

การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูป  
ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ( I )

A Study of Processing Technique of Cassava Starch Graft Copolymer ( I )



เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 33487  
วัน, เดือน, ปี..... 13 ส.ค. 2542

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่พ.ศ. 2541 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A Study of Processing Technique of Cassava Starch Graft Copolymer ( I )



**Special Project Submitted in Partical Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut ' s Institute of Technology ladkrabang**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
1998  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ  
ของแป้งมันสำปะหลัง (I)

โดย

นางสาว กาญจนกร เกศางาม

นางสาว วิมลมาศ เมืองแก่น

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. นิพนธ์


วงศ์วิเศษศิริกุล


ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้นำโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต

  
..... หัวหน้าภาควิชาเคมี  
( ผศ. นงนุช เกตรานูวัฒน์ )

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ

  
..... ประธานกรรมการ  
( รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล )

  
..... กรรมการ  
( ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย )

  
..... กรรมการ  
( ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล )

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาเทคนิคกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง (I)
โดย	นางสาว กาญจนกร เกศางาม นางสาว วิมลมาศ เมืองแก่น
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2541

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาลักษณะการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์สไตรีนและบิวทิลอะคริเลต (ปริมาณมอนอเมอร์ 200% โดยโมลของแป้ง และอัตราส่วนระหว่างสไตรีนกับบิวทิลอะคริเลต เท่ากับ 7:1 โดยโมล) ใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ในการทำปฏิกิริยาใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงและทำให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเรซินที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ และสมบัติการไหลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้อุณหภูมิบริเวณหัวฉีด ช่วงที่ 1 ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 เท่ากับ 150 140 130 และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เวลาในการขึ้นรูป ระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และเวลาในการหล่อเย็น เท่ากับ 45 40 35 และ 50 วินาที ตามลำดับ ความเร็วในการขึ้นรูป เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ความดันในการขึ้นรูป ช่วงที่ 1 ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 เท่ากับ 45 40 และ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับชิ้นงานพอลิสไตรีน พบว่า สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น และการดูดซับน้ำ มีค่าสูงขึ้น สมบัติทางความร้อน ได้แก่ อุณหภูมิเสียรูป มีค่าลดลง สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่ามอดูลัส ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ค่าความแข็งหักงอ และค่าความแข็งมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	A Study of Processing Technique of Cassava Starch Graft Copolymer (I)
<b>Name</b>	Miss Kanchanakorn Kesa-ngam Miss Vimolmas Muangkaen
<b>Special Project Advisor</b>	Asst.Prof. Nipon Wongvisetsirikul
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Academic Year</b>	1998

### Abstract

This special project aims to study of processing technique of cassava starch graft copolymers. Starch-g-styrene to butyl acrylate copolymers were prepared by using potassium persulfate as an initiator (The monomer was 200% by mol of starch and the ratio of styrene to butylacrylate was 7:1 by mol). The temperature of the reaction was 60 degree celcius for three hours and spent an hour for terminating the reaction at 90 degree celcius. The study has determined the thermal , physical , mechanical and rheological properties of starch-g-styrene to butylacrylate copolymers for finding the optimum injection molding's condition. The results showed that the temperature around the nozzle , zone 1 , zone 2 and zone 3 were 150 , 140 , 130 and 120 degree celcius, respectively. The injection molding time at the first, the second, the third stage and the cooling time were 45 , 40 , 35 and 50 seconds in order. The injection molding speed was 20 percent. The injection molding pressure at the first , the second and the third stage were 45 , 40 and 30 kilogram per cubic centimeter, respectively.

The study has determined the properties of the grafted starch compared with the polystyrene. The results showed that the physical properties (moisture content and water absorbtion ) of grafted starch were higher than polystyrene.The thermal properties of grafted starch indicated lower distortion temperature than polystyrene.The mechanical properties ( tensile modulus, tensile strength, % elongation, notched impact strength, flexural strength and hardness ) were lower than polystyrene .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลาย ๆ ฝ่ายซึ่งต้องขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาโครงการนี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบ และแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน รวมทั้งพี่ ๆ ปริญญาโท ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณพี่กฤษณะและพี่สุคใจ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอบคุณพี่น้องที่หอวิชาสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ ขอขอบคุณ ไอ้คที่ช่วยแปล ช่วยพิมพ์และตีพิมพ์โครงการพิเศษครั้งนี้

ขอบคุณจ๊อบ ต่อ พี่หมู ที่คอยรับฟังปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครูอาจารย์ ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี และเป็นประโยชน์ต่อสังคม ตลอดจนให้กำลังใจและคำแนะนำในการศึกษาตลอดมา

ขอบคุณทุก ๆ กำลังใจจากเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้องๆ เคมีทุกคน ที่เป็นแรงกาย แรงใจ ช่วยกระตุ้นตักเตือนในการทำโครงการพิเศษนี้

อนึ่ง ยังมีบุคคลอีกหลายท่านนอกเหนือจากที่กล่าวมา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นางสาวกาญจนากร เกศางาม

นางสาววิมลมาศ เมืองแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง	4
2.2 ปฏิกริยาพอลิเมอร์เซชัน	8
2.3 กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก	15
2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา	33
บทที่ 3. การวิจัยและดำเนินงาน	34
3.1 แผนการดำเนินงาน	34
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	34
3.3 สารเคมีที่ใช้	34
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	35
3.5 วิธีการทดลอง	36
บทที่ 4. ผลการทดลอง	45
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง กับสไตรีนที่สังเคราะห์ได้	45
4.2 การวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง กับสไตรีนที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	หน้า
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	57
	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงตัวอย่างของตัวริเริ่มที่ใช้ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน	10
ตารางที่ 3.1	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	39
ตารางที่ 3.2	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	40
ตารางที่ 3.3	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของการฉีดขึ้นรูป	41
ตารางที่ 3.4	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	41
ตารางที่ 3.5	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	42
ตารางที่ 3.6	แสดงสภาวะในการฉีดขึ้นรูปของเป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์	42
ตารางที่ 4.1	แสดงอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของ เป็งมันสำปะหลังกับสไตรีนและอนุพันธ์	45
ตารางที่ 4.2	แสดงผลของค่าอัตราเทียบกับเวลาของพอลิเมอร์แบบต่อของ เป็งมันสำปะหลังกับสไตรีน	46
ตารางที่ 4.3	แสดงผลของค่าอัตราเทียบกับเวลาพอลิเมอร์แบบต่อของ เป็งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต	47
ตารางที่ 4.4	แสดงผลของค่าความเค้นเทียบกับค่าความหนืดของพอลิเมอร์ร่วม แบบต่อของเป็งมันสำปะหลังกับสไตรีน	47
ตารางที่ 4.5	แสดงผลของค่าความเค้นเทียบกับค่าความหนืดของพอลิเมอร์ร่วม แบบต่อของเป็งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต	48
ตารางที่ 4.6	แสดงเปอร์เซ็นต์การกราฟท์ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของ เป็งมันสำปะหลังกับสไตรีนและอนุพันธ์	49
ตารางที่ 4.7	แสดงเปอร์เซ็นต์โคพอลิเมอร์อิสระของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อ ของเป็งมันสำปะหลังกับสไตรีนและอนุพันธ์	49
ตารางที่ 4.8	แสดงผลการศึกษาสภาวะการฉีดขึ้นรูปจาก เครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคเคอร์	49
ตารางที่ 4.9	แสดงผลที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ความชื้นของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของเป็งมันสำปะหลังกับสไตรีน และบิวทิลอะคริเลต	50
ตารางที่ 4.10	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	51
ตารางที่ 4.11	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	51
ตารางที่ 4.12	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของการฉีดขึ้นรูป	52

ตารางที่ 4.13	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	52
ตารางที่ 4.14	แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป	52
ตารางที่ 4.15	สรุปสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน	53
ตารางที่ 4.16	แสดงค่าสมบัติเชิงกลของเป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์และสไตรีน	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	แสดง โครงสร้างของอะไมโลส 5
รูปที่ 2.2	แสดง โครงสร้างของอะไมโลเพกติน 6
รูปที่ 2.3	แสดง กระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน 12
รูปที่ 2.4	แสดง โครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้ง 13
รูปที่ 2.5	แสดง เครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก 16
รูปที่ 2.6	แสดง ภาพชุดฉีดพลาสติก 17
รูปที่ 2.7	แสดง ภาพหัวฉีดพลาสติก 19
รูปที่ 2.8	แสดง ลักษณะการกระทำของแรงอัดปิดแม่แบบ ของชุดเปิด-ปิดแม่แบบระบบปิดด้วยแรง 21
รูปที่ 2.9	แสดง ลักษณะการกระทำของแรงอัดปิดแม่แบบ ของชุดเปิด-ปิดแม่แบบระบบปิดด้วยกลไกร่วม 21
รูปที่ 2.10	แสดง ร่องนำพลาสติกแบบต่างๆ 23
รูปที่ 2.11	แสดง ลักษณะต่างๆของปลอกนำฉีด 25
รูปที่ 2.12	แสดง แม่แบบ 26
รูปที่ 2.13	แสดง กรรมวิธีการฉีดพลาสติก 28
รูปที่ 2.14	แสดง ระยะเวลาในการฉีดต่อวัฏจักร 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันปริมาณการใช้พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนทั้งนี้สาเหตุเนื่องมาจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมบัติเด่นมากมายจึงเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากพลาสติกมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้เป็นระยะเวลานานนับร้อย ๆ ปี จึงก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกขึ้น

สาเหตุที่พลาสติกที่สังเคราะห์จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้มี 2 ประการ ดังนี้

1. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

2. พลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ( Hydrophobic ) มีลักษณะไม่เป็นรูพรุนและมีพื้นที่ผิวน้อย ส่งผลทำให้เอนไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์ซึมผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปสัมผัสกับผิวของพลาสติกน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกย่อยสลายได้

เนื่องจากพลาสติกที่ผลิตจากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ดังที่ได้กล่าวข้างต้น ดังนั้นในหลายประเทศจึงพยายามผลักดันให้มีการใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพแทนพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพสามารถผลิตได้หลายวิธี แต่วิธีที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง คือ การทำกราฟท์โคพอลิเมอร์ของ ไวนิลมอนอเมอร์บนแป้งมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการปลูกกันอย่างกว้างขวางในพื้นที่หลายจังหวัด ผลผลิตของมันสำปะหลังส่วนใหญ่มักจะส่งออกไปขายยังกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป แต่ก็มักประสบกับปัญหาความไม่แน่นอนของตลาด ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นและเป็นการนำผลิตผลทางการเกษตรมาแทนที่พอลิเมอร์สังเคราะห์ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้โดยง่าย ดังนั้นการใช้แป้งมันสำปะหลังในพลาสติกไม่เพียงแต่จะเป็นการลดปริมาณการใช้มอนอเมอร์ปิโตรเคมีเท่านั้น แต่แป้งมันสำปะหลังยังคงเป็นส่วนที่สามารถย่อยสลายได้ ทำให้พลาสติกที่สำเร็จรูป แล้วสามารถถูกย่อยเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่จะทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการผลิตพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของ ไวนิลมอนอเมอร์ บนแป้งมันสำปะหลัง
2. เพื่อศึกษากระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะครีเลต ที่ผลิตได้ไปเป็นวัสดุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
3. เพื่อศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนที่ผลิตได้ เช่น

สมบัติการไหล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการปรับปรุงสมบัติพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต เพื่อช่วยให้สามารถฉีดขึ้นรูปได้
5. เพื่อศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต

#### ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต เพื่อใช้ในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก
2. ศึกษาลักษณะและสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลตที่สังเคราะห์ได้ เช่น
  - 2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น
  - 2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์โซ่สาขาในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต
  - 2.3 การหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วม
  - 2.4 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วม
  - 2.5 ศึกษาสมบัติการไหล ( Rheology ) ของพอลิเมอร์ร่วม
3. ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต โดยใช้พลาสติกไซเซออร์
4. ศึกษากระบวนการฉีดขึ้นรูปของ พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต โดยใช้น้ำเป็นพลาสติกไซเซออร์ในปริมาณต่างๆ
5. ศึกษาสมบัติของชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป
  - 5.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ
    - ความหนาแน่น
    - ปริมาณความชื้น
    - การดูดซึมน้ำ
  - 5.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน
    - การหาอุณหภูมิการเสีรูปร่าง
  - 5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล
    - การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ( Tensile Strength )
    - การทดสอบค่าความแข็งแรงหักงอ ( Flexural Strength )
    - การทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก ( Notched Impact Strength )
    - การทดสอบความแข็งแบบ Shore D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถทำการขึ้นรูปพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและ บิวทิลอะคริเลตที่สังเคราะห์ได้ให้เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถใช้งานได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแป้ง

1) แป้ง (starch) <sup>[1]</sup> มีอยู่ในพืชทุกชนิดเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์(polysaccharide) ที่มีโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคส เป็นสารแขวนลอยที่รวมตัวกับน้ำได้ดี (hydrocolloids) แต่ไม่ละลายในน้ำเย็น สามารถพบอยู่ในพืชทุกชนิด โดยพืชจะสะสมแป้งไว้ในเซลล์ เช่น ในเมล็ด เนื้อไม้ และ รากพืช เป็นต้น

รูปร่างและขนาดของแป้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาผลิตแป้งข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม หรืออาจสามารถพบในลักษณะที่เป็นรูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-25 ไมโครเมตร แป้งมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลมทึบตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-35 ไมโครเมตร แป้งมันฝรั่งเป็นแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดในจำนวนแป้งเชิงการค้าทั้งหมด โดยรูปร่างของแป้งเป็นรูปไข่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-100 ไมโครเมตร

กระบวนการผลิตแป้งนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบที่ใช้ หลักการโดยทั่วไปของการผลิตคือ การแยกเมล็ดแป้งออกจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น เส้นใย โปรตีน และ เกลือแร่ แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างน้ำ ทำการปั่นแยกแล้วทำการอบแห้งต่อไป ในกระบวนการผลิตเหล่านี้จะได้แป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ เนื่องจากแป้งไม่สามารถละลายน้ำได้ในน้ำเย็น

แป้งสามารถจะนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น สารยัดคืด สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยารักษาโรค และวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น ประโยชน์ของแป้งเกิดจากคุณสมบัติของความข้นเหนียว การเกิดเป็นเจล การยัดคืดและการเกิดฟิล์มคุณภาพสามารถควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย และมีราคาถูก

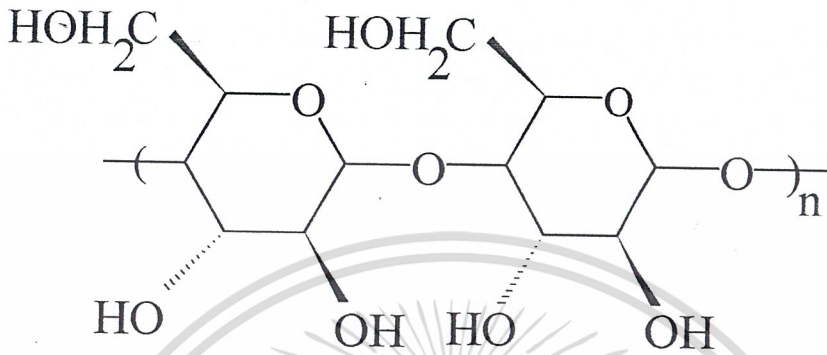
#### 2) ส่วนประกอบและโครงสร้างทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต แป้งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส ซึ่งสามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) เชื่อมเข้ากันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมออกซิเจนที่ติดกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่ง กับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสตัวถัดไปซึ่งพันธะเชื่อมโยงระหว่างหน่วยกลูโคสเรียกว่าพันธะกลูโคไซด์ (glucoside bond) และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไป ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์แบบควบแน่นขึ้น

แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) และ อะไมโลเพกติน (amylopectin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1,4) ขนาดของโมเลกุลนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของหน่วยกลูโคส โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 200-2000 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1

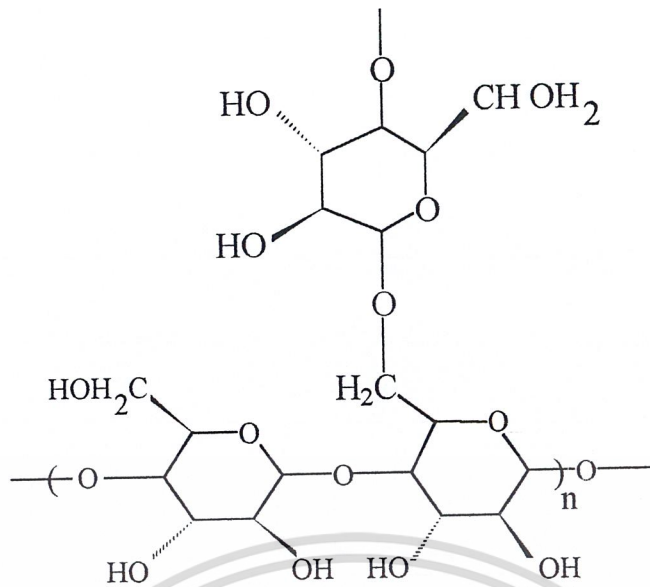


รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของ อะไมโลส

จำนวนหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จะแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำ (hydrophilic) ของแป้ง เช่น การดูดความชื้น และการกระจายตัวในน้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลส มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นจึงมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้และเนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลจำนวนมาก ทำให้สายโซ่ของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงตัวในแนวขนานและใกล้เพียงพอที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลได้ มีผลทำให้สมบัติการชอบน้ำของแป้ง และการละลายของแป้งลดลง โมเลกุลอะไมโลสสามารถจะก่อสารประกอบเชิงซ้อนแบบเกลียวล้อมรอบโมเลกุลของไอโอดีน (iodine) โดยสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะมีสีน้ำเงิน จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้ และเนื่องจากสารประกอบเชิงซ้อนสามารถตกตะกอนได้ด้วยบิวทานอล (butanol) หรือสารอินทรีย์ชนิดอื่น ทำให้สามารถแยกอะไมโลสออกจากอะไมโลเพกติน (amylopectin) โดยวิธีการเลือกการตกตะกอน (selective precipitation)

2. อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์โซ่สาขา (branch polymer) ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา (1,4) แต่จะเกิดสาขาที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในแต่ละสาขา ประกอบด้วยแอนไฮโดรกลูโคสประมาณ 20-30 หน่วย (รูปที่ 2.2) จากการที่โมเลกุลอะไมโลเพกตินมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลอะไมโลส และโมเลกุลอะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์โซ่สาขา ทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแป้งลดลงและขัดขวางการเกิดพันธะไฮโดรเจน สารละลายอะไมโลเพกตินในน้ำจะมีลักษณะใสและมีความเสถียรในการเป็นเจลและจะไม่ก่อสารเชิงซ้อนกับไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเปกติน

ส่วนที่เป็นเชิงเส้นของโมเลกุลอะไมโลเปกตินจะจัดเรียงตัวแบบขนานทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น ส่งผลทำให้เกิดผลึกแบบไมเซล (micellar crystalline) ซึ่งมีผลทำให้เกิดคุณสมบัติไบรฟ์รินเจนท์ (Birefringent) หมายถึงองศาของการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลลดลง

3) การเกิดเป็นเจลของแป้ง<sup>[2]</sup>

3.1) การบวมตัวของ การเกิดเป็นเจลของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการเกิดเป็นเจลของแป้งอยู่ในช่วง 55-80 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและความเข้มข้น โดยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่ยึดติดเม็ดแป้งไว้ด้วยกันจะอ่อนตัวลงและเม็ดแป้งก็จะเริ่มบวมตัวอย่างรวดเร็ว

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการบวมตัวเรียกว่า อุณหภูมิการเกิดเจล เม็ดแป้งจะอึมน้ำไว้และบวมตัวหลายเท่าจากปริมาตรเดิม เมื่อให้ความร้อนและปั่นกวนส่วนผสมไปด้วยพร้อมกันจะทำให้ส่วนผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดมีค่ามากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งเกิดการบวมตัวและอึมน้ำไว้ได้มากที่สุด หลังจากนั้นจะเกิดการแตกออกของเม็ดแป้ง ความหนืดก็จะลดลงขณะที่เม็ดแป้งที่เป็นเจลแตกออกจากกัน

เม็ดแป้งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานซึ่งในระหว่างเกิดการบวมตัวที่สามารถผันกลับได้นั้น น้ำจะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานและทำให้เกิดการบวมตัวของบริเวณอสัณฐานนั้น โดยส่วนที่เป็นผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เมื่อทำให้เม็ดแป้งแห้ง น้ำที่แทรกเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐานจะถูกกำจัดออกโดยไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติของแป้ง เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิของการเกิดเจล น้ำก็จะแทรกเข้าไปในส่วนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2) การเกิดเป็นเจลโดยใช้ความร้อน

สมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของแป้ง คือการเกิดเป็นลักษณะแป้งเปียกที่หนืด เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อความร้อนในขณะที่ให้ความร้อนแก่เม็คแป้ง เป็นค่าที่ใช้ในการทำนายสมบัติของแป้ง

การทำให้เกิดการบวมตัวเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น เม็คแป้งเกิดการพองตัวกระทบซึ่งกันและกัน ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤต จากนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเริ่มอ่อนตัวลงและความหนืดจะลดลง ในกรณีที่เกิดการรวมตัวกันของอะไมโลสจะทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

จากการศึกษารูปแบบการบวมตัวของแป้งชนิดต่าง ๆ โดย X-ray diffraction และการทดสอบเม็คแป้ง โดยใช้แสงและอิเล็กตรอน ไมโครสโคปทำให้ทราบถึงภาพของโครงสร้างที่เป็นไปได้และการจัดเรียงตัวของเม็คแป้ง พบว่าเม็คแป้งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นผลึก ออสถูแวน และส่วนที่เป็นกึ่งผลึก อะไมโลเปกตินโมเลกุลใหญ่จะมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสถูแวน ส่วนที่เป็นผลึกเกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่าง โมเลกุลอะไมโลเปกตินในส่วนที่เป็นเส้นตรงของโซ่สาขา

การบวมตัวในช่วงเริ่มต้นในระหว่างการเกิดเป็นเจล ในส่วนที่เป็นอสถูแวนของเม็คแป้งจะเกิดการแตกออกของพันธะไฮโดรเจนที่อ่อนตัวและเกิดการแทรกตัวของน้ำเข้าไปในโมเลกุลขณะที่อุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้น การแทรกตัวของน้ำเกิดมากขึ้นและพันธะไฮโดรเจนในส่วนที่เป็นผลึกก็จะเริ่มแตกออก เม็คแป้งบวมขึ้นโดยโมเลกุลอะไมโลเปกตินถูกแทรกด้วยน้ำแต่โครงสร้างนี้ยังคงรูปอยู่ได้เนื่องจากมีบางส่วนไม่ถูกแทรกด้วยน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่ยึดโครงสร้างนี้ไว้

### 3.3) ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแป้งที่เป็นเจล

สมบัติของแป้งที่เป็นเจลจะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการให้ความร้อน และสารมลทินที่ปนอยู่ในแป้ง ดังนั้นถ้าควบคุมสภาวะของการให้ความร้อนจะทำให้ได้สมบัติตามต้องการ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา อัตราเร็วของการปั่นกวน pH ชนิดของสารตัวเติม และสิ่งเจือปนต่าง ๆ

แป้งสามารถนำมาปรับปรุงสมบัติได้ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์ เพื่อให้ได้แป้งที่มีสมบัติต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง

ปัจจัยหลัก 5 ประการที่เป็นตัวกำหนดสมบัติต่าง ๆ ของแป้ง ได้แก่

1. แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส
2. แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่โมเลกุล

เป็นเส้นตรง เรียกว่า อะไมโลส และที่โมเลกุลเป็นโซ่สาขา เรียกว่า อะไมโลเปกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โมเลกุลของแป้งเป็นเส้นตรงสามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้มีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ
4. โมเลกุลของแป้งจะอยู่ในรูปเม็ดแป้งที่ไม่ละลายน้ำ
5. การที่จะทำให้แป้งบวมตัวในน้ำ จะต้องทำให้โมเลกุลของแป้งที่อยู่ในรูปเม็ดแป้งแตกตัวออก

#### 4) การนำแป้งไปประยุกต์ในด้านต่าง ๆ

การผลิตสารเคมีหรือพลาสติกซึ่งต้องเกี่ยวข้องกับการใช้ปิโตรเลียม พบว่าพลาสติกส่วนใหญ่ได้มาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งปริมาณการใช้ที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและอนาคตข้างหน้า ทำให้ต้องหันมาสนใจว่าจะมีปิโตรเลียมในการใช้เป็นสารตั้งต้นอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโตหรือไม่ จึงได้มีการนำเอาพอลิเมอร์ธรรมชาติมาใช้ เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับพลาสติกหรือใช้แทนพลาสติกบางตัว และความสามารถของพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ ทำให้ลดปัญหาเรื่องของการสะสมในสิ่งแวดล้อม

แป้งสามารถใช้ผสมในพลาสติก เช่น ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิไวนิลคลอไรด์ในโฟมยูรีเทนชนิดแข็ง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิเมอร์ร่วมของเอทิลีนกับกรดอะคริลิก และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เพื่อให้มีสมบัติในการสลายตัวทางชีวภาพ ได้มีการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาใช้ในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของดิน ลดการชะล้างของสารอาหาร ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของเมล็ดและเพิ่มผลผลิตของพืชผล ไม่เพียงแต่แป้งสามารถผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์เท่านั้น แต่ยังมีประโยชน์ในการใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือเป็นสารเสริมแรง โดยแป้งจะทำปฏิกิริยากับไอโซไซยานเนตได้ ทำให้ราคาต่ำ ปรับปรุงความต้านทานต่อตัวทำลายและความแข็งแรง

#### ปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน ( Emulsion Polymerization )

อิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน<sup>[3]</sup> เป็นวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ที่สำคัญ มีข้อดีคือตัวกลางมีราคาถูก มีลักษณะไม่ติดไฟ ไม่มีผลต่อจลนพลศาสตร์ของพอลิเมอไรเซชัน (polymerization kinetic) และไม่มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุล ส่วนข้อเสียคือ มีปริมาณสารเสริมเสถียรภาพ (stabilizers) มาก ซึ่งในบางครั้งจะไม่ใช่สิ่งที่ต้องการ เช่น ในกรณีที่ต้องการให้ฟิล์มเป็นฉนวนไฟฟ้า

อิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน<sup>[4]</sup> ได้รับการพัฒนามาจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแขวนลอย ใช้มากในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม วิธีนี้ต่างจากแบบแขวนลอยตรงที่ตัวเริ่มไม่ละลายในมอนอเมอร์ มอนอเมอร์ถูกปั่นจนให้กลายเป็นหยดเล็ก ๆ กระจายอยู่ในชั้นน้ำที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่เรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์(emulsifier) อยู่เป็นจำนวนมาก และกลไกการเกิดพอลิเมอร์เกิดผ่านอนุภาคอิสระ ขนาดของอนุภาคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้อยู่ใน

ช่วง 0.1 ไมครอน เล็กกว่าแบบแขวนลอยถึง 1000 เท่า อนุภาคในระบบอิมัลชัน มีข้อที่ต่างไปจากอนุภาคในระบบแบบแขวนลอยดังนี้ อนุภาคในระบบอิมัลชันจะไม่แตกตะกอนทันทีที่หยุดการ

ปั่นกวน เพราะอิมัลชันไฟเออร์ซึ่งอยู่บนผิวของอนุภาคพอลิเมอร์ถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ จึงเรียกลักษณะของพอลิเมอร์ที่ได้ว่า ลาเท็กซ์ (latex) วัสดุภาคในระบบอิมัลชันแบ่งได้ 2 ประเภท คือน้ำมันในน้ำ (oil in water) และน้ำในน้ำมัน (water in oil) แบบหลังสำหรับมอนอเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เช่น กรดอะคริลิก และ อะคริลาไมด์ ในระบบอิมัลชัน การเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิว มีผลกระทบต่อขนาดและจำนวนของไมเซล ซึ่งในที่สุดมีผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ด้วย

มอนอเมอร์ที่มักใช้ในปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน ได้แก่ [3]

#### 1. ไวนิล (vinyls)

- ไวนิลอะซิเตท (vinyl acetate)
- ไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride)
- ไวนิลิดีนคลอไรด์ (vinylidene chloride)

#### 2. สไตรีน (styrenes)

#### 3. อะคริเลต และ เมทาคริเลต (acrylates และ methacrylates)

- เอสเทอร์ (ester)

#### 4. มอนอเมอร์ไดอิน (diene monomer)

- บิวทาไดอิน (butadiene)
- ไอโซพรีน (isoprene)
- คลอโรพรีน (chloroprene)

#### 5. มอนอเมอร์ที่ทำให้คงรูป (curing monomer)

- คาร์บอกซิเลต (carboxylates)
- มอนอเมอร์ที่มีอะตอมไนโตรเจน (nitrogen-containing monomer) เช่น เอมีน (amines) เอไมด์ (amides) ไอโซไซยานาต (isocyanates) เอมีนนิไมด์ (aminimides)
- มอนอเมอร์ที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ (hydroxy monomer)
- มอนอเมอร์ที่มีหมู่อีพอกไซด์ (epoxy monomer)
- อะซิติลอะซิโตน (acetylacetonate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารตัวเติมในปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน [6]

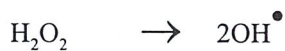
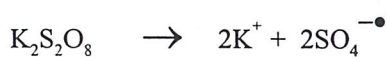
## 1. ตัวริเริ่ม

ในปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชันจะใช้ตัวริเริ่มที่ละลายในน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของตัวริเริ่มที่ใช้ในปฏิกิริยาอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน

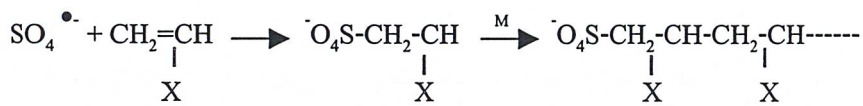
ตัวริเริ่ม	สูตรโครงสร้าง	อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (°C)
Hydrogen Peroxide	$H_2O_2$	40-60
Cumene Hydroperoxide	$\begin{array}{c} CH_3 \\   \\ C_6H_5-C-OOH \\   \\ CH_3 \end{array}$	50-120
t-Butyl Hydroperoxide	$\begin{array}{c} CH_3 \\   \\ CH_3-C-OOH \\   \\ CH_3 \end{array}$	60-80
Azo-bis-isobutyronitrile	$\begin{array}{c} CH_3 \quad CH_3 \\   \quad   \\ H_3C-C-N=N-C-CH_3 \\   \quad   \\ CN \quad CN \end{array}$	50-70
Ammonium Persulfate	$\begin{array}{c} O \quad O \\    \quad    \\ H_4NO-S-O-O-S-ONH_4 \\    \quad    \\ O \quad O \end{array}$	40-70

ตัวริเริ่มที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเปอร์ซัลเฟต หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในกรณีของเปอร์ซัลเฟตพบว่า อนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ (M) และในตอนท้ายจะเกิดการรวมตัวกัน เพื่อทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์



## 2. สารช่วยแขวนลอย (protective colloids)

โดยทั่วไป สารช่วยแขวนลอย จะใช้เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของอนุภาคอิมัลชัน โดยการดูดซับหรือ ทำให้ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้น สารที่ทำหน้าที่เป็นสารช่วยแขวนลอย ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาลิกแอนไฮไดรด์โคพอลิเมอร์ เมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

## 3. ตัวทำละลายอินทรีย์และพลาสติกไซเซอร์

ตัวทำละลายอินทรีย์ และพลาสติกไซเซอร์ จะใช้เพื่อลดจุดอ่อนตัว (softening point) ของพอลิเมอร์ และช่วยให้อนุภาคหลอมละลายได้ง่ายขึ้น

การเกิดอิมัลชันพอลิเมอร์เชชันสามารถสรุปได้ 3 ขั้นตอน<sup>[4]</sup> ดังนี้

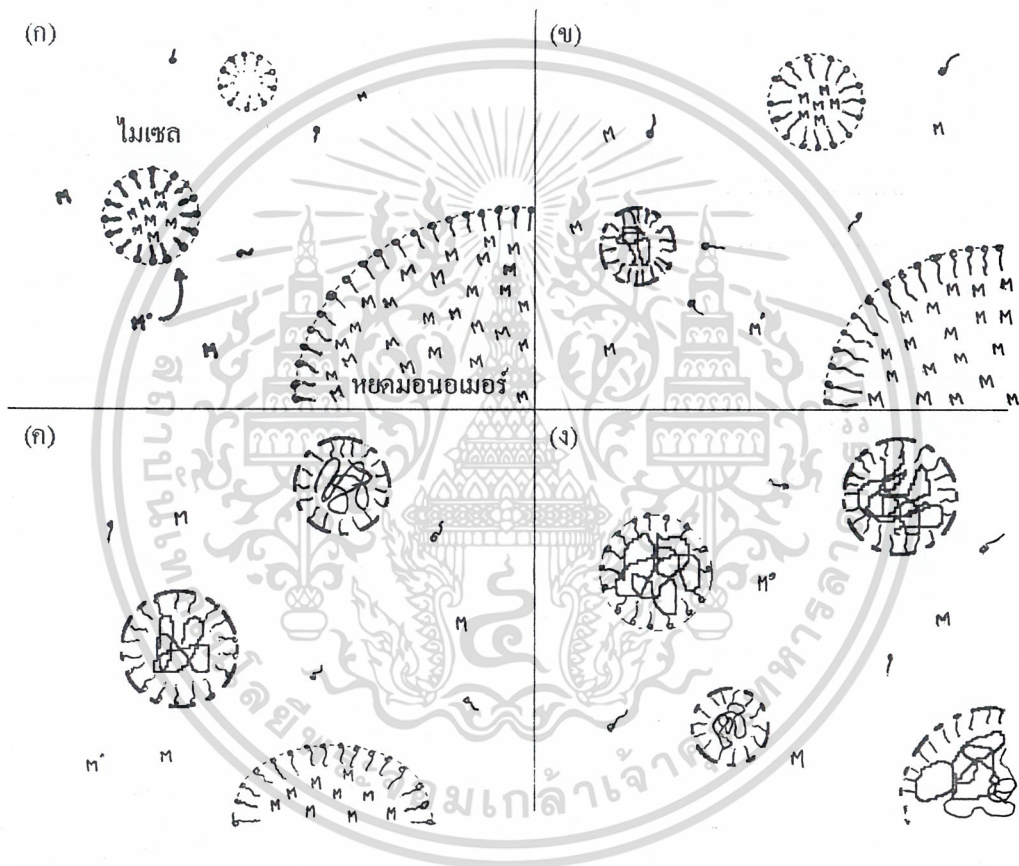
ขั้นที่ 1 การเกิดอนุภาคนิวเคลียสของพอลิเมอร์ เริ่มแรกในถังปฏิกริยาบรรจุด้วยสารลดแรงตึงผิวบัพเฟอร์ และน้ำ การปั่นกวนอย่างรวดเร็วทำให้สารเหล่านี้กลายเป็นหยดเล็ก ๆ ขนาด 1-10 ไมครอน เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวส่วนสารลดแรงตึงผิวจะกระจายอยู่ในชั้นน้ำและจับกันเป็นกลุ่มมีลักษณะทรงกลม ในแต่ละกลุ่มมีประมาณ 50 โมเลกุล เรียกว่า ไมเซล (micells) ซึ่งปริมาณของสารลดแรงตึงผิวมีจำนวนมากว่าความเข้มข้นวิกฤตของไมเซล (above critical micelle concentration) ไมเซลนี้จะหันปลายด้านไม่ชอบน้ำเข้าหากัน และกันปลายด้านชอบน้ำเข้าหาตัวกลางในระบบซึ่งในที่นี้คือน้ำ ด้วยเหตุนี้เมื่อหยดมอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำลงในระบบอนุภาคของมอนอเมอร์ที่มีขนาดเล็ก (เนื่องจากการปั่นอย่างรวดเร็ว) จะสามารถละลายเข้าไปอยู่ในไมเซลได้ และบางส่วนกระจายแขวนลอยอยู่ในชั้นน้ำ (พวกนี้มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน) โดยอยู่รอบ ๆ ผิวของไมเซล หลังจากหยดตัวริเริ่มที่ละลายน้ำลงในระบบ ตัวริเริ่มเกิดสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระและแพร่ถึงผิวของไมเซลซึ่งมีมอนอเมอร์ล้อมรอบอยู่ ตัวริเริ่มจะกระตุ้นมอนอเมอร์เหล่านี้เกิดเป็นพอลิเมอร์โซ่สั้น ๆ มอนอเมอร์ที่ได้รับการกระตุ้นและพอลิเมอร์โซ่สั้น ๆ สามารถแพร่เข้าไปในไมเซลกระตุ้นมอนอเมอร์ในไมเซลซึ่งมีจำนวนมากทำให้เกิดพอลิเมอร์ เรียกว่า เกิดพอลิเมอร์นิวเคลียส

ขั้นที่ 2 การลดลงของหยดมอนอเมอร์ขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ข และ ค จากในขั้นแรก เมื่อพอลิเมอร์เริ่มเกิดขึ้นในไมเซลเป็นพอลิเมอร์นิวเคลียสนั้น ปริมาณมอนอเมอร์ในไมเซลลดลงในขณะที่ปฏิกิริยาคำเนินไปเป็นพอลิเมอร์ ดังนั้นมอนอเมอร์ที่แขวนลอยอยู่นอกไมเซลจะ

แพร่เข้าไปในไมเซลแทน มอนอเมอร์ที่รวมตัวกันเป็นหยดขนาดใหญ่ในชั้นน้ำจะค่อย ๆ ลดขนาดลง เพราะถ่ายโอนมอนอเมอร์ให้พอลิเมอร์นิวเคลียสโดยการแพร่เข้าไปอยู่ในชั้นน้ำแทนไมวากรรมใดๆ ฟังสน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอนอเมอร์ที่แขวนลอยอยู่รอบนอกไมเซล อัตราเร็วของการถ่ายโอนมอนอเมอร์นี้จะเร็วกว่าอัตราการเกิดพอลิเมอร์ในไมเซล ในขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ดำเนินไปขนาดของพอลิเมอร์ในไมเซลจะค่อย ๆ โตขึ้นและปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ผิวของพอลิเมอร์ลดลง เหตุผลที่สนับสนุนว่าพอลิเมอร์เกิดในไมเซลที่อุ้มมอนอเมอร์ก่อนส่วนอื่นคือ ไมเซลมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก โอกาสที่ตัวริเริ่มอนุมูลอิสระจะแพร่เข้าไปในไมเซลมีได้มาก และในไมเซลมีมอนอเมอร์รวมกันอยู่เป็นกลุ่มมากกว่าพอลิเมอร์จึงเกิดได้เร็วกว่ามอนอเมอร์ที่กระจัดกระจายแขวนลอยอยู่ในน้ำ

ขั้นที่ 3 สิ้นสุดการเกิดพอลิเมอร์ เกิดขึ้นเมื่อมอนอเมอร์มีปริมาณน้อย หยคมอนอเมอร์ขนาดใหญ่หมดไปมีเพียงโซ่พอลิเมอร์ในไมเซลเหลือค้างในชั้นน้ำเป็นหยดขนาดเล็ก ๆ



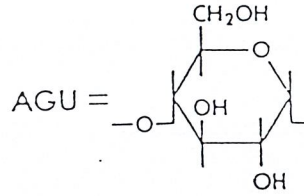
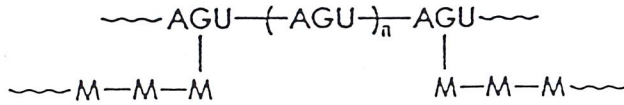
รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

การปรับปรุงสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์เชชัน<sup>[2]</sup>

ความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ในปฏิกิริยาสามารถแสดงในหน่วยโมล ซึ่งคือโมลของ AGU นั่นเอง โดยจะสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักโมเลกุลของ AGU (AGU มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 162)

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งสามารถเตรียมได้โดยการทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นบนโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มขนาดใหญ่ สำหรับมอนอเมอร์ไวนิลและอะคริลิก ซึ่งทำให้โมเลกุลของแป้งเกิดโซ่สาขาที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังรูปที่ 2.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้ง เมื่อ AGU แทน หมู่กลูโคไพราโนซิด หรือแอนไฮโดรกลูโคส และ M แทนหน่วยที่ซ้ำกันของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน

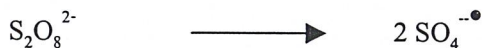
ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันโดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระนั้น อัตราส่วนของหน่วย AGU ต่อสายโซ่พอลิเมอร์ที่ต่อ (หรือความถี่ของการต่อโซ่สาขา) จะอยู่ในช่วงหลายร้อยถึงหลายพันหน่วย AGU ดังนั้น โมเลกุลของแป้งจะมีโซ่สาขาที่เกิดจากการต่อโซ่สาขาอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความถี่ของการต่อโซ่สาขานบนโมเลกุลของแป้ง สามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ส่วนที่สังเคราะห์ขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโซ่สาขานบนโมเลกุลของแป้งสามารถหาได้ โดยการทำให้แป้งละลายตัวเป็นน้ำตาลโดยใช้กรดหรือเอนไซม์

ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันบนโมเลกุลของแป้งโดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระจะใช้ระบบที่ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยา 2 ประเภท คือ ตัวริเริ่มทางเคมี และการริเริ่มปฏิกิริยาโดยการฉายรังสี สำหรับการริเริ่มปฏิกิริยาเคมีขึ้นอยู่กัชนิดของมอนอเมอร์ที่จะนำมาใช้ในปฏิกิริยาตัวริเริ่มทางเคมีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ซีริกแอมโมเนียมไนเตรต โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

#### กลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การแตกตัวออกของตัวริเริ่ม (initiator dissociation)



2. ปฏิกิริยาริเริ่ม (initiation reaction)



เนื่องจากระบบมีน้ำเป็นตัวทำละลายอยู่ด้วย ดังนั้นซัลเฟตไอออนอนุมูลอิสระสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้ไฮดรอกซีอนุมูลอิสระซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ได้ ดังสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3. ปฏิกิริยาการเจริญเติบโตของสายโซ่ (propagation reaction)



4. ปฏิกิริยาขั้นสิ้นสุด (termination reaction)

4.1 ปฏิกิริยาการรวมตัว (combination)

4.2 ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนอนุมูลอิสระ

4.3 ปฏิกิริยาการย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระ (transfer reaction)

-ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่มอนอเมอร์ (transfer to monomer)



-ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวทำละลาย (transfer to solvent)



-ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่พอลิเมอร์ (transfer to polymer)



-ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวย้ายสายโซ่ (transfer to chain transfer agent)



-ย้ายสายโซ่อนุมูลอิสระไปที่ตัวริเริ่ม (transfer to initiator)



ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์เช่นบนโมเลกุลของแป้งด้วยพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ เม็ดแป้งจะยังคงอยู่ในสภาพเดิม จะไม่กระจายตัวในน้ำแต่จะอยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งเล็ก ๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำ แต่จะกระจายตัวได้ดีหรือละลายได้มากขึ้นโดยใช้ เมทิลซัลฟอกไซด์ และสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์เมื่อทำให้อยู่ในรูปอนุพันธ์

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งที่เกิดจากพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำจะสามารถบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง และสามารถแยกแป้งส่วนที่ไม่บวมออกจากน้ำได้ด้วยการกรอง แต่ถ้าแป้งที่ไม่สามารถบวมตัวได้จะต้องแยกด้วยการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอล เป็นต้น

สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของพอลิเมอร์ที่ใช้ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้จะมีผลต่อคุณสมบัติการใช้งานของพอลิเมอร์ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันต่ำ จะทำให้พอลิเมอร์ร่วมที่ได้อ่อนตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิใช้งาน ทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมขึ้นกับค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบในพอลิเมอร์ร่วม ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



และความต้องการในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เช่น การใส่ชิ้นส่วนโลหะ การตกแต่งผลิตภัณฑ์ ภายในแม่พิมพ์ เป็นต้น

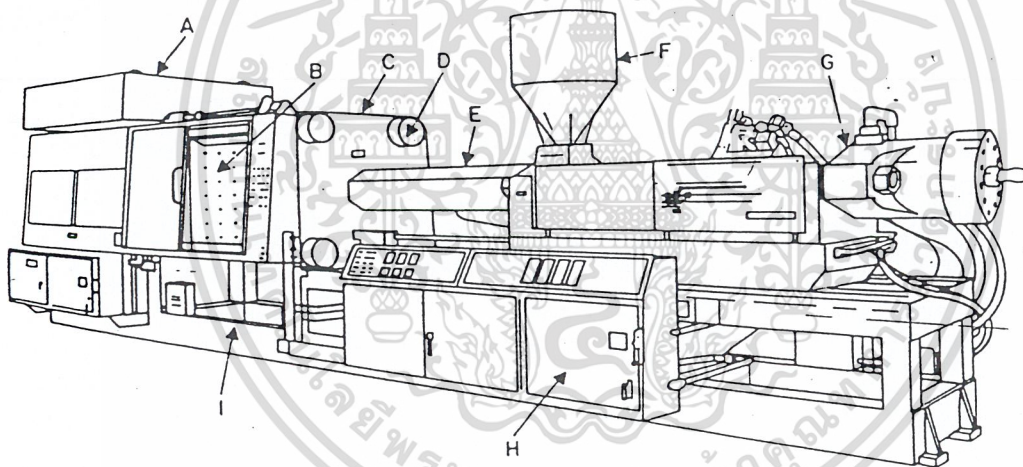
### หลักการของกระบวนการฉีดขึ้นรูป

หลักการพื้นฐานในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก คือ วิธีการที่จะผลิตพอลิเมอร์หลอมเหลว ในปริมาณที่กำหนด จากนั้นทำการฉีดพลาสติกหลอมเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ที่ปิดอยู่ เพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างของชิ้นงานพลาสติกที่ต้องการ หลังจากการหล่อเย็นชิ้นงานแล้วแม่พิมพ์จะเปิดออก ชิ้นงานจะถูกกระทุ้งออกมาและแม่พิมพ์จะปิดอีกครั้ง เพื่อเตรียมที่จะเริ่มวัฏจักรของการฉีดขึ้นรูปใหม่ต่อไป

### เครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วย (รูปที่ 2.5)

1. เครื่องจักร (machine)
2. แม่พิมพ์ (mold)
3. อุปกรณ์เสริม (auxillary equipment)



- |                   |                       |                    |
|-------------------|-----------------------|--------------------|
| A. Oil reservoir  | D. Tie rod            | G. Hydraulic drive |
| B. Movable platen | E. Injection cylinder | H. Control cabinet |
| C. Fixed platen   | F. Hopper             | I. Base with pump  |

รูปที่ 2.5 แสดงเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก [7]

### เครื่องจักร (machine)

เครื่องจักรประกอบด้วย

1. ชุดฉีด (injection unit)
2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (clamping unit)
3. ระบบควบคุม (control system)

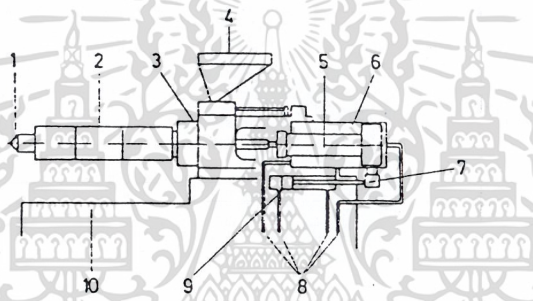
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ชุดฉีด [8]

จังหวะการทำงานของชุดฉีดพลาสติกก็คือ พลาสติกจากกรวยเติมเข้าหลอมในกระบอกลูกฉีด ทำการอัดพลาสติกเหลวเข้าแบบ หลังจากขึ้นงานเข้าแบบและเย็นจนปลดออกจากแบบได้แล้ว จะนำพลาสติกใหม่เข้าหลอมในกระบอกลูกสูบเพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป

ชุดฉีดประกอบด้วย (รูปที่ 2.6)

1. กระบอกลูกฉีด (barrel)
2. ลูกสูบหรือเกลียวหนอน (injection screw)
3. หัวฉีด (nozzle)
4. ชุดป้อนพลาสติก (hopper)
5. แผ่นให้ความร้อน (heater)
6. ระบบส่งกำลังขับ (drive motor)



รูปที่ 2.6 ชุดฉีด (injection unit) 1. หัวฉีด 2. กระบอกลูกฉีด 3. ระบบทดขับเกลียวหนอน 4. กรวยเติมพลาสติก 5. ลูกสูบไฮดรอลิกสำหรับการเคลื่อนที่ของเกลียวหนอนตามแนวแกน 6. กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก 7. กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกสำหรับการเคลื่อนที่เข้า-ออกของหัวฉีด 8. ท่อไฮดรอลิก 9. ลูกสูบไฮดรอลิกสำหรับการเคลื่อนที่ของชุดฉีด 10. ฐานเครื่อง [11]

### กระบอกลูกสูบหลอมพลาสติก (cylinder)

กระบอกลูกสูบหลอมพลาสติก มีลักษณะเป็นท่อหนา และมี แผ่นให้ความร้อน หุ้มอยู่โดยรอบมีหน้าที่ทำให้พลาสติกหลอมเหลว ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและควบคุมอุณหภูมิของพลาสติกเหลวให้สม่ำเสมอ โดยปกติจะทำด้วยเหล็กแข็งทนต่อการกัดกร่อน ( ปลอดภัย ) ผิวกระบอกลูกสูบด้านในจะต้องขัดเรียบ เพื่อให้มีความฝืดน้อยที่สุด

ลูกสูบอัดพลาสติกมีสองลักษณะ คือ แบบลูกสูบทรงกระบอกลูกสูบและแบบเกลียวหนอนตามหลักแล้วหน้าที่ของกระบอกลูกสูบหลอมพลาสติกนั้น ไม่ใช่แค่ทำหน้าที่หลอมให้พลาสติกเหลวอย่างเดียว แต่ยังต้องการให้มีการผสมพลาสติกให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลูกสูบและเกลียวหนอน

ในการฉีดพลาสติกเข้าแบบจำเป็นจะต้องมีลูกสูบอัดพลาสติกด้วยความดันสูงเนื่องจากพลาสติกมีความหนืดและนอกจากนั้นช่องทางพลาสติกไหลเข้าแม่พิมพ์ยังแคบ ซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานสูง ถ้าความดันในการฉีดเข้าแม่พิมพ์ไม่พอเพียง อาจทำให้พลาสติกเข้าไม่เต็มแม่พิมพ์ได้

ลูกสูบที่ใช้กัน โดยทั่วไปมี 2 แบบ

#### 1. ลูกสูบทรงกระบอก

ลูกสูบทรงกระบอกถ้าเป็นเครื่องขนาดเล็กจะมีลูกสูบเดียว ทำหน้าที่นำพลาสติกเข้า หลอมเหลว และอัดเข้าแม่พิมพ์ ถ้าเป็นเครื่องขนาดใหญ่ฉีดพลาสติกครั้งละมาก ๆ จำเป็นต้องมีกระบอกสูบหลอมพลาสติกซึ่งมีลูกสูบทรงกระบอกหนึ่งลูกและกระบอกสูบฉีดก็จะมีลูกสูบอัดฉีดพลาสติกอีกหนึ่งลูก โดยมีกระบอกสูบและลูกสูบหลอมพลาสติกอยู่ตอนบนทำหน้าที่หลอมเหลวพลาสติกให้พร้อมที่จะฉีดเข้าแม่พิมพ์ได้ และตอนล่างในแนวนอนเป็นกระบอกสูบและลูกสูบฉีดพลาสติกที่มาจากกระบอกสูบหลอมเหลวไปเข้าแม่แบบผ่านทางหัวฉีด

#### 2. ลูกสูบเกลียวหนอน

ลูกสูบตัวหนอนที่ใช้ในงานฉีดพลาสติกมี 2 ลักษณะคือ แบบทำหน้าที่พาพลาสติกเข้า หลอมเหลวอย่างเดียวกับมีลูกสูบฉีดแม่พิมพ์อีกต่างหาก กับอีกแบบหนึ่งทำหน้าที่พาพลาสติกเข้า หลอมเหลวและเป็นลูกสูบฉีดในตัวเดียวกัน

#### ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนเกลียวหนอน

เกลียวหนอนจะมีการเคลื่อนที่สองลักษณะคือ การหมุนเพื่อพาพลาสติกเข้าและการเคลื่อนที่ตามแนวนอน เดินหน้าสำหรับจังหวะฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์และถอยกลับหลังในจังหวะหมุนพาพลาสติกเข้าไปหลอมเหลว

การส่งกำลังขับเคลื่อน โดยปกติจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าหรือมอเตอร์ไฮดรอลิก สำหรับการเปลี่ยนความเร็วรอบของเกลียวหนอนได้ทุกความเร็วนิยมใช้มอเตอร์ไฮดรอลิกเพราะสามารถจะปรับความเร็วรอบได้ง่ายโดยการปรับวาล์ว

สำหรับการใช้มอเตอร์ส่งกำลังขับเคลื่อนนั้นถ้าต้องการให้สามารถเปลี่ยนความเร็วได้ทุกชั้นตามต้องการแล้วจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วควบคู่กับมอเตอร์ไฟตรง

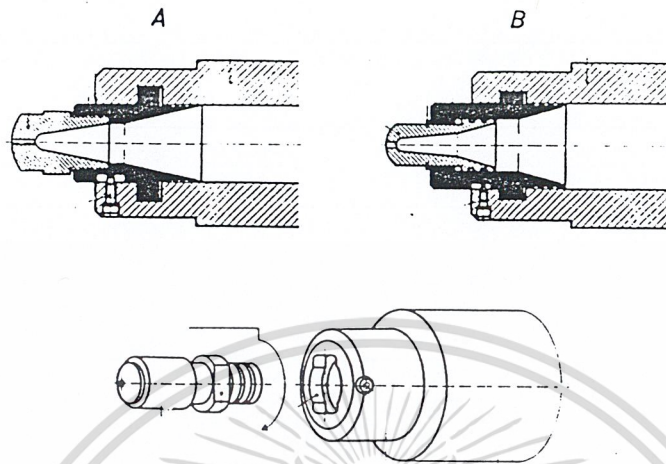
#### หัวฉีด ( nozzle )

หัวฉีดเป็นชิ้นส่วนที่ติดอยู่ข้างหน้าของกระบอกสูบฉีดพลาสติกโดยติดอยู่ด้วยเกลียวหรือ ล็อคดังรูป 2.7 มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อชุดฉีดกับแม่พิมพ์ในการส่งพลาสติกจากกระบอกสูบหลอม

พลาสติกผ่านหัวฉีดเข้าไปยังแม่พิมพ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดขึ้นอยู่กับช่องว่างที่พลาสติกจะเข้าไปแทนที่ในแม่พิมพ์ สำหรับขนาดเล็ก ( 20-30 กรัม ) หัวฉีดจะมีขนาดเส้นผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์กลางประมาณ 3-3.5 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงานใหญ่ ๆ ที่มีความหนาของผนังไม่เท่ากันทั่วทั้งชิ้นงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวนำฉีดประมาณ 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.7 แสดงภาพหัวฉีด แบบใช้เกลียวยึด (A) แบบใช้หัวฉีดแบบไม่ใช้เกลียว (B) [11]  
ชนิดของหัวฉีด

1. Free-Flow Nozzle : ออกแบบเพื่อลดความต้านทานการไหล
  2. Reverse-Tapered Nozzle : ใช้กับวัสดุที่มีความหนืดต่ำ เช่น โพลีเอทิลีน ทำให้วัสดุแข็งตัวและป้องกันไม่ให้วัสดุพุ่งในระหว่างการฉีด
  3. General Purpose Nozzle : เป็นหัวฉีดแบบมาตรฐาน มักใช้กับพอลิเอทิลีน สไตรีน
  4. Shut-Off Nozzle : ใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดต่ำ จะเปิดก็ต่อเมื่อมีการฉีด
- การให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิของการหลอมพลาสติก  
การให้ความร้อนในเครื่องฉีดพลาสติกนั้นจะใช้ไฟฟ้าเกือบทั้งหมด ส่วนการให้ความร้อนแบบอื่น ๆ เช่น การใช้ไอน้ำ ก๊าซร้อน หรือน้ำมันร้อนนั้นมีใช้น้อยมากทั้งนี้เพราะควบคุมอุณหภูมิได้ยาก

ความร้อนที่ออกจากหลอดความร้อนไฟฟ้า สามารถจะส่งผ่านไปยังวัสดุที่ต้องการทำให้ร้อนได้ทุกชนิดอย่างไรก็ดีย่อมมีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นบ้าง ในลักษณะของการพาของอากาศและการแผ่รังสีความร้อนไปยังบรรยากาศ

เพื่อให้ได้อุณหภูมิคงที่ในช่วงที่ต้องการให้ความร้อนจะทำได้โดยการควบคุมชุดให้ความร้อนแบบไฟฟ้าและจะต้องหาขนาดของชุดให้ความร้อนให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1 ชุดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า

ชุดให้ความร้อนประกอบด้วยผิวด้านในบุด้วยฉนวน ถัดเข้าไปจะมีลวดความร้อนที่พันอยู่รอบฉนวนและที่ผิวนอกจะหุ้มไว้ด้วยแผ่นโลหะที่มีสกรูสำหรับประกอบติดเอาไว้และจะต้องให้ผิวของกระบอกสูบสะอาดปราศจากสิ่งอื่น ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังกระบอกสูบได้ดีที่สุด

## 2 อุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ

เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่มีช่วงอุณหภูมิหลอมตัวสำหรับการฉีดเข้าแม่พิมพ์แคบมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องมีการวัดและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่พอเหมาะอยู่ตลอดเวลา เพราะว่าถ้าร้อนเกินไปจะทำให้พลาสติกไหม้และถ้าเย็นเกินไปจะทำให้ความหนืดสูงมากจนวิ่งเข้าแม่พิมพ์ได้ไม่เต็มที่

สำหรับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติกโดยเฉพาะมีหลายแบบ เช่น แบบใช้ Thermoelement Photo cell แบบ Induction และแบบใช้อิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ

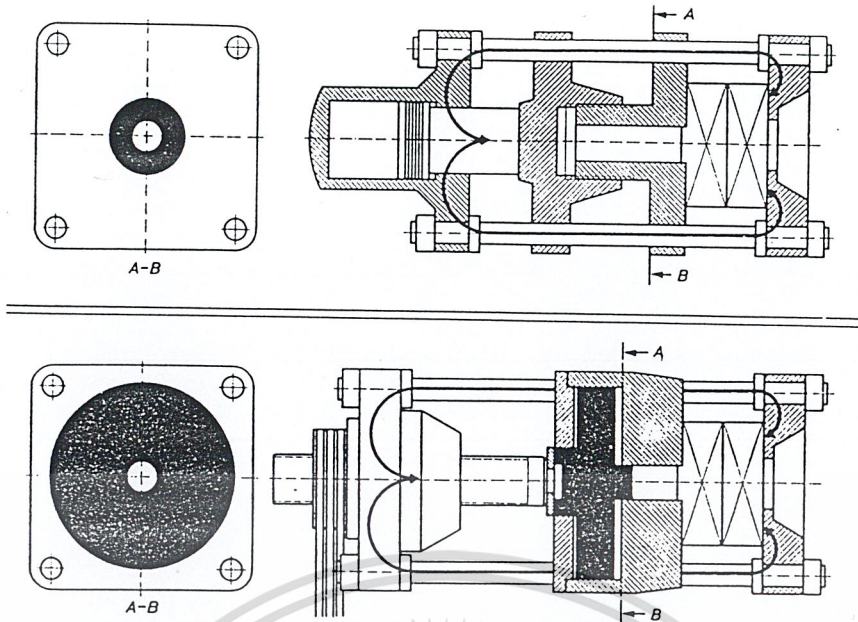
## 2. ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (clamping unit)

ทำหน้าที่เคลื่อนที่เปิดและปิดแม่พิมพ์ในจังหวะการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกแม่พิมพ์ โดยปกติจะมีสองฝาประกบกัน โดยก้านที่ฉีดพลาสติกเข้าจะเป็นด้านอยู่กับที่และอีกด้านหนึ่งจะทำหน้าที่เคลื่อนที่ไหวเปิดปิด ฝาประกบทั้งสองจะประกบอยู่กับแผ่นคดแม่พิมพ์ที่ติดมากับเครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วๆ ไป

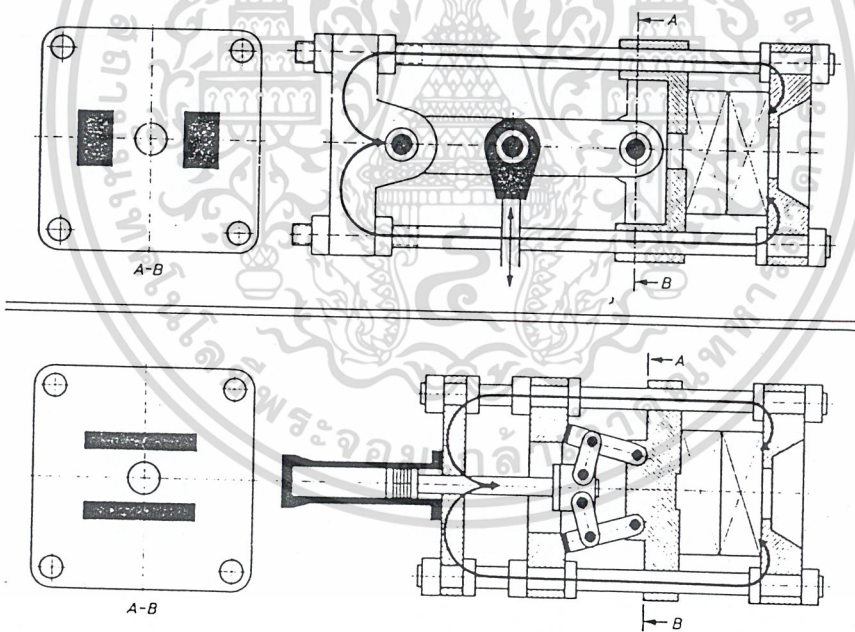
หน่วยเปิด-ปิดแม่พิมพ์แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบปิดด้วยแรง ( actuated by force ) โดยอาศัยแรงของสูบไฮดรอลิกทำหน้าที่ปิด (รูปที่ 2.8)
2. ระบบปิดด้วยกลไกร่วม ( interlocking ) ซึ่งจะปิดแน่นด้วยระบบกลไกแต่การเคลื่อนที่เปิดปิดจะใช้แรงขับเคลื่อนไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฟฟ้า โดยทั้งสองระบบที่จะต้องทำหน้าที่อัดแม่พิมพ์ให้ประกบกันแน่นด้านความดันภายในแม่พิมพ์ทั้งนี้หมายความว่าแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันภายในแม่พิมพ์จะต้องน้อยกว่าแรงดันด้านของหน่วยเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (รูปที่ 2.9)

ชิ้นงานฉีดบางลักษณะไม่สามารถจะฉีดเข้าตรงกลางโดยตรงได้ ในกรณีนี้จะเจาะรูฉีดของแม่พิมพ์เยื้องศูนย์กลาง ในลักษณะนี้จะเกิดความไม่สมดุลของแรงขึ้น อาจทำให้แม่พิมพ์เคลื่อนได้ในกรณีนี้ให้ลดแรงอัดปิดแม่พิมพ์ลง 20-30% ของแรงอัดสูงสุด



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการกระทำของแรงอัดปิดแม่พิมพ์ของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ระบบปิดด้วยแรง [11]



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการกระทำของแรงอัดแม่พิมพ์ของชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ด้วยระบบปิดด้วยกลไกรวม [11]

เครื่องฉีดพลาสติกขนาดใหญ่จะใช้ระบบเปิด-ปิดแม่พิมพ์ด้วยแรงจากลูกสูบไฮดรอลิกโดยตรง โดยในการเคลื่อนที่เข้าปิดของแม่พิมพ์นั้นจะใช้ลูกสูบเล็ก เมื่อแม่พิมพ์วิ่งเข้าถึงระยะสุดจะมีกลไกเปิดวาล์วให้ลูกสูบใหญ่ทำงานอัดดันแรงดันของพลาสติกในแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเข้าเบาะประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ระบบควบคุม<sup>[9]</sup> (control system)

ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติกจะมีการควบคุมหลักๆ 9 ประการ คือ

- ปริมาณพลาสติกในกระบอกสูบ
- ความดันที่ให้กับแกนดันพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์
- ความเร็วของแกนดันพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์
- อุณหภูมิของกระบอกสูบ
- อุณหภูมิของแม่พิมพ์
- เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของแกนดันพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์
- เวลาที่ใช้ปิดแม่พิมพ์
- แรงที่ใช้ปิด-เปิดแม่พิมพ์
- เวลาที่ใช้เปิดแม่พิมพ์

### แม่พิมพ์ ( mould )<sup>[10]</sup>

เนื่องจากสมบัติพิเศษของพลาสติกที่สามารถแปรรูปเป็นรูปร่างอย่างไรก็ได้ตามต้องการ โดยในการแปรรูปนี้จะต้องมีแม่พิมพ์เป็นตัวทำให้เกิดรูปทรงของชิ้นงาน

แม่พิมพ์นั้นจะมีทั้งแบบชิ้นงานเดียวและชิ้นงานหลายชิ้น ชิ้นงานเดียวหมายความว่า ฉีดหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นงานหนึ่งชิ้น ส่วนแม่พิมพ์ชิ้นงานหลายชิ้นจะได้ชิ้นงานหลายชิ้นต่อการฉีดหนึ่งครั้ง

แม่พิมพ์ชิ้นงานหลายชิ้น โดยปกติจะเป็นชิ้นงานแบบเดียวกันหมด ยกเว้นในการฉีดของเด็กเล่นที่มีชิ้นส่วนประกอบแตกต่างกันในแม่พิมพ์เดียวกัน

#### การวางแผนชิ้นงานในแม่พิมพ์

การวางแผนชิ้นงานในแม่พิมพ์นั้นมีหลักการที่สำคัญอยู่ 3 ประการคือ

1. ต้องวางแม่พิมพ์ให้ใช้เนื้อที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ได้ขนาดทั้งหมดของแม่พิมพ์เล็กที่สุด
2. จัดร่อนนำพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ( runner ) ให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. จัดวางแบบให้ถูกต้อง เพื่อให้แรงปิดแม่พิมพ์สมดุล

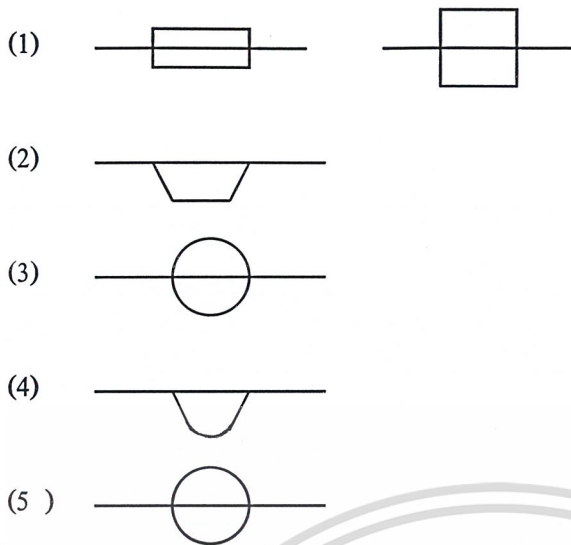
#### ร่อนนำพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ( runner )

หน้าที่หลักของร่อนนำพลาสติกก็คือ เพื่อนำพลาสติกเหลวจากหัวนำฉีด ( sprue bush ) ไปแจกจ่ายให้กับแบบชิ้นงาน โดยให้มีความดันต่ำน้อยที่สุดและพร้อมกันนั้นจะต้องรักษาปริมาณพลาสติกที่ค้างในร่อนนำให้น้อยด้วย

ในการลดความดันตกต่ำภายในร่อนนำพลาสติกนั้น จะต้องออกแบบให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุด

#### พื้นที่หน้าตัดของร่อนนำพลาสติกมีหลายแบบดังแสดงในรูป 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงร่องนำพลาสติกแบบต่าง ๆ โดยที่ [11]

1. ร่องนำที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular)
2. ร่องนำที่มีพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoid)
3. ร่องนำที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นครึ่งวงกลม (half round)
4. ร่องนำที่มีพื้นที่หน้าตัดรูปครึ่งวงรี (modified trapezoid)
5. ร่องนำที่มีพื้นที่หน้าตัดกลม (full round)

#### ช่องพลาสติกเข้าแบบขึ้นงาน (gate)

ช่องพลาสติกเข้าแบบเป็นช่องแคบที่ต่อจากร่องนำพลาสติกกับแบบขึ้นงาน ซึ่งต้องมีรูปทรงที่เอื้ออำนวยให้พลาสติกไหลเข้าแบบได้อย่างสะดวกและสม่ำเสมอจะต้องตั้งอยู่ในตำแหน่งที่พลาสติกจากร่องนำไหลเข้าสะดวก ช่องพลาสติกเข้าที่ถูกต้องจะต้องมีผลให้เกิดการหลอมเหลวพลาสติกเพิ่มเติมจากการเสียดสีของพลาสติกในช่องแคบเป็นผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และทำให้ความหนืดของพลาสติกลดลงอีกครั้งหนึ่ง แต่สำหรับพลาสติกที่มีความหนืดต่ำ ไหลง่ายอาจจะไม่มีก็ได้

#### ชนิดของช่องพลาสติกเข้าแบบขึ้นงาน

1. Spure gate ทำให้พลาสติกสามารถไหลเข้าสู่ส่วนของขึ้นงานได้โดยตรง ซึ่งมีผลให้เวลาในการหล่อเย็นสูงขึ้น เกิด high stress concentration
2. Disc gate เหมาะกับขึ้นงานวงกลมและทรงกระบอก เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด weld line
3. Pin gate ใช้กับ hot runner system มีความหนืดต่ำ เนื่องจากทางเข้ามีขนาดเล็กอาจเกิดการติดค้างของพอลิเมอร์และทำให้เกิดการสลายตัวได้
4. Rectangular gate หลีกเลี่ยงการเกิด jetting (การฉีดด้วยความเร็วสูงขึ้น จะทำให้การฉีดเกิดอย่างไม่สม่ำเสมอ) เหมาะกับพอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ พงสน อีทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Fan gate เหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เหมาะกับการผลิตฝากลองลดการเกิด flow line และการเกิด orientation ยกในการปลดออกจากทางเข้า
6. Submarine gate ( channel gate ) ชิ้นงานปลดออกได้โดยอัตโนมัติ
7. Ring gate เหมาะกับชิ้นงานวงกลมหรือทรงกลม ลดการเกิด weld line
8. Spoke gate เหมาะที่จะผลิตชิ้นงานวงกลมหรือชิ้นงานที่เป็นท่อ ลดค่าใช้จ่ายในการปลดออกจากทางเข้าและค่าใช้จ่ายของพอลิเมอร์ที่ใช้เพราะมีลักษณะเป็นซี่เหมือนล้อรถมีทางเข้าหลายทาง ทำให้เกิด weld line มาก ความแข็งแรงลดลง
9. Flash gate เหมาะสมกับชิ้นงานขนาดใหญ่ และต้องการลดการเกิดบิดเบี้ยว ทางเข้ามีขนาดเล็ก
10. Edge gate ช่วยลดปัญหาในการที่ไม่สามารถฉีดเข้าด้านบนและล่างได้ เหมาะกับชิ้นงานขนาดใหญ่และค่อนข้างบาง ความหนาतिकประมาณ  $1/64 - 1/4$  และกว้าง  $1/14 - 1/2$  ป้องกันการเกิด jetting

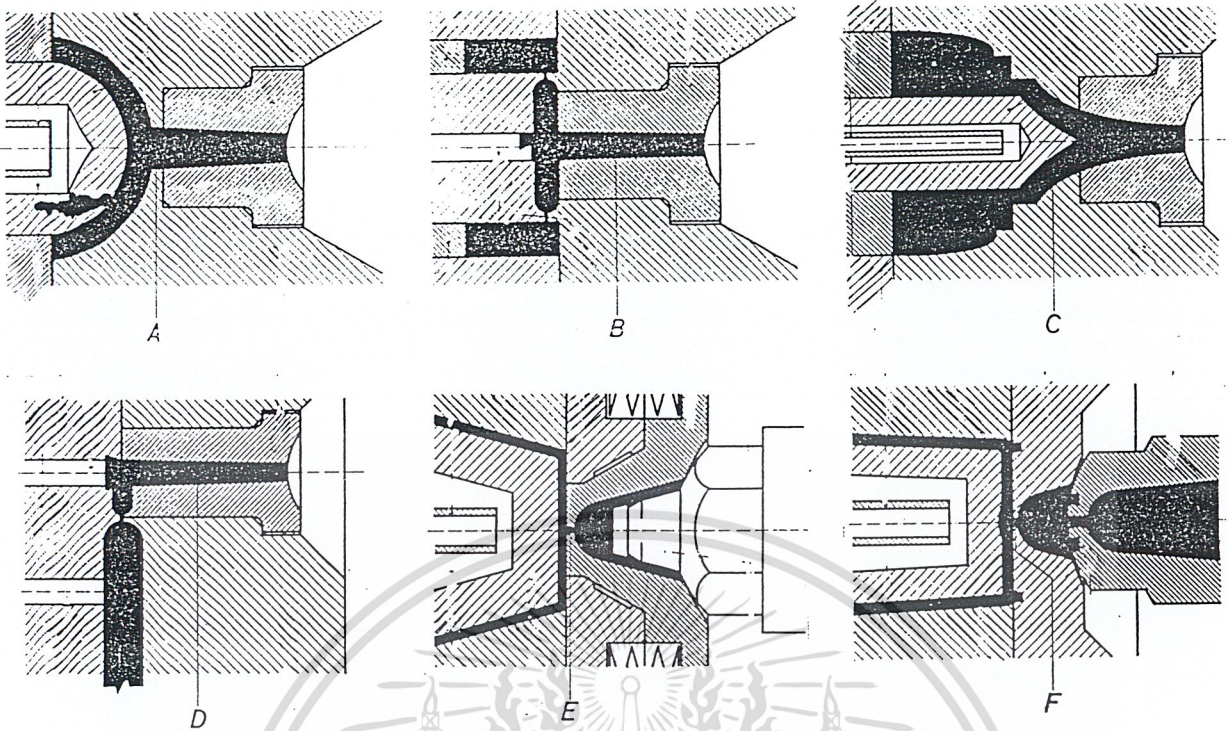
#### หัวน้ำฉีด ( sprue bush )

หัวน้ำฉีดที่ใช้กันมาก ได้แก่ แบบรูเรียว ข้อดีที่ใช้ปลอกนำฉีดก็คือ สามารถถอดเปลี่ยนได้เมื่อเกิดชำรุด เนื่องจากหัวฉีดวิ่งเข้ากระแทกบ่อย ๆ บางครั้งจะมีการทำรูนำฉีดขึ้นที่แผ่นประกอบแม่พิมพ์แผ่นหน้าโดยตรง แต่ลักษณะนี้ถ้าเกิดชำรุดขึ้นก็หมายถึงความเสียหายของแม่พิมพ์โดยตรง ส่วนใหญ่จะเป็นรูนำฉีดแบบจุก

ปลอกนำฉีดโดยปกติจะมีขนาดมาตรฐานและทำด้วยเหล็กกล้าชุบแข็งอย่างดี ขนาดปากรูปลอกนำฉีดแบบรีวจะต้องไม่น้อยกว่าความหนาतिकของชิ้นงาน ความเร็วของรูจะใช้ประมาณ 1-2 องศา

ปลอกนำฉีดและรูนำฉีดแบบขั้วเป็นจุก มีข้อดีอยู่ที่ เมื่อปลดชิ้นงานออกมาแล้วจะต้องทำงานเพิ่มเติมและนอกจากนั้นตำหนิตรงรูฉีดเข้ายังเล็กมาก บางครั้งแทบมองไม่เห็นเพราะจะมีขนาดรูอยู่ระหว่าง 0.5 - 1.3 มิลลิเมตรเท่านั้น

รูนำฉีดแบบขั้วเป็นจุกแบ่งออกได้เป็นสองชนิด คือ ชนิดปลอกนำฉีดมีห้องรวมพลาสติกหน้าหัวฉีดและชนิดไม่มีปลอกนำฉีด สำหรับชนิดปลอกนำฉีดที่มีห้องรวมพลาสติกนั้นจะไม่มีเศษพลาสติกสูญเสีย ดังนั้นในห้องรวมพลาสติกตรงหน้าหัวฉีดจะต้องมีขนาดพอที่จะรักษาความเหลวไว้จนถึงจังหวะฉีดต่อไป ที่พร้อมที่จะไหลเข้าแม่พิมพ์ได้โดยสะดวก ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะต่าง ๆ ของปลอกนำฉีด A ชนิดรูเรียว B ชนิดแยก 4 ทาง C ชนิดแยกออกรอบแกน D ชนิดเยื้องศูนย์กลาง E หัวนำฉีดแบบหัวเป็นจุด F ชนิดหัวเป็นจุดและมีห้องรวมพลาสติก<sup>[11]</sup>

#### การหล่อเย็นแม่พิมพ์

หน้าที่หลักของการหล่อเย็นก็คือ เพื่อลดอุณหภูมิของพลาสติกร้อนที่ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ ใ้พลาสติกแข็งตัวพร้อมที่จะเปิดแม่พิมพ์และกระทุ้งชิ้นงานออกมาได้ ดังนั้นจึงต้องรักษาอุณหภูมิของแม่พิมพ์ไว้ให้ต่ำ เพื่อให้สามารถลดความร้อนแก่พลาสติกทั้งความร้อนของการเปลี่ยนแปลงและความร้อนแฝงของพลาสติกได้อย่างรวดเร็ว การหล่อเย็นโดยปกติจะใช้น้ำหรืออากาศเป็นสารหล่อเย็น แต่ด้วยความเหมาะสมหลาย ๆ อย่าง จึงมีการใช้น้ำหล่อเย็นมากที่สุด

น้ำหล่อเย็นโดยปกติจะให้ไหลผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์ ถ้าเป็นโรงงานฉีดพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีจำนวนเครื่องมาก ๆ จะใช้ระบบน้ำหมุนเวียน คือน้ำที่ผ่านการหล่อเย็นไปแล้วมีอุณหภูมิสูงจะถูกนำไปทำให้เย็นโดยผ่านหอทำน้ำเย็นแล้วนำกลับมาใช้อีก

#### การกระทุ้งชิ้นงาน (ejection)

การกระทุ้งชิ้นงาน หมายถึง การนำเอาชิ้นงานพลาสติกที่เย็นออกจากแบบขณะที่ยังเปิดออก ซึ่งมีหลักการทำงานที่สำคัญอยู่ 4 ประการคือ

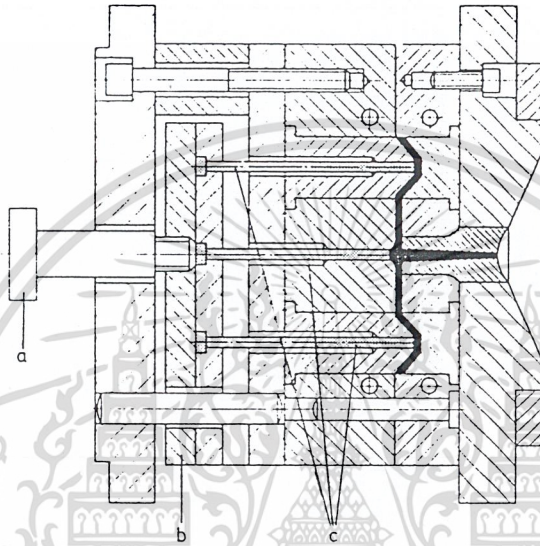
1. ในการกระทุ้งชิ้นงานจะต้องไม่ทำให้ชิ้นงานแปรรูปหรือเสียรูปไป
2. การกระทุ้งชิ้นงานจะต้องมั่นใจได้ว่า ชิ้นงานจะต้องหลุดออกทุกครั้งที่ทำกระทุ้ง
3. ต้องใช้เวลาในการกระทุ้งชิ้นงานออกสั้นที่สุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ พงสน อักทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. ต้องมีความต้องการในการกระทุ้งชิ้นงานออกโดยอัตโนมัติเกิดขึ้น

##### ระบบการกระทุ้งชิ้นงานออก (ejection system)

หลักการขั้นต้นของการกระทุ้งชิ้นงานออกก็ง่ายก็คือ ผิวของแม่พิมพ์จะต้องขัดเรียบ และมีความเรียบไสทิศทางการกระทุ้งออกพอประมาณ การหดตัวของชิ้นงานขณะเย็นตัวลงในแม่พิมพ์มีส่วนเอื้ออำนวยให้กระทุ้งชิ้นงานออกได้ง่ายส่วนหนึ่ง ถ้าชิ้นงานมีแกนสอดอยู่พลาสติกจะหดตัวรัดแกนนี้ทำให้มีแรงดึงชิ้นงานออกได้ง่าย ในปัจจุบันนิยมใช้ระบบการกระทุ้งชิ้นงาน โดยใช้แท่งยื่นประกอบด้วยแผ่นประกอบแท่งยื่น ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงแม่พิมพ์พร้อมทั้ง a สลักยื่นแผ่นประกอบแท่งยื่นกระทุ้งชิ้นงาน b แผ่นประกอบแท่งยื่นกระทุ้งชิ้นงาน c แท่งยื่นชิ้นงานออก [11]

สำหรับแม่พิมพ์ที่มีชิ้นงานหลายชิ้นนั้นอาจจะมีปัญหาชิ้นงานไม่หลุดตามแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ออกมา ซึ่งจะทำให้กระทุ้งชิ้นงานออกไม่ได้ โดยปกติแม่พิมพ์ชิ้นงานหลายชิ้นจะมีร่องนำพลาสติกจากหัวฉีดไปยังช่องว่างของชิ้นงานต่าง ๆ เป็นระยะทางไกล ดังนั้นในการที่จะให้ชิ้นงานติดตามแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ออกมาจำเป็นจะต้องมีมาตรการพิเศษ คือ ทำแ่งล๊อคไว้ที่ปลายแท่งกระทุ้งหรือคว้านรูนำแท่งกระทุ้งให้บานออกหรือเว้าโค้งเข้าไป เพื่อให้พลาสติกเข้าไปฝังตัวเป็นห่วงดึงของชิ้นงาน (sprue hook) ให้ติดมากับด้านเคลื่อนที่ ชิ้นงานซึ่งมีร่องนำพลาสติกถึงกันก็จะติดออกมาด้วย

##### อุปกรณ์เสริม(auxillary equipment) [7]

หน่วยควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (mold-temperature control) : ช่วยรักษาอุณหภูมิในแม่พิมพ์ให้คงที่

เครื่องควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (mold chiller) : ในหน่วยนี้จะใช้น้ำช่วยซึ่งจะสามารถลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องได้ น้ำที่ใช้จะต้องผสมกับสารต้านการแข็งตัว เช่น เอทิลีนไกลคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดเศษเหลือ (scrap grinder) : ช่วยนำเอาเศษเหลือในส่วนของ runner, sprue และ ชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานมาบด แล้วสามารถนำไปผสมกับเม็ดพลาสติกใหม่เพื่อใช้ในการฉีดขึ้นรูปต่อไป

เครื่องยึดแม่พิมพ์ (mold handling) : ช่วยในการยึดแม่พิมพ์และการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์

เครื่องอัดอากาศ (air compressor) : เป็นระบบที่ช่วยให้ความดันอากาศแก่ molding machine ของเครื่องมือที่ผลักดันด้วยแรงลม

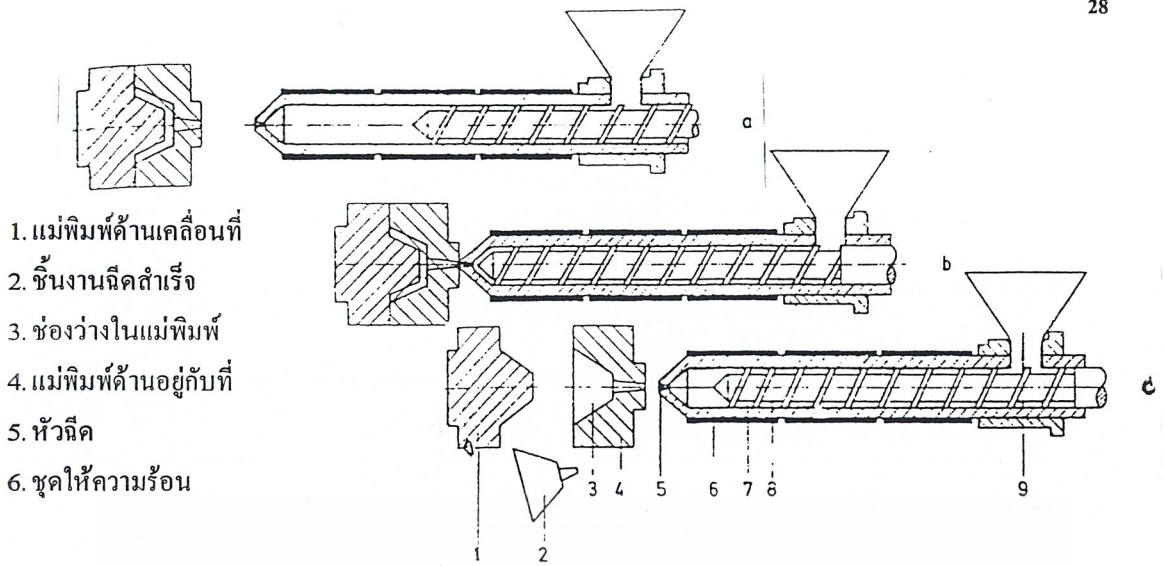
นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์อื่นๆอีก เช่น เครื่องพองวัสดุ เครื่องย้ายชิ้นงาน และอื่น ๆ การตั้งอุณหภูมิในการฉีดพลาสติก<sup>[11]</sup>

ในการฉีดเทอร์โมพลาสติกนั้น เนื่องจากช่วงการหลอมตัวของพลาสติกค่อนข้างจะแคบ นั่นคือ ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปพลาสติกจะสลายตัว ถ้าต่ำเกินไปพลาสติกจะมีความหนืดมาก ไหลเข้าแบบได้ไม่สะดวก ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิในช่วงต่าง ๆ ระหว่างทำการหลอมและฉีดพลาสติกจึงมีความสำคัญมาก การตั้งอุณหภูมิของ heater แต่ละตัวที่หุ้มกระบอกสูบอยู่ สำหรับแม่แบบนั้น จำเป็นจะต้องรักษาอุณหภูมิให้พอดีด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถเปิดแม่พิมพ์ได้เร็ว ทำให้จังหวะการฉีดช้า แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะทำให้การเย็นตัวของพลาสติกต้องวิ่งไปเข้าแม่พิมพ์เป็นระยะทางไกล ๆ อาจทำให้พลาสติกเหลวเย็นตัวจนมีความหนืดสูงไม่สามารถวิ่งเข้าส่วนท้ายของแม่พิมพ์ได้เต็มแม่พิมพ์ การควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์จะทำได้โดยการปรับวาล์วน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์

#### กรรมวิธีการฉีดพลาสติก

ช่วงแรก พลาสติกซึ่งอาจจะเป็นเม็ดหรือเป็นผงในกรวยเติม จะถูกเกลียวหนอนหมุนส่งไปยังด้านหน้าของกระบอกสูบซึ่งมีแผ่นความร้อนหรือน้ำมันร้อนหุ้มอยู่ จะทำให้พลาสติกหลอมเหลว ดังรูปที่ 2.13 (a) จากนั้น เกลียวหนอนจะเคลื่อนที่ดันพลาสติกผ่านหัวฉีดไปเข้าแม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่ ดังรูปที่ 2.13 (b) แล้วแม่พิมพ์ซึ่งหล่อเย็นอย่างดีจะทำให้ชิ้นงานเย็นตัวและแข็งตัว สามารถถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ในระยะเวลาอันสั้น ดังรูป 2.13 (c) ในการผลิตชิ้นงานจะต้องพิจารณาตัวประกอบที่สำคัญ 3 อย่างคือ

อุณหภูมิ - เวลา - ความดัน ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับจังหวะการทำงานทั้งสาม คือ หลอมพลาสติก - ฉีด - หล่อเย็น

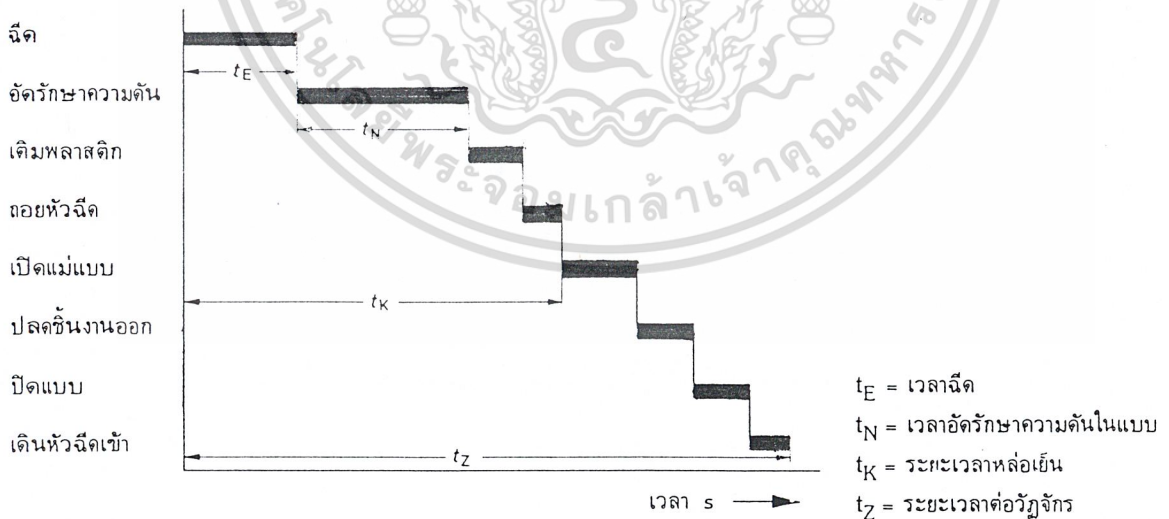


1. แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่
2. ชิ้นงานฉีดสำเร็จ
3. ช่องว่างในแม่พิมพ์
4. แม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่
5. หัวฉีด
6. ชุดให้ความร้อน

รูปที่ 2.13 กรรมวิธีการฉีดพลาสติก [11]

ระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักร

วัฏจักร ( cycle ) ของการฉีดพลาสติกจะเริ่มต้นจากการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ครั้งหนึ่งไปจนถึงการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ครั้งต่อไป ซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ ทำการฉีดอัดรักษาความดันในแม่พิมพ์ในช่วงหล่อเย็น เติมพลาสติกเข้า ถอยหัวฉีดออก เปิดแม่พิมพ์ กระทุ้งชิ้นงาน ปิดแม่พิมพ์ และเดินหัวฉีดเข้าหัวแม่พิมพ์อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนหนึ่ง ๆ จะเสียเวลาเป็นระยะ ๆ มากน้อยแตกต่างกัน ระยะเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนรวมกันคือระยะเวลาในการฉีดพลาสติกต่อวัฏจักร ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงระยะเวลาในการฉีดต่อวัฏจักร [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. ช่วงเวลาน็อค

เริ่มต้นตั้งแต่ลูกสูบหรือเกลียวนอน ซึ่งขณะนี้ทำหน้าที่เป็นลูกสูบเริ่มอัดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์จนถึงระยะสุดด้านหน้า

### 2. ช่วงเวลาของการรักษาความดัน

เนื่องจากพลาสติกขณะฉีดเข้าแม่พิมพ์นั้นยังร้อนและเหลวอยู่ ถ้าไม่อัดรักษาความดันเอาไว้พลาสติกจะดันย้อนกลับออกจากแม่พิมพ์ และนอกจากนั้นขณะที่พลาสติกเย็นตัวลงนี้จะมีการหดตัว จึงจำเป็นต้องรักษาความดันอัดเพิ่มเติมเอาไว้เพื่อให้พลาสติกเข้าไปซดเซยได้เต็มที่ช่วงขณะหนึ่ง จนกว่าพลาสติกจะคงตัว

### 3. ช่วงเวลาเติมพลาสติก

เมื่อพลาสติกในแม่พิมพ์คงตัวแล้วก็จะลดความดันในกระบอกสูบและแม่พิมพ์ได้ ในช่วงนี้จะหมุนเกลียวนอนให้พลาสติกจากกรวยเดิม เข้ามาในกระบอกสูบ ทำการหลอมเหลวเพื่อเตรียมฉีดในจังหวะต่อไป

### 4. ช่วงเวลาถอยหัวฉีดกลับ

เพื่อให้สะดวกแก่การกระทุ้งชิ้นงานและตัดชิ้นงานออกรวมไปถึงการป้องกันการสันสะเก็ดในจังหวะเปิด-ปิดแม่พิมพ์ จึงต้องถอยหัวฉีดหรือชุดฉีดทั้งชุดออกจากแม่พิมพ์

### 5. ช่วงเวลาเปิดแม่พิมพ์

ในการเปิดแม่พิมพ์ออกเพื่อกระทุ้งชิ้นงานจะเริ่มทันทีที่ถอยหัวฉีดออกจากแม่พิมพ์

### 6. ช่วงเวลากระทุ้งชิ้นงาน

เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกจะต้องมีการทำงานกระทุ้งชิ้นงานด้วยระบบกลไกต่าง ๆ ผลักดันให้ชิ้นงานหลุดออกมา ระยะเวลาที่ใช้จะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปทรงของชิ้นงานและการแยกชิ้นงานออก

### 7. ช่วงเวลาปิดพิมพ์

เมื่อกระทุ้งชิ้นงานเรียบร้อยแล้วก็ต้องเดินแม่พิมพ์เข้าประกบกันเพื่อรอจังหวะฉีดต่อไป ทั้งนี้ต้องระวังความเรียบร้อยภายในแม่พิมพ์ เช่น ต้องไม่มีเศษพลาสติกค้างอยู่ เป็นต้น

### 8. ช่วงเวลาเดินหัวฉีดเข้า

เมื่อแม่แบบปิดสนิทก็สามารถเดินหัวฉีดเข้าหาแม่แบบเพื่อฉีดในจังหวะต่อไปได้ทันที

### 9. ช่วงเวลาหล่อเย็น

โดยปกติแม่พิมพ์จะมีการหล่อเย็นอยู่แล้วอย่างต่อเนื่อง ในการรักษาอุณหภูมิแม่พิมพ์ให้พอดี ทันทีที่พลาสติกวิ่งเข้าแม่แบบ การระบายความร้อนออกจากพลาสติกจะเริ่มขึ้น และจะไปสุดสิ้นเอาเมื่อพลาสติกคงตัวพร้อมที่จะเปิดแม่พิมพ์กระทุ้งชิ้นงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวแปรที่สำคัญในการฉีดพลาสติก [๖]

ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในงานฉีดพลาสติก และมีอิทธิพลต่อเวลาการทำงาน และคุณภาพของชิ้นงานฉีด มีอยู่ด้วยกัน 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. อุณหภูมิ (พลาสติกเหลว แม่พิมพ์)
2. เวลา (ฉีด ย้ำ หล่อเย็น วงจรการทำงาน)
3. ความดัน (ฉีด ย้ำ ด้านการถอยของเกลียวหนอน แม่พิมพ์)
4. ความเร็ว (ฉีด ปิด-เปิดแม่พิมพ์ ชุดฉีดเคลื่อนเข้า-ออก รอบเกลียวหนอน)

### อุณหภูมิพลาสติกเหลว

เป็นอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดในขณะที่ทำการฉีด อุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ใช้ในการฉีดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก วิธีการตั้งอุณหภูมิที่นิยมใช้คือ ใช้อุณหภูมิต่ำและค่อยๆสูงขึ้น (จาก hopper ไปยัง nozzle) เพื่อป้องกันพลาสติกตรงตำแหน่งได้ hopper หลอมเหลวจนเกิดการอุดตันได้ และเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของพลาสติกเหลวสูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งจะทำให้ตัวเนื้อพลาสติกเสื่อมสภาพได้

### อุณหภูมิของแม่พิมพ์

อุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่จะตั้งนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก คือ ถ้าเป็น amorphous thermoplastic จะใช้อุณหภูมิต่ำ ส่วน partial crystalline thermoplastic จะใช้อุณหภูมิสูงกว่า

### เวลาในการฉีด

เวลาในการฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ไม่สามารถตั้งค่าได้โดยตรงที่ตัวเครื่องฉีด เพราะจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของเกลียวหนอน (ความเร็วฉีด) และระยะทางของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอน

### เวลาในการย่ำรักษาความดัน

เวลาในช่วงนี้มีบทบาทมากต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ฉีดได้ เพราะถ้าใช้เวลาในการย่ำเพื่อรักษาความดันน้อยเกินไป ชิ้นงานก็จะเกิดรอยยุบที่ผิวได้ แต่ถ้าใช้นานเกินไปก็อาจเกิดความเค้นภายในเนื้อชิ้นงานได้

### เวลาในการหล่อเย็น

เวลาในการหล่อเย็นที่เกิดขึ้นในการฉีดพลาสติกมี 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นเวลาในการหล่อเย็นที่สามารถปรับตั้งให้กับเครื่องได้ ซึ่งเป็นเวลาส่วนใหญ่ที่ใช้ในการฉีดแต่ละครั้ง ระยะเวลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของชิ้นงานที่อยู่ในแม่พิมพ์ที่ต้องการว่าจะให้มีอุณหภูมิเท่าไร หรือลดลงพอที่จะเปิดแม่พิมพ์เพื่อกระทุ้งชิ้นงานออกโดยไม่เสียรูปทรงได้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแม่พิมพ์และความหนาของชิ้นงาน ส่วนเวลาในการหล่อเย็นช่วงที่สองเป็นเวลาในการหล่อเย็น

ที่แท้จริง คือ เป็นเวลาในการลดอุณหภูมิทั้งหมดของชิ้นงานตั้งแต่เริ่มฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์ ทำการย่ำรักษาความดันและรวมกับเวลาในการหล่อเย็นที่ปรับตั้ง จนกระทั่งแม่พิมพ์เริ่มเปิด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เวลาการทำงานทั้งวงจร

เป็นเวลารวมที่ใช้ทั้งหมด ตั้งแต่แม่พิมพ์เริ่มเคลื่อนที่เข้าปีจนกระทั่งเสร็จสิ้นการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เวลาส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับเวลาในการย้ายรักษาความดันและเวลาในการหล่อเย็นที่ปรับตั้ง

### ความดันฉีด

เป็นความดันที่เกิดขึ้นกับพลาสติกที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอน โดยการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของเกลียวหนอน เนื่องจากความดันของน้ำมันไฮดรอลิกที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบไฮดรอลิก ความดันนี้เองที่เป็นตัวทำให้พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนเคลื่อนที่เข้าไปในแม่พิมพ์และจะไหลเข้าเต็มแม่พิมพ์ ความดันนี้สามารถปรับได้โดยตรงที่ความดันของน้ำมันไฮดรอลิก

### ความดันย้ำ

เป็นความดันที่เกิดขึ้นกับพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนเหมือนกับความดันฉีดทุกประการ แต่ความดันย้ำจะมีค่าน้อยกว่า โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 30-70% ของความดันฉีด ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกด้วย เช่น พลาสติกที่มีความหนืดสูงจะใช้ความดันย้ำประมาณ 70% ของความดันฉีด แต่พลาสติกที่มีความหนืดต่ำจะใช้ประมาณ 30% ของความดันฉีด ความดันย้ำบางที่เรียกว่า ความดันฉีดจังหวะสอง ความดันนี้มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงาน เช่น การหดตัว ความเค้นภายใน การยุบตัวที่ผิวชิ้นงาน ดังนั้นต้องเลือกความดันย้ำให้เหมาะสม

### ความดันด้านการถอยกลับของเกลียวหนอน

เป็นความดันที่เกิดขึ้นตรงด้านท้ายของเกลียวหนอน เพื่อดันทานการถอยกลับของเกลียวหนอน เนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนในจังหวะที่ทำการหลอมเหลวและป้อนพลาสติก ความดันนี้จะเป็นตัวช่วยให้เกลียวหนอนถอยหลังกลับอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลดีต่อการหลอมเหลวและการผสมกันของพลาสติก โดยเฉพาะพลาสติกที่ต้องมีการผสมสี (pigments) เพราะทำให้การกระจายตัวของสีเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าเป็นการฉีดชิ้นงานที่ไม่ต้องการคุณภาพมากนักอาจไม่จำเป็นต้องใช้ความดันนี้ เพื่อให้การทำงานเร็วขึ้น ความดันนี้ปกติจะใช้ประมาณ 50-150 bar (ความดันท้ายของเกลียวหนอน) หรือ 5-15 bar (ความดันไฮดรอลิก)

### ความดันในแม่พิมพ์

เป็นความดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์ เนื่องจากการไหลของพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์เนื่องจากความดันฉีด ความดันนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่อพลาสติกเริ่มเต็มแม่พิมพ์ และเป็นตัวที่ก่อให้เกิดแรงกระทำภายในแม่พิมพ์ทำให้แม่พิมพ์เปิดออกเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ความเร็วในการฉีด

เป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของเกลียวหนอนเพื่อดันพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายเกลียวหนอนให้ไหลเข้าแม่พิมพ์ ความเร็วในการฉีดจะเกิดควบคู่ไปกับความดันฉีด เพราะต้นกำลังขั้วมาจากจุดเดียวกัน(ไฮดรอลิก) ความเร็วในการฉีดจะเป็นตัวควบคุมความดันฉีด

### ความเร็วในการปิด-เปิดแม่พิมพ์

เวลาในการทำงานทั้งวงจรจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วในการปิด-เปิดแม่พิมพ์เหมือนกัน ความเร็วในการเปิดแม่พิมพ์มีผลต่อชิ้นงานฉีด คือในกรณีด้านอยู่กับที่เป็นเป้าลึก การเปิดแม่พิมพ์จะต้องค่อยๆเปิด มิฉะนั้นผิวชิ้นงานจะถูกครูดเป็นรอย ส่วนความเร็วในการปิดแม่พิมพ์ต้องอย่าให้สูงเกินไปเมื่อแม่พิมพ์เริ่มปิดเพราะจะเกิดการกระแทกกันได้ระหว่างแม่พิมพ์ ทำให้แม่พิมพ์เสื่อมสภาพเร็วหรือเสียหายได้ ความเร็วในการปิด-เปิดแม่พิมพ์โดยทั่วไปจะมี 3 ชั้นความเร็ว และจะมีช่วงป้องกันแม่พิมพ์ (mold protection) ด้วย โดยช่วงนี้สามารถปรับตั้งความดันในการเลื่อนแม่พิมพ์เข้าปิดได้ ในกรณีที่ชิ้นงานเกิดค้างติดอยู่ในแม่พิมพ์โดยเฉพาะชิ้นงานพลาสติกที่แข็ง ถ้าใช้ความดันในการเลื่อนแม่พิมพ์เข้าปิดสูงโดยมีชิ้นงานที่แข็งค้างอยู่ แม่พิมพ์ทั้งสองซีกอาจเสียหายได้ จึงควรใช้ความเร็วช้าในขณะที่แม่พิมพ์เริ่มปิดและเริ่มเปิด

### ความเร็วในการเลื่อนเข้า-ออกของชุดฉีด

ความเร็วนี้ควรให้เหมาะสมอย่าให้เร็วเกินไป โดยเฉพาะความเร็วในการเลื่อนเข้าเพราะจะเกิดการกระแทกของหัวฉีดกับแม่พิมพ์ ทำให้เกิดการเสียหายได้ทั้งที่ตัวแม่พิมพ์และหัวฉีด ความเร็วนี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางด้วย ถ้าระยะทางที่ชุดฉีดต้องถอยหลังกลับมาฉีดก็ต้องใช้ความเร็วสูงเพื่อให้เวลาในการทำงานสั้นลง

### ความเร็วรอบของเกลียวหนอน

ความเร็วรอบของเกลียวหนอนมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของพลาสติกเหลวและระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวไปหน้าปลายเกลียวหนอน ถ้าความเร็วรอบของเกลียวหนอนสูงขึ้นอุณหภูมิของพลาสติกเหลวจะสูงขึ้นและระยะเวลาในการหลอมเหลวและป้อนพลาสติกเหลวจะสั้นลง เกลียวหนอนขนาดใหญ่กว่าจะได้ระยะทางในการเคลื่อนตัวตามแนวเส้นรอบวงต่อหน่วยเวลาที่เท่ากันมากกว่าเกลียวหนอนที่ขนาดเล็กกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## งานวิจัยที่ผ่านมา

1. Fanta, G.F. และคณะ. [12]

ทำการเตรียมแป้งกราฟท์พอลิสไตรีน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้ง สไตรีน น้ำ และ โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต เป็น 100:50:25:1 ที่อุณหภูมิ 100°C พบว่า กราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ได้มีความเปราะ และมีเปอร์เซ็นต์การยึด ฉง จุดขาดต่ำ

2. Mostafa, M.K.H. และคณะ [13]

ทำกราฟท์โคพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก บนแป้งโดยใช้ โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็น ตัวริเริ่ม พบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้นของตัวริเริ่ม 0.1 นอร์มอล จะให้เปอร์เซ็นต์กราฟท์สูงสุด ใช้ความเข้มข้นของกรดอะคริลิก เป็น 200% โดยโมลของแป้ง ใช้เวลา 180 นาที ที่ 60°C

3. Athawale, V.D. และ Rathi, S.C. [14]

ศึกษาการเตรียมกราฟท์โคพอลิเมอร์ของกรดเมทาคริลิก (methacrylic acid) โดยใช้  $Ce^{4+}$  เป็นตัวริเริ่ม พบว่า ถ้าใช้ความเข้มข้นของมอนอเมอร์และตัวริเริ่มสูงขึ้น จะทำให้การกราฟท์สูงขึ้น โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 150 นาที

4. ดวงพร กิตติเพิ่มพูนวงศ์ ศศิณัฐ แก้วกระจ่าง และ วรารักษ์ ชมศักดิ์สกุล [15]

ทำการศึกษาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง จากการศึกษาได้ สภาวะที่เหมาะสมคือ

อุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้แป้งเกิดเป็นเจล 90°C

ปริมาณแป้ง 150 กรัม

ปริมาณน้ำ 1800 กรัม

ปริมาณมอนอเมอร์ 200%

ปริมาณ NP 40 18.75 กรัม

ปริมาณ  $K_2S_2O_8$  0.015 โมล

อุณหภูมิที่ใช้ตอนเริ่มปฏิกิริยา 60°C นาน 3 ชั่วโมง

อุณหภูมิที่ใช้ช่วงท้ายปฏิกิริยา 90°C นาน 1 ชั่วโมง

## บทที่ 3

### การวิจัยและดำเนินงาน

#### 1 แผนการดำเนินการ

1. สังเคราะห์แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ เพื่อใช้ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก
2. ศึกษาสมบัติของเรซินที่ได้ เช่น อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล เป็นต้น
3. ปรับปรุงสมบัติของกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ได้เพื่อให้สามารถนำไปทำการฉีดขึ้นรูปโดยการเติมพลาสติกไซเซออร์
4. ศึกษาสมบัติของเรซินที่ได้หลังจากทำการปรับปรุงสมบัติโดยการเติมพลาสติกไซเซออร์ เช่น อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล เป็นต้น
5. สังเคราะห์เรซินที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดเพื่อนำไปทำการฉีดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก
6. ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้

#### 2 ขั้นตอนการวิจัย

1. สังเคราะห์แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ (เรซิน)
2. ศึกษาสมบัติของเรซินที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน หมู่ฟังก์ชัน และสมบัติการไหล
3. ผสมสูตรเรซินโดยการเติมพลาสติกไซเซออร์ภายนอก
4. สังเคราะห์เรซินโดยใช้บิวทิลอะครีเลตเป็นมอนอเมอร์ร่วมที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซออร์ภายใน
5. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของเรซิน ในข้อ 3 และ 4
6. สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมที่มีสมบัติที่ดีที่สุด
7. ทำการฉีดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติก
8. ศึกษาสมบัติผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้
9. สรุปผลการวิจัย

#### 3 สารเคมีที่ใช้

1. แป้งมันสำปะหลัง (เกรดการค้า)
2. สไตรีนมอนอเมอร์ (เกรดการค้า)
3. โพรพิรีนไกลคอล (เกรดการค้า)
4.  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  (เกรดการค้า)
5. กรดไนตริก (เกรดวิเคราะห์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยฯ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2616-0000

7. NP 40 (เกรดการค้า)
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์)
9. External Plasticizer - เอทิลีนไกลคอล (เกรดการค้า)  
- พรอพิลีนไกลคอล (เกรดการค้า)
10. Internal plasticizer - 2-ไฮดรอกซีเอทิลอะคริเลท (เกรดการค้า)  
- บิวทิลอะคริเลท (เกรดการค้า)
11. Polystyrene (เกรดฉีดขึ้นรูป)
12. กรดไฮเปอร์คลอริกเข้มข้น 70 % (เกรดวิเคราะห์)
13. อะซีโตน (เกรดการค้า)

#### 4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. มอเตอร์ปั่นกวนชนิดปรับรอบ รุ่น RW 20
2. หม้อปฏิกริยาแบบ 4 ลอ ขนาด 2 ลิตร
3. ไซฟัดกวนสแตนเลส แบบ 2 ชั้น
4. อ่างน้ำพร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. ชุดให้ก๊าซไนโตรเจน
7. ถาดอะลูมิเนียม
8. ตู้อบร้อนแบบ Hot Air
9. เครื่องย่อย
10. เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง Labtech
11. เครื่องฉีดพลาสติก “Cosmo” รุ่น TTI 220/80
12. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึงยืด
13. เครื่องทดสอบสมบัติการไหล Rosand Precision Advanced Capillary Extrusion Rheometer
14. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ Bruker IFS 28
15. เครื่องดีฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ Shimadzu
16. เครื่องบราเวนเดอร์พลาสติกอเคอร์ PL 2100
17. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก Yasuda
18. เครื่อง Deflection Temperature Under Load (DTUL) Yasuda

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5 วิธีการทดลอง

### 5.1 การเตรียมสารเคมี

5.1.1 การเตรียมสารเพื่อใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

1) สารละลายโซเดียมอิตีทีเอ ความเข้มข้น 0.54 โมลาร์

ชั่งเกลือโคโซเดียมของกรดเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิติก 2 โมลกุลของน้ำ จำนวน 49.9 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่นละลายของแข็งให้เป็นสารละลาย จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

2) การเตรียมกรดไนตริก ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล

ปีเปตกรดไนตริกเข้มข้น 70% โดยน้ำหนัก จำนวน 31.6 มิลลิลิตร เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นอยู่ประมาณ 300 มิลลิลิตร จากนั้น ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร

3) การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต จำนวน 27 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการละลายโดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 1.0 นอร์มอล คนให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมด เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรครบ 500 มิลลิลิตร แล้วเทเก็บไว้ในขวดสีชา

4) การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 นอร์มอล

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้วพอประมาณ กวนสารให้ส่วนที่เป็นของแข็งละลายจนหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเติมน้ำกลั่นที่ต้มแล้วให้มีปริมาตรครบ 250 มิลลิลิตร

5.1.2 การเตรียมสารเพื่อใช้ในการสกัดพอลิเมอร์

1) การกลั่นอะซีโตนเพื่อทำให้บริสุทธิ์

ทำการกลั่นอะซีโตนเกรดการค้า โดยใช้การกลั่นแบบสุญญากาศ (rotary evaporator) จะได้อะซีโตนที่บริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ในการสกัดพอลิเมอร์

5.1.3 การเตรียมสาร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโซ่สาขาของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

1) การเตรียมสารละลายกรดไฮเปอร์คลอริกเข้มข้น 60% (โดยน้ำหนัก)

ปีเปตกรดไฮเปอร์คลอริกเข้มข้น 70%(โดยน้ำหนัก) จำนวน 85.7 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้วพอประมาณจนจนส่วนที่เป็นของแข็งละลายหมดจากนั้นเทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นที่ต้มแล้ว

## 5.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์

เติมแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ลงในหม้อปฏิกริยาขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 1800 มิลลิลิตร ต่อท่อก๊าซไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหลต่ำ ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจนกระทั่งได้แป้งที่เป็นเจลใส ทำการลดอุณหภูมิจนถึง 60 องศาเซลเซียส เติม NP 40 จำนวน 18.75 กรัม มอนอเมอร์สไตรีน 193 กรัม เติมน้ำกลั่น 37.5 มิลลิลิตร โพรพิลีนไกลคอล จำนวน 1.5 มิลลิลิตร ลงในหม้อปฏิกริยา ขณะเติมทำการปั่นกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจน เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมน้ำกลั่นโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนต่อ นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับ pH ให้เป็นกลางโดยใช้ NaOH ความเข้มข้น 1 นอร์มอล จากนั้นเทลงในถาดอะลูมิเนียมแล้วนำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพอลิเมอร์แห้ง

## 5.3 การวิเคราะห์แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์(เรซิน)ที่สังเคราะห์ได้

5.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่เกิดขึ้น

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มาจำนวนหนึ่ง นำไปตกตะกอนด้วยเมทานอล ทำการตกตะกอนซ้ำหลาย ๆ ครั้ง นำไปกรองแล้วอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำตะกอนที่ได้หลังจากการอบมาจำนวน 2 กรัม ( ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน ) นำไปใส่ในกระดาษ thimber ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จดน้ำหนักไว้ แล้วนำไปตั้งในชุดสกัดด้วยซอห์เกต ( soxhlet ) ที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้อะซิโตนที่กลั่นแล้ว จำนวน 250 มิลลิลิตร เป็นตัวสกัด ทำการสกัดนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำกระดาษ thimber ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ส่วนตัวทำละลายที่อยู่ในขวดก้นกลม ให้นำไประเหยตัวทำละลายอะซิโตนออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบสูญญากาศ จะได้ส่วนที่เหลือคือไฮโปพอลิเมอร์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิเมอร์โซ่สาขาในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง ที่ผ่านการสกัดด้วยซอห้กเลดแล้วมา 0.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร กวนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยต้องทำการปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยด์ จากนั้นเติมกรดไฮเปอร์คลอริกเข้มข้น 60% (โดยน้ำหนัก) จำนวน 1 มิลลิลิตรโดยค่อยๆหยดภายใน 1 นาที จะได้สารละลายใสที่ร้อน ให้นำไปเทใส่ในบีกเกอร์ที่มีน้ำแข็งบรรจุอยู่ จะได้ตะกอนของโซ่สาขา จากนั้นปรับ pH ของสารละลายจนกระทั่งเป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 นอร์มอล กรองตะกอนที่ได้ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง นำตะกอนที่ได้แช่ในอะซิโตนที่กลั่นแล้ว จากนั้นนำไปให้ความร้อนเพื่อระเหยอะซิโตนออกให้ได้สารละลายที่เข้มข้นขึ้น แล้วนำมาตกตะกอนใหม่ด้วยเมทานอล จะได้ตะกอนของพอลิเมอร์โซ่สาขาและกรองตะกอนที่ได้ จากนั้น นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

### 5.3.3 การวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $T_g$ )

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิสไตรีนที่ได้จากการสังเคราะห์มา วิเคราะห์ด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 220 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

### 5.3.4 การศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วม

นำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับพอลิสไตรีน (เรซิน) ที่สังเคราะห์ได้มา วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

### 5.3.5 ศึกษาสมบัติการไหล (rheology) ของเรซินที่ได้

5.3.6 ศึกษาสมบัติของเรซินที่ได้ และสภาวะการฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องบราวนเดอร์ พลาสติคเคเดอร์

## 5.4 การปรับปรุงสมบัติของโคพอลิเมอร์โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์

นำกราฟท์โคพอลิเมอร์ที่ได้ไปทำการผสมสูตร โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ทั้งชนิดภายนอกและภายใน

### 5.4.1 การผสมสูตรโดยใช้พลาสติกไซเซอร์ภายนอก

นำเรซินมาผสมกับพลาสติกไซเซอร์ภายนอกโดยใช้ พรอพิลีนไกลคอล (PEG) และ เอทิลีนไกลคอล (EG) โดยมีส่วนผสมดังนี้

1. เรซิน : PEG ในอัตราส่วน 100 : 10 (โดยน้ำหนัก)
2. เรซิน : PEG ในอัตราส่วน 100 : 20 (โดยน้ำหนัก)
3. เรซิน : EG ในอัตราส่วน 100 : 10 (โดยน้ำหนัก)
4. เรซิน : EG ในอัตราส่วน 100 : 20 (โดยน้ำหนัก)

5.4.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะครีเลต (ใช้อัตราส่วนบิวทิลอะครีเลต ต่อ สไตรีน เท่ากับ 1 ต่อ 7 โดยโมล)

เติมแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัม ลงในหม้อปฏิกริยาขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่น 1800 มิลลิลิตร ต่อท่อก๊าซไนโตรเจน ด้วยอัตราการไหลต่ำ ให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจนกระทั่งได้แป้งที่เป็นเจลใส ทำการลดอุณหภูมิจนถึง 60 องศาเซลเซียส เติม NP 40 จำนวน 18.75 กรัม มอนอเมอร์สไตรีน 168.5 กรัม และบิวทิล อะครีเลต จำนวน 29.63 กรัม เติมสารละลายโคโซลเวนต์ดีทีเอ จำนวน 37.5 มิลลิลิตร พรอพิลีนไกลคอล จำนวน 1.5 มิลลิลิตร ลงในหม้อปฏิกริยา ขณะเติมทำการปั่นกวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ในบรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 150 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนต่อนาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับ pH ให้เป็นกลางโดยใช้ NaOH ความเข้มข้น 1 นอร์มอล จากนั้นเทลงในถาดอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพอลิเมอร์แห้ง

5.5 การฉีดขึ้นรูปและการวิเคราะห์สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้

5.5.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูป

1) ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดในตำแหน่ง ช่วง1 ช่วง2 ช่วง3 ดังตารางที่ 3.1

โดยใช้ เวลาในการฉีดขึ้นรูป (วินาที)	1 <sup>st</sup> STG INJ	45
	2 <sup>nd</sup> STG INJ	40
	3 <sup>rd</sup> STG INJ	35
	Cooling Time	50
ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป (เปอร์เซ็นต์)	Plunger Speed	20
ความดันในการฉีดขึ้นรูป (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	1 <sup>st</sup> INJ	45
	2 <sup>nd</sup> INJ	40
	3 <sup>rd</sup> INJ	35

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)			
หัวฉีด (Nozzle)	ช่วง 1	ช่วง 2	ช่วง 3
150	150	140	130
150	140	130	120
150	130	120	110

2) ทำการเปลี่ยนเวลาในการฉีดขึ้นรูป 1<sup>st</sup>STG INJ 2<sup>nd</sup>STG INJ 3<sup>rd</sup>STG INJ  
 ดังตาราง ที่ 3.2

โดยใช้ เวลาในการฉีดขึ้นรูป (วินาที)	Cooling Time	50
อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	Nozzle	150
	Zone 1	140
	Zone 2	130
	Zone 3	120
ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป (เปอร์เซ็นต์)	Plunger Speed	20
ความดันในการฉีดขึ้นรูป (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	1 <sup>st</sup> INJ	45
	2 <sup>nd</sup> INJ	40
	3 <sup>rd</sup> INJ	35

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

เวลาที่ใช้ฉีดขึ้นรูป (วินาที)		
1 <sup>st</sup> STG INJ	2 <sup>nd</sup> STG INJ	3 <sup>rd</sup> STG INJ
45	40	35
40	35	30
35	30	25

3) ทำการเปลี่ยนเวลาในการหล่อเย็น (cooling time) ดังตารางที่ 3.3

โดยใช้ อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	Nozzle	150
	Zone 1	140
	Zone 2	130
	Zone 3	120
เวลาในการฉีดขึ้นรูป (วินาที)	1 <sup>st</sup> STG INJ	45
	2 <sup>nd</sup> STG INJ	40
	3 <sup>rd</sup> STG INJ	35
ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป (เปอร์เซ็นต์)	Plunger Speed	20
ความดันในการฉีดขึ้นรูป (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	1 <sup>st</sup> INJ	45
	2 <sup>nd</sup> INJ	40
	3 <sup>rd</sup> INJ	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็นของการฉีดขึ้นรูป

เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น ( cooling time ) (วินาที)
200
100
50

4) ทำการเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการฉีด ( plunger speed ) ดังตารางที่ 3.4

โดยใช้ อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป	Nozzle	150
(องศาเซลเซียส)	Zone 1	140
	Zone 2	130
	Zone 3	120
เวลาในการฉีดขึ้นรูป	1 <sup>st</sup> STG INJ	45
(วินาที)	2 <sup>nd</sup> STG INJ	40
	3 <sup>rd</sup> STG INJ	35
	Cooling Time	50
ความดันในการฉีดขึ้นรูป	1 <sup>st</sup> INJ	45
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	2 <sup>nd</sup> INJ	40
	3 <sup>rd</sup> INJ	35

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

ความเร็วที่ใช้ในการฉีด ( plunger speed ) (เปอร์เซ็นต์)
10
20

5) ทำการเปลี่ยนความดันในการฉีดขึ้นรูป 1<sup>st</sup> INJ 2<sup>nd</sup> INJ 3<sup>rd</sup> INJ ดังตารางที่ 3.5

โดยใช้ อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป	Nozzle	150
(องศาเซลเซียส)	Zone 1	140
	Zone 2	130
	Zone 3	120
เวลาในการฉีดขึ้นรูป	1 <sup>st</sup> STG INJ	45
(วินาที)	2 <sup>nd</sup> STG INJ	40
	3 <sup>rd</sup> STG INJ	35
	Cooling Time	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป Plunger Speed 20  
 ตารางที่ 3.5 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

ความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
1 <sup>st</sup> INJ	2 <sup>nd</sup> INJ	3 <sup>rd</sup> INJ
40	35	30
45	40	35

### 5.5.2 การฉีดขึ้นรูป

ในที่นี้เลือกใช้เรซินที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้บิวทิลอะคริเลต 25% ไปทำการฉีดขึ้นรูป เนื่องจากมีสมบัติที่สามารถนำไปฉีดขึ้นรูปได้ โดยใช้สภาวะดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงสภาวะในการฉีดขึ้นรูปของเป็งกราฟท์ โพลีเอทิลีน

อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	
Nozzle Temp.	150
Zone 1 Temp.	140
Zone 2 Temp.	130
Zone 3 Temp.	130
เวลาในการฉีดขึ้นรูป (วินาที)	
DIE CLS / OPN 60	MELTING 120
1 <sup>ST</sup> STG INJ 45	DECOMP. 2
2 <sup>ND</sup> STG INJ 40	COOLING 50
3 <sup>RD</sup> STG INJ 35	
ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป (เปอร์เซ็นต์)	
RAPID CLS. SPD. 50	PLUNGER SPD. 20
HIGH CLS. SPD. 30	DIE ADJ. SPD. 25
CLAMPING SPD. 15	MELTING SPD. 41
DIE OPN. SLW. 1 15	DECOMP. SPD. 100
RAPID OPN. SPD. 26	SCREW-INJ. SPD. 0
DIE OPN. SLW.2 10	DIE CHANGE SPD. 50
EJECTION SPD. 50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันที่ใช้ในการฉีด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)			
DIE CLS.	30	MELTING	60
CLS. SLW.	30	DECOMP.	100
CLS. HIGH	40	PLUNGER	40
DIE OPN.	30	EJECTION	30
1 <sup>ST</sup> INJ.	45	SCREW INJ.	30
2 <sup>ND</sup> INJ.	40	DIE ADJ.	50
3 <sup>RD</sup> INJ	35		

## 5.6 การวิเคราะห์สมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ได้

### 5.6.1. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

#### 1) ปริมาณความชื้น (ตามมาตรฐาน ASTM D570)

นำชิ้นงานที่ฉีดได้ไปอบให้แห้งที่ 50 °C เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วจดน้ำหนักที่ได้ จากนั้นปล่อยให้เย็นภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลา 1 วัน แล้วนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก และจดน้ำหนักที่ได้ ซึ่งปริมาณความชื้นสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน} - \text{น้ำหนักชิ้นงานหลังอบ}}{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังจากทิ้งไว้ 1 คืน}} \times 100$$

#### 2) การดูดซึมน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D570)

นำชิ้นงานไปอบให้แห้งที่ 50 °C เพื่อให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน แล้วจดน้ำหนักที่ได้ จากนั้นนำชิ้นงานไปแช่น้ำเป็นเวลา 1 อาทิตย์ แล้วนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก และจดน้ำหนักที่ได้ ซึ่งปริมาณการดูดซึมน้ำคำนวณได้จาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักชิ้นงานหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักชิ้นงานก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

### 5.6.2. การทดสอบสมบัติทางความร้อน (ตามมาตรฐาน ASTM D648)

#### 1) การหาอุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสีรูปร่างภายใต้แรงกด ด้วยเครื่อง Deflection Temperature Under Load (DTUL)

นำชิ้นงานขนาดกว้าง 13 มิลลิเมตร ยาว 127 มิลลิเมตร จุ่มในตุ้มกลางที่นำความร้อนได้รับแรงกด 1820 kPa (264 psi) หรือ 455 kPa (66 psi) ทำการเพิ่มอุณหภูมิของตุ้มกลางในอัตรา  $2 \pm 0.2$  องศาเซลเซียสต่อนาที บันทึกอุณหภูมิที่ชิ้นงานเสีรูปร่างไป 0.25 มิลลิเมตร (0.010 นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6.3. การทดสอบสมบัติเชิงกล

1) การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) (ตามมาตรฐาน ASTM D638)

นำชิ้นงานรูปดัมเบลล์ (dumbell) มาทดสอบด้วยสภาวะเครื่องทดสอบ ดังนี้

ความเร็วของแท่นตัดขวาง (crosshead speed)	50.00	มิลลิเมตรต่อนาที
ระยะห่างของชิ้นงาน (gauge length)	50.00	มิลลิเมตร
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (load cell)	30000.00	นิวตัน
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	5	ชิ้น

นำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

$$\text{Tensile Strength} = \text{Force (N)} / \text{Area (m}^2\text{)}$$

$$\% \text{ Elongation} = (\Delta \text{Length} / \text{Original length}) \times 100$$

$$\text{Modulus} = \text{Stress} / \text{Strain}$$

2) การทดสอบค่าความแข็งแรงหักงอ (flexural strength) (ตามมาตรฐาน ASTM D638)

นำชิ้นงานรูปดัมเบลล์ (dumbell) มาทดสอบดังนี้

ความเร็วของแท่นตัดขวาง (crosshead speed)	50.00	มิลลิเมตรต่อนาที
ระยะห่างของชิ้นงาน (gauge length)	50.00	มิลลิเมตร
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (load cell)	30000.00	นิวตัน
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	5	ชิ้น

3) การทดสอบค่าความทนทานต่อแรงกระแทก (notched impact strength)

(ตามมาตรฐาน ASTM D256)

นำชิ้นงานที่ฉีดขึ้นรูปเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มาทดสอบแรงกระแทก ดังนี้

น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (load cell)	30	กิโลกรัม
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	5	ชิ้น

4) การทดสอบความแข็ง (hardness) แบบ Shore D (ตามมาตรฐาน ASTM D785)

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	5	ครั้งต่อชิ้นงาน
--------------------	---	-----------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาเทคนิคกระบวนการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ

**ส่วนที่ 1** การวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนที่สังเคราะห์ได้

#### 1. การหาอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและอนุพันธ์ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน และอนุพันธ์

พอลิเมอร์	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $^{\circ}\text{C}$ )
1. S-g-St	120.0
2. S-g-St **	116.0
3. S-g-St : PEG 10%	103.6
4. S-g-St : PEG 20%	93.4
5. S-g-St : EG 10%	98.6
6. S-g-St : EG 20%	99.2
7. S-g-St : BA 20%	105.0
8. S-g-St : BA 25%	91.0
9. S-g-St : BA 25%**	89.0

หมายเหตุ \*\* นำไปล้างด้วย Isopropanol แล้วทำการสกัดโซโมพอลิเมอร์ออกโดยใช้อะซิโตน

#### 2. ผลการศึกษาหุ้ฟง์ชันด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

การทดลองเลือกตัวอย่างมาทำการศึกษา คือ

1. พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน (S-g-St) ผ่านเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

2. พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน (S-g-St) ไม่ผ่านเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมกับพรอพิลีนไกลคอล (S-g-St:PEG)

4. พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมกับเอทิลีนไกลคอล (S-g-St:EG)

5. พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต (S-g-St:BA)

ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 11-14 ในภาคผนวก

3. สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

ค่าอัตราเฉือน (shear rate) กับเวลาที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน โดยเครื่อง Capillary rheometer แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของค่าอัตราเฉือน (shear rate) กับเวลา ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน โดยเครื่อง Capillary rheometer

Starch-g-Styrene	
Shear Rate ( $s^{-1}$ )	Time (s)
18.75	31.5
37.50	37.6
187.50	47.6
375.00	54.6
562.00	61.6

ค่าอัตราเฉือน (shear rate) กับเวลาที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมบิวทิลอะคริเลต 25% โดยเครื่อง Capillary rheometer แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของค่าอัตราเฉือน (shear rate) กับเวลา ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต โดยเครื่อง Capillary rheometer

Starch-g-Styrene : Butyl acrylate 25 %	
Shear Rate (s <sup>-1</sup> )	Time (s)
3.7	275.4
7.5	323.4
18.7	339.9
75.0	360.5
187.5	366.5
281.2	372.0
375.0	375.5
562.5	381.0
750.0	384.6
937.5	391.5
1125.0	395.0

ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับค่าความหนืด (shear viscous) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน โดยเครื่อง Capillary rheometer แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับค่าความหนืด (shear viscous) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน โดยเครื่อง Capillary rheometer

Starch-g-Styrene	
Shear Stress (kPa)	Shear Viscous (Pa.s)
98.94	5276.6
114.20	3045.2
150.82	804.4
184.31	491.5
239.20	425.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับค่าความหนืด (shear viscous) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต โดยเครื่อง Capillary rheometer แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของค่าความเค้นเฉือน (shear stress) กับค่าความหนืด (shear viscous) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต โดยเครื่อง Capillary rheometer

Starch-g-Styrene : Butyl acrylate 25 %	
Shear Stress (kPa)	Shear Viscous (Pa.s)
135.03	36009
152.21	20294
181.33	9671
219.05	5841
263.34	3511
328.39	1751
368.91	1312
396.72	1058
452.08	804
503.55	671
565.42	603
628.90	559

จากผลการทดสอบสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนพบว่าสมบัติที่ยังไม่ดีเนื่องจากมีความหนืดสูงแต่เมื่อใช้บิวทิลอะคริเลตเป็นมอนอเมอร์ร่วมจะทำให้สมบัติการไหลที่ดีขึ้น

#### 4. เปรอ์เซ็นต์การกราฟท์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

เปรอ์เซ็นต์การกราฟท์ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การกราฟท์ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

สาร	% Grafting
Starch-g-Styrene	78.00
Starch-g-Styrene : Butyl acrylate	60.78
Starch-g-Styrene : 2-Ethylhexyl acrylate	76.47

#### 5. เปอร์เซนต์โคพอลิเมอร์อิสระ

เปอร์เซนต์โคพอลิเมอร์อิสระของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและอนุพันธ์ แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซนต์โคพอลิเมอร์อิสระของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและอนุพันธ์

สาร	Free Copolymer (%)
Starch-g-Styrene	14.07
Starch-g-Styrene : Butyl acrylate	29.55
Starch-g-Styrene : 2-Ethylhexyl acrylate	16.91

#### 6. ผลการศึกษาสถานะการฉีดขึ้นรูปจากเครื่อง Brabender plasticoder ของ S-g-St::BA

ผลการศึกษาสถานะการฉีดขึ้นรูปจากเครื่อง Brabender plasticoder แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการศึกษาสถานะการฉีดขึ้นรูปจากเครื่อง Brabender plasticoder

Additive	Fusion time (sec)	Value	Torque (Nm)	Stock temp. (°C)
No moisture	46	Loading Peak	40.3	121
		Minimum	11.3	132
		Inflection Point	11.3	132
		Maximum	13.9	139
		End	8.4	151
moisture 10.05%	56	Loading Peak	13.9	120
		Minimum	9.4	133
		Inflection Point	9.0	134
		Maximum	8.6	135
		End	6.9	147

Additive	Fusion time (sec)	Value	Torque (Nm)	Stock temp. (°C)
miosture 20.05%	90	Loading Peak	8.1	114
		Minimum	7.5	114
		Inflection Point	10.1	132
		Maximum	11.7	136
		End	7.1	146
PEG 10%	120	Loading Peak	27.8	114
		Minimum	1.9	135
		Inflection Point	8.6	138
		Maximum	13.7	139
		End	8.2	146

7. ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต ที่มีต่อลักษณะการฉีดขึ้นรูป

ผลที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต

ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	ผลที่ได้
0	-ไม่สามารถทำการฉีดขึ้นรูปได้ ติดแม่พิมพ์
10	-ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์
20	-เกิดฟองอากาศในชิ้นงาน ชิ้นงานบวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ส่วนที่ 2** การวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง กับสไตรีนที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปโดยทำการทดสอบพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน

1. ทำการเปลี่ยนสถานะการฉีดขึ้นรูปเพื่อให้ได้สถานะเหมาะสมที่สุดในการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

1.1) ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดในตำแหน่ง ช่วง 1 ช่วง 2 ช่วง 3 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป ( $^{\circ}\text{C}$ )				ผลการทดลองที่ได้
Nozzle	ช่วง1	ช่วง2	ช่วง3	
150	150	140	130	- ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะใหม่ เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป พอลิเมอร์จึงเกิดการสลายตัว
150	140	130	120	- ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ สามารถนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้
150	130	120	110	- ชิ้นงานที่ได้ไม่สมบูรณ์ ไม่เต็มแม่พิมพ์ เนื่องจากอุณหภูมิไม่พอที่จะทำให้พอลิเมอร์ไหลได้

1.2) ทำการเปลี่ยนเวลาในการฉีดขึ้นรูป 1<sup>st</sup>STG INJ 2<sup>nd</sup>STG INJ 3<sup>rd</sup>STG INJ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

เวลาที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (วินาที)			ผลการทดลองที่ได้
1 <sup>st</sup> STG INJ	2 <sup>nd</sup> STG INJ	3 <sup>rd</sup> STG INJ	
45	40	35	- ได้ชิ้นงานเต็มแม่พิมพ์
40	35	30	- ชิ้นงานที่ได้ไม่เต็มแม่พิมพ์
35	30	25	- ชิ้นงานที่ได้ไม่เต็มแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3) ทำการเปลี่ยนเวลาในการหล่อเย็น ( cooling time )

ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น

เวลาที่ใช้ในการหล่อเย็น ( cooling time ) (วินาที)	ผลการทดลอง
200	- ไม่สามารถนำเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ เนื่องจากมีส่วนของชิ้นงานติดอยู่บริเวณ Gate
100	- ไม่สามารถนำเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ เนื่องจาก จากมีส่วนของชิ้นงานติดอยู่บริเวณ Gate
50	- สามารถนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย

## 1.4) ทำการเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการฉีด ( plunger speed )

ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

ความเร็วที่ใช้ในการฉีด ( plunger speed ) (เปอร์เซ็นต์)	ผลการทดลอง
10	- ไม่สามารถฉีดให้เต็มแม่พิมพ์ได้ เนื่องจาก พอลิเมอร์ไม่ไหล
20	- ได้ชิ้นงานสมบูรณ์

1.5) ทำการเปลี่ยนความดันในการขึ้นรูป 1<sup>st</sup> INJ 2<sup>nd</sup> INJ 3<sup>rd</sup> INJ

ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป

ความดันที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (กิโกลรัมต่อตารางเซนติเมตร)			ผลการทดลอง
1 <sup>st</sup> INJ	2 <sup>nd</sup> INJ	3 <sup>rd</sup> INJ	
40	35	30	- ไม่สามารถทำการฉีดให้เต็มแม่พิมพ์ได้
45	40	35	- สามารถฉีดได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถสรุปสภาวะในการฉีดขึ้นรูปได้ดังนี้

อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป	Zone 1	140
	Zone 2	130
	Zone 3	120
เวลาในการฉีดขึ้นรูป	1 <sup>st</sup> STG INJ	45
	2 <sup>nd</sup> STG INJ	40
	3 <sup>rd</sup> STG INJ	35
	Cooling Time	50
ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป Plunger Speed		20
ความดันในการฉีดขึ้นรูป	1 <sup>st</sup> INJ	45
	2 <sup>nd</sup> INJ	40
	3 <sup>rd</sup> INJ	35

## 2. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

### 2.1) ปริมาณความชื้น

แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ = 0.94 %

พอลิสไตรีน = 0.66 %

จากการทดลองพบว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีปริมาณความชื้นมากกว่าพอลิสไตรีน เนื่องจากแป้งประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำ ส่วนพอลิสไตรีน เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีความเป็นขั้วจึงไม่ค่อยดูดความชื้น

### 2.2) ปริมาณการดูดซับน้ำ

แป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์ = 10.90 %

พอลิสไตรีน = 0.66 %

จากการทดลองพบว่าแป้งกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีกว่าพอลิสไตรีน ซึ่งเป็นไปตามเหตุผลในข้อที่ 2.1

ตารางที่ 4.15 สรุปสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน

สาร	สมบัติทางกายภาพ	
	% ความชื้น	% การดูดซับน้ำ
Starch-g-Styrene:BA	0.94	10.90
Polystyrene	0.66	0.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

### 3. ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

จากการทดสอบด้วยเครื่อง DTUL พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้ชิ้นงานเสียรูปเป็นดังนี้

$$\text{แป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์} = 51.1^{\circ}\text{C}$$

$$\text{พอลิสไตรีน} = 79.0^{\circ}\text{C}$$

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ทำให้แป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์เสียรูปจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้พอลิสไตรีนเสียรูป เนื่องจากแป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์มีส่วนของบิวทิลอะคริเลตผสมอยู่ ทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวได้ก่อนจึงเสียรูปได้ง่าย ในขณะที่พอลิสไตรีนมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนเบนซีนอยู่ภายในโมเลกุล จึงมีความแข็งแรงกว่าทำให้เสียรูปได้ช้ากว่า

### 4. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ค่าสมบัติเชิงกลของแป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์ และ พอลิสไตรีน แสดงในตารางที่ 4.16

ตาราง 4.16 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของแป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์ และ พอลิสไตรีน

Polymer	Tensile Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation @ Break (%)	Impact Strength (kJ/m <sup>2</sup> )	Flexural Strength (MPa)	Hardness (ShoreD)
S-g-St:BA	888.90	19.83	4.56	1.02	2.02	69.00
Polystyrene	1323.00	38.81	6.63	1.83	2.96	74.20

จากการทดลองพบว่าแป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าพอลิสไตรีน เนื่องจากพอลิสไตรีนมีโครงสร้างของสายโซ่เป็นวงเบนซีนอยู่ในโมเลกุลทำให้มีความแข็งแรงจึงส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลสูง ส่วนแป็งกราฟท์โคพอลิเมอร์จะมีความเปราะและไม่แข็งแรงเนื่องจากมีแป็งเป็นองค์ประกอบหลักภายในโมเลกุล

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดลอง

1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน

ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน โดยเติม บิวทิลอะคริเลต 25% ( 29.63 กรัม ) เป็นพลาสติกไซเซอร์ภายในเพื่อช่วยให้สมบัติการไหลของ พอลิเมอร์ร่วมดีขึ้นและสามารถนำไปทำการฉีดขึ้นรูปได้

2. สภาวะที่เหมาะสมในการฉีดขึ้นรูปพอลิเมอร์แบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน ผสมกับบิวทิลอะคริเลต

จากการทดลองสามารถสรุปสภาวะในการฉีดขึ้นรูปได้ดังนี้

อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	Zone 1	140
	Zone 2	130
	Zone 3	120
เวลาในการฉีดขึ้นรูป (วินาที)	1 <sup>st</sup> STG INJ	45
	2 <sup>nd</sup> STG INJ	40
	3 <sup>rd</sup> STG INJ	35
	Cooling Time	50
ความเร็วในการฉีดขึ้นรูป (เปอร์เซ็นต์)	Plunger Speed	20
ความดันในการฉีดขึ้นรูป (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	1 <sup>st</sup> INJ	45
	2 <sup>nd</sup> INJ	40
	3 <sup>rd</sup> INJ	35

3. การทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่าสมบัติทางกายภาพดังกล่าวของพอลิเมอร์ร่วมแบบ ต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลตมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน

4. การทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง กับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลตมีอุณหภูมิการเสีรูปต่ำกว่าพอลิสไตรีน

5. การทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน และบิวทิลอะคริเลตมีสมบัติเชิงกลลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

- 1) ทำการศึกษาการปรับปรุงการผสมสูตรพลาสติกไซเซออร์ตัวอื่น ๆ ในพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน เพื่อให้มีสมบัติการไหลที่ดีขึ้น
- 2) ทำการศึกษาสภาวะการฉีดขึ้นรูปให้ได้สภาวะที่เหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อที่จะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น
- 3) ทำการศึกษาปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน
- 4) ทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น สมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ สมบัติทางกายภาพ ( ลักษณะพื้นผิว ) สมบัติทางแสง เป็นต้น
- 5) ถ้านำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนไปใช้ในอุตสาหกรรมแข่งขันกับพอลิเมอร์เชิงการค้าที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ควรจะทำการปรับปรุงสมบัติการขึ้นรูป และสมบัติเชิงกลให้ดียิ่งขึ้น
- 6) สามารถนำพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนไปใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ แต่จะมีสมบัติค้ำยกว่าพอลิสไตรีนเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Chinnaswamy, R. and Hanna M.R., *Starch/Starke*. 1991, 43, 396-400.
2. Wurzburg, O.B. *Modified Starch : Properties and Uses*. 1987, 150-162.
3. Warson, H. *The Application of Synthetic Resin Emulsions*. 1972, 85-87.
4. ผศ.ดร.มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์. *เคมีพอลิเมอร์*. พิมพ์ครั้งที่ 3, 2540, 111-119.
5. Robert D. Athey. *Emulsion Polymer Technology*. 1991, 61-113.
6. Kenneth J. Lissant, *Emulsion and Emulsion Technology*. 1974, 480-497.
7. Clifford I. Weir. *Injection Molding*. 1975. 1-3, 5-8, 11-12, 23-28, 45-46.
8. วิจิจน์ เตชะวิญญูธรรม. *งานฉีดพลาสติก*. 2528, 4, 11-14 และ 28-45.
9. Ernest C. Bernhardt. *Processing of Thermoplastic Materials*. 1988, 337-352.
10. Rubin, I.I. *Injection Molding : Theory and Practice*. New York. 1983, 148-157.
11. รศ.บรรเลง ศรีนิล. *เทคโนโลยีพลาสติก*. พิมพ์ครั้งที่ 12, 2540, 78-161.
12. Fanta, G.F. *J.Appl.Polym.Sci.* 1993, 47, 1765-1772.
13. Mostafa, M.K.H. *J.Appl.Polym.Sci.* 1995, 56, 263-269.
14. Athawale, V.D. and Rathi, S.C. *J.Appl.Polym.Sci.* 1997, 66, 1399-1403.
15. ดวงพร กิตติเพิ่มพูนวงศ์, ศศิณาฏ แก้วกระจ่าง และวราภรณ์ ชมศักดิ์สกุล. *พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลัง*. โครงการงานพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วม  
ด้วยเครื่องดีฟเฟอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาอนุกรมิกลาสทรานซิสชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน (ไม่ผ่านการสกัดด้วยชุดสกัด Soxhlet) ที่ได้จากเครื่องคิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีน (ผ่านการสกัดด้วยซุกส์กัต Soxhlet) ที่ได้จากเครื่องคิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมพอฟิทีนไกลคอล 10% ที่ได้จากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมพรอพิลีนไกลคอล 20% ที่ได้จากเครื่องคิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปเปอร์ของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมเอทิลีนไกลคอล 10% ที่ได้จากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบคอปเปอร์ของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมเอทิลีนไกลคอล 20% ที่ได้จากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะครีเลต 20% ที่ได้จากเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต 25% ที่ได้จากเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

0.800mW/div



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะครีเลต 25% (ผ่านการสกัดด้วยชุดสกัด Soxhlet) ที่ได้จากเครื่องคิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

0.800w/div

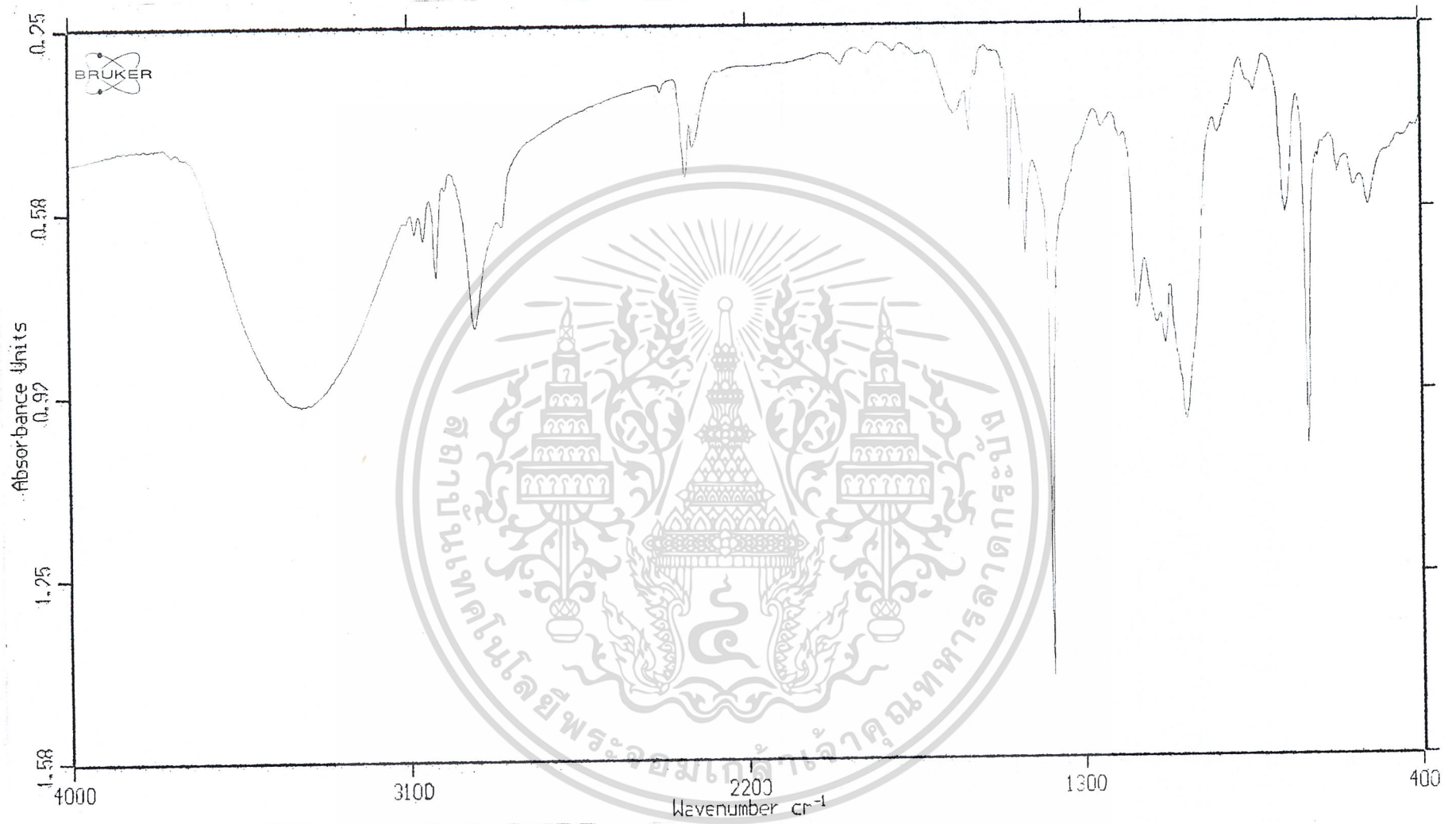


รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์หาอนุภาคมิกลาสทรานซิชั่นของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและ 2-ไฮดรอกซีอะคริเลต 25% (ผ่านการสกัดด้วยชุดสกัด Soxhlet) ที่ได้จากเครื่องคิฟเฟอร์นเซียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วม  
ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

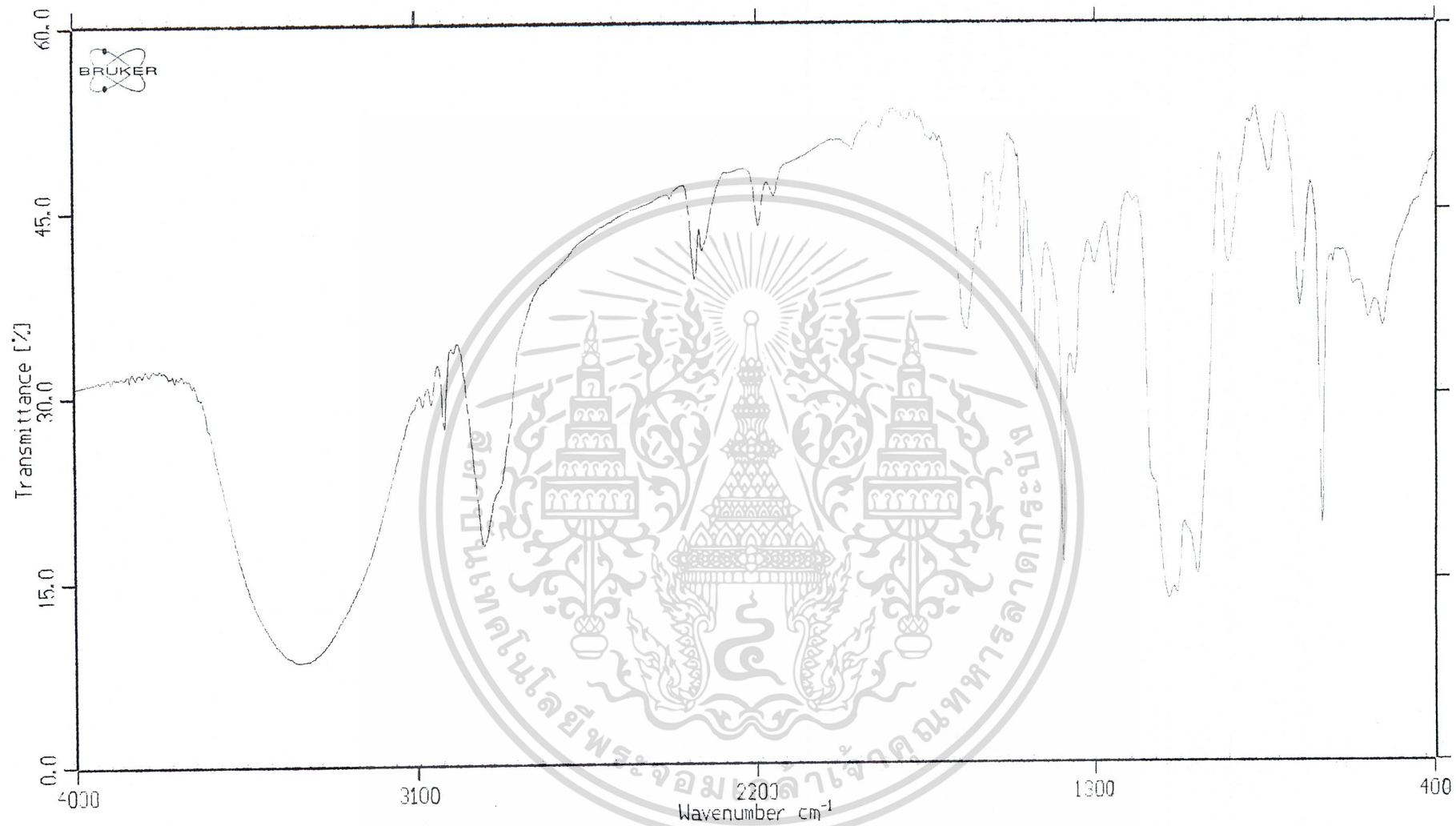
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



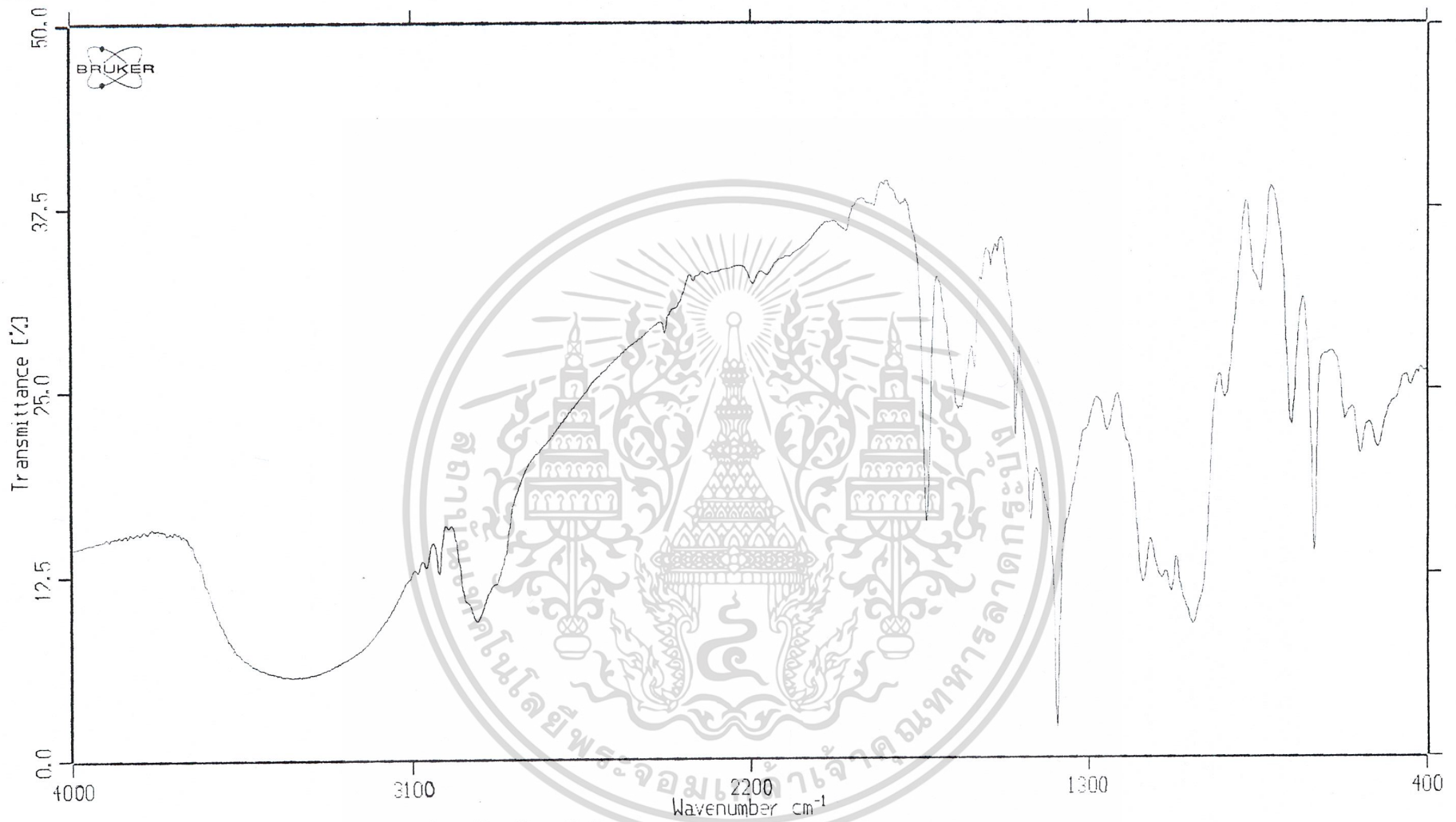
รูปที่ 11 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนที่ได้จากเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)



รูปที่ 12 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมกับเอทิลีนไกลคอล  
ที่ได้จากเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)



รูปที่ 13 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนผสมกับพรอพิลีนไกลคอล  
ที่ได้จากเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)



รูปที่ 14 แสดงหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังกับสไตรีนและบิวทิลอะคริเลต  
ที่ได้จากเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)

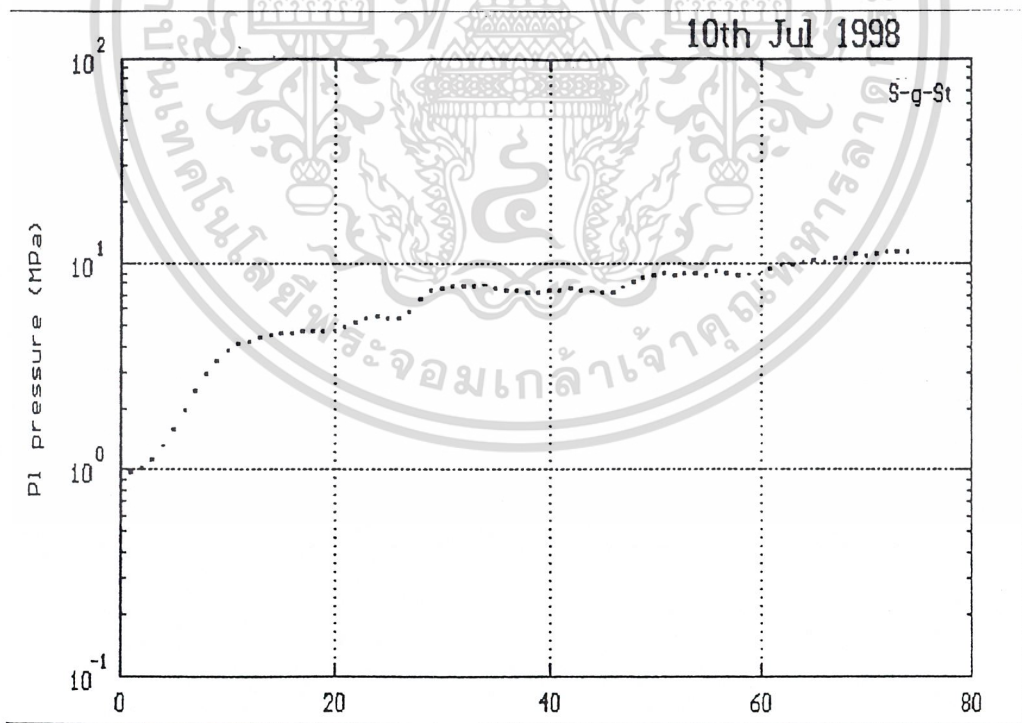
The seal of Rajabhat Buriram is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a tiered umbrella (parasol) supported by two mythical creatures. The entire design is surrounded by a decorative border. The Thai text around the border reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram).

ผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วม  
ด้วยเครื่องคาปิลารรีโอมิเตอร์ (Capillary Rheometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**RECALLED TEST RESULTS**

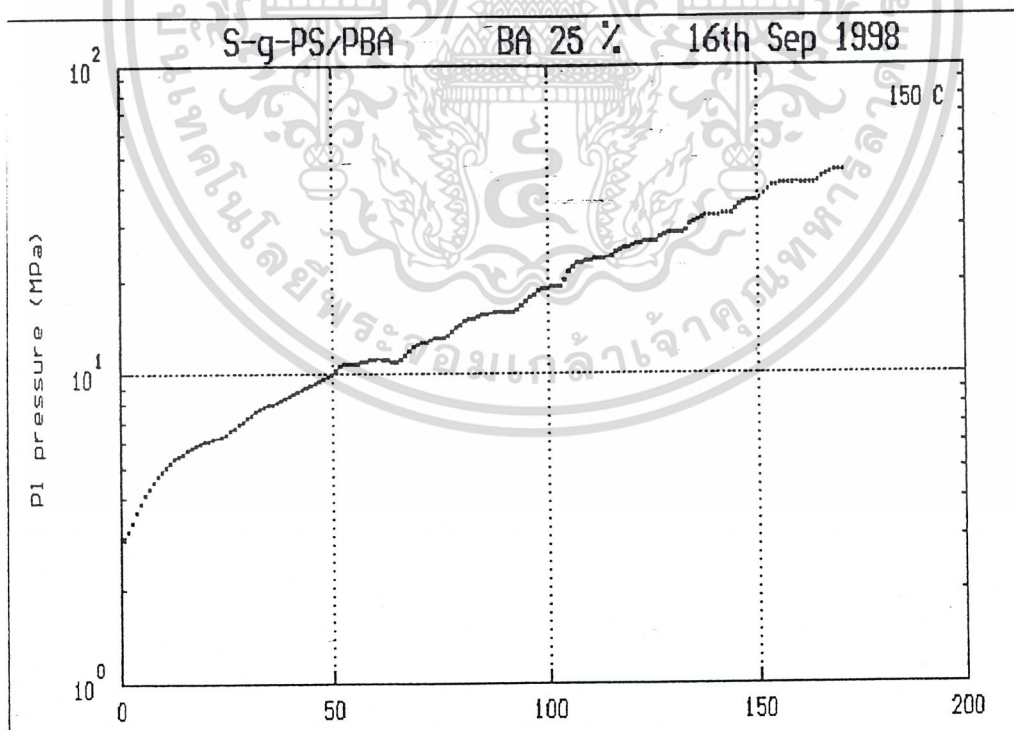
Shear rate /s	Time s	Pl MPa	Ps MPa	Po MPa	Shear Stress kPa	Shear Visc Pa.s	Exten Stress kPa	Elong Visc kPa.s	n
18.75	31.5	4.75	0	0	98.94	5276.6	0	0	0.05
37.50	37.6	5.48	0	0	114.20	3045.2	0	0	0.12
187.50	47.6	7.24	0	0	150.82	804.4	0	0	0.30
375.00	54.6	8.85	0	0	184.31	491.5	0	0	0.38
562.50	61.6	11.48	0	0	239.20	425.2	0	0	0.43



รูปที่ 15 ผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 กับสไตรีน ด้วยเครื่องคาปิลารี โอมิเตอร์ (Capillary Rheometer)  
 เมวากริมเดย์ พงสน อักษรหามมเหตต์แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**RECALLED TEST RESULTS**

Shear rate /s	Time s	PI MPa	Ps MPa	Po MPa	Shear Stress kPa	Shear Visc Pa.s	Exten Stress kPa	Elong Visc kPa.s	n
3.7	275.4	9.72	0	0	135.03	36009	0	0	0.15
7.5	323.4	10.96	0	0	152.21	20294	0	0	0.18
18.7	339.9	13.06	0	0	181.33	9671	0	0	0.21
37.5	355.0	15.77	0	0	219.05	5841	0	0	0.24
75.0	360.5	18.96	0	0	263.34	3511	0	0	0.26
187.5	366.5	23.64	0	0	328.39	1751	0	0	0.30
281.2	372.0	26.56	0	0	368.91	1312	0	0	0.31
375.0	375.5	28.56	0	0	396.72	1058	0	0	0.32
562.5	381.0	32.55	0	0	452.08	804	0	0	0.34
750.0	384.6	36.26	0	0	503.55	671	0	0	0.35
937.5	391.5	40.71	0	0	565.42	603	0	0	0.36
1125.0	395.0	45.28	0	0	628.90	559	0	0	0.36



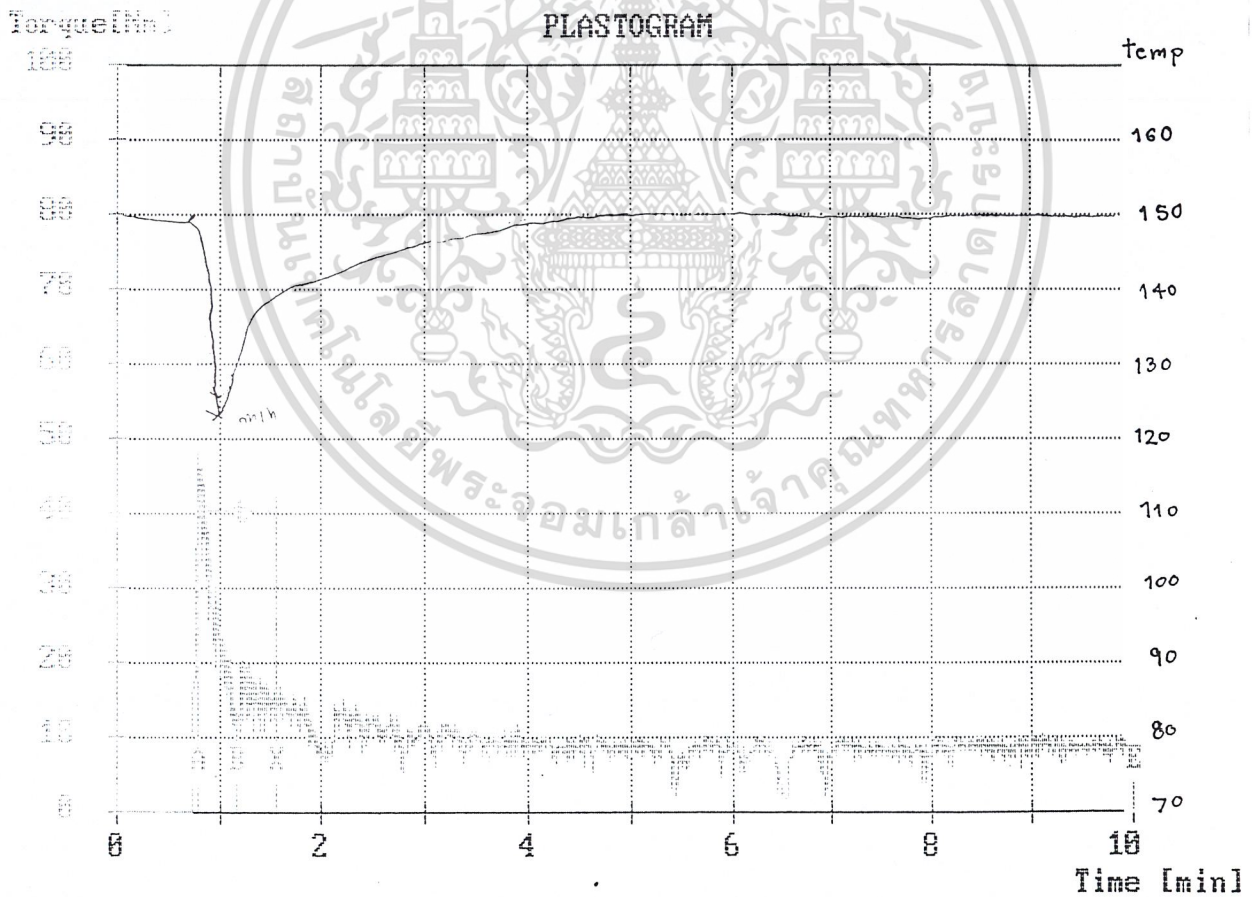
รูปที่ 16 ผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของพอลิเมอร์ร่วมแบบคั่งของแป้งมันสำปะหลัง  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 กับสไตรีนและบิวทิลอะครีเลต 25 % ด้วยเครื่องคาปิลารีโอมิเตอร์ (Capillary Rheometer)  
 เมื่อกฎหมายใด ๆ ออกใหม่หรือมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of the National Library of Thailand is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The umbrella is flanked by two smaller, three-tiered umbrellas. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The Thai text around the border reads "กรมหอสมุดแห่งชาติ" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

**ผลการวิเคราะห์หาสถานะการฉีดยาของพอลิเมอร์ร่วม  
ด้วยเครื่องบราเบนเดอพลาสติกอเดอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time HH:MM:SS	Temp. [°C]	Speed [1/min]	Energy [Nm]	Ener. (0->x) [kJNm]	Ener. (x->x) [Nm]	Torque [Nm]
00:00:00	136	0	0.0	0.0	0.0	0.0
00:00:30	136	0	0.0	0.0	0.0	0.0
00:01:00	126	50	223.0	2.6	2635.3	21.3
00:01:30	138	50	143.2	5.0	2385.7	13.7
00:02:00	141	50	78.9	6.9	1921.5	7.5
00:02:30	144	50	128.6	8.7	1743.3	12.3
00:03:00	147	50	117.4	10.3	1582.6	11.2
00:03:30	148	50	106.7	11.8	1497.4	10.2
00:04:00	149	50	89.0	13.2	1403.8	8.5
00:04:30	150	50	95.9	14.5	1351.1	9.2
00:05:00	150	50	91.3	15.8	1320.3	8.8
00:05:30	149	50	73.0	17.0	1200.6	7.0
00:06:00	150	50	89.0	18.3	1291.0	8.5
00:06:30	149	50	25.7	19.5	1151.1	2.5
00:07:00	150	50	78.7	20.6	1113.2	7.5
00:07:30	151	50	85.6	21.9	1340.8	8.2
00:08:00	151	50	90.1	23.1	1207.7	8.6
00:08:30	151	50	91.7	24.5	1354.1	8.8
00:09:00	150	50	92.4	25.8	1306.5	8.9
00:09:30	150	50	89.2	27.1	1324.6	8.5
00:10:00	151	50	87.9	28.4	1306.1	8.4



รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์หาสถานะการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมัน  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาย่อย นาน เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ดำเนินการโดย ส.ไตรีนและบิวทิลอะครีเลต 25% (ไม่มีความชื้น)  
 ไม่มีค่าธรรมเนียม ฟังสน อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Value		Time	Torque [Nm]	Stocktemp. [°C]
Loading Peak	A	00:00:48	40.3	121
Minimum	B	00:01:10	11.3	132
Inflection Point	G	00:01:10	11.3	132
Maximum	X	00:01:34	13.9	139
End	E	00:10:00	8.4	151

#### Integration / Energy

- Loading Peak to Minimum	A - B	: W1 =	2.7	[kNm]
- Minimum to Maximum	B - X	: W2 =	1.9	[kNm]
- Maximum to End	X - E	: W3 =	23.1	[kNm]
- Loading Peak to Maximum	A - X	: W4 =	4.5	[kNm]
- Loading Peak to End	A - E	: W5 =	27.7	[kNm]
- Specific Energy (W5/Sample Weight)		: W6 =	0.6	[kNm/g]
- Gelation Area above B	(B - X)	: W7 =	0.4	[kNm]

#### Results

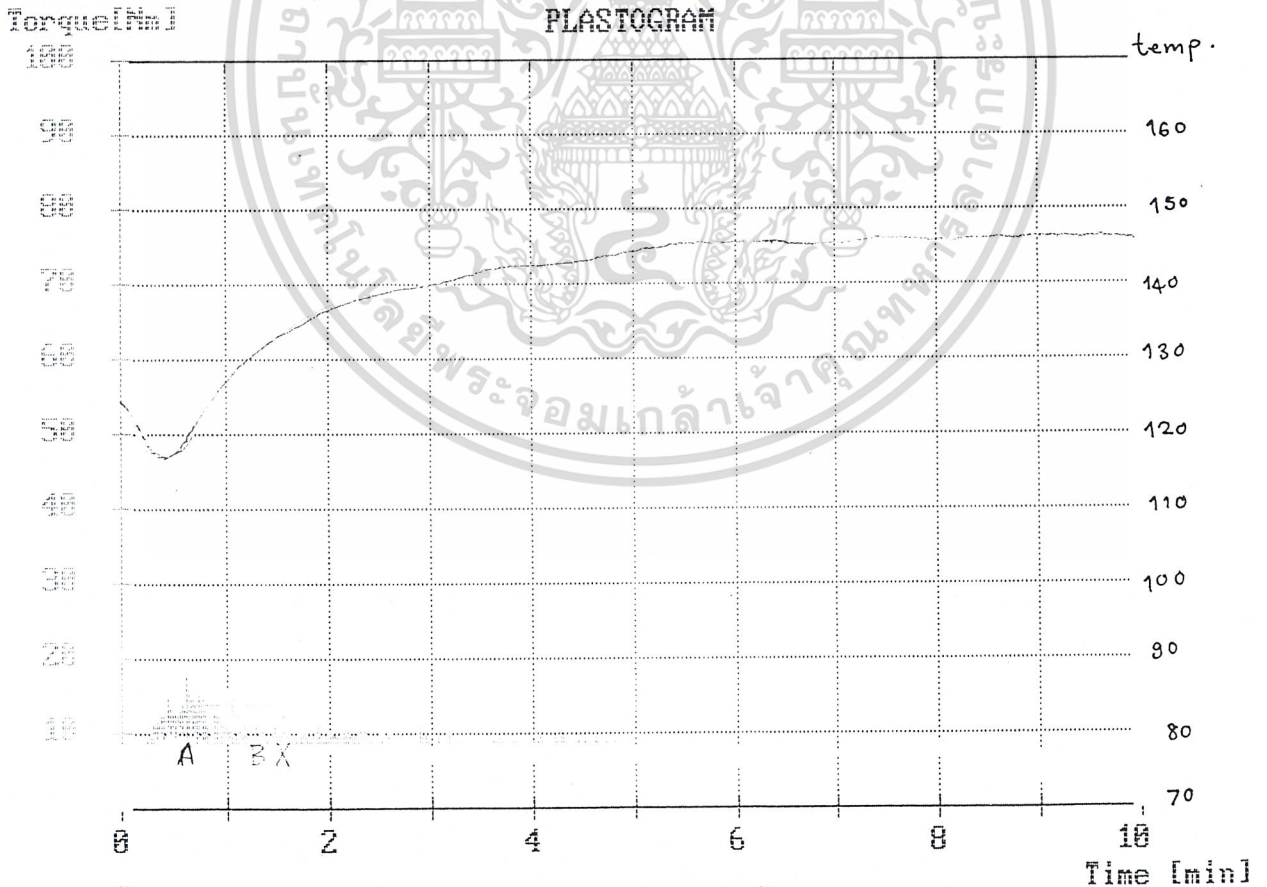
- Fusion Time	A - X	: t =	00:00:46	
- Gelation Speed	G ± 20%	: v =	114.9	[Nm/min]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Test Conditions**

Order	: brabender	Mixer Temp.	: 140 °C
Operator	: kung	Speed	: 50 1/min
Test Date	: 03. Feb '99	Meas. Range	: 100 Nm
PL Type	: 2000-3	Zero Suppr.	: 0 %
Mixer Type	: W 50 E - 3 ZONES	Damping	: 1
Load, Chute	: Manual + 5 kg	Test Time	: 10.0 min
Sample	: S-g-PS : BA 25 %	Sample Weight	: 50.00 g
Additive	: moisture 10.05%	Code Number	: k1
		Start Temp.	: 141 °C

Time HH:MM:SS	Temp. [°C]	Speed [1/min]	Energy [Nm]	Ener. (0->x) [kNm]	Ener. (x->x) [Nm]	Torque [Nm]
00:00:00	124	50	0.0	0.0	0.0	0.0
00:00:30	118	50	116.0	1.3	1285.2	11.1
00:01:00	128	50	108.9	3.0	1733.4	10.4
00:01:30	134	50	89.0	4.4	1369.7	8.5
00:02:00	137	50	92.4	5.7	1343.5	8.9
00:02:30	138	50	90.1	7.1	1319.9	8.6
00:03:00	140	50	76.4	8.3	1233.7	7.3
00:03:30	141	50	72.0	9.5	1186.1	6.9
00:04:00	142	50	79.3	10.7	1216.7	7.6
00:04:30	144	50	76.4	11.9	1219.1	7.3
00:05:00	145	50	72.8	13.0	1129.5	7.0
00:05:30	145	50	66.0	14.1	1034.6	6.3
00:06:00	146	50	74.1	15.2	1113.8	7.1
00:06:30	146	50	68.4	16.3	1098.5	6.6
00:07:00	147	50	75.3	17.3	1002.7	7.2
00:07:30	147	50	62.7	18.3	1017.8	6.0
00:08:00	147	50	81.0	19.3	992.8	7.8
00:08:30	147	50	72.3	20.3	1051.8	6.9
00:09:00	147	50	55.2	21.4	1024.5	5.3
00:09:30	147	50	71.9	22.4	1010.1	6.9
00:10:00	147	50	72.3	23.4	981.8	6.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะการพืดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบคั่งของ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ พงสน อักทงห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 แป้งมันสำปะหลังกับ สไตรีนและบิวทิลอะคริเลต 25 % (ความชื้น 10.05 %)

Value		Time	Torque [Nm]	Stocktemp. [°C]
Loading Peak	A	00:00:36	13.9	120
Minimum	B	00:01:16	9.4	133
Inflection Point	G	00:01:28	9.0	134
Maximum	X	00:01:32	8.6	135
End	E	00:10:00	6.9	147

#### Integration / Energy

- Loading Peak to Minimum	A - B	: W1 =	2.1	[kNm]
- Minimum to Maximum	B - X	: W2 =	0.7	[kNm]
- Maximum to End	X - E	: W3 =	18.9	[kNm]
- Loading Peak to Maximum	A - X	: W4 =	2.8	[kNm]
- Loading Peak to End	A - E	: W5 =	21.7	[kNm]
- Specific Energy (W5/Sample Weight)		: W6 =	0.4	[kNm/g]
- Gelation Area above B	(B - X)	: W7 =	-0.1	[kNm]

#### Results

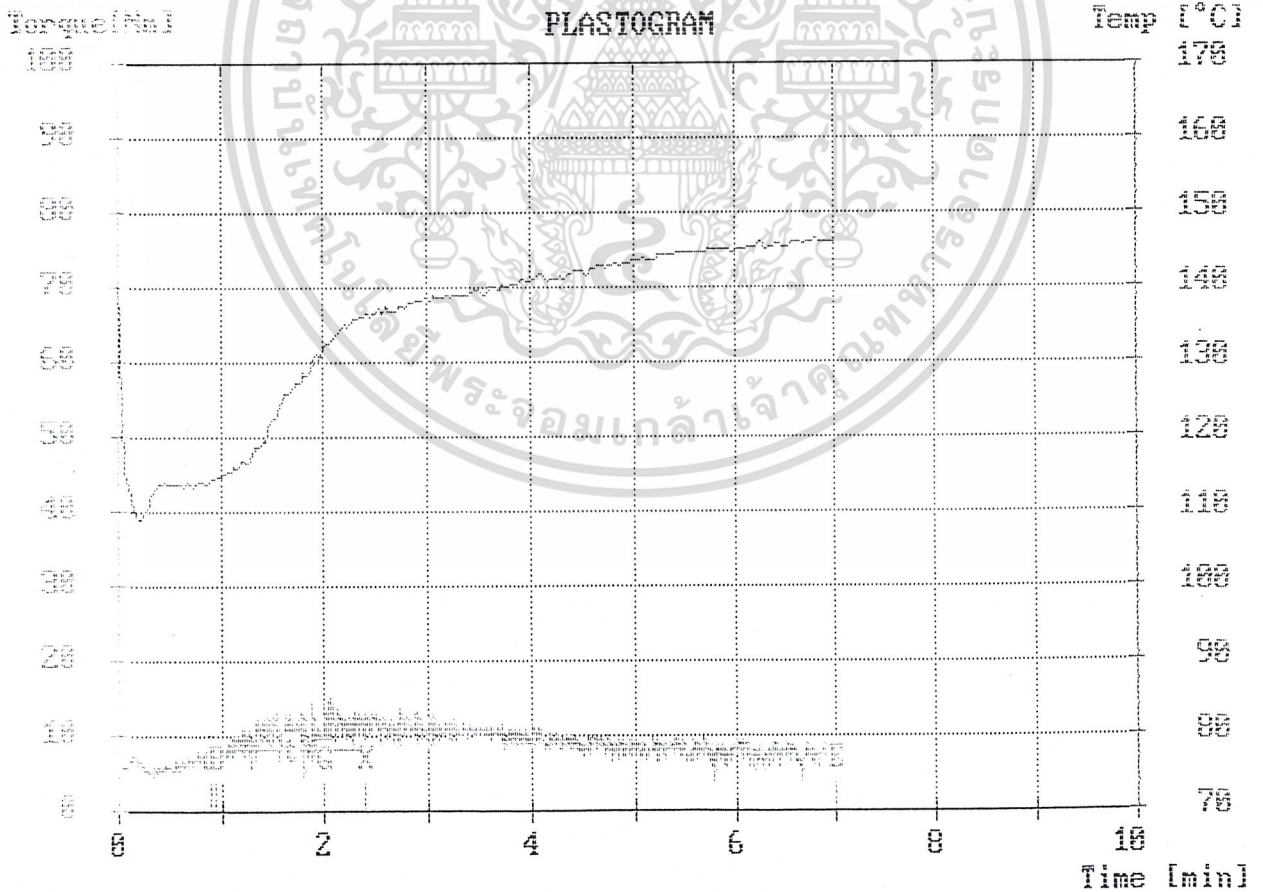
- Fusion Time	A - X	: t =	00:00:56	
- Gelation Speed	G ± 20%	: v =	-3.1	[Nm/min]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Test Conditions**

Order	: brabender	Mixer Temp.	: 140 °C
Operator	: kung	Speed	: 50 1/min
Test Date	: 03. Feb '99	Meas. Range	: 100 Nm
PL Type	: 2000-3	Zero Suppr.	: 0 %
Mixer Type	: W 50 E - 3 ZONES	Damping	: 1
Load. Chute	: Manual + 5 kg	Test Time	: 7.0 min
Sample	: S-g-PS : BA 25%	Sample Weight	: 50.00 g
Additive	: moisture 20.05%	Code Number	: k1
		Start Temp.	: 140 °C

Time HH:MM:SS	Temp. [°C]	Speed [1/min]	Energy [Nm]	Ener. (0->x) [kNm]	Ener. (x->x) [Nm]	Torque [Nm]
00:00:00	140	50	0.0	0.0	0.0	0.0
00:00:30	114	50	58.2	0.9	882.2	5.6
00:01:00	115	50	82.2	2.0	1084.8	7.9
00:01:30	122	50	114.3	3.4	1460.5	10.9
00:02:00	132	50	105.0	4.9	1507.7	10.1
00:02:30	137	50	125.0	6.7	1767.5	12.0
00:03:00	139	50	107.3	8.4	1708.4	10.3
00:03:30	139	50	108.2	10.1	1652.6	10.4
00:04:00	141	50	103.1	11.6	1563.7	9.8
00:04:30	142	50	81.0	13.0	1409.8	7.8
00:05:00	144	50	85.6	14.4	1319.0	8.2
00:05:30	145	50	73.0	15.6	1244.6	7.0
00:06:00	145	50	86.9	16.8	1177.0	8.3
00:06:30	145	50	83.3	17.9	1158.3	8.0
00:07:00	146	50	74.2	19.1	1142.6	7.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 19 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของ  
 'ไม่ว่ากรณีใดๆ' พงสน์ อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบียงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 แป้งมันสำปะหลังกับ สไตรีนและบิวทิลอะครีเลต 25 % (ความชื้น 20.05 %)

Value		Time	Torque [Nm]	Stocktemp. [°C]
Loading Peak	A	00:00:54	8.1	114
Minimum	B	00:00:56	7.5	114
Inflection Point	G	00:02:00	10.1	132
Maximum	X	00:02:24	11.7	136
End	E	00:07:00	7.1	146

#### Integration / Energy

- Loading Peak to Minimum	A - B	: W1 =	0.1	[kNm]
- Minimum to Maximum	B - X	: W2 =	4.5	[kNm]
- Maximum to End	X - E	: W3 =	12.7	[kNm]
- Loading Peak to Maximum	A - X	: W4 =	4.6	[kNm]
- Loading Peak to End	A - E	: W5 =	17.4	[kNm]
- Specific Energy (W5/Sample Weight)		: W6 =	0.3	[kNm/g]
- Gelation Area above B	(B - X)	: W7 =	1.1	[kNm]

#### Results

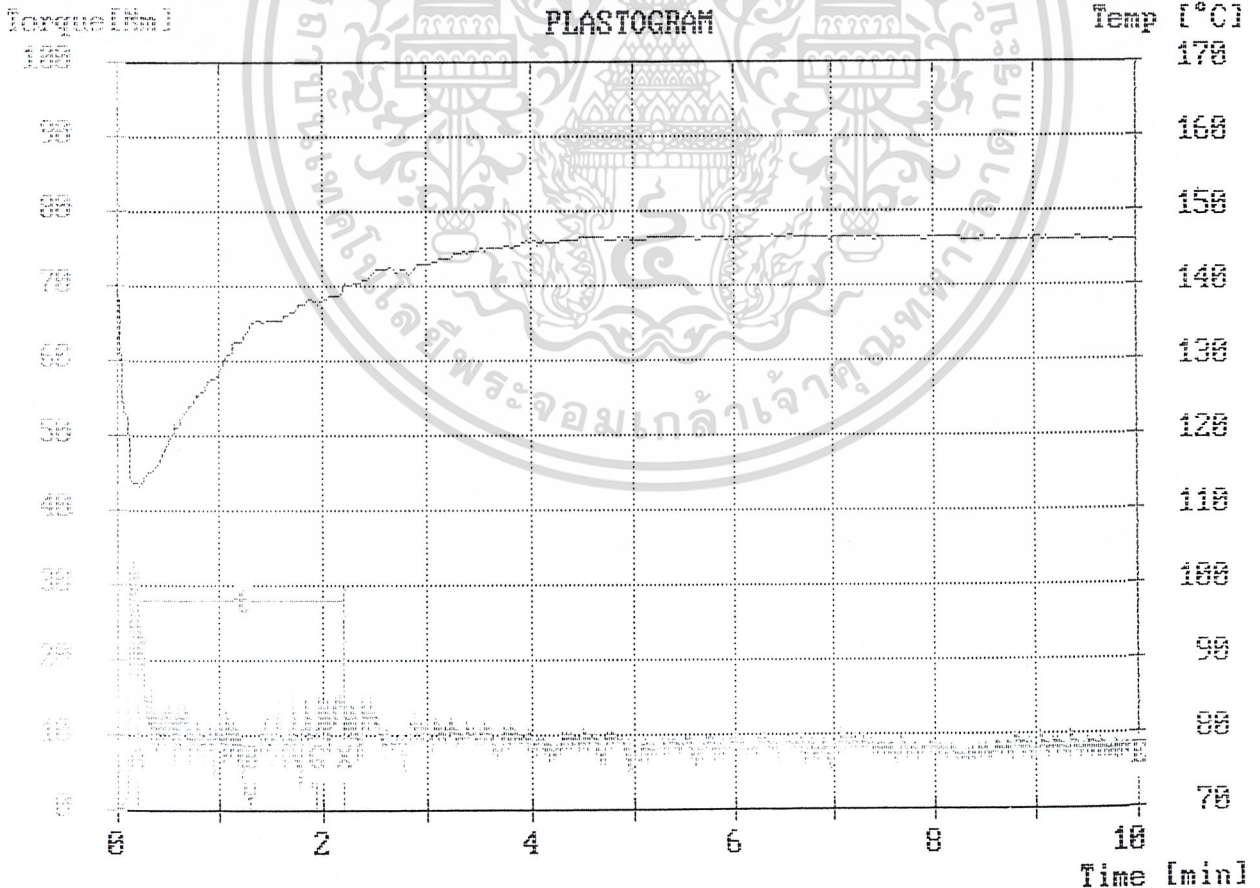
- Fusion Time	A - X	: t =	00:01:30	
- Gelation Speed	G ± 20%	: v =	-4.6	[Nm/min]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Test Conditions**

Order	: brabender	Mixer Temp.	: 140 °C
Operator	: kung	Speed	: 50 1/min
Test Date	: 03. Feb '99	Meas. Range	: 100 Nm
PL Type	: 2000-3	Zero Suppr.	: 0 %
Mixer Type	: W 50 E - 3 ZONES	Damping	: 1
Load, Chute	: Manual + 5 kg	Test Time	: 10.0 min
Sample	: S-g-PS : bA 25 %	Sample Weight:	: 50.00 g
Additive	: PEG 10%	Code Number	: k1
		Start Temp.	: 140 °C

Time HH:MM:SS	Temp. [°C]	Speed [1/min]	Energy [Nm]	Ener. (0->x) [kNm]	Ener. (x->x) [Nm]	Torque [Nm]
00:00:00	140	50	0.0	0.0	0.0	0.0
00:00:30	119	50	130.3	2.2	2216.5	12.5
00:01:00	129	50	109.8	3.7	1511.7	10.5
00:01:30	135	50	84.4	4.8	1100.8	8.1
00:02:00	138	50	119.6	6.3	1459.1	11.5
00:02:30	142	50	124.6	8.2	1875.3	11.9
00:03:00	143	50	109.5	9.7	1498.8	10.5
00:03:30	145	50	100.4	11.2	1586.4	9.6
00:04:00	146	50	92.2	12.7	1468.9	8.9
00:04:30	146	50	99.1	14.1	1363.1	9.5
00:05:00	146	50	71.2	15.4	1317.0	6.8
00:05:30	146	50	95.9	16.7	1274.7	9.2
00:06:00	146	50	96.8	18.0	1290.3	9.3
00:06:30	147	50	89.0	19.2	1285.7	8.5
00:07:00	146	50	78.7	20.5	1251.3	7.5
00:07:30	146	50	81.6	21.8	1328.1	7.8
00:08:00	146	50	84.6	23.0	1220.4	8.1
00:08:30	146	50	82.6	24.2	1169.1	7.9
00:09:00	146	50	77.6	25.5	1241.2	7.4
00:09:30	146	50	86.7	26.7	1284.3	8.3
00:10:00	146	50	85.8	28.0	1219.7	8.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ร่วมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 20 ผลการวิเคราะห์หาสถานะการพืดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลัง  
 ผสมวุ้นเคี้ยว ทั้งสิ้น ออกทั้งหมดมเหตดแบล่งเนื้อหาและตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่มีการนำไปใช้  
 กับ สไตรีนและบิวทิลอะครีเลต 25 % ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล 10% โดยน้ำหนัก

Value		Time	Torque [Nm]	Stocktemp. [°C]
Loading Peak	A	00:00:12	27.8	114
Minimum	B	00:01:18	1.9	135
Inflection Point	G	00:01:56	8.6	138
Maximum	X	00:02:12	13.7	139
End	E	00:10:00	8.2	146

#### Integration / Energy

- Loading Peak to Minimum	A - B	: W1 =	3.4	[kNm]
- Minimum to Maximum	B - X	: W2 =	2.7	[kNm]
- Maximum to End	X - E	: W3 =	20.9	[kNm]
- Loading Peak to Maximum	A - X	: W4 =	6.1	[kNm]
- Loading Peak to End	A - E	: W5 =	27.0	[kNm]
- Specific Energy (W5/Sample Weight)		: W6 =	0.5	[kNm/g]
- Gelation Area above B	(B - X)	: W7 =	2.2	[kNm]

#### Results

- Fusion Time	A - X	: t =	00:02:00	
- Gelation Speed	G ± 20%	: v =	-8.5	[Nm/min]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้