชิวดี จินาพันธ์, เจริญขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทธสุภา และสฐพัศ คำไทย. 2555. คุณสมบัติของ
ฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าว. ว.วิทย. กษ. 43:3 (พิเศษ): 616-620.
- ดรชณี พัทธวรกร. 2556. กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ. หน้า 49-75. ใน: เคมีกระบวนการผลิต.
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 111 หน้า.
- ดับเบิลเอ. 2010. องค์ประกอบของกระดาษ. สืบค้นจาก:
http://www.doublepaper.com/knowning/paper_element1.pdf. [25 สิงหาคม 2552].
- คุณฤทัย พันธ์บัว, ผ่องเพ็ญ จิตอารีรัตน์, วาริช ศรีละออง และอภิรดี อุทัยรัตนกิจ. 2554. การยืดอายุการเก็บ
รักษาเงาะพันธุ์โรงเรียนด้วยถุงพอลิเอทิลีน. ว.วิทย.กษ. 42:3(พิเศษ): 633:636.
- ถิรนนท์ ทิวราตรีวิทย์, สุพัฒน์ คำไทย และพรชัย ราชตะนะพันธ์. 2549. ผลของกระบวนการฟอกต่อ
คุณสมบัติทางกลของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอ. สืบค้นจาก:
http://www.irpus.or.th/project_file/2549_2007-06-05_R14903004.pdf. [30 กรกฎาคม 2552].
- ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และ สุขปา เนตรประดิษฐ์. การผลิตเยื่อและกระดาษจากใบรูปถ่ายเพื่อนวัตกรรม
บรรจุภัณฑ์. สืบค้นจาก: <http://www.kmutt.ac.th/rippc/pulpaper.htm>. [1กรกฎาคม 2552].
- ธนาดี ลีจากภัย (2547) พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
(เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี.
- นพพันธ์ นานคงเนบ. 2545. การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วน
ที่เหมาะสมระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.
พลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- นวพรรณ รักฝักฝน. 2545. การผลิตกระดาษจากเปลือกทุเรียน. โครงการเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยตนเอง. คณะวิทยาศาสตร์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิรนาม. 2014. วาระแห่งชาติว่าด้วย “ขยะ”. สืบค้นจาก: <http://thaipublica.org/2014/11/global-save-food/>. [27 มกราคม 2559].
- นิรนาม. 2003. ขยะบรรจุภัณฑ์ ผลพวงที่ต้องรับผิดชอบ. Newsstand Limited. สืบค้นจาก: <http://goo.gl/jkEBje>. [19 มกราคม 2559].
- นิรนาม. 2553. ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรและสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน. สืบค้นจาก: <http://dmxtechnology.blogspot.com/2010/03/blog-post.html>
- นิรนาม. 2552. พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากมันสำปะหลัง. สืบค้นจาก: <http://www.tonkwamdee.com/forum/index.php?topic=79.0>
- นิรนาม. 2550. อเมริกาดลดการใช้พลาสติก Plastic Focus, 10(3) กันยายน-ธันวาคม 2550. หน้า 4-5.
- นิรนาม. 2550. Japan Moves. นวัตกรรมพลาสติกชีวภาพ Plastic Focus, 10(3) กันยายน - ธันวาคม 2550. หน้า 6-7.
- นิรนาม. บทที่ 5 เอทิลีนและฮอร์โมนพืชอื่นๆ. สืบค้นจาก: <http://goo.gl/3xn2vy>. [27 กันยายน 2558].
- นิลวรรณ คงถาวร, บุญรัตน์ พิพัฒน์ศิริจร, ปิยะพร เขมะโรจน์กุล และกฤติกา ต้นประเสริฐ. 2551. ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติของฟิล์มคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์. 9 หน้า. สืบค้นจาก: http://www.irpus.or.th/project_file/2551/I351A05018_Complete.pdf. [6 สิงหาคม 2552].
- นิลวรรณ ลีอังกูเสถียร, สุชาติ วิจิตรานนท์, ปัญจพร เลิศรัตน์, ภิรมย์ ขุนจันทิก, เสริมสุข สลักเพ็ชร และอรวิณทนี บุศรี. 2551. ฐานข้อมูลงานวิจัยกรมวิชาการเกษตร: การศึกษาการผลิตเงาะ. 33 หน้า. สืบค้นจาก: http://it.doa.go.th/refs/files/1105_2551.pdf. [5 กันยายน 2554].
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2553. เคมีอาหาร. โอ.เอส. พรีนติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 504 หน้า.
- แนวหน้า. 2552. ไปโอพลาสติก โอกาสลดโลกร้อนโอกาสของคนไทย. สืบค้นจาก: <http://www.naewna.com/news.as?ID=153378>. [12 ตุลาคม 2552].
- บริษัทบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551. บรรจุภัณฑ์เพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก: <http://www.thaitecno.net/dip/homephp?uid=39536>. [15 มกราคม 2556].
- บุญรักษ์ กาญจนวราวิชย์. 2016. สารน่ารู้: ถ่านปลุกฤทธิ์. สืบค้นจาก: <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/552-2016-02-09-03-10-28>. [25 กุมภาพันธ์ 2559].

- ปรีศยา พิเล็ก, วราชนี จีรัตน์ และสุพัฒน์ คำไทย. การพัฒนาคุณสมบัติกระดาษดูดซับเอทิลีนและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราเพื่อยืดอายุการเก็บผลไม้. สืบค้นจาก:
http://www.irpus.or.th/project_file/2550/H079_R50D05001_Complete.pdf. [30 กรกฎาคม 2552].
- ประภัสสร สุรวฒนาวรรณ. ไคติน-ไคโตซาน. สืบค้นจาก:<http://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html>.
 [16 กรกฎาคม 2555].
- ปิยาพรรณ ยังเทียน. 2558. ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโหม่มากถึง 2.7 ล้านตัน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของภาวะโลกร้อน. สำนักข่าวแห่งชาติ. (ออนไลน์). สืบค้นจาก:
http://nwnt.prd.go.th/centerweb/News/NewsDetail?NT01_NewsID=TNICT5808110010002.
 [19 มกราคม 2559].
- ปราณี รัตนวลีโรจน์, ศรีไฉล ขุนทน และโสภณ เรืองสำราญ. 2542. การเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย. หน้า 127-132. ใน: เรื่องเติมการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37. สาขาวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พรชัย ราชตะนะพันธุ์, สุพัฒน์ คำไทย, นริวิชญ์ ยาภิ และรัฐชิตา อุทัยศ. 2550. การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. หน้า 790-799. ใน : เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45. สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. 2010. Flour/แป้ง. Food Network Solution. สืบค้นจาก:
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0324/flour-แป้ง>. [19 มกราคม 2559].
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. น้ำตาลแอลกอฮอล์. สืบค้นจาก:
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1628/sugar-alcohol>. [5 มีนาคม 2559].
- มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ. (2545). หลักการทำงานและเทคนิคประยุกต์ใช้งานไฮดรอลิกส์. กรุงเทพฯ:วิทยาลัยเทคนิคประทุมวัน.
- มยุรี ภาคคำเจียก. 2003. บรรจุภัณฑ์กระดาษ. สืบค้นจาก:
http://www.mew6.com/composer/package/package_20.php. [30 กรกฎาคม 2552].
- มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์, ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์, พนิดา พุทธิชาติสมบัติ และรัชมาลินี สุเริงฤทธิ์. 2010. สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีเอทิลีนไตรีนผสมสารหน่วงไฟ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15(2): 57-66.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 466 หน้า.
- ลือพงษ์ ลือนาม และจรรยา เทียมประทีป. 2552. การศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเตรียมเนื้อทุเรียนสำหรับการทอดกรอบ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. วารสารวิจัย 2(1): 36-40.

- วันทนีย์ จงคำ. แผนที่นำทางแห่งชาติการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ. เข้าถึงได้จาก <http://www.nia.or.th/bioplastics/download/events/42.pdf>. [11 เมษายน 2555].
- วรรณม อุจน์จิตติชัย. 2546. การผลิตแผ่นวัสดุทดแทนไม้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อแปรรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ของข้าวสวย และเครื่องเรือน. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ณ กลุ่มอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้ สำนักวิจัยเศรษฐกิจและผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 125 หน้า.
- วรรณมน คำธิตา, สาธิต ไชยบุญเรือง, สุพัฒน์ คำไทย และพรชัย ราชตะนะพันธ์. 2549. ผลของฟิล์มผสมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอ/แป้งข้าวโพด ต่อคุณสมบัติทางกลและค่าการซึมผ่านของไอน้ำ. สืบค้นจาก: http://www.irpus.or.th/project_file/2549_2008-06-30_R14903003.pdf. [30 กรกฎาคม 2552].
- วทันยา จันทรัตน์, ลีรินุช มัชฌิมมาจิต และศุภชัย ภิสักเพ็ญ. การพัฒนากระดาษเคลือบสารต่อต้านจุลินทรีย์อนุภาคซิลเวอร์. สืบค้นจาก: http://www.irpus.or.th/project_file/2551/C052_I251A10012_Complete.pdf. [30 กรกฎาคม 2552].
- วาณี ชนเห็นชอบ. 2547. การบรรจุแบบแอคทีฟในอาหารและผลิตผลสด. วารสารบรรจุภัณฑ์ไทย. เม.ย - มิ.ย. น 49-47.
- วิวัฒน์ ชาญวงศ์วิวัฒน์ และนิคม แผลมศักดิ์. 2449. แผ่นใยไม้อัดโดยไมใช้กาวจากชานอ้อย. ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ สถาบันวิจัยและพัฒนา ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นจาก: http://www.rdi.ku.ac.th/kasetfair49/Technology/t_49/t_49.html. [1 กรกฎาคม 2553].
- ศักดิ์ยะ สมบัติไพรวาน, เทวรัตน์ ทิพยวิมล และกระวี ตรีอำรรค. 2555. การศึกษาการชะลอสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้. ว.วิทย์. กษ. 43:3 (พิเศษ): 355-358.
- ศราวุธ ไผ่บง. พลาสติกชีวภาพ นวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม. สืบค้นจาก: <http://wqm.pcd.go.th/km/images/stories/agriculture/bioplastic.pdf>. [11 เมษายน 2555].
- ศิริกานต์ ศรีธีรรัตน์ และเบญจมาศ รัตนชินกร. 2552. ผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาเงาะพันธุ์โรงเรียน. หน้า 287-295. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2552 สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ศิริพร เต็งรัง, สุปรียา สุขเกษม, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และประยูร เอ็นมาก. 2556. วิจัยและพัฒนาแผ่นใยอัดจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตร. หน้า 295-311. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม ประจำปี 2556. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.
- ศิริพร เต็งรัง, กนกศักดิ์ ลอยเลิศ และวิมลวรรณ วัฒนวิจิตร. 2555. การผลิตพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน. หน้า 363-383. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็ม 2555. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล. 2010. เทคโนโลยีเอนไซม์ในอุตสาหกรรมกระดาษ. Energy & Environment.

Technology Promotion. October-November 2010. 37(213):069-037.

ศูนย์ข้อมูลผลไม้. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. สืบค้นจาก:

<http://www.oae.go.th/fruits/index.php/2013-01-25-03-34-09?id=157>. [กันยายน 2554].

ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. 2546. Water Activity กับการควบคุมอายุการเก็บรักษา

ผลิตภัณฑ์อาหาร. สืบค้นจาก: <http://www.phtnet.org/article/view-article.aspMaID=12>.

[19 สิงหาคม 2558].

ศูนย์เศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ. สำนักงานเศรษฐกิจ

การเกษตร. 136 หน้า. สืบค้นจาก: <http://www.oae.go.th/download/journal/trad56.pdf>.

[12 มกราคม 2556].

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และณัฐวรรธ ธนประดิษฐ์กุล. 2552. ผลของปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตและ

อัตราการใช้ฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์ม โพลีเอทิลีน. 1 หน้า. สืบค้นจาก:

http://ora.kku.ac.th/RES_KKU/ATTACHMENTS_RESPROJECT_ABSTRACT/4201.pdf.

[30 กรกฎาคม 2552].

สาทิศ เวณจันทร์ จารุวัฒน์ มงคลธนทรศ สมเดช ไทยแท้ และ สุทิน จุฑะสุวรรณ 2540. วิจัยพัฒนา

เครื่องนวดเมล็ดพืชสำหรับกะเทาะข้าวโพดที่มีเปลือกหุ้ม กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการ

เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ .2556.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2552. เอกสารประกอบการ

ประชุมสัมมนา โครงการศึกษาแนวทางการผลักดันและขับเคลื่อนการปรับโครงสร้างภาคเกษตร

และอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อสร้างมูลค่า 10 สิงหาคม 2552 ณ.ห้องกษัตริย์ศึก 1 โรงแรม เดอะ

ทวิน ทาวน์เวอร์ กรุงเทพมหานคร .

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน). 2553. แผนที่นำทางแห่งชาติ: การพัฒนาอุตสาหกรรม

พลาสติกชีวภาพ ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2554-2558). กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 60 หน้า.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2551. แผนที่นำทางแห่งชาติ: การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ

(พ.ศ. 2551-2555). กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 105 หน้า.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องแก้ไขผลิตภัณฑ์

ชุมชน: ผลไม้แห้ง. มผช. 1471/2550.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.170-2550:

กระดาษเหนียว. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 11 หน้า.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นใยไม้อัดความ

หนาแน่นปานกลาง มอก. 966-2547. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 16 หน้า

- สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2016. สถานภาพอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. ใน: คลังข้อมูลอุตสาหกรรม สวช. สืบค้นจาก: <http://www.technology.in.th/industrial-data/doku.php?id=cassava-industry:newstart-status>. [19 มกราคม 2559].
- สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้: พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 31 หน้า.
- สุพัฒน์ คำไทย. 2554. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระดาษชะลอการสุกและฟิล์มยับยั้งโรคแอนแทรกโนสสำหรับยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้. ว.วิทย. กษ. 42:1 (พิเศษ): 595-598.
- สุพัฒน์ คำไทย. 2550. การประเมินประสิทธิภาพกระดาษถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้เศรษฐกิจ. ว.วิทย. กษ. 38:5 (พิเศษ): 25-28.
- ศุภาพร ศรีนางแย้ม, อัญญารัตน์ ประสันใจ, วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์ และอนุชา วัฒนากา. 2553. โครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยเปลือกทุเรียน ยางพารา และสารเติมแต่ง. หน้า 803-807. ใน: การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8. 22-23 เมษายน 2553.
- อัญชลี แทนนิล, อัญชิสรา วงศ์ศิลารัตน์ และโสภณา อภิชาติสกุลชัย. 2550. การเตรียมแผ่นใยไม้อัดจากเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้าผสมโฟมพอลิสไตรีนที่ใช่แล้วโดยใช้กาวพีนอลฟอร์มมาลดีไฮด์. โครงการงานพิเศษระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ
- อมรา ชินภูติ, เนตรา สมบูรณ์แก้ว, สุพี วนศิริกุล, มัทนา วานิชย์, อัจฉราพร ศรีจูดานู และ บุญญวดี จิระวุฒิ. 2555. การใช้น้ำคั้นกระเทียมควบคุมเชื้อราและสารแอฟลาทอกซินในพริกแห้งและพริกป่น. ใน: รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2555. สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 54-69.
- อมเรศ บกสุวรรณ, ประชุม คำพุด และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2551. แผ่นไม้อัดเทียมจากพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยเปลือกทุเรียน. หน้า 221-226. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13. 14-16 พฤษภาคม 2551. โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา.
- อภิญา แสงศิริโรจน์, สุขปา เนตรประดิษฐ์ และกฤติกา ต้นประเสริฐ. 2554. การเคลือบสารดูดซับเอทิลีนบนแผ่นกระดาษ เพื่อยืดอายุการเก็บและกันกระแทกกล้วยหอมทอง. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 4. 7-8 กรกฎาคม 2554. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ. หน้า 341-348.
- อรัญญา มิ่งเมือง. 2007. ผลของส่วนผสมและกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโกล์ได้. Food. 37(4):353-359.
- American Society for Testing and Materials. 1994. Standard Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM D882-10. Annual of ASTM Standard. Philadelphia.

- AOCS. 1997. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 5th ed. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- AOAC. 1990. Association of Official Chemists, Official Methods of Analysis. 15th ed. Washington, D.C.
- Appendini, P. and Hotchkiss, J. H. 2002. Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 3: 113-126.
- Appropriated for OTOP Packaging Printing. 31st Congress in Science and Technology of Thailand. 18-20 October 2005. Technopolis. Suranaree University of Technology, Nakorn Ratchasima. 315.
- ASTM. 2004. Standard Test Methods for Sodium Carboxymethylcellulose (D 1439 – 03). In: Annual book of ASTM standards. Vol. 06.03. American Society of Testing and Materials. 9 p.
- Azeredo, H.M.C., Miranda, K.W.E., Rosa, M.F., Nascimento, D.M. and Moura, M.R. 2011. Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. *LWT-Food Science and Technology.* 46:294-297.
- Biodegradable Materials and Natural Fiber Composites in Agriculture and Horticulture, Biodegradable plastics: Market Development in Europe, page 7-16.
- Bono, A., Ying, P.H., Yan, F.Y., Muei, C.L., Sarbatly, R. and Krishnaiah, D. 2009. Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Palm Kernel Cake. *Advances in Natural and Applied Sciences.* 3(1): 5-11.
- Bourtoom, T. 2008. Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. *Songklanakarin Journal of Science and Technology.* 30(1):149-165.
- Bourtoom, T. and Chinan M.S. 2008. Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. *LWT-Food Science and Technology.* 41:1633-1641.
- Burdon, K.L. (1946). Fatty Material in Bacteria and Fungi Revealed by Staining Dried, Fixed Slide Preparations. *Journal of Bacteriology,* 52(6), 665-678
- Cathleen Baker, "The Book and Paper Group ANNUL". Available: <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/vol/bp01-04.html>. [17 February 2009].
- Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gerschenson, Lia. And Del Nobile, M.A. 2008. *Journal of Food Engineering.* 88:159-168.
- Cole, R. 2003. Introduction. In (Cole RMcDowell) Kirwan MI editors. *Food packaging technology,* London, UK:Blackwell Publishing. CRC Press. P1-31.
- Cuq, B., N. Gontard., J. Cuq, and S. Guibert. 1996. Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected film by thickness. *Journal of Food Science.* 61(3):580-584.

- Day, Brain P. F. 2008. Active Packaging of Food. p.1-18. In: Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods. John Wiley & Sons, Ltd.
- ecoGreenwares. Definition of biodegradable and compostable plastics and Certification Standards. Available: <http://ecogreenwares.com/BiodegradableDefinition.html>. [12 October 2009].
- FAO JECFA Monographs. 11. 2011. Sodium Carboxymethyl Cellulose. p.115-119. In: COMPENDIUM OF FOOD ADDITIVE SPECIFICATIONS. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 74th Meeting 2001. Available: <http://www.herc.com/foodgums/index.htm>. [17 February 2009].
- Farris, S., L. Introzzi and L. Piegiovanni. 2009. Evaluation of a Bio-coating as a Solution to Improve Barrier, Friction and Optical Properties of Plastic Films. *Packaging Technology and Science*. 2009. 22:69-83.
- Fellows, P. 2000. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Fellows, P. and Axtell, B. 2002. *Packaging Materials*. In: Fellows, P. and Axtell, B. editors. *Appropriate Food Packaging: Material and methods for small businesses*. Essex. U.K. TTDG Publishing. P 25-77.
- Galus, S. and A. Lenart. 2013. Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*. 115(4):459-465.
- Garnier, G., Wright, J. and Yu, G. L. 1998. Wetting mechanism of alkyl ketene dimers on cellulose films. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 145. p.153-165.
- Goddard, J.M., Talbert, J.N. and Hotchkiss, J.H. 2007. *Journal of Food Science*. 72(1):36-41.
- Gouhua, Z., Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqiong, Z. and Zongdao, C. 2006. Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly(vinyl alcohol) blend film. *Polymer Degradation and Stability*. 91: 703-711.
- Gröndahl, M., Gustafsson, A. and Gatenholm, P. 2006. Gas-phase surface fluorination of arabinoxyland films. *Macromolecules*. 39:2718-2721.
- Harrington, R. 2009. *Packaging innovations to cut food waste – WRAP. 2000/2009 - Decision News Media SAS*.
- Hartman, J., Albertsson, A.-C., Söderqvist Lindblad, M. and Sjöberg, J. 2006. Oxygen barrier materials from renewable sources: material properties of softwood hemicellulose-based films. *Journal of Applied Polymer Science*. 100:2985-2991.
- Hoefler, A. C. *Sodium Carboxymethyl Cellulose: Chemistry, Functionality, and Applications*. 15 p.

- Hun H. Jung. 2005. New Technologies in Food Packaging: Overview. In Innovations in Food Packaging. (Jung H. Han Edited). Elsevier Academic Press, UK.
- Karina, P., Nielsen, P.V., Bertelsen, G., Lawther, M., Olsen, M.B., Nilsson, N.H. and Mortensen, G. 1999. Potential of biobased materials for food packaging. Trends in Food Science and Technology. 10(2):52-68.
- Khanna, S. and Srivastava, A. K. (2005). Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoate. ProcessBiochemistry 40: 607-619.
- Kong, M., Chen, X.G., Xing, K. and Park, H.J. 2010. Review: Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. International Journal of Food Microbiology. 144:51-63.
- Krawczyk, H., Persson, T. Andersson, A. and Jonsson, A.-S. 2008. Isolation of hemicelluloses from barley husks. Food and Bioproducts Processing. 86(1):31-36.
- Kiyoi, L. 2010. Determining the Optimal Material for Coffee Packaging: Oxygen Transmission Rates and Ink Abrasion Resistance. A Senior Project. The Faculty of the Graphic Communication Department. California Polytechnic State University, San Luis Obispo. 21 p.
- Landrigam, M., Sarafis, V., Mororis, S.C. and W.B. McGlasson. 1994. Structural aspects of rambutan (*Nephelium lappaceum*) fruits and their relation to postharvest browning. J. Hort. Sci. 69: 571-579.
- Lee, C. H., An, D. S., Park, H. J. and Lee, D. S. 2003. Wide spectrum antimicrobial packaging materials incorporating nisin and chitosan in the coating. Packag. Technol. Sci. 16: 99-106.
- Leland Blank, Anthony Tarquin; แปลและเรียบเรียงโดย กรกฏ ไยบัวเทศ, วัชระ ทองงอก, คมกฤต เต็กสกุล. (2549). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ.
- Li, F.M., Li, T., Li, W. and Yang, L.D. 2015. Changes in antioxidant capacity, levels of soluble sugar, total polyphenol, organosulfur compound and constituents in garlic clove during storage. Industrial Crops and Products 69: 137-142.
- Lui, L. 2006. Bioplastics in Food Packaging: Innovative Technologies for Biodegradable Packaging. Packaging Engineering. San Jose State University. 13pp.
- Lu, L.X. and Xu, F. 2009. Effect of Light-barrier Property of Packaging Film on the Photo-oxidation and Shelf Life of Cookies Based on Accelerated Tests. Packaging Technology and Science. 22:107-113.
- Jung, H. H., Zhang, Y. and Buffo, R. 2005. Surface Chemistry of Food, Packaging and Biopolymer Materials. In: Innovations in Food Packaging. (Jung H. Han Edited) Elsevier Academic Press.
- Mancini, F. and T.H. McHugh. 2000. Fruit-alginate interactions in novel restructured products. Nahrung. 44(3):152-157.

- Marsh, K. and Bugusu, B. 2007. Food Packaging –Roles, materials, and Environmental Issue. *Journal Food Science*. 7(3):39-54.
- Martelli, S., Moore, G.R. and Laurindo, J.B. 2006. Mechanical Properties, Water Vapor Permeability and Water Affinity of Feather Keratin Films Plasticized with Sorbitol. *J Polym Environ*. 14:215–222.
- McDOUGALL, G.J. 1991. The physical nature and manufacture of activated carbon. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 91(4):109-120.
- McHugh, T.H., C.C. Huxsoll and J.M. Krochta. 2006. Permeability Properties of Fruit Puree Edible Films. *Journal of Food Science*. 61(1):88-91.
- McHugh, T.H. and C.W. Olsen. 2004. Tensile properties of fruit and vegetable edible films. *United States-Japan Cooperative Program in Natural Resources*. 104-108.
- Nayik, G. A. and Muzaffar, K. 2014. Developments in packaging of fresh fruits-shelf life perspective: review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*. 1(5):34-39.
- Netpradit, S., Tongsumrit, T. and Tipsotnaiyana, N., 2005. Pineapple Leaf Paper Development
- Peiser, G. and Suslow, T.V. 1998. Factors affecting ethylene adsorption by zeolite: the last word (from us). *Perishables Handling Newsletter Issue*. 95:17-19.
- Phylipsen, D., Kerssemeeckers, M., Blok, K., Patel, M., de Beer, J., Eder, P. (Ed.) and Wolf, O.(Ed.). 2002. Clean technologies in the materials sector – Current and future environmental performance of material technologies. European Commission - Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). Seville. 2002. EUR 20515EN
- Pitak, N and Rakshit, S.K. 2011. Physical and antimicrobial properties of banana flour/chitosan biodegradable and self sealing films used for preserving Fresh-cut vegetables. *LWT-Food Science and Technology*. 44. 2310-2315.
- Plants as Solar-Powered Biofactories. Available:
<http://www.pri.wur.nl/UK/newsagenda/news/itaconzuur050309.htm>
- Rachtanapun, P. 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradation cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*. (Online). Available: <http://journal.chemistrycentral.com/content/5/1/6>.
- Rachtanapun, P. 2009. Water vapour permeability and sorption isotherms of cassava starch based films blended with gelatin and carboxymethyl cellulose. *As.Food Ag-Ind*. 2(04): 501-514.
- Raju, P.N., Ganguly, P. and S. Starch-chitosan based composite edible antimicrobial film: modelling the growth of selected food spoilage microbiota. *Indian Journal Dairy Scientific*. 68(4):316-320.

- Rojas-Graü, M.A., R.J. Avena-Bustillos, C. Olsen, M. Friedman, P.R. Henika, O. Martín-Belloso, Z. Pan and T.H. McHugh. 2007. Effects of plant essential oils and oil compounds on mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate- apple puree edible films. *Journal of Food Engineering*. 81:634-641.
- ROONEY, M.L. 1995. Ethylene-removing packaging. p.38-54. In: ACTIVE FOOD PACKAGING. 1st edition. Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall. UK. 293p.
- Ruck, A.J. 1995. Chemical Methods for Analysis of fruit and vegetable products. Department of Agriculture, Canada.
- Rudnik, E. and Briassoulis, D. 2011. Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibers in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. *Industrial Crops and Products*. 33:648-658.
- Sampoopuang C. and Sothornvit R., 2007. Rice straw papermaking for ethylene absorption *Agricultural Sci. J.* 38(5):283-286
- Selleh, E. and Muhamad, I.I. MECHANICAL PROPERTIES AND ANTIMICROBIAL ANALYSIS OF ANTIMICROBIAL STARCH-BASED FILM. 15pp.
- Selleh, E., Muhamad, I.I. and Khairuddin, N. 2009. Structural Characterization and Physical Properties of Antimicrobial (AM) Starch-Based Films. 3(7):352-360.
- Smithers. 2010. PHA and bio-derived PE to drive Bioplastic Packaging Market to 2020. In: *Bioplastic Packaging Market Forecast to 2020*. Available: <http://www.smitherspira.com/news/2010/December/bioplastic-packaging-drivers-to-2020>. [18 August 2015].
- Sothornvit, R. and J.M. Krochta. 2000. Plasticizer effect on oxygen permeability of β -lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48:6298-6302.
- Sothornvit R. and N. Pitak. 2007. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Research International*. 40(3):365-370.
- Sothornvit, R. and Sampoopuang, C. 2012. Rice straw paper incorporated with activated carbon as an ethylene scavenger in a paper-making process. *International Journal of Food Science and Technology*. 47:511-517.
- SPMP-CIPAD-IISI-PECHINEY-PARDOSMARKETING. In: An analysis of plastics consumption and recovery in Europe 2002&2003. (Online). Available: <http://www.plasticseurope.org>

- Srilim, Chuchart. Liquid Nitrogen Supply System Design and Concerned. Thai Cryotech Products Co., Ltd. Seminar on Cost Saving in Beverage Packaging by light weight Technology. 18 June 2009. BITEC, Bangkok, Thailand.
- Steinbüchel A. 1991. Polyhydroxyalkanoic acids. In: Byrom D (ed) Biomaterials: novel materials from biological sources. Stockton. NewYork. pp. 124-213.
- STORAENSO. Different dry foods WVTR* and O2TR* demands for packaging materials. 3 p. Available: [http:// 81.209.16.114/Aineistopankki/PDF/Dry%20Foods/different4.pdf](http://81.209.16.114/Aineistopankki/PDF/Dry%20Foods/different4.pdf). [17 February 2012].
- Su, J., Huang, Z., Yuan, X., Wang, X. and Li, M. 2010. Structure and properties of carboxymethyl cellulose/soy protein isolate blend edible film crosslinked by Maillard reactions. Carbohydrate Polymers. 79:145-153.
- Tanatchporn, S. 2015. ACTIVATED CARBON FILTER. In: VALITECH. 3p. Available: <http://goo.gl/QuJLEN>. [27 February 2015].
- Technical Association of Pulp and Paper Industry. 1996. TAPPI Test Methods 1996-1997. TAPPI Press, Atlanta.
- Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe EUR22103EN Review of Bioplastics 2005 Meeting, Frankfurt, Germany
- Tharanathan R.N. 2003. Review: Biodegradable films and composite coating: past, present and future. Trends in Food Science and Technology. 14:71-78.
- Tharanathan R.N. and N. Saroja. 2001. Hydrocolloid-based packaging film-alternate to synthetic plastics. Journal of Scientific and Industrial Research. 60:547-559.
- Timm A, Steinbüchel A. 1990. Formation of polyesters consisting of medium-chain-length 3-hydroxyalkanoic acid from gluconate by *Pseudomonas aeruginosa* and other pseudomonads. Appl. Environ. Microbiol. 56: 3360-3367.
- Tipsotnaiyana, N. and Netpradit, S., 2007. Development of Paper from Two Types of Durian Bark for Inkjet Printing. Agricultural Sci. J. 38(6):15-18.
- Tripathi, S., Mehrotra, G.K. and Dutta, P.K. 2008. Chitosan based antimicrobial films for food packaging applications. e-Polymer. 93:1-7.
- Tongdeesontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P. and Rachtanapun, P. 2011. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. Chemistry Central Journal. 5:6. 8 p.

- Tongsumrit, T. and Netpradit, S., 2005. Making of Pulp and Paper from Narrow Leaved Cattail for Innovative Packaging. 31st Congress in Science and Technology of Thailand, 18-20 October 2005. Technopolis, Suranaree University of Technology. Nakorn Rathasima. 315.
- Tong, Q., Q. Xiao and L.T. Lim. 2013 Effects of glycerol, sorbitol, xylitol and fructose plasticizers on mechanical and moisture barrier properties of pullulan-alginate-carboxymethylcellulose blend films. *International Journal of Food Science and Technology*. 48:870-878.
- Vargas, L.F., Welt, B.A. and Pullammanappallil, P. 2009. Effect of Electron Beam Treatments on Degradation Kinetics of Polylactic Acid (PLA) Plastic Waste Under Backyard Composting Conditions. *Packaging Technology and Science*. 22:97-106.
- Vartiainen, J. and Harlin, A. 2011. Crosslink as an Efficient Tool for Decreasing Moisture Sensitivity of Biobased Nanocomposite Films. 2:346-354.
- Vieira, M.G. Silva, M.A. Santos, L.O. and Beppu, M.M. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal* 47. 254–263.
- Wang, X., X. Sun, H. Liu, M. Li and Z. Ma. 2011. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioproducts Processing*. 89:149-156
- Wiyaratn, W., Watanapa, A. and Phothitontimonfkol, T. 2012. Properties of Fiberboard from Durian Composite with Latex and Alkyl Ketene Dimer. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 7(1):67-71.
- Xinwei W., X. Sun, H. Liu, M. Li and Z. Ma. 2010. Barrier and mechanical properties of carrot puree films. *Food and Bioproducts Processing*. *Article in Press*.
- Xu, Y.X., Kim, K.M., Hanna, M.A. and Nag. D. 2005. Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*. 21:185-192.
- Yadav, S., N. Yadav and S.P. Khurana. 2014. Facts about natural Vs artificial sugars. *Indian journal of Health and Wellbeing*. 5(7):796-801.
- Yoo, S. and J.M. Krochta. 2012. Starch-methylcellulose-whey protein film properties.
- Zule, J. and Dolenc, J. 2005. The Influence of The Chemical Composition of Synthetic Reactive Sizes on The Sizing Efficiency of Paper. *Material in Technology*. 39. 4 pp.

ภาคผนวก 1

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

1. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย

ในการทดลองได้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เครื่องหั่นย่อยต้นกล้วย เนื่องจากสามารถใช้งานได้หลากหลาย โดยกำหนดให้เครื่องหั่นย่อยต้นกล้วยเท่ากับ 15,000 บาท มีอายุการใช้งาน 7 ปี เป็นฐานในคำนวณซึ่งการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทำได้โดยการหาจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่องหั่นย่อย ดังนี้

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการหาจุดคุ้มทุนของการใช้เครื่อง

1) การคำนวณหาต้นทุนการใช้เครื่อง

$$Ac = (Fc/A) + (1/Ct)[(R \& M) + F + O + L0] \dots \dots \dots \text{สมการที่ 1}$$

$$Fc = D + I \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2}$$

$$D = (P - S) / N \dots \dots \dots \text{สมการที่ 3}$$

$$I = [(P + S) / 2] (r / 100) \dots \dots \dots \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ

$$D = \text{ค่าเสื่อมราคา} \quad (\text{บาท/ปี})$$

$$I = \text{ดอกเบี้ย} \quad (\text{บาท/ปี})$$

$$P = \text{ราคาซื้อ} \quad (\text{บาท})$$

$$S = \text{มูลค่าซาก} \quad (\text{บาท})$$

$$N = \text{อายุการใช้งาน} \quad (\text{ปี})$$

$$r = \text{อัตราดอกเบี้ย} \quad (\text{เปอร์เซ็นต์/ปี})$$

$$Ac = \text{ต้นทุนการใช้เครื่อง} \quad (\text{บาท/กก})$$

$$Fc = \text{ต้นทุนคงที่} \quad (\text{บาท/ปี})$$

$$A = \text{ชั่วโมงการใช้เครื่องหั่นย่อย 1 ปี} \quad (\text{กก})$$

$$R \& M = \text{ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา} \quad (\text{บาท/ชั่วโมง})$$

$$F = \text{ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง} \quad (\text{บาท/ชั่วโมง})$$

$$O = \text{ค่าน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันไฮดรอลิก} \quad (\text{บาท/ชั่วโมง})$$

$$L0 = \text{ค่าแรงงานคนป้อน} \quad (\text{บาท/ชั่วโมง})$$

$$Ct = \text{ความสามารถในการทำงานของเครื่อง} \quad (\text{กก/ชั่วโมง})$$

การคำนวณหาต้นทุนการใช้เครื่อง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ในการคำนวณ

$$1. \text{ราคาซื้อ} \quad (P) \quad = \quad 15,000 \quad \text{บาท}$$

| | | | | |
|--|------|---|--|-------------------------------|
| 2. อายุการใช้งาน | (N) | = | 7 | ปี |
| 3. มูลค่าซาก | (S) | = | 1,500 | บาท (10%ของราคาซื้อ) |
| 4. อัตราดอกเบี้ย | (r) | = | 6.75 | % (อัตราดอกเบี้ยของ ธกส.) |
| 5. ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (R&M) | | = | 1.2% ของราคาซื้อ / 100 ชั่วโมงการทำงาน | |
| | | = | (0.012X15,000)/(100) ชั่วโมงการทำงาน | |
| | | = | 1.8 | บาท/ชั่วโมง |
| 6. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (F) | | = | 35 | บาท/ชั่วโมง |
| | | | | (ค่าน้ำมันเบนซิน 35 บาท/ลิตร) |
| 7. ค่าน้ำมันหล่อลื่น (O) | | = | 3.5 | บาท/ชั่วโมง |
| | | | | (10% ของน้ำมันเชื้อเพลิง) |
| 8. ค่าแรงงานคนป้อน | | = | 250 | บาท/วัน |
| | (L0) | = | 35.7 | บาท/ชั่วโมง |
| 9. ความสามารถในการทำงาน | | | | กก./ชั่วโมง |
| | (Ct) | = | 1,200 | กก./ชั่วโมง |
| อัตราการผลิต | | | | 1.5 ลิตร/ ชั่วโมง |
| | D | = | (P-S)/N | |
| | | = | (15,000-1,500)/7 | |
| | | = | 1,928.57 | บาท/ปี |
| จากสมการที่ 4 คำนวณหาดอกเบี้ย | | | | |
| ดอกเบี้ย | I | = | [(P+S)/2](r/100) | |
| | | = | [(15,000+1,500)/2](6.75/100) | |
| ดอกเบี้ย | | = | 556.9 | บาท/ปี |
| แทนค่า D และ I ในสมการที่ 2 คำนวณหาต้นทุนคงที่ | | | | |
| ต้นทุนคงที่ | Fc | = | D + I | |
| | | = | 1,928.57 + 556.9 | |
| ต้นทุนคงที่ | | = | 2,488.47 | บาท/ปี |
| แทนค่าต่างๆในสมการที่ 1 คำนวณหาต้นทุนการใช้เครื่อง | | | | |
| Ac | = | (Fc/A) + (1/Ct)[(R&M) + (F+O+L0)] | | |
| | = | (2,488.47/A) + (1/1,200)[1.8+35+3.5+35.7] | | |
| Ac | = | (2,488.47/A) + 0.0633 | | สมการที่ 5 |

ต้นทุนการใช้เครื่อง = (2,488.47/A) + 0.0633 บาท/กก

- 2) อัตราการจ้างหั่นย่อย 250 บาทต่อวัน
- ซึ่งความสามารถในการทำงานของคน 1 คน = 1,200 กิโลกรัมต่อวัน (7 ชั่วโมง)
- คิดอัตราค่าจ้างหั่นย่อย 0.21 บาท/กิโลกรัม
- ตามหลักการคำนวณหาจุดคุ้มทุนจะแปรเปลี่ยนตามอัตราการใช้เครื่องต่อปี

3) การคำนวณหาจุดคุ้มทุน

คำนวณหาจุดคุ้มทุนได้ โดยนำค่าใช้จ่ายในการหั่นย่อย
 อัตราค่ารับจ้างหั่นย่อย 0.21 บาท/กก แทนค่าต้นทุนในสมการที่ 5

$$Ac = (2,488.47/A) + 0.0633$$

$$0.21 = (2,488.47/A) + 0.0633$$

$$A = 2,488.47/0.1467$$

$$A = 16,963 \text{ กิโลกรัม/ปี}$$

จุดคุ้มทุนการใช้เครื่องเท่ากับ 16,963 กิโลกรัมต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราค่าจ้าง 0.21 บาท/กก
 ทำงาน 7 ชั่วโมง/วัน อัตราการทำงานเครื่อง 1,200 กก./ชั่วโมง

2. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

การประเมินต้นทุนเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุนในการประเมินค่าใช้จ่ายของการ
 สร้างเครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ เป็นดังนี้ (คิดเฉพาะราคาที่จัดซื้อหรือสร้าง ไม่คิดค่าที่ดิน โรงเรือน
 ค่าประกัน โรงเรือนและอื่นๆ)

1 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (First cost)

ต้นทุนเริ่มแรกคือค่าใช้จ่ายสำหรับลงทุนเริ่มต้น เช่น เครื่องจักร ที่ดิน เป็นต้น

2 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operating cost)

ต้นทุนในการดำเนินการคือค่าใช้จ่ายที่ต้องเตรียมไว้เพื่อดำเนินการกับทรัพย์สินที่ต้องลงทุนไป
 เพื่อให้เกิดผลผลิต แบ่งเป็น

- 2.1 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (Fixed Cost) คือค่าใช้จ่ายที่คงที่ไม่แปรไปตามปริมาณการผลิตเช่น ค่าเสื่อม
 ราคา ค่าเสียโอกาสของทุนในเครื่องลดความชื้นด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
- 2.2 ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือค่าใช้จ่ายที่แปรไปตามปริมาณการผลิตเช่น ค่าไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามปริมาณผลเงาะที่นำมาลดความชื้น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ หาได้จาก

AC = FC + VC (1)

เมื่อ

AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพต่อปี (บาทต่อปี)

FC = ค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน(R)

VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา (M)

ค่าเสื่อมราคา (คิดวิธีเส้นตรง)

$$D = (P - S) / L \dots\dots\dots (2)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = ((P + S) \cdot xi) / 2 \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ

P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ(บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ (สึกหรอน้อย) = 10ปี

S = ราคาเครื่องมือครบ 10 ปี = 0.1 P (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคาต่อปี (บาท/ปี)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุนต่อปี (บาท/ปี)

I = อัตราดอกเบี้ย 6.525% ต่อปี (เมื่อเดือน มิถุนายน 2558)

จุดคุ้มทุน (Break even point, BEP)

Blank และ Tarquin (1998) เสนอสมการการหาจุดคุ้มทุนไว้ดังนี้

$$BEP_s = FC / (SU_u \cdot VC_u) \dots\dots\dots (4)$$

เมื่อ

BEP_s = จุดคุ้มทุน (หน่วย)

FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

SU_u = ราคาขายต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

VC_u = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (บาท/หน่วย)

ระยะเวลาในการคืนทุน

$$PBP = MC / P \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)

P = กำไร (บาท/ปี)

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ รวม 345,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

กำหนดให้ราคาเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ(P) มีค่า 345,000 บาท มูลค่าซากของเครื่องเมื่อสิ้นปีที่ 10 เหลือ 10% ของราคาเครื่อง และอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 6.525% ต่อปี

มูลค่าซาก (S)= 0.1P= 0.1 x 345,000 = 34,500 บาท

ค่าเสื่อมราคา (D)= (P-S)/L = (345,000 -34,500)/10= 31,050 บาท/ปี

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน(R) = ((P+S)/2) x I

$$= ((345,000 +34,500)/2) \times 0.06525 = 12,381.19 \text{ บาท/ปี}$$

ต้นทุนคงที่ (FC)= ค่าเสื่อมราคา (D) + ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)

$$= 31,050 + 12,381.19$$

$$= 43,431.19 \text{ บาท/ปี}$$

กำหนดให้อัตรากำลังแรงงานวันละ 300 บาท (กำหนดอัตรากำลังแรงงานขั้นต่ำ)

จำนวนคนทำงาน 1 คน ทำงาน 200 วัน/ปี และค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.50 บาท สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้า 1.50

หน่วย/ชม. ทำ งานวันละ 8 ชั่วโมง ค่าบำรุงรักษาเครื่องเฉลี่ยวันละ 5 บาท

ค่าจ้างแรงงาน (W) = 1 x 300 x 200 = 60,000 บาท/ปี

ค่าไฟฟ้า (E) = 1.50 x 4.50 x 8 x 200 = 10,800 บาท/ปี

ค่าบำรุงรักษา (M) = 5 x 200 = 1,000 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน (VC) = ค่าจ้างแรงงาน (W)+ ค่าไฟฟ้า (E)+ ค่าบำรุงรักษา (M)

$$= 60,000 + 10,800 + 1,000$$

$$= 71,800 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC) = ต้นทุนคงที่ (FC) + ต้นทุนแปรผัน (VC)

$$= 43,431.19 + 71,800$$

$$= 115,231.2 \text{ บาท/ปี}$$

จุดคุ้มทุนของเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

กำหนดให้ราคาขายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ 5.0 บาท/ชิ้น และภายในระยะเวลา 1 ปี เครื่องทำงานได้ 6 นาที/ชิ้น

ทำงาน 365 x 8x60/6 = 29,200 ชิ้น/ปี.

จุดคุ้มทุน (BEPs) = ต้นทุนคงที่ (FC) / ((ราคาค่าใช้จ่ายเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ/ จำนวน

ชิ้นงาน.,SP_v) - (ต้นทุนแปรผัน /จำนวนชิ้นงาน.,VC_v)

$$= 43,431.19 / (5.00 - (71,800/ 29,200))$$

$$= 17,091.52 \text{ ชิ้น/ปี}$$

ระยะเวลาในการคืนทุนของเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

จากรายได้ในราคาขายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ 5.0 บาท/ชิ้น. และ 1 ปี เครื่องทำงานได้ 29,200 ชิ้น. จึงมีรายได้ $5.00 \times 29,200 = 146,000$ บาท/ปี

ระยะเวลาในการคืนทุน (PBP) = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC) / กำไร (P) และ

กำไร (P) = รายได้ (R) - ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)

$$= 146,000 - 115,231.2$$

$$= 30,768.80 \text{ บาท}$$

ดังนั้น

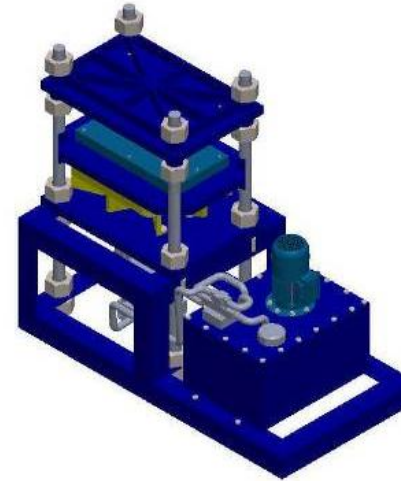
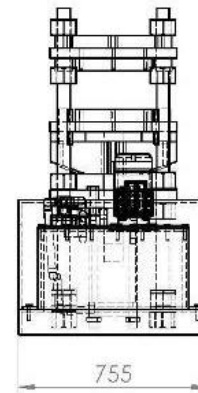
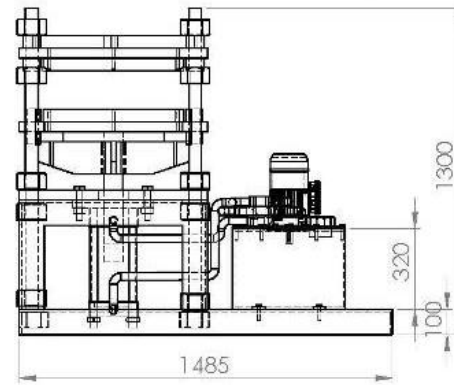
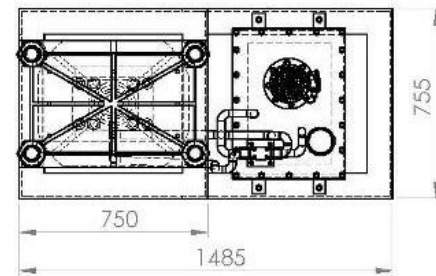
ระยะเวลาในการคืนทุน (PBP) = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC) / กำไร (P)

$$= 345,000 / 30,768.80$$

$$= 11.21 \text{ ปี หรือ } (2,242 \text{ วัน})$$

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ มีราคา 345,000 บาท อัตราราคาจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ 5.0 บาท/ชิ้น. จุดคุ้มทุนอยู่ที่การผลิต 17,091.52 ชิ้น/ปี และสามารถคืนทุนได้ในเวลา 11.21ปี หรือ (2,242 วัน)

ภาคผนวก 2
แบบเครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ



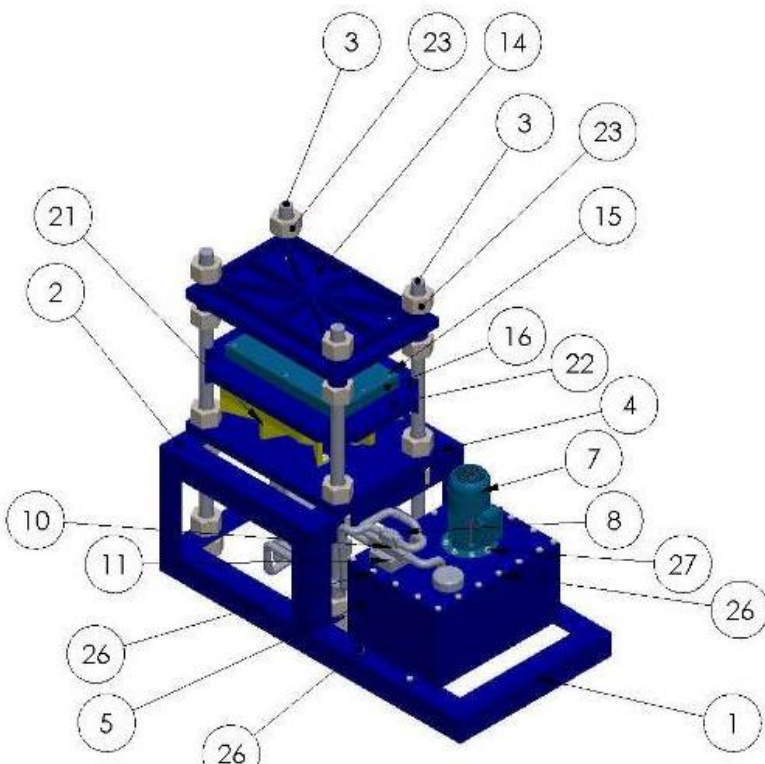
| SIZE | DWC. NO. | REV |
|-------------|-----------------------------------|--------------|
| A | เครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ | |
| SCALE: 1:20 | WEIGHT: | SHEET 1 OF 1 |

4

3

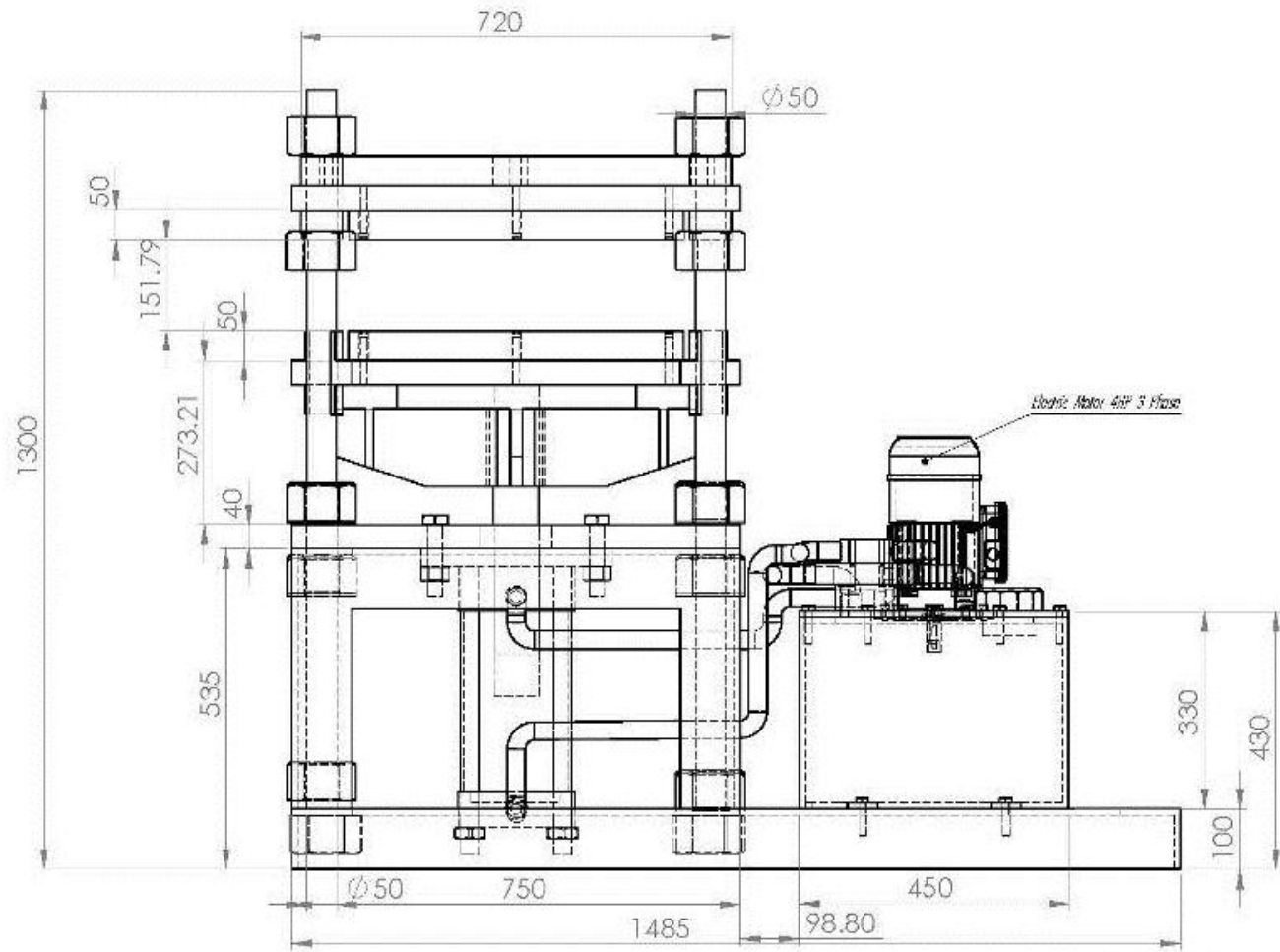
2

1

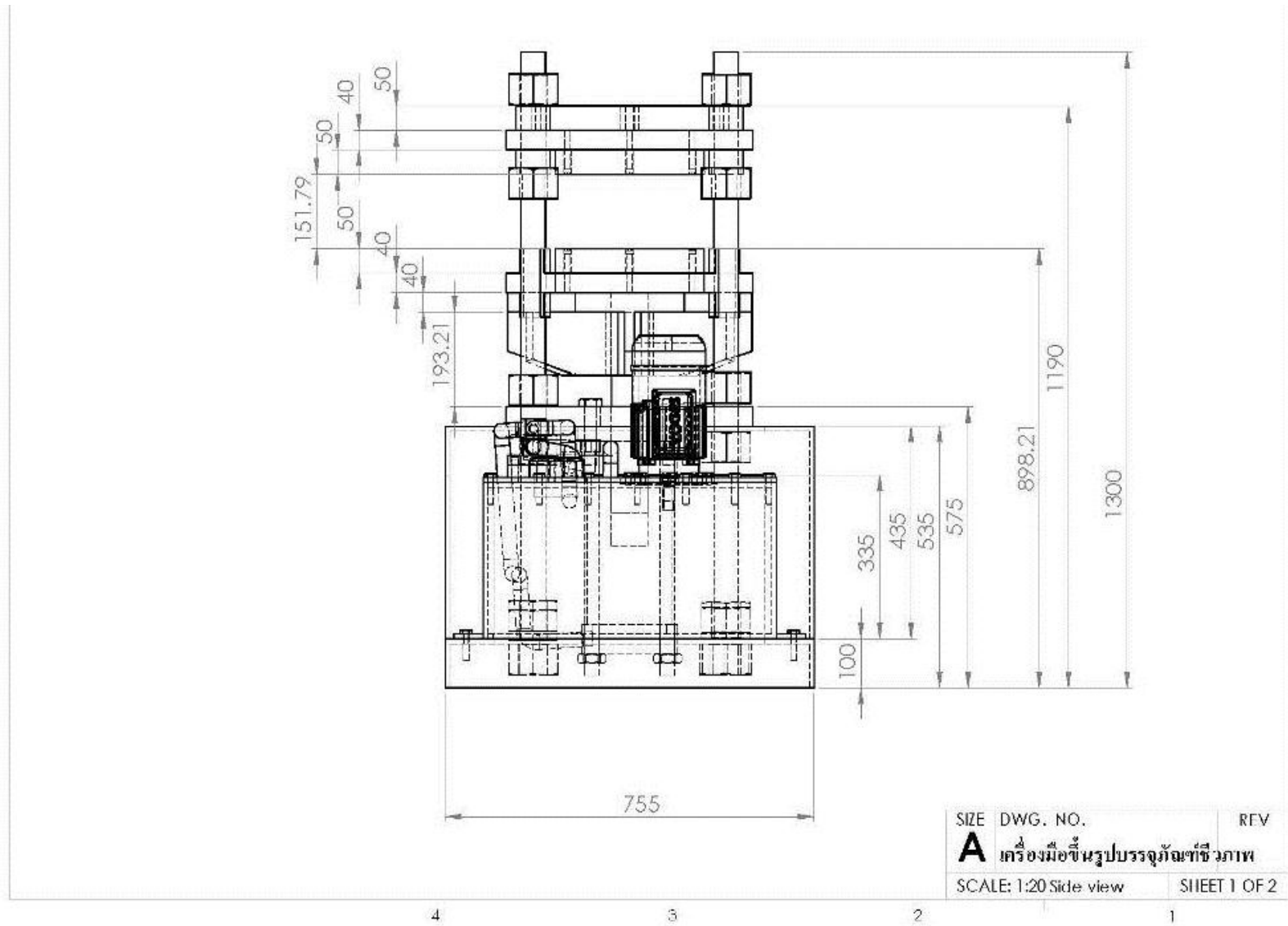


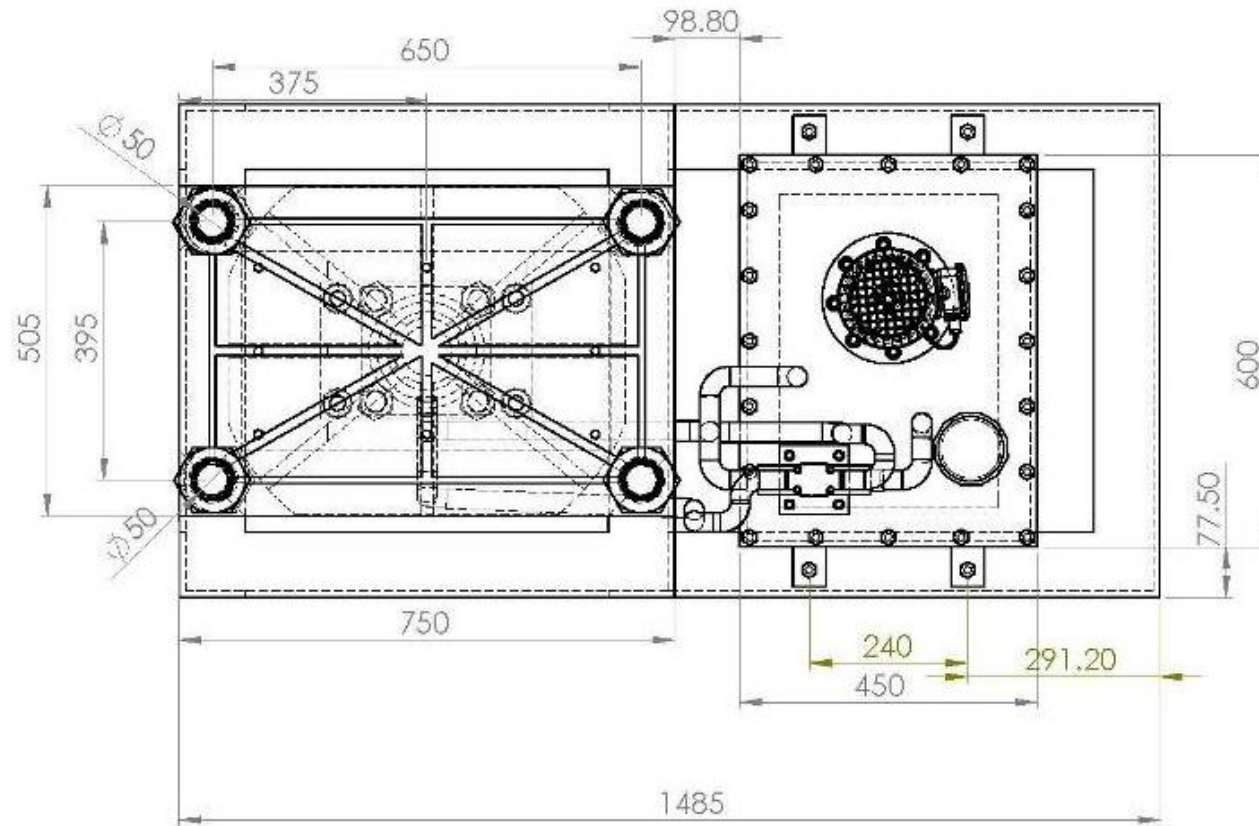
| ITEM NO. | PART NUMBER | QTY. |
|----------|--|------|
| 1 | ฐาน | 1 |
| 2 | part2 | 1 |
| 3 | สกรู | 4 |
| 4 | ค้อนฐาน 1 | 1 |
| 5 | ค้อนฐาน | 1 |
| 6 | ฝาปิด | 1 |
| 7 | Motor VOGES VMF 80 B4 1.5 cv 1725 rpm 220V [grabcad] | 1 |
| 8 | ชุดหัว | 1 |
| | ฐานหัว | 1 |
| | หัว | 1 |
| | หัวบน | 1 |
| 9 | ฝาหน้า | 1 |
| 10 | แผ่นกั้นเส้น 1 cm | 4 |
| 11 | แผ่นกั้นเส้น 1.5 cm | 4 |
| 12 | ชุดประกอบ | 1 |
| | ฐานล่างประกอบ | 1 |
| | ฝาประกอบ | 4 |
| | กรประกอบ | 1 |
| | แผ่นประกอบ | 1 |
| | ฐานบนประกอบ | 1 |
| | แผ่นประกอบล่าง | 4 |
| 13 | แผ่นประกอบ | 1 |
| 14 | ค้อนฐาน 2 | 1 |
| 15 | แผ่นกั้น | 16 |
| 16 | ก้าน | 2 |
| 17 | ค้อนหัว | 1 |
| 18 | ค้อน | 1 |
| 19 | ค้อนประกอบ | 1 |
| 20 | ค้อนประกอบ | 1 |
| 21 | supplate | 1 |
| 22 | แผ่นฐาน | 1 |
| 23 | B18.2.4.6M - Heavy hex nut, M64 x 6 --W-N | 24 |
| 24 | B18.2.3.3M - Heavy hex screw, M24 x 3.0 x 120 -- S4N | 4 |
| 25 | B18.2.4.6M - Heavy hex nut, M24 x 3 --W-N | 4 |
| 26 | B18.2.3.6M - Heavy hex boll M12 x 1.75 x 55 --30N | 24 |
| 27 | B18.2.3.9M - Heavy hex flange screw, M10 x 1.5 x 16 - -16N | 8 |

| | | |
|-------------|-----------------------------------|--------------|
| SIZE | DWG. NO. | REV |
| A | เครื่องมือขึ้นรูปประกอบกันที่จากพ | rev-01 |
| SCALE: 1:20 | BOM of Materials | SHEET 1 OF 2 |



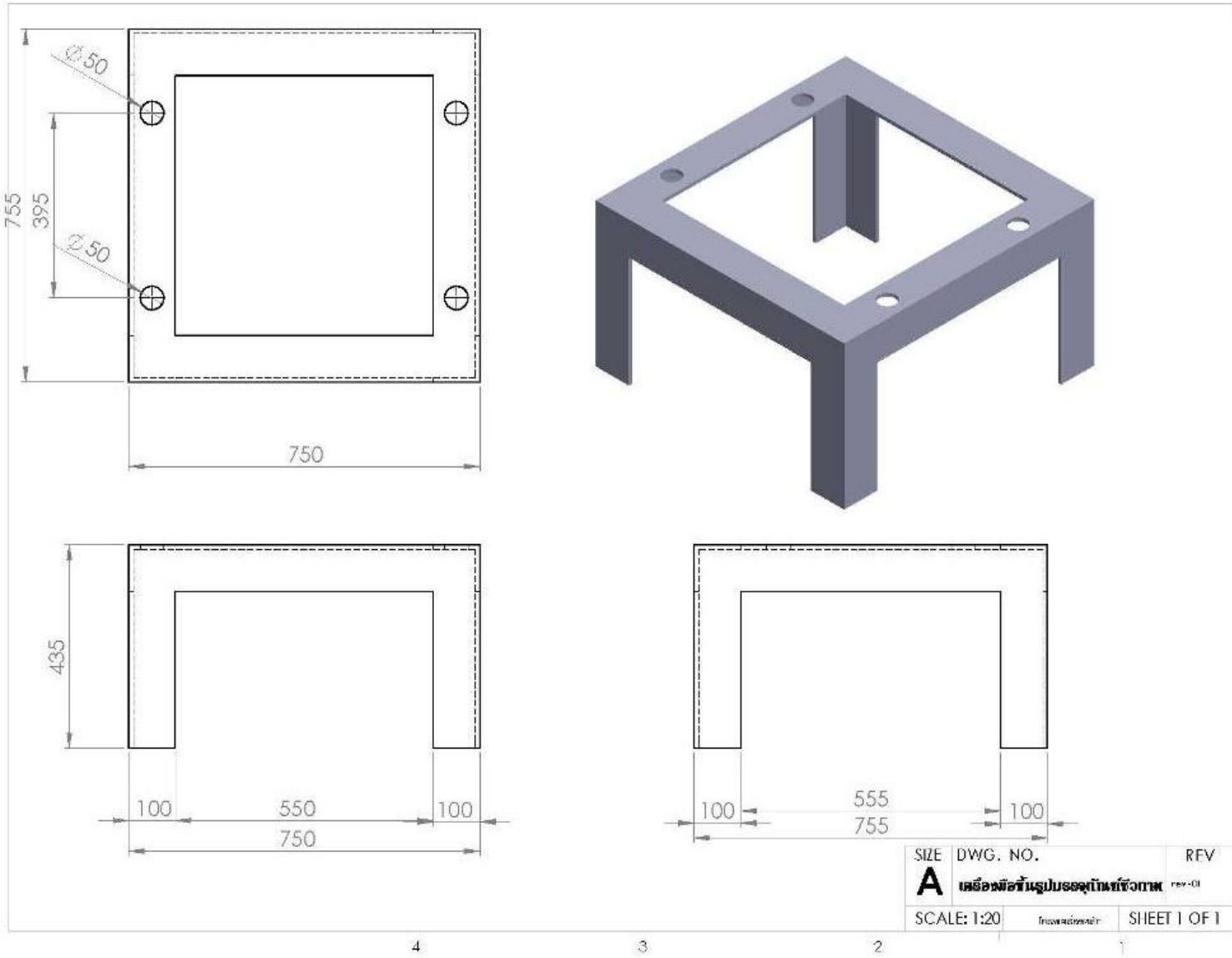
| SIZE | DWG. NO. | REV |
|------------------------|-----------------------------------|--------------|
| A | เครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ | |
| SCALE: 1:20 front view | | SHEET 1 OF 1 |

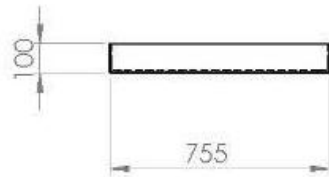
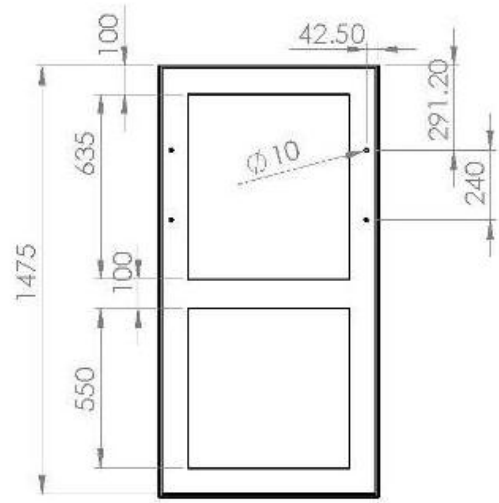




| SIZE | DWG. NO. | REV |
|----------------------|-----------------------------------|--------------|
| A | เครื่องมือขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ | |
| SCALE: 1:20 Top view | | SHEET 1 OF 1 |

4 3 2 1





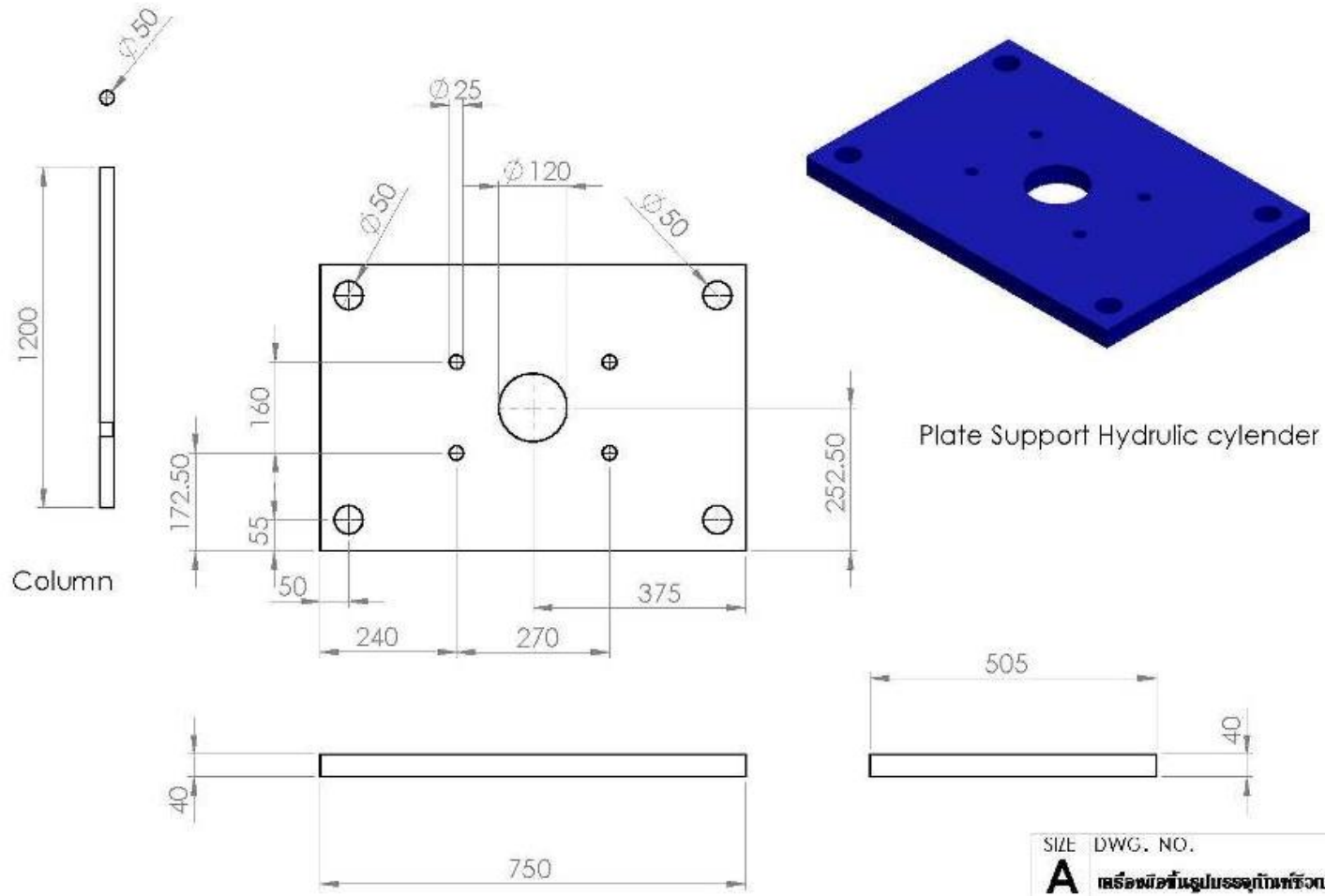
| | | |
|-------------|-------------------------|--------------|
| SIZE | DWG. NO. | REV |
| A | เครื่องปั้นรูปวงรีเหล็ก | rev-01 |
| SCALE: 1:20 | โครงการ: 21/19 | SHEET 1 OF 2 |

4

3

2

1



| SIZE | DWG. NO. | REV |
|-------------|--------------------------------|--------------|
| A | เครื่องจักรกลประปาสุราษฎร์ธานี | rev-01 |
| SCALE: 1:20 | | SHEET 1 OF 2 |

4 3 2 1

