



**รายงานการวิจัย**

**การศึกษาเบื้องต้นของการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม  
เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายตัวได้  
(Preliminary Study for Using Starch as Filler for  
Biodegradable Polymer)**

**คณะผู้วิจัย**

**หัวหน้าโครงการ**

**ดร.นิธินาด ศุภกาญจน์**

**สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์**

**สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์**

**ผู้ร่วมวิจัย**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทัย มีคำ**

**ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2543**

**ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว**

**พฤษภาคม 2546**

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการศึกษาเบื้องต้นของการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมเพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายตัวได้ (Preliminary Study for Using Starch as Filler for Biodegradable Polymer) ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2543 (ทุนระหว่างปี)

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับความร่วมมือและการสนับสนุนจาก ผู้ช่วยวิจัย คือ นายสถาพร พูลสวัสดิ์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดร. นิธินาถ สุภกาญจน์  
(หัวหน้าโครงการวิจัย)

พฤษภาคม 2546

## บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาแนวทางการนำแป้งมันสำปะหลังซึ่งผลิตได้เป็นจำนวนมากในประเทศไทยมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ การเตรียมพอลิเมอร์ผสมใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 10-50 % โดยน้ำหนัก โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทั้งแป้งและพอลิเมอร์ ศึกษาสมบัติเชิงกลและการย่อยสลายที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว และพอลิเมอร์ผสมที่มีเลือกอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมเพื่อเตรียมในปริมาณมากขึ้น และนำไปทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้จริง โดยวิธีการขึ้นรูปแบบฉีด จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ การผสมแป้งมันสำปะหลังลงไปทำให้ความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมต่ำลง ความเหนียวสูงขึ้น แป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพสามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ดังนั้นปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมเกิดได้เร็วขึ้นและช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างส่วนประกอบที่เป็นพอลิเมอร์กับอากาศ ทำให้พอลิเมอร์มีโอกาสที่จะย่อยสลายได้ง่ายขึ้น พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมขึ้นสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้จริง

## บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

In this study cassava starch, which was a major agricultural product in Thailand, was blended with high density polyethylene (HDPE) with potential use as a biodegradable polymer. HDPE and starch were blended without any chemical modification. The amount of starch added was varied between 10-50 % by weight. The mechanical properties and the degradation behaviors of the blends were determined. The blend which has optimum properties was selected to process into a usable product . In comparison to the pure HDPE, it was shown that the blends have less impact resistance, higher viscosity. Cassava starch, as a biopolymer, can be degraded by natural microorganism. Thus the larger amount of starch was added in the blends, the faster changes in physical properties of the blends was observed. The polymer matrix-air interface was increased. Then polymer degradation could be faster initiated. The processing of starch-HDPE blends into a usable product was possible.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	3
บทที่ 2 ความเป็นมาและภูมิหลัง	
ความเป็นมาและภูมิหลัง.....	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	8
วิธีการทดลอง.....	8
การเตรียมแป้ง.....	8
การเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	8
การเตรียมชั้นทดสอบโดยการขึ้นรูปแบบกดอัด.....	9
การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....	9
การทดสอบหาค่าดัชนีการไหล.....	9
การทดสอบอุณหภูมิการโค้งตัว.....	9
การทดสอบค่าการดูดซับน้ำ.....	10
Thermogravimetric Analysis.....	10
การทดสอบการย่อยสลายภายใต้สภาพอากาศปกติ.....	11

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียม.....	11
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
การเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	12
การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก.....	13
การทดสอบอุณหภูมิการ โกงตัว.....	13
การทดสอบหาค่าดัชนีการไหล .....	14
การทดสอบค่าการดูดซับน้ำ.....	17
Thermogravimetric Analysis.....	17
การทดสอบการย่อยสลายภายใต้สภาพอากาศปกติ.....	19
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ผสม.....	20
บทที่ 5 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย .....	21
บรรณานุกรม.....	22
ประวัติผู้วิจัย.....	24

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	8
4.1. ค่าทอร์กและพลังงานที่ใช้ในการผสมพอลิเอทิลีนกับแป้งที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ.....	12
4.2. ความต้านทานแรงกระแทก(Impact Strength)ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ	-13

## สารบัญญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
4.1 แสดงอุณหภูมิการ โกงตัวของพอลิเมอร์ผสมที่ปริมาณของแข็งต่างๆ.....	14
4.2 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแข็งที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	15
4.3 แสดงปริมาณของสารตัวเติม (แวกซ์และกรดสเตียริก) ในพอลิเมอร์ผสมที่มีแข็ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	16
4.4 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของพอลิเอทิลีนเทียบกับพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีปริมาณแข็ง 10 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ.....	17
4.5 การเปลี่ยนแปลงมวล(% โดยน้ำหนัก)ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเทียบกับอุณหภูมิ (°C) ของ (1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (2) แข็งมันสำปะหลัง (3) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 10 % โดยน้ำหนัก และ (4) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก.....	18
4.6 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นทดสอบหลังการแขวนกลางแข็งเป็นเวลา 6 เดือน (1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (2) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 10 % โดยน้ำหนัก (3) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก และ (4) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนักหลังการทิ้งไว้กลางแข็งเป็นเวลา 12 เดือน.....	19
4.7 แสดงกล่องใส่ดีสเกตที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีดที่เตรียมจาก (1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (2) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก และ (3) พอลิเมอร์ผสมที่มีแข็งมันสำปะหลัง 60 % โดยน้ำหนัก .....	20



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันพอลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น โดยถูกนำมาใช้ทดแทนวัสดุดั้งเดิมประเภทไม้ โลหะ แก้วและเซรามิกส์ ผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์สามารถพบได้ทั่วไป ทั้งในรูปของอุปกรณ์ในยานยนต์ อุปกรณ์ส่งถ่ายข้อมูลข่าวสาร วัสดุการก่อสร้าง เสื้อผ้า บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารและยารักษาโรค หรือแม้แต่การใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้[1-5] ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเด่นเหนือวัสดุประเภทอื่นหลายประการ เช่น ความคงทนต่อการผุกร่อนหรือเป็นสนิม น้ำหนักเบา สามารถขึ้นรูปที่ซับซ้อนได้ ฯลฯ ในขณะที่เดียวกันจากปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาต่อเนื่องคือขยะพลาสติกที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลาสติกที่อายุการใช้งานสั้น ปัญหาของขยะพลาสติก คือ ความสามารถในการย่อยสลายหรือไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำให้มีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำสายและการกำจัด ซึ่งถ้าขยะพลาสติกเหล่านี้ ตกค้างในสภาพธรรมชาติเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

แนวทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหามลพิษจากพลาสติกคือ การทำให้พลาสติกสลายตัวด้วยวิธีทางชีวภาพ (biodegradable plastics) ซึ่งสามารถทำได้สองลักษณะ[6]ได้แก่ 1) การเติมหรือผสมสารเติมแต่งที่ย่อยสลายได้กับพอลิเมอร์ 2) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่สามารถย่อยสลายได้วิธีแรกจะมีความยุ่งยาก ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีที่สอง โดยพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymers) ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติม (filler) ให้กับพอลิเมอร์สังเคราะห์คือ แป้ง การเติมแป้งลงไปผสมกับพลาสติกจะช่วยเร่งให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น ส่วนผสมที่เป็นแป้งจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เหลือโครงสร้างของพลาสติกเป็นแบบรูพรุนซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ ต่อมาจะกลายเป็นผงละเอียดซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มความพรุนให้แก่ดินด้วย

ในปัจจุบันสินค้าเกษตรของประเทศไทยจะมีปัญหาในเรื่องการตลาดมาก เนื่องจากรูปแบบสินค้าเกษตรที่ส่งออกไปจะเป็นสินค้าเกษตรโดยตรง โดยไม่มีการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้านั้นเลย และพฤติกรรมของเกษตรกรไทยในแง่ของการวางแผนการผลิตแทบจะไม่มี จะมีการผลิตสินค้าเกินความต้องการของตลาดในบางฤดูการผลิต ทำให้เกิดปัญหาเรื่องราคาสินค้าตลอดมา แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าววิธีการหนึ่งคือ การเพิ่มมูลค่า (value Added) ให้กับสินค้าเกษตร โดยการนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมมากขึ้น พืชเศรษฐกิจประเภทหนึ่งที่มีการผลิตเป็นปริมาณมากและมักจะ

ปัญหาเรื่องราคาตกต่ำตลอดมา คือ มันสำปะหลัง รัฐบาลจึงพยายามสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการเพาะปลูก รวมถึงการศึกษาวิจัยหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังให้กว้างขวางขึ้น เพื่อเป็นการสร้างความต้องการมันสำปะหลังให้มากขึ้น ทั้งในตลาดภายในและต่างประเทศ ซึ่งแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ คือ การผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม

ในขณะที่ขบวนการอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ในประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณขยะพลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาหาวัสดุพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติการใช้งานที่ดีและสามารถสลายตัวได้เร็วในธรรมชาติน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดมลภาวะที่เกิดขึ้นจากขยะพลาสติกได้ พร้อมกันนี้การนำแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยมาใช้เป็นสารตัวเติมให้กับพอลิเมอร์ เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายตัวได้เร็วขึ้น จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังได้

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการนำแป้งมันสำปะหลังซึ่งผลิตได้เป็นจำนวนมากในประเทศไทย มาใช้เป็นสารตัวเติมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างทั้งแป้งและพอลิเมอร์ โดยจะศึกษาสมบัติเชิงกลของของผสมที่ได้ และทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้เพื่อให้มีความง่ายในการขึ้นรูปต่อไป พร้อมทั้งศึกษาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว โครงการวิจัยนี้จึงน่าจะเป็นโครงการที่มีประโยชน์ต่อเกษตรกรในแง่การเพิ่มมูลค่าของสินค้าการเกษตรและเป็นการพัฒนาเพื่อลดผลกระทบของขยะพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แป้งมันสำปะหลัง เป็นสารตัวเติมในวัสดุพอลิเมอร์
2. เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการบดผสมแป้งมันสำปะหลังกับวัสดุพอลิเมอร์ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่นำไปขึ้นรูปโดยวิธีการขึ้นรูปพอลิเมอร์แบบต่าง ๆ ได้
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้พอลิเมอร์ผสมสำหรับวัสดุพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้
4. เป็นงานวิจัยเบื้องต้นที่จะเป็นแนวทางการวิจัยให้กับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาต่อไป

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยจะมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ของการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ที่ใช้โดยทั่วไป (commodity polymers) ที่มีปริมาณการใช้สูง ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) กับแป้งมันสำปะหลัง โดยมีขอบเขตงานวิจัยศึกษา ดังนี้

1. ทำอัตราส่วนการผสมที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปขึ้นรูป โดยใช้เครื่องบดผสมแบบ Internal Mixer ซึ่งเป็นการผสมแบบเป็นครั้งๆ (Batch) พร้อมกับการศึกษาถึงปริมาณแป้งมันที่สามารถเติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมได้
2. นำพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ไปทดสอบคุณสมบัติ ตามวิธีการมาตรฐานเทียบกับคุณสมบัติของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ที่ใช้ ปรับคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมให้เหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปโดยวิธีการขึ้นรูปที่สนใจ
3. นำวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ศึกษาได้ ไปทดลองเตรียมในปริมาณมากขึ้น และนำไปทดลองขึ้นรูปโดยวิธีการขึ้นรูปแบบฉีด (injection molding)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางการวิจัย สำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา
2. เป็นแนวทางพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ผสมชนิดใหม่ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง
3. เป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าการเกษตร
4. เป็นการพัฒนางานวิจัยไปสู่อุตสาหกรรมภาคการผลิต
5. ลดการขาดดุลทางด้านการค้าและเทคโนโลยี

#### 1.5 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

หน่วยงานที่จะได้รับประโยชน์โดยตรงจากงานวิจัยในครั้งนี้ จะเริ่มตั้งแต่ตัวเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังที่จะมีทางเลือกตลาดเพิ่มขึ้นอีกทางเลือกหนึ่ง แทนที่จะมีเฉพาะตลาดขายมันเพื่อการผลิตเป็นอาหารสัตว์หรือใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมอาหารเท่านั้น ทำให้เกิดอุปสงค์เพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ราคาสินค้าการเกษตรมีราคาที่ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังเป็นส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ให้มีการผลิตวัสดุที่มีต้นทุนต่ำเนื่องจากใช้วัสดุการตัวเติม ที่มีต้นทุนต่ำ และสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย และที่สำคัญไม่น้อยไปกว่าทั้งสองประเด็นที่ได้กล่าวมาแล้วคือ การสร้างและสนับสนุนการศึกษาเพื่อผลิตบุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับงานวิจัย เนื่องจากโครงการวิจัยในครั้งนี้จะใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นของโครงการวิจัยในหลักสูตรบัณฑิตศึกษาของสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ต่อไป

## บทที่ 2

### ความเป็นมาและภูมิหลัง

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) เป็นพอลิเมอร์ที่มีปริมาณการใช้งานค่อนข้างกว้างขวางในอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีราคาไม่แพง มีคุณสมบัติทางกลที่เหมาะสม ทนทานต่อการใช้งานในสภาวะปกติ ไม่ผุกร่อนง่าย ในขณะที่เดิวก่อนขณะพลาสติกที่เกิดขึ้นหลังการใช้งาน ได้ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากคุณสมบัติการย่อยสลายยาก ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางการใช้งานพลาสติกให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด จึงเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจจากกลุ่มงานวิจัยหลายกลุ่มทั้งในและนอกประเทศ

แป้ง (starch) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ชนิดหนึ่ง มีหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดคือ กลูโคส แป้งพบมากในพืชที่มีหัว (tuber) เช่น เผือก มันสำปะหลัง และในส่วนที่เป็นเมล็ด (seed) เช่น ข้าวโพด ข้าว เม็ดแป้งมีขนาดและรูปร่างต่างๆกัน ( $\approx 5-35 \mu\text{m}$ ) แป้งประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันสองชนิดคือ อะมิโลส (amylose) และ อะมิโลเพกทิน (amylopectin)[6-7] การจัดเรียงตัวและการเชื่อมต่อนั้นระหว่างหน่วยย่อยกลูโคสในโครงสร้างทั้งสองแตกต่างกัน จึงทำให้แป้งจากแต่ละแหล่งมีโอกาสที่จะมีคุณสมบัติต่างกันตามปริมาณขององค์ประกอบ

เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ หาง่าย ราคาไม่แพงและสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์จากสิ่งมีชีวิตหรือจุลินทรีย์ในธรรมชาติ แป้งจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ในรูปแบบต่างๆ แนวทางหลักที่มีการศึกษาวิจัย ได้แก่ การผลิตผลิตภัณฑ์โดยมีแป้งเป็นองค์ประกอบทั้งหมด (หรือมากกว่า 90 %) การใช้แป้งเป็นสารตัวเติม การสังเคราะห์กราฟโคพอลิเมอร์ของแป้งกับโวนิลมอนอเมอร์ หรือ อะคริลิกมอนอเมอร์ เป็นต้น

การผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้โดยการใช้แป้งทั้งหมดหรือมากกว่า 90 % กระทำโดยการเตรียมแป้งให้อยู่ในสถานะเป็น paste หรือ dough นำไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่องขึ้นรูปพลาสติก เช่น เครื่องอัดแรงสูง (extruder) เครื่องฉีด (Injection molding) หรือ เครื่องขึ้นรูปฟิล์ม (film forming) ตามเทคโนโลยีของแต่ละกลุ่มพัฒนาขึ้นและตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แป้งที่ใช้อาจเป็นเนื้อแป้ง 100 % หรือเป็นแป้งที่ผ่านการแปรรูป อาจมีการใส่สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติได้ตามต้องการ จากกลุ่มวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นโดยมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ความเปราะ ความทนทานต่อความชื้นต่ำ ความแข็งแรงเชิงกลต่ำ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาพัฒนาหาวิธีที่จะลดข้อด้อยเหล่านั้น

เช่น การเคลือบผิวของแผ่นฟิล์มที่ทำจากแป้งโดยใช้พอลิเอสเทอร์ [8] การผสมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับแป้งก่อนนำมาขึ้นรูป [9] และการเติมผงแคลเซียมคาร์บอเนตและเส้นใยไม้เพื่อเพิ่มความแข็งแรง [10-11] เทคโนโลยีที่เริ่มจากแนวทางนี้ได้มีการนำไปใช้จริงในระดับอุตสาหกรรมค่อนข้างกว้างขวาง เช่น บริษัท Japan Corn Starch (JCS) ร่วมมือกับ Grand River Technology (GRT) ก่อตั้งบริษัท EverCorn ในรัฐ Michigan เพื่อผลิตพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้จากแป้งข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปร โครงสร้างทางเคมีบางส่วน ได้ผลิตภัณฑ์ประเภท โฟม แผ่นฟิล์ม ภาชนะ และ วัสดุยึดติด(adhesive)[12] ในประเทศไทย สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ประสบความสำเร็จในการนำมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นวัสดุและภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับบรรจุอาหารพร้อมบริโภคและอาหารกึ่งสำเร็จรูป เพื่อใช้ทดแทนภาชนะบรรจุพลาสติกและโฟม นับเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มมูลค่ามันสำปะหลัง โดยได้ผลิตภัณฑ์มีผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงขึ้น ช่วยแก้ปัญหา มันสำปะหลังล้นตลาดและราคาตกต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากขยะพลาสติกอีกทางหนึ่งด้วย [13]

การใช้แป้งเป็นสารตัวเติมโดยมีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ ของผสมที่ได้จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่ต่างกันสองส่วน ได้แก่ แป้งที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์และพอลิเมอร์ซึ่งส่วนใหญ่ไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ดังนั้นการย่อยสลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตตามแนวทางนี้จะเกิดจากการย่อยสลายแป้งที่กระจายอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์โดยจุลินทรีย์ ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในผลิตภัณฑ์ จากนั้นองค์ประกอบที่เป็นพอลิเมอร์จะถูกทำลายโดยวิธีต่างๆ เช่นแรงทางกล สารเคมี เป็นต้น จากโครงสร้างทางเคมีของแป้งซึ่งสามารถดูดความชื้นได้ดี ดังนั้นจึงต้องทำให้แห้งหรือมีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 1 % ก่อนนำผสมกับพอลิเมอร์ เพื่อป้องกันการระเหยของไอน้ำระหว่างขั้นตอนการขึ้นรูป ซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศบนผิวของผลิตภัณฑ์[14] Piyush และคณะ [15] ศึกษาการย่อยสลายของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ซึ่งมีแป้งข้าวโพดเป็นสารตัวเติม พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลา(residence time) ระหว่างขั้นตอนการผสม สามารถลดปัญหาการเกิดฟองอากาศบนผิวของชิ้นงานได้ นอกจากนี้การผสมที่อุณหภูมิ 125-130°C จะทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นที่ผิวของชิ้นงานน้อยที่สุด และการย่อยสลายพอลิเมอร์ผสมในขั้นแรกเกิด โดยการย่อยสลายอนุภาคแป้งบริเวณผิวหน้าของพอลิเมอร์ผสม โดยเห็ดรา และแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ตามธรรมชาติ Mani และ Bhattacharya [16] ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสม (LDPE) กับแป้งข้าวโพด พบว่าเมื่อปริมาณอไมโลส (amylose) ในแป้งมากขึ้น อุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของพอลิเมอร์จะลดลงและทำให้เกิดการแตกเฟสขึ้น ในขณะที่อะไมโลเพคติน (amylopectin) จะทำให้เกิดการรวมเฟสได้ดีกว่า นอกจากนั้นพบว่าเม็ดแป้งจะไม่หลอมอย่างสมบูรณ์ในขณะทำการผสม แต่ขนาดของเม็ดแป้งจะมีขนาดเล็กหลังจากการขึ้นรูปแบบฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding) Maddever และ Chapman พบว่าการใส่สารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (auto-oxidant) เช่น น้ำมันข้าวโพด (corn oil) จะสามารถทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียดสภาพได้เร็วขึ้น โดยสารประเภทนี้

จะทำปฏิกิริยากับเกลือของโลหะหนักที่อยู่ในดิน ทำให้เกิด peroxide radical ที่ทำให้เกิดการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ [17]

จากโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์และแป้งจะเห็นว่าสารทั้งสองชนิดไม่มีความเข้ากัน (incompatibility) ในระดับ โมเลกุล ดังนั้นงานวิจัยส่วนหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการใช้แป้งเพื่อเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์จะเกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยน(modification) โครงสร้างของพอลิเมอร์หรือแป้ง เพื่อให้เกิดการเข้ากันได้(compatibility)ระหว่างสารทั้งสองชนิด ซึ่งจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น การปรับปรุงพื้นผิวของแป้งอาจทำได้โดยการใช้สารประกอบซิลิแลน(silane-coupling agent) เพื่อทำให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้นระหว่างแป้งที่มีขั้วกับพอลิเมอร์ซึ่งไม่มีขั้ว [14]

การสังเคราะห์กราฟโคพอลิเมอร์ ระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์ (Starch graft copolymers) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์ โคพอลิเมอร์ถูกสังเคราะห์โดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระ(โดยวิธีทางเคมีหรือการฉายรังสี) บนสายโซ่ของแป้ง ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำหน้าเป็นตัวริเริ่มการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ มอนอเมอร์ที่ใช้ส่วนมาก ได้แก่ มอนอเมอร์ชนิดที่มีอนุพันธ์ไวไนลหรืออะคริลิกอยู่ในโครงสร้าง พอลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจะประกอบด้วยสายโซ่หลักเป็น โครงสร้างของแป้งซึ่งมีโซ่กิ่งเป็นสายโซ่ของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก [18] การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ทั้งอุณหภูมิต่ำลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติบางประการดีขึ้น แต่กรรมวิธีนี้ยัง ไม่มีการผลิตในเชิงการค้าเนื่องจากโคพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย

อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์ คือ การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วซึ่งสามารถเข้ากับแป้งได้ เช่น แผ่นฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมระหว่างแป้งกับพอลิเอทิลีน โคอะคริลิกแอซิด (poly (ethylene-co-acrylic acid), EAA) ซึ่งมีปริมาณแป้งมากกว่า 50 % โดยน้ำหนัก แสดงคุณสมบัติความเป็นอิลาสติค ใส และทนต่อน้ำ ไม่ว่าจะผ่านกรรมวิธีขึ้นรูปแบบอัดรีด(extrusion) การเป่า(blowing) หรือ การหล่อ(casting) โดยเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (percent elongation) จะน้อยลงเมื่อแป้งมีปริมาณมากขึ้น[19]

การปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างแป้งกับพอลิเมอร์อาจทำได้โดยการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นระหว่างการผสม (reactive blending) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานั้น (เช่น บล็อกโคพอลิเมอร์ หรือ กราฟโคพอลิเมอร์) จะทำให้องค์ประกอบในระบบมีความเข้ากันได้ (compatibility) และมีการยึดติดระหว่างพื้นผิว (interfacial adhesion) มากขึ้น พอลิเมอร์ผสมจะมีความเสถียรทางสัณฐานวิทยา (morphology stability) มากขึ้น ความเข้ากันได้ระหว่างองค์ประกอบในพอลิเมอร์ผสมจะดีขึ้นเล็กน้อยเพียงไร ขึ้นกับความว่องไวของหมู่ฟังก์ชันและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี Chandra และ Rustgi [20] เตรียมกราฟโคพอลิเมอร์ระหว่างมาลิกแอนไฮไดรด์และลิเนียร์โลเคนซิติพอลิเอทิลีน(MA-g-LLDPE) โดยการทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างผสมและนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสมระหว่างลิเนียร์โลเคนซิติพอลิเอทิลีน (LLDPE) และแป้งข้าวโพด เพื่อศึกษา

สมบัติของพอลิเมอร์ผสม และ สภาพะการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสม จากการตรวจสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ค่า ความแข็งแรงเชิงกล (tensile strength) และมอดูลัสจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณแป้งในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติที่ใช้ในการผสมและความเหนียวระหว่างการผสมของพอลิเมอร์ผสมจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากหมู่แอนด์ไฮดรอกซิลในกราฟโคพอลิเมอร์เกิดแรงกระทำกับหมู่ไฮดรอกซิลในแป้งทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างแป้งกับพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้น สำหรับการศึกษาศักยภาพการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมพบว่า การนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปฝังดินจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วและปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น

ในด้านการประยุกต์ใช้งานมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ใช้แป้งข้าวโพด และแป้งสาทิเป็นสารตัวเติม (filler) ในเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์หลายชนิด เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่สามารถย่อยสลายตัวได้เร็วขึ้นในธรรมชาติ รวมถึงศึกษาวิธีการขึ้นรูปพอลิเมอร์แบบต่าง ๆ และสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ และอวัยวะเทียม [21-25]

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งผลิตได้เป็นจำนวนมากในประเทศไทย มาใช้เป็นสารตัวเติมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) โดยไม่มีการปรับเปลี่ยน โครงสร้างทั้งแป้งและพอลิเมอร์ โดยจะศึกษาสมบัติเชิงกลของของผสมที่ได้ และทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้เพื่อให้มีความง่ายในการขึ้นรูปต่อไป พร้อมทั้งศึกษาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวด้วย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 2.1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

รายละเอียดและที่มาของวัสดุที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ที่มา
แป้งมันสำปะหลัง	บริษัทสงวนวงษ์อุตสาหกรรม จำกัด
High Density Polyethylene, HDPE (H5814J)	บริษัทไทยโพลีเอทิลีน จำกัด
Hard Paraffin	บริษัทวิทยาคม จำกัด
Steric Acid	บริษัทวิทยาคม จำกัด

##### 2.2. วิธีการทดลอง

###### 2.2.1. การเตรียมแป้ง

แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการศึกษามีขนาดอนุภาคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 ไมโครเมตร โดยการคัดแยกขนาดอนุภาคใช้เครื่องร่อนแบบตะแกรง (Retsch AS200digit) แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการคัดแยกขนาดแล้วจะถูกนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100°C ภายใต้สภาวะสุญญากาศเป็นเวลา 8 ชั่วโมงก่อนนำไปผสมในขั้นถัดไป

###### 2.2.2. การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแป้งมันสำปะหลัง เตรียมได้จากเครื่องบดผสมภายใน (Rheomix 3000p, Haake Mixer) โดยใช้แกนหมุนชนิดโรเลอร์ (Roller Riors) การหมุนของแกนเป็นแบบสวนทางกัน ที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการบดผสมต่อหนึ่งครั้งเท่ากับ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 150°C โดยขั้นแรกเติมพอลิเอทิลีนลงไปก่อน หลังจากนั้นประมาณ 5 นาที จึงค่อยๆ เติมส่วนผสมที่เหลือลงไป (แป้งมันสำปะหลัง และสารตัวเติมที่ช่วยในกระบวนการขึ้นรูป คือ พาราฟินและกรดสเตียริก) โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของพอลิเอทิลีนและแป้งมันสำปะหลัง ของผสมที่ได้จะนำไปบด เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมชิ้นทดสอบและขึ้นงานตัวอย่างต่อไป



### 2.2.3. การเตรียมชิ้นทดสอบโดยการขึ้นรูปแบบกดอัด

ชิ้นทดสอบที่ใช้ในการศึกษาเตรียมจากการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression Molding, GT-7014-30L บริษัท ลิททิพร แอสโซซิเอต จำกัด) เตรียมชิ้นทดสอบที่มีความหนาต่างๆกัน โดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 19 X 19 เซนติเมตร แผ่นประกบแม่พิมพ์รองด้วยแผ่นเทฟลอน เพื่อป้องกันการขีดขีดระหว่างชิ้นทดสอบและแผ่นประกบ ให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์เปล่าที่อุณหภูมิ 160°C เมื่ออุณหภูมิคงที่จึงเติมพอลิเมอร์ผสมที่บดแล้วลงไป ทิ้งไว้ 10 นาทีโดยไม่ให้ความดัน จากนั้นค่อย ๆ ให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึง 2500 psi คงไว้ที่ความดันดังกล่าวเป็นเวลา 5 นาที แล้วทำให้แม่พิมพ์เย็นตัวลงโดยใช้น้ำ แผ่นทดสอบที่ได้นำไปตัดให้มีขนาดต่างๆ ตามมาตรฐานทดสอบ โดยใช้เลื่อยสายพาน

### 2.2.4. การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

ความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นทดสอบ (Impact Strength) ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Pendulum Impact Tester) ตามมาตรฐาน ASTM D256 โดยใช้การทดสอบแบบ Izod ที่อุณหภูมิห้อง

### 2.2.5. การทดสอบหาค่าดัชนีการไหล

นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดมาทดสอบหาค่าดัชนีการไหล โดยใช้เครื่องมือทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Indexer, Dynisco) ใช้อุณหภูมิทดสอบ 190°C น้ำหนักกด 2.16 กิโลกรัม และเวลาในการหลอมเหลวเท่ากับ 360 วินาที

### 2.2.6. การทดสอบอุณหภูมิการโค้งตัว

อุณหภูมิการโค้งตัวของชิ้นทดสอบ (Heat Distortion Temperature) ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบอุณหภูมิการโค้งตัว (HDV-1, Atlas Elective Devices Companam) โดยใช้ชิ้นทดสอบขนาด 13x27x10 เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น ระหว่างการทดลองควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิในอัตราเร็วคงที่  $2 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  ใช้น้ำมันซิลิโคนเป็นตัวกลางนำความร้อน วัดอุณหภูมิของน้ำมันซิลิโคนที่ทำให้ชิ้นทดสอบบิดงอเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นระยะทาง 0.25 มิลลิเมตร น้ำหนักกดที่ใช้เป็นน้ำหนักสุทธิที่รวมกับน้ำหนักของแท่งที่ใช้รับน้ำหนักกดด้วย สามารถคำนวณแรงกดบนชิ้นทดสอบได้โดยใช้สมการ

$$P = \frac{2Sbd^2}{3L} \quad (1)$$

$$P' = \frac{P}{9.80665} \quad (2)$$

- เมื่อ P คือ แรงกด (Load), N  
 S คือ ค่าแรงกดสูงสุดบนชั้นทดสอบ (455 kPa)  
 b คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ (mm)  
 d คือ ความลึก (หนา) ของชั้นทดสอบ (mm)  
 L คือ ความกว้างของช่องว่างระหว่างแท่นยึดชั้นทดสอบ (0.1 m)  
 และ P' คือ แรงกดที่มีหน่วย kgf เมื่อ P ที่มีหน่วยเป็น N

### 2.2.7. การทดสอบค่าการดูดซับน้ำ

การทดสอบจะใช้ชั้นทดสอบ 3 ชั้นต่อ 1 อัตราส่วนผสม โดยใช้ชั้นทดสอบซึ่งเตรียมโดยการกดอัด ขนาด 5x5x3 เซนติเมตรปรับสภาพชั้นทดสอบโดยอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของชั้นทดสอบแต่ละชั้น นำไปแช่ในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น โดยให้น้ำท่วมชั้นทดสอบทุกชั้น ตรวจสอบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของชั้นทดสอบแต่ละชั้น เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงและทุกๆ 1 อาทิตย์ โดยนำชั้นทดสอบมาชั่งน้ำให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปแช่น้ำกลั่นไว้เช่นเดิม เปรี่เซนต์การดูดซับน้ำหาได้จากสมการ

$$\%W_f = \frac{W_w - W_c}{W_c} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ  $W_f$  คือ เปรี่เซนต์การดูดซับน้ำ

$W_c$  คือ น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)

$W_w$  คือ น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)

### 2.2.8. Thermogravimetric Analysis

คุณสมบัติทางความร้อนของชั้นทดสอบที่เตรียมได้จากสภาวะต่างๆ สามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือ Thermogravimetric Analyzer (TGA-7, Perkin Elmer) ทำการทดสอบภายใต้สภาวะบรรยากาศของไนโตรเจน โดยเพิ่มอุณหภูมิให้แก่สารตัวอย่างที่อัตราเร็ว 20°C ต่อนาที ช่วงอุณหภูมิ 25°C ถึง 600°C

### 2.2.9. การทดสอบการย่อยสลายภายใต้สภาพอากาศปกติ

การทดสอบใช้ชิ้นทดสอบขนาด 6x14x0.2 เซนติเมตร ซึ่งเตรียมจากการขึ้นรูปแบบกดอัด โดยใช้ชิ้นทดสอบ 2 ชิ้นต่อ 1 อัตราส่วนผสม ชิ้นทดสอบจะถูกแขวนไว้กลางแจ้งเป็นเวลา 6 เดือน (มกราคม-มิถุนายน) และ 12 เดือน เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลง โดยผิวหน้าทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบมีโอกาสสัมผัสสภาพอากาศเท่าๆกัน

### 2.2.10. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียม

พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมขึ้นจะถูกเลือกมา 1-2 อัตราส่วนผสม โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการย่อยสลาย เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในปริมาณมากขึ้น และนำไปขึ้นรูปโดยการขึ้นรูปแบบฉีด (injection molding) โดยใช้เครื่องฉีดของบริษัท Chuan Lih Fa Machinery Works CO., LTD. รุ่น CLF-80T

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

#### 4.1. การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนผสมต่างๆ เตรียมได้โดยใช้เครื่องบดผสมภายใน (Internal Mixer) จากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงค่าค่าทอร์ก (torque) ค่าสุดในการบดผสมพบว่า เมื่อปริมาณของแป้งในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น ทอร์กค่าสุดในการบดผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืด (melt viscosity) ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงขึ้น สำหรับการทดลองที่ใช้ปริมาณแป้งในพอลิเมอร์ผสมมากกว่า 50 % โดยน้ำหนัก พบว่าทอร์กค่าสุดในการผสมมีค่าสูงและการกระจายตัวของแป้งในพอลิเมอร์ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงจำกัดปริมาณแป้งในพอลิเมอร์ผสมอยู่ในช่วง 10-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.1. ค่าทอร์กและพลังงานที่ใช้ในการผสมพอลิเอทิลีนกับแป้งที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสม (HDPE/แป้ง)	ทอร์กค่าสุด (Nm)
100/0	12
90/10	13
80/20	12.5
70/30	16
60/40	16
50/50	15

#### 4.2. การทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Resistance Testing)

ค่าความต้านทานแรงกระแทกบอถึงความสามารถในการต้านแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากพอลิเมอร์ผสม นับเป็นคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการรับแรง จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าพอลิเอทิลีนที่ใช้ในการทดลองมีค่าความต้านทานแรงกระแทก 14.96 J/m และพอลิเมอร์ผสมจะมีแนวโน้มที่จะรับแรงกระแทกได้ลดลงตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์และแป้งมีความเข้ากันได้น้อยและเกิดการแยกกันเป็นสองเฟส เฟสที่ทำหน้าที่รับแรงคือสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีการเกี่ยวพันกัน เมื่อเติมแป้งลงไป สายโซ่พอลิเมอร์จะถูกกีดขวางโดยอนุภาคของแป้ง ซึ่งเมื่อปริมาณแป้งในระบบมีมากขึ้น การเกาะกลุ่มกันของอนุภาคแป้งจะเพิ่มขึ้นและขัดขวางการพันเกี่ยวกันของสายโซ่พอลิเมอร์มากขึ้น ทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกโดยรวมลดต่ำลง พอลิเมอร์ผสมมีความเปราะมากขึ้น

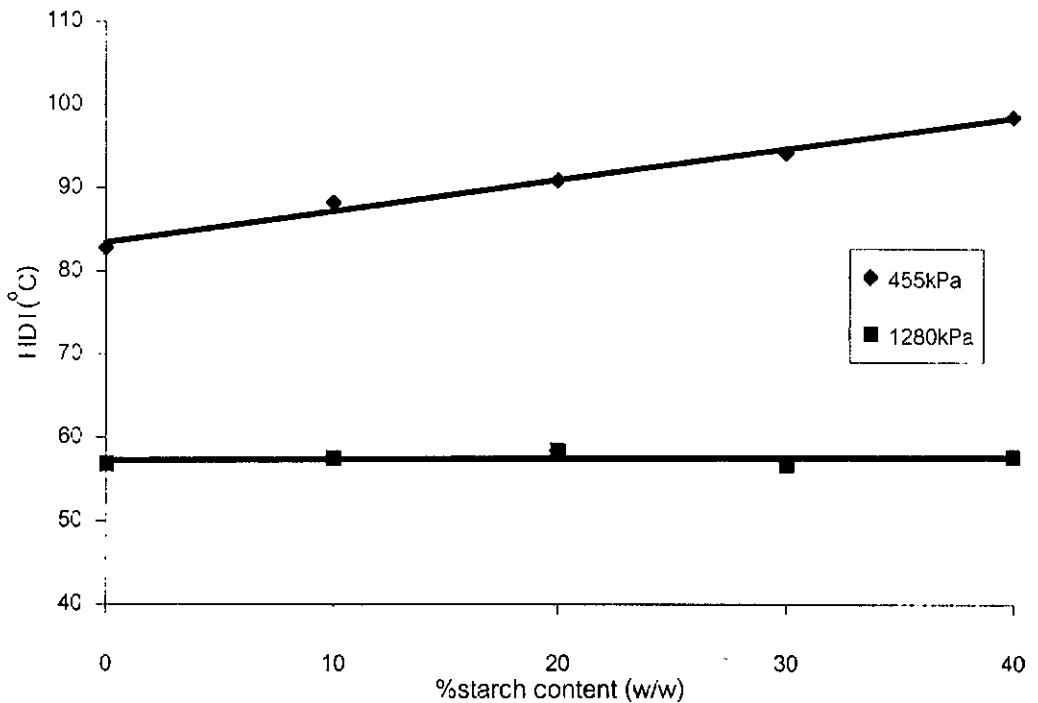
ตารางที่ 4.2 ความต้านทานแรงกระแทก(Impact Strength)ของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

อัตราส่วนผสม (HDPE/แป้ง)	ความต้านทานแรงกระแทก (J/m)
100/0	14.96
90/10	12.62
80/20	12.26
70/30	12.39
60/40	12.88
50/50	12.18

#### 4.3. การทดสอบอุณหภูมิการโก่งตัว

อุณหภูมิการโก่งตัว (Heat Distortion Temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการบิดงอไปเมื่อได้รับน้ำหนักกดค่าหนึ่งภายใต้อุณหภูมิหนึ่ง จากการทดลองใช้ค่าแรงกดบนชิ้นทดสอบ 2 ค่าคือ 455 kPa และ 1820 kPa สำหรับการทดลองที่ใช้ค่าแรงกด 455 kPa พบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งในพอลิเมอร์ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการโก่งตัวจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสายโซ่พอลิเมอร์จะเริ่มเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ระบบโดยรวมจะเริ่มอ่อนตัวลงและเกิดการบิดงอที่อุณหภูมิหนึ่ง เมื่อเติมแป้งเข้ามาในระบบอนุภาคของแป้งที่แทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์จะขัดขวางการเคลื่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ รวมทั้งช่วยต้านแรงกดที่กระทำต่อระบบ ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีสัดส่วนของแป้งมากขึ้น จะทำให้มีความต้านทานต่อแรงกระทำและทน

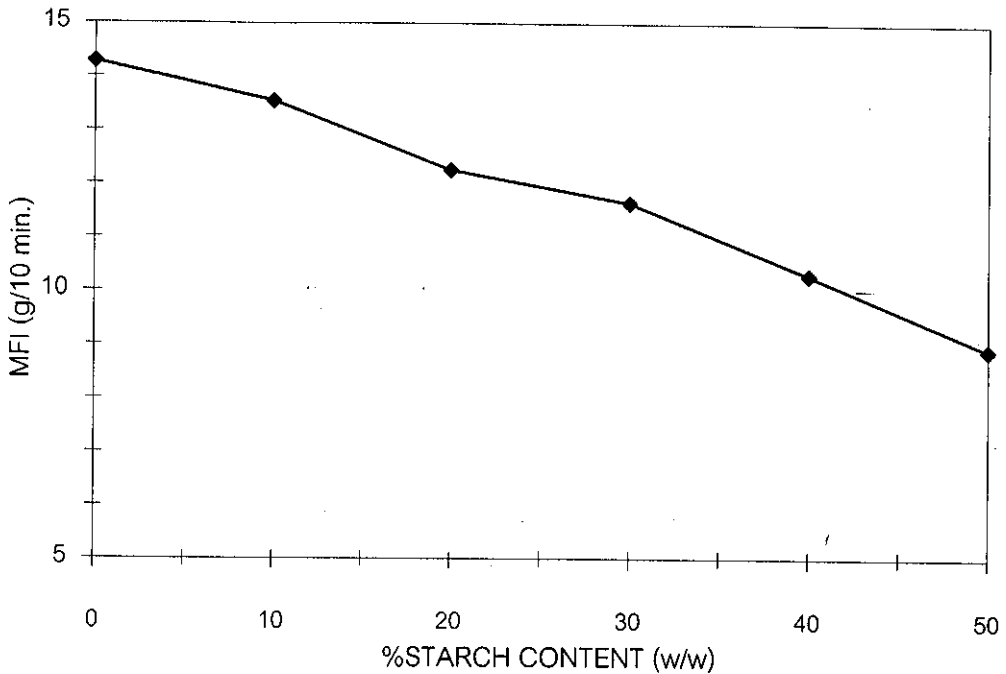
อุณหภูมิได้สูงขึ้นก่อนเกิดการบิดงอ เมื่อเปลี่ยนแรงกดที่กระทำต่อชิ้นงานเป็น 1820 kPa อุณหภูมิการโค้งตัวของพอลิเมอร์บริสุทธิ์และพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าต่ำลง รวมทั้งยังมีค่าเท่าๆกันทุกอัตราส่วนผสม คือ อยู่ในช่วง 56-57°C แสดงให้เห็นว่าที่น้ำหนักกดสูง ๆ การโค้งตัวจะขึ้นกับน้ำหนักกดเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิการโค้งตัวของพอลิเมอร์ผสมที่ปริมาณของแป้งต่างๆ

#### 4.4. การทดสอบหาค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI)

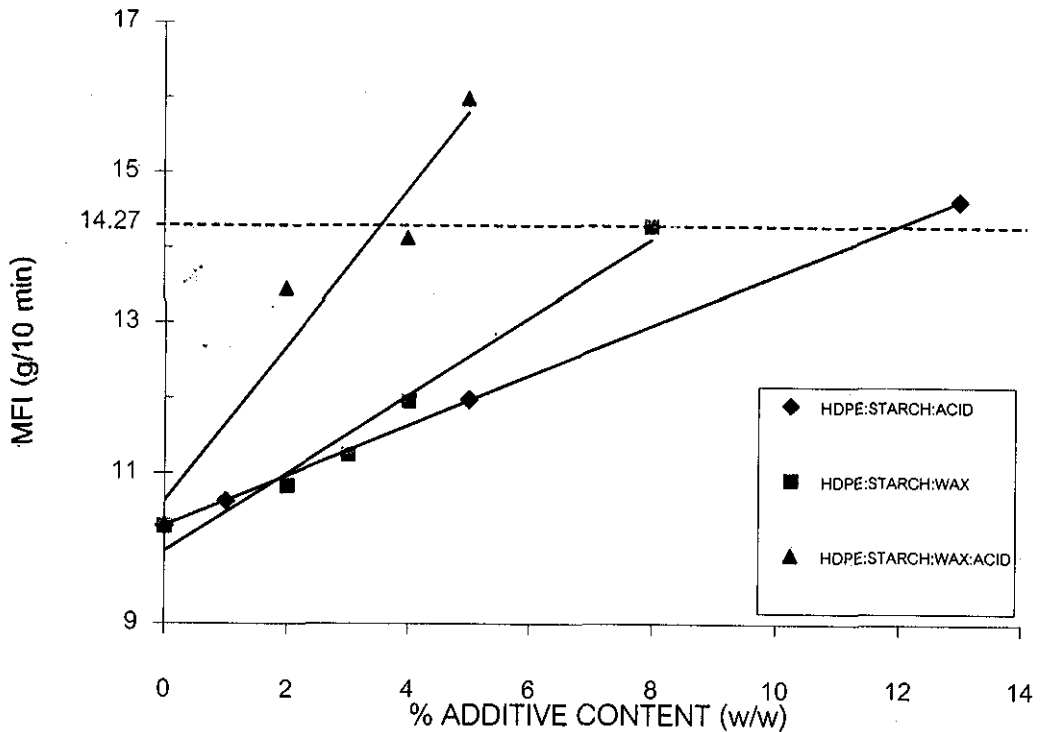
ค่าดัชนีการไหล เป็นค่าที่บอกถึงความยากง่ายในการไหลของพอลิเมอร์หลอม เนื่องจากพฤติกรรมการไหลของพอลิเมอร์มีความสำคัญต่อการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในด้านของการอธิบายสมบัติต่างๆ เช่น ผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืด ความยากง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยเครื่องมือขึ้นรูปประเภทต่างๆ อัตราเร็วของการฉีดพอลิเมอร์หลอม เป็นต้น พอลิเอทิลีนที่ใช้ในการทดลองมีค่าดัชนีการไหล 14.27 g/10 min และเมื่อทำการผสมแป้งลงไปพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีค่าดัชนีการไหลลดลงตามสัดส่วนปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับแป้งที่อัตราส่วนต่าง ๆ

การลดลงของค่าดัชนีการไหลแสดงให้เห็นว่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณของแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าทอร์คและพลังงานในการบดผสมเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งในพอลิเมอร์ผสม

ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้โดยใช้เครื่องมือขึ้นรูปแบบฉีด โดยเลือกพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นส่วนผสม 40 % (โดยน้ำหนัก) เพียง 1 อัตราส่วน เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของแป้งเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง การกระจายตัวของแป้งในพอลิเมอร์สม่ำเสมอ คุณสมบัติทางกลอยู่ในช่วงที่ใช้งานได้ และสามารถเสียหายได้เร็วเนื่องจากการย่อยสลายของแป้ง แต่เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมมีความหนืดที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางอย่าง (กรดสเตียริก และแว็กซ์) เพื่อช่วยในการหล่อลื่น การรักษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างการขึ้นรูป และทำให้กระบวนการขึ้นรูปเป็นไปได้ง่ายขึ้น



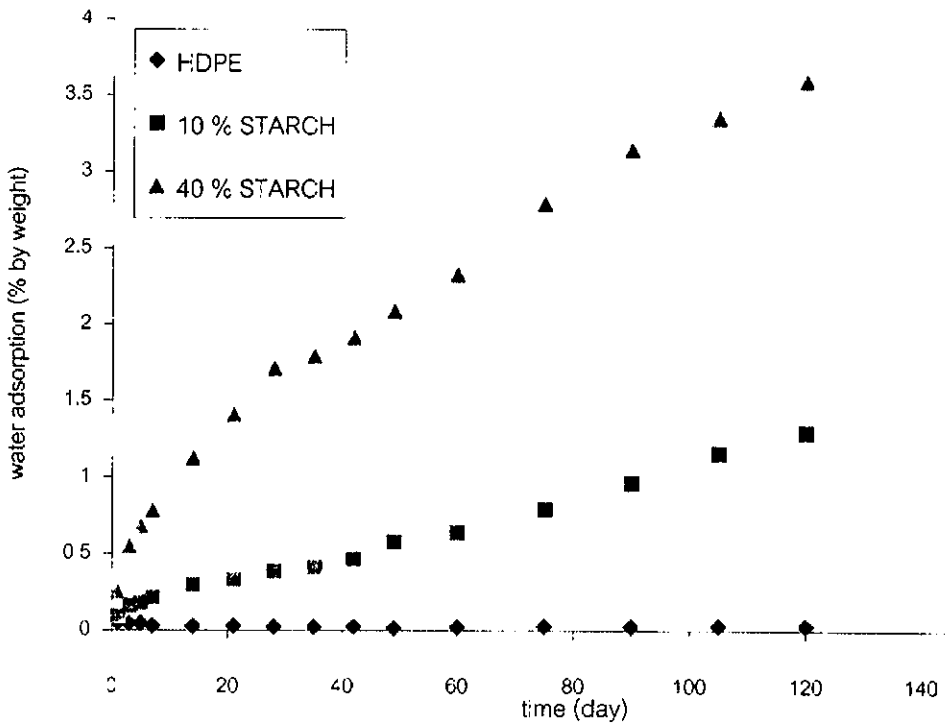
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณของสารตัวเติม (แวกซ์และกรดสเตียริก) ในพอลิเมอร์ผสมที่มีแบ่ง 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เมื่อเติมกรดสเตียริกและแวกซ์ลงไปในพอลิเมอร์ผสมพบว่าทั้งกรดสเตียริกและแวกซ์ทำให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมมีค่าสูงขึ้น นั่นคือความหนืดของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ซึ่งทำให้การขึ้นรูปทำได้ง่ายขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการไหลจากการเติมกรดสเตียริกและแวกซ์จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เมื่ออัตราส่วนของกรดสเตียริกและแวกซ์เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พบว่าเพื่อที่จะปรับค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมให้มีค่าเท่ากับค่าดัชนีการไหลของพอลิเอทิลีนบริสุทธ์ (14.27 g/10 min.) ซึ่งเป็นพอลิเอทิลีนเกรดที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปแบบฉีด จะใช้ปริมาณของแวกซ์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักใน ขณะที่ต้องใช้กรดสเตียริก 13 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ใส่รวมกันทั้งแวกซ์และกรดสเตียริกพบว่าเมื่อใช้แวกซ์ในอัตราส่วน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะใช้กรดสเตียริกในปริมาณที่เท่ากันดังแสดงในรูปที่ 4.3



#### 4.5. การทดสอบการดูดซับน้ำ

โดยทั่วไปพอลิเมอร์สังเคราะห์จะเป็นสารอินทรีย์ที่มีการดูดซับน้ำต่ำ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วน้อยมาก แป้งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในสายโซ่ของแป้งกับหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำ จากการทดลองเมื่อเติมแป้งเข้าไปจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมมีมากขึ้น ดังในรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงความสามารถในการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณแป้ง 10 และ 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีน ตามลำดับ จากกราฟพบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมจะเพิ่มสูงขึ้น

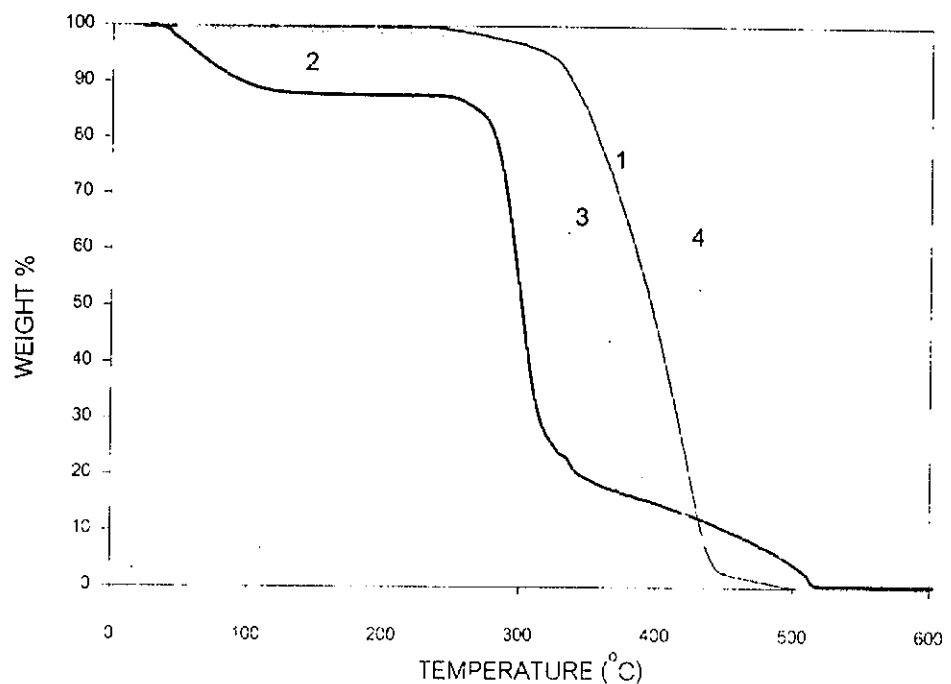


รูปที่ 4.4 แสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเอทิลีนเทียบกับพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีปริมาณแป้ง 10 และ 40 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ

#### 4.6. Thermogravimetric Analysis

พฤติกรรมของการสลายตัวที่อุณหภูมิต่างๆของพอลิเอทิลีน(ชนิดความหนาแน่นสูง) แป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณแป้งต่าง ๆ กัน สามารถติดตามได้โดย Thermogravimetric Analyzer (TGA) โดยทำการทดลองภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (รูปที่ 4.5) จากเทอร์โมแกรมที่ 2 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงมวลของแป้งมันสำปะหลัง จะเห็นได้ว่าหลังจากการอบไล่ความชื้นที่

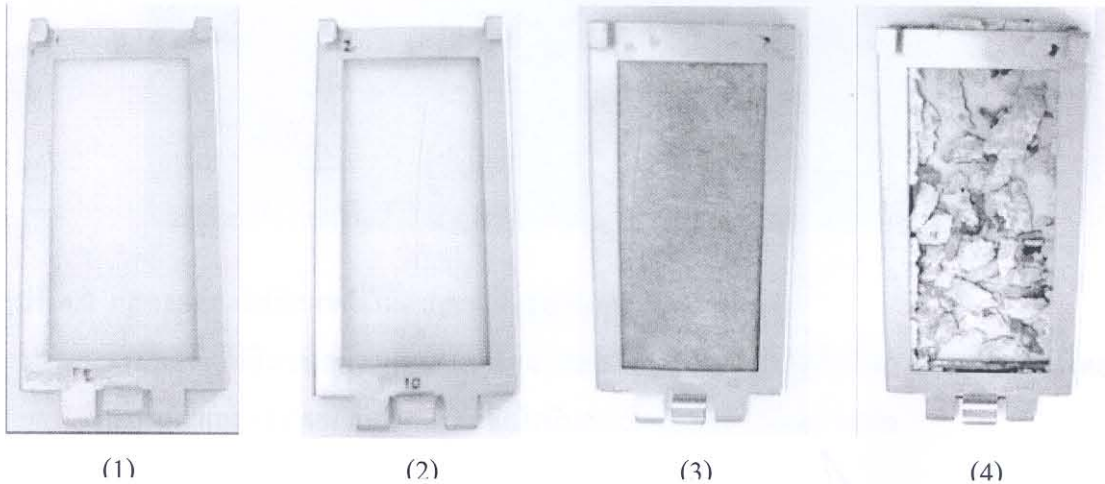
100°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองยังคงมีความชื้นในตัวเองประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงมวลที่เกิดขึ้นระหว่าง 60°-100°C เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ตามเทอร์โมแกรมที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการสลายตัวของพอลิเอทิลีน(350°C)มีค่าสูงกว่าของแป้ง (280°C) เมื่อพิจารณาการสลายตัวของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณแป้งต่างกันตามเทอร์โมแกรมที่ 3 และ 4 จะเห็นว่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการสลายตัวในพอลิเมอร์ผสมจะอยู่ระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการสลายตัวในพอลิเอทิลีนและแป้ง เมื่อปริมาณแป้งในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น มวลจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่หลอมเหลวมีความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น ทำให้สาร โมเลกุลเล็กที่เกิดจากการสลายตัวระเหยออกจากระบบได้ยากขึ้น



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงมวล(% โดยน้ำหนัก)ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเทียบกับอุณหภูมิ (°C) ของ (1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (2) แป้งมันสำปะหลัง (3) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 10 % โดยน้ำหนัก และ (4) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก

#### 4.7 การทดสอบการย่อยสลายภายใต้สภาพอากาศปกติ

จากการศึกษาเปรียบเทียบการย่อยสลายตัวของชิ้นทดสอบที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์บริสุทธิ์ โดยการแขวนชิ้นทดสอบกลางแจ้งเป็นเวลา 6 เดือน(มกราคม-มิถุนายน) และ 12 เดือน สามารถสังเกตลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบแต่ละประเภท ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากรูปพบว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ด้วยสายตา ส่วนพอลิเมอร์ผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สังเกตได้ชัดเจน โดยพื้นผิวหน้า จะมีความขรุขระมากขึ้นและเปลี่ยนเป็นสีดำเนื่องจากเชื้อรา เมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลาที่นานขึ้น แผ่นชิ้นทดสอบจะเปราะและแตกออกเป็นชิ้นเล็กตามรูปที่ 4 พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบมากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนกว่าภายในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังรูป 2 และ 3 แป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอากาศ ดังนั้นการเติมแป้งจึงช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพในพอลิเมอร์ผสมในระยะเวลาที่สั้นกว่าระยะเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในชิ้นทดสอบจากพอลิเมอร์บริสุทธิ์ นอกจากนี้การย่อยสลายส่วนประกอบที่เป็นพอลิเมอร์ของพอลิเมอร์ผสม จะเกิดได้เร็วขึ้นเช่นกัน เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้นหลังจากชิ้นทดสอบแตกเป็นชิ้นที่เล็กลง

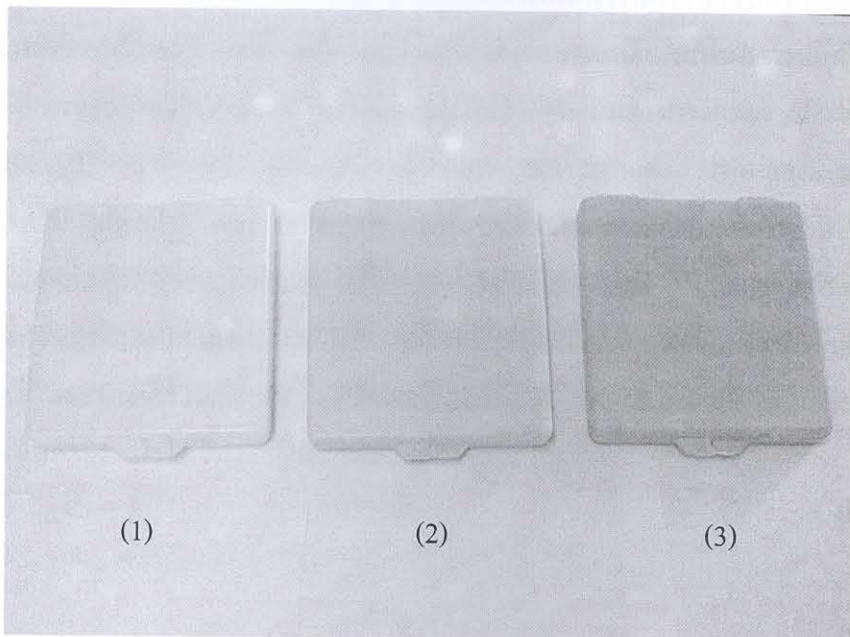


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะทางกายภาพของชิ้นทดสอบหลังการแขวนกลางแจ้งเป็นเวลา 6 เดือน

(1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (2) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 10 % โดยน้ำหนัก (3) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก และ (4) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนักหลังการทิ้งไว้กลางแจ้งเป็นเวลา 12 เดือน

#### 4.8. การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ผสม

จากการพิจารณาคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติการย่อยสลาย พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก และพอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 60 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีการเติมแวคซ์และกรดสเตียริกเพื่อปรับความหนืดแล้ว ถูกนำไปขึ้นรูปเป็นกล่องใส่ดิสเก็ตซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้จริง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เนื่องจากการผ่านความร้อนหลายครั้งระหว่างการเตรียมพอลิเมอร์ผสม การทำเม็ดคอมปาวด์ การหลอมพอลิเมอร์ระหว่างขั้นตอนของการฉีด คุณสมบัติของแป้งมีโอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกล่องที่ขึ้นรูปจากพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ จะเห็นว่า กล่องที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมจะมีสีที่เข้มกว่าและมีความแข็งและเปราะมากกว่า



รูปที่ 4.7 แสดงกล่องใส่ดิสเก็ตที่ได้จากการขึ้นรูปแบบฉีดที่เตรียมจาก

- (1) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (2) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 40 % โดยน้ำหนัก และ (3) พอลิเมอร์ผสมที่มีแป้งมันสำปะหลัง 60 % โดยน้ำหนัก

## บทที่ 5

### บทสรุป

ในการศึกษาครั้งนี้ได้เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนของแป้งต่างๆกัน เพื่อศึกษาถึงสมบัติทั่วไปและการย่อยสลายตัวในธรรมชาติของของพอลิเมอร์ผสม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งมันสำปะหลังในพอลิเมอร์ผสมจะทำให้ความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีผลทำให้การนำไปขึ้นรูปทำได้ยากและจำกัดการนำพอลิเมอร์ผสมไปใช้งานจริง การเติมแว็กซ์และกรดสเตียริกเป็นสารหล่อลื่น ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวลดลงเมื่อเทียบกับที่ปริมาณแป้งเท่ากัน รวมทั้งการกระจายตัวของแป้งในเนื้อพอลิเมอร์สม่ำเสมอขึ้น พอลิเมอร์ผสมมีความต้านทานแรงกระแทกต่ำกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ และความสามารถในการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งที่เพิ่มขึ้น การสลายตัวของแป้งมันสำปะหลังจะเกิดง่ายกว่าพอลิเมอร์ในบรรยากาศปกติ ช่วยให้ชิ้นทดสอบที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นทดสอบที่เตรียมจากพอลิเมอร์บริสุทธิ์ และทำให้ส่วนประกอบที่เป็นพอลิเมอร์มีโอกาสที่จะย่อยสลายได้ง่ายขึ้น พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมขึ้นสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้จริง

## บรรณานุกรม

1. W. Chetanachan, N. Chantasatrasamee, and R. Sinsermuksamkul, *Proceedings of The First Thailand Materials Science and Technology Conference*, Thailand, 102, 2000.
2. F. M. B. Coutinho, T. H. S. Costa, D. L. Carvalho, M. M. Gorelova and L. Maria, *Polym. Testing*, **17**, 299, 1998.
3. E. Jakab, G. Varhegyi, and O. Faix, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **56**, 273, 2000.
4. X. Chen, Q. Guo, and Y. Mi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **69**, 1891, 1998.
5. M. Kazayawoko, J. J. BalatineCZ, and L. M. Matuana, *J. Mater. Sci.*, **34**, 6189, 1999.
6. เอกสารทางวิชาการ หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม 2540.
7. J. McMurry and M. E. Castellion, *Fundamentals of Organic and Biological Chemistry*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1996.
8. R. Shogren, J. Lawton, W. Doane and K. Tiefenbacher, *Polymer*, **39**, 6649, 1998.
9. R. Shogren, J. Lawton, K. Tiefenbacher and L. Chen, *J. Appl. Polym. Sci.*, **68**, 2129, 1998.
10. P. Andersen, S. Hodson, *Methods for Manufacturing Articles Having a Starch-Bound Cellular Matrix*. US Patent No. 5,709,827, 1998.
11. P. Andersen, A. Kumar and S. Hodson, *Mater. Res. Innovations*, **3**, 2, 1999.
12. [http://www.japan-cornstarch.com/hh\\_13.html](http://www.japan-cornstarch.com/hh_13.html)
13. [http://www.rdi.ku.ac.th/foods/Ngamtip/index\\_kugreen.html](http://www.rdi.ku.ac.th/foods/Ngamtip/index_kugreen.html)
14. G. Griffin, *U.S. Patent*, 4,125,495, 1978.
15. B. Piyush, S. Shah, R. Bandopadhyay, and J.R. Bellare, *Polymer Degradation and Stability*, **47**, 165, 1995.
16. R. Mani & M. Bhattacharya, *Eur. Polym. J.*, **34**(10), 1477, 1998.
17. W. J. Maddever and G. M. Chapman, *Plastic Engineering*, **31**, 1989.
18. G. F. Fanta and E. B. Baglay, *Encyclopedia of Polymer Science*, ed. H. F. Mark and N. M. Bikalas, John Wiley and Sons, New York, 1970.

19. F.H. Otey, R. P. Westhoff and W. M. Doane, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, **26**, 1659, 1987.
20. R. Chandra and R. Rustgi, *Polymer Degradation and Stability*, **56**, 185, 1997.
21. S. Baumberger, C. Lapieere and G. Della Valle, *Polym. Degrad. And Stability.*, **59** (1/3), 273, 1998.
22. J.A. Ratto, P.L. Stenhouse and R. Farrell, *Polymer*, **40** (24), 6777, 1999.
23. D. Ramkumar, U.R. Vaidya and S. Karlsson, *Euro. Polym. J.*, **32** (8), 999, 1996.
24. S.H. Imam and J.M. Gould, *Appl. Environ. Microbiol.*, **56** (4), 872, 1990.
25. W. Sung and Z.L. Nikolov, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **31** (10), 2332, 1992.

## ประวัติผู้วิจัย

### 1. หัวหน้าโครงการ

ชื่อ อาจารย์ ดร.นิธินาด ศุภกาญจน์

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันศึกษา	ประเทศ
2542	เอก	Ph.D	Polymer Science	Case Western Reserve U.	USA
2538	โท	วท.ม.	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์	วิทยาลัยปิโตรเลียม และปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2536	ตรี	วท.บ.	เคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย

### ผลงานทางวิชาการ

1. Z. Liu, N. Suppakarn, and J.D. Cawley, "Coated Feedstock for Fabrication of Ceramic Parts by CAM-LEM," *Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings*, Edited by D. Bourell, J. J. Beaman, R. Crawford, H. L. Marcus, and J. W. Barlow, University of Texas, Austin, TX, 393, 1999.
2. N. Suppakarn, Z. Liu, and J.D. Cawley, "Polymer Assisted Lamination of Ceramic Green Tape," *The First Thailand Materials Science and Technology Proceedings*, MTEC, Thailand, 364, 2000.
3. N. Suppakarn, H. Ishida, and J. D. Cawley, "Roles of Poly(propylene glycol) During Solvent-based Lamination of Ceramic Green Tape," *J. Am. Ceram. Soc.*, **84**(2), 289, 2001.

### สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- polymer characterization, polymer composites



## 2. ผู้วิจัยร่วม

ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทัย มีคำ

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ 38-50-0004

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันศึกษา	ประเทศ
1993	ป. เอก	Ph.D	-	Bradford U.	UK
1990	ป.ตรี	วท.บ.	เคมี	เชียงใหม่	ไทย

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

1. งานวิจัยที่เสร็จแล้ว : ชื่อเรื่อง ปีที่พิมพ์และสถานภาพในการทำวิจัย  
ยังไม่มี

2. งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ : ชื่อเรื่อง และสถานภาพในการทำวิจัย

2.1 โครงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อการผลิตจักรยานแข่งขั้นจากวัสดุพอลิเมอร์เชิงประกอบ

โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก ศูนย์วัสดุ และ โลหะแห่งชาติ โดยเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย

2.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเดี่ยวของวงแหวนคาร์บอนเนต โดยเทคนิค Single Crystal X-ray

Diffraction