

บทคัดย่อ

โครงการนี้จึงมุ่งเน้นวิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์โดยเน้นการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์และเกิดมูลค่าสูงสุด โดยพัฒนาและออกแบบให้มีความจำเพาะเจาะจงหรือมีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีการผลิตตั้งแต่เตรียมวัตถุดิบจนถึงกระบวนการขึ้นรูปให้เหมาะสม ลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและสามารถใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ ทำการทดลองที่กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรและสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม 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 ช่วยดูดซับก๊าซเอทิลีนจากผลิตผลเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา 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% มีประสิทธิภาพการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงที่อุณหภูมิห้องดีที่สุด 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% มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงที่สุด ฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 10% มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด และฟิล์มที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 40% มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนสูงที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การละลายน้ำและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวน้อยที่สุด 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 พบว่าแคโรทีนอยด์ประกอบของเพคตินสูงที่สุด สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดีที่สุด จึงคัดเลือกมาพัฒนาต่อ โดยปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มด้วยไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ เพคตินและแอลจินเนตที่ 1.5 3 และ 4.5% โดยน้ำหนักแคโรทีน พบว่าไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนา ค่า L^* ความต้านทานแรงดึงขาดและความต้านทานไอน้ำเพิ่มขึ้น (WVTR ลดลง) ($P < 0.05$) ขณะที่ความต้านทานก๊าซออกซิเจนลดลง (OTR เพิ่มขึ้น) แต่ไม่มีผลต่อการยึดตัวของฟิล์ม ($P \geq 0.05$) โดยการเติมแอลจินเนตที่ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนักแคโรทีนให้ฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีที่สุด ดังนั้นจึงนำมาปรับปรุงความยืดหยุ่นของฟิล์ม โดยเติมไซลิทอลที่ 1.25 2.5 3.75 5 และ 6.25% โดยน้ำหนักแคโรทีน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไซลิทอลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนา การละลายน้ำ ความชื้นและการยึดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) แต่ทำให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงขาด ค่า L^* ความต้านทานไอน้ำและก๊าซออกซิเจนลดลง ($P < 0.05$) โดยเมื่อไซลิทอลสูงขึ้นส่งผลให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีเร็วขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา จึงได้คัดเลือกฟิล์มที่เติมแอลจินเนต 3% และไซลิทอล 3.75% ของแคโรทีนมาห่อผลิตภัณฑ์โดยใช้ลูกอมถั่วกะทิเป็นกรณีศึกษา เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าลูกอมที่ห่อด้วยฟิล์มแคโรทีนมีการเพิ่มค่าเปอร์ออกไซด์ช้ากว่าลูกอมที่ไม่ห่อและห่อด้วยกระดาษไข

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 มีปริมาณพอลิเมอร์สะสมในเซลล์สูงสุด เนื่องจากย้อมติดสีน้ำเงินเข้มทั่วทั้งเซลล์ ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า เป็นไซยาโนแบคทีเรียในกลุ่มของ *Nostoc* sp. เมื่อนำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว BG-11 สูตรปกติและสูตรที่ไม่เติมไนโตรเจน (N_2 -free medium) ใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และแสงแดดที่มีการเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง พบว่าอาหารเหลวทั้งสองสูตรไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไอโซเลท SM6-3 แต่การเพาะเลี้ยงโดยใช้แสงแดดจะมีการเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเท่ากับ 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 ขึ้นรูปได้ยากและไม่เหมาะในการทำงานเพราะเปิดถุงได้ยาก 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 การยืดตัวแนวขนานและแนวขวางเครื่อง 87 และ 5.80% ความต้านทานต่อแรงดึงแนวขนานและแนวขวางเครื่อง 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 ไชลิตอล 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 $13 \pm 2^\circ C$ 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 $13 \pm 2^\circ C$ 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