



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ โฟม PP-TPS ที่ใช้น้ำเป็นสารช่วยฟูทางกายภาพ
PP-TPS foam using water as a physical blowing agent

ชื่อนิสิต นางสาวณัฐชยา พัฒนสุทธิรัตน์ เลขประจำตัว 5833221023
นางสาวอาภาสรา พัฒนศิริ เลขประจำตัว 5833268523

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

โฟม PP-TPS ที่ใช้น้ำเป็นสารช่วยพองทางกายภาพ
(PP-TPS foam using water as a physical blowing agent)

เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์

จัดทำโดย

นางสาวณัฐชยา พัฒนสุทธิรัตน์

เลขประจำตัว 5833221023

นางสาวอภัสรา พัฒนศิริ

เลขประจำตัว 5833268523

อนุมัติโดย



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑนา โอภาสกาสิต)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

ปัญหาน้ำมันดิบร่วงลงสู่ทะเลส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ งานวิจัยจึงนี้มุ่งเน้นพัฒนาโฟมดูดซับน้ำมันจากพอลิพรอพิลีน โดยใช้น้ำเป็นสารทำให้ฟูและแบ่งข้าวโพดเป็นตัวพาน้ำ ขึ้นรูปโดยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ โดยศึกษาผลของปริมาณแบ่ง สภาวะที่ใช้ขึ้นรูป และเกรดของพอลิพรอพิลีน ต่อสมบัติของโฟม PP/TPS

จากสัณฐานวิทยา ความหนาแน่น สัดส่วนการขยายตัวและค่า die swell ของโฟม PP (P401S; MFI 2 กรัม/ 10 นาที)/TPS ที่เตรียมด้วยปริมาณแบ่งร้อยละ 20 – 40 (โดยน้ำหนักของ PP) สามารถสรุปได้ว่าปริมาณแบ่งที่เหมาะสมคือร้อยละ 30 ซึ่งโปรแกรมการตั้งอุณหภูมิขึ้นรูปที่มีสัดส่วนของโซน gelatinization : mixing : cooling ที่เหมาะสมคือ 3:4:4 โฟมที่เตรียมได้จาก P401S มีลักษณะแข็ง มีความเป็นรูพรุนต่ำ ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.86 – 1.43 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความสามารถในการดูดซับน้ำมันร้อยละ 0.8 – 1.5 เมื่อทดลองปรับเปลี่ยนเกรด PP เป็นชนิดที่มีค่า MFI ระหว่าง 12 – 60 กรัม/ 10 นาที (P700J, P750J และ P900J) พบว่า สามารถเตรียมโฟมที่มีความหนาแน่นที่ต่ำกว่า โดยมีค่าในช่วง 0.39 - 0.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 15.9 - 27.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry พบว่าพอลิพรอพิลีนที่มีโครงสร้าง และดัชนีการไหลที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการเข้ากันได้ของแบ่ง เมื่อพิจารณาเส้นโฟมที่ถูกอัดรีดผ่านตาย พบว่าเสถียรภาพทางรูปร่างของโฟมขึ้นอยู่กับดัชนีการไหล โดยเสถียรภาพของรูปร่างจะดีกว่าในสูตรใช้พอลิพรอพิลีนที่มีค่า MFI ไม่สูงเกินไปนัก

Abstract

Oil spills have created huge environmental and ecological effects. Therefore, this study is aimed to develop polypropylene foam for using as oil absorbent. Foams were prepared with twin screw extruder using water as a physical blowing agent and starch as a water carrier. Effects of starch content, extruder's temperature profile and PP grades were investigated.

It can be concluded from the results of morphology, density, expansion ratio and die swell of PP (P401S; MFI 2 g/10min)/TPS foams, prepared with starch content 20 – 40 (% by weight of PP), that 30% starch is the most suitable. Temperature profile of extruder with the ratio of gelatinization zone : mixing zone : cooling zone of 3:4:4 is the most effective condition. PP foams from P401S are hard, high density (0.86-1.43 g/cm³), low expansion ratio and %oil absorption (0.8-1.5%). It was found that PP foams with much lower density (0.39-0.64 g/cm³) can be achieved by using PP with MFI ranging from 12-60 g/10 min (P700J, P750J and P900J). Moreover, foams with much higher % oil absorption, 15.9-27.3%, is successfully produced. Results from differential scanning calorimetry indicated that compatibility between PP and starch depends strongly on PP structure and MFI. By monitoring shape of extrudate after exit from die, it was found that MFI of PP affects on shape stability. PP with not too high MFI can fabricate foams with good shape stability.

คำนำ

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรีเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาศักยภาพในด้านต่างๆของนิสิต ทั้งด้านการสังเกต การวิเคราะห์ การให้เหตุผลและการแก้ปัญหาที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างเป็นระบบและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยความรู้และความสามารถในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และสารเคมีที่ถูกต้องตามหลักการทำงานอย่างปลอดภัย

รายงานนี้จัดทำเพื่อให้เป็นตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยระดับปริญญาตรี โดยงานวิจัยเพื่อกระบวนการเตรียมโพลิเมอร์พอลิพรอพิลีนโดยใช้น้ำเป็นสารทำให้ฟูและแป้งข้าวโพดเป็นตัวพา โดยมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนแป้งต่อพอลิพรอพิลีน เกรดของพอลิพรอพิลีน รวมถึงการปรับเปลี่ยนโปรแกรมการตั้งอุณหภูมิขึ้นรูปของเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ที่มีผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา อุณหภูมิการหลอมผลึก ปริมาณผลึกและความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วิธีการดำเนินงาน ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองได้รวบรวมในรายงานฉบับนี้

คณะผู้จัดทำหวังว่าโครงการนี้จะช่วยเพิ่มพูนความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านหรือสนใจเพื่อประกอบในการศึกษาและเป็นองค์ความรู้เพื่อทำการวิจัยในภายภาคหน้า หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นั้น เนื่องด้วยได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ตลอดจนความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือ วัสดุดิบสำหรับการทำงานวิจัย และทุนวิจัย อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำงานวิจัยจากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มัณฑนา โอภาประกาศิต อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ให้คำปรึกษา การแนะนำการใช้เครื่องมือ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาในการวิจัย

ขอขอบคุณภาคีชาวสัตวศาสตร์ ที่ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณสมคิด ทองศิลา คุณภรณพ เหมพันธุ์พิรุฬห์ และคุณอนุรักษ์ อ่อนนุ่ม ที่ให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือทดสอบต่าง ๆ และอำนวยความสะดวกในการยืม-คืนอุปกรณ์ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้วิจัย จนสามารถสร้างสรรค์งานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จตามที่มุ่งหวัง

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	ก
Abstract	ข
คำนำ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
บทที่ 2	3
ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พอลิพรอพิลีน	3
2.2 โฟมพลาสติก.....	4
2.3 สารฟู (Blowing agent)	6
2.4 Twin-screw Extrusion	7
2.5 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (thermoplastic starch, TPS)	8
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	8
2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	8
2.7.2 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (DSC).....	9
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3	21

การดำเนินงานวิจัย.....	21
3.1 วัตถุประสงค์	21
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	21
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม	21
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบ.....	22
3.3 ขั้นตอนการเตรียมโฟม.....	22
3.3.1 การเตรียมโฟมเพื่อหาปริมาณแป้งข้าวโพด และอุณหภูมิที่เหมาะสมด้วย PP401S.....	22
3.3.2 การเตรียมโฟมด้วย PP เกรดต่างๆ.....	24
3.4 การทดสอบสมบัติของโฟม.....	25
3.4.1 ความหนาแน่น สัดส่วนการขยายตัวของโฟม (Expansion ratio, ER) และการขยายตัวเมื่อเทียบกับหัวตาย (Die swell).....	25
3.4.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำ/น้ำมัน	25
3.4.3. อุณหภูมิการหลอมผลึกและปริมาณผลึก	26
บทที่ 4.....	27
ผลการทดลอง.....	27
4.1 การศึกษาผลของน้ำต่อพฤติกรรมของแป้งข้าวโพด	27
4.2 การศึกษาผลของปริมาณแป้งต่อ สันฐานวิทยา ความหนาแน่น สัดส่วนการขยายตัว และการบวมตัว.....	28
4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่สภาวะต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความหนาแน่น และสัดส่วนการขยายตัว	30
4.4 การศึกษาผลของโครงสร้างและดัชนีการไหลของ PP ต่อความเข้ากันได้กับแป้ง ความหนาแน่น และสันฐานวิทยาของโฟม.....	31
4.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำของโฟม.....	39
บทที่ 5.....	42
สรุปผลการทดลอง	42
เอกสารอ้างอิง.....	43

สารบัญรูป

รูปที่ 2. 1 โครงสร้างโพลีเอทิลีนเปิด(ซ้าย) และโครงสร้างโพลีเอทิลีนปิด(ขวา)^[3]4

รูปที่ 2. 2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีด (Extruder)^[6] 7

รูปที่ 2. 3 ลักษณะสกรูแบบหมุนไปในทิศทางตรงข้ามกัน (ก) และแบบหมุนไปในทิศทางเดียวกัน (ข)^[7]8

รูปที่ 2. 4 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer 9

รูปที่ 2. 5 หลักการทำงานของ Differential scanning calorimeter, DSC.....10

รูปที่ 2. 6 DSC thermogram ของ PET10

รูปที่ 2. 7 สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์11

รูปที่ 2. 8 ผลของความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโพลีเอทิลีนต่อขนาดและความหนาแน่นของเซลล์.....12

รูปที่ 2. 9 สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่เตรียมจาก ADC ที่ปริมาณต่างกัน12

รูปที่ 2. 10 ผลของปริมาณ ADC ต่อขนาดของเซลล์โพลีเอทิลีน12

รูปที่ 2. 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพัทธ์ของการดูดซับพลังงาน (Relative Density of Absorbed Energy) และความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโพลีเอทิลีน (Relative Density).....13

รูปที่ 2. 12 อัตราการขยายตัวของเซลล์โพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิต่างๆของโพลีเอทิลีนไตรีนและโพลีเอทิลีนไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูงที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (ก) โพลีเอทิลีนไตรีน (ข) และโพลีเอทิลีนไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง15

รูปที่ 2. 13 สัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนที่เตรียมจากการใช้อุณหภูมิคาร์บอนที่แตกต่างกัน.....16

รูปที่ 2. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการนำความร้อนกับความเข้มข้นของอนุภาคคาร์บอน16

รูปที่ 2. 15 ลักษณะของโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในโพลีเอทิลีนที่เตรียมโดยใช้อุณหภูมิคาร์บอนชนิด GR และ CNF17

รูปที่ 2. 16 อัตราส่วนการขยายตัวของเซลล์ของโพลีเอทิลีน PP-TPS กับปริมาณน้ำในแป้งข้าวโพดของ PP-TPS1018

รูปที่ 2. 17 อัตราส่วนการขยายตัวของเซลล์กับปริมาณน้ำในแป้งข้าวโพดของ PP-TPS10 (ก) และปริมาณที่ลึกลับที่อัตราส่วนของน้ำเท่ากับร้อยละ 24 โดยน้ำหนัก (ข).....18

รูปที่ 2. 18 อัตราส่วนการขยายตัวของเซลล์กับปริมาณน้ำในแป้งข้าวโพดของ PP-TPS3018

รูปที่ 2. 19 สัณฐานวิทยาของเซลล์โพลีเอทิลีนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไม่ใส่สารก่อผลึก และใส่สารก่อผลึกที่อัตราส่วนแตกต่างกัน (a) ไม่ใส่สารก่อผลึก (b) แคลเซียมคาร์บอเนต 2 wt% (c) MMT 2wt% (d) ทัลก์ 2wt%.....19

รูปที่ 2. 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางหัวด้ายกับค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์และความหนาแน่นของเซลล์19

รูปที่ 2. 21 เปรียบเทียบมุมสัมผัสของน้ำเมื่อโพลีเอทิลีนไตรีนมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ที่แตกต่างกัน20

รูปที่ 2. 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันกับค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์20

รูปที่ 4. 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของโพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีปริมาณแป้งต่างกัน โดยใช้ PP เกรด P401S ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และเตรียมด้วยสภาวะที่ 1.....28

รูปที่ 4. 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งต่อความหนาแน่นของโพลีเมอร์ของสูตรที่เติมน้ำและไม่เติมน้ำ29

รูปที่ 4. 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งอัตราการขยายตัวของโพลีเมอร์ และการบวมตัวของโพลีเมอร์สูตรที่มีการเติมน้ำ29

รูปที่ 4. 4 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP (P401S)/TPS ที่เตรียมด้วยสภาวะที่ 1, 2 และ 330

รูปที่ 4. 5 สัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์ PP (P401S)/TPS ที่เตรียมด้วยสภาวะที่ 1, 2 และ 3.....30

รูปที่ 4. 6 DSC เทอร์โมแกรมจากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1st heat) ของเม็ด PP บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ PP ที่ขึ้นรูปด้วยสภาวะที่ 4 เมื่อใช้ PP ที่ใช้เป็นเกรด (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ(ค) P₉₀₁.....32

รูปที่ 4. 7 DSC เทอร์โมแกรมจากการลดอุณหภูมิ (cooling) ของเม็ด PP บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ PP ที่ขึ้นรูปด้วยสภาวะที่ 4 เมื่อใช้ PP ที่ใช้เป็นเกรด (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ(ค) P₉₀₁.....32

รูปที่ 4. 8 DSC เทอร์โมแกรมการให้ความร้อนครั้งที่ 2 (2nd heat) ของเม็ด PP บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ PP ที่ขึ้นรูปด้วยสภาวะที่ 4 เมื่อใช้ PP ที่ใช้เป็นเกรด (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ(ค) P₉₀₁.....33

รูปที่ 4. 9 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁ ที่เตรียมด้วยสภาวะที่ 4 เปรียบเทียบกับความหนาแน่นของ PP70 ที่เตรียมด้วยสภาวะที่ 3.....34

รูปที่ 4. 10 สัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์สูตร (ก) PP70 (ข) P₇₀₀ (ค) P₇₅₀ และ (ง) P₉₀₁.....34

รูปที่ 4. 11 ลักษณะของโพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปจากสูตร (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ(ค) P₉₀₁.....34

รูปที่ 4. 12 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP สูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่าง P700/P901 และ P750/P901 เป็น 1/2, 1/1 และ 2/1.....35

รูปที่ 4. 13 สัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์สูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่สัดส่วนต่าง ๆ.....35

รูปที่ 4. 14 ลักษณะของโพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปจากสูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่สัดส่วนต่างๆ เทียบกับ PP สูตรที่ไม่ได้ผสม36

รูปที่ 4. 15 DSC เทอร์โมแกรมของโพลีเมอร์สูตร P₇₀₉ (ก) การให้ความร้อนครั้งที่ 1 (ข) การลดอุณหภูมิ (cooling) และ(ค) การให้ความร้อนครั้งที่ 2.....38

รูปที่ 4. 16 ความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันของโพลีเมอร์ PP/TPS จาก เกรด P401S40

รูปที่ 4. 17 ความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันของโพลีเมอร์ PP/TPS จาก เกรด P700J, P750J และ P901J40

รูปที่ 4. 18 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโพลีเมอร์ PP ที่ใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง P₉₀₁ กับ P₇₀₀ และ P₇₅₀ ที่สัดส่วนต่าง ๆ40

รูปที่ 4. 19 ความสามารถในการดูดซับน้ำของโพลีเมอร์ PP ที่ใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง P₉₀₁ กับ P₇₀₀ และ P₇₅₀ ที่สัดส่วนต่าง ๆ41

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3. 1 ปริมาณ PP แบ่งข้าวโพดและน้ำกลั่นในของผสมสูตรต่างๆ23

ตารางที่ 3. 2 อุณหภูมิของเครื่อง co-rotating twin screw extruder ในโซนต่างๆ เพื่อทดลองขึ้นรูปโฟม
23

ตารางที่ 3. 3 ปริมาณ PP เกรดต่างๆ แบ่งข้าวโพดและน้ำกลั่นในของผสมสูตรต่างๆ24

ตารางที่ 3. 4 อุณหภูมิของเครื่อง co-rotating twin screw extruder ในโซนต่างๆ เพื่อทดลองขึ้นรูปโฟม
24

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากปัญหาน้ำมันดิบร่วงลงสู่ทะเล ส่งผลให้เกิดคราบน้ำมันที่ทำให้เกิดความเสียหายกับระบบนิเวศ วิธีการแก้ปัญหาสามารถทำได้ด้วยวิธีทางเคมีและทางกายภาพ โดยวิธีทางเคมีใช้การฉีดพ่นสารเคมี เพื่อให้คราบน้ำมันแตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง และอาศัยเวลาเพื่อให้แบคทีเรียในธรรมชาติย่อยสลายไปในที่สุด เมื่อมีการใช้สารเคมีปริมาณมาก จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงสารตกค้างในสิ่งแวดล้อม วิธีทางกายภาพที่นิยมใช้ เช่น การใช้ฟุ้งกันน้ำมัน การเผาทำลายเพื่อลดปริมาณน้ำมันดิบ และการใช้วัสดุดูดซับน้ำมัน

การใช้วัสดุดูดซับเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดสารพิษ และในบางประเภท เช่น โฟมดูดซับน้ำมันยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้ไม่ทิ้งสารตกค้างในสิ่งแวดล้อม และลดต้นทุนในการกำจัด วัสดุดูดซับน้ำมันควรจะมีคุณสมบัติเหมาะสมต่ำเพื่อสามารถลอยตัวในน้ำได้ดี มีโครงสร้างเป็นโพรงจำนวนมาก เพื่อมีพื้นที่ผิวในการดูดซับและกักเก็บน้ำมัน งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นประโยชน์ของการพัฒนาวัสดุดูดซับในลักษณะโฟม ในปัจจุบันโฟมที่ใช้โดยทั่วไปในตลาดมีทั้งจาก พอลิยูรีเทน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิพรอพิลีน เมื่อพิจารณาสมบัติของโฟมพอลิยูรีเทนซึ่งมีราคาถูก สามารถลอยตัวได้ดี แต่มีคุณสมบัติที่ค่อนข้างชอบน้ำ ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เพื่อดูดซับน้ำมัน นอกจากทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของโฟมพอลิยูรีเทนให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การขึ้นรูปมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นและทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นตามมา หากพิจารณาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โฟมจากพอลิพรอพิลีนมีความน่าสนใจมากกว่าพอลิสไตรีนและพอลิไวนิลคลอไรด์

การขึ้นรูปพลาสติกให้มีลักษณะที่เป็นโฟมสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น ในกระบวนการขึ้นรูปพอลิยูรีเทนโฟม จะใช้กระบวนการขั้นตอนเดียว (one step process) โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างพอลิเอสเทอร์ที่มีหมู่ปลายสายโซ่เป็นหมู่คาร์บอกซิลและโพลูอินไดไฮโดรไซยาเนต เกิดผลพลอยได้คือแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นรู แต่ในพลาสติกทั่วไป เช่น พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือพอลิโอเลฟิน การทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นโฟมจะต้องอาศัยการใส่สารทำให้ฟู (blowing agent) ซึ่งสารทำให้ฟูที่ใช้มีทั้งสารทำให้ฟูทางกายภาพและสารทำให้ฟูทางเคมี สารทำให้ฟูทางเคมีจะทำให้เกิดแก๊สเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี เช่น Azodicarbonamide ที่สามารถแตกตัวให้แก๊สไนโตรเจนระหว่างกระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์โฟมในอุตสาหกรรมหนังเทียม ส่วนสารทำให้ฟูทางกายภาพ จะใช้สารที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้เมื่อได้รับความร้อนระหว่างกระบวนการผลิต เช่น น้ำ แก๊สไนโตรเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารทำให้ฟูทั้งสองประเภท พบว่าการใช้สารทำให้ฟูทางกายภาพจะมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาถูกกว่า แต่หากใช้สารฟูทางกายภาพที่เป็นแก๊สจะต้องใช้เครื่องจักรที่มีความซับซ้อน จึงมีข้อจำกัดในกระบวนการขึ้นรูปมากกว่า

งานวิจัยนี้สนใจกระบวนการขึ้นรูปโพลีพรอพิลีนโดยใช้น้ำเป็นสารทำให้ฟู เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องขึ้นรูปได้ไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม การใช้แนวทางดังกล่าวจำเป็นต้องมีตัวพาน้ำให้สามารถผสมเข้ากับพลาสติกได้ ซึ่งมีผลการวิจัยรายงานว่า เส้นใยไม้ อนุภาคคาร์บอน และแป้งข้าวโพดสามารถเป็นตัวพาน้ำได้ โครงการนี้มุ่งเน้นศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมโพลีพรอพิลีนโม่โดยใช้แป้งข้าวโพดซึ่งหาได้ง่ายในประเทศด้วยเครื่องผสมแบบสกรูคู่ เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของโม่ที่เตรียมได้ เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างโพลีพรอพิลีนและแป้งข้าวโพดต่างๆ
2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของโม่ที่เตรียมได้ เมื่อใช้โพลีพรอพิลีนที่มีโครงสร้าง และดัชนีการไหลที่แตกต่างกัน
3. ศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโพลีพรอพิลีนโม่

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เตรียมโม่โพลีพรอพิลีนโดยใช้น้ำเป็นสารฟู และแป้งข้าวโพดเป็นตัวพาน้ำ ด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างโพลีพรอพิลีนและแป้งข้าวโพดเป็น 90:10 80:20 75:25 70:30 65:35 และ 60:40
2. ขึ้นรูปโม่โพลีพรอพิลีนโดยทดลองปรับเปลี่ยนอุณหภูมิทั้ง 11 โซนของเครื่องผสมสกรูคู่ เป็น 3 ส่วน คือ gelatinization zone ($60-100^{\circ}\text{C}$) mixing zone ($190-230^{\circ}\text{C}$) และ cooling zone ($150-190^{\circ}\text{C}$)
3. ตรวจสอบความหนาแน่น และสัดส่วนการขยายตัวของโม่ด้วยพิกโนมิเตอร์
4. ตรวจสอบลักษณะสัญญาณวิทยาของโม่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
5. ทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันด้วยการเปรียบเทียบน้ำหนักโม่ก่อนดูดซับและหลังดูดซับน้ำมัน
6. ศึกษาความเข้ากันได้ของโพลีพรอพิลีน และแป้งข้าวโพดโดยการทดสอบสมบัติทางด้านความร้อนของโม่ด้วยเทคนิควิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Differential scanning calorimetry, DSC)

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิพรอพิลีน ^[1]

พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นพอลิเมอร์ยืดหยุ่นที่มีคุณสมบัติเฉพาะโดดเด่นในตระกูลของเทอร์โมพลาสติกด้วยคุณสมบัติของโครงสร้างกิ่งผลึก ทำให้วัสดุนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย พอลิพรอพิลีนเหมาะกับการใช้งานในกรรมวิธีแบบเปียก (Wet Process) และแบบแห้ง (Dry Process) ทำให้ได้สมบัติที่ผสมผสานกันระหว่างความแข็งแรง ความคงทน และความคงรูป ไม่มีปัญหาแตกร้าวเนื่องจากแรงเค้น และทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าและเคมีที่ยอดเยี่ยม ภายใต้อุณหภูมิที่สูง นอกจากนี้มันยังง่ายต่อการปรับแต่ง การขึ้นรูปด้วยความร้อน การขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ และการเชื่อมประสาน

2.1.1 คุณสมบัติสำคัญของพอลิพรอพิลีน ในการนำมาใช้เป็นวัสดุดังนี้

- มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้เหมาะสำหรับการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ และการใส่ของร้อน
- การต้านทานการเปลี่ยนแปลงสภาพในทางเคมีที่สูง ทำให้พอลิพรอพิลีนทนต่อการซึมผ่านชั้นวัสดุ และทนต่อเคมีภัณฑ์
- ทนต่อการกระแทกแม้ในอุณหภูมิต่ำ
- ทนต่อการแตกร้าวจากแรงเค้น
- กันน้ำได้ดี
- มีความโปร่งแสงดี โดยเฉพาะเมื่อเป็นโคพอลิเมอร์ (Copolymers)
- สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ (Recyclable)
- พอลิพรอพิลีนเป็นวัสดุที่มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ และให้ผลลัพธ์ที่เป็นการผสมผสานกันของคุณสมบัติที่ดีเยี่ยม ทั้งในเชิงกายภาพ เชิงเคมี เชิงกล เชิงความร้อนและเชิงไฟฟ้า ที่ไม่สามารถพบได้ในวัสดุเทอร์โมพลาสติกอื่นๆ

2.1.2 การใช้งาน

พอลิพรอพิลีนสามารถนำมาผ่านกรรมวิธีทางเทอร์โมพลาสติกได้แทบจะทุกรูปแบบ โดยส่วนใหญ่แล้วกรรมวิธีการผลิตสินค้าโดยใช้พอลิพรอพิลีนจะมีหลายวิธี เช่น การฉีดขึ้นรูป, การเป่าขึ้นรูป, การอัดขึ้นรูป, การขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง, การเป่าขึ้นรูปแบบฉีดเป่า, การอัดรีดขึ้นรูป, การขึ้นรูปแบบฉีดเป่าแล้วยืด และการอัดรีดทั่วไป

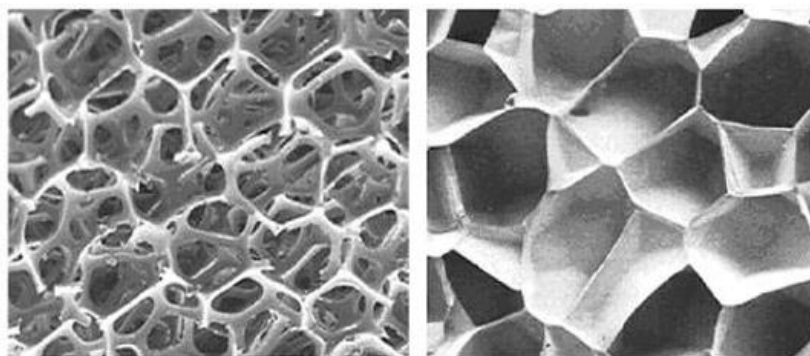
2.2 โฟมพลาสติก^[2]

โฟมพลาสติก (plastic foam) เรียกอีกอย่างว่า เซลลูลาร์พอลิเมอร์ (cellular polymer) หรือ เอกซ์แพนเด็ดพลาสติก (expanded plastic) หมายถึง พลาสติกที่มีโพรงของก๊าซขนาดเล็กจำนวนมากกระจายอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ ในการผลิตจะใช้สารฟู (blowing agent) ทำให้พลาสติกเกิดการขยายตัวเป็นโพรงและมีความหนาแน่นลดลง ทำให้โฟมน้ำหนักเบา

2.2.1 การจำแนกประเภทของโฟมตามลักษณะของเซลล์ (Foam Classification)

2.2.1.1) โฟมชนิดเซลล์เปิด (Open-Cell Foam) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์ ซึ่งก๊าซสามารถผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์อื่นๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ซ้าย) สามารถเตรียมได้จากเทคนิคความดันต่ำ (low-pressure technique) โฟมที่มีสัณฐานโครงสร้างแบบนี้มีสมบัติยืดหยุ่น ทำให้เหมาะในการใช้ทำเบาะนั่งในรถยนต์ ที่นอน บรรจุกัมภ์ และวัสดุกันกระแทก เป็นต้น

2.2.1.2) โฟมชนิดเซลล์ปิด (Closed-Cell Foam) สัณฐานโครงสร้างของเซลล์จะประกอบด้วยเยื่อบางๆ เรียกว่า หน้าต่างเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ขวา) ทำให้ก๊าซไม่สามารถผ่านไประหว่างเซลล์ได้ แต่การเคลื่อนที่ของก๊าซจะทำได้โดยการแพร่ผ่านผนังเซลล์ สามารถเตรียมได้โดยใช้เทคนิคความดันสูง (high-pressure technique) โฟมแบบนี้จะแข็งและเหมาะในการนำไปใช้งานเป็นฉนวนความร้อน ทุ่นลอย หรือใช้ในเสื้อชูชีพ เป็นต้น



รูปที่ 2. 1 โครงสร้างโฟมเซลล์เปิด(ซ้าย) และโครงสร้างโฟมเซลล์ปิด(ขวา)^[3]

โฟมโดยทั่วไปที่เตรียมได้จะมีโครงสร้างทั้งแบบเซลล์เปิดและเซลล์ปิดรวมอยู่ด้วยกัน ซึ่งสัดส่วนระหว่างเซลล์เปิดและเซลล์ปิดของโฟมนี้จะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของโฟม ในโฟมที่มีสัดส่วนเซลล์ปิดมากกว่าจะส่งผลโฟมชนิดนั้นค่าความแข็งตึง (stiffness) และความแข็งแรง(strength) ที่สูง

2.2.2 กระบวนการการเกิดโฟม (Foam Formation)

กระบวนการเกิดโฟมของพอลิเมอร์ เรียกว่า กระบวนการขยายตัว (expansion process) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเกิดฟอง (Bubble Formation or Initiation) ขั้นตอนการเพิ่มขนาดของฟอง (Bubble Growth) และขั้นตอนการคงรูปของฟอง (Bubble Stability)

ขั้นตอนที่ 1 การเกิดฟอง (Bubble Formation or Initiation) หรือขั้นตอนการเกิดนิวเคลียส (nucleation) เป็นขั้นที่ทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นในพอลิเมอร์เหลวและขยายตัวต่อไป กระบวนการทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นมีอยู่ด้วยกันสองแบบคือ กระบวนการเกิดนิวเคลียสในตนเอง (Self-Nucleation) และกระบวนการทำให้เกิดนิวเคลียส (Nucleation Process) เป็นการเกิดฟองโดยใช้สารทำให้เกิดนิวเคลียส (nucleating agent)

การทำให้พลาสติกเกิดฟองก๊าซในโครงสร้างมีหลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น การสลายตัวทางความร้อนของสารฟูทางเคมี เช่น การสลายตัวของ azodicarbonamide (ADC) เกิดก๊าซไนโตรเจน การเกิดฟองก๊าซเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาระหว่างไอโซไซยานเนตกับน้ำในกระบวนการเตรียมโฟมโพลียูรีเทน การลดความดัน และการกลายเป็นไอของของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำในเนื้อพลาสติก

ขั้นตอนที่ 2 การเพิ่มขนาดของฟอง (Bubble Growth) การเพิ่มขนาดของฟองเกิดจากการแพร่ของเฟสของเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์เข้าไปสู่ฟองก๊าซ ฟองที่เกิดขึ้นในขั้นแรกจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งจะขยายตัวต่อไปภายใต้ภาวะที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 3 การคงรูปของฟอง (Bubble Stability) เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการเกิดโฟม ขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่ทำให้ฟองก๊าซเกิดความเสถียร เฟสของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของแข็งผ่านกระบวนการ crosslink หรือการ cooling เพื่อป้องกันการเกิดการไหลของพอลิเมอร์ ทำให้โฟมกลายเป็นของแข็งคงรูป

2.2.3 ประโยชน์และการใช้งานของโฟมพลาสติก

- ฉนวนความร้อน (Thermal Insulation) ลักษณะของโฟมที่ใช้ในงานประเภทนี้มักเป็นโฟมชนิดเซลล์ปิด เช่น โฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็ง
- บรรจุภัณฑ์ (Packaging) เช่น ใช้เป็นกล่องโฟมใส่อาหาร โฟมกันกระแทกสำหรับบรรจุสินค้า
- ทำเบาะหรือนอนวม (Cushioning) ส่วนมากจะเป็นโฟมชนิดยืดหยุ่น เช่น โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น โฟมพอลิเอทิลีน เพราะโฟมเหล่านี้มีความสามารถในการยืดหดที่สูง (high resilience) สามารถรับแรงและกระจายแรงได้ดี
- วัสดุลอยตัว (Buoyancy) เช่น ท่อน กระดานโต้คลื่น และเสื้อชูชีพ เป็นต้น
- วัสดุดูดซับและป้องกันเสียง (Sound Absorption and Insulation) ที่ใช้งานตามห้องอัดเสียง โรงภาพยนตร์ และห้องประชุมต่างๆ โดยโฟมที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นโฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่น

- งานโครงสร้าง (Structure) เช่น ทำเฟอร์นิเจอร์ ทำโครงสร้างของเครื่องบิน หรือยานอวกาศ เป็นต้น
- การประยุกต์ใช้แบบอื่นๆ เช่น ใช้เป็นไส้กรอง (filter) ใช้ในงานถักทอ และทำผ้าก๊อช (gauze)

2.3 สารฟู่ (Blowing agent) ^[4]

สารฟู่ (Blowing Agent) เป็นสารเติมแต่งที่ถูกเติมลงในพอลิเมอร์ เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างเป็นช่องว่างเล็ก ๆ (Foam) ในผลิตภัณฑ์ สารพวกนี้จะสลายตัวที่อุณหภูมิของกระบวนการผลิต และให้ก๊าซเฉื่อยออกมา เช่น ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นช่องว่างเล็กๆ ซึ่งสารฟู่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

2.3.1) Mechanical Blowing Agent เป็นสารที่ไม่มีประจุ ส่วนใหญ่จะเป็นการรวมตัวกันของ Oil Soluble Surfactant ชนิดต่าง ๆ ทำให้ได้ Foam Property ดี

2.3.2) Physical Blowing Agent ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างการเกิดโฟมด้วยการปล่อย External Pressure สารนี้จะไม่มีกลิ่นและไม่เป็นพิษแบ่งออกเป็น

- Gaseous Blowing Agent เช่น อากาศ ก๊าซไนโตรเจน ที่ใช้ใน High Pressure Process และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ใน Low Pressure Process
- Liquid Blowing Agent เป็นสาร ไม่มีสี ไม่เป็นพิษ มีเสถียรภาพทางความร้อนดี เช่น น้ำ

2.3.3) Chemical Blowing Agent เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่ปล่อยก๊าซออกมาเนื่องจากการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง มีเสถียรภาพทางความร้อนดีแบ่งออกเป็น

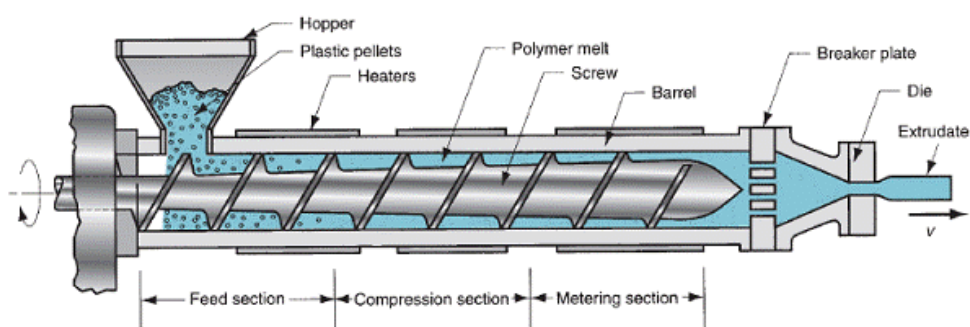
- Inorganic Blowing Agent โดยมากจะเป็นพวกเกลืออัลคาไลน์เนื่องจากมีราคาถูก แต่อายุการเก็บรักษาสั้น กระจายตัวในพอลิเมอร์ยาก เพราะก๊าซที่เกิดขึ้นพร้อมที่จะควบแน่นหรือมีอัตราการแพร่กระจายตัวสูง ทำให้โฟมที่ได้มีขนาดไม่คงที่ เช่น Ammonium Bicarbonate
- Organic Blowing Agent ส่วนใหญ่เป็นพวกสารอินทรีย์ที่ปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกมาเป็นองค์ประกอบหลัก อัตราการสลายตัวจะขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิ

เนื่องจากสารฟู่ที่ใส่ในพอลิเมอร์จะส่งผลต่อโครงสร้าง และสมบัติของพอลิเมอร์อย่างมาก ดังนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลต่อสมบัติและกระบวนการขึ้นรูปโฟม คือสารฟู่ที่ใช้ต้องไม่เป็นพิษและต้องเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ อีกทั้งต้องไม่มีผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ด้วย ในการใช้สารฟู่ต้องคำนึงถึงปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นและการปล่อยก๊าซต้องเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิแคบๆ เนื่องจากต้องควบคุมอัตราการเกิดก๊าซ และก๊าซที่เกิดขึ้นจะเกิดในเวลาอันรวดเร็ว โดยสารที่เหลือจากการปล่อยก๊าซออกมาจะต้องไม่มีสีและกลิ่น นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในการผลิตและการสลายตัวของสารด้วย และสิ่งที่สำคัญต่อการผลิตคือสารฟู่ควรจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

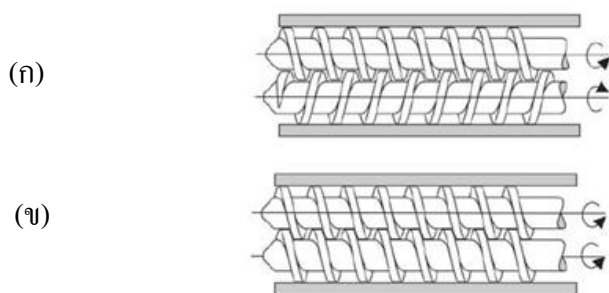
2.4 Twin-screw Extrusion^[5]

กระบวนการอัดรีด (Extrusion) เป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่วัสดุที่อยู่ภายในอุปกรณ์รูปทรงกระบอก (barrel) ให้เกิดการอ่อนตัวหรือหลอม และเกิดแรงอัดเพื่อให้วัสดุสามารถไหลผ่านทางช่องออกหรือหัวตาย (die) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของวัสดุที่ไหลออกมา (Extrudate) ให้มีลักษณะตามต้องการ เครื่องอัดรีดสามารถจำแนกได้เป็นสองประเภทตามจำนวนสกรูที่อยู่ภายในกระบอกผสม (barrel) ได้แก่ เครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) และเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ (Twin-screw extruder) โดยเครื่องอัดรีดทั้งสองประเภทจะมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกันตามรูปที่ 2.2 ต่างกันเพียงจำนวนสกรูในกระบอก

เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ประกอบด้วยสองสกรูภายในกระบอกเดียว ทำให้สามารถจำแนกเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ตามทิศทางการหมุนของสกรูภายในกระบอก ได้แก่ เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ที่สกรูหมุนไปในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating twin screw extruder) และเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ที่สกรูหมุนไปในทิศทางตรงข้ามกัน (Counter-rotating twin screw extruder) (รูปที่ 2.3ก) เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ที่สกรูหมุนไปในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating twin screw extruder) (รูปที่ 2.3ข) จะมีกลไกการลำเลียงเหมือนกับเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยว แต่พอลิเมอร์จะได้รับแรงเฉือนสูงกว่า และลำเลียงในระยะที่ยาวกว่า มักใช้ในกระบวนการผสมสารตัวเติมของพอลิเมอร์ (compounding) กระบวนการผสมของพอลิเมอร์ (blending) เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ที่สกรูหมุนไปในทิศทางตรงข้ามกัน (Counter-rotating twin screw extruder) โดยจะมีกระบวนการลำเลียงพอลิเมอร์ไปสู่หัวตายที่แตกต่างกันออกไป คือ การลำเลียงจะเกิดขึ้นโดยไม่มีการแลกเปลี่ยนพอลิเมอร์กับห้องผสมข้างเคียง (chamber) มักใช้ในงานผสม (compounding) ที่ต้องการประสิทธิภาพสูงๆ และเหมาะกับพอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อนสูง เนื่องจากมีระยะการเดินทางในกระบอกผสมน้อย



รูปที่ 2. 2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีด (Extruder)^[6]



รูปที่ 2. 3 ลักษณะสกรูแบบหมุนไปในทิศทางตรงข้ามกัน (ก) และแบบหมุนไปในทิศทางเดียวกัน (ข)^[7]

ข้อดีของเครื่องอัดรีดชนิดสกรูเดี่ยวเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่มืออยู่หลายประการ เช่น มีพื้นที่สำหรับการถ่ายโอนความร้อนมากกว่า ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดียิ่งขึ้น และการขับเคลื่อนของพอลิเมอร์หลอมจะเกิดได้ดีว่า สามารถควบคุมระยะเวลาการเคลื่อนที่พอลิเมอร์ภายในห้องผสม (residence time) ได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเครื่องอัดรีดชนิดสกรูจึงเหมาะกับพอลิเมอร์ที่ไม่เสถียรทางความร้อนหรือการทำารผสมที่ต้องใส่สารตัวเติมในปริมาณมาก

2.5 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (thermoplastic starch, TPS)^[8]

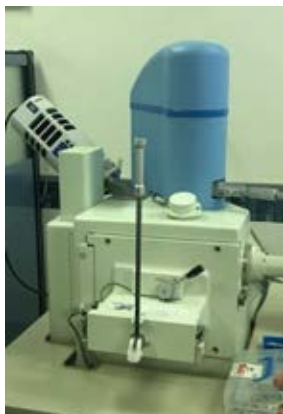
โดยทั่วไปโมเลกุลของแป้งอยู่ในรูปแกรนูล ไม่สามารถแปรรูปได้เหมือนพลาสติกทั่วไป เนื่องจากอุณหภูมิหลอมของแป้งใกล้เคียงกับอุณหภูมิการเสื่อมสลาย ทำให้แป้งไม่ไหลในระหว่างการขึ้นรูป ดังนั้นต้องมีการเปลี่ยนแป้งไปเป็น TPS โดยการทำลายพันธะระหว่างไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งภายใต้ความร้อนและแรงเฉือน หรือที่เรียกว่า กระบวนการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ได้จะมีลักษณะอสังฐานเป็นเนื้อเดียวกัน และจะแสดงพฤติกรรมเหมือนเทอร์โมพลาสติกทั่วไป เช่น การหลอมไม่ไหลได้ รวมทั้งสามารถขึ้นรูปได้โดยใช้เทคโนโลยี เครื่องมือและเครื่องจักรเดียวกันกับพลาสติกทั่วไป

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

2.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)^[9]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 2.4) จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้

เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป

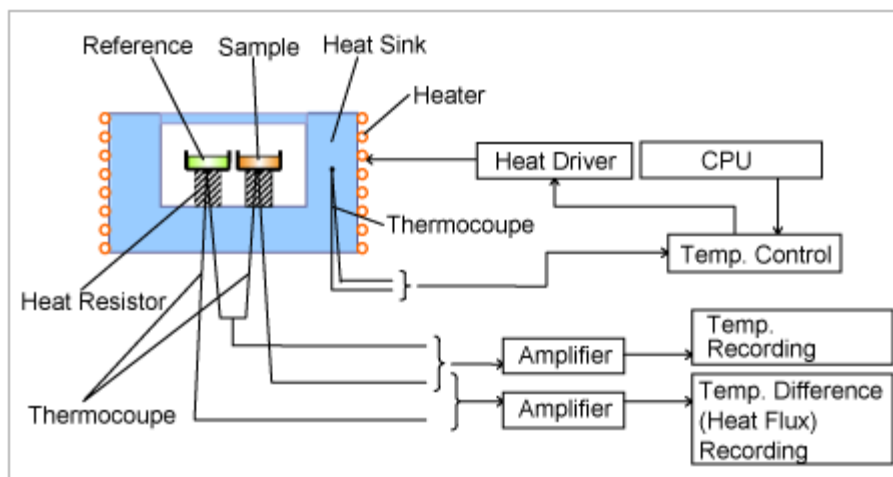


รูปที่ 2. 4 เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM-EDS (6610LV))

2.7.2 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (DSC) ^[10]

Differential scanning calorimeter (DSC) เป็นแคลอริมิเตอร์ (calorimeter) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal transition) ของสารตัวอย่างที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ เช่น อุณหภูมิหลอมผลึก (melting temperature, T_m) อุณหภูมิการเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transition temperature, T_g) ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation stability) จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (reaction kinetics) หรือ ความบริสุทธิ์ (purity)

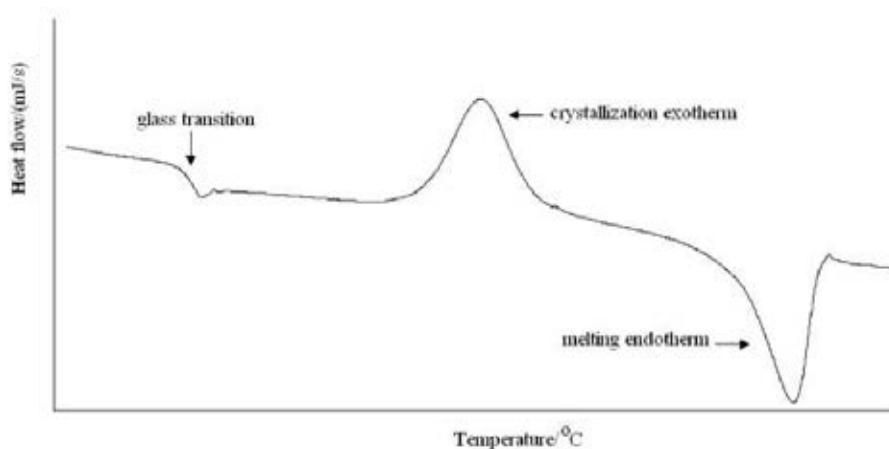
หลักพื้นฐานของ DSC คือ ภายในเครื่องจะมีที่สำหรับวางภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (sample pan) และภาชนะบรรจุสารอ้างอิง (reference pan) ดังรูปที่ 2.5 เมื่อเริ่มการทดลอง อุปกรณ์ให้ความร้อน (heater) จะเริ่มให้ความร้อนแก่ภาชนะทั้งสองด้วยอัตราการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิคงที่ (เช่น 10 องศาเซลเซียส ต่อ 1 นาที) เมื่อสารตัวอย่างเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมี อุณหภูมิของสารตัวอย่างจึงแตกต่างจากสารอ้างอิง ดังนั้นอุปกรณ์ให้ความร้อน (furnace) ด้านที่มีภาชนะสารตัวอย่างบรรจุอยู่จะทำงานแตกต่างจากด้านที่บรรจุภาชนะสารอ้างอิงเพื่อให้ทั้งสองด้านมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับที่กำหนด ความแตกต่างของปริมาณความร้อนจาก furnace ทั้งสองนี้ จึงสามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอันเนื่องมาจากพฤติกรรมของสารตัวอย่างที่เกิดในช่วงอุณหภูมินั้น ๆ ได้



รูปที่ 2. 5 หลักการทำงานของ Differential scanning calorimeter, DSC

การทดสอบสามารถทำได้โดยกำหนดอัตราการเพิ่ม (หรือลด) อุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10°C ต่อ 1 นาที โดยเริ่มต้นที่ 25°C และสิ้นสุดการทดลองที่ 300°C) หรือการคงอุณหภูมิไว้คงที่ (isothermal) เป็นระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 200°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง) ทั้งนี้การทดสอบจำเป็นต้องควบคุมบรรยากาศให้เหมาะสม ซึ่งอาจใช้บรรยากาศเฉื่อย (เช่น แก๊สไนโตรเจน) และบรรยากาศแอคทีฟ (เช่น แก๊สออกซิเจน หรืออากาศ) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดสอบ

พอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติทางความร้อนเฉพาะตัว เช่น LDPE มี T_m ที่ประมาณ 110°C และอุณหภูมิเกิดผลึก (T_c , crystallization temperature) ที่ประมาณ 293°C ในขณะที่ polyethylene terephthalate (PET) มี T_g , T_c และ T_m ที่ประมาณ 69 และ 256°C ตามลำดับ รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างกราฟ DSC (DSC thermogram) ของ PET ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตขวดน้ำอัดลม ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนถึง 3 ลักษณะ โดยที่การหลอมผลึกและการเปลี่ยนสภาพแก้วเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน (Endothermic) ในขณะที่การเกิดผลึกเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน (Exothermic)

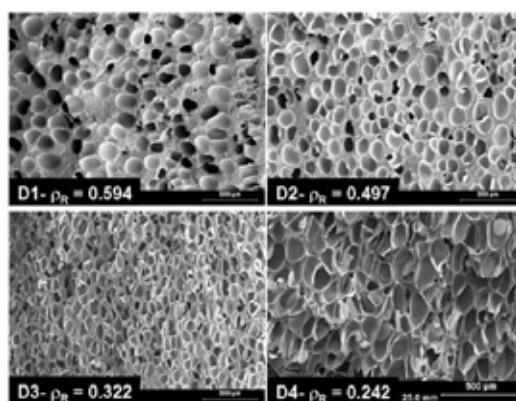


รูปที่ 2. 6 DSC thermogram ของ PET

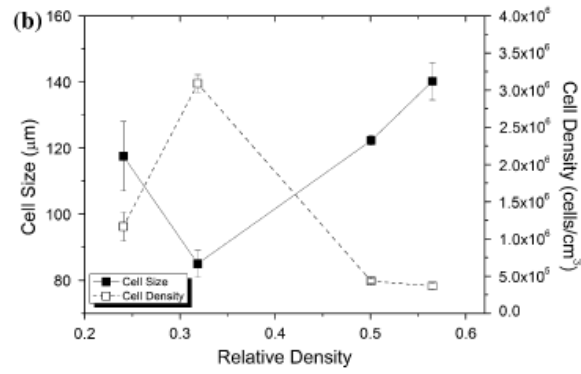
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารฟู (blowing agent) เป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิตโฟมพลาสติก สารฟูสามารถแบ่งออกเป็นสารฟูทางกายภาพ และสารฟูทางเคมี ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถศึกษาได้จากงานวิจัยต่อไปนี้

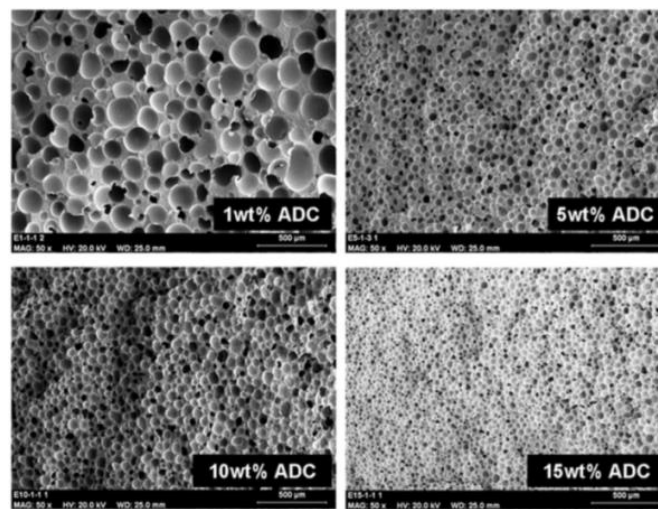
Arroyo และคณะ^[11] ศึกษาขึ้นรูปขึ้นงานโฟมด้วยกระบวนการ compression moulding โดยใช้พอลิพรอพิลีนแบบโซ่ตรง ไม่ใช่เกรดที่มีการปรับปรุง melt strength ทั้งนี้ช่วงความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่มุ่งเน้นพัฒนาคือ 0.2-0.6 โดยการใช้สารฟูที่แตกต่างกันสองชนิด คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารฟูทางกายภาพ และ azodicarbonamide (ADC) ซึ่งเป็นสารฟูทางเคมี การควบคุมความหนาแน่นของขึ้นงานโฟมที่เตรียมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นอาศัยการปรับเปลี่ยนความดัน ในขณะที่ขึ้นงานโฟมที่เตรียมด้วย ADC ที่ผสมในปริมาณ 1, 5, 10 และ 15 wt% นั้น ควบคุมโดยปรับเปลี่ยนปริมาตรของแม่แบบด้วย insert เมื่อนำโฟมไปตรวจสอบสัณฐานวิทยา สังเกตได้ว่าโฟมที่เตรียมด้วยสารฟูทางกายภาพมีลักษณะเป็นเซลล์ปิดทั้งหมด เมื่อเตรียมโฟมด้วยความหนาแน่นที่ลดลง (ใช้ความดันสูง) สังเกตพบว่ารูปร่างมีเซลล์เปลี่ยนจากลักษณะ isotropic เป็น anisotropic cellular structure (รูปที่ 2.7) ขนาดของเซลล์มีแนวโน้มเล็กลง โดยความหนาแน่นเซลล์มีแนวโน้มมากขึ้น ยกเว้นโฟม D4 ที่เตรียมด้วยความหนาแน่นต่ำที่สุด (รูปที่ 2.8) เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมที่เตรียมด้วยสารฟูทางเคมี (รูปที่ 2.9 – 2.10) พบว่าโฟมที่เตรียมจาก ADC เซลล์มีลักษณะเป็น isotropic และมีแนวโน้มขนาดเล็กลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารฟูที่ใส่ลง อีกทั้งพบว่าโฟมที่เตรียมจาก ADC มีขนาดของเซลล์ที่เล็ก เมื่อนำโฟมที่ได้ไปทดสอบการต้านทานการกดอัด จากตารางที่ 2.1-2.2 แสดงให้เห็นว่าโฟมที่เตรียมได้มีค่ามอดุลัสต่ำลงเมื่อโฟมมีความหนาแน่นลดลงและใช้ปริมาณ ADC เพิ่มขึ้น และโฟมที่เตรียมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทนแรงกดอัดดูดซับพลังงานได้สูงกว่าเนื่องจากการมีสารตกค้างจากการสลายตัวของ ADC ในเนื้อพอลิเมอร์ส่งผลให้โฟมสูญเสียความยืดหยุ่นไป



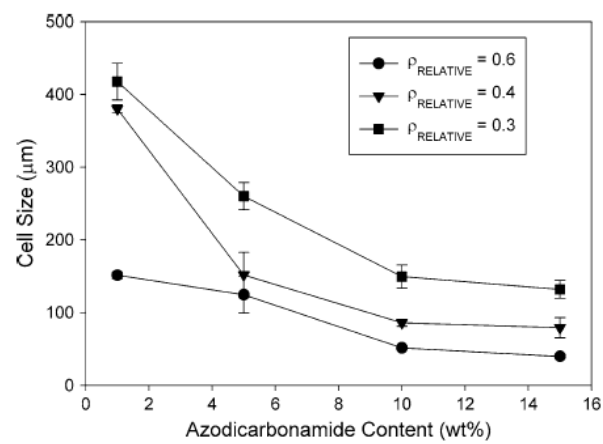
รูปที่ 2. 7 สัณฐานวิทยาของโฟมที่เตรียมจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



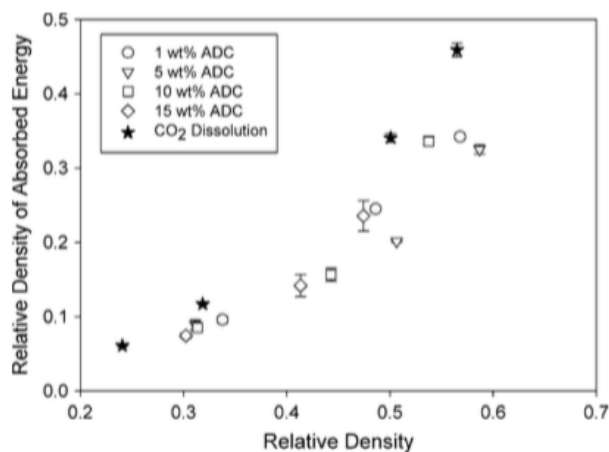
รูปที่ 2. 8 ผลของความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโฟมต่อขนาดและความหนาแน่นของเซลล์



รูปที่ 2. 9 สัณฐานวิทยาของโฟมที่เตรียมจาก ADC ที่ปริมาณต่างกัน



รูปที่ 2. 10 ผลของปริมาณ ADC ต่อขนาดของเซลล์โฟม



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพัทธ์ของการดูดซับพลังงาน (Relative Density of Absorbed Energy) และความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโพลีพรอพิลีน (Relative Density)

ตารางที่ 2.1 ผลการทดลองทดสอบความทนแรงกดอัดของโพลีที่เตรียมจาก ADC

Sample	E (MPa)	σ_c (MPa)	E_{nABS} (MJ/m ³)
Azodicarbonamide 15 wt%			
PP-15	983.10	28.16	38.86
A15-1	263.55	6.25	9.15
A15-2	110.26	2.38	5.52
A15-3	86.34	1.72	2.89
Azodicarbonamide 10 wt%			
PP-10	926.98	27.95	39.96
A10-1	178.97	5.70	10.11
A10-2	139.88	3.62	6.40
A10-3	97.79	2.45	3.36
Azodicarbonamide 5 wt%			
PP-5	795.74	28.62	40.35
A5-1	141.82	5.82	10.40
A5-2	197.90	5.17	8.12
A5-3	97.83	1.87	3.59
Azodicarbonamide 1 wt%			
PP-1	644.08	25.95	38.06
A1-1	279.49	8.05	13.02
A1-2	224.16	4.88	9.32
A1-3	93.24	1.96	3.65

ตารางที่ 2. 2 ผลการทดลองทดสอบความทนแรงกดอัดของโฟมที่เตรียมจากโฟมที่เตรียมจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

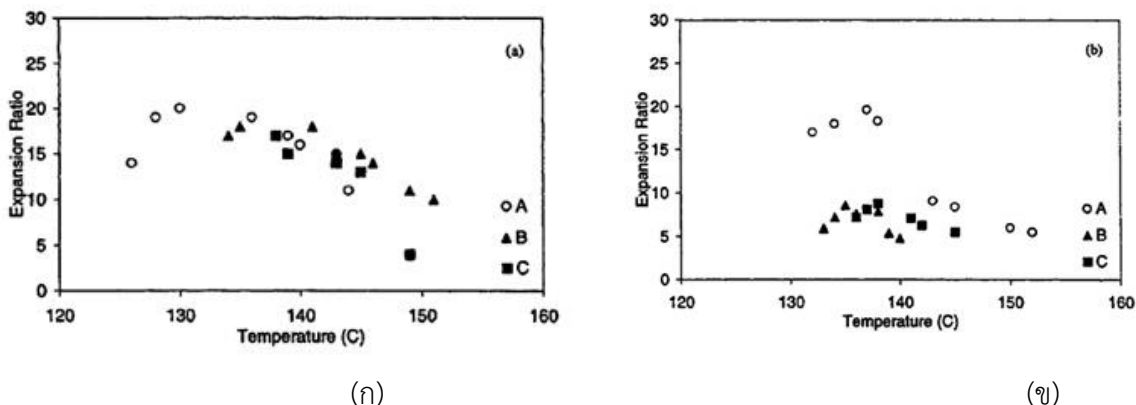
Sample	E (MPa)	σ_c (MPa)	W (MJ/m ³)
Pure PP	582.44	34.27	44.20
D-1	208.19	9.87	20.35
D-2	138.51	7.04	15.10
D-3	99.90	3.08	5.20
D-4	68.82	1.48	2.70

ด้วยข้อดีของสารฟูทางกายภาพที่ไม่มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมการใช้ ก๊าซเป็นสารช่วยฟูนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องจักรขึ้นรูปที่เหมาะสม ในปัจจุบันจึงมีการให้ความสนใจพัฒนาสารฟู ทางกายภาพอื่นๆที่ไม่ใช่ก๊าซ สารฟูทางกายภาพที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากคือ น้ำ เนื่องจากน้ำไม่มีสี ไม่ เป็นพิษ และมีราคาถูก แต่เนื่องจากน้ำไม่ละลายในพอลิเมอร์ ทำให้ไม่สามารถกระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ได้ จึงต้องมีตัวพาน้ำเข้าไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์ วัสดุที่สามารถใช้เป็นตัวพาน้ำได้^[12-15] เช่น เส้นใยพืช อนุภาคคาร์บอน และแป้ง สามารถศึกษาจากการวิจัยผ่านได้ดังนี้

Rizvi และคณะ^[12] ศึกษาอิทธิพลของความชื้นใน wood fibers ไฮโดรเซอร์อล (Hydrocerol Compound, HC) และมิเนอรัลออยล์ที่มีผลต่อการเกิดโฟมคอมพอสิตพอลิสไตรีน (PS) และโฟมคอมพอสิต พอลิสไตรีนชนิดทนแรงกระแทกสูง (HIPS) ที่เตรียมด้วยกระบวนการอัดรีด (ตารางที่ 2.3) ผลการศึกษาของ สูตร B และ C ที่ไม่มีการเติม HC ซึ่งเป็นสารช่วยฟูทางเคมี (รูปที่ 2.12) แสดงให้เห็นว่าความชื้นในเส้นใยไม้ สามารถเป็นสารช่วยฟูให้กับ PS และ HIPS ได้ อย่างไรก็ตามการเติม HC ในสูตร A สามารถทำให้ค่า expansion ratio ของโฟมมีค่าเพิ่มขึ้นได้โดยเฉพาะกับโฟม HIPS

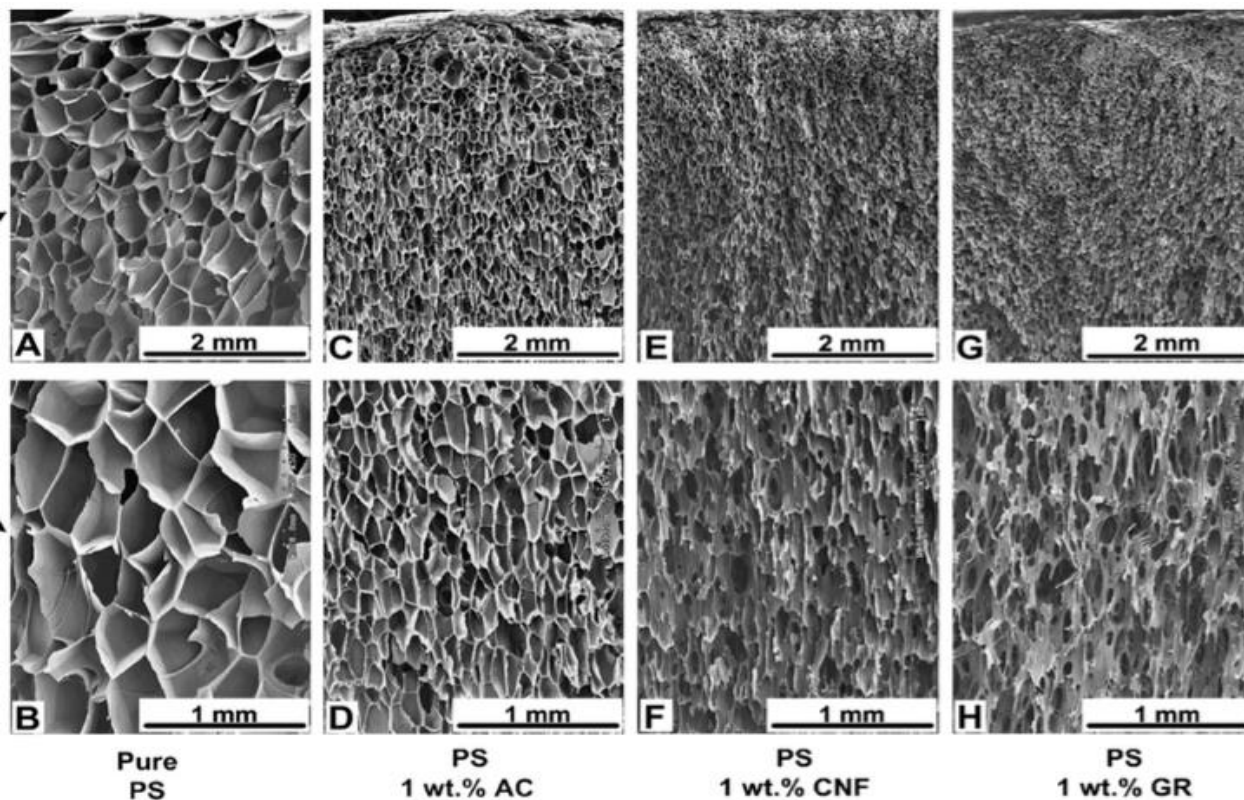
ตารางที่ 2. 3 อัตราส่วนผสมของโฟมที่ใช้ในการทดลอง

Materials	Compositions (wt%)		
	A	B	C
PS or HIPS	78.9	79.7	80.0
Wood-fibers	19.6	19.8	20.0
Hydrocerol Compound (HC)	1.0	0.0	0.0
Mineral oil	0.5	0.5	0.0

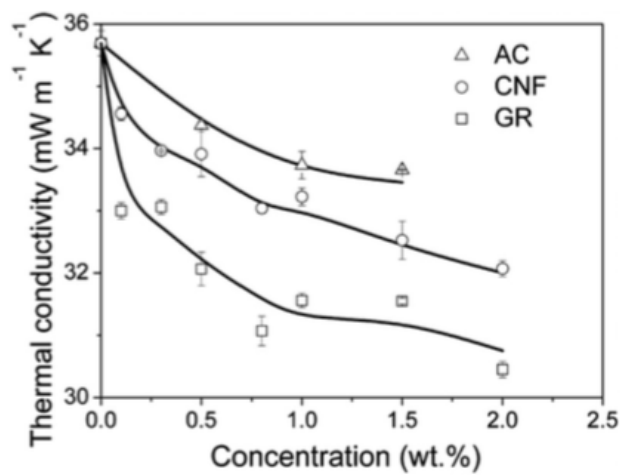


รูปที่ 2. 12 อัตราการขยายตัวของเซลล์โฟมที่อุณหภูมิต่างๆของโพลีโพรพิลีนและโพลีโพรพิลีนชนิดทนแรงกระแทกสูงที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน (ก) โพลีโพรพิลีน (ข) และโพลีโพรพิลีนชนิดทนแรงกระแทกสูง

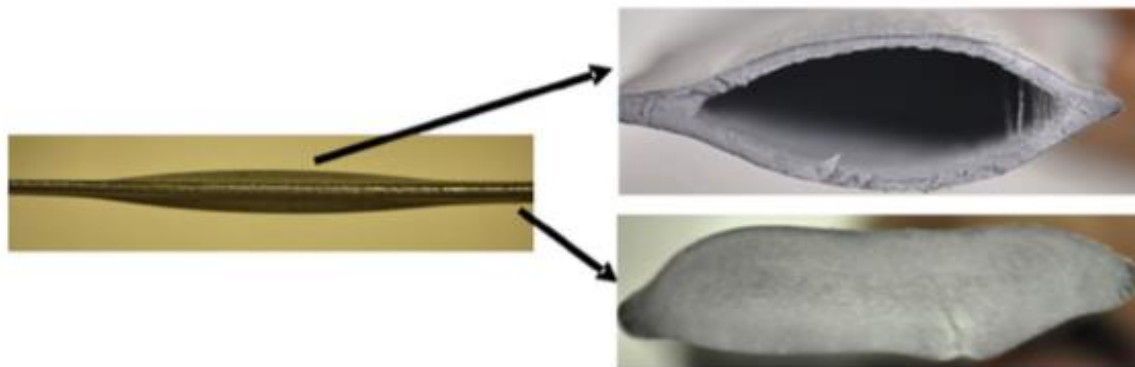
Zhang และคณะ^[13] ทำการพัฒนาโพลีโพรพิลีน (PS) ที่ผสมอนุภาคคาร์บอนสำหรับเป็นฉนวนความร้อนโดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารพอง นอกจากนี้ยังศึกษาการใช้น้ำเป็นสารพองร่วม จากโพลีที่เตรียมด้วยการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารพองเพียงอย่างเดียว พบว่าการใช้อนุภาคคาร์บอนที่มีโครงสร้างต่างกันคือ กราไฟต์ (GR) คาร์บอนนาโนไฟเบอร์ (CNF) และถ่านไม้ (AC) ส่งผลต่อลักษณะของเซลล์โฟม รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่ากรณีของโพลี PS และ PS/AC นั้น ลักษณะของเซลล์เป็นแบบปิดและบริเวณผิวหน้าไม่แตกต่างจากบริเวณส่วนกลางของชิ้นโฟม แต่กรณีของโพลี PS/GR และ PS/CNF นั้นเซลล์ในบริเวณกลางชิ้นโฟมมีลักษณะของเซลล์เปิดและมีรูปร่างที่โพรงอากาศที่มีลักษณะถูกยึดออก ในขณะที่บริเวณผิวเป็นเซลล์ปิด ขนาดของเซลล์ในโพลี PS/GR < PS/CNF < PS/AC รูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณอนุภาคคาร์บอนมากขึ้นส่งผลให้โพลีมีความเป็นฉนวนที่ดีขึ้น โดยความฉนวนความร้อนของโพลี PS/GR > PS/CNF > PS/AC อย่างไรก็ตามการเตรียมโพลีโดยใช้อนุภาคคาร์บอนชนิด GR และ CNF ปริมาณ \geq ร้อยละ 0.5 ส่งผลให้เกิดลักษณะของโพรงอากาศขนาดใหญ่บริเวณกลางชิ้นงานดังรูปที่ 2.15 ดังนั้นคณะวิจัยจึงทดลองใช้น้ำเป็นสารพองร่วมและใช้อนุภาค AC เป็นตัวพองน้ำ ผลการศึกษาพบว่าแนวทางดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาที่เกิดกับการเตรียมโพลี PS/GR และ PS/CNF ที่มีปริมาณอนุภาค \geq ร้อยละ 0.5 ได้



รูปที่ 2. 13 สัณฐานวิทยาของโฟมที่เตรียมจากการใช้อุภาคคาร์บอนที่แตกต่างกัน



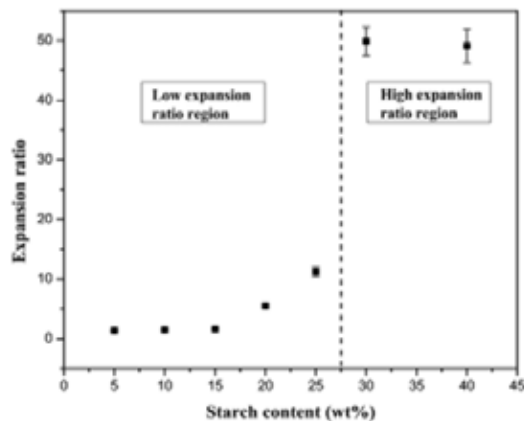
รูปที่ 2. 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการนำความร้อนกับความเข้มข้นของอนุภาคคาร์บอน



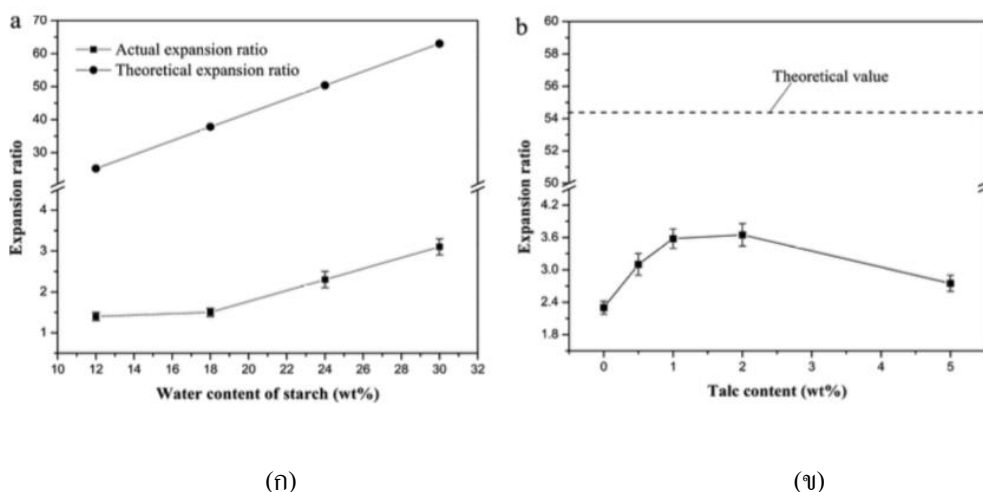
รูปที่ 2.15 ลักษณะของโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในโพลีที่เตรียมโดยใช้อนุภาคคาร์บอนชนิด GR และ CNF

งานวิจัยนี้สนใจศึกษากระบวนการขึ้นรูปโพลีพรอพิลีนโดยใช้น้ำเป็นสารทำให้ฟูและใช้แป้งเป็นตัวพาซึ่งสามารถศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อเป็นแนวทางได้ดังนี้

Xu และคณะ^[14] ศึกษาการขึ้นรูปโพลีพรอพิลีนและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (TPS) รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่า กรณีที่ใช้ปริมาณน้ำและทาร์คเป็นร้อยละ 20 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง ตามลำดับนั้น ค่า expansion ratio ของโพลี PP-TPS อยู่ระหว่าง 1.3-11.2 เมื่อใช้ปริมาณแป้งข้าวโพดน้อยกว่าร้อยละ 30 แต่ค่า expansion ratio จะสูงถึง 50 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของแป้งจนถึงร้อยละ 30 และจะมีค่าคงที่แม้เพิ่มอัตราส่วนของแป้ง เมื่อพิจารณาโพลีที่เตรียมด้วยปริมาณแป้งร้อยละ 10 (รูปที่ 2.17) พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำ (10-30%) และทาร์ค (1-5%) ส่งผลให้ค่า expansion ratio มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามยังน้อยกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี ซึ่งอธิบายได้ว่าการสูญเสียน้ำไปบางส่วนระหว่างกระบวนการเกิดโพลี แต่ในกรณีที่ใช้แป้งร้อยละ 30 นั้น (รูปที่ 2.18) ค่า expansion ratio เพิ่มขึ้นจาก 15 เป็น 50 จากการเพิ่มปริมาณน้ำถึง 22% ทั้งนี้เชื่อว่าเกิดจากแป้งที่เติมลงไปสามารถเกิดลักษณะของร่างแหเส้นใยแป้งบริเวณผนังเซลล์ จึงสามารถช่วยให้เซลล์ที่เกิดขึ้นมีความเสถียร โครงสร้างโพลีจึงไม่เกิดการเสียหายและหดตัวดังเช่นกรณีที่ใช้แป้งร้อยละ



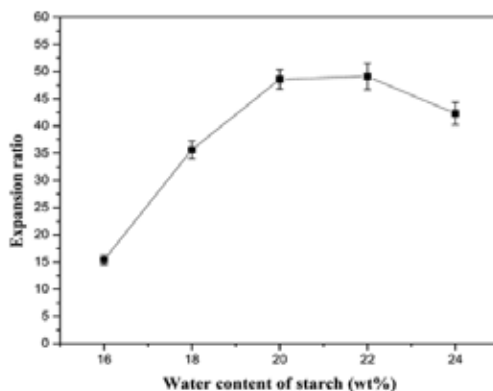
รูปที่ 2. 16 อัตราส่วนการขยายตัวของเซลล์ของโพลีเมอร์ PP-TPS กับปริมาณแป้งที่อัตราส่วนต่างๆ



(ก)

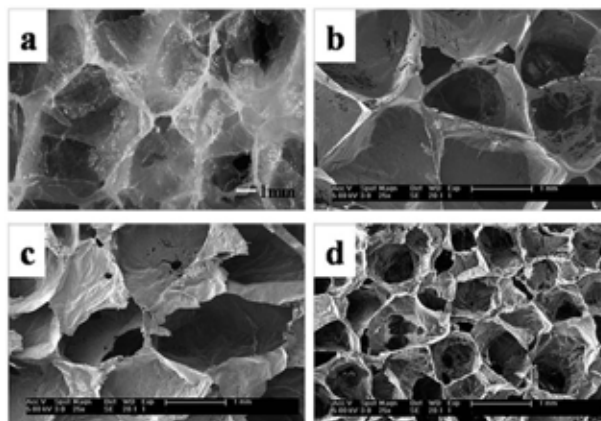
(ข)

รูปที่ 2. 17 อัตราส่วนการขยายตัวของเซลล์กับปริมาณน้ำในแป้งข้าวโพดของ PP-TPS10 (ก) และปริมาณทัลคัมที่อัตราส่วนของน้ำเท่ากับร้อยละ 24 โดยน้ำหนัก (ข)

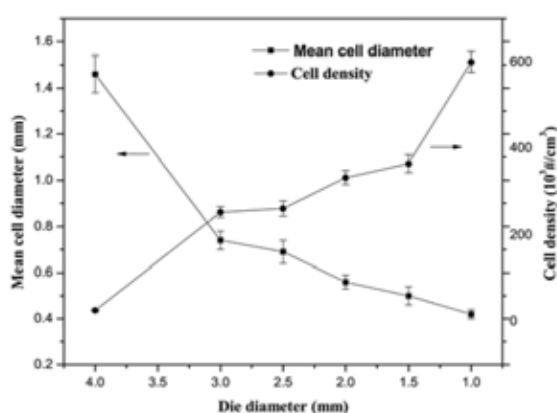


รูปที่ 2. 18 อัตราส่วนการขยายตัวของเซลล์กับปริมาณน้ำในแป้งข้าวโพดของ PP-TPS30

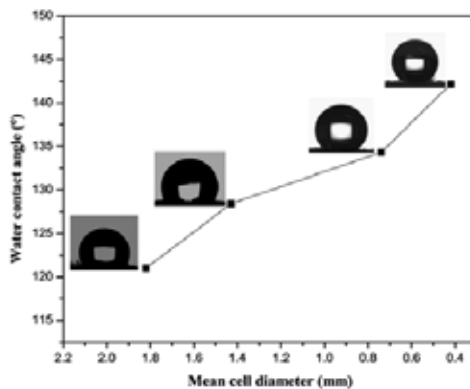
Xu และคณะ^[15] ยังได้ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำของโพลีเมอร์ PP-TPS ที่ใช้ปริมาณแป้งร้อยละ โดยใช้สารก่อนิวเคลียส (Nucleating Agent) ที่แตกต่างกันคือ ทัลก์ แคลเซียมคาร์บอเนตและมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite, MMT) นอกจากนี้ยังศึกษาผลของขนาดหัวตายต่อสมบัติของโพลีเมอร์ที่เตรียมได้ ผลการศึกษาในรูปที่ 2.19 สรุปได้ว่า ทัลก์คือสารก่อผลึกที่ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตและมอนต์มอริลโลไนต์ โพลีเมอร์ที่ได้มีเซลล์ขนาดเล็กกว่าและความหนาแน่นของเซลล์ที่สูงกว่า จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวตายกับลักษณะของโพลีเมอร์ พบว่าขนาดของหัวตายที่เล็กลง (รูปที่ 2.20) ส่งผลให้โพลีเมอร์ที่เตรียมได้มีขนาดเซลล์ที่เล็กลงและความหนาแน่นของเซลล์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ขนาดของเซลล์ที่เล็กลงมีผลต่อให้โพลีเมอร์มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้น (รูปที่ 2.21) และความสามารถในการเลือกดูดซับน้ำมันบนผิวหน้าของโพลีเมอร์พอลิพรอพิลีนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย (รูปที่ 2.22) โพลีเมอร์ที่เตรียมได้สามารถใช้ดูดซับน้ำมันได้ถึง 32 ถึง 60 ครั้ง โดยที่ความสามารถในการดูดซับไม่ลดลง



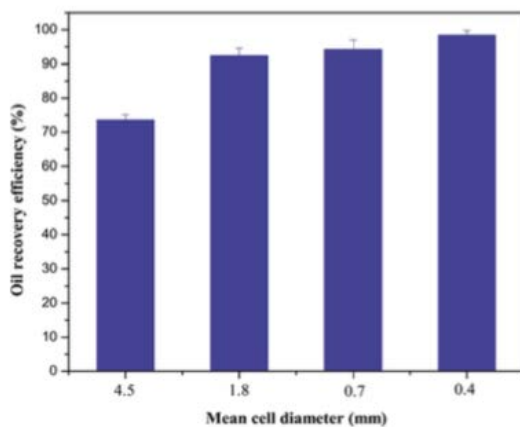
รูปที่ 2. 19 ลักษณะของเซลล์โพลีพรอพิลีนเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไม่ใส่สารก่อผลึก และใส่สารก่อผลึกที่อัตราส่วนแตกต่างกัน (a) ไม่ใส่สารก่อผลึก (b) แคลเซียมคาร์บอเนต 2 wt% (c) MMT 2wt% (d) ทัลก์ 2wt%



รูปที่ 2. 20 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางหัวตายกับค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์และความหนาแน่นของเซลล์



รูปที่ 2. 21 เปรียบเทียบมุมสัมผัสของน้ำเมื่อโพรพอลิพอรอฟิลินมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2. 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการดูดซับน้ำมันกับค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุดิบ

- เม็ดพอลิพรอพิลีน (PP) เกรด P401S ของบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (ดัชนีการไหล 2.4 g/10 นาที ความหนาแน่น 0.910 g/cm³)
- เม็ดพอลิพรอพิลีน (PP) เกรด P750J ของบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (ดัชนีการไหล 12 g/10 นาที ความหนาแน่น 0.910 g/cm³ โคพอลิเมอร์แบบสุ่ม)
- เม็ดพอลิพรอพิลีน (PP) เกรด P700J ของบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (ดัชนีการไหล 12 g/10 นาที ความหนาแน่น 0.910 g/cm³ โโฮโมพอลิเมอร์)
- เม็ดพอลิพรอพิลีน (PP) เกรด P901J ของบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (ดัชนีการไหล 60 g/10 นาที ความหนาแน่น 0.910 g/cm³ โโฮโมพอลิเมอร์)
- แป้งข้าวโพด
- น้ำ

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม

- เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (twin-screw extruder) บริษัท Labtech Engineering รุ่น LTE-26-44
- ถังซีปสำหรับเก็บของผสม
- ถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
- เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง
- กรรไกรสำหรับตัดโฟม
- ถังมือกั้นความร้อน

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบ

- ปีกเกอร์
- พิกโนมิเตอร์
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)
- เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (DSC)

3.3 ขั้นตอนการเตรียมโพลีเมอร์

3.3.1 การเตรียมโพลีเมอร์เพื่อหาปริมาณแป้งข้าวโพด และอุณหภูมิที่เหมาะสมด้วย PP401S

- เตรียม PP (P401S) แป้งข้าวโพดและน้ำกลั่น ในแต่ละสูตรตามปริมาณที่ระบุในตารางที่ 3.1
- เติมน้ำแป้งข้าวโพด และน้ำกลั่น (ร้อยละ 30 ของน้ำหนักแป้ง) ลงในเครื่องผสม กวนผสมจนเข้ากันได้เป็นเวลา 5 แล้วจึงเติม PP ลงในเครื่องผสม แล้วทำการผสมต่อ เป็นเวลา 5 หากยังไม่นำของผสมไปขึ้นรูปทันที ให้เก็บไว้ในถุงซิปล็อค
- ขึ้นรูปของผสมสูตรต่างๆโดยใช้ co-rotating twin screw extruder ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในโซนต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.2
- กำหนดความเร็วรอบสกรูคงที่ที่ 30 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3. 1 ปริมาณ PP แบ่งข้าวโพดและน้ำกลั่นในของผสมสูตรต่างๆ

สูตร	PP (กรัม)	แบ่งข้าวโพด (กรัม)	น้ำกลั่น (ร้อยละของน้ำหนักแบ่ง ข้าวโพด)
PP80	800	200	30
PP80b	800	200	-
PP75	750	250	30
PP75b	750	250	-
PP70	700	300	30
PP70b	700	300	-
PP65	500	350	30
PP65b	500	350	-
PP60	600	400	30
PP60b	600	400	-

ตารางที่ 3. 2 อุณหภูมิของเครื่อง co-rotating twin screw extruder ในโซนต่างๆ เพื่อทดลองขึ้นรูป
โพลี

สภาวะ	อุณหภูมิในแต่ละโซน (°C)										
	Gelatinization zone			Mixing zone					Cooling zone		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	60	80	100	190	190	190	190	190	170	160	160
2	60	80	80	100	190	190	190	190	170	160	160
3	60	80	100	190	190	190	190	170	170	160	160

3.3.2 การเตรียมโพลีด้วย PP เกรดต่างๆ

- เตรียม PP เกรด P700J P750J และ P901J แบ่งข้าวโพด และน้ำกลั่น ในแต่ละสูตรตามปริมาณที่ระบุในตารางที่ 3.3
- ในขั้นตอนการผสมใช้ขั้นตอนเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1
- ในขั้นตอนการขึ้นรูปโดยใช้ co-rotating twin screw extruder เลือกใช้สภาวะที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.4 และใช้ความเร็วรอบสกรูคงที่ที่ 60 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3. 3 ปริมาณ PP เกรดต่างๆ แบ่งข้าวโพดและน้ำกลั่นในของผสมสูตรต่างๆ

สูตร	P700J (กรัม)	P750J (กรัม)	P901J (กรัม)	แบ่งข้าวโพด (กรัม)
P ₇₀₀	700	-	-	300
P ₇₅₀	-	700	-	300
P ₉₀₁	700	-	700	300
P _{709_12}	233	-	467	300
P _{709_11}	350	-	350	300
P _{709_21}	467	-	233	300
P _{759_12}	-	233	467	300
P _{759_11}	-	350	350	300
P _{759_21}	-	467	233	300

ตารางที่ 3. 4 อุณหภูมิของเครื่อง co-rotating twin screw extruder ในโซนต่างๆ เพื่อทดลองขึ้นรูปโพลี

สภาวะ	อุณหภูมิในแต่ละโซน (°C)										
	Gelatinization zone			Mixing zone					Cooling zone		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	60	80	100	185	185	185	185	165	165	155	155

3.4 การทดสอบสมบัติของโฟม

3.4.1 ความหนาแน่น สัดส่วนการขยายตัวของโฟม (Expansion ratio, ER) และการขยายตัวเมื่อเทียบกับหัวตาย (Die swell)

- ค่า ER คำนวณจากสมการที่ 3.1 โดยใช้ค่าความหนาแน่นของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (ρ_m) และความหนาแน่นของโฟม (ρ_f) ที่ตรวจสอบด้วยขวดพิคโนมิเตอร์

$$ER = \rho_m / \rho_f \quad (3.1)$$

โดย ρ_m = ความหนาแน่นของพอลิเมอร์เมทริกซ์

ρ_f = ความหนาแน่นของโฟม

- ค่า Die swell หาได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{Die swell} = d_f / d_d \quad (3.2)$$

โดย d_f = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของโฟม

d_d = เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหัวตาย

3.4.2 ความสามารถในการดูดซับน้ำ/น้ำมัน

- ตัดชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องการทดสอบให้มีขนาดประมาณ 1 นิ้ว จำนวน 5 ตัวอย่าง
- ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด
- แช่ตัวอย่างในน้ำ/น้ำมันปาล์ม 50 mL เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ชั่งน้ำหนักโฟมที่ดูดซับน้ำ/น้ำมัน
- นำน้ำหนักที่ได้หาความสามารถในการดูดซับน้ำ/น้ำมันตามสมการที่ 3.3

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำ/น้ำมัน (g/g)} = \frac{s_t - s_o}{s_o} \quad (3.3)$$

โดย s_o = น้ำหนักโฟมเริ่มต้น

s_t = น้ำหนักโฟมหลังดูดซับน้ำ/น้ำมัน

3.4.3. อุณหภูมิการหลอมผลึกและปริมาณผลึก

ตรวจสอบสมบัติดังกล่าวด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อนชนิด DSC โดยนำแป้งข้าวโพด เม็ด PP เกรด P700J P750J P901J โฟมPP สูตรP₇₀₀ P₇₅₀ P₉₀₁ และสูตรที่เป็นสัดส่วนผสมน้ำหนักประมาณ 5 mg มาวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ -50°C ถึง 200°C โดยทำการทดสอบเป็น วิวัจกรแบบให้ความร้อน หล่อเย็นลดอุณหภูมิลง แล้วนำมาให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง (heat-cool-heat) ด้วยอัตราการเปลี่ยนอุณหภูมิ 20°C/min เพื่อหาอุณหภูมิการหลอมผลึก (T_m) และปริมาณผลึก

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผลของน้ำต่อพฤติกรรมของแป้งข้าวโพด

โครงการนี้ทำการศึกษาผลของน้ำต่อพฤติกรรมการหลอมของแป้งข้าวโพดด้วยการพิจารณา อุณหภูมิ หลอมผลึก และพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของแป้งข้าวโพดที่เตรียมแตกต่างกัน 3 สูตร คือ แป้งข้าวโพดที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Dstarch) แป้งข้าวโพดที่เก็บไว้ ณ อุณหภูมิห้อง (starch) และแป้งข้าวโพดที่มีการใส่น้ำลงไปปริมาณร้อยละ 30 ของปริมาณแป้งข้าวโพด (Wstarch)

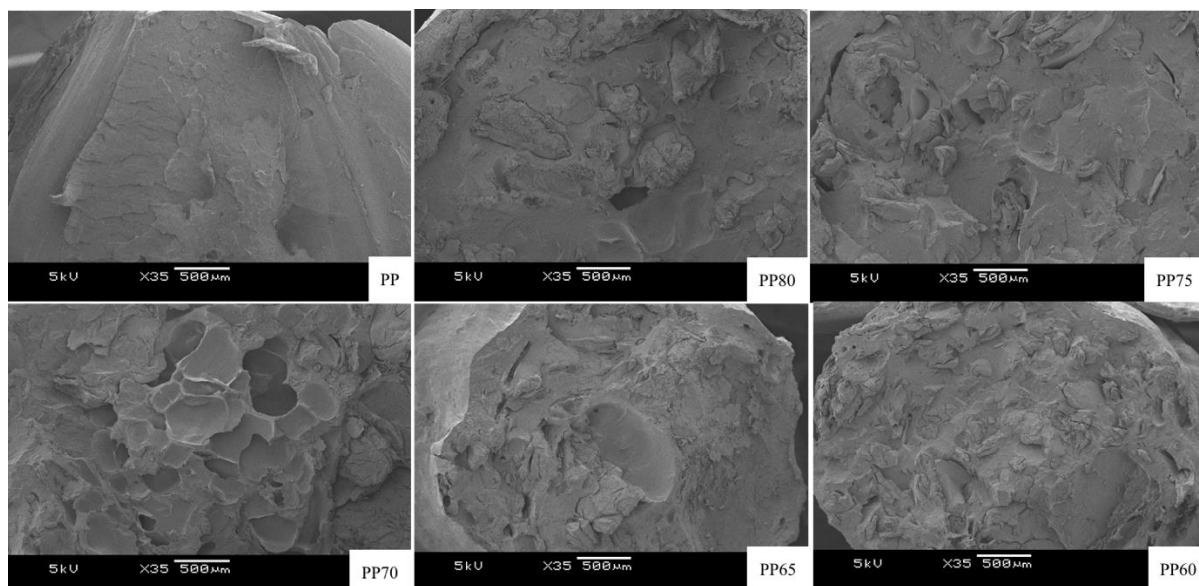
ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิหลอมผลึก และพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC เมื่อพิจารณาผลของแป้งข้าวโพดแต่ละสูตรซึ่งมีปริมาณน้ำแตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิหลอมผลึกของแป้งข้าวโพดมีแนวโน้มลดลง และพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของแป้งข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอธิบายได้ว่าน้ำเป็นพลาสติกไซเซอร์ สามารถแทรกเข้าไประหว่างโมเลกุลของแป้ง กระหนาบต่อพันธะไฮโดรเจนในแป้ง เป็นผลให้แป้งที่มีความชื้นสามารถหลอมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิสลายตัว จึงสามารถตรวจพบอุณหภูมิหลอมผลึกได้ ผลของ Wstarch แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำร้อยละ 30 แป้งข้าวโพดสามารถหลอมในช่วงใกล้เคียงกับ PP โดยปริมาณที่สามารถหลอมได้นั้นสูงกว่ากรณีแป้งที่ผ่านการอบ (Dstarch) และแป้งที่มีความชื้นจากการเก็บ (starch) อย่างมาก

ตารางที่ 4. 1 อุณหภูมิหลอมผลึก และพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของแป้งข้าวโพด ที่พิจารณาจากข้อมูลการให้ความร้อนครั้งที่ 1

สูตร	อุณหภูมิหลอมผลึก (°C)	พลังงานในการหลอมผลึก (J/g)
Dstarch	177.75	106.04
starch	160.41	134.42
Wstarch	161.91	370.55

4.2 การศึกษาผลของปริมาณแป้งต่อ สัณฐานวิทยา ความหนาแน่น สัดส่วนการขยายตัว และการบวมตัว

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของโพลีเมอร์ PP (P401S) ที่มีปริมาณแป้งต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 0 20 25 30 35 และ 40 ซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยกำลังขยาย 35 เท่า พบว่าบริเวณภาคตัดขวางของ PP มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีความขรุขระเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งจนถึงร้อยละ 30 (PP70) สามารถสังเกตเห็นเซลล์โพลีเมอร์ได้อย่างชัดเจน และเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถึงร้อยละ 35 และ 40 (โพลีเมอร์ PP65 และ PP 60 ตามลำดับ) จะเห็นได้ว่าโพลีเมอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าสูตรอื่น เชื่อว่าเป็นผลจากปริมาณแป้งที่สูงขึ้น มีผลให้ melt strength ต่ำลง ดังนั้น extrudate ที่พองออกเมื่อออกจากเตา มีแนวโน้มไม่สามารถคงรูปทรงไว้ได้ จึงเกิดการยุบตัว

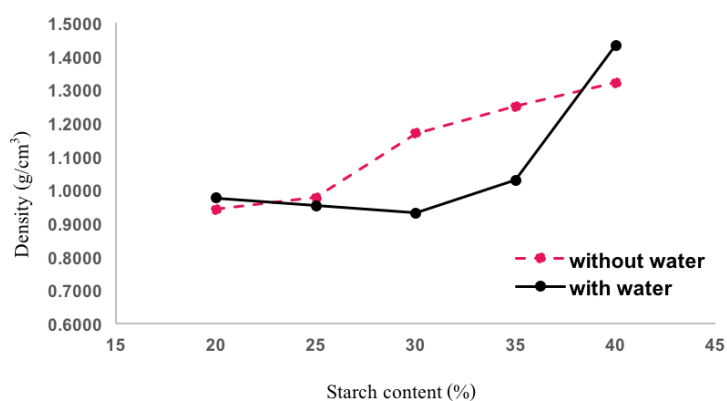


รูปที่ 4. 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาคตัดขวางของโพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีปริมาณแป้งต่างกัน โดยใช้ PP เกรด P401S ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และเตรียมด้วยสภาวะที่ 1

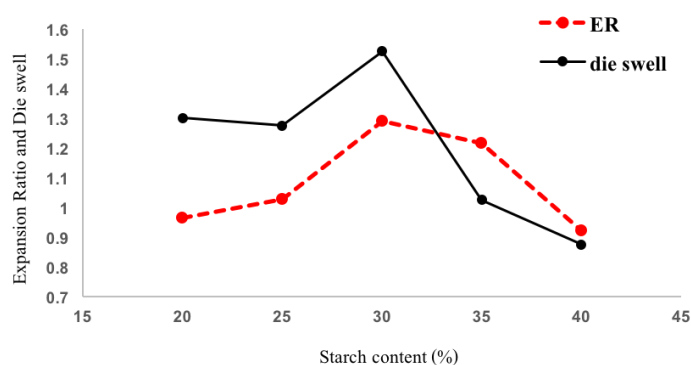
จากการตรวจสอบความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่เตรียมด้วยปริมาณแป้งร้อยละ 20 - 40 ทั้งสูตรที่ใส่น้ำและไม่ใส่น้ำ โดยขึ้นรูปด้วยสภาวะที่ 1 ตามที่ระบุใน 3.2 (รูปที่ 4.2) พบว่า โพลีเมอร์ทั้งสูตรที่ใส่น้ำและไม่ใส่น้ำความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่ใส่ เนื่องจากความหนาแน่นของแป้งสูงกว่าความหนาแน่นของ PP (PP ความหนาแน่น 0.91 g/cm^3) อย่างไรก็ตาม โพลีเมอร์ PP ที่เตรียมด้วยแป้งร้อยละ 30-35 ที่มีการเติมน้ำมีความหนาแน่นต่ำกว่าโพลีเมอร์เดียวกันที่ไม่ได้เติมน้ำ แสดงให้เห็นว่าสูตรดังกล่าว แป้งมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันในขณะหลอม ในสูตรที่มีน้ำ แป้งสามารถหลอมได้ในสภาวะที่หลอม PP จึงเกิดการกระจายตัวได้ในของไหลพอลิเมอร์ ส่งผลให้เกิดการพองน้ำแทรกในของไหลพอลิเมอร์ เมื่อของไหลผ่านตาย ใอน้ำความดันสูงที่ระเหย

ออกจาก extrudate ส่งผลให้เกิดโพรงในเนื้อ PP ส่งผลให้โพลีเมอร์ที่มีน้ำมีความหนาแน่นต่ำกว่าสูตรที่ไม่เติมน้ำ

เมื่อพิจารณาค่า ER และ die swell (รูปที่ 4.3) ของโพลีเมอร์ PP/TPS พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงที่ใช้แป้งร้อยละ 20 – 30 แต่หากเพิ่มปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 30 ค่าดังกล่าวกลับมีค่าลดลง ผลของ ER และ die swell สอดคล้องกับความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่เตรียมได้ โดยโพลีเมอร์ที่มีอัตราการพองตัวและทรงรูปร่างได้ดีจึงมีค่า ER และ die swell สูง แต่ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ต่ำ ค่า ER และ die swell ที่ต่ำของสูตรที่ใช้แป้งมากกว่าร้อยละ 30 อาจเป็นผลของการไม่เกิดการกระจายตัวที่ดีในของไหลพอลิเมอร์ และการยุบตัวของ extrudate เมื่อผ่านออกจากตายซึ่งเป็นผลจาก melt strength ที่ต่ำ จากผลการทดลองในส่วนนี้ สามารถสรุปได้ว่าปริมาณแป้งที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปโพลีเมอร์ PP/TPS คือ ร้อยละ 30



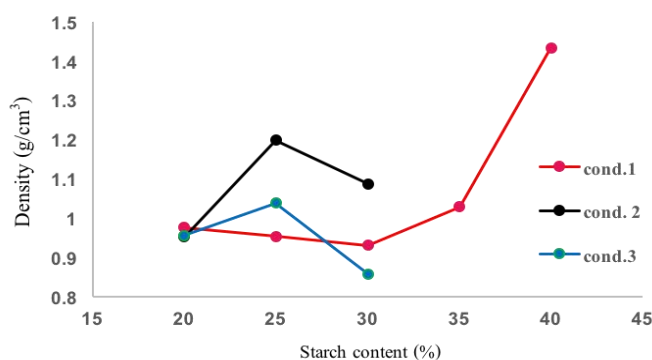
รูปที่ 4. 2 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งต่อความหนาแน่นของโพลีเมอร์ของสูตรที่เติมน้ำและไม่เติมน้ำ



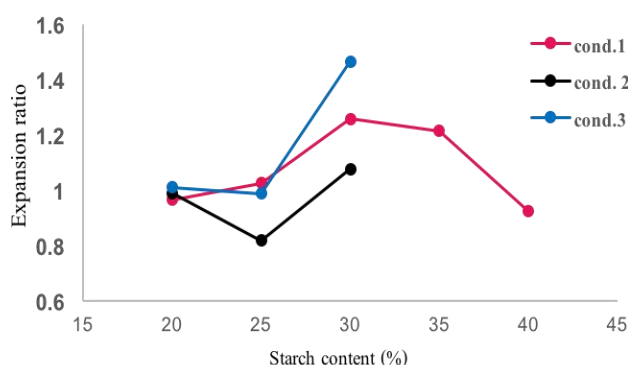
รูปที่ 4. 3 ความสัมพันธ์ของปริมาณแป้งอัตราการขยายตัวของโพลีเมอร์ และการบวมตัวของโพลีเมอร์ที่มีการเติมน้ำ

4.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่สภาวะต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความหนาแน่น และสัดส่วนการขยายตัว

เมื่อทดลองปรับเปลี่ยนสภาวะที่ใช้ขึ้นรูปโพลีเมอร์ PP (P401S) โดยใช้สภาวะที่ 1- 3 ดังระบุในตารางที่ 3.2 รอบสกรู 30 รอบ/นาที รูปที่ 4.4 แสดงความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP/TPS ที่เตรียมได้ ทั้งนี้คุณสมบัติของ extruder มีผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปโพลีเมอร์ อย่างเห็นได้ชัด โดยสภาวะที่ 1 สามารถขึ้นรูปโพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีปริมาณแป้งในช่วงร้อยละ 20-40 ได้ทุกสูตร ในขณะที่สภาวะที่ 2 และ 3 สามารถขึ้นรูปโพลีเมอร์ได้เพียงสูตร PP80 PP75 และ PP70 แต่ไม่สามารถขึ้นรูปโพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีปริมาณแป้งมากกว่าร้อยละ 30 เนื่องจากความหนืดในระบบสูง (ใช้เทอร์โมคูลิ่งกึ่งกลางของเครื่อง) ซึ่งเป็นผลจากการปรับลดจำนวนโซนของ Mixing zone เมื่อพิจารณาสัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์ (รูปที่ 4.5) ประกอบกับความหนาแน่น สรุปได้ว่าโพลีเมอร์ PP ที่เตรียมด้วยเกรด P401S นั้นสามารถขึ้นรูปให้มีลักษณะของโพลีเมอร์ที่ดี คือความหนาแน่นต่ำซึ่งเกิดจากการขยายตัว และมีโพรงอากาศจำนวนมากกระจายในเนื้อพอลิเมอร์เมื่อเตรียมด้วยสภาวะที่ 3 ด้วยปริมาณแป้งร้อยละ 30 ทั้งนี้โพลีเมอร์ที่เตรียมได้ (PP70) มีความหนาแน่น 0.85 g/cm^3 และมีสัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์เท่ากับ 1.5



รูปที่ 4. 4 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP (P401S)/TPS ที่เตรียมด้วยสภาวะที่ 1, 2 และ 3



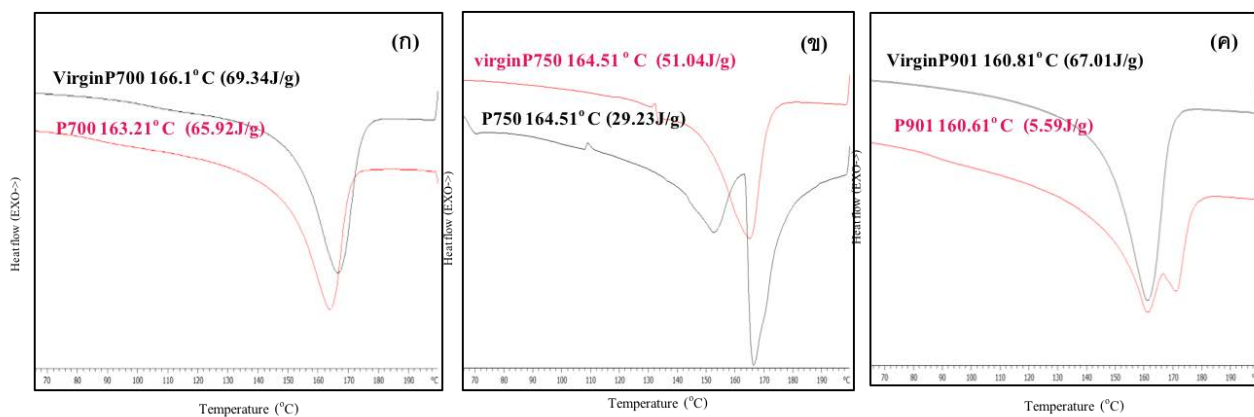
รูปที่ 4. 5 สัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์ PP (P401S)/TPS ที่เตรียมด้วยสภาวะที่ 1, 2 และ 3

4.4 การศึกษาผลของโครงสร้างและดัชนีการไหลของ PP ต่อความเข้ากันได้กับแป้ง ความหนาแน่น และ สันฐานวิทยาของโพลีเมอร์

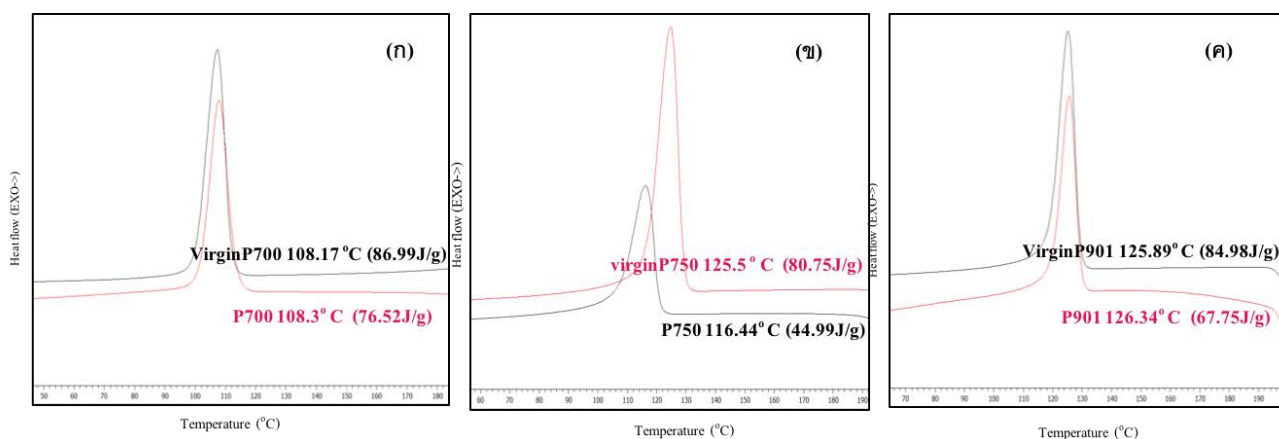
การตรวจสอบความเข้ากันได้ระหว่าง PP แต่ละชนิดกับแป้งข้าวโพด สามารถวิเคราะห์ได้โดยการใช้เทคนิค DSC โดยเปรียบเทียบเทอร์โมแกรมของเม็ด PP บริสุทธิ์กับโพลีเมอร์ PP ที่เตรียมจากเม็ด PP ชนิดนั้น แล้วพิจารณาจากอุณหภูมิการหลอมผลึก และลักษณะของเทอร์โมแกรมที่เปลี่ยนแปลงไป

รูปที่ 4.6 ก-ค แสดง DSC เทอร์โมแกรมจากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1st heat) เปรียบเทียบระหว่างเม็ด PP บริสุทธิ์กับโพลีเมอร์ PP เมื่อใช้ PP เกรด P700J P750J และ P901J ตามลำดับ จากรูป 4.6 ก พบว่า DSC เทอร์โมแกรมของเม็ด PP P700J และโพลีเมอร์ PP P700J มีลักษณะคล้ายกัน โดยพบเพียงอุณหภูมิหลอมผลึกของ PP แต่เมื่อพิจารณากรณีของเกรด P750J และ P901J (รูปที่ 4.6 ข และ ค) พบว่าโพลีเมอร์ P₇₅₀ และสูตร P₉₀₁ มีพีคที่ไม่ตรงกับพีคการหลอมผลึก PP ปรากฏเพิ่มขึ้นมา ที่อุณหภูมิ 164.28 และ 171.96 °C ตามลำดับ ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าพีคดังกล่าวแสดงถึงปริมาณแป้งพลาสติกไฮดรอกซีที่หลงเหลือในเนื้อโพลีเมอร์ ปริมาณและอุณหภูมิหลอมของแป้งพลาสติกไฮดรอกซีอาจสัมพันธ์กับสภาพความเข้ากันได้ของแป้งและ PP ทั้งนี้เชื่อว่าหากสภาพความเข้ากันได้มากขึ้น ย่อมส่งผลให้พบผลึกของแป้งพลาสติกไฮดรอกซีในปริมาณที่มากกว่า และผลึกที่พบมีอุณหภูมิหลอมผลึกที่ต่ำกว่า ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าสภาพเข้ากันได้ระหว่างแป้งข้าวโพดกับ PP เรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ PP เกรด P750J > P901J > P700J ซึ่งเป็นผลจากความเป็นอสัณฐานและมีค่าดัชนีการไหลที่มากกว่านั่นเอง

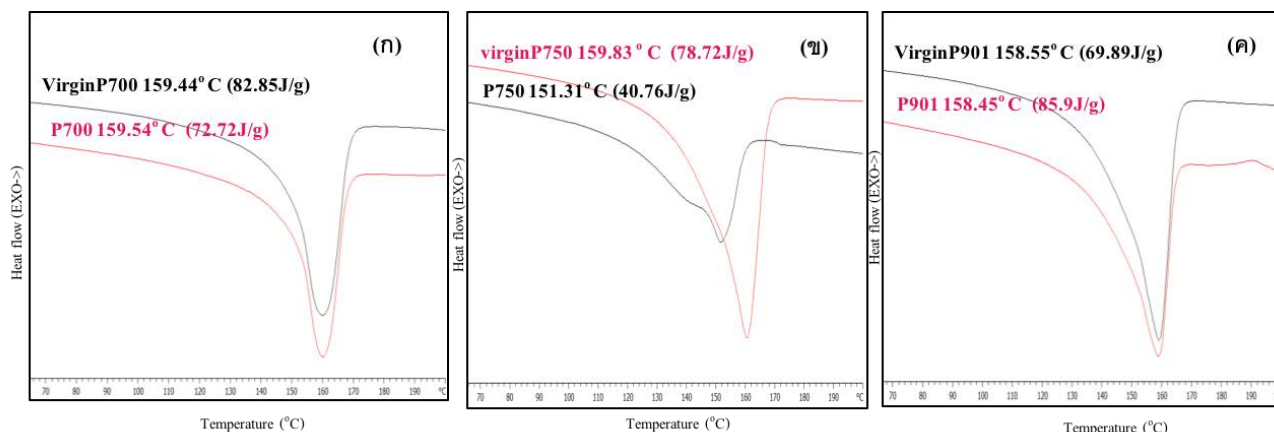
รูปที่ 4.7 แสดง DSC เทอร์โมแกรมจากการลดอุณหภูมิ (cooling) เปรียบเทียบระหว่างเม็ด PP บริสุทธิ์กับโพลีเมอร์ PP เมื่อใช้ PP เกรด P700J P750J และ P901J ตามลำดับ ในขั้นการลดอุณหภูมิ ปรากฏพีคการเกิดผลึกเพียงพีคเดียว โดยกรณี PP เกรด P700J และ P900J นั้น ไม่พบความแตกต่างระหว่างเทอร์โมแกรมของเม็ดและโพลีเมอร์ PP แสดงถึงการมีอยู่ของแป้งในโพลีเมอร์ดังกล่าว ไม่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเกิดผลึกของ PP เกรด P700J และ P900J เมื่อพิจารณาโพลีเมอร์สูตร P₇₅₀ พบว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของ PP เกรดดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าเม็ดเรซินบริสุทธิ์ (รูปที่ 4.7ข) แสดงให้เห็นว่าการมีอยู่ของแป้งส่งผลต่อพฤติกรรมการเกิดผลึกของ PP เกรด P750J ได้มากกว่า เกรด P700J และ P901J ซึ่งเมื่อพิจารณาแนวโน้มของอุณหภูมิหลอมผลึกจาก เทอร์โมแกรมการให้ความร้อนครั้งที่ 2 (รูปที่ 4.8) พบลักษณะที่คล้ายกับผลจากเทอร์โมแกรมช่วงลดอุณหภูมิ คือ มีเพียง P750J ที่เห็นความแตกต่างระหว่างเม็ดและโพลีเมอร์ จากพฤติกรรมการหลอมและเกิดผลึกที่เปรียบเทียบระหว่างเม็ดเรซินและโพลีเมอร์ ทำให้สรุปได้ว่า P750J มีสภาพเข้ากันได้กับแป้งได้ดีที่สุด



รูปที่ 4. 6 DSC เทอร์โมแกรมจากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1st heat) ของเม็ด PP บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ PP ที่ขึ้นรูปด้วยสถานะที่ 4 เมื่อ PP ที่ใช้เป็นเกรด (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ(ค) P₉₀₁



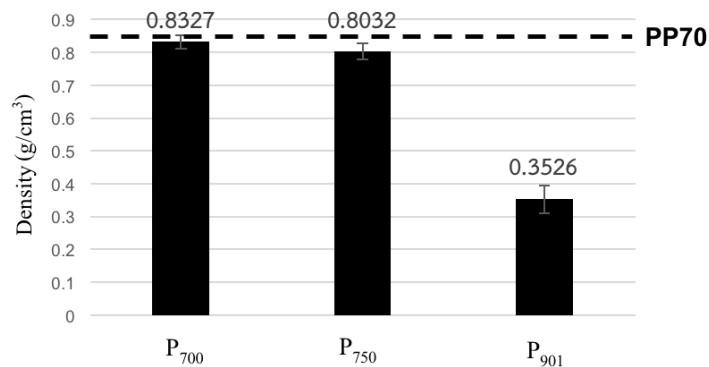
รูปที่ 4. 7 DSC เทอร์โมแกรมจากการลดอุณหภูมิ (cooling) ของเม็ด PP บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ PP ที่ขึ้นรูปด้วยสถานะที่ 4 เมื่อใช้ PP ที่ใช้เป็นเกรด (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ(ค) P₉₀₁



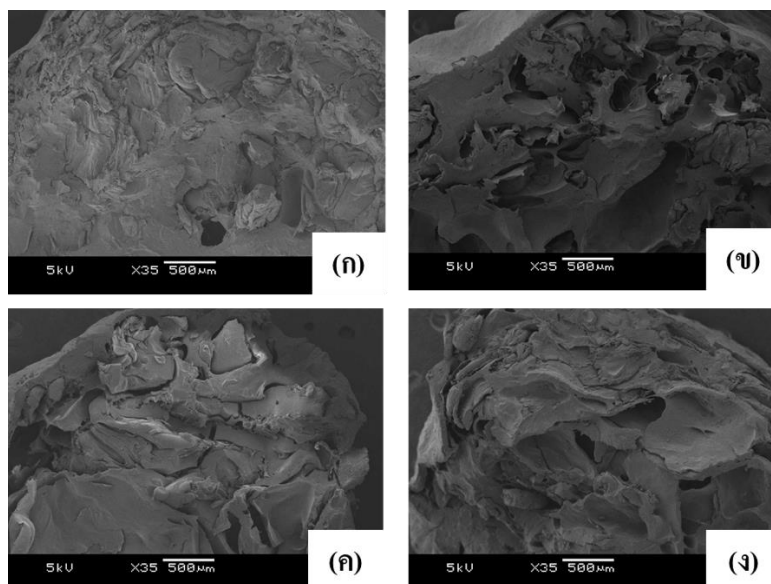
รูปที่ 4. 8 DSC เทอร์โมแกรมการให้ความร้อนครั้งที่ 2 (2^{nd} heat) ของเม็ด PP บริสุทธิ์เปรียบเทียบกับโพลีเมอร์ PP ที่ขึ้นรูปด้วยสถานะที่ 4 เมื่อใช้ PP ที่ใช้เป็นเกรด (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ (ค) P₉₀₁

การศึกษาในส่วนนี้ที่มุ่งเน้นเตรียมโพลีเมอร์ด้วย PP เกรดต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ผลของโครงสร้างและดัชนีการไหลของ PP ต่อสมบัติของโพลีเมอร์ P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁ สถานะที่ใช้ในการขึ้นรูปในส่วนนี้แตกต่างจากกรณีของ P401S ทั้งนี้การขึ้นรูปโพลีเมอร์ P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁ จะใช้สถานะที่ 4 และความเร็วสกรูที่ 60 รอบ/นาที่ ซึ่งสถานะนี้มีสัดส่วนของ Gelatinization zone Mixing zone และ Cooling zone เท่ากับสถานะที่ 3 แต่มีการปรับลดอุณหภูมิที่ Mixing zone และ Cooling zone เนื่องจากเมื่อทดลองขึ้นรูปโพลีเมอร์ P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁ ด้วยสถานะที่ 3 พบว่าโพลีเมอร์ที่ได้จะมียุบตัวลงเมื่อพ่นตาย และมีความหนาแน่นสูงกว่า PP70 ทุกสูตร (PP70 ความหนาแน่น 0.8579 g/cm³) ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเกิดเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปสูงเกินไป เมื่อทดลองขึ้นรูปด้วยสถานะที่ 4 พบว่าการลดอุณหภูมิของพอลิเมอร์หลอมก่อนออกจากตาย สามารถให้ประสิทธิภาพการเตรียมโพลีเมอร์ที่ดีขึ้นเมื่อเกรด PP ที่ใช้มีค่า MFI สูงกว่า P401S

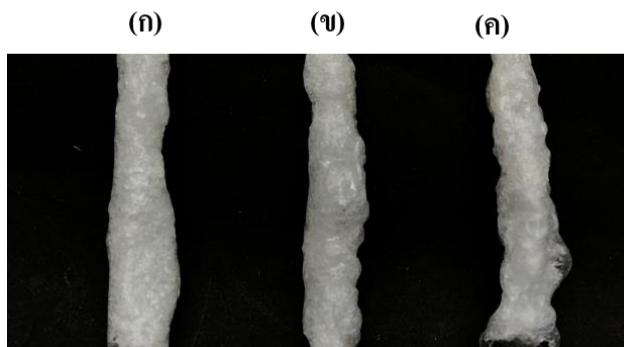
รูปที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP สูตรต่าง ๆ ที่เตรียมจากการใช้เกรดของ PP ต่างชนิดกัน พบว่า การปรับเปลี่ยนเกรดของ PP ทำให้สามารถเตรียมโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า PP70 ได้ในทุกสูตร โดยโพลีเมอร์ P₉₀₁ มีความหนาแน่นต่ำสุด (0.3526 g/cm³) รองลงมาคือสูตร P₇₅₀ (0.8032 g/cm³) และ P₇₀₀ (0.8327 g/cm³) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับสัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์ (รูปที่ 4.10) ที่มีลักษณะเป็นโพรงมากขึ้น เมื่อเทียบกับสูตร PP70 และโพลีเมอร์ P₉₀₁ มีลักษณะเป็นโพรงมากกว่าสูตร P₇₀₀ และ P₇₅₀ แต่เมื่อพิจารณา ลักษณะของโพลีเมอร์ที่เตรียมได้ (รูปที่ 4.11) พบว่าโพลีเมอร์ P₉₀₁ มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอซึ่งอาจเกิดจาก PP เกรดนี้มีดัชนีการไหลสูง มีความแข็งแรงขณะหลอมเหลวต่ำ ทำให้ไม่สามารถคงตัวอยู่ได้หลังจากพ่นตาย จึงได้ทำการนำ PP เกรด P901J ผสมกับ PP ที่มีดัชนีการไหลต่ำกว่า คือ P700J และ P750J (P₇₀₉ และ P₇₅₉ ตามลำดับ) เพื่อปรับปรุงรูปร่างของโพลีเมอร์ให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น



รูปที่ 4. 9 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁ ที่เตรียมด้วยสถานะที่ 4 เปรียบเทียบกับความหนาแน่นของ PP70 ที่เตรียมด้วยสถานะที่ 3



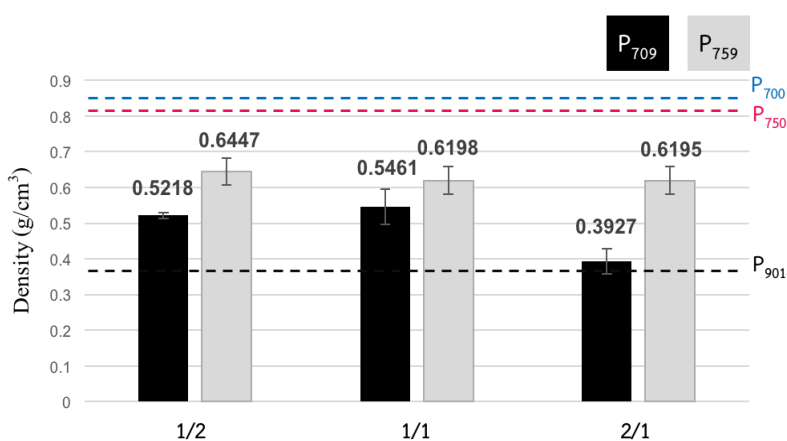
รูปที่ 4. 10 สัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์สูตร (ก) PP70 (ข) P₇₀₀ (ค) P₇₅₀ และ (ง) P₉₀₁



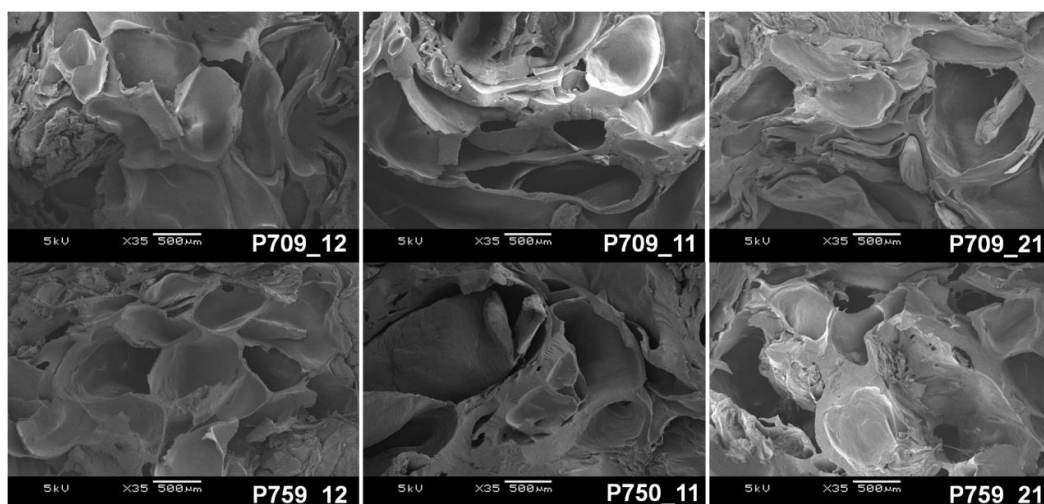
รูปที่ 4. 11 ลักษณะของโพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปจากสูตร (ก) P₇₀₀ (ข) P₇₅₀ และ (ค) P₉₀₁

จากการตรวจสอบความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP สูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ (รูปที่ 4.12) ที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนระหว่าง PP เกรด P901J กับ P700J และ P750J ที่ 1:2 1:1 และ 2:1 พบว่าโพลีเมอร์ที่เตรียมได้มีความหนาแน่นอยู่ระหว่างความหนาแน่นของโพลีเมอร์สูตร P₇₅₀ และ P₉₀₁ เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของโพลีเมอร์ P₇₀₉ และ P₇₅₉ พบว่าโพลีเมอร์สูตร P₇₀₉ มีความหนาแน่นต่ำกว่าโพลีเมอร์ P₇₅₉ ในทุกสัดส่วนการผสม โดยมีความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่เตรียมได้อยู่ในช่วง 0.3927-0.5461 g/cm³ โดยสูตรที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดคือสูตร P_{709_21} ในขณะที่ความหนาแน่นของโพลีเมอร์สูตร P₇₅₉ จะอยู่ในช่วง 0.6195-0.6447 g/cm³ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันในทุกสัดส่วน

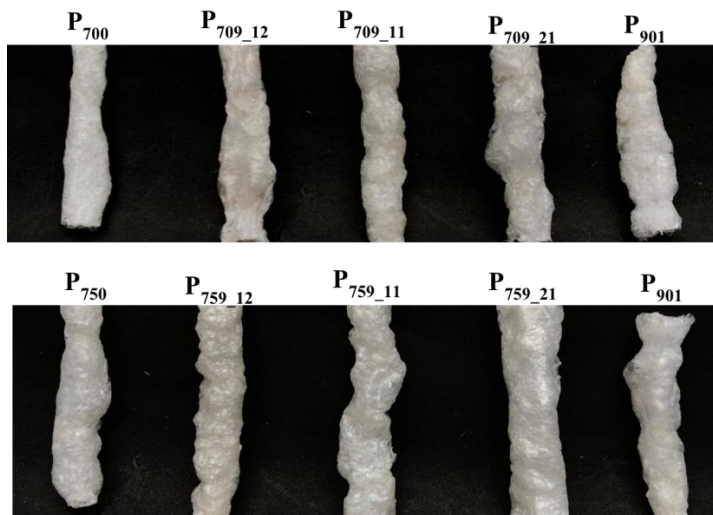
รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์สูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่าเซลล์โพลีเมอร์มีรูปร่างสม่ำเสมอ และมีลักษณะความเป็นโพรงกระจายตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับโพลีเมอร์สูตร P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁ (รูปที่ 4.10) และลักษณะของโพลีเมอร์ที่เตรียมได้ (รูปที่ 4.11) ยังมีรูปร่างสม่ำเสมอมากขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 4. 12 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP สูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่เตรียมจากอัตราส่วนระหว่าง P700/P901 และ P750/P901 เป็น 1/2, 1/1 และ 2/1



รูปที่ 4. 13 สัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์สูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่สัดส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4. 14 ลักษณะของโพลีที่ขึ้นรูปจากสูตร P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่สัดส่วนต่างๆ เทียบกับ PP สูตรที่ไม่ได้ผสม

โครงการนี้วิเคราะห์หัตถิพลของ P₉₀₁ ที่มีผลต่อ P₇₀₀ (โพลิโพรพิลีน) และ P₇₅₀ (โพลิโพรพิลีนแบบสุ่ม) โดยใช้เทคนิค DSC โดยเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้การหลอมผลึก (ΔH_m) ของโพลีสูตรที่ไม่ได้ทำการผสม (P₇₀₀, P₇₅₀ และ P₉₀₁) กับโพลี P₇₀₉ และ P₇₅₉ ที่เกิดจากการผสม PP เกรดแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ΔH_m จากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ของโพลีสูตร P₇₀₉ พบว่า P₇₀₀ มีค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกสูงสุด (65.9 J/g) และมีค่าต่ำลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ P₉₀₁ และโพลีสูตร P_{709_11} มีความร้อนของการหลอมผลึกต่ำสุด (39.94 J/g) ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าการผสม P₉₀₁ ไม่เกินร้อยละ 50 จะทำให้เกิดผลึกของระบบลดลง แต่เมื่อผสมเกินร้อยละ 50 (โพลีสูตร P_{709_12}) จะให้ค่าพลังงานของการหลอมผลึกเพิ่มขึ้น (64.71 J/g) และผลของ DSC ไม่สามารถระบุได้ว่าค่าพลังงานของการหลอมผลึกของโพลีสูตร P_{709_12} เป็นผลมาจาก PP เกรดใด จากการทดสอบไม่สามารถหาค่าพลังงานของการหลอมผลึกของ P₉₀₁ ได้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมจากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1st heat) (รูปที่ 4.15ก) ของ P₉₀₁ ปรากฏพีคของ PP ที่ไม่แยกตัวจากพีคของแป้งอย่างชัดเจน ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าความร้อนของการหลอมผลึกที่แท้จริงได้

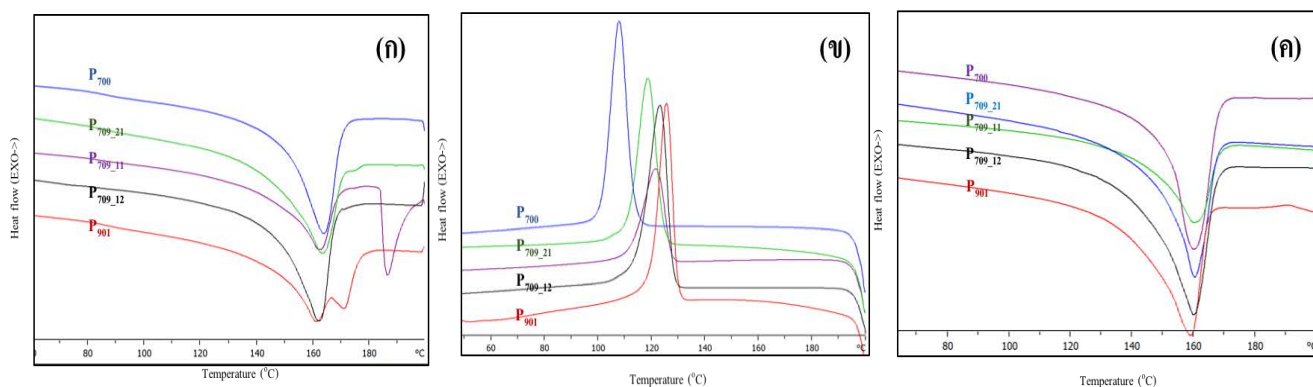
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า ΔH_m จากการให้ความร้อนครั้งที่ 1 ของโพลีสูตร P₇₅₉ พบว่า P₇₅₀ มีค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกต่ำสุด (29.33 J/g) และมีค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ P₉₀₁ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สามารถตรวจพบทั้งในการให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1st heat) การลดอุณหภูมิ (Cool) และการให้ความร้อนครั้งที่ 2 (2nd heat) ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่า P₉₀₁ ส่งผลต่อ P₇₀₀ และ P₇₅₀ ในลักษณะที่ต่างกันอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4. 2 อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมผลึก (T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และเอนทาลปีของการเกิดผลึก (ΔH_f) ของโพลีเมอร์ P₇₀₉

สูตร	การให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1 st heat)		การลดอุณหภูมิ (Cool)		การให้ความร้อนครั้งที่ 2 (2 nd heat)	
	อุณหภูมิ หลอมผลึก (T_m) (°C)	พลังงานที่ใช้ ในการหลอม ผลึก (ΔH_m) (J/g)	อุณหภูมิการ เกิดผลึก (T_c) (°C)	เอนทาลปี ของการเกิด ผลึก (ΔH_f) (J/g)	อุณหภูมิ หลอมผลึก (T_m) (°C)	พลังงานที่ใช้ ในการหลอม ผลึก (ΔH_m) (J/g)
P ₇₀₀	163.21	65.9	108.3	76.99	159.54	67.73
P _{709_21}	162.53	53.67	119.22	68.38	159.85	67.9
P _{709_11}	162.21	39.94	121.68	44.59	160.05	41.35
P _{709_12}	161.45	64.71	123.73	79.31	159.44	79.53
P ₉₀₁	160.28	NA	126.34	69.05	158.55	66.06

ตารางที่ 4. 3 อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมผลึก (T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และเอนทาลปีของการเกิดผลึก (ΔH_f) ของโพลีเมอร์ P₇₅₉

สูตร	การให้ความร้อนครั้งที่ 1 (1 st heat)		การลดอุณหภูมิ (Cool)		การให้ความร้อนครั้งที่ 2 (2 nd heat)	
	อุณหภูมิหลอมผลึก (T_m) (°C)	พลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔH_m) (J/g)	อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) (°C)	เอนทาลปีของการเกิดผลึก (ΔH_f) (J/g)	อุณหภูมิหลอมผลึก (T_m) (°C)	พลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึก (ΔH_m) (J/g)
P ₇₅₀	152.26	29.33	116.44	43.88	151.31	42.9
P _{759_21}	157.25	43.58	120.87	54.42	154.28	53.59
P _{759_11}	156.32	32	120.45	52.86	154.64	50.45
P _{759_12}	156.91	38.48	123.23	56.51	155.61	54.82
P ₉₀₁	160.28	NA	126.34	69.05	158.55	66.06



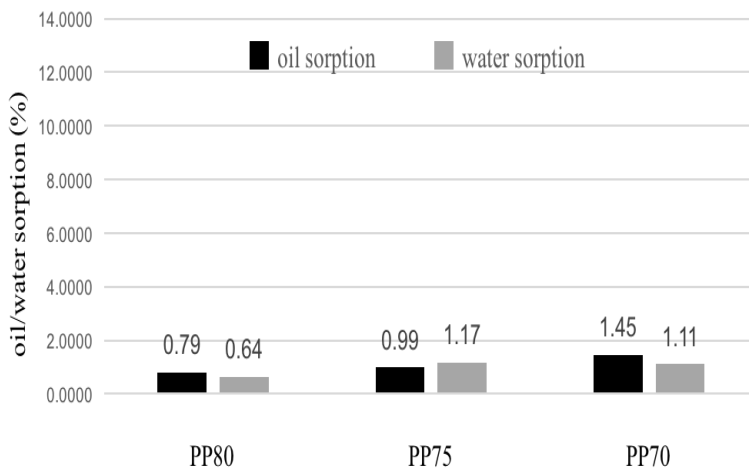
รูปที่ 4. 15 DSC เทอร์โมแกรมของโพลีเมอร์ P₇₀₉ (ก) การให้ความร้อนครั้งที่ 1 (ข) การลดอุณหภูมิ (cooling) และ (ค) การให้ความร้อนครั้งที่ 2

4.5 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำของโพลีเมอร์

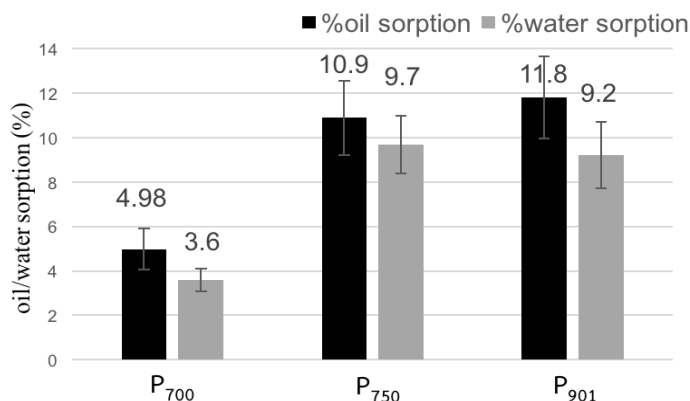
จากการทดลองทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโพลีเมอร์ PP สูตร PP80 PP75 และ PP70 ที่ขึ้นรูปโดยใช้สภาวะที่ 1 (รูปที่ 4.16) พบว่าโพลีเมอร์แต่ละสูตรมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำที่ต่ำมาก ซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 0.79-1.45 และ 0.64-1.11 ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากเกรดของ PP ที่ใช้มีดัชนีการไหลต่ำ ทำให้สามารถขึ้นรูปโพลีเมอร์ PP ให้มีลักษณะเป็นโพร่งที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ไม่มากนัก

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนเกรดของ PP ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน และมีดัชนีการไหลสูงขึ้น (P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁) (รูปที่ 4.17) พบว่าทุกสูตรมีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน/น้ำที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ PP70 โดยค่าการดูดซับน้ำมันและน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 4.98-11.8 และ 3.6-9.7 ตามลำดับ โดยโพลีเมอร์ที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุดคือสูตร P₉₀₁ แต่ลักษณะของโพลีเมอร์ P₉₀₁ มีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอ ผนังเซลล์โพลีเมอร์ไม่สามารถคงรูปอยู่ได้เกิดการยุบตัวลงซ้อนทับกัน ซึ่งเป็นผลมาจาก PP เกรด P901J มีดัชนีการไหลสูง มีความแข็งแรงขณะหลอมเหลวต่ำ ซึ่งเชื่อว่าการลดดัชนีการไหลลงจะสามารถทำให้เซลล์โพลีเมอร์สามารถคงรูปอยู่ได้มากขึ้นและมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันที่ดีขึ้น จึงได้ทำการนำ PP เกรด P901J ผสมกับ PP ที่มีดัชนีการไหลต่ำกว่าคือ P700J และ P750J (P₇₀₉ และ P₇₅₉ ตามลำดับ) ที่สัดส่วน 1:2 1:1 และ 2:1 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมัน

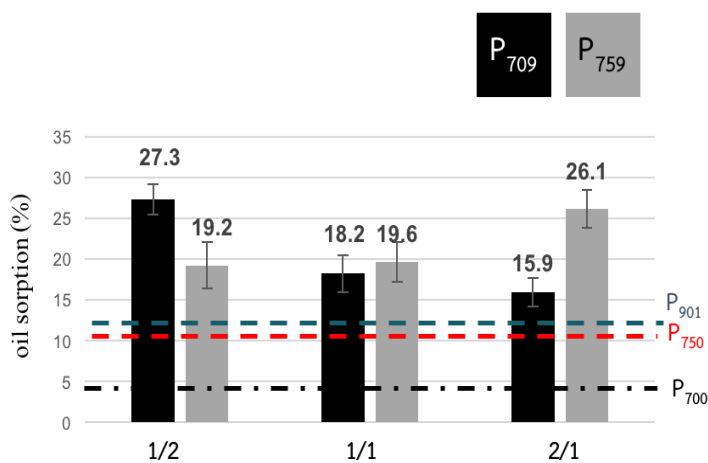
รูปที่ 4.18 และ 4.19 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมัน/น้ำของโพลีเมอร์ PP ที่ใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง P₉₀₁ กับ P₇₀₀ และ P₇₅₀ ที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่าโพลีเมอร์ทุกสูตรมีความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง (อยู่ในช่วงร้อยละ 1.9 – 7.7) และมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงขึ้น (อยู่ในช่วงร้อยละ 15.9 – 27.3) เมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ทำการผสม (P₇₀₀ P₇₅₀ และ P₉₀₁) โดยสูตร P₇₀₉ มีแนวโน้มที่จะดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ P₉₀₁ คาดว่าเป็นผลมาจาก P₉₀₁ มีดัชนีการไหลที่สูงทำให้มีความสามารถในการเข้ากับแป้งข้าวโพด ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพองน้ำได้ดียิ่งขึ้น แต่สูตร P₇₅₉ มีแนวโน้มที่จะดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ P₇₅₀ คาดว่าเป็นผลมาจากโพลีเมอร์มีลักษณะความเป็นอสัณฐานมากขึ้น ทำให้น้ำมันเคลื่อนที่เข้าไปในโพลีเมอร์ง่ายขึ้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแม้ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ P₇₅₉ ที่สัดส่วนต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณ 0.6 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) แต่ค่าการดูดซับน้ำมันของโพลีเมอร์มีความแตกต่างกัน และโพลีเมอร์ P₇₀₉ แม้มีความหนาแน่นต่ำกว่าสูตร P₇₅₉ แต่มีค่าการดูดซับน้ำมันที่ต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.3-0.6 g/cm³ ที่เตรียมได้ในโครงการนี้ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันมีความสัมพันธ์กับเกรดของ PP มากกว่าผลของความหนาแน่นของโพลีเมอร์



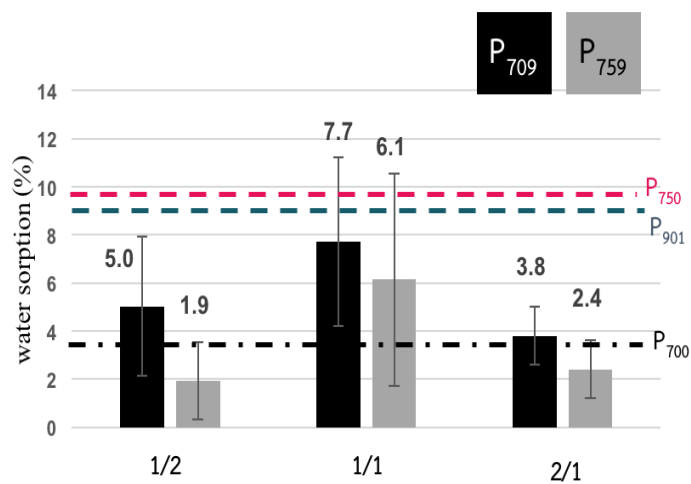
รูปที่ 4. 16 ความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันของโพลี PP/TPS จาก เกรด P401S



รูปที่ 4. 17 ความสามารถในการดูดซับน้ำ และน้ำมันของโพลี PP/TPS จาก เกรด P700J, P750J และ P901J



รูปที่ 4. 18 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโพลี PP ที่ใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง P₉₀₁ กับ P₇₀₀ และ P₇₅₀ ที่สัดส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4. 19 ความสามารถในการดูดซับน้ำของโพลีเมอร์ PP ที่ใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่าง P₉₀₁ กับ P₇₀₀ และ P₇₅₀ ที่สัดส่วนต่าง ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สนใจการเตรียมโฟมพอลิพรอพิลีน โดยใช้น้ำเป็นสารทำให้ฟูและใช้แป้งข้าวโพดเป็นตัวพาน้ำ การขึ้นรูปทำโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ แล้วศึกษาปริมาณแป้ง เกรดของ PP และสภาวะอุณหภูมิขึ้นรูปที่ส่งผลต่อความหนาแน่น สัดส่วนการขยายตัว สัณฐานวิทยา และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน/น้ำ จากผลการทดสอบพบว่า

1. ปริมาณแป้งร้อยละ 30 เป็นปริมาณแป้งที่เหมาะสมสำหรับโฟม PP โดยสามารถเตรียมโฟมที่มีความหนาแน่นในช่วง 0.39-0.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันตั้งแต่ร้อยละ 16-27
2. สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและดัชนีการไหลของ PP นอกจากนี้สำหรับโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม และพอลิเมอร์ที่มีดัชนีการไหลสูง มีแนวโน้มสามารถขึ้นรูปโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำได้ โดยการลดอุณหภูมิ mixing zone และ cooling zone
3. ความเข้ากันได้ระหว่างแป้งข้าวโพดกับ PP และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและดัชนีการไหลของ PP
4. การใช้ PP เกรด P900J (MFI 60) ทำให้โฟม PP ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำที่สุด แต่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการทำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP เกรด P900J กับเกรดที่มีดัชนีการไหลต่ำกว่า เช่น PP เกรด P700J และ P750J

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เดอะ คอร์ พลาส จำกัด. **เหตุใดพอลิโพรไพลีน จึงเป็นวัสดุที่ดีที่สุด** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.thecoreplast.co.th/polypropylene-the-material-of-choice-plasticleads-packaging-group.html> [มีนาคม, 2561]
- [2] ชาญวิทย์ พูนศรีไชยสิทธิ์. **โฟมพลาสติก** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/238_74-78.pdf [มีนาคม, 2561]
- [3] Aztec Online. **Open Cell Foam Open Cell Spray Foam Now Recognized Californias Energy Code**[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.openingtolovenow.com/open-cell-foam/open-cell-foam-open-cell-spray-foam-now-recognized-californias-energy-code/> [มีนาคม, 2561]
- [4] วิฑูรย์ ศิริไพบูลย์. **การใช้สารเติมแต่งในกระบวนการผลิตพอลิเมอร์**[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://library.dip.go.th/multim/edoc/00327.pdf> [มีนาคม, 2561]
- [5] รัชนี ศรีสุข. **Extrusion process**. เอกสารประกอบการสอนวิชากระบวนการผลิตพอลิเมอร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2560.
- [6] Italo Soares. **What is an extruder?** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://3dprinterchat.com/2017/05/bowden-vs-direct-drive/> [มีนาคม, 2561]
- [7] Montiel,R., Herrera,R., Calderón,J. and Pérez,E. **‘Novel Twin Screw Co-Extrusion-Electrospinning Apparatus’**[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajbe.20160601.03.html> [มีนาคม, 2561]
- [8] Plastics Institute Of Thailand. **เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (THERMOPLASTIC STARCH)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://asp.plastics.or.th:8001/Article_Detail.aspx?id=31 [มีนาคม, 2561]
- [9] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html> [เมษายน, 2561]
- [10] สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). **เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (DSC)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5102/nkc5102t.html> [พฤษภาคม, 2562]
- [11] Arroyo,C., Saja,J., Velasco,J. and Pérez,M. (2012). **‘Moulded polypropylene foams produced using chemical or physical blowing agents: structure–properties relationship’**. *J Mater Sci* 47: 5680–5692

- [12] Rizvi,G., Matuana,L. and Park,C. (2000). **'Foaming of PS/Wood Fiber Composites Using Moisture as a Blowing Agent'**. POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE 40: 2124-2132
- [13] Zhang,C., Zhu,B. and Lee,L. (2011). **'Extrusion foaming of polystyrene/carbon particles using carbon dioxide and water as co-blowing agents'**. Polymer 52: 4228-4240
- [14] Xu,M., Bian,J., Han,C. and Li,D. (2016). **'Facile preparation of open-Cell PP/TPS blend foams using water as a blowing Agent'**. Macromolecule Materials and Engineering 301: 149–159
- [15] Xu, M., Bian,J., Han,C. and Li,S. (2016). **'Hydrophobic modification of polypropylene/starch blend foams through tailoring cell diameter for oil- spill cleanup'**. The Royal Society of Chemistry 6: 82088-82095