



**โครงการ  
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์**

**ชื่อโครงการ** การปรับปรุงเสถียรภาพด้านรูปทรงของโฟม PP/TPS ด้วยกลูเตนและกลีเซอรอล  
**Shape stability improvement of PP/TPS foam using gluten and glycerol**

**ชื่อนิสิต** นางสาวจิตา จิตรอาจ **เลขประจำตัว** 5933220423  
นางสาวณัฐนิชา ปัญญาวิเชียร **เลขประจำตัว** 5933225623

**ภาควิชา** วัสดุศาสตร์  
**ปีการศึกษา** 2562

**คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรี

การปรับปรุงเสถียรภาพด้านรูปทรงของโฟม PP/TPS ด้วยกลูเตนและกลีเซอรอล  
(Shape stability improvement of PP/TPS foam using gluten and glycerol)

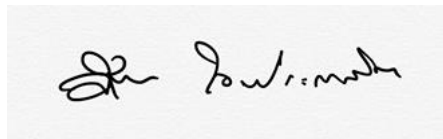
เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์

จัดทำโดย

|                            |             |            |
|----------------------------|-------------|------------|
| นางสาวฐิตา จิตรอาจ         | เลขประจำตัว | 5933220423 |
| นางสาวณัฐนิชา ปัญญาวิเชียร | เลขประจำตัว | 5933225623 |

อนุมัติโดย



.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑนา โอภาประกาศิต)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ปีการศึกษา 2562

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของการใช้กลูเตนและกลีเซอรอลเพื่อเพิ่มเสถียรภาพรูปร่างของโพลีเมอร์ PP/TPS ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องผสมสกรูคู่ โพลีเมอร์ PP/TPS ในงานวิจัยนี้ เตรียมด้วยโพลิโพรพิลีน (Polypropylene :PP) 2 เกรดคือ P700J และ P901J ซึ่งมีดัชนีการไหล 12 และ 60 กรัมต่อ 10 นาทีตามลำดับ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ PP ต่อแป้งข้าวโพดตัดแปรรูปคือ 70:30 ปริมาณน้ำคือร้อยละ 20 ของน้ำหนักแป้ง ปริมาณกลูเตนที่ปรับเปลี่ยนคือ 0, 5 และ 10 กรัม ปริมาณกลีเซอรอลคือร้อยละ 25 ของน้ำหนักแป้งผสมกับกลูเตน

ผลการวิเคราะห์ของความหนาแน่น อัตราการขยายตัวของโพลีเมอร์ ลักษณะวิทยา ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน และสมบัติการทนแรงกดอัด แสดงให้เห็นว่า โพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีการเติมกลูเตนมีความหนาแน่นต่ำ มีอัตราการขยายตัวสูง และมีสมบัติด้านการทนการกดอัดที่ดี โพลีเมอร์มีความยืดหยุ่น สามารถคืนตัวหลังการกดอัดได้ดี เชื่อว่าเป็นผลจากสมบัติวิสโคอิลาสติกของกลูเตน รวมถึงลักษณะของโพลีเมอร์ที่มีเซลล์โพลีเมอร์ขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอและหนาแน่นทั่วเส้นโพลีเมอร์ สำหรับโพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีการเติมกลีเซอรอลร่วมด้วย กลับพบว่ากลีเซอรอลมีแนวโน้มไปลดประสิทธิภาพของของกลูเตนในการรักษาเสถียรภาพของโพลีเมอร์ และยังทำให้โพลีเมอร์มีความแข็ง ผลการทดลองแช่โพลีเมอร์ในน้ำและน้ำมันแสดงให้เห็นว่า โพลีเมอร์ PP/TPS ที่พัฒนาในงานวิจัยนี้แสดงศักยภาพในการประยุกต์ใช้ประโยชน์สำหรับเป็นวัสดุดูดซับน้ำมัน

### **Abstract**

This research has aimed to study the efficiency of using Gluten and Glycerol to enhance shape stability of PP/TPS foams fabricated with twin screw extruder. PP/TPS foams developed in this research were made with 2 different PP grades which are P700J and P901J having melt flow index as 12 grams and 60 grams per 10 minutes, respectively. The weight ratio of PP:modified corn starch is 70:30. The amount of water is 20% of cornstarch. Gluten is varied in the amount of 0, 5 and 10 g. The amount of glycerol is 25% of cornstarch and gluten.

Results of density, expansion ratio, morphology, water and oil absorption as well as the compressive properties show that PP/TPS foams with gluten have low density, high expansion ratio and good compressive properties. Foams obtained are flexible and elastic (shape reversible). This possibly results from viscoelastic property of gluten, as well as, small cell foams densely dispersed throughout the foams. In contrast, for PP/TPS foams in which glycerol is incorporated, glycerol tends to deteriorate the efficiency in maintaining shape stability of gluten. In addition, the obtained foams is rigid. Results of water/oil immersion show that PP/TPS foams developed in this research are feasible for using as oil absorbing material.

## คำนำ

โครงการวิจัยระดับปริญญาตรีเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาศักยภาพด้านต่างๆของนิสิต ทั้งด้านการสังเกต การวิเคราะห์ การให้เหตุผล และการหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสม รวมทั้งทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างเป็นระบบเพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยอาศัยความรู้และความสามารถในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และสารเคมีที่ถูกต้องตามหลักการทำงานอย่างปลอดภัย

รายงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อจุดประสงค์ของโครงการวิจัยระดับปริญญาตรี โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการเตรียมโพลีเอทิลีน โดยใช้น้ำเป็นสารช่วยฟูและแป้งข้าวโพดเป็นตัวพองน้ำ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติด้านความคงตัวของโพลีเอทิลีนที่ได้โดยการใส่กลูเตนและกลีเซอรอล โดยจะศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของโพลีเอทิลีน สมบัติเชิงกล ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันของโพลีเอทิลีน และความสามารถในการทดสอบแรงกดอัด

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้จะช่วยเสริมสร้างความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ ต่อท่านผู้อ่านและผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบกรณีศึกษาในการทำวิจัยต่อไป หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นั้น เนื่องด้วยได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ตลอดจนความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือ วัสดุสำหรับการทำงานวิจัย และทุนวิจัย อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะนำทางในการทำงานวิจัยจากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มณฑนา โอภาประกาศิต อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา การแนะนำการใช้เครื่องมือ ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาในการวิจัย ด้วยความตั้งใจอย่างดีตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ ที่ให้การช่วยเหลือและเอื้ออำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ อนุรักษ์ อ่อนนุ่ม ที่ให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือทดสอบต่าง ๆ และอำนวยความสะดวกในการยืม-คืนอุปกรณ์ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิศา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ อีกทั้งอาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้วิจัย จนสามารถสร้างสรรค์งานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จตามที่มุ่งหวัง

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

|   | หน้าที่ |
|---|---------|
| บทคัดย่อ  | ก       |
| Abstract  | ข       |
| คำนำ  | ค       |
| กิตติกรรมประกาศ                                 | ง       |
| สารบัญ  | จ       |
| สารบัญรูป                                       | ช       |
| สารบัญตาราง                                     | ซ       |
| บทที่ 1   | 1       |
| บทนำ  | 1       |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ                           | 1       |
| 1.2 วัตถุประสงค์                                | 2       |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย                              | 2       |
| บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  | 3       |
| 2.1 โพลีโพรพิลีน                                | 3       |
| 2.2 คุณสมบัติของโพลีโพรพิลีน                    | 3       |
| 2.3 สารช่วยฟู                                   | 4       |
| 2.4 กลูเตน                                      | 4       |
| 2.5 กลีเซอรอล                                   | 4       |
| 2.6 เทอโมพลาสติกสตาโรซ์ (TPS)                   | 5       |
| 2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป                | 5       |
| 2.7.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่                   | 5       |
| 2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ                  | 6       |
| 2.8.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) | 6       |
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                       | 6       |

|  |    |
|--|----|
| บทที่ 3  | 14 |
| การดำเนินงานวิจัย  | 14 |
| 3.1 วัตถุประสงค์   | 14 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย   | 14 |
| 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม  | 14 |
| 3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ   | 14 |
| 3.3 ขั้นตอนการเตรียมโฟม  | 15 |
| 3.3.1 การเตรียมคอมพาวด์สำหรับขึ้นรูป   | 15 |
| 3.3.2 การขึ้นรูปโฟม  | 16 |
| 3.4 การทดสอบสมบัติโฟม  | 16 |
| 3.4.1 ความหนาแน่น  | 16 |
| 3.4.2 อัตราการขยายตัวของโฟม  | 16 |
| 3.4.3 สันฐานวิทยา  | 17 |
| 3.4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำ  | 17 |
| 3.4.5 สมบัติความทนแรงกดอัด   | 17 |
| บทที่ 4  | 18 |
| ผลการทดลอง   | 18 |
| 4.1 ศึกษาผลของชนิดแป้งต่อความหนาแน่น   | 18 |
| 4.2 ศึกษาผลของกลูเตนและกลีเซอรอลต่อสันฐานวิทยา อัตราการขยายตัว ขนาดและความหนาแน่นของโฟม PP/TPS | 19 |
| 4.3 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันโฟม PP/TPS   | 23 |
| 4.4 ศึกษาความสามารถในการทดสอบแรงกดอัดของ โฟม PP/TPS  | 25 |
| บทที่ 5  | 26 |
| สรุปผลการทดลอง   | 26 |
| เอกสารอ้างอิง  | 27 |



## สารบัญรูป

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 2.1  | โครงสร้างพอลิโพรพิลีน   | 3  |
| รูปที่ 2.2  | โครงสร้างกลีเซอรอล  | 4  |
| รูปที่ 2.3  | โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช  | 5  |
| รูปที่ 2.4  | เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่   | 5  |
| รูปที่ 2.5  | กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด  | 6  |
| รูปที่ 2.6  | สัดส่วนการขยายตัวของโฟม PP-TPS  | 7  |
| รูปที่ 2.7  | สัดส่วนการขยายตัวของโฟม PP-TPS10  | 7  |
| รูปที่ 2.8  | สัดส่วนการขยายตัวของโฟม PP-TPS30  | 7  |
| รูปที่ 2.9  | SEM ของโฟม PP-TPS30   | 8  |
| รูปที่ 2.10 | โครงสร้างเซลล์ภายในของโฟม PP-TPS30  | 8  |
| รูปที่ 2.11 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์กับความสามารถในการดูดซับน้ำมัน | 9  |
| รูปที่ 2.12 | ปฏิกริยาที่เป็นไปได้ระหว่าง MAPP กับแป้ง DEA  | 10 |
| รูปที่ 2.13 | ภาพจาก SEM พื้นผิวของ PP/Starch blends  | 11 |
| รูปที่ 2.14 | โฟมที่ขึ้นรูปโดยผสมกับสารเติมแต่ง และใช้แป้งต่างชนิด                                | 11 |
| รูปที่ 2.15 | โฟมจากแป้งที่มีการเติม plastronfoam PDE   | 12 |
| รูปที่ 2.16 | โฟมจากแป้งที่มีการเติม poly (vinyl) alcohol   | 12 |
| รูปที่ 2.17 | โฟมแป้งสูตรต่างๆ  | 13 |
| รูปที่ 2.18 | โครงสร้างของโฟมสูตรที่มีการเติมกลูเตน   | 13 |
| รูปที่ 4.1  | ความหนาแน่นของโฟม PP/TPS ที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดคัดแปรและแป้งข้าวโพดไม่คัดแปร       | 18 |
| รูปที่ 4.2  | ลักษณะโฟม PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน  | 19 |
| รูปที่ 4.3  | เส้น โฟมศูนย์กลางของ โฟม PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน                             | 20 |
| รูปที่ 4.4  | ความหนาแน่นของโฟม PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน                                    | 21 |
| รูปที่ 4.5  | อัตราการขยายตัวของโฟม PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน                                | 22 |
| รูปที่ 4.6  | ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและขนาดของเซลล์โฟม                                    | 23 |
| รูปที่ 4.7  | ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโฟมสูตรที่เตรียมจาก P901J                             | 24 |
| รูปที่ 4.8  | ความสามารถในการดูดซับน้ำของโฟมสูตรที่เตรียมจาก P901J                                | 25 |

**สารบัญตาราง**

|   |    |
|---|----|
| ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมคอมพาวด์ของโพลี PP/TPS สูตรต่างๆ            | 15 |
| ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิของเครื่อง co-rotation twin screw extruder | 16 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน มีการนำโพลีพลาสติกมาใช้งานในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากโพลีพลาสติกมีคุณสมบัติที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการเตรียมจึงสามารถใช้งานในหลายรูปแบบ เช่น ก่อสร้างใส่ข้าว ฉนวนป้องกันความร้อน เบาะ ที่นอน และวัสดุกันกระแทกภายในบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น อีกหนึ่งการใช้งานที่น่าสนใจคือการพัฒนาโพลีพลาสติกเพื่อนำมาช่วยดูดซับน้ำมันที่รั่วไหลลงสู่ทะเลซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในท้องทะเล และระบบนิเวศถูกทำลาย โพลีพลาสติกได้รับความสนใจ เพื่อเป็นวัสดุดูดซับน้ำมันเนื่องจาก ต้นทุนการผลิตต่ำ สามารถลอยน้ำได้ และมีช่องว่างในเนื้อโพลีปริมาณมากที่สามารถใช้กักเก็บน้ำมัน อีกทั้งมีแนวโน้มนำกลับมาใช้ซ้ำได้ด้วยวิธีที่ไม่ซับซ้อน

โพลีพลาสติกสามารถผลิตได้จากคอมพาวด์ที่มีองค์ประกอบของเม็ดพลาสติกและ สารช่วยพuffs (blowing agent) ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนในขั้นตอนขึ้นรูป จะเกิดเป็นแก๊สที่ส่งผลให้เนื้อพอลิเมอร์เกิดการขยายตัว เมื่อเนื้อพอลิเมอร์เย็นตัวเปลี่ยนกลับสู่สถานะของแข็งจึงเกิดเป็นลักษณะคล้ายฟองน้ำที่มีโพรงอากาศจำนวนมาก ส่งผลให้โพลีที่ได้น้ำหนักเบา ความหนาแน่นมีค่าลดลงและต่ำกว่าความหนาแน่นของพลาสติกชนิดที่นำมาใช้ในการผลิต ด้วยสารช่วยพuffs ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เป็นสารเคมีซึ่งมีราคาแพงและอาจไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้น้ำซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาเป็นสารช่วยพuffs นั้นจึงมีความน่าสนใจ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารอื่นเพื่อพัฒนาสมบัติบางประการ เช่น สารเสริมแรง (reinforcing agent) จำพวกเส้นใย (fibers) เป็นต้น หรือสารตัวเติม (fillers) เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) และแป้ง (starch) เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการนำแป้งมาผสม อาทิเช่น พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน และ พอลิยูรีเทน เป็นต้น นำไปขึ้นรูปโดยใช้น้ำเป็นสารช่วยพuffs สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เป็นโพลีขึ้นมาได้ ดังนั้นกลุ่มของข้าพเจ้าได้เล็งเห็นประโยชน์จากการใช้น้ำและแป้งมาเป็นระบบสารช่วยพuffs ของพลาสติก โดยพลาสติกที่สนใจคือพอลิโพรพิลีนเนื่องจากมีความไม่ชอบน้ำ ความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ราคาถูก และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จากการทดลองที่ผ่านมาทางกลุ่มวิจัยศึกษาการเตรียมโพลี โดยนำเม็ดพอลิโพรพิลีนเกรดต่าง ๆ ผสมกับน้ำและแป้งในสัดส่วนต่าง ๆ ไปทดลองกับเครื่องผสมสกรูคู่ แล้วศึกษาลักษณะเส้นพลาสติกที่ผ่านออกมาทางคายว่าเกิดการขยายตัวและคงรูปร่างของโพลีได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ ผลการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าเกรดของพอลิโพรพิลีนมีผลต่อประสิทธิภาพการเกิดโพลีและความหนาแน่นของโพลีที่เตรียมได้ โพลีที่ได้ค่อนข้างแข็งและไม่พuffs โดยเป็นผลส่วนหนึ่งจากปัญหาการยุบตัว (หดตัว) ของโครงสร้างโพลีเมื่อผ่านคาย นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งกับพอลิโพรพิลีนมีลักษณะไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน อันเกิดขึ้นจากการที่พอลิโพรพิลีนเป็นโมเลกุลชนิดไม่มีขั้ว ส่วนโมเลกุลแป้งนั้นมีขั้วทำให้เกิดความไม่เข้า

กัน จากการศึกษางานวิจัยทำโคมจากแป้ง พบว่ากลีเซอรอลสามารถช่วยลดจุดหลอมเหลวของแป้ง และ gluten สามารถช่วยให้โคมที่ฟูสามารถคงตัวได้ดีหลังจากที่ออกมาจากหัวคายน

ดังนั้นโครงการงานวิจัยระดับปริญญาบัณฑิตนี้จึงสนใจพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยของกลุ่มวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นเพื่อเตรียมโคมPP/TPS ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องผสมสกรูคู่ในการขึ้นรูป และใช้น้ำเป็นสารช่วยฟูโดยศึกษาผลของกลีเซอรอลซึ่งเป็นสารพลาสติกไซเซอร์สำหรับแป้งว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมโคมที่มีความหนาแน่นต่ำและสามารถช่วยในการยึดแป้งกับพอลิโพรพิลีนได้หรือไม่ อีกทั้งศึกษาผลของกลูเตนว่าสามารถช่วยเพิ่มความฟูตัวและความคงตัวของโคมได้หรือไม่

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนของ PP ชนิดของแป้ง กลูเตน กลีเซอรอล และน้ำ ที่ส่งผลต่อลักษณะของโคม ลักษณะวิทยา อัตราการขยายตัวของโคม และการทนแรงกดอัด
2. ศึกษาผลของการเติม กลูเตน กลีเซอรอล ต่อการขยายตัวและการคงรูปของโคม

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

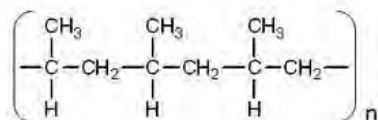
1. เตรียมโคมจากพอลิโพรพิลีนผสมแป้ง โดยใช้อัตราส่วนพอลิโพรพิลีนต่อแป้งที่ร้อยละ 70:30 โดยใช้น้ำเป็นสารช่วยฟู และแป้งเป็นตัวพาน้ำ ขึ้นรูปโดยเครื่องผสมสกรูคู่ โดยมีการผสมกลูเตน 5 และ 10 กรัม กลีเซอรอลร้อยละ 25 ของน้ำหนักแป้งผสมกลูเตน
2. ตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ คือ ความหนาแน่น อัตราการขยายตัวของโคม ลักษณะลักษณะวิทยาของโคมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การดูดซับน้ำมัน และความทนแรงกดอัดของโคม โดยใช้เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

## บทที่ 2

### ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) [1]

โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) มีโครงสร้างเคมีดังรูปที่ 2.1 เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น บรรจุภัณฑ์ ฟิล์ม และฉลากติดสินค้า สิ่งทอ ชิ้นส่วนพลาสติกและภาชนะบรรจุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายประเภท อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ทางการแพทย์ โพลีโพรพิลีนเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงทนทานและทนต่อสารเคมี ตัวทำละลาย ค้างและกรด



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโพลีโพรพิลีน

#### 2.2 คุณสมบัติของโพลีโพรพิลีน [2]

- มีความแข็งแรงกว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene: HDPE) และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene: LDPE) มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสีรูปร่าง มีความทนทานมากสามารถทำเป็นบานพับในตัว
- มีลักษณะขาวขุ่น ไม่ทึบแต่ไม่ใส ทึบแสงกว่าโพลีเอทิลีน แต่ไม่ใสเท่ากับโพลี สไตรีน (polystyrene: PS)
- มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อย ในช่วง 0.855-0.946 g/cm<sup>3</sup> ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกับโพลีเอทิลีน
- มีจุดหลอมเหลวสูง 130-170 องศา จึงสามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (sterilization: 100 องศา)
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก ได้แก่ กรด ค้าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะเกิดการบวมตัวอ่อนนุ่มหรือพื้นผิวเป็นรอยได้ในสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีนหรือไฮโดรคาร์บอน

### 2.3 สารช่วยฟู (Blowing agent) [3]

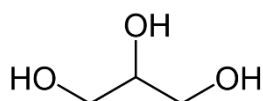
สารฟู (Blowing agent) เป็นสารที่เติมลงในพอลิเมอร์เพื่อให้สลายตัวเกิดเป็นฟองก๊าซแทรกอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง ใช้ในการผลิตวัสดุประเภทโฟม จนวนกัน ความร้อน รongเท้าฟองน้ำ ช่วยลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา เช่น ในกระบวนการผลิตโพลียูรีเทนโดยการทำปฏิกิริยากันของ isocyanate กับน้ำ ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในการเตรียมโฟมพอลิไวนิลคลอไรด์ในอุตสาหกรรมหนังเทียม azodicarbonamide จะแตกตัวได้แก๊สไนโตรเจนออกมา และในการผลิตโฟมพอลิสไตรีน มีการใช้สารช่วยฟูทางกายภาพซึ่งจะเป็นสารที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา มีจุดหลอมเหลวต่ำ สามารถกลายเป็นไอได้ง่าย เช่น น้ำ แก๊สไนโตรเจน แก๊สชีวเทน เพนเทน

### 2.4 กลูเตน (Gluten) [4]

กลูเตน (Gluten) เป็นโกลโคโปรตีนที่พบในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มของธัญพืช (cereal grain) บางชนิด เช่น ข้าวสาลี (wheat) ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโพด กลูเตนเกิดจากการรวมตัวของโปรตีน (protein) กลูเตนิน (glutenin) และโกลอะดีน (gliadin) ในสัดส่วนเท่า ๆ กัน โดยจะสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) ทำให้กลูเตนมีลักษณะเหนียวและยืดหยุ่น ไม่ละลายในน้ำ กลูเตนสามารถเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์ (yeast) หรือผงฟูเอาไว้ได้ ทำให้รักษารูปทรงของผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง (bread) โดนัท (doughnut) ขนมเค้ก

### 2.5 กลีเซอรอล (Glycerol) [5]

กลีเซอรอล (Glycerol) อาจเรียกว่า กลีเซอริน (glycerine หรือ glycerin) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิออล (polyol) ดังรูปที่ 2.2 เป็นสารที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสหวานเล็กน้อย (ความหวานสัมพัทธ์ 60) ในโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 3 หมู่ จึงทำให้ละลายในน้ำได้ดี มีสมบัติในการดูดจับน้ำได้ดี (hygroscopic) กลีเซอรอลเป็นส่วนประกอบหลักในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งได้จากการรวมตัวของกลีเซอรอลกับกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล

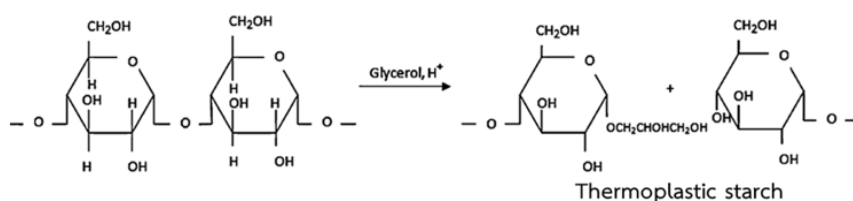


รูปที่ 2.2 โครงสร้างกลีเซอรอล

## 2.6 เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) [6]

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) เป็นพลาสติกชีวฐาน (Bio-based plastic) จัดอยู่ในกลุ่มที่มาจากธรรมชาติโดยตรง ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ไม่เป็นพิษ ย่อยสลายได้โดยการฝังกลบและโดยการกระทำของจุลินทรีย์ และหาใหม่ทดแทนได้

พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง และถั่วต่าง ๆ แป้งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช โดยทั่วไปแล้วแป้งไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อนเหมือนพลาสติกทั่วไป เนื่องจากเกิดการไหม้และเสื่อมสภาพก่อนหลอม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาแป้งให้เป็นเทอร์โมพลาสติกเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้โดยกระบวนการเดียวกับพลาสติกทั่วไป

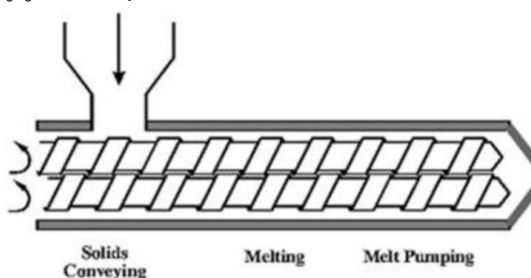


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช

## 2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป

### 2.7.1 Twin – screw Extruder [7]

เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) มักมีประสิทธิภาพการผสมสูงกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ทั้งนี้ เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรูคู่สูงกว่า โดยลักษณะการหมุนของสกรูคู่มีสองแบบ ได้แก่ การหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating screw) และการหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating screw) โดยในการทำคอมปาวด์พลาสติกมักใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีลักษณะการหมุนของสกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 2.4 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin- screw extruder)

## 2.8 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

### 2.8.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) [8]

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM ไม่จำเป็นที่ตัวอย่างต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด(Scanning Electron Microscope : SEM)

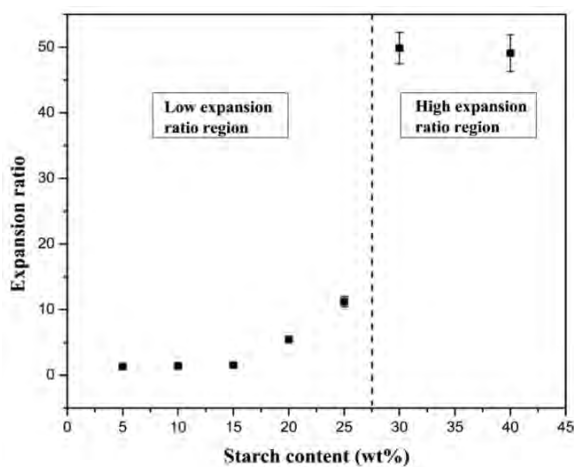
## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ผ่านมามีการรายงานว่าน้ำสามารถเป็นสารช่วยฟูให้แก่พลาสติกได้หลากหลาย เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีนและพอลิยูรีเทน โดยหากจะประสบความสำเร็จจำเป็นต้องมีสารที่ช่วยเป็นตัวพาน้ำ โดยพบว่าอาจใช้เป็น wood fiber และ cellulose [9] แต่ด้วยโครงการวิจัยนี้เห็นประโยชน์ของการพัฒนาโฟม PP และการใช้แป้งเป็นตัวพา ดังนั้นจึงขอกำหนดงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ PP-TPS โฟม PP-TPS และ โฟมแป้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

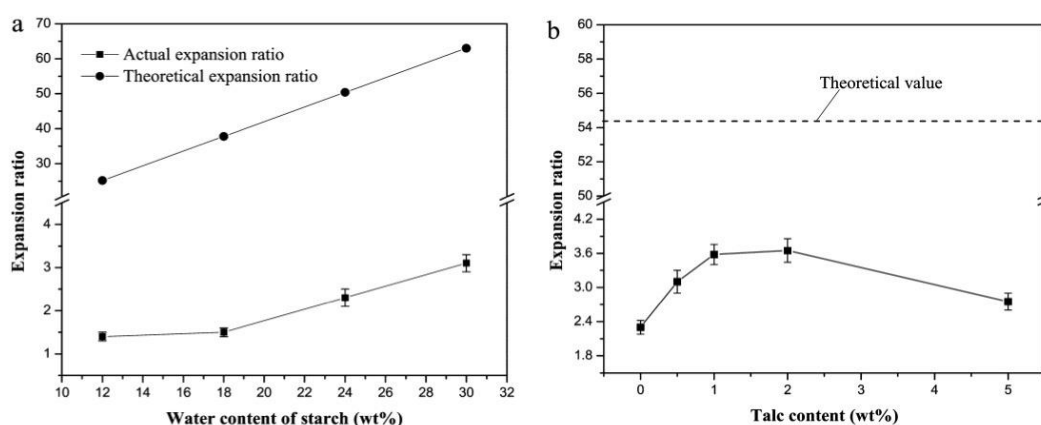
Xu และคณะ[9] ศึกษาการเตรียมโฟม PP-TPS จากพอลิโพรพิลีน (PP) แบบโซ่ตรง (T30S; MFR 20 g/10min) ที่ผสมด้วยแป้งข้าวโพด น้ำและทัลก์ โดยการขึ้นรูปเป็นเส้นด้วยเครื่องผสมสกรูคู่แบบ co-rotating เมื่อทดลองปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ PP ต่อแป้ง ระหว่าง 100:0 ถึง 60:40 และคงปริมาณน้ำและทัลก์ไว้ที่ร้อยละ 20 และ 1 (ของน้ำหนักแป้ง) ตามลำดับ รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแป้งในช่วงร้อยละ 0 ถึง 28 สามารถเตรียมโฟมที่มีสัดส่วนการขยายตัว (expansion ratio) สูงขึ้นจาก 1.3 เป็น 11.2 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งเป็นร้อยละ 30 โฟมที่ได้มีสัดส่วนการขยายตัวสูงถึง 50 ในงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นความสำคัญของปริมาณทัลก์ซึ่งเป็นสารก่อนิวเคลียสของโฟม รวมถึงปริมาณน้ำที่เป็นสารช่วยฟู ดังรูปที่ 2.7–2.8 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำถึงร้อยละ 30 สามารถเพิ่มสัดส่วนการขยายตัวของโฟม PP-TPS10 (สูตร PP:แป้ง เป็น 90:10) ผล



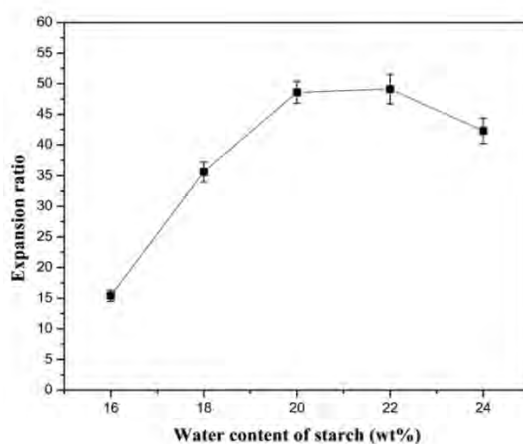
การศึกษาเกี่ยวกับโพลีเมอร์ PP-TPS30 ก็ให้ผลที่เป็นแนวโน้มเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพของน้ำในการเป็นสารช่วยฟูสูงกว่ามากเมื่อใช้แป้งร้อยละ 30 ในรูปที่ 2.8 ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปริมาณทัลก์ที่เหมาะสมคือร้อยละ 1



รูปที่ 2.6 สัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์ PP-TPS ในสูตรที่ใช้ทัลก์ร้อยละ 1 และปรับเปลี่ยนปริมาณแป้งที่ใช้

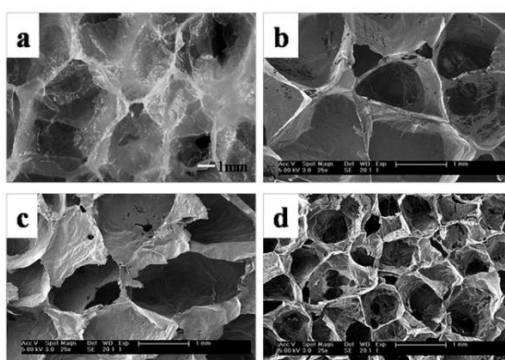


รูปที่ 2.7 สัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์ PP-TPS10 ; (a) สูตรที่ไม่มีการเติมทัลก์ และปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ และ (b) สูตรที่ใช้แป้งร้อยละ 24 และปรับเปลี่ยนปริมาณทัลก์ที่ใช้

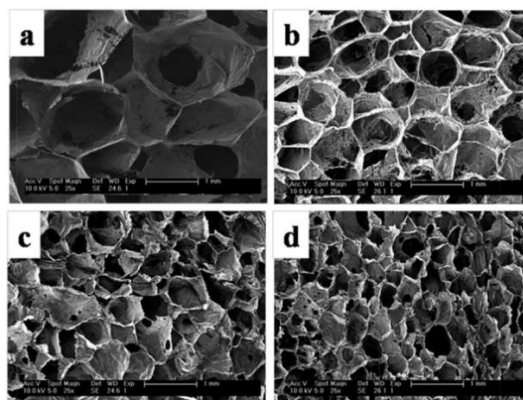


รูปที่ 2.8 สัดส่วนการขยายตัวของโพลีเมอร์ PP-TPS30 ในสูตรที่ใช้ทัลก์ร้อยละ 1 และปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำ

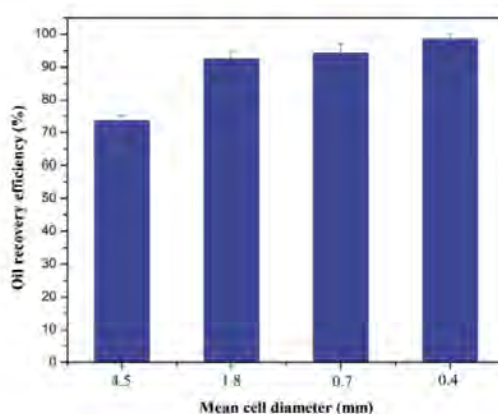
Xu และคณะ [10] ยังศึกษาต่อยอดเพื่อปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำของโพลีเมอร์ PP-TPS30 สูตรที่ใช้ น้ำร้อยละ 20 โดยทดลองใส่สารก่อนิเวศที่แตกต่างกัน คือ ทัลก์ แคลเซียมคาร์บอเนต และมอนต์มอริลโลไนต์จากสถาบันวิทยาที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค scanning electron microscopy (SEM) จากรูปที่ 2.9 พบว่า เซลล์ของโพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปโดยไม่ใส่สารก่อนิเวศมีขนาดใหญ่และความหนาแน่นของเซลล์ค่อนข้างต่ำ ดังรูปที่ 2.9 a แต่เมื่อเติมสารก่อนิเวศชนิดต่าง ๆ ด้วยปริมาณร้อยละ 2 พบว่าการใช้ทัลก์ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ โพลีเมอร์ที่เติมทัลก์เป็นสารก่อผลึกมีจำนวนเซลล์มากขึ้นและมีความหนาแน่นมากที่สุด นอกจากนี้ยังศึกษาผลของขนาดหัวคายต่อลักษณะเซลล์ของโพลีเมอร์ที่เตรียมได้จากรูปที่ 2.10 สรุปได้ว่าการเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคายทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลงและหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้โพลีเมอร์มีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นด้วย ตามรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 ภาพจาก SEM ของโพลีเมอร์ PP-TPS30; (a) สูตรที่ไม่มีสารก่อนิเวศและสูตรที่ใส่สารก่อนิเวศร้อยละ 2 เป็น (b) แคลเซียมคาร์บอเนต (c) มอนต์มอริลโลไนต์ และ (d) ทัลก์

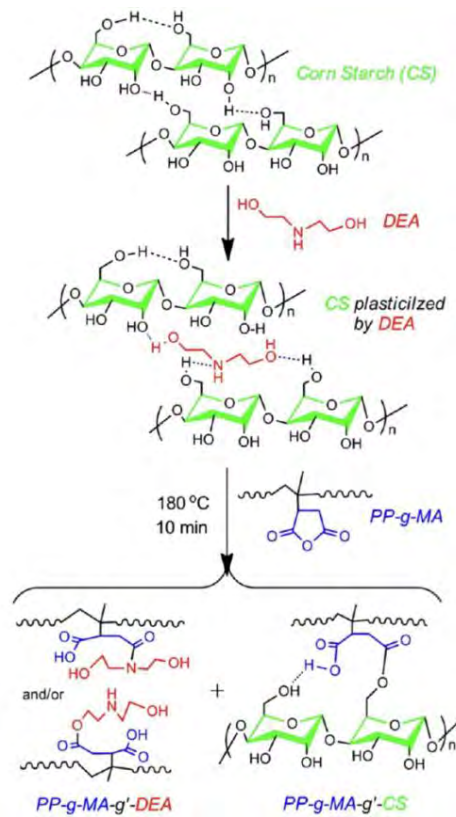


รูปที่ 2.10 โครงสร้างเซลล์ภายในของโพลีเมอร์ PP-TPS30 ซึ่งขึ้นรูปด้วยหัวคายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด (a) 4 มิลลิเมตร (b) 3 มิลลิเมตร (c) 2 มิลลิเมตร และ (d) 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์กับความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

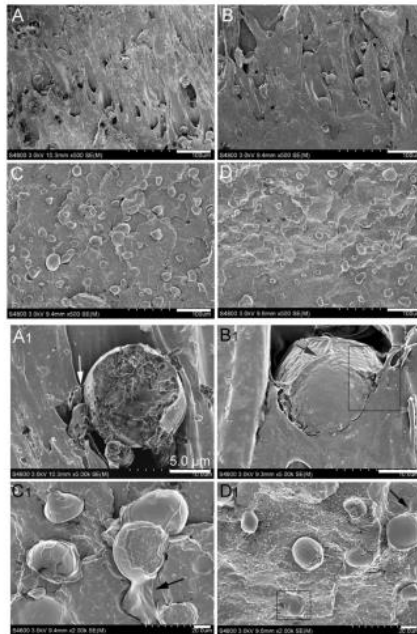
Liu และคณะ[11] เห็นประโยชน์ของการพัฒนา PP-TPS เนื่องจาก PP ไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ อีกทั้งเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากปิโตรเลียม ดังนั้นจึงสนใจพัฒนาพอลิเมอร์ผสมด้วยแป้ง เพื่อลดผลกระทบของ PP ต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากแป้งและ PP ไม่สามารถผสมเข้ากันไม่ได้ สมบัติเชิงกลของ PP ฐานแป้งจึงด้อยกว่า PP เป็นอย่างมาก Liu และคณะจึงศึกษาการใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิโพรพิลีน (MAPP) เพื่อเป็นสารช่วยผสม (compatibility) และไดเอทานอลาไมด์ (DEA) เป็นรีแอกทีฟพลาสติกไซเซอร์เพื่อช่วยในการลดจุดหลอมเหลวของแป้งพอลิโพรพิลีนเป็นสารที่ไม่มีขั้วและแป้งข้าวโพดเป็นสารมีขั้ว จึงทำให้โมเลกุลแป้งไม่สามารถกระจายตัวในพอลิโพรพิลีนได้ดีการเติม DEA ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กสามารถแทรกเข้าไปสร้างพันธะไฮโดรเจนกับแป้งข้าวโพด โมเลกุลของ MAPP มีทั้งส่วนที่ไม่มีขั้วและส่วนของหมู่แอนไฮไดรด์ ทำให้สามารถเข้ากันได้ทั้งกับพอลิโพรพิลีน และเกิดอันตรกิริยากับแป้งข้าวโพดและไดเอทานอลาไมด์ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ส่งผลให้แป้งเกิดการกระจายตัวในพอลิโพรพิลีนได้ดีขึ้นและเกิดพันธะเชื่อมระหว่างภูมิภาคของแป้งและ PP เป็นผลให้สมบัติเชิงกลของ PP ที่ผสมแป้ง ไม่ด้อยไปกว่า PP นักเมื่อทดลองเตรียมสูตรที่มีอัตราส่วนของ PP/PP-g-MA/แป้ง/DEA ที่แตกต่างกันตามตารางที่ 2.1 จากพื้นฐานวิทยาที่ตรวจสอบด้วย SEM ในรูปที่ 2.13 พบว่าโพรงที่ใส่แค่ PP กับแป้งข้าวโพด ในรูปที่ 2.13 A แป้งกระจายตัวใน PP ได้น้อยโพรงหรือช่องว่างที่พบเกิดจากอนุภาคแป้งที่หลุดออกเมทริกซ์ของ PP แต่ในสูตรที่เติม DEA ในรูป 2.13 B สังเกตเห็นจำนวนโพรงหรือรูพรุนที่ลดลง จึงกล่าวได้ว่า DEA ช่วยป้องกันการหลุดออกของอนุภาคแป้งอย่างไรก็ตามอนุภาคแป้งในสูตร PCS และ PDS มีขนาดเฉลี่ยไม่ต่างกันมากนักต่างจากกรณีที่เติม MAPP เข้าไป ดังแสดงในรูป 2.13 C และ D การกระจายตัวของแป้งดีขึ้น ไม่มีรูพรุนอนุภาคแป้งมีขนาดเล็กลงตามการใส่ MAPP ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างผิวหน้าเพิ่มขึ้น มีการยึดติดกันของ PP และ แป้งที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่าง MAPP กับแป้งและ DEA

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนของการเตรียม PP/Starch Blends ในงานวิจัยนี้

| run     | PP (wt %) | PP-g-MA (wt %) | corn starch (wt %) | DEA (wt %) |
|---------|-----------|----------------|--------------------|------------|
| PP      | 100       | 0              | 0                  | 0          |
| PCS     | 70        | 0              | 30                 | 0          |
| PDS     | 70        | 0              | 24                 | 6          |
| PDPS-5  | 65        | 5              | 24                 | 6          |
| PDPS-10 | 60        | 10             | 24                 | 6          |
| PDPS-15 | 55        | 15             | 24                 | 6          |
| PDPS-30 | 40        | 30             | 24                 | 6          |



รูปที่ 2.13 ภาพจาก SEM พื้นผิวของ PP/Starch blends (A) PCS (B) PDS (C) PDPS-10 และ (D) PDPS-30 ขยายด้วยสเกล 40  $\mu\text{m}$  (A1) PCS (B1) PDS (C1) PDPS-10 และ (D1) PDPS-30 ขยายด้วยสเกล 50  $\mu\text{m}$

ด้วยปัญหาสิ่งแวดล้อมของการใช้โฟมพลาสติก การพัฒนาโฟมพลาสติกฐานแป้งและโฟมแข็งจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบต่อของพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้

Cpmbrzynski และคณะ [12] ศึกษาการเตรียมโฟมแข็งด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวโดยใช้แป้ง 4 ชนิด ได้แก่ แป้งมัน แป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวโพดทั้งชนิดที่ตัดแปรและไม่ได้ตัดแปรทางเคมีและทดลองใช้สารเติมแต่งได้แก่ pharmaceutical glycerol , plastron foam PDE, guar gum, xanthangum, food gelatin, baking soda, albumin, carrageenan, poly(vinyl) alcohol E471 monoglyceride และ technical talc ซึ่งได้ผลว่าการที่ใส่สารเติมแต่งที่ไม่ใช่ plastron foam PDE และ poly(vinyl) alcohol ไม่ได้ช่วยให้โฟมมีผลที่ดีนัก โฟมจะมีความแน่น เล็ก ไม่สม่ำเสมอ และไม่ค่อยมีรูพรุนเมื่อทดลองเตรียมโฟมแข็งด้วย-plastron foam PDE และ poly(vinyl) alcohol รูปที่ 2.14-2.16 แสดงให้เห็นว่าโฟมแข็งทุกชนิดเกิดได้ดีเมื่อใช้สารตัวเติมดังกล่าวในปริมาณ 1-3 % ค่าความชื้นในช่วง 17-19%



รูปที่ 2.14 โฟมที่ขึ้นรูปโดยผสมกับสารเติมแต่งคือ poly(vinyl) alcohol โดยใช้แป้งต่างชนิดกัน คือ แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมัน เรียงจากซ้ายไปขวา



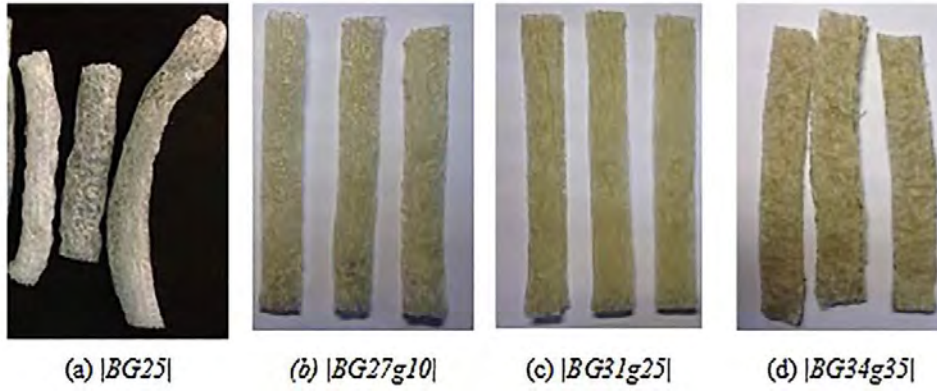
รูปที่ 2.15 โฟมจากแป้งมันที่มีการเติม plastronfoam PDE



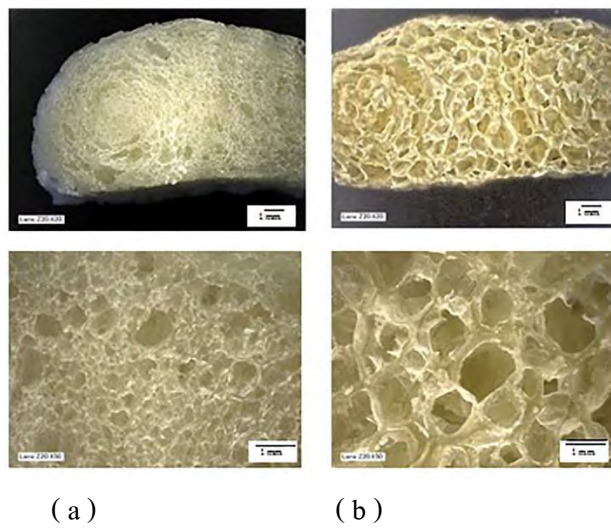
รูปที่ 2.16 โฟมจากแป้งมันที่มีการเติม poly(vinyl) alcohol

Georges และคณะ [13] มุ่งเน้นพัฒนาโฟมแป้งด้วยเครื่องผสมสกรูคู่เพื่อให้มีสมบัติเชิงกลเทียบเคียงกับโฟมพลาสติกสำหรับใช้กันกระแทกโดยทดลองใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (สารช่วยฟู) กลีเซอรอลและกลูเตนโดยปกติแล้วน้ำ (ความชื้นในแป้ง) เป็นพลาสติกไซเซออร์ให้แกแป้งได้สามารถช่วยลดจุดหลอมเหลวโดยการทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งทำให้สามารถแปรรูปแป้งด้วยกระบวนการความร้อนโดยไม่เกิดการสลายตัวแต่การระเหยของน้ำส่งผลในเชิงลบต่อการตกผลึกใหม่ (recrystallization) ระหว่างกระบวนการอัดรีดและการจัดเก็บการใช้กลีเซอรอลซึ่งมีจุดเดือดสูงถึง  $290\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อเป็นพลาสติกไซเซออร์ให้แกแป้งจึงน่าสนใจ ผลการศึกษาพบว่าแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 12 อุณหภูมิหลอมผลึกของแป้งคือ  $153.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  แต่สูตรแป้งที่มีการเติมกลีเซอรอลร่วมด้วยร้อยละ 25 อุณหภูมิหลอมผลึกของแป้งคือ  $127.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  แม้ว่ากลีเซอรอลสามารถช่วยในการแปรรูปแป้ง แต่โฟมที่เตรียมได้ยังมีความยืดหยุ่นและนุ่มไม่มากนัก คณะวิจัยได้แนวคิดจากอุตสาหกรรมเบเกอรี่ จึงทดลองศึกษาผลของการใช้กลูเตนและโซเดียมไบคาร์บอเนตร่วมด้วยรูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นว่าโฟมแป้งที่เตรียมได้ด้วยการเติมกลูเตน (g) จาก 0 ถึง 35 มีลักษณะแตกต่างกัน โดยกลูเตนสามารถลดการหดตัวของโฟมที่เตรียมได้อย่างเห็นได้ชัด โฟมแป้งสูตร BG34g35 จะมีการขยายตัวของโฟมดีสุดและมีการหดตัวที่น้อยกว่า จากรูปที่ 2.18 สรุปได้ว่าการใส่กลูเตนปริมาณมากกว่าส่งผลให้โฟมมีการขยายตัวที่มากกว่า และเซลล์มีขนาดใหญ่สม่ำเสมอมากกว่า นอกจากนี้ผลการศึกษา ยังแสดงให้เห็นว่ากลูเตนสามารถช่วยเพิ่มสมบัติด้านอีลาสติกแก่โฟมแป้ง และช่วยลดปัญหาการหดตัวระหว่างการเย็นตัวของโฟมเมื่อผ่านคาย





รูปที่ 2.17 โฟมแข็งสูตรต่าง ๆ (a) โฟมสูตร BG25 (b) โฟมสูตร BG27g10 (c) โฟมสูตร BG31g25 (d) โฟมสูตร BG34g35



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของโฟมสูตรที่มีการเติมกลูเตน (a) โฟมสูตร BG27g10L1 ที่มีกลูเตน 10 pcs และ (b) โฟมสูตร BG24g30L1 ที่มีกลูเตน 30 pcs

### บทที่ 3

#### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 วัตถุดิบ

1. เม็ดพอลิพรอพิลีน(PP) เกรด P700J ของบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (ดัชนีการไหล 12 g/10 นาที ความหนาแน่น 0.910 g/cm<sup>3</sup>)
2. เม็ดพอลิพรอพิลีน(PP) เกรด 901J ของบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด (ดัชนีการไหล 60 g/10 นาที ความหนาแน่น 0.910 g/cm<sup>3</sup>)
3. แป้งข้าวโพดดัดแปร (Modified corn starch)
4. กลีเซอรอล (Glycerol)
5. กลูเตน (Gluten)
6. น้ำกลั่น (Water)

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม

1. เครื่องอัดรีดสกรูคู่ (Twin-screw extruder)  
บริษัท Labtech Engineering รุ่น LTE-26-44
2. เครื่องผสม (Mixer)
3. ถังซีปสำหรับเก็บคอมพาวด์
4. ถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่าง
5. กรรไกรสำหรับตัดโฟม
6. เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง
7. ถังมือกันความร้อน

##### 3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เวอร์เนีย (Vernier)



### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมโฟม

#### 3.3.1 การเตรียมคอมพาวด์สำหรับขึ้นรูป

1. เตรียม PP แปะ กลูเตน กลีเซอรอล และน้ำกลั่น เพื่อสำหรับเตรียมโฟม PP/TPS ตามสูตรที่ระบุในตารางที่ 3.1
2. นำกลูเตน กลีเซอรอล และน้ำกลั่นผสมในเครื่องผสม
3. หลังทำการผสมแปะ กลูเตน กลีเซอรอล และน้ำเป็นเวลา 2 นาที จึงเติม PP ลงในเครื่องผสม แล้วทำการผสมต่ออีก 3 นาที

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมคอมพาวด์ของโฟม PP/TPS สูตรต่างๆ

| สูตร      | PP MFI 12<br>(กรัม)   | PP MFI 60<br>(กรัม) | แปะ<br>(กรัม) | กลูเตน<br>(กรัม) | กลีเซอรอล<br>(กรัม) | น้ำ<br>(กรัม) |
|-----------|-----------------------|---------------------|---------------|------------------|---------------------|---------------|
| PP70      | 1:0 1:2* 1:1 2:1* 0:1 |                     | 600           | -                | -                   | 120           |
| PPg5      |                       |                     | 600           | 5                | -                   | 120           |
| PPg10     |                       |                     | 600           | 10               | -                   | 120           |
| PPG151g5  |                       |                     | 600           | 5                | 151                 | 120           |
| PPG152g10 |                       |                     | 600           | 10               | 152                 | 120           |

\*ไม่สามารถทำการทดลองได้

### 3.3.2 การขึ้นรูปโฟม

1. ขึ้นรูปคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง co-rotation twin screw extruder ตั้งค่าอุณหภูมิในโซนต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.2
2. กำหนดรอบสกรูครั้งที่ 40 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3.2 อุณหภูมิของเครื่อง co-rotation twin screw extruder ในโซนต่าง ๆ เพื่อขึ้นรูปโฟม

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

### 3.4 การทดสอบสมบัติของโฟม

#### 3.4.1 ความหนาแน่นของโฟม

##### 3.4.1.1 การหาความหนาแน่นโดยการวัดโดยตรง

นำตัวอย่างที่มีขนาดใกล้เคียงกันอย่างน้อย 5 ชิ้นงาน มาวัดหาความกว้าง ความยาว และความหนาเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง-และนำชิ้นตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง และนำมาคำนวณความหนาแน่น โดยแทนในสมการที่ 3.1

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของโฟม

$m$  = มวลของโฟมที่ได้จากการชั่ง

$v$  = ปริมาตรของโฟม

#### 3.4.2 อัตราการขยายตัวของโฟม (Expansion Ratio, ER)

หาความหนาแน่นของพอลิเมอร์เมทริกซ์ ( $\rho_m$ ) คัดจากความหนาแน่นที่ได้จาก technical datasheet ตามสมการ 3.2

$$\rho_m = w \rho_p + (1-w) \rho_s \quad (3.2)$$

โดย  $w$  = สัดส่วนน้ำหนักของ PP

$\rho_p$  = ความหนาแน่นของ PP (0.91 g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_s$  = ความหนาแน่นของแป้งข้าวโพด (0.49 g/cm<sup>3</sup>)

และนำมาคำนวณหาอัตราการขยายตัวของโฟม (ER) ตามสมการ 3.3

$$ER = \frac{\rho m}{\rho} \quad (3.3)$$

โดย  $\rho$  = ความหนาแน่นของชิ้นโคมตัวอย่าง

### 3.4.3 คำนวณค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์

เนื่องจากโคมที่เตรียมได้มีลักษณะที่ใหญ่และมีขนาดเซลล์ที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน เราจึงศึกษาโดยนำโคมมาตัดตามขวางและนำปากกาเคมี มาระบายด้านตัดตามขวางของโคม แล้วทำการวัดขนาดของเซลล์ 50 เซลล์ แล้วจึงทำการหาค่าเฉลี่ย

### 3.4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำ \*ไม่สามารถทำการทดสอบได้

เตรียมชิ้นงานขนาด  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$  จำนวน 10 ชิ้น นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักเสร็จแล้ว 5 ชิ้น ไปแช่ในน้ำมัน 150 ml เป็นเวลา 30 นาที และชิ้นงานอีก 5 ชิ้น ไปแช่ในน้ำ 150 ml เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหลังการดูดซับ แล้วนำไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำได้จากสมการ 3.4

$$\text{ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและน้ำ (g/g)} = \frac{S_t - S_0}{S_0} \quad (3.4)$$

โดย  $S_0$  = น้ำหนักโคมเริ่มต้น

$S_t$  = น้ำหนักโคมหลังการดูดซับน้ำมันหรือน้ำ

### 3.4.5 สมบัติความทนแรงกดอัด \*ไม่สามารถทำการทดสอบได้

ทดสอบความทนแรงกดอัดของโคมตามมาตรฐาน ASTM D1621 โดยตัดโคมตัวอย่างให้มีพื้นที่หน้าตัดในทิศทางตามขวาง  $2 \times 2 \text{ นิ้ว}^2$  และสูง 1 นิ้ว จำนวนชนิดละ 5 ตัวอย่าง นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยใช้ crosshead speed เท่ากับ  $2.5 \pm 0.25 \text{ mm/min}$  ทำการทดสอบกระทั่งโคมเปลี่ยนแปลงความสูงไป 13% ของความสูงเดิม บันทึกค่า Compressive strength โดยดูจากค่าความเค้น ณ จุดคราก หรือจุดที่เปลี่ยนแปลงความสูงไป 10% และค่ามอดูลัสจากความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด

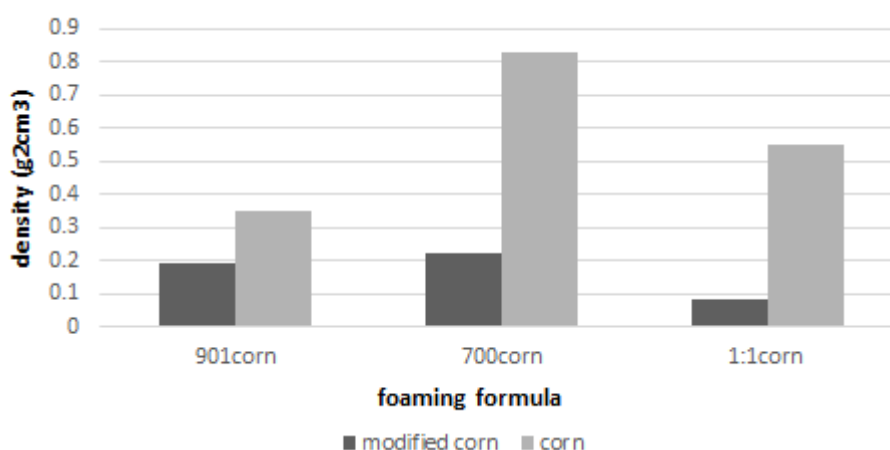
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ศึกษาผลของชนิดแป้งต่อความหนาแน่นของโฟม

โครงการนี้เป็นงานวิจัยที่พัฒนาต่อยอดจากโครงการงานวิจัยระดับปริญญาบัณฑิตของ ณิชชยา พัฒนสุทธิรัตน์ และ อภัสรา พัฒนศิริ [14] ที่ศึกษาการขึ้นรูปโฟม PP ผสมแป้งข้าวโพดโดยมีการใช้น้ำเป็นสารช่วยฟู โดยโครงการวิจัยนี้ทดลองใช้แป้งข้าวโพดคัดแปรแทนแป้งข้าวโพดไม่คัดแปร เพื่อเพิ่มการเข้ากันได้กับ PP และลดปัญหาเรื่องการขึ้นรา รวมถึงศึกษาการใช้กลูเตนและกลีเซอรอลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของโฟม PP/TPS

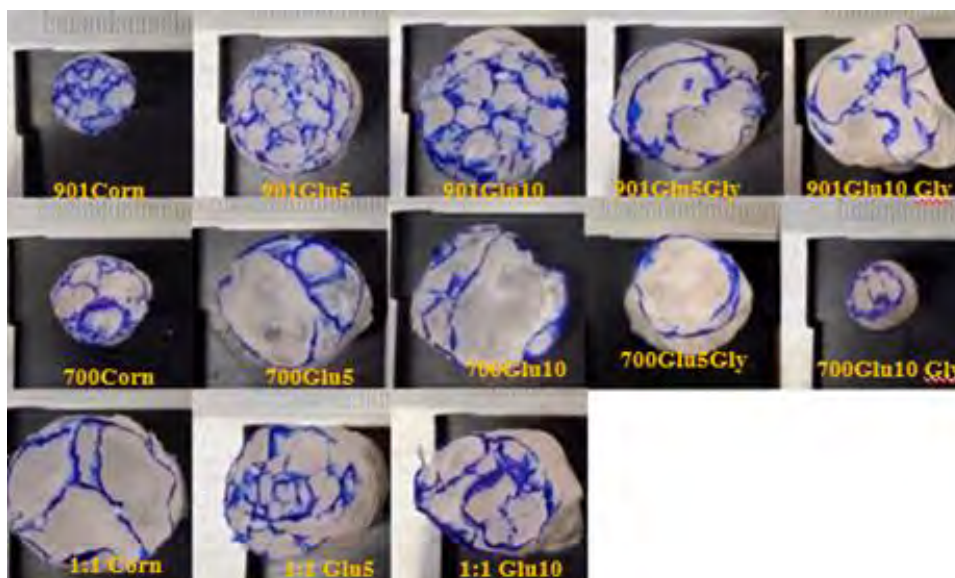
จากรูป 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของโฟม PP/TPS ที่เตรียมได้จากโครงการนี้เปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้แป้งไม่คัดแปร จะได้ว่าโฟมที่ผสมแป้งข้าวโพดคัดแปรจะมีความหนาแน่นที่ต่ำกว่าอธิบายได้ว่าแป้งคัดแปรที่มีการลดปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลลงบางส่วน ส่งเสริมให้แป้งมีความไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นสารละลายของแป้งคัดแปรจะมีความสามารถในการกระจายในเมทริกซ์ของ PP ได้มากขึ้น การที่วัฏภาคแป้งกระจายใน PP เมทริกซ์ได้อย่างสม่ำเสมอ ทำให้สามารถพาโมเลกุลน้ำให้เกิดการกระจายอย่างสม่ำเสมอใน PP เมื่อน้ำได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่ ดังนั้นเมื่อ extrudate ออกจากสาย ไอน้ำที่ดันเนื้อ PP ออกมา พร้อมกับที่ extrudate เริ่มเย็นตัว ก็จะได้เส้นโฟมพลาสติกที่มีรูพรุนภายในขึ้น ด้วยกลไกดังกล่าวจึงส่งผลให้โฟม PP/TPS จากแป้งคัดแปร มีความหนาแน่นต่ำกว่าโฟม PP/TPS จากแป้งไม่คัดแปร



รูปที่ 4.1 ความหนาแน่นของโฟม PP/TPS ที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดคัดแปร เปรียบเทียบกับการใช้แป้งข้าวโพดไม่คัดแปรที่รายงานใน [14]

#### 4.2 ศึกษาผลของกลูเตนและกลีเซอรอลต่อสัณฐานวิทยา อัตราการขยายตัว ขนาด และความหนาแน่นของ โฟม PP/TPS

จากการทดลองขึ้นรูปโฟม PP/TPS ด้วยสูตรที่มีการเติมกลูเตน และ/หรือกลีเซอรอลที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่าสัณฐานวิทยาของโฟมที่เตรียมได้มีลักษณะที่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาภาพของโฟมที่ไม่มีการเติม กลูเตนและกลีเซอรอลในคอลัมน์ที่ 1 ของรูปที่ 4.2 พบว่าสูตรที่ใช้เม็ดพลาสติก P901J (MFI 60 กรัม/10 นาที) และ P700J (MFI 12 กรัม/10 นาที) โฟมที่เตรียมได้มีขนาดสม่ำเสมอทั้งเส้นและเซลโฟมมี ขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับโฟมสูตรที่มีการใส่สารเติมแต่ง (คอลัมน์ที่ 2-5) ในโฟมสูตรที่ใช้ P700J:P901J ใน อัตราส่วน 1:1 ที่ไม่เติมสารเติมแต่ง เส้นโฟมมีขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอ เซลล์โฟมมีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจ เกิดจากเมื่อใช้ PP ที่มีสมบัติการไหลที่ต่างกันมาก ส่งผลให้เกิดการผสมที่ไม่ดีต่อวัฏภาคแบ่งในพอลิเมอร์ เมทริกซ์ ซึ่งการกระจายตัวของวัฏภาคแบ่งที่ไม่สม่ำเสมอนี้เอง ที่ทำให้ในระหว่างการเกิดเส้นโฟม บริเวณที่ มีแป้งอยู่เยอะจะมีการเกิดเซลล์ที่ใหญ่กว่าส่วนที่มีแป้งอยู่น้อย

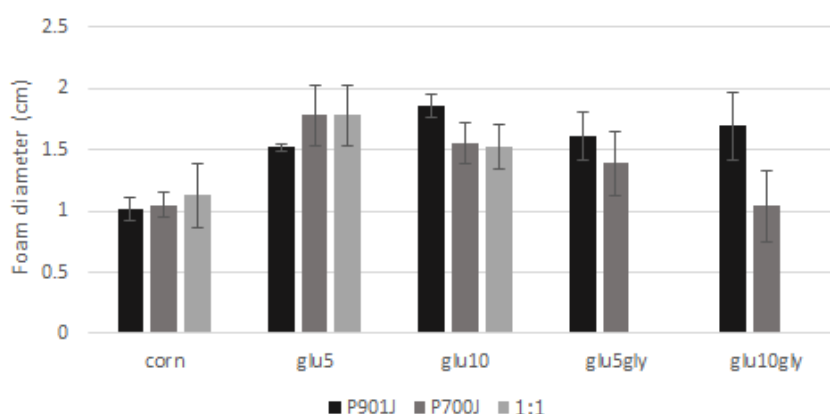


รูปที่ 4.2 ลักษณะโฟม PP/TPS โดยใช้ PP เกรด P901J (แถวที่ 1) P700J (แถวที่ 2)-และ P700J:P901J 1:1 (แถวที่ 3)-โดยมีการเติมกลูเตนในปริมาณ 5 และ 10 กรัม (คอลัมน์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ) และกลีเซอรอลใน ปริมาณร้อยละ 20 (คอลัมน์ที่ 4-5)

เมื่อพิจารณาโฟมที่มีการใส่กลูเตน (รูปที่ 4.2 คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และขนาดของโฟม (รูปที่ 4.3) จะ เห็นได้ว่าสูตรที่ใช้ P901J และสูตรที่ผสม P700J ต่อ P901J ที่ 1:1 เมื่อมีการใส่กลูเตนเพิ่ม โฟมที่ได้มีขนาด

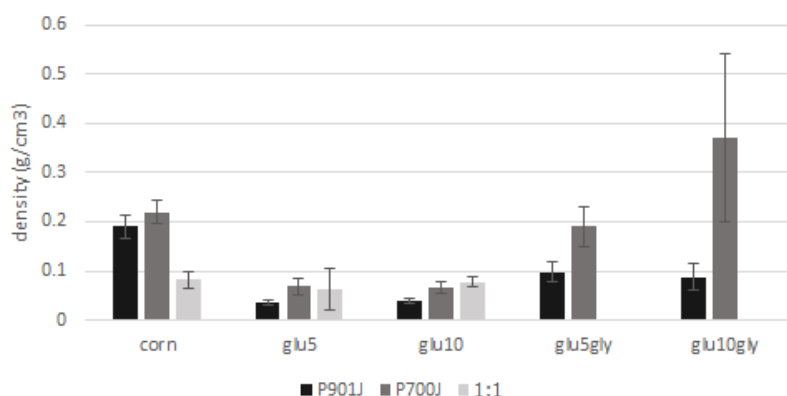
และเซลล์ที่ใหญ่ขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากในขณะที่มีการตีผสมกลูเตนกับน้ำ กลูเตนที่ถูกดึงยึดนี้จะฟอร์มโครงสร้างร่างแหขึ้นมาเรื่อย ๆ โครงสร้างร่างแหของกลูเตน-ทำให้มีบริเวณช่องว่างที่สามารถกักเก็บฟองแก๊สที่เกิดจากการสลายตัวของน้ำได้เยอะ โดยที่ฟองแก๊สในชั้นงานจะเกิดเป็นเซลล์โฟมหลังจากการขึ้นรูป และเนื่องจากโครงสร้างหลักของกลูเตนเป็น โปรตีนซึ่งจะมีหมู่คาร์บอกซิลิกซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งได้ จึงสามารถยึดกันได้ดี ทำให้เมื่อโฟมออกจากหัวคาย โฟมจึงมีรูปร่างที่ค่อนข้างคงที่ เกิดการยุบตัวที่น้อย มีเสถียรภาพทางรูปร่างมาก แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้ P700J แม้โฟมที่ได้มีเสถียรภาพหลังออกจากหัวคายที่ดี แต่ขนาดของเซลล์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเชื่อว่าเสถียรภาพของโฟมเกิดจากความหนืดที่สูงของ PP เมทริกซ์ ในขณะที่ขนาดของเซลล์โฟมที่ไม่สม่ำเสมอเป็นผลจากความหนืดที่สูงของ PP เมทริกซ์ ที่ยังส่งผลให้วัฏภาคที่มีแป้ง น้ำและกลูเตนผสมอยู่ ไม่สามารถกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอใน PP เมทริกซ์ได้ จึงเป็นผลให้การฟูตัวของโฟมที่มีเฟสกระจายไม่สม่ำเสมอมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ

เมื่อพิจารณาโฟมสูตรที่มีการใส่ทั้งกลูเตนและกลีเซอรอล (รูปที่ 4.2 คอลัมน์ที่ 4 และ 5) และขนาดของโฟม (รูปที่ 4.3) จะเห็นได้ว่านอกจากโฟมที่ได้จะมีแนวโน้มของขนาดที่เล็กลงและมีเสถียรภาพทางรูปร่างที่ต่ำ ขนาดเซลล์ยังมีความไม่สม่ำเสมอ อาจเกิดเนื่องจากการที่โครงสร้างของกลีเซอรอลมีหมู่ไฮดรอกซิล จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกลูเตนได้เช่นกัน ทำให้กลีเซอรอลที่ใส่เข้าไปจะไปแยกร่างพันธะกับกลูเตนแทน ทำให้กลูเตนจะไปสร้างพันธะกับแป้งน้อยลง ประสิทธิภาพในการรักษาเสถียรภาพทางรูปร่างของโฟมจึงต่ำกว่าสูตรที่ผสมกลูเตนเพียงอย่างเดียว



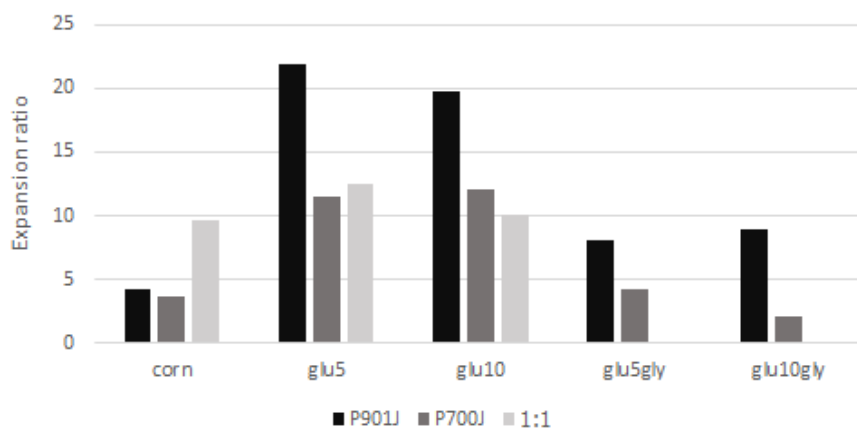
รูปที่ 4.3 เส้นผ่านศูนย์กลางของโฟม PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน (P700J , P901J และ P700J:P901J 1:1) โดยมีการเติมกลูเตนและกลีเซอรอลในสัดส่วนที่ต่างกัน

การพัฒนาโพลีเมอร์ PP/TPS สำหรับใช้งานในการดูดซับน้ำมัน จำเป็นต้องได้โพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากเมื่อโพลีเมอร์เกิดการดูดซับ หากยังดูดซับน้ำมันได้เยอะ น้ำหนักโพลีเมอร์และความหนาแน่นจะยิ่งสูงขึ้น จนในที่สุดเมื่อโพลีเมอร์มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ก็จะเกิดการจมลงไป จากการคำนวณหาค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP/TPS โดยวิธีการคำนวณ รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP/TPS ที่เตรียมเมื่อมีการใส่กลูเตนจะมีความหนาแน่นต่ำสุดทั้งสูตรที่เตรียมด้วย P700J, P901J และ P700J:P901J ที่อัตราส่วน 1:1 ซึ่งเป็นผลจากโพลีเมอร์ที่มีการใส่กลูเตนจะมีการฟูตัวที่มาก เนื่องจากกลูเตนมีความเป็น viscoelastic และโครงสร้างของกลูเตนสามารถฟอร์มเป็นโครงสร้างแบบร่างแหได้ โดยยิ่งในขั้นตอนการผสมมีการตีผสมมาก กลูเตนก็จะฟอร์มโครงสร้างร่างแหได้มาก โดยพื้นที่ว่างภายในโครงสร้างร่างแหของกลูเตนจะสามารถกักฟองแก๊สของน้ำที่เกิดการระเหยได้ และเมื่อ ออกจากหัวคายฟองแก๊สที่ถูกกักเก็บไว้จะกลายเป็นรูพรุนภายในโครงสร้างของโพลีเมอร์ ซึ่งเมื่อโพลีเมอร์มีรูพรุนภายในโครงสร้างที่เยอะและมีขนาดใหญ่ จึงทำให้โพลีเมอร์มีความหนาแน่นต่ำ และจากรูปที่ 4.4 ในโพลีเมอร์สูตรที่มีการเติมกลีเซอรอลและกลูเตนนั่น ความหนาแน่นของโพลีเมอร์กลับมีแนวโน้มเพิ่มมากยิ่งขึ้น อาจเกิดจากการที่กลีเซอรอลมีความไม่เข้ากันกับ PP ทำให้เมื่อเกิดการผสมแล้ว กลีเซอรอลอาจแย่งจับน้ำ หรือกลูเตน ทำให้เมื่อนำไปขึ้นรูปเป็นโพลีเมอร์ น้ำจึงอาจช่วยในการฟูตัวของโพลีเมอร์ได้น้อยลง และความหนืดของกลีเซอรอลอาจส่งผลให้วัฏภาคที่มีแข็ง น้ำ กลูเตน และกลีเซอรอลผสมอยู่นั้นมีความหนืดสูงกว่า วัฏภาคที่มีเพียงแข็ง น้ำ และกลูเตน ดังนั้นสูตรที่มีกลีเซอรอล จึงฟูตัวได้น้อยกว่า ส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่ามาก และกลีเซอรอลที่อยู่ในโพลีเมอร์ก็ทำให้น้ำหนักโพลีเมอร์สูงขึ้น และส่งผลต่อค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในสูตรที่ใช้ P700J ที่มี MFI เท่ากับ 12 กรัม/10นาทิจ เมื่อผสมกับกลีเซอรอลที่มีความหนืดสูง โพลีเมอร์จะยังมีการฟูตัวที่แย่น้อยและต่ำลง เป็นผลให้โพลีเมอร์มีปริมาตรที่น้อย เมื่อนำมาคำนวณหาความหนาแน่น โพลีเมอร์ที่ได้จึงมีความหนาแน่นค่าที่สูง



รูปที่ 4.4 ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน (P700J, P901J และ P700J:P901J 1:1) โดยมีการเติมกลูเตนและกลีเซอรอลในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

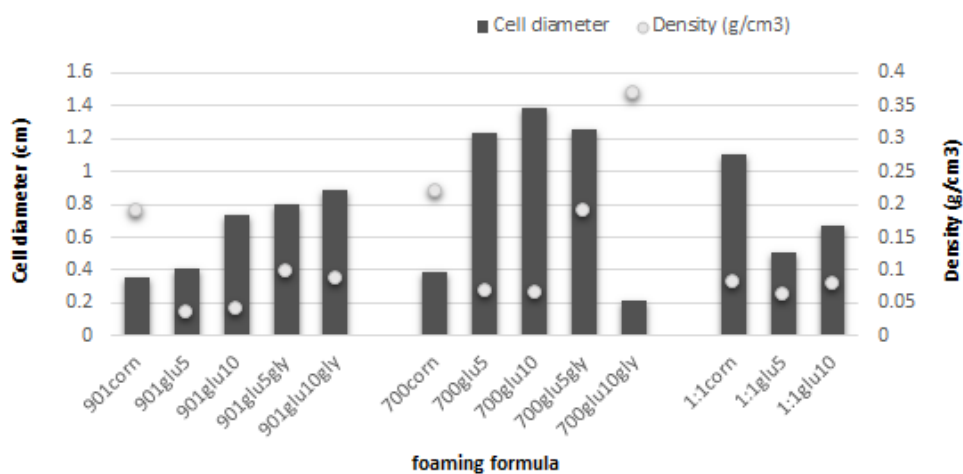
เมื่อพิจารณาถึงอัตราการขยายตัวหรือค่า ER ของโพลีเมอร์ PP/TPS (รูปที่ 4.5) พบว่าในโพลีเมอร์ทุกสูตรทั้ง P700J, P901J และที่มีการผสม P700J:P901J ที่อัตราส่วน 1:1 จะเห็นได้ว่าค่า ER จะมีแนวโน้มที่มีค่ามากขึ้นเมื่อมีการใส่กลูเตนและจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการใส่กลีเซอรอล สอดคล้องไปกับผลของความหนาแน่นโพลีเมอร์ โพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นที่น้อย โพลีเมอร์จะมีค่า ER สูง และโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นมากจะมีค่า ER ที่ต่ำ



รูปที่ 4.5 อัตราการขยายตัวของโพลีเมอร์ PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน (P700J, P901J และ P700J:P901J 1:1) โดยมีการเติมกลูเตนและกลีเซอรอลในสัดส่วนที่ต่างกัน

ในการเตรียมโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นและขนาดโพลีเมอร์ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อโพลีเมอร์มีความหนาแน่นที่ต่ำและมีขนาดเซลล์ที่เล็ก แสดงถึงโพลีเมอร์ที่ได้มีการพุดตัวที่ดี มีความสม่ำเสมอ รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโพลีเมอร์และขนาดของเซลล์โพลีเมอร์ จากโพลีเมอร์สูตรที่ใช้ P901J ที่มีการใส่กลูเตนและกลีเซอรอล จะมีแนวโน้มของขนาดเซลล์โพลีเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้นแต่ยังถือว่าต่ำกว่าขนาดของเซลล์โพลีเมอร์ที่ใช้ P700J หรือมีการผสมที่อัตราส่วน 1:1 โดยเมื่อนำไปเทียบกับรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงถึงสัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์ จะเห็นได้ว่าโพลีเมอร์สูตร P901J ที่มีการใส่กลูเตนมีความหนาแน่นต่ำและมีขนาดเซลล์ที่เล็กแล้วด้วย (ดังรูป 4.6) จะมีโพลีเมอร์ที่มีรูปร่างค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอและมีการพุดตัวที่ดี แต่เมื่อพิจารณาโพลีเมอร์สูตร P700J การใส่กลีเซอรอลกลับส่งผลให้โพลีเมอร์มีความหนาแน่นและขนาดของเซลล์โพลีเมอร์ในทางตรงกันข้าม กล่าวคือเมื่อใส่กลีเซอรอล ขนาดของเซลล์จะมีแนวโน้มลดลง แต่ความหนาแน่นของโพลีเมอร์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์มีการพุดตัวที่ไม่ดี และมีการพุดตัวแบบไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อเทียบกับสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าโพลีเมอร์จากสูตรที่มีการเติมกลีเซอรอล โพลีเมอร์มีขนาดเล็กและเซลล์มีลักษณะที่ติดกัน เนื่องจากกลีเซอรอลที่มีความหนืด เมื่อนำมาใช้กับโพลีเมอร์สูตร P700J ที่มีความหนืดที่สูงด้วย จึงทำให้ในการเกิดการพุดตัวของโพลีเมอร์ต้องอาศัย stress ที่เยอะ ซึ่งหากแรงดันมีไม่มากพอ จะส่งผลให้บริเวณที่หนืดมากจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้เมื่อเราจับขึ้นโพลีเมอร์ที่มีการใส่กลีเซอรอลจะรู้สึกได้ถึงความแข็งของโพลีเมอร์และยังมีความเหนียวจากกลีเซอรอลด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลีเซอรอลมีการกระจายตัวที่ค่อนข้างแย่ในโพลีเมอร์สูตร P700J





รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและขนาดของเซลล์โฟม PP/TPS โดยใช้ PP ที่แตกต่างกัน (P700J , P901J และ P700J:P901J 1:1) โดยมีการเติมกลูเตนและกลีเซอรอลในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

#### 4.3 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันโฟม PP/TPS

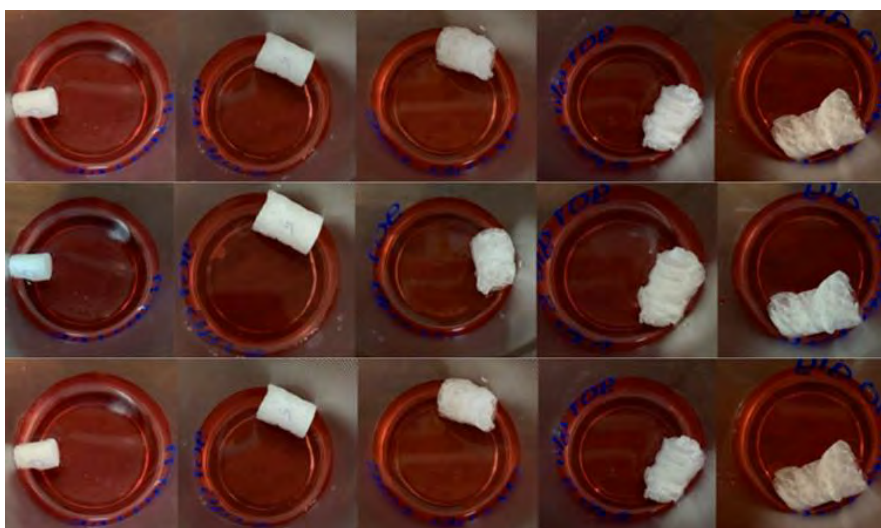
ในการเตรียมโฟม PP/TPS เพื่อนำไปใช้ในการดูดซับน้ำมันเราจำเป็นต้องหาโฟม PP/TPS สูตรที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่สูงและความสามารถในการดูดซับน้ำที่ต่ำ โดยในงานวิจัยนี้ไม่สามารถวัดน้ำหนักของโฟม PP/TPS หลังผ่านการแช่น้ำและแช่น้ำมันแล้วได้เนื่องจากสถานการณ์โควิด 19 ทำให้การทดลองในส่วนนี้เป็นเพียงการศึกษาลักษณะภายนอกของโฟมสูตร P901J หลังผ่านการแช่น้ำหรือน้ำมันเท่านั้น

การทดสอบการแช่น้ำมันของโฟม PP/TPS จากสูตร P901J แสดงในรูปที่ 4.7 โดยในแถวที่ 1 คือโฟมในขณะที่เริ่มแช่น้ำมัน แถวที่ 2 คือโฟมที่ผ่านการแช่น้ำมันแล้ว 15 นาที และแถวที่ 3 คือโฟมที่ผ่านการแช่น้ำมันมาแล้ว 60 นาที ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในขณะที่เริ่มแช่ โฟมสูตรที่มีการเติมกลูเตน 10 กรัมและกลีเซอรอล ซึ่งโฟมมีเซลล์ขนาดใหญ่ เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนว่าเริ่มมีการดูดซับน้ำมันแล้ว และเมื่อเวลาผ่านไป 15 ถึง 60 นาที โฟมจะมีการดูดซับน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้โฟมสูตรที่มีการเติมกลูเตน สามารถดูดซับน้ำมันได้ดีแบบสม่ำเสมออย่างสังเกตได้เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 15 นาที



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของ โฟมสูตรที่เตรียมจาก P901J

ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำด้วยวิธีเดียวกับการดูดน้ำมันรูปที่ 4.8 ในแถวที่ 1 คือ โฟม PP/TPS สูตรที่ใช้ P901J ในขณะที่เริ่มแช่น้ำ แถวที่ 2 และแถวที่ 3 คือ โฟมที่ผ่านการแช่น้ำมาแล้ว 15 นาที และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแช่น้ำตั้งแต่เริ่มจนถึง 60 นาที โฟมไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัด แสดงว่าโฟมที่เตรียมได้ดูดซับน้ำได้น้อย



รูปที่ 4.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำของ โฟมสูตรที่เตรียมจาก P901J

#### 4.4 ศึกษาความสามารถในการทดสอบแรงกดอัดของโพลีเมอร์ PP/TPS

ด้วยสถานการณ์โควิด 19 การทดสอบการทนแรงกดอัดของโพลีเมอร์ด้วยเครื่อง universal testing machine นั้นไม่สามารถดำเนินการได้ การศึกษานี้จึงทำได้เพียงศึกษาแค่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากภายนอกเช่นกัน โพลีเมอร์ที่เตรียมด้วย P901J ในสูตรที่ไม่มีกลูเตน มีกลูเตนหรือมีทั้งกลูเตนและกลีเซอรอล มีลักษณะภายนอกและลักษณะสัมผัสที่ค่อนข้างแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน สำหรับโพลีเมอร์ PP/TPS ที่ไม่มีการใส่กลูเตนและกลีเซอรอล (P901Jcom) นั้น โพลีเมอร์ที่ได้มีขนาดที่เล็กและเนื่องจากมีเซลล์โพลีเมอร์ที่เล็กและอยู่รวมกันแน่นทำให้โพลีเมอร์มีความแข็ง เมื่อทดลองใช้แรงกดโพลีเมอร์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ส่วนโพลีเมอร์ที่มีกลูเตนนั้น (P901Jglu5 และ P901Jglu10) มีลักษณะภายนอกที่ค่อนข้างนุ่ม เมื่อทดลองให้แรงกดเพียงเล็กน้อยโพลีเมอร์เกิดการยุบตัวได้มาก และเมื่อปล่อยแรงกดออกโพลีเมอร์สามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้ เนื่องจากกลูเตนซึ่งมีความเป็น viscoelastic ช่วยทำให้โพลีเมอร์มีความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งโพลีเมอร์ที่มีการเติมกลูเตนมีขนาดใหญ่และเซลล์โพลีเมอร์มีความสม่ำเสมอ เมื่อได้รับแรงจะสามารถส่งผ่านไปในทุกจุดได้อย่างเท่าๆ กัน ทำให้โพลีเมอร์สามารถทนแรงกดอัดได้ดี และในโพลีเมอร์ที่มีการใส่ทั้งกลูเตนและกลีเซอรอล (P901Jglu5gly และ P901Jglu10gly) โพลีเมอร์มีความแข็งที่เพิ่มมากขึ้น โดยโพลีเมอร์สูตร P901Jglu5gly มีความแข็งแต่ก็ยังคงมีความยืดหยุ่นมากกว่าโพลีเมอร์สูตร P901Jcom ซึ่งสังเกตได้จากการที่สามารถใช้แรงกดที่มากขึ้น โพลีเมอร์เกิดการยุบตัวได้สามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้เช่นกัน แต่ในโพลีเมอร์สูตร P901Jglu10gly ที่มีการใส่กลูเตนและกลีเซอรอลในปริมาณที่มากขึ้นแล้วนั้น โพลีเมอร์มีลักษณะที่แข็งอย่างชัดเจน เมื่อทดลองให้แรงกดโพลีเมอร์เกิดการยุบตัว แต่เมื่อให้แรงกดที่มากพอโพลีเมอร์เกิดการแตกหัก ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลจากปริมาณกลูเตนที่เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในวัฏภาคของแป้ง กลูเตนและกลีเซอรอลได้มากขึ้น ซึ่งพันธะที่มีความแข็งแรงเมื่อต้องการทำลายพันธะจะสามารถทำได้ยากขึ้นจึงต้องใช้แรงที่มากขึ้น และเมื่อพันธะถูกทำลายแล้วโพลีเมอร์ก็มีความเปราะจึงทำให้เกิดการแตกหัก ซึ่งจากการทดลองให้แรงกดอัดนั้นจะเห็นว่าโพลีเมอร์ที่มีการเติมกลูเตนเพียงอย่างเดียวจะมีลักษณะโพลีเมอร์ที่นุ่มและมีความยืดหยุ่นและมีความสามารถในการทนแรงกดอัดที่มากกว่าโพลีเมอร์ที่ใส่เพียงแป้งข้าวโพดตัดแปรและโพลีเมอร์ที่ใส่ทั้งกลูเตนและกลีเซอรอล

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สนใจการเตรียมโพลีเมอร์ PP/TPS ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องผสมสกรูคู่ในการขึ้นรูป และใช้น้ำเป็นสารช่วยฟูและใช้แป้งข้าวโพดเป็นตัวพองน้ำ ผลการศึกษาปริมาณกลูเตนและกลีเซอรอล ที่ส่งผลต่อความหนาแน่น อัตราการขยายตัว ลักษณะวิทยา ความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมัน และการทดสอบการทนแรงกดอัด สรุปได้ดังนี้

1. โพลีเมอร์ที่ได้จากแป้งข้าวโพดคัดแปร จะมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่าโพลีเมอร์ที่ได้จากแป้งข้าวโพดธรรมดา
2. โพลีเมอร์ที่มีการเติมกลูเตนเพียงอย่างเดียว จะได้เส้นโพลีเมอร์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ มีความหนาแน่นต่ำ มีอัตราการขยายตัวสูง และขนาดของเซลล์โพลีเมอร์เล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอ แต่เมื่อเติมกลีเซอรอลร่วมด้วย กลับส่งผลให้ประสิทธิภาพของกลูเตนลดลง โดยพบว่าโพลีเมอร์ PP/TPS ที่ได้มีทั้งที่ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เส้นโพลีเมอร์โปร่งไม่สม่ำเสมอตลอดความยาว ขนาดเซลล์โพลีเมอร์ใหญ่ โดยสูตรที่ใส่กลูเตนมากยิ่งเห็นอิทธิพลของกลีเซอรอลมากขึ้นด้วย
3. โพลีเมอร์ PP/TPS ที่มีเซลล์ขนาดใหญ่จะสามารถดูดซับน้ำมันได้เร็วกว่าโพลีเมอร์ที่มีเซลล์ขนาดเล็ก แต่ปริมาณร้อยละการดูดซับน้ำมันน่าจะสอดคล้องกับปริมาณโพรงและความหนาแน่นของโพลีเมอร์
4. โพลีเมอร์ PP/TPS ทุกสูตรสามารถดูดซับน้ำได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับความสามารถในการดูดซับน้ำมัน
5. โพลีเมอร์ที่มีการเติมกลูเตนเพียงอย่างเดียวจะมีลักษณะโพลีเมอร์ที่นิ่ม ยืดหยุ่น และมีความสามารถในการคืนกลับรูปร่างเดิม ในขณะที่โพลีเมอร์ที่ใส่เพียงแป้งข้าวโพดคัดแปรและโพลีเมอร์ที่ใส่ทั้งกลูเตนและกลีเซอรอลจะมีลักษณะแข็งเกร็ง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท หยางโจวเงินเซ่ทพลาสติก จำกัด. **พอลิโพรพิลีน** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://th.absextruding.com/info/polypropylene-pp-plastic-25668885.html> [พฤษภาคม, 2562 ]
- [2] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. **คุณสมบัติของพอลิโพรพิลีน** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1611/polypropylene-pp99> [พฤษภาคม,2562 ]
- [3] บริษัท ไทยโพลีเคมีคอล จำกัด. **สารช่วยฟู (Blowing agent)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://thaipolychemicals.blogspot.com/2014/01/blowing-agent.html> [พฤษภาคม,2562 ]
- [4] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. **กลูเตน (Gluten)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0351/gluten> [พฤษภาคม,2562 ]
- [5] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. **กลีเซอรอล (Glycerol)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1926/glycerol> [พฤษภาคม,2562 ]
- [6] Material selection e-library . **เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS)** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://asp.plastics.or.th:8001/Article\\_Detail.aspx?id=69](http://asp.plastics.or.th:8001/Article_Detail.aspx?id=69) [พฤษภาคม,2562 ]
- [7] บริษัท ซี ที กรุ๊ป.ซี.1997) จำกัด . **Twin – screw Extruder** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://www.cctgroup.co.th/> [พฤษภาคม,2562 ]
- [8] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html> [พฤษภาคม, 2562 ]
- [9] 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
- [10] 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
- [11] Liu,L., Yu,Y. and Song,P. (2013). **‘Improved mechanical and thermal properties of polypropylene blends based on diethanolamine-plasticized corn starch via in situ reactive compatibilization’**. Ind. Eng. Chem. Res. 52, 16232-16238
- [12] Cpmbrzynski,M., Moscicki,L., Mitrus,M., Kupryaniuk,K.and Oniszczyk,A.(2018). **‘Application of extrusion-cooking technique for foamed starch-based materials’**. Bio Web Conferences , 10,01004

- [13] Georges,A., Lacoste,C. and Damien,E.(2018). **'Effect of formulation and process on the extrudability of starch-based foam cushion'**. Industrial crops and products 115, 306-314
- [14] Apatsara Pattanasiri and Natchaya Pattanasuttirat. Senior project of Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 2018