

รหัสโครงการ [SUT7-703-48-12-76]



รายงานการวิจัย

การพัฒนารวมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จากแป้งมันสำปะหลัง

Development of Methodology for the Production of
Biodegradable Cushion from Tapioca Starch

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ [SUT7-703-48-12-76]



รายงานการวิจัย

การพัฒนากรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จากแป้งมันสำปะหลัง

Development of Methodology for the Production of
Biodegradable Cushion from Tapioca Starch

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2548

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2554

ก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการสนับสนุนงบประมาณเพื่อโครงการวิจัยนี้

วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน



บทคัดย่อภาษาไทย

รายงานวิจัยเรื่อง การพัฒนากรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ในธรรมชาติจากแป้งมันสำปะหลัง ครอบคลุมการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการเตรียมเรซินพลาสติกที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นองค์ประกอบหลักสำหรับผลิต loose-fill foam เป็น และวิธีการขึ้นรูปเป็น loose-fill foam โดยงานในส่วนแรกกล่าวถึง การผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช และกระบวนการทำคอมปาวนต์ให้ได้วัสดุผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิต loose-fill foam เม็ดเรซินคอมปาด์วที่ได้จากการเตรียมสูตรคอมปาด์วนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยกระบวนการกดอัดในแม่พิมพ์ด้วยความร้อนเพื่อทดสอบหาสมบัติทางกลซึ่งประกอบด้วยค่า tensile strength elongation at break Young's modulus และหาค่า melt flow index และในส่วนของกระบวนการผลิต loose-fill foam ใช้สารก่อโฟมทางเคมีโดยทำการผลิตด้วยเครื่องเอกซทูล์ชั่นชนิดสกรูเดี่ยว ตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบหาความหนาแน่น อัตราการพองตัว และค่า compressive strength และอัตราการผลิต ผลการวิจัยแสดงถึงผลสำเร็จของการพัฒนาสูตรคอมปาด์วที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ loose-fill foam

คำสำคัญ : แป้งมันสำปะหลัง โฟมกันกระแทก เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ สารก่อโฟม



บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

The research report of “Development of Methodology for the Production of Biodegradable Cushion from Tapioca Starch” covered the development of methodology to compound a plastic resin suitable for making a loose-fill foam product and the processing method for producing loose-fill foam. The first part of the research reported the processing method for transform tapioca starch into thermoplastic starch and a compounding method for producing a compounding resin that was designed for processing into the loose-fill foam. All created compounded resin were thermoformed into the dumbbell shape samples that were subjected to mechanical strength testing and determination of a melt flow index. In the latter part of research, the extrusion technique which was applied to produce a loose-fill foam product was provided. Development included a foaming method with a chemical blowing agent by using a single screw extruder. The loose-fill foam samples were investigated for density, expansion ratio, compression strength, and experimental production yield. This research also showed a success of using the developed compounding-resin, which contained tapioca starch, to produce the loose-fill foam product.

Key word: Tapioca starch, Loose-fill foam, Thermoplastic starch, Biodegradable, Blowing agent

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัยใ.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	6
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
2.1 คัดเลือกวัตถุดิบและส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิต	1
2.2 การเตรียมสูตรคอมปาวนด์	
2.2.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาโร (Thermo plastic starch, TPS).....	1
2.2.2 เตรียมสูตรส่วนผสม.....	1
2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องเอกซทรูชั่น.....	1
2.4 ทดสอบคุณสมบัติก่อนการขึ้นรูปโฟม	
2.4.1 ทดสอบสมบัติทางกล.....	2
2.4.2 ทดสอบสมบัติการไหลตัว.....	2
2.5 ทดสอบคุณสมบัติการขึ้นรูปโฟม	
2.5.1 ค่าอัตราขยายตัว (Radial expansion ratio).....	2
2.5.2 ความหนาแน่น (Bluk density).....	2
2.5.3 อัตราการผลิต	2
2.5.4 ค่า Compression strength	2
บทที่ 3 ผลการวิจัย	
3.1 การเตรียมสูตรคอมปาวด์.....	1
3.2 คุณสมบัติก่อนการขึ้นรูปโฟม	2
3.3 กระบวนการผลิต “loose-fill foam” โดยใช้เครื่องเอกซทรูชั่น	4
บทที่ 4 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย	1
บรรณานุกรม	1
ประวัติผู้วิจัย	1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของสูตรคอมพิวเตอร์
ปาวด์.....1



สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 Thermoplastic starch	1
รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตเม็ดเรซินผสม.....	1
รูปที่ 3.3 เม็ดเรซินผสมระหว่าง TPS และ PBS (TPS20).....	2
รูปที่ 3.4 ค่า Tensile strength และ Young's Modulus.....	3
รูปที่ 3.5 ค่า Elongation at break.....	3
รูปที่ 3.6 ค่า Melt flow index.....	4
รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบลักษณะโคมที่ได้จากการขึ้นรูปด้วย extruder (A) PBS,(B) TPS20, (C) TPS30, (D) TPS40	4
รูปที่ 3.8 ความหนาแน่นของตัวอย่างโคม	5
รูปที่ 3.9 อัตราการพองตัวของตัวอย่างโคมของสูตรคอมปาวด์ต่างๆ.....	5
รูปที่ 3.10 อัตราการผลิตที่สูตรคอมปาวด์ต่างๆ	6
รูปที่ 3.11 ค่า Compressive strength.....	7
รูปที่ 3.12 อัตราการคืนตัวหลังการ compression.....	8



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาวิจัย

เพื่อสนองตอบนโยบายการส่งเสริมการลงทุนของรัฐบาลที่จัดลำดับความสำคัญของการให้ความสนับสนุนในด้านการลงทุนกับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าไว้ให้เป็นอันดับแรกๆ และเพื่อให้รับกับอัตราการขยายตัวที่เพิ่มขึ้นของตลาดส่งออกและระบบการตลาดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือแบบสั่งโดยตรงซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการส่งสินค้าผ่านระบบขนส่งและจำเป็นต้องพึ่งระบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถลดอัตราการความเสียหายของผลิตภัณฑ์ซึ่งแตกหักหรือบอบสลายได้ง่ายลง งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งที่การพยายามค้นหกรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติจากผลผลิตทางการเกษตรที่ประเทศไทยผลิตได้ในปริมาณมากเป็นหลัก

วัสดุกันกระแทกที่ใช้กันในอุตสาหกรรมไทยส่วนมากจะผลิตมาจากวัสดุพอลิเมอร์ เช่น polystyrene polyurethane และ polyolefin ซึ่งจำเป็นต้องนำเข้าวัสดุกันกระแทกจากต่างประเทศหรือผลิตในประเทศแต่ใช้วัสดุและกรรมวิธีการผลิตภายใต้ลิขสิทธิ์ของต่างประเทศส่งผลให้ราคาสินค้าโดยเฉพาะในเรื่องบรรจุภัณฑ์มีมูลค่าค่อนข้างสูง นอกจากนี้ปัญหาด้านราคาแล้วขณะนี้ทั่วโลกได้มีการรณรงค์เพื่อลดการผลิตหรือการใช้วัสดุกันกระแทกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติเพราะผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้สร้างปัญหาต่อการกำจัดทิ้งจนกระทั่งประเทศคู่ค้าสำคัญของไทยทั้งในสหภาพ ยุโรป และสหรัฐอเมริกาได้ออกกฎหมายหรือระเบียบข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อทางเลือกใช้วัสดุกันกระแทกที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม วัสดุกันกระแทกแบ่งตามรูปแบบของการใช้งานได้สองประเภท คือ วัสดุกันกระแทกชนิดขึ้นเป็นรูปทรงให้เข้ากับช่องว่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับบรรจุภัณฑ์ (foam-in-place) และ วัสดุกันกระแทกชนิดที่ใช้เติมเข้าช่องว่างแต่ไม่ได้มีรูปทรงพอดีตามช่องว่าง (loose-fill foam) เป็นที่ที่น่าสนใจว่าวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติที่เป็นที่ยอมรับใช้ในเชิงการค้ายังจำกัดการใช้อยู่แค่วัสดุกันกระแทกชนิด loose-fill foam และมีเพียงผลิตภัณฑ์เดียวภายใต้ชื่อ ENVIROMOLD[®] ของบริษัท EnPac ที่เพิ่งจะขายเทคโนโลยีการทำวัสดุกันกระแทกชนิด foam-in-place ด้วยวิธีการประสานขึ้นวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ชนิด loose-fill foam ด้วยน้ำ วัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติชนิด loose-fill foam ที่ผลิตขายเชิงการค้าที่เวลานี้ทำมาจากวัตถุดิบจำพวกแป้งเป็นหลักอันได้แก่ สินค้าภายใต้เครื่องหมายการค้าชื่อ CLEAN GREEN[®] ENVIROFIL[®] ECO-FOAM[®] FLO-PAK BIO[®] RENATURE[®] และ STAR-KORE[®] และผู้ผลิตกลุ่มนี้ล้วนแล้วแต่เป็นบริษัทของสหรัฐอเมริกาทั้งสิ้นเพราะการผลิตเชิงการค้านี้ทำโดยอาศัยผลงานวิจัยพื้นฐานเกี่ยวกับแป้งข้าวโพดที่สหรัฐอเมริกาผลิตได้มากและรัฐบาลของสหรัฐสนับสนุนงานวิจัยเกี่ยวกับข้าวโพดอย่างจริงจังและต่อเนื่องเพื่อหาประโยชน์ของการใช้ข้าวโพดให้มากที่สุดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการยกระดับราคาข้าวโพด จากสถิติข้อมูลของ Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms, USA รายงานว่าปริมาณการใช้วัสดุกันกระแทกชนิด loose-fill foam ในสหรัฐเฉลี่ยอยู่ที่ 42.5 ล้านกิโลกรัมต่อปี ในจำนวนนี้คิดเป็นวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้อยู่ราว 15-20% หรือราว 6.38-8.5 ล้านกิโลกรัมต่อปี และประมาณการอัตราการเติบโตไว้ที่ 2% ต่อปีสำหรับช่วงปลายคริสต์ศตวรรษที่ 90 (USDA, ค.ศ. 1996) ตัวเลขการใช้วัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ที่ยังน้อยเป็นเพราะว่าหนึ่งสาเหตุด้านราคาที่สูงกว่าราว 30% เมื่อเทียบกับราคาของวัสดุกันกระแทกชนิด loose-fill foam ที่ทำจาก expanded polystyrene (ราคาขายเฉลี่ยในสหรัฐประมาณ 21.6 ต่อ 16.4 บาทต่อลูกบาศก์ฟุต) และสองสาเหตุเรื่องความแตกต่างด้านคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ ซึ่งปัจจุบันนี้รัฐบาลสหรัฐก็ยังสนับสนุนงานวิจัยเพื่อพัฒนาให้เทคโนโลยีการผลิตวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้จากแป้งให้สามารถแข่งขันกับวัสดุกันกระแทกที่ทำจากพอลิเมอร์ได้มากขึ้น (USDA, ค.ศ. 1996) จากการสำรวจข้อมูลด้านงานวิจัยของเมืองไทยและข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นนี้ตระหนักได้ว่าเราไม่มีงานวิจัยพัฒนาวัสดุ

กันกระแทกที่ย่อยสลายได้ขึ้นจากผลผลิตที่เมืองไทยเพาะปลูกได้ในปริมาณมากอย่างจริงจัง หรือกล่าวได้ว่าเรายังคงต้องพึ่งพาเทคโนโลยีการผลิตวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้จากต่างประเทศและยิ่งจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเข้มงวดต่อกฎหมายคุ้มครองเรื่องสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะกับตลาดส่งออก

ผลผลิตทางการเกษตรของไทยที่ผู้วิจัยสนใจเป็นพิเศษที่กล่าวมาข้างต้นคือหัวมันสำปะหลัง จากสถิติการประเมินปริมาณผลผลิตหัวมันสำปะหลังโลกโดย FAO ประจำปี 2544 ประเทศไทยมีผลผลิตสูงถึงเกือบ 20 ล้านตัน นับได้ว่าสูงเป็นอันดับที่สามของโลก (กล้าณรงค์ และ เสรี, พ.ศ. 2545) ด้านราคาผลผลิตและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังภายในประเทศในหน่วยบาทต่อกิโลกรัม ประจำปี 2544 แบ่งตามประเภทได้ดังนี้คือ หัวมันสด 0.87 แป้งมัน 6.84 มันเส้น 2.30 และมันอัดเม็ด 2.20 (Anon, ค.ศ. 2003) จำนวนครึ่งหนึ่งของผลผลิต 20 ล้านตันได้รับการแปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลังประมาณ 2 ล้านตันต่อปีและถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ภายในประเทศเพียงปีละ 7-8 แสนตัน เช่น อุตสาหกรรมสารปรุงแต่งรส สารให้ความหวาน อาหารกระดาศ และสิ่งทอ ปริมาณแป้งมันที่เหลือและผลผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดจำนวนมากถูกส่งออกไปขายยังต่างประเทศซึ่งมีราคาต่อกิโลกรัมค่อนข้างต่ำ จะเห็นว่าปริมาณผลผลิตมันสำปะหลังที่ผลิตได้น่าจะมีการแปรรูปเป็นแป้งมากขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่าแต่ทั้งนี้ภาคอุตสาหกรรมจะให้ความสนใจเพิ่มกำลังการผลิตก็ต่อเมื่อมีความต้องการจากอุตสาหกรรมภายในประเทศที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลของงานวิจัยนี้จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเปิดตลาดใหม่ขึ้นมาด้วย จากการประเมินสถานการณ์การค้าและการส่งออกมันสำปะหลังในอนาคตโดยนายกสมาคมการค้ามันสำปะหลัง คุณเสรี เต็นวรลักษณ์ (กล้าณรงค์ และ เสรี, พ.ศ. 2545) ระบุชัดว่าการปรับเปลี่ยนกฎระเบียบการค้าภายใต้ WTO และ AFTA และสภาพความอ่อนตัวของเงินยูโรจะมีผลกระทบในแง่ลบต่อสถานะการส่งออก ประกอบกับทั้งราคาส่งออกผลผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดที่ค่อนข้างแปรปรวนขึ้นกับราคาผลผลิตอื่นที่นำไปทำเป็นอาหารสัตว์ได้ของประเทศคู่ค้า นอกจากประเด็นเรื่องปริมาณและราคาผลผลิตมันสำปะหลังที่ทำให้ผู้วิจัยมีความเชื่อมั่นถึงความพร้อมของการได้รับความสนับสนุนในด้านวัตถุดิบจำนวนมากเกินพอต่อการทำวิจัยและความเป็นไปได้ในการแข่งขันได้ทางการตลาดของการนำผลงานวิจัยไปพัฒนาต่อเพื่อการค้า ความพร้อมด้านเทคโนโลยีของการผลิตแป้งและแป้งดัดแปลง (native and modified starch) จากมันสำปะหลังของภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศจะยิ่งช่วยส่งเสริมให้ความสำเร็จขั้นต้นของงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการได้รับความสนใจพัฒนาเชิงอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง

การนำวัสดุที่เกิดขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติมาผลิตเป็นวัสดุด้านบรรจุภัณฑ์ถือได้ว่าเป็นการปฏิรูปทางวัสดุศาสตร์ที่ก้าวได้ทั้งนี้เพราะว่าเทคโนโลยีขณะนี้สามารถสังเคราะห์หรือแปรรูปวัสดุดังกล่าวขึ้นเพื่อทำเป็นบรรจุภัณฑ์บางประเภทที่ใช้งานได้ดีราวกับที่ทำมาจากวัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ และมีข้อดีเหนือกว่าอีกตรงที่วัสดุเกิดขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาตินี้เกิดการย่อยสลายได้สมบูรณ์แบบกลับเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารทำให้มีการผลิตกลับมาทดแทนขึ้นใหม่ได้ วัสดุที่เกิดขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติในกลุ่มของ biopolymer ที่กล่าวมานี้แบ่งเป็นที่มาได้สามประเภทหลัก ได้แก่ วัสดุที่สกัดมาจากผลผลิตทางการเกษตรโดยตรง เช่น แป้งจากพืช และ โปรตีนจากพืช (casein และ wheat gluten) สอง คือวัสดุที่เกิดจากสารที่ได้จากกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการหมักของผลผลิตทางการเกษตร เช่น polylactate ที่ทำจาก lactic acids และ chitosan ซึ่งจัดเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มาจากผนังเซลล์ของพืชชั้นต่ำ หรือมาจากเปลือกหุ้มเนื้อเยื่อของสัตว์ชั้นต่ำพวก arthropods และ mollusks (Harish et al., ค.ศ. 2002) สามคือวัสดุที่ผลิตจากสารที่ได้จากจุลินทรีย์ เช่น polyhydroxyalkanoate จากแบคทีเรีย (Peterson et al., 1999) ระหว่างสามกลุ่มนี้วัสดุในกลุ่มแรกกำลังได้รับความนิยมมากที่สุดในการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุกันกระแทกทั้งประเภทที่เรียกว่า “loose-fill foam” และ “foam in place” การวิจัยและพัฒนาที่นำแป้งจากผลผลิตทางการเกษตรมาใช้ผลิตเป็นวัสดุกันกระแทกประเภทนี้สืบเนื่องมาจากการทราบกันมานานแล้วในอุตสาหกรรมอาหารว่าแป้งมีคุณสมบัติจัดเป็นพอลิเมอร์โดยเฉพาะเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและการทำให้เย็นตัวลง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

และทางเคมีของแป้งที่สังเกตเห็นกันในอุตสาหกรรมอาหารแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะที่คล้ายกับคุณลักษณะที่จำเป็นต้องมีของวัสดุกันกระแทกที่ทำจากพอลิเมอร์ เช่น ความคงตัว การขยายตัวอันเนื่องมาจากเซลล์อากาศ ความยืดหยุ่น ความสามารถในการรับแรงกดทับ และความแข็งเชิงกล เป็นต้น จุดนี้เองทำให้องค์กรทั้งภาคเอกชนและรัฐของหลายประเทศที่มีหน้าที่เกี่ยวพันกับการดูแลผลผลิตเกษตรที่แปรรูปเป็นแป้งได้ให้ความสำคัญกับงานวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากแป้งกันเป็นจำนวนมาก

สาเหตุที่จำเป็นและยังต้องมีการทำวิจัยก็เพราะว่าคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแป้งที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นวัสดุกันกระแทกยังมีคุณลักษณะเหมือนอาหารจำพวกขนมขบเคี้ยวอยู่มาก เป็นต้นว่าคุณสมบัติทางกลที่ค่อนข้างห่างไกลกับคุณสมบัติที่ได้จากพอลิเมอร์ ความเปราะบางของวัสดุ ความยืดหยุ่นที่ต่ำ การสูญเสียลักษณะทางกายภาพเมื่อได้รับความชื้นหรือความไวต่อความชื้น และปัญหาการคงสภาพหรืออายุของวัสดุกันกระแทกที่ทำได้ เป็นต้น นอกจากนี้ปัญหาในเรื่องของคุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่มาจากวัสดุธรรมชาติแล้ว สิ่งที่เป็นหัวใจของการพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากแป้งก็คือกระบวนการแปรรูปส่วนผสมของสารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักนี้ไปเป็นวัสดุกันกระแทก อันที่จริงน่าจะกล่าวได้ว่ากรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกนี้เป็นตัวกำหนดส่วนผสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบมากกว่าหรือเป็นปัจจัยกำหนดคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบนั่นเอง ปัญหาเหล่านี้เองที่ทำให้ผู้วิจัยเห็นว่าประเทศไทยยังขาดทั้งงานวิจัยและศูนย์ปฏิบัติการวิจัยขั้นสูงที่มุ่งทำวิจัยในเรื่องการพัฒนาวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้จากวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (renewable resources เน้นที่วัสดุ จำพวก biomaterial) งานวิจัยนี้จะถูกนำมาใช้ในการวางรากฐานที่สำคัญนี้เพื่อตอบปัญหาและให้ความช่วยเหลือถ่ายทอดเทคโนโลยีการใส่ประโยชน์จากวัสดุจากผลผลิตทางการเกษตรที่มีความเป็นไปได้สูงมากโดยเฉพาะแป้งมันสำปะหลังในการนำมาพัฒนาเป็นวัสดุกันกระแทก ด้วยสภาพความพร้อมทางด้านเครื่องมือหลักที่สำคัญต่องานวิจัยขั้นสูงที่มีอยู่ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสภาพที่ตั้งที่ใกล้กับแหล่งผู้ผลิตแป้งมันสำปะหลังผู้วิจัยเชื่อว่าโครงการต้นแบบนี้จะสามารถพัฒนาให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ และจะเป็นแรงจูงใจให้ภาคอุตสาหกรรมร่วมลงทุนพัฒนาศูนย์วิจัยขั้นสูงอย่างต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อคิดค้นพัฒนาส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่เป็นองค์ประกอบสำหรับการผลิตเป็นวัสดุกันกระแทกชนิด “loose-fill foam”
2. พัฒนาการบวนการผลิตวัสดุกันกระแทก “loose-fill foam” โดยใช้เครื่อง Extruder

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เน้นความสำคัญของการทำวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ชนิด loose-fill foam ขึ้นมาจากวัตถุดิบหลักที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง ผสมกับสารเติมแต่งที่คัดเลือกโดยให้ความสำคัญกับวัตถุดิบที่ย่อยสลายได้ที่ผลิตได้ในประเทศเป็นหลัก กระบวนการผลิตที่ใช้คือการผลิตด้วยเครื่อง extruder การวิจัยมุ่งที่ผลสัมฤทธิ์ของการได้มาซึ่งสูตรส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปเป็นวัสดุกันกระแทกที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุกันกระแทกที่อยู่ในระดับใช้งานได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สูตรส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ทำวัสดุกันกระแทกที่ย่อยสลายได้ชนิด loose-fill foam ที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลัก

2. กรรมวิธีการผลิต biodegradable loose-fill foam ด้วยเครื่อง extruder และจุดเหมาะสมของการตั้งค่าตัวแปรควบคุมกระบวนการผลิต
3. จดสิทธิบัตรในกรณีที่ยังพบวัตถุดิบใหม่ซึ่งไปเพิ่มค่าความแข็งแรงเชิงกลให้กับวัสดุกันกระแทกที่ทำได้ด้วยวิธี extrusion
4. บทความเชิงวิชาการเรื่องกรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้จากแป้งมันสำปะหลัง



บทที่ 2

ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 คัดเลือกวัตถุดิบและส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิต

แป้งที่สามารถใช้ในการผลิตที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศไทย ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรชนิดอะซิเลตเพื่อให้มีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น และพอลิเมอร์หลักที่ใช้เช่นเม็ดเรซินชนิดพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ซึ่งย่อยสลายได้ในธรรมชาติ โดยมีองค์ประกอบอื่นเพื่อเอื้อต่อการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันและให้ได้ผลิตภัณฑ์โฟม ได้แก่ Nucleating agent, Plasticizer, Compatibilizer และสารก่อโฟม เป็นต้น

2.2 การเตรียมสูตรคอมปาวนด์

2.2.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ (Thermoplastic starch, TPS)

การเตรียม TPS เริ่มจากนำแป้งมันสำปะหลังตัดแปรชนิดอะซิเลตจากบริษัท สงวนวงษ์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา อบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งปริมาณร้อยละ 70 ผสมกับกลีเซอรอลปริมาณร้อยละ 30 นำมาผลิตเป็น TPS ด้วยเครื่องเอกซทรีเตอร์ชนิดสกรูเดี่ยว (ยี่ห้อ Betol รุ่น BC32, England) ที่อุณหภูมิ 90 ถึง 130 °C ที่ความเร็วรอบ 20 rpm

2.2.2 เตรียมสูตรส่วนผสม

การเตรียมสูตรคอมปาวนด์สำหรับทำเป็นตัวอย่างโฟมทำโดยการผสมองค์ประกอบของสูตรคอมปาวนด์เข้าเป็นเนื้อเดียวกันให้ได้มาในลักษณะของเม็ดเรซินเทอร์โมพลาสติก การผสมเริ่มจากการนำเม็ดเรซิน PBS อบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 ถึง 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำ TPS เม็ดพลาสติกและองค์ประกอบอื่นมาผสมกันตามสูตรส่วนผสมดังตารางที่ 2.1 ด้วยเครื่องเอกซทรีเตอร์ชนิดสกรูเดี่ยว โดยปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ 110 -140 °C ที่ความเร็วรอบ 20 rpm

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของสูตรคอมปาวด์

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณส่วนผสม (ร้อยละ)			ปริมาณส่วนผสม (phr)
	PBS	TPS	Talc	Blowing Agent
PBS	99.5	-	0.5	5
TPS20	79.5	20	0.5	5
TPS30	69.5	30	0.5	5
TPS40	59.5	40	0.5	5

2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องเอกซทรีชัน

ในกรณีของตัวอย่างโฟมประเภทโฟมแบบไม่คงรูป (Loose-fill foam) เตรียมขึ้นโดยใช้เครื่องเอกซทรีชันชนิดสกรูเดี่ยว เส้นผ่าศูนย์กลาง 31.6 mm และ L/D เท่ากับ 24.62 ซึ่งงานวิจัยนี้ครอบคลุมการศึกษาหาสภาวะเหมาะสมของตัวแปรควบคุมกระบวนการขึ้นรูป โดยตั้งค่าอุณหภูมิระหว่าง 90-140 °C

และที่ความเร็วรอบ 35 rpm โดยตัวอย่างโพลิเมอร์ขึ้นเป็นรูปได้ด้วยหัวตายเป็นรูปทรงกระบอกขนาดของรูหัว 3 mm

2.4 ทดสอบคุณสมบัติก่อนการขึ้นรูปโพลิเมอร์

2.4.1 ทดสอบสมบัติทางกล

ตัวอย่างสูตรคอมพาวนด์สำหรับทำเป็นตัวอย่างโพลิเมอร์ที่พัฒนาขึ้นเตรียมตัวอย่างให้ได้ตามมาตรฐานการวัดตาม ASTM หมายเลข D638 วัดด้วยเครื่อง universal testing machine (Instron model 5565, USA) โดยให้แรงกับตัวอย่างโพลิเมอร์และวัดค่าเป็น tensile strength และ elongation at break และ Young's modulus ซึ่งขึ้นรูปขึ้นงานจากสูตรคอมพาวนด์ที่พัฒนาขึ้นเองโดยหลักการกดอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกดอัดพลาสติก

2.4.2 ทดสอบสมบัติการไหลตัว

ตัวอย่างสูตรคอมพาวนด์นำไปหาค่าการไหลตัวของพลาสติกตามมาตรฐาน ASTM หมายเลข D 1238 ที่อุณหภูมิ 190 °C

2.5 ทดสอบคุณสมบัติการขึ้นรูปโพลิเมอร์

2.5.1 ค่าอัตราขยายตัว (Radial expansion ratio)

อัตราการขยายตัวของตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการอัดพองด้วยเครื่องเอกซทรูชัน คำนวณจากผลหารของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างโพลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการเอกซทรูชันออกมากับเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตาย (die) โดยใช้ Vernier caliper เป็นเครื่องมือวัด

2.5.2 ความหนาแน่น (Bulk density)

ความหนาแน่นวัดโดยการประยุกต์ใช้ตามวิธีของ Bhatnagar และ Hanna (1996) โดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยทรายในกระบอกตัวอย่างขนาด 100 ml ใส่ตัวอย่างไปในกระบอกตัวอย่างหลังจากนั้นใส่ทรายลงไปในภาชนะทรงกระบอกตามพื้นที่ว่างของตัวอย่างที่ใส่ลงไปก่อนหน้านี้ นำไปชั่งน้ำหนัก และคำนวณดังสมการที่ 2.1 โดยที่ W_E คือ น้ำหนักของตัวอย่างโพลิเมอร์ D_R คือความหนาแน่นทราย W_{RT} คือน้ำหนักของทรายในปริมาตร 100 ml และ W_R คือน้ำหนักของทรายที่เหลือในปริมาตร 100 ml หลังจากการแทนที่

$$D(g/cm^3) = \frac{W_E D_R}{W_{RT} - W_R} \quad (2.1)$$

2.5.3 อัตราการผลิต

อัตราการผลิตของตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการอัดพองด้วยเอกซทรูเตอร์ คำนวณจากผลหารของมวลตัวอย่างโพลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการเอกซทรูชันออกมาเมื่อเทียบกับเวลา

2.5.4 ค่า Compression strength

วัดตามวิธีของ Guan และ Hanna (2004) ด้วยเครื่อง universal testing machine (Instron model 5565, USA) โดยการตัดตัวอย่างจะต้องอยู่ในแนวเส้นตรงตั้งฉากกับแกนของตัวอย่าง แรงที่ใช้ในการกดอัดที่ 80% ของค่า Compression strain ความเร็วที่ใช้ในการกดอัด 10 mm/min



บทที่ 3 ผลการวิจัย

3.1 การเตรียมสูตรคอมพาวด์

การศึกษานี้ได้เน้นใช้วัตถุดิบที่ได้จากแป้งมันสำปะหลังการทดลองได้เลือกไขมันสำปะหลังดัดแปรชนิดชโนอะซิเลตซึ่งจากคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ ส่งผลต่อกระบวนการผลิตโฟมซึ่งอาจจะส่งผลทำให้แป้งไหม้ติดเครื่องมือการผลิตบริเวณที่ใช้ความร้อนสูง และพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ PBS จากคุณสมบัติของ PBS เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ มีความหนืดค่อนข้างสูงและค่า T_m ต่ำ ($\sim 108^\circ\text{C}$) และในการทดลองเริ่มจากการผลิต TPS โดยใช้แป้งมันสำปะหลังผสมกับกลีเซอรอลร้อยละ 30 อุณหภูมิในการผลิต $110-140^\circ\text{C}$ พบว่าลักษณะของตัวอย่างจะมีลักษณะปรากฏใส นุ่ม มีความเป็นพลาสติกดังรูปที่ 3.1 และนำ TPS ที่ได้ผสมกับพอลิเมอร์ชนิด PBS ดังตาราง 2.1 ทำการผลิตเม็ดเรซินด้วยเครื่องเอ็กทรูเดอร์ดังรูปที่ 3.2 ที่ค่าอุณหภูมิ $110-140^\circ\text{C}$ และได้เม็ดเรซินผสมดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 Thermoplastic starch



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตเม็ดเรซินผสม



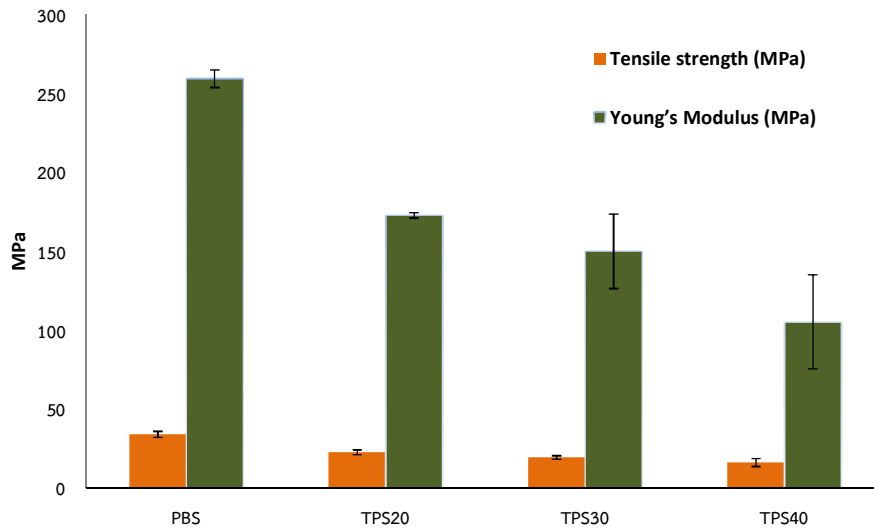
รูปที่ 3.3 เม็ดเรซินผสมระหว่าง TPS และ PBS (TPS20)

3.2 คุณสมบัติก่อนการขึ้นรูปโพลีเมอร์

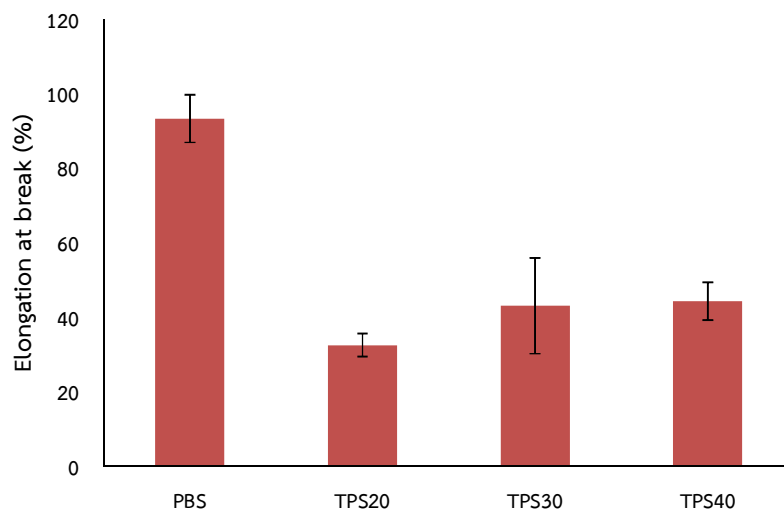
จากการศึกษาและทดสอบสมบัติทางกลของตัวอย่างเรซินผสมก่อนการขึ้นรูปโพลีเมอร์พบว่าค่า tensile strength จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ TPS เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3.4 ที่ปริมาณ TPS 40 เปอร์เซ็นต์ ค่า tensile strength จะมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 16.09 MPa และที่ปริมาณ TPS 0 เปอร์เซ็นต์จะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 33.95 MPa จะเห็นว่าค่า tensile strength ลดลงถึง 2.11 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณ TPS เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ และสภาพการยืดหยุ่น สามารถอธิบายจากค่า Young's Modulus เมื่อปริมาณ TPS เพิ่มขึ้นค่า Young's Modulus มีแนวโน้มลดลงแสดงว่าปริมาณ TPS ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความยืดหยุ่นของตัวอย่างเรซินผสม ค่าดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huneault และ Li (2007) ซึ่งได้ศึกษาสัณฐานวิทยาและคุณสมบัติของการเข้ากันได้ระหว่าง Polylactic acid (PLA)/TPS ผสม พบว่าเมื่อปริมาณ TPS เพิ่มขึ้น ค่า tensile strength Young's Modulus และ Elongation at break มีแนวโน้มลดลง เมื่อเติม PLA ที่ถูก graft ด้วย maleic anhydride ลงไปในส่วนผสมพบว่าค่า Elongation at break จะเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณ TPS 46 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่า Elongation at break สูงที่สุด และ Jun (2000) ได้ทำการศึกษาการผสม PLA กับแป้ง โดยใช้แป้ง ข้าวโพดและตัวทำละลายแป้ง 3 ชนิด คือ toluene diisocyanate (TDI), isoporone diisocyanate (IPD), diethylene triamine, 1,6-diisocyanatohexane (DIH), และ 4,4'-methylenebis(phen-ylisocyanate) (MDI) พบว่าเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นค่า tensile strength Young's Modulus และ Elongation at break ลดลง และปริมาณของแป้งที่ 25 เปอร์เซ็นต์สูตรที่เติม TDI ให้ค่า tensile strength สูงที่สุด และสูตรที่เติม DIH ให้ค่า Elongation at break สูงที่สุด แต่ปริมาณของแป้งที่ 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่า Elongation at break ไม่ค่อยแตกต่างกันมา ซึ่งสอดคล้องในการทดลองนี้ซึ่งค่า Elongation at break มีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ดังรูปที่ 3.5

ค่าอัตราการไหลของพอลิเมอร์สามารถบ่งบอกถึงสภาพของพอลิเมอร์คร่าวๆ เมื่ออยู่ในเครื่องเอกซเรย์ ขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการบอกค่าน้ำหนักของโมเลกุลของเม็ดพลาสติก (molecular weight) ได้ ถ้าพอลิเมอร์ที่ทดสอบหา melt flow rate มีค่าสูงก็แสดงว่าพอลิเมอร์นั้นมีค่า molecular weight ต่ำ และขณะเดียวกัน melt flow rate ยังบ่งบอกถึงความสามารถในการหลอมไหลของวัสดุภายใต้แรงดัน ในทางกลับกัน melt flow rate ยังใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความหนืดของวัสดุภายใต้สภาวะการรับแรงต่างๆ อัตราส่วนระหว่างค่าการทดสอบหา melt flow rate 2 ครั้ง ที่ค่าน้ำหนักต่างกันก็นำไปหาค่าการกระจายตัว

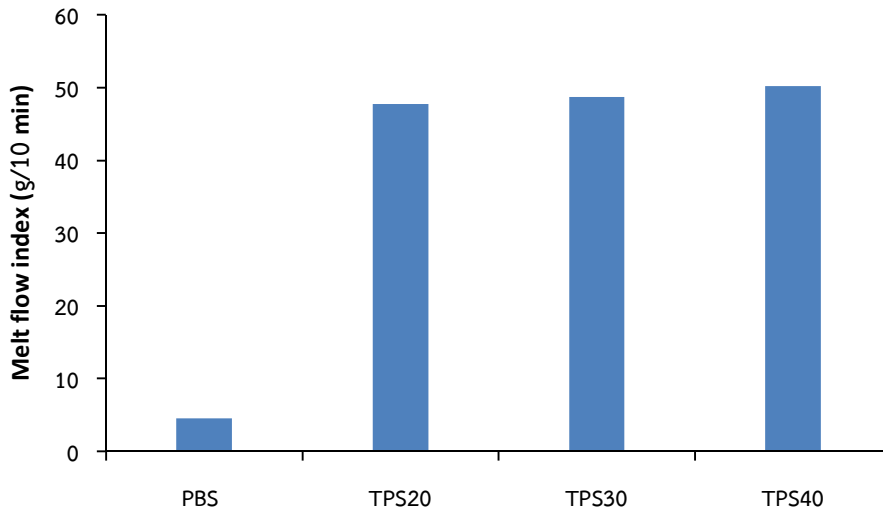
ของน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติก หรือ molecular weight distribution ซึ่งในการทดสอบหาค่า MFI ตามมาตรฐาน ASTM พบว่าค่าอัตราการไหลของเรซินที่มีปริมาณ TPS 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 47-50 g/10 min ดังรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่า TPS มีผลต่อการไหลของเรซินผสม ส่งผลให้ความหนืดลดลงอาจจะส่งผลต่อกระบวนการผลิตโฟมซึ่งจะต้องอาศัยความหนืดของพอลิเมอร์เพื่อให้พอลิเมอร์มีการต้านแรงยกของแก๊สต่อผนังเซลล์โฟม ไม่ให้แก๊สละลายผ่านพอลิเมอร์เมทริกก่อนการเกิดเป็นโฟม



รูปที่ 3.4 ค่า Tensile strength และ Young's Modulus



รูปที่ 3.5 ค่า Elongation at break



รูปที่ 3.6 ค่า Melt flow index

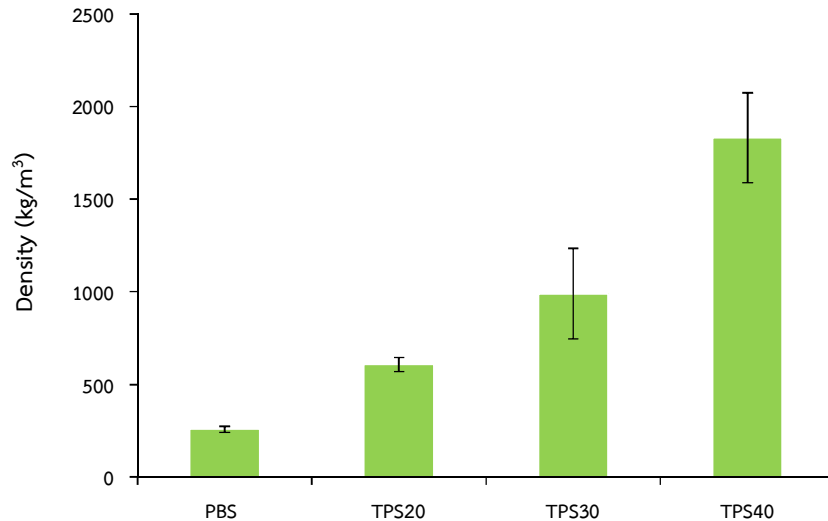
3.3 กระบวนการผลิต “loose-fill foam” โดยใช้เครื่องเอกซทรูชั่น

ตัวอย่างโฟมที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซทรูชั่นที่สภาวะเหมาะสมถูกแสดงในรูปที่ 3.7 พบว่าสูตรคอมพาวด์ที่ผู้วิจัยคิดขึ้นเมื่อนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซทรูชั่นที่สภาวะเหมาะสมสามารถทำให้เกิดการขยายตัวของตัวอย่างโฟมได้ และพบว่าอัตราการขยายตัวของโฟมมีค่าแปรผกผันกับปริมาณแป้งที่ผสมในสูตรคอมพาวด์ที่นำมาขึ้นรูป ดังจะเห็นได้จาก รูป 3.7 (A) ซึ่งเป็นโฟมที่ขึ้นรูปจากเรซิน PBS มีการขยายตัวของโฟมมากที่สุดเนื่องจากไม่ได้มีการผสมแป้งและมีอัตราการขยายตัวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งในสูตรคอมพาวด์ที่นำมาขึ้นรูป แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาขนาดของโฟมที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว พบว่าการขึ้นรูปโดยใช้สูตรคอมพาวด์ TPS20 โฟมมีขนาดสม่ำเสมอ นอกจากนั้นแล้วบริเวณผิวของตัวอย่างยังมีลักษณะเรียบซึ่งเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของโฟม สำหรับสูตรคอมพาวด์ TPS30 และ TPS40 พบว่าถึงแม้สูตรคอมพาวด์ดังกล่าวจะสามารถขึ้นรูปโฟมได้แต่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ



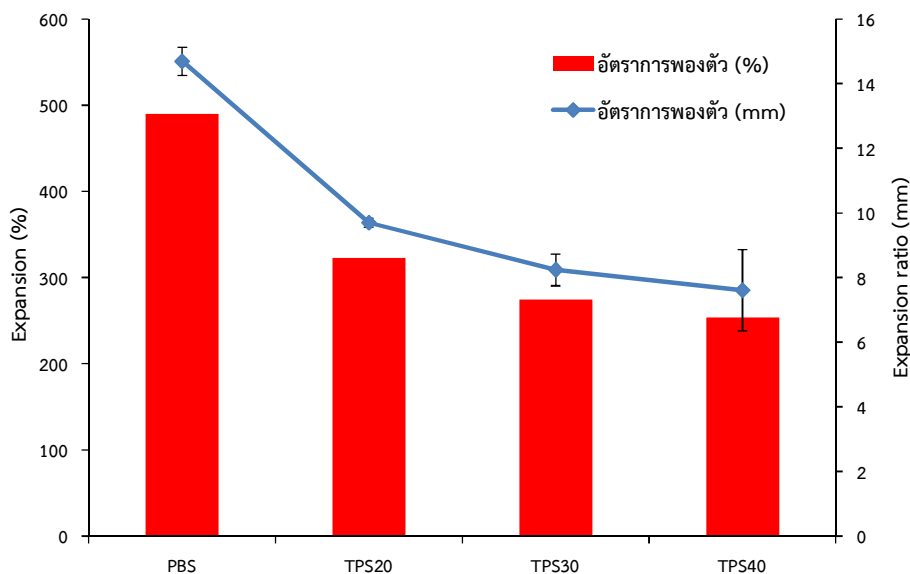
รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบลักษณะโฟมที่ได้จากการขึ้นรูปด้วย extruder (A) PBS, (B) TPS20, (C) TPS30, (D) TPS40

ความหนาแน่นของโฟมที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้วถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของโฟมมีค่าแปรผันตามปริมาณของแป้งที่ผสมในสูตรคอมปาวด์ กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งในสูตรคอมปาวด์ให้มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้โฟมที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้วมีค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถบ่งชี้ได้ว่าการเพิ่มปริมาณแป้งในสูตรคอมปาวด์จะส่งผลให้อัตราการขยายตัวของโฟมมีค่าลดลง



รูปที่ 3.8 ความหนาแน่นของตัวอย่างโฟม

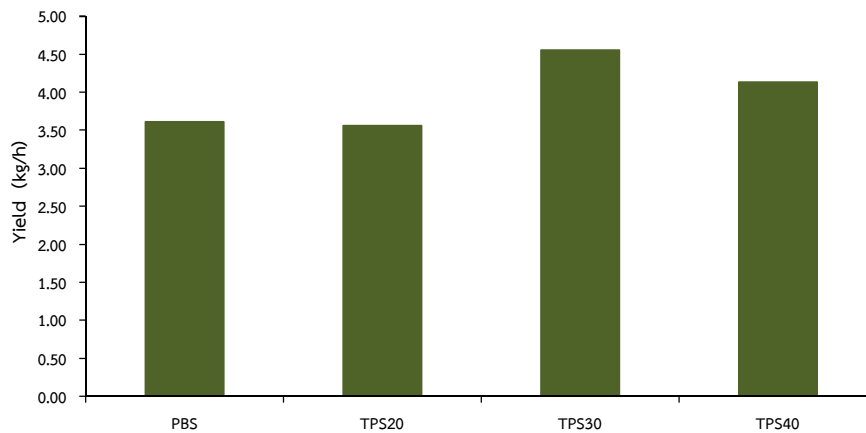
อัตราการพองตัวของตัวอย่างโฟมเป็นดัชนีบ่งชี้สำคัญถึงขีดความสามารถของสูตรคอมปาวด์และกระบวนการขึ้นรูปโฟม โดยผลการวัดอัตราการพองตัวของตัวอย่างโฟมที่ได้จากงานวิจัยนี้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 อัตราการพองตัวของตัวอย่างโฟมของสูตรคอมปาวด์ต่างๆ

พิจารณารูปที่ 3.9 พบว่าอัตราการฟองตัวของโพลีมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะการขึ้นรูปโพลีโดยใช้เรซิน PBS ซึ่งมีอัตราการฟองตัวสูงมากกว่า 400% และมีค่าอัตราการฟองตัวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแบง์ในสูตรคอมปาวด์ที่นำมาขึ้นรูปโพลี แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าอัตราการฟองตัวของตัวอย่างโพลีต่ำสุดยังมีค่าสูงกว่า 200% ซึ่งจากผลดังกล่าวเป็นดัชนีบ่งชี้ได้เป็นอย่างดีถึงขีดความสามารถของสูตรคอมปาวด์ที่ผู้วิจัยได้คิดขึ้นว่าสามารถนำไปผลิตเป็นโพลีได้ถึงแม้จะมีปริมาณแบง์เป็นส่วนผสมอยู่ในปริมาณมากก็ตาม ในการทดลองนี้มีทิศทางของอัตราการฟองตัวของโพลีตรงข้ามกับ Xu และ Hanna (2005) ซึ่งได้ศึกษาการเตรียมและคุณสมบัติของโพลีที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติจากแบง์ชนิดอะซิเตทกับ poly(tetramethylene adipate-co-terephthalate) โดยปริมาณแบง์ 60-100 % และผลิตโพลีด้วยเครื่องเอกซทรูชั่นชนิดสกรูคู่ใช้เอทานอลและน้ำเป็นสารก่อโพลี พบว่าเมื่อปริมาณแบง์ลดลงอัตราการฟองตัวของโพลี ลดลง ซึ่งอัตราการฟองตัวของโพลีมีค่าสูงที่สุดที่ประมาณ 27 ที่ปริมาณแบง์ 95 %

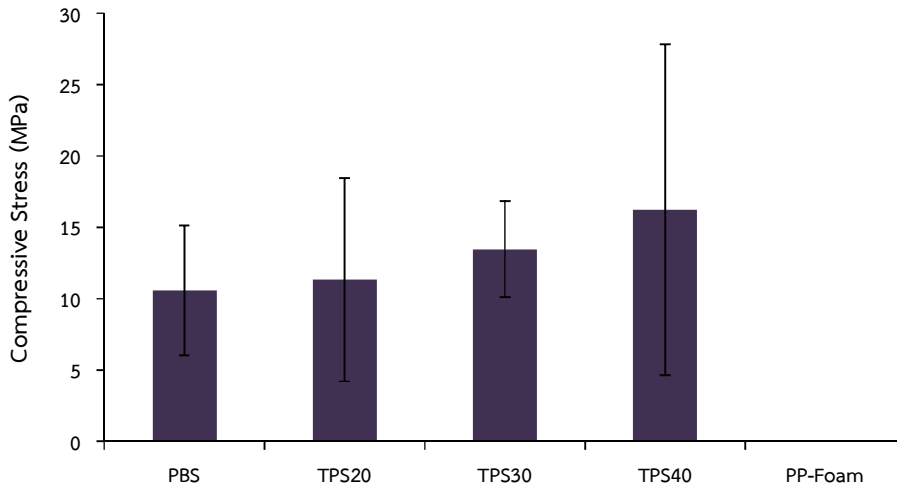
อัตราการผลิตเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความสามารถของกรรมวิธีการผลิตโดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กรรมวิธีการผลิตโพลีโดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซทรูชั่น ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไปในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากให้อัตราการผลิตสูงรวมถึงมีความเสถียรในการผลิตสูง โดยผลจากการขึ้นรูปโพลีจากงานวิจัยนี้ให้ค่าอัตราการผลิตที่ใกล้เคียงกันในทุกๆสูตรคอมปาวด์และมีอัตราการผลิตสูงสุดที่การขึ้นรูปด้วยสูตรคอมปาวด์ TPS30 และมีอัตราการผลิตต่ำสุดที่สูตรคอมปาวด์ TPS20 ซึ่งผลที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการควบคุมการผลิตต่อ



รูปที่ 3.10 อัตราการผลิตที่สูตรคอมปาวด์ต่างๆ

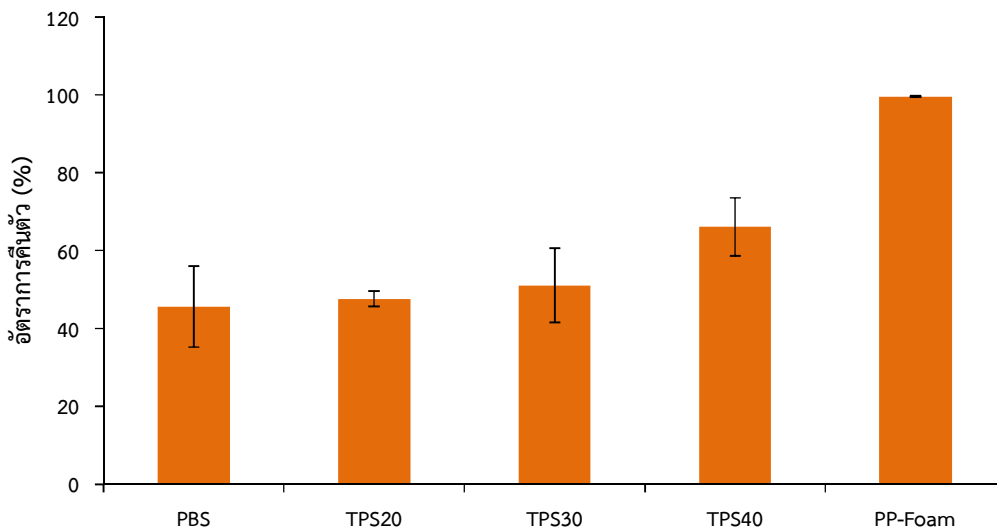
ค่า compressive strength เป็นค่าความสามารถของโพลีในการต้านแรงกดที่กระทำต่อโพลีจนเสียรูปหรือรับแรงกดต่อไปอีกไม่ได้ ซึ่งเป็นค่าแรงที่มากที่สุดที่โพลีสามารถรับแรงกดได้ ค่าดังกล่าวยังบ่งบอกถึงความแข็งแรงของโพลีได้ด้วย และจากรูปที่ 3.11 แสดงถึงค่า compressive strength ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณ TPS ที่เปลี่ยนไป เมื่อปริมาณ TPS เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า compressive strength เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณ TPS 40 เปอร์เซ็นต์มีค่า compressive strength สูงที่สุด และปริมาณ TPS 0 เปอร์เซ็นต์มีค่า compressive strength ต่ำสุด ที่ 16.24 และ 10.60 MPa ตามลำดับ เมื่อเทียบกับโพลีทางการค้าซึ่งมีค่า compressive strength เท่ากับ 0.09 MPa แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างโพลีที่ได้จากการทดลองยังมีความแข็งแรงน้อยกว่าโพลีทางการค้า และจากการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Xu และ Hanna (2005) ซึ่งได้ศึกษาการเตรียมและคุณสมบัติของโพลีที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติจากแบง์ชนิดอะซิเตทกับ

poly(tetramethylene adipate-co-terephthalate) โดยปริมาณแบ่ง 60-100 % และผลิตโฟมด้วยเครื่องเอกทรวงุ่นชนิดสกรูคู่ใช้เอทานอลและน้ำเป็นสารก่อโฟม พบว่าค่า compressibility มีค่าเพิ่มเมื่อปริมาณแบ่งลดลง ค่า compressibility สูงที่สุดเท่ากับ 6.93 MPa ที่ปริมาณแบ่ง 60 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบ่งส่งผลให้โฟมมีลักษณะที่นุ่มขึ้น ดังนั้นแบ่งจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจในการผลิตโฟมพร้อมทั้งยังเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ในธรรมชาติด้วยกระบวนการย่อยของจุลินทรีย์



รูปที่ 3.11 ค่า Compressive strength

นอกจากนี้ TPS ยังมีผลต่อค่าการคืนตัวของโฟมหลังจากขั้นตอนการ compression ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งอัตราการคืนตัวที่ TPS ปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ที่อัตราการคืนตัว 66 % และอัตราการคืนตัวต่ำสุดคือ 47 % ที่ปริมาณ TPS 0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอัตราการคืนตัวเกิน 50 % เป็นแนวทางที่ดีในการใช้แบ่งเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตเป็นโฟม และเมื่อเทียบกับโฟมทางการค้าอัตราการคืนตัวสูงถึง 99 %



รูปที่ 3.12 อัตราการคืนตัวหลังการ compression

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนากรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ในธรรมชาติจากแป้งมันสำปะหลัง เริ่มต้นจากการพัฒนาคิดค้นสูตรคอมปาวนด์สำหรับทำ loose-fill foam ที่มีแป้งเป็นส่วนผสมหลัก เทคนิคการผลิตเรซินคอมปาวนด์ครอบคลุมเรื่องกระบวนการแปรรูปแป้งเป็น thermoplastic starch และการปรับปรุงสมบัติเชิงกลสูตรคอมปาวนด์ที่เหมาะสมแก่การผลิตเป็นแผ่นไมโครเซลโฟม ผลการศึกษาวិจัยพบว่าการเพิ่มความยืดหยุ่นสูตรคอมปาวนด์ทำได้โดยการเพิ่มสารเติมแต่งในเฟสผสม เช่น PBS และสารเติมแต่งอื่นๆ ทั้งนี้ปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้มีผลต่อการเข้ากันได้ของเฟสผสม และขึ้นรูปโฟมแบบต่อเนื่องโดยเครื่องเอกซ์ทรูชันในการผลิตพบว่า อัตราการพองตัวของโฟมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งลดลง และความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แป้งยังมีผลทำให้ค่า compressive strength เพิ่มขึ้น และค่าการคืนตัวของโฟมหลังจากขั้นตอนการ compression ส่งผลให้ทราบความนุ่มของโฟมที่มีแป้งเป็นส่วนผสม



บรรณานุกรม

- Anon, 1996. Ethanol production down but packaging and adhesive uses are up, Economic Research Service, USDA, Industrial Uses, IUS-6, p 12-16.
- Boehmer E.W. and Hanlon D.L., 1993. Biodegradable expanded foam material, *US Patent No. 5,272,181*.
- Biby G., Hanna M. and Fang Q., 2001. Water resistant degradable foam and method of making the same, *US Patent No. 6,184,261*.
- Bhatnagar S. and Hanna M. A., 1996. Physical, mechanical, and thermal properties of starch-based plastic foam, *Trans. ASAE*, 38 (2), p 567-571.
- Fang Q. and Hanna M.A., 2001. Preparation and characterization of biodegradable copolyester starch based foams, *Bioresource Technology*, 78, p 115-122.
- Gilbert R.D. and Kadla J.F., 1998. Chapter 3 Polysaccharides-Cellulose in Biopolymers from Renewable Resources (Kaplan D.L.), Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Guan J. and Hanna M.A., 2004. Functional properties of extruded foam composites of starch acetate and corn cob fiber, *Industrial Crops and Products*, 19, p 255-269.
- Hudson S.M. and Smith C., 1998. Chapter 4 Polysaccharides:Chitin and Chitosan: Chemistry and Technology of Their Use and Structure Materials, in *Biopolymers from Renewable Resources* (Kaplan D.L.), Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Huneault M. A. and Li H., 2007. Morphology and properties of compatibilized polylactide/thermoplastic starch blends, *Polymer*, 48, p270-280.
- Jane J.L. and Zhang S.S., 1998. Soy protein-based thermoplastic composition for foamed articles, *US Patent No. 5,710,190*.
- Jun C. L., 2000. Reactive Blending of Biodegradable Polymers: PLA and Starch, *Journal of Polymers and the Environment*, 8(1), p33-37.
- Knight A.T., 1994. Starch derived shaped articles, *US Patent No. 5,314,754*.
- Lacourse N.L. and Altieri P.A., 1991. Biodegradable shaped products and the method of preparation thereof, *US Patent No. 5,035,930*.
- Lacourse N.L. and Altieri P.A., 1991. Biodegradable shaped products and the method of preparation thereof, *US Patent No. 5,043,196*.
- Myllarinen P., Buleon A., Lahtinen R., and Forssell P., 2002. The crystallinity of amylose and amylopectin films, *Carbohydrate Polymers* 48, p 41-48.
- Nabeshima E.H. and Grossmann M.V.E., 2001. Functional properties of pregelatinized and cross-linked cassava starch obtained by extrusion with sodium trimetaphosphate, *Carbohydrate Polymers* 45, p 347-353.
- National Starch and Chemical Co., 2000. Pregelatinized starches obtained from different botanical sources as binders in high-shear wet granulation system, Poster# 1283 presented at the AAPS 2000 annual meeting.

- Neumann P.E., Seib P.A., 1993. Starch-based biodegradable packing filler and method of preparing same, *US Patent No. 5,248,702*.
- Shogren R.L., Lawton J.W., and Tiefenbacher K.F., 2002. Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties, *Industrial Crops and Products*, 16, p 69-79.
- Tormey B.C., Altieri P.A., and Rose R. R., 1996. Expanded starch-based shaped products and the method of preparation thereof, *European Patent No. 0712883*.
- Tsai J., Kulp C.L., Maliczyszyn W., Altieri P.A., and Rawlins D.C., 1999. Starch foam products with improved flexibility and the method of preparation thereof, *US Patent No. 5,863,342*.
- Wollerdorber M. and Bader H., 1998. Influence of natural fibers on the mechanical properties of biodegradable polymers, *Industrial Crops and Products*, 8, p 105-112.
- Xu Y. and Hanna M. A., 2005. Preparation and properties of biodegradable foams from starch acetate and poly(tetramethylene adipate-co-terephthalate), *Carbohydrate Polymers*, 59, p 521-529.



ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Department of Food Science, Rutgers, the State University of New Jersey, US ปี ค.ศ. 2001 และระดับปริญญาโทจาก school of Packaging, Michigan State University, US ปี ค.ศ. 1997 มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ และวิศวกรรมอาหาร นอกจากงานสอนในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาบัณฑิต และดุษฎีบัณฑิต ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ยังสนใจดำเนินงานวิจัยอย่างต่อเนื่องโดยดำรงตำแหน่งเป็นหัวหน้าหน่วยงานวิจัยนวัตกรรมบรรจุภัณฑ์และอาหาร (Packaging and Food Innovation Research Unit, PFIR) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยผลิตผลงานวิจัยในสาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมงานวิจัยด้านวัสดุบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจนถึงงานพัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์ด้านการออกแบบบรรจุภัณฑ์ และงานวิจัยด้านนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอาหาร และงานพัฒนาแบบความสัมพันธ์ทางวิศวกรรมการผลิตอาหาร ได้แก่ food process modeling, extrusion processing, non-thermal processing, plasma technology, rheological modeling & measurement และ advanced sensing device

