

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



การใช้โป๊งมันสำปะหลังปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูงและชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อผลการย่อยสลายทางชีวภาพ



นาง พลพัฒน์ รวมเจริญ
นางสาว ประทีป ทักษากุลจนะ
รฟ.
พ441ก
2535
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน เดือน ปี.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2535

612649629

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**UTILISATION OF MODIFIED TAPIOCA AS FILLER
IN HIGH DENSITY POLYETHYLENE AND LOW DENSITY POLYETHYLENE
FOR BIODEGRADABLE PLASTIC**

Mr. Polphat Ruamchareon

Miss Prapin Tabganjana

**A special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science**

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การใช้แป้งมันสำปะหลังปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารตัวเติมใน
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและชนิดความหนาแน่นต่ำ
เพื่อผลการย่อยสลายทางชีวภาพ

โดย

นาย พลพัฒน์ รวมเจริญ

นางสาว ประณีล ทักษาญจนะ

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

รศ. ดร. ศุภณีย์ ธนะวิวัฒน์

อ. พิชมัย ชัยรัตน์อุทัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
อนุมัติให้แนบโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ธีรวัฒน์ มงคลอัสวรัตน์

(ผศ. ดร. ธีรวัฒน์ มงคลอัสวรัตน์)

หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

ประธานกรรมการ

(ผศ. นงนุช เกตุรานุวัฒน์)

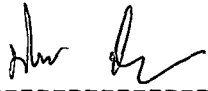
กรรมการ

(อ. คณิตา ตั้งคณารักษ์)

กรรมการ

(ผศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(อ. พิชัย ชัยรัตน์สุกุล)

กรรมการ

(รศ. ดร. ดุษณี ธนะบริพัตร)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้แป้งมันสำปะหลังปรับปรุงคุณสมบัติเป็นสารตัวเติมใน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และชนิดความหนาแน่นต่ำ เพื่อผลการย่อยสลายทางชีวภาพ
นักศึกษา	นาย พลพัฒน์ รวมเจริญ นางสาว ประณิธ ทักษาญชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษา	พศ.ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล รศ.ดร. คุณิ ณะบริวัฒน์ อ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2535

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และความหนาแน่นต่ำ โดยทำการปรับปรุงคุณสมบัติ 2 วิธี คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะครีเลตและปรับปรุงคุณสมบัติโดยการลดความเป็นขั้วของแป้งโดยใช้สารเฮกซะเมทิลไดไฮโดรโซดาเนต จากนั้นเติมลงในพลาสติกทั้งสองชนิด ในอัตราส่วน 40 % และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ Aspergillus niger , Bacillus subtilis และ Serratia marcescens จากการวิจัยพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนจะทำให้พลาสติกที่ผลิตได้มีคุณสมบัติทางกายภาพลดลง เมื่อมีการปรับปรุงคุณสมบัติของสารตัวเติมโดยใช้กรดสเตียริก น้ำมันถั่วเหลือง และสารช่วยกระจาย ปรากฏว่าทำให้ได้คุณสมบัติของพลาสติกที่ขึ้น อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดที่เหมาะสมจะนำไปผลิตเพื่อการใช้งาน สำหรับพลาสติกทั้งสองชนิด คือ พลาสติกที่ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้สารเฮกซะเมทิลไดไฮโดรโซดาเนต 5 phr กรดสเตียริก 2 phr น้ำมันถั่วเหลือง 2 phr และสารช่วยกระจาย 5 phr เมื่อทำการทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ ปรากฏว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ดีที่สุด คือ เชื้อ Aspergillus niger

Special Project Title Utilisation of Modified Tapioca as Filler
in High Density Polyethylene and Low
Density Polyethylene for Biodegradable
Plastic

Name Mr. Polphat Ruamchareon
Miss Prapin Tubganjana

Special Project Advisor Assoc. Prof. Dr. Nipon Wongwisetsirikul
Asist. Prof. Dr. Duśanee Thanaboripat
Mrs. Pisamai Chairatuthai

Department Chemistry

Academic Year 1992

Abstract

Utilisation of modified tapioca as filler in high density polyethylene ; HDPE and low density polyethylene ; LDPE for biodegradable plastic were studied. The properties of filler were modified by two methods; by synthesising graft copolymer of tapioca starch with methyl methacrylate and by reducing polarity of hydroxy group in starch by hexamethylene diisocyanate ; HMDI and then filling in both plastics at ratio 40 % . The plastics were measured for biodegradation by using Aspergillus niger , Bacillus subtilis and Serratia marcescens . The results showed utilisation of tapioca starch in HDPE and LDPE had an effect on appearance and mechanical properties. The addition of additives such as stearic acid , soybean oil and dispersing agent improved the properties of plastics. The suitable ratio was HMDI 5 phr , stearic acid 2 phr , soybean oil 2 phr and epolene wax 5 phr. Aspergillus niger showed to be the best organism for degrading plastics.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ. ดร. นิพนธ์ วงศ์วิเศษวิกุล อ. พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และ
รศ.ดร.คุณธิ ชนะบริพันธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและการช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษ
นี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณคณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยตรวจสอบ และแก้ไข
โครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาภาควิชาเคมี และชีววิทยาประยุกต์
ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พลพัฒน์ รวมเจริญ

ประพัฒน์ ทักกาญจนะ

19 มี.ค. 35

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อโครงการงานพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาพลาสติกกับสิ่งแวดล้อม	1
1.2 ปัญหามลภาวะจากขยะพลาสติก	1
1.3 แนวทางในการแก้ไขปัญหาจากขยะพลาสติก	6
1.4 การใช้ไบโอมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในพลาสติก	8
1.5 ความเป็นมาของโครงการงานพิเศษ	8
1.6 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย	9
1.7 วิธีการดำเนินงานโดยย่อ	9
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	10
บทที่ 2 ทฤษฎี	11
2.1 แป้ง	11
2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแป้ง	15
2.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์เซชัน	18
2.4 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก	21
2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา (Biodegradation by Fungi)	22
2.6 เสถียรภาพของพลาสติก	23
2.7 ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้	25
2.7.1 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (photodegradable plastics)	25
2.7.2 พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)	27

2.7.3 พลาสติคที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ	30
บทที่ 3 การทดลองและการดำเนิน	31
3.1 สารเคมีที่ใช้	31
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	32
3.3 วิธีการทดลอง	33
3.3.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับ เมทิลเมทาอะคริเลต	33
3.3.2 การเตรียมแป้งมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงความเป็นตัวโดยใช้สาร เฮกซะเมทิลไดไอโซไซยาเนต	34
3.3.3 การหาปริมาณความชื้นของแป้ง	35
3.3.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งพอลิเมอร์ร่วม และแป้งที่ได้รับ การปรับปรุงคุณภาพเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง	35
3.3.5 การเตรียมสารตัวเติม	35
3.3.6 การผสมสูตรพลาสติค	36
3.3.7 การขึ้นรูปพลาสติค	38
3.3.8 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติค	40
3.3.9 การศึกษาความสามารถในการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน	41
3.3.10 การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปพลาสติค	41
3.3.11 การทดสอบคุณสมบัติความสามารถในการย่อยสลายโดยใช้จุลินทรีย์	42
3.3.12 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการทดสอบด้วยจุลินทรีย์โดยสังเกตจาก ลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนไป	44
3.3.13 ทดสอบหาเชื้อที่ปนเปื้อนในจานเพาะเชื้อ	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	45
4.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์ เมทิลเมทาอะคริเลต	45
4.2 การปรับปรุงสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้สารเฮกซะเมทิล ไดไอโซไซยาเนต (HMDI)	45
4.3 การหาปริมาณความชื้นของแป้ง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4	การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งพอลิเมอร์รวมและแป้งที่ได้รับการปรับปรุงสภาพความเป็นฉนวนเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง	46
4.4.1	การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ	46
4.4.2	การตรวจสอบลักษณะรูปร่างของแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์รวมของแป้งมันสำปะหลัง	50
4.5	การเตรียมสารตัวเติม	51
4.6	การผสมสูตรพลาสติก	51
4.7	การขึ้นรูปพลาสติก	55
4.8	การศึกษาการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Dispersibility)	57
4.9	การทดสอบสมบัติเชิงกล	62
4.9.1	การทดสอบความทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	62
4.9.2	การทดสอบค่าความแข็งของพลาสติก	72
4.10	การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของพลาสติก	74
4.11	การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์	77
4.12	การทดสอบหาเชื้อปนเปื้อนในจานเพาะเชื้อ	84
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
5.1	สรุปผลการวิจัย	86
5.2	ข้อเสนอแนะ	87
	เอกสารอ้างอิง	88
	ภาคผนวก	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณการผลิตพลาสติกของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522-2532	4
รูปที่ 1.2 แผนภาพแสดงวิธีการแก้ปัญหาภาวะจากพลาสติก	6
รูปที่ 2.1 กระบวนการโม่แบบเปียก แยกข้าวโพดเป็นผลผลิตต่าง ๆ รวมถึง starch	11
รูปที่ 2.2.1 แสดงรูปขยายของเม็ดแป้งข้าวเจ้า	12
รูปที่ 2.2.2 แสดงรูปขยายของเม็ดแป้งข้าวโพด	13
รูปที่ 2.2.3 แสดงรูปขยายของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง	13
รูปที่ 2.2.4 แสดงรูปขยายของเม็ดแป้งข้าวสาลี	14
รูปที่ 2.2.5 แสดงรูปขยายของเม็ดแป้งมันฝรั่ง	14
รูปที่ 2.3 แสดงการ retrogradation	16
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน (amylopectin)	17
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้ง	19
รูปที่ 2.6 การเริ่มต้นปฏิกิริยาของกราฟท์โคพอลิเมอร์เซชันโดยซีริกแอมโมเนียมไนเตรด	20
รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยาการสลายตัวโดยแสงของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและคาร์บอนมอนอกไซด์ (ethylene / carbon monoxide copolymer)	25
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมตัวใหม่ที่ประกอบด้วยหมู่เอไมด์และยูรีเทน	28
รูปที่ 2.10 แสดงแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผสมแป้ง 15 % ก่อนการย่อยสลาย และหลังการย่อยสลายเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยเชื้อรา ของบริษัท St. Lawrence Starch	29
รูปที่ 3.1 แสดงการจัดอุปกรณ์การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาอะคริเลต	34
รูปที่ 3.2 แสดงภาพเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง	38
รูปที่ 3.3 แสดงภาพเครื่องอัดรีด	39
รูปที่ 3.4 แสดงภาพเครื่องโพลาริไรซ์ไมโครสโคป	41
รูปที่ 3.5 แสดงภาพของเครื่อง Extrusion Plastometer	42

รูปที่ 4.1	แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิค KBr disc	47
รูปที่ 4.2	แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับ เมทิลเมทาอะคริเลต โดยใช้เทคนิค KBr disc	48
รูปที่ 4.3	แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งไฮโดรไลซายาเนตที่ HMDI 15 % โดยใช้ เทคนิค KBr disc	49
รูปที่ 4.4	ภาพแสดงรูปร่างของแป้งมันสำปะหลัง จากกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 5 องศา	50
รูปที่ 4.5	ภาพแสดงรูปร่างของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังจากกล้องโพลาไรซ์ ไมโครสโคปกำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 50 องศา	51
รูปที่ 4.6	ภาพแสดงการเปลี่ยนสีเนื่องจากเกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ร่วมของแป้ง มันสำปะหลังกับเมทิลเมทาอะคริเลตที่อุณหภูมิห้อง, 140 °C และ 190 °C	54
รูปที่ 4.7	ภาพแสดงลักษณะของการกระจายตัวของสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงทั้ง 10 สูตร โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90 องศา	57
รูปที่ 4.8	ภาพแสดงลักษณะของการกระจายตัวของสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำทั้ง 10 สูตร โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90 องศา	58
รูปที่ 4.9	แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดครากของพลาสติก HDPE	64
รูปที่ 4.10	แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดครากของพลาสติก LDPE	66
รูปที่ 4.11	แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาดของพลาสติก HDPE	67
รูปที่ 4.12	แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาดของพลาสติก LDPE	69
รูปที่ 4.13	แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก HDPE	70
รูปที่ 4.14	แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก LDPE	71
รูปที่ 4.15	ภาพแสดงลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจาก กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90° ของสไลด์ที่ 1-8	79
รูปที่ 4.16	ภาพแสดงลักษณะของเชื้อที่ปนเปื้อนเข้ามาในงาน ขณะทำการทดสอบ การย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า	85

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณขยะมูลฝอยในเขตกรุงเทพมหานครที่ประเมินในช่วงปี 2530 - 2534	2
ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก	3
ตารางที่ 1.3 แสดงชนิดของผลิตภัณฑ์พลาสติก (หน่วย : ตัน)	5
ตารางที่ 2.1 แสดงถึงจุลินทรีย์ที่สำคัญบางชนิดและเอนไซม์ที่สามารถผลิตได้	23
ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมในพลาสติกแต่ละสูตร	37
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความชื้นของแป้งแต่ละชนิด	46
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ทำการผสมสูตรแล้ว	52
ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการขึ้นรูป	55
ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผ่านการขึ้นรูป	56
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูตรต่าง ๆ	62
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสูตรต่าง ๆ	63
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งของพลาสติกพอลิเอทิลีนสูตรต่าง ๆ	72
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าครรชนีการไหลของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูตรต่าง ๆ	74
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าครรชนีการไหลของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสูตรต่าง ๆ	75
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละสัปดาห์	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาพลาสติกกับสิ่งแวดล้อม

พลาสติก เป็นวัสดุที่รู้จักกันแพร่หลายในปัจจุบัน สิ่งต่าง ๆ รอบตัวเราที่นำมาใช้งาน และพบเห็นกันในชีวิตประจำวัน ล้วนทำมาจากพลาสติก หรือมีพลาสติกเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น ยิ่งนับวันการนำพลาสติกมาใช้ประโยชน์ก็ยิ่งมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง ได้แก่ สามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานเทียบเท่าโลหะหรือคอนกรีต ทำให้อ่อนนุ่มและมีความยืดหยุ่นเหนียวทนทานหรือทำให้ใสเหมือนแก้วก็ได้ นอกจากนี้พลาสติกส่วนใหญ่ยังสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี หรือทนน้ำมันได้ ซึ่งนับว่ามีคุณสมบัติที่ดีและมีประโยชน์มหาศาล พลาสติกมีราคาถูก สามารถนำไปผลิตเป็นเครื่องมือเครื่องใช้ได้ง่าย อาจกล่าวได้ว่า พลาสติกเป็นสัญลักษณ์อย่างหนึ่งของความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของมนุษย์ในปัจจุบัน

ดังนั้นเมื่อมีการนำพลาสติกมาใช้เพิ่มขึ้นทุกวัน ทั้งในด้านปริมาณและชนิดของพลาสติก จึงก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา สำหรับปัญหาที่เกิดจากพิษของพลาสติกโดยตรงนั้นแทบไม่มีการระมัดระวังและควบคุมกันอย่างถูกต้อง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ทำให้เสื่อมสภาพหรือทำลายได้ยากในสภาวะแวดล้อม ด้วยเหตุที่พลาสติกมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ฉะนั้นถ้าไม่มีการควบคุมการใช้พลาสติกหรือไม่หาหนทางกำจัดพลาสติกที่ไม่ต้องการออกไปบ้าง ในที่สุดพื้นโลกอาจจะปกคลุมไปด้วยพลาสติก และเกิดเป็นปัญหามันมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัญหาในการกำจัดพลาสติกจึงเป็นปัญหาที่สมควรได้รับความสนใจ และหาทางแก้ไข

1.2 ปัญหามลภาวะจากขยะพลาสติก

ในประเทศไทยปัญหาเรื่องขยะพลาสติกยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกวัน เนื่องจากในปัจจุบันมีขยะพลาสติกที่รอการทำลายอยู่เป็นจำนวนมาก และหากไม่มีวิธีการแก้ไขที่เหมาะสม

ปัญหาดังกล่าวก็จะยิ่งทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น เพราะในแต่ละวันกรุงเทพมหานครจะมีขยะเกิดขึ้นถึงประมาณ 5,000 ตัน/วัน ซึ่งในจำนวนนี้เป็นขยะพลาสติกถึงร้อยละ 12 - 13 หรือประมาณ 500-600 ตัน/วัน ซึ่งรอการกำจัดและนับวันจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ปริมาณขยะมูลฝอยในเขตกรุงเทพมหานครในช่วงปี 2530 - 2534 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณขยะมูลฝอยในเขตกรุงเทพมหานครที่ประเมินในช่วง
ปี 2530 - 2534

ปี	(1) จำนวนประชากร (ล้านคน)	ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน/วัน)				
		(2) ปริมาณทั้งหมด	(3) ปริมาณที่เก็บ	ปริมาณที่ไม่ได้เก็บ	(4) ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์	(5) ปริมาณที่ต้องกำจัด
2530	5,972	5,076	3,860	1,216	110	3,750
2531	6,115	5,198	3,950	1,248	110	3,840
2532	6,256	5,318	4,040	1,278	100	3,940
2533	6,396	5,437	4,130	1,307	100	4,030
2534	6,527	5,548	4,220	1,328	100	4,120

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

หมายเหตุ: (1) ข้อมูลจากอนุกรรมการนโยบายและวางแผนประชากร สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2528 (รวมประชากรนอกทะเบียน)

(2) คิดจากปริมาณขยะมูลฝอย 0.85 กก./คน/วัน

(3) คิดจากจำนวนประชากรที่รับบริการ ร้อยละ 80 และประสิทธิภาพของการเก็บขยะ ร้อยละ 95 ในปริมาณขยะที่จัดเก็บทั้งหมดนี้ ประมาณว่าเป็นขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12-13

(4) กองนโยบายและแผน 1 กทม.

(5) ปริมาณที่ต้องกำจัด = ปริมาณที่เก็บ - ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์

บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วจะเป็นที่น่าสนใจเป็นพิเศษ และมักถูกกล่าวถึงในเชิงลบว่าเป็นต้นเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเติบโตของอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีเด่นหลายประการของพลาสติก โดยเฉพาะต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และคุณสมบัติที่หลากหลายของพลาสติกที่สามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภท ประกอบกับความต้องการบรรจุภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นในอัตราสูง ทำให้การใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 25 จากปริมาณ 117,400 ตันในปี 2531 ไปเป็น 146,750 ตัน ในปี 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคาดว่าในปีต่อ ๆ ไปจะมีการขยายตัวในอัตราใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม การที่บรรจุภัณฑ์พลาสติกได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายและปริมาณการใช้ก็เพิ่มขึ้นอย่างไม่หยุดยั้ง ได้ส่งผลทำให้เกิดปัญหามลภาวะตามมาซึ่งกระทบต่อสภาวะแวดล้อม เนื่องจากมีขยะอันเกิดจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้วเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากเป็นต้นเหตุของปัญหาที่ระบายน้ำอุดตัน ทำให้แม่น้ำลำคลองสกปรกและตื้นเขิน นอกจากนี้ยังมีขยะที่ทับถมกันอยู่บนดินและใต้พื้นดินอีกเป็นจำนวนมากไม่น้อย

ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก

ประเภท \ ปี	2527	2528	2529	2530	2531	2532
ถุง/ซอง	25,000 (49.9)	46,950 (63.6)	52,170 (64.5)	61,100 (65.1)	75,594 (64.4)	94,492 (64.4)
ขวด	2,918 (5.8)	3,076 (4.2)	3,242 (4.0)	3,500 (3.7)	4,661 (4.0)	5,826 (4.0)
หลอด	230 (0.5)	245 (0.3)	260 (0.3)	280 (0.3)	376 (0.3)	470 (0.3)
กล่อง	172 (0.4)	192 (0.2)	215 (0.3)	240 (0.3)	305 (0.3)	382 (0.3)
ถัง	4,514 (9.0)	4,632 (6.3)	4,752 (5.9)	4,930 (5.2)	6,809 (5.8)	8,512 (5.8)
ตะกร้า/ถัง	2,769 (5.5)	2,783 (3.8)	2,798 (3.5)	2,820 (3.0)	4,003 (3.4)	5,004 (3.4)
กระป๋อง	107 (0.2)	113 (0.2)	120 (0.1)	125 (0.1)	164 (0.1)	205 (0.1)
โฟม	1,072 (2.1)	1,161 (1.6)	1,250 (1.5)	1,625 (1.7)	1,902 (1.6)	2,377 (1.6)
กระสอบ	13,296 (26.6)	14,626 (19.8)	16,089 (19.9)	19,300 (20.6)	23,586 (20.1)	29,482 (20.1)
รวม	50,078 (100.0)	73,778 (100.0)	80,896 (100.0)	93,920 (100.0)	117,400 (100.0)	146,750 (100.0)
อัตราการขยายตัว (ร้อยละ)	22.4	47.3	9.7	16.1	25.0	25.0

ที่มา : 1) ปี 2527-2529 รายงานเรื่องอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ของ ดร.อภิสิทธิ์ อิศริยานุกุล

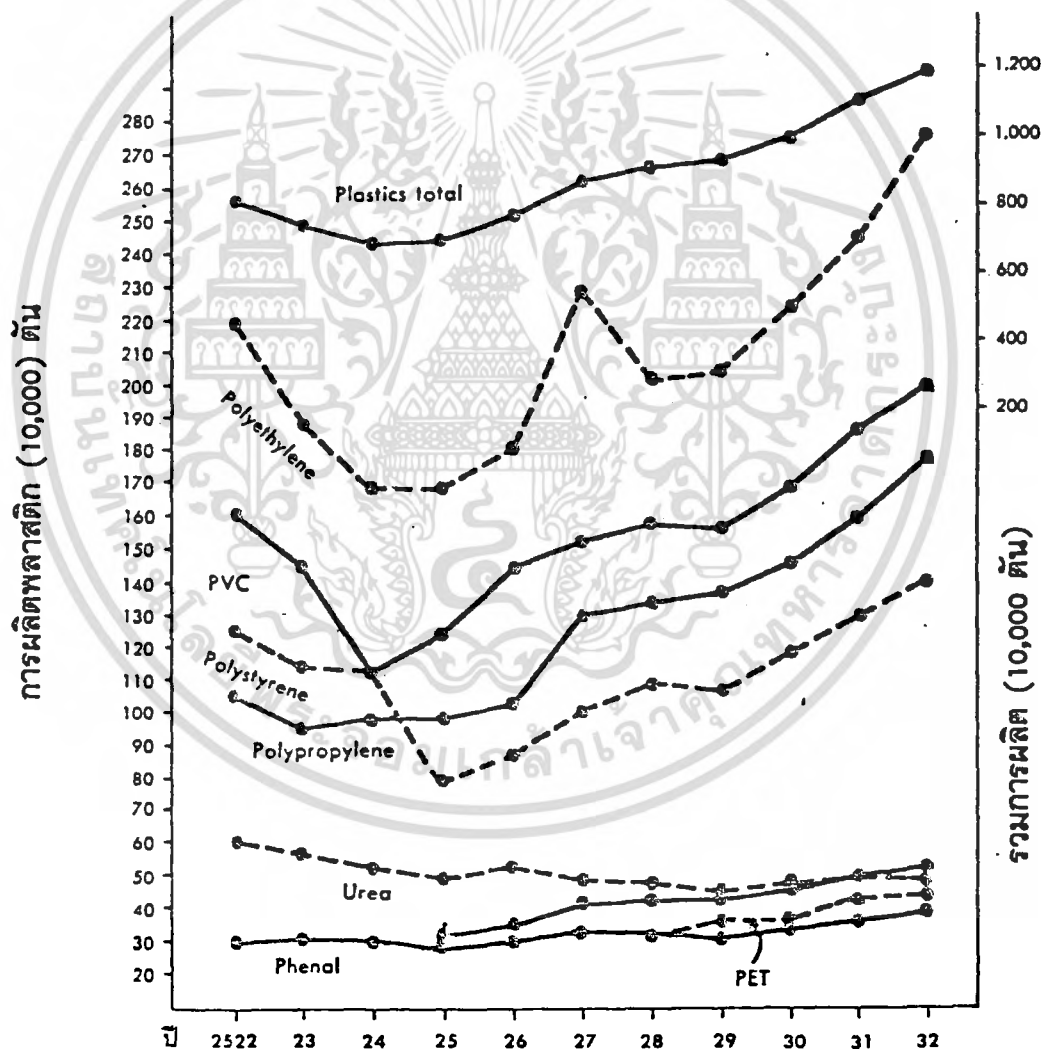
2) ปี 2530 ประมาณการโดย ธนาคารแห่งประเทศไทย

3) ปี 2531-2532 ประมาณการโดยฝ่ายวิชาการ ธนาคารกสิกรไทย

หมายเหตุ : ตัวเลขในวงเล็บหมายถึงสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ เมื่อเทียบกับปริมาณบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเดียวกันในต่างประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่น การผลิตพลาสติกได้เริ่มจากการพัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยในปี พ.ศ. 2532 มีการผลิตพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน 2.71 ล้านตัน คิดเป็น 22.7% พอลิไวนิลคลอไรด์ 1.97 ล้านตัน คิดเป็น 16.5% พอลิพรอพิลีน 1.71 ล้านตัน คิดเป็น 14.3% และพอลิสไตรีน 1.36 ล้านตัน คิดเป็น 11.4% เมื่อมีการรวมการผลิตพลาสติกหลัก 4 ชนิดนี้เท่ากับ 7.75 ล้านตัน หรือคิดเป็น 65% ของกำลังการผลิตพลาสติกทั้งหมดของประเทศญี่ปุ่นดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณการผลิตพลาสติกของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2522 - 2532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีการใช้มากที่สุดในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ พลาสติก เป็น 1.55 ล้านตัน ที่มีใช้รองลงมาคือ ชิ้นงานพลาสติก 730,000 ตัน และท่อพลาสติก 520,000 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงชนิดของผลิตภัณฑ์พลาสติก (หน่วย : ตัน)

ผลิตภัณฑ์		ปี พ.ศ. 2531	ปี พ.ศ. 2532
ฟิล์ม	การเกษตร	157,809	161,898
	บรรจุภัณฑ์	846,943	925,717
	ลามิเนต	132,979	138,149
	อื่นๆ	237,324	242,391
	อ้วน	1,375,055	1,468,155
	แข็ง	76,253	80,579
การบรรจุ	โพลีโมลด์	170,240	167,503
	อื่นๆ	62,059	58,943
	ท่อ	505,466	552,146
	ชิ้นส่วนเครื่องจักร	705,120	734,610
	ผลิตภัณฑ์โปรไฟล์	59,443	66,302
	หนังเทียม	183,807	190,884
	ซีท	326,661	340,715

จากข้อมูลดังกล่าวมาแล้วทั้งหมด จะเห็นได้ว่าปัญหาขยะพลาสติกในปัจจุบันนี้ สมควรที่หลายฝ่ายจะให้ความสำคัญร่วมกันแก้ไข โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมพลาสติกไทยประกาศตัวว่าจะเป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่ และมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างมาก ซึ่งจะทำให้ขยะพลาสติกเพิ่มปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วย

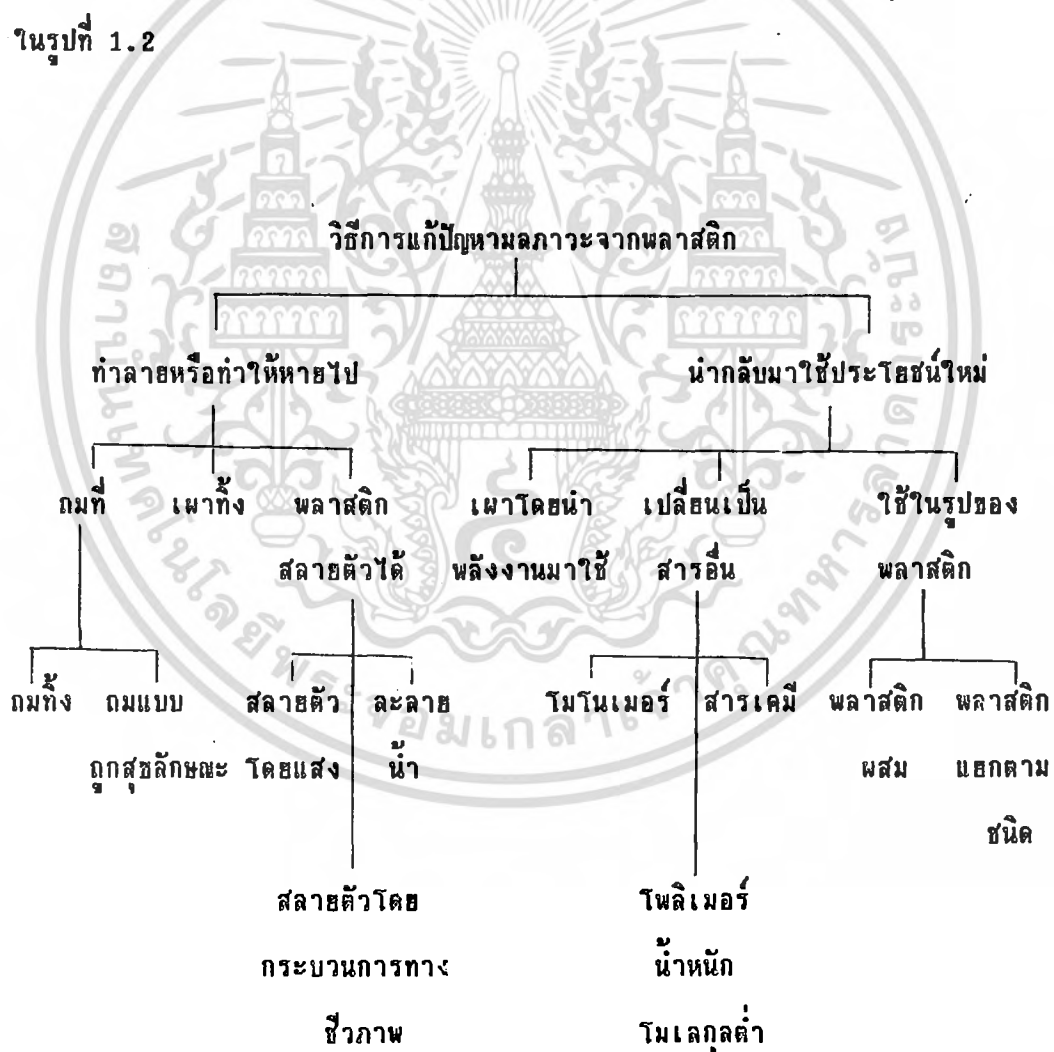
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แนวทางในการแก้ไขปัญหาภาวะจากขยะพลาสติก

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ปัญหาภาวะที่เกิดขึ้นจากพลาสติกนั้นยิ่งจะเพิ่มความรุนแรงขึ้นทุกวัน การแก้ไขปัญหาภาวะจากขยะพลาสติก ได้แก่ การกำจัดขยะมูลฝอยพลาสติกในสิ่งแวดล้อมและการกำจัดพลาสติกให้หมดไป และในการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้ 3 แนวทางคือ

1. การทำลายหรือทำให้หายไป
2. การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่
3. ลดปริมาณการใช้พลาสติกลงโดยหาวัสดุธรรมชาติทดแทน

แต่ละแนวทางของการแก้ปัญหาอาจทำได้โดยวิธีที่แตกต่างกันหลายวิธี ดังสรุปเป็นแผนภาพในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนภาพแสดงวิธีการแก้ปัญหาภาวะจากพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดพลาสติกโดยการทำให้เสื่อมสลายไปสามารถทำได้ 3 วิธี

1. การนำไปถมที่ว่างเปล่า

วิธีการนี้เป็นการกำจัดขยะที่ใช้กันอยู่แล้วเป็นส่วนมาก (ประมาณ 80%) เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และถ้าหากทำอย่างสุจริตก็คือใช้แผ่นพลาสติกปูรองพื้นที่ถมขยะเสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเป็นพิษต่อแหล่งน้ำใต้ดิน แล้วใช้แผ่นพลาสติกคลุมและใช้ดินทับอีกชั้นหนึ่ง

ข้อเสียของการกำจัดขยะวิธีนี้ คือ พื้นที่ที่ถมมักเกิดปัญหาเรื่องการสูดตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นพื้นที่สำหรับการก่อสร้าง การบดอัดขยะพลาสติกให้เป็นชั้นเล็กลงก่อนอาจจะช่วยลดปัญหาได้บ้าง แต่เท่ากับว่าเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย

2. การนำไปเผาทั้ง

วิธีการนี้เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วในการกำจัดขยะพลาสติก และมีการใช้อยู่แล้วอย่างกว้างขวาง เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้ดี และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษตามมาหากทำอย่างถูกต้อง

ข้อเสียของวิธีการกำจัดพลาสติกโดยการเผาทั้ง นอกจากจะต้องสร้างเตาเผาอย่างถูกต้อง ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นแล้ว ข้อเสียใหญ่ก็คือ อาจมีก๊าซพิษเกิดขึ้นหากในขยะมีพลาสติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยคลอรีน เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน เช่น พอลิยูรีเทน พอลิเอไมด์ หรือเรซินเมลามีนปนอยู่ด้วย พอลิไวนิลคลอไรด์จะให้ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ออกมาเมื่อเผาไหม้ ส่วนพลาสติกที่มีไนโตรเจนจะให้ก๊าซแอมโมเนีย และไฮโดรเจนไซยาไนด์

3. ทำให้พลาสติกสลายตัวได้

วิธีการนี้หมายถึง การทำให้พลาสติกสลายตัวได้เองในธรรมชาติเหมือนขยะประเภทอื่น ๆ ในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ สิ่งที่จะช่วยทำให้พลาสติกสลายตัวได้ก็คือ แสง น้ำ และจุลินทรีย์ ฉะนั้นพลาสติกที่จะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ อาจทำได้โดยการทำให้เป็น

1. พลาสติกที่สลายตัวโดยแสง (Photodegradable plastic)
2. พลาสติกที่สลายตัวโดยกระบวนการทางชีวภาพ (Biodegradable plastic)
3. พลาสติกที่สลายตัวโดยวิธีการอื่น ๆ เช่น พลาสติกละลายน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในพลาสติก

ปัจจุบันวิธีการแก้ไขปัญหามลพิษพลาสติกในประเทศไทยแนวทางหนึ่ง ควรจะมีการส่งเสริมให้ทำการศึกษาผลิตพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ ซึ่งเป็นวิธีการที่มากวิธีการหนึ่ง โดยเฉพาะการศึกษาเพื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาปรับปรุงสมบัติ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก เพราะประเทศไทยสามารถผลิตมันสำปะหลังได้เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลข่าวเศรษฐกิจการเกษตร ปีที่ 36 ฉบับที่ 407 เดือนตุลาคม 2533 พบว่าราคาเมื่อเดือนกันยายน 2533 ราคาภิโกลกรัมละ 5.35 บาท จะเห็นได้ว่าราคาแป้งมันสำปะหลังจะใกล้เคียงกับราคาสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต แต่เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต นั้นหมายถึง เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังมาเติมในพลาสติกจะทำให้น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรน้อยกว่าเมื่อเติมด้วยสารตัวเติมที่ได้จากสินแร่ต่างๆ ดังนั้นรัฐบาลควรจะทำให้ความสนใจให้ทุนสนับสนุนการค้นคว้าวิจัย เพื่อผลิตสารตัวเติมจากแป้งมันสำปะหลัง เพราะนอกจากจะช่วยทำให้ทำการศึกษาผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ และการลดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกแล้ว ยังเป็นการช่วยพัฒนาการใช้แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ ทำให้มีมูลค่าทางกาจัดจำหน่ายได้มากขึ้น นับเป็นการส่งเสริมการใช้วัตถุดิบที่มีในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.5 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

สืบเนื่องจากปีการศึกษา 2534 ทางภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีโครงการพิเศษในหัวข้อเรื่อง การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งประสบความสำเร็จในการจัดทำโครงการในครั้งนั้น และจากข้อมูลดังที่กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมา พบว่าปริมาณการใช้พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดต่าง ๆ อันได้แก่ พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งถ้าหากนำมาปรับปรุงคุณสมบัติ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบราคาถูกเป็นสารตัวเติม เพื่อช่วยทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ นับเป็นวิธีการที่ส่ววิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

การค้นคว้าวิจัยเพื่อผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพนี้ นับเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ตลาดของพลาสติกชนิดนี้ค่อนข้างใหม่ และนับวันจะมี

ความสำคัญมากขึ้น แต่การค้นคว้าวิจัยยังมีค่อนข้างจำกัด ปัจจุบันในต่างประเทศ ได้มีบริษัทต่าง ๆ ทำการผลิตพลาสติกชนิดนี้ออกมาแล้วในทางการค้า แต่มีการผลิตค่อนข้างน้อย และราคาต้นทุนการผลิตยังสูงอยู่มาก ดังนั้นภาควิชาเคมี จึงได้ริเริ่มโครงการงานพิเศษ การผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ โดยใช้พลาสติกพอลิเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด คือ พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเปลี่ยนวิธีการในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นสารตัวเติม และเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกที่ผลิตขึ้นเพื่อให้มีข้อมูลมากขึ้น ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติก และช่วยรักษาสິงแวดล้อมให้ดีขึ้น

1.6 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแป้งมันสำปะหลัง โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาอะคริเลต และแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงโดยใช้ hexamethylene diisocyanate เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และชนิดความหนาแน่นต่ำ
2. เปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติในการขึ้นรูปของพลาสติกพอลิเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด จากการปรับปรุงสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง เพื่อทำการศึกษาลักษณะสมบัติที่ให้คุณภาพผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ดี มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งาน
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกผสมสูตร

1.7 วิธีการดำเนินงานโดยย่อ

1. สังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต
2. ปรับปรุงสมบัติความเป็นชีวของแป้งมันสำปะหลังด้วย hexamethylene diisocyanate (HMDI)
3. นำพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต และแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงด้วย hexamethylene diisocyanate (HMDI) แล้ว มาปรับปรุงสมบัติ โดยใช้สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีนทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผสมสูตรพลาสติกให้มีส่วนผสมตามที่กำหนดไว้ และหาสภาวะที่ใช้ในการผสม
สูตรที่เหมาะสม

5. ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของพลาสติกผสมสูตร ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ค่า
เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และความแข็ง

6. ทดสอบความสามารถในการขึ้นรูป

7. ทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

8. ศึกษาความสามารถในการกระจายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (dispersibility)
ของสารตัวเติม โดยใช้เครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (polarize microscope)

9. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะหลังการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดย
เชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้เครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากขยะพลาสติก
2. นำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตร ที่ผลิตได้มากมายในประเทศ
และมีราคาถูก มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ทฤษฎี

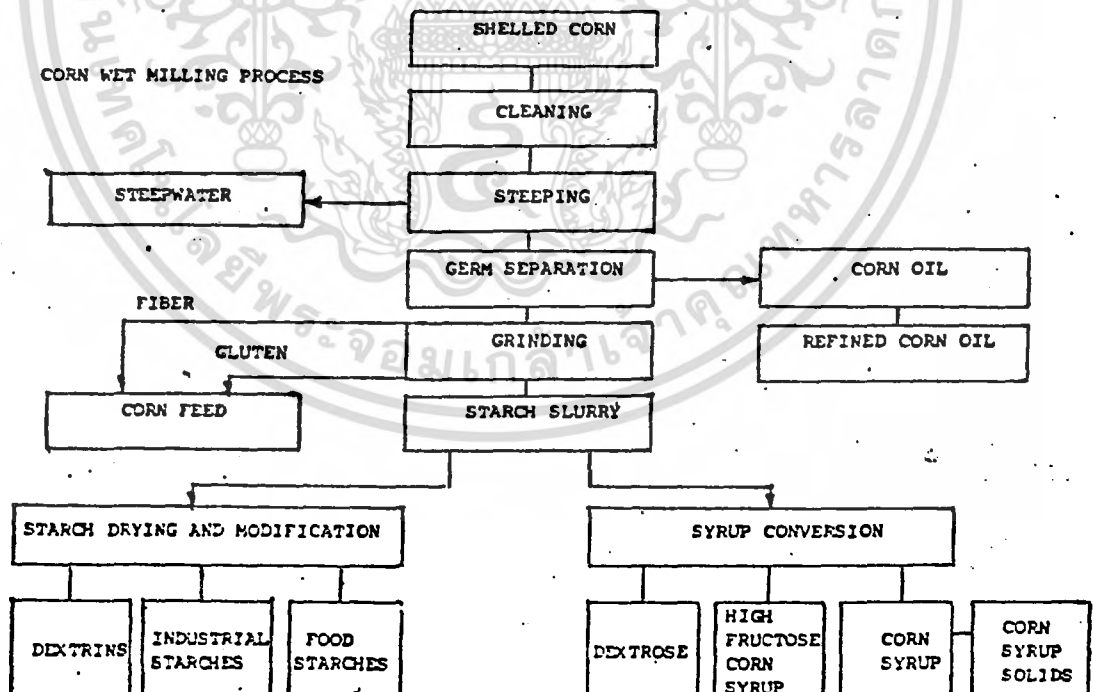
2.1 แป้ง

แป้ง มีอยู่ในพืชแทบทุกชนิด ไม่ละลายในน้ำเย็น เป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยหน่วยกลูโคส เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกายได้รับจากอาหาร

คุณสมบัติของแป้งสามารถที่จะแยกได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ

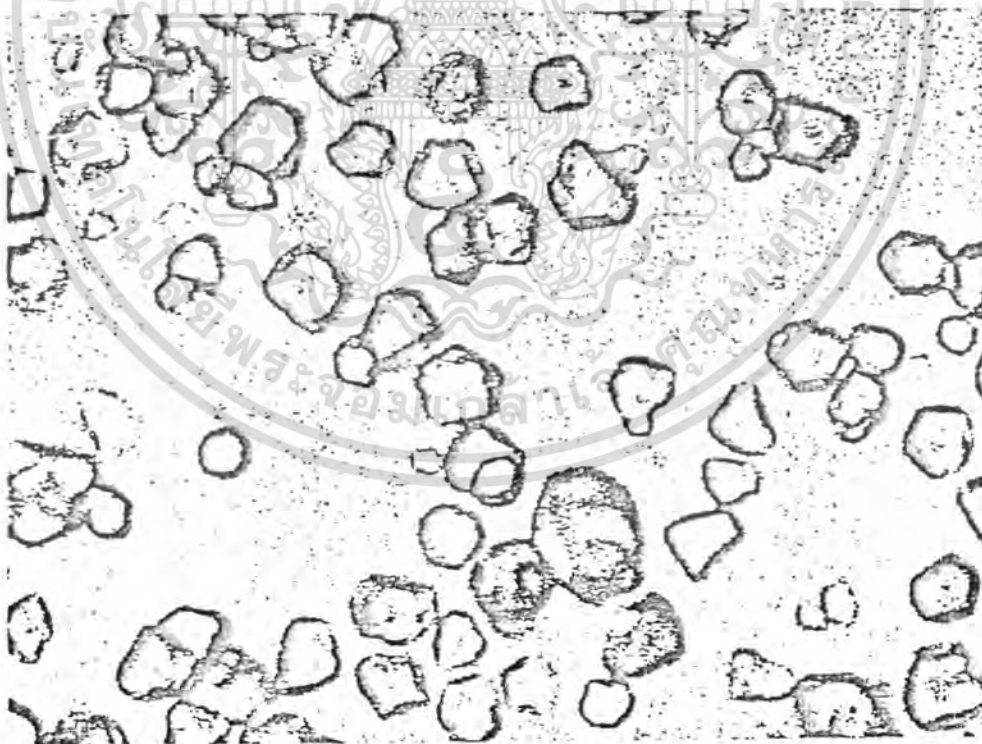
ก. starch ผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี พืชหัวชนิดต่าง ๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง กระบวนการผลิตจะต้องใช้วิธีแบบเปียก (wet grinding) ซึ่งจะทำให้แยก starch ออกมาได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ข. flour ผลิตได้จากการโม่แบบแห้ง flour จะมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ด้วย จึงทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างจาก starch



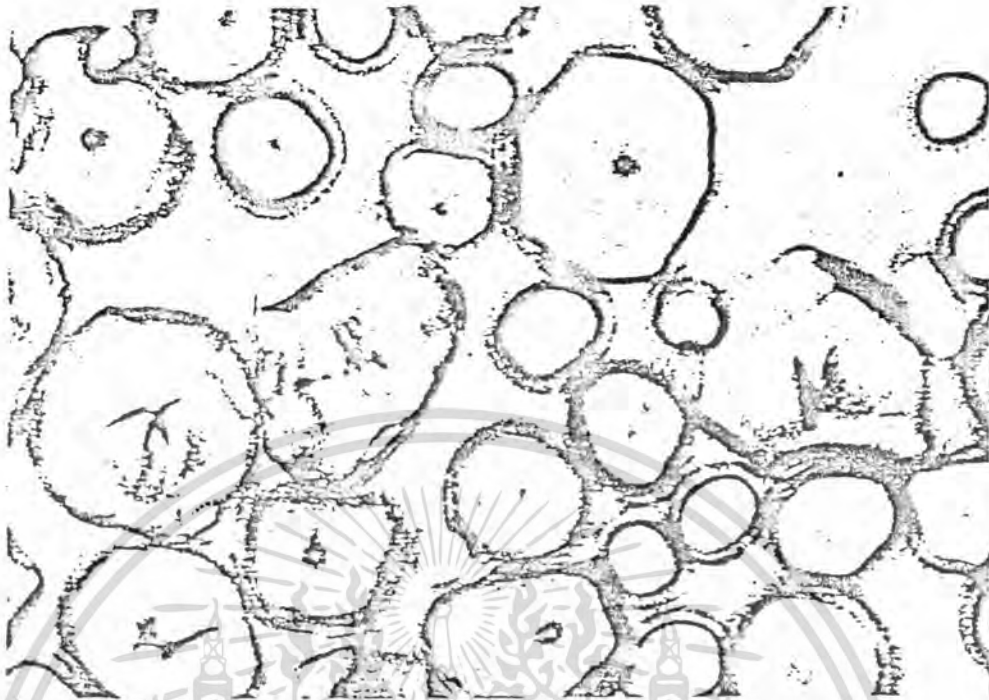
รูปที่ 2.1 กระบวนการโม่แบบเปียก แยกข้าวโพดเป็นผลผลิตต่าง ๆ รวมถึง starch

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งประเภท starch เม็ดแป้ง (starch granule) ไม่ละลายในน้ำเย็น เม็ดแป้งมีหลายขนาด และหลายรูปร่าง ขึ้นอยู่กับแหล่งของพืชที่ให้แป้ง เม็ดแป้งในรูปที่ 2.2.1 เป็นรูปลักษณะหลายเหลี่ยม (polygonal) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 ถึง 8 ไมครอน และมักจะรวมกันเป็นกลุ่มก้อน แป้งข้าวโพดหรือแป้งมอลต์ในรูปที่ 2.2.2 มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมและรูปทรงกลมมน ขนาดประมาณ 5 ถึง 25 ไมครอนหรือขนาดประมาณ 15 ไมครอนโดยเฉลี่ย แป้งมันสำปะหลังใน รูปที่ 2.2.3 โดยทั่วไปจะมีลักษณะกลมมน ซึ่งจะมีรอยตัดที่ปลายด้านใดด้านหนึ่ง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ไมครอน แต่มีช่วงของเส้นผ่าศูนย์กลางจาก 5 ถึง 35 ไมครอน แป้งข้าวสาลีใน รูปที่ 2.2.4 จะมีลักษณะเป็นรูปวงรี ซึ่งมักจะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนในช่วง 2 ขนาดอนุภาค คือ 2 ถึง 10 และ 20 ถึง 35 ไมครอน แป้งมันฝรั่ง รูปที่ใน 2.2.5 มีขนาดเม็ดใหญ่ที่สุดในบรรดาแป้งทั้งหมด มีลักษณะเป็นรูปวงรีคล้ายไข่ และขนาดอนุภาคประมาณ 15 ถึง 100 ไมครอน

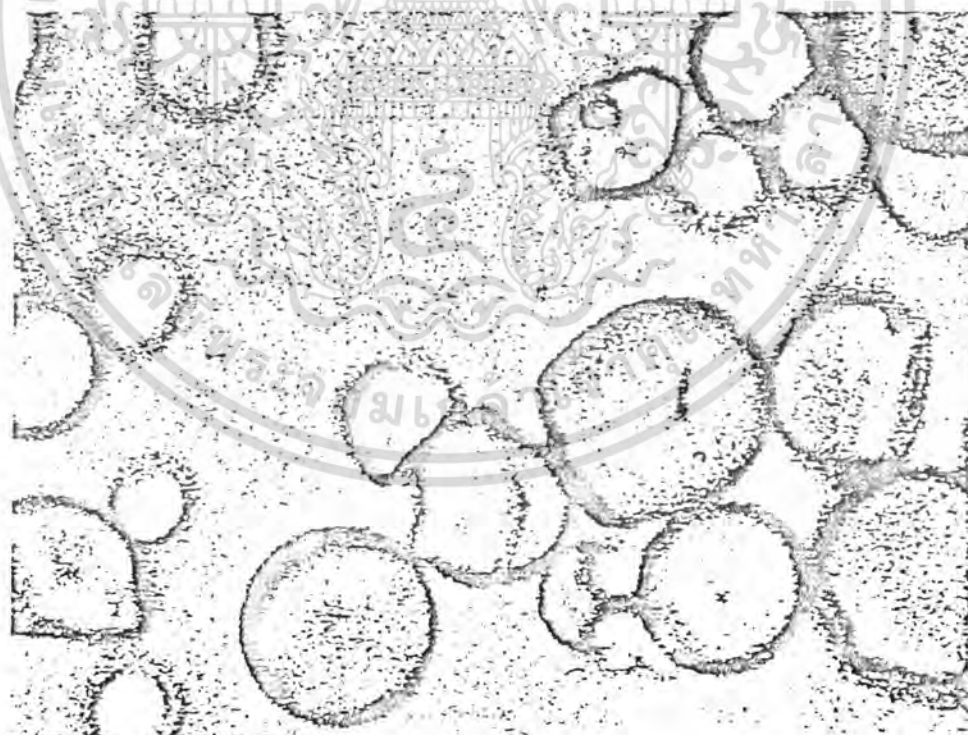


รูปที่ 2.2.1 แสดงรูปถ่ายของเม็ดแป้งข้าวเจ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

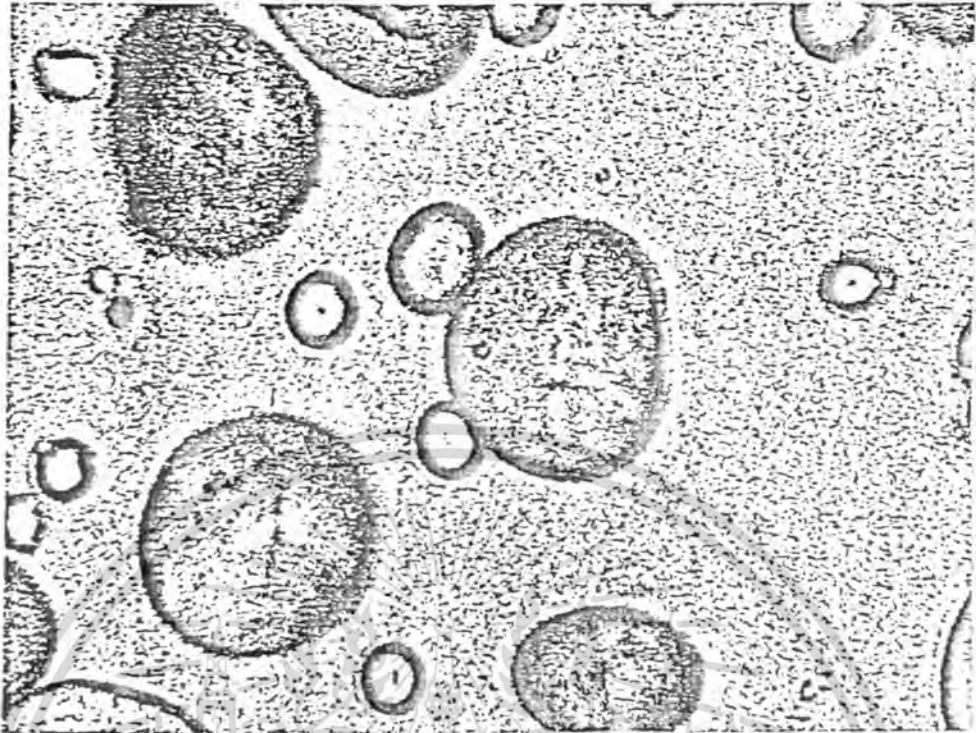


รูปที่ 2.2.2 แสดงรูปถ่ายของเม็ดแป้งข้าวโพด



รูปที่ 2.2.3 แสดงรูปถ่ายของเม็ดแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2.4 แสดงรูปขยายของเนื้อเยื่อพืช



รูปที่ 2.2.5 แสดงรูปขยายของเนื้อเยื่อพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 ($C_6H_{10}O_5$) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต หน่วยกลูโคสในสายโซ่สามารถแสดงได้เป็นหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส (AGU) ซึ่งเกิดจากพันธะโควาเลนต์เชื่อมโยงระหว่างกลูโคสในแต่ละหน่วย และทำให้โมเลกุลของน้ำถูกกำจัดออกไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น เนื่องจากแป้งที่พบอยู่ในต้นพืช ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ดังนั้นกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของโมเลกุลแป้ง จึงเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ หน่วยกลูโคสจะต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจนที่ติดกับอะตอมของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสหนึ่งกับอะตอมคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสถัดไป เกิดเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวขึ้น พันธะเชื่อมโยงระหว่างกลูโคสเรียกว่า พันธะกลูโคไซด์ (glucoside bond)

แป้งประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

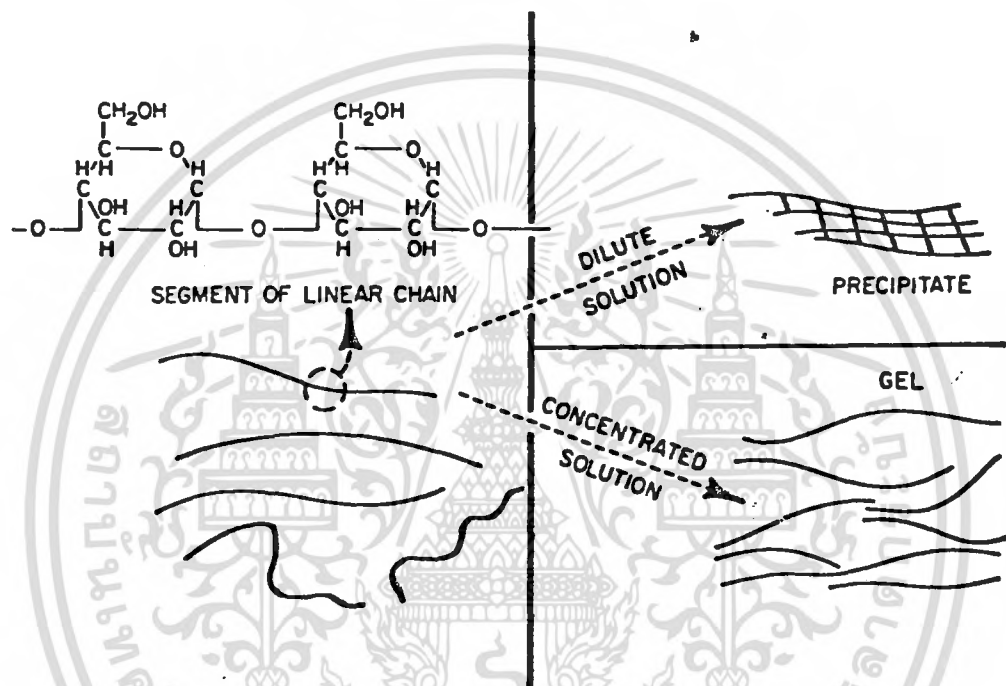
1. อะไมโลส (amylose) เป็นโมเลกุลที่เป็นสายตรง ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา (1 → 4)
2. อะไมโลเพกทิน (amylopectin) เป็นโมเลกุลที่มีโซ่สาขาแยกออก โดยจะประกอบไปด้วยหน่วยของกลูโคสซึ่งต่อกันด้วยพันธะ แอลฟา (1 → 4) เช่นเดียวกับอะไมโลส และมีโซ่สาขาที่แยกออกโดยมีพันธะ แอลฟา (1 → 6)

ในโมเลกุลของอะไมโลส (amylose) ปริมาณของหมู่ไฮดรอกซี (hydroxy) ในสายโซ่จะมีผลทำให้พอลิเมอร์นั้นมีสมบัติขบ้น้ำ อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะไมโลสรูปร่างเป็นเส้นตรง จึงทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ง่าย (mobility) และหมู่ไฮดรอกซีบนโมเลกุลของอะไมโลสมีแนวโน้มที่จะวางตัวในแนวขนานกัน และมีความใกล้ชิดกันพอที่จะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนดึงดูดกันระหว่างสายโซ่ ผลทำให้การละลายของพอลิเมอร์กับน้ำลดลง และเกิดเป็นสารละลายข้น ๆ

ในสารละลายเจือจาง ปริมาณของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่รวมกันอาจจะเพิ่มขึ้น ถึงจุดที่จะเกิดการตกตะกอน แต่ในกรณีที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ความเกะกะอาจจะรบกวนการวางตัวของสายโซ่ในแนวขนานกันระหว่างชั้นของพอลิเมอร์ ทำให้เกิดเป็นเจล ซึ่งประกอบด้วยโครงร่างตาข่าย 3 มิติ ในแต่ละด้านนั้นจะยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดเป็นฟิล์ม

ที่แข็งแรง

ปรากฏการณ์รวมตัวระหว่างสายโซ่อะไมโลสจะรู้จักกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า retro-degradation ดังแสดงในรูปที่ 2.3

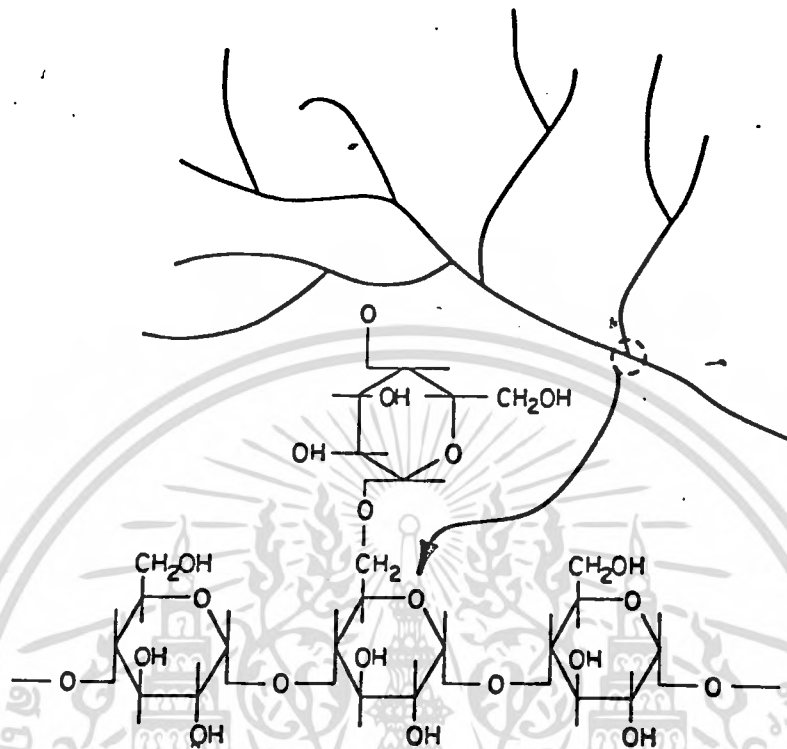


รูปที่ 2.3 แสดงการ retrodegradation

นอกจากนั้นโมเลกุลของอะไมโลสจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนและกับโมเลกุล hydrophilic และ hydrophobic segment เช่นเดียวกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ยาว เช่น กรดไขมัน อะไมโลสจะจัดเรียงตัวเป็นรูปเกลียวรอบ ๆ โมเลกุล จึงสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารละลายไฮโดรเจน ให้สีน้ำเงินเข้ม ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสในแป้งได้

อะไมโลเพกติน (amylopectin) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์แบบกิ่ง ที่เชื่อม ๗ คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 โดยพันธะ แอลฟา (1->6) ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของอะไมโลเพกติน (amylopectin)

กิ่งก้านขนาดใหญ่ของอะไมโลเพกตินจะลดความสามารถของพอลิเมอร์ในการเคลื่อน
ไหว และรบกวนการเกิดพันธะไฮโดรเจน ผลของมันทำให้เกิด aqueous solution
ของอะไมโลเพกติน ซึ่งไม่สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรงได้เหมือนอะไมโลส หากมันจะ
ไม่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินเข้ม

ส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะอยู่บนเม็ดแป้งในแวนน์รี เมื่อใดที่อะไมโล
เพกตินหรืออะไมโลส อยู่ในตำแหน่งที่ชนกัน ก็อาจจะเกิดพันธะไฮโดรเจนในระหว่างส่วน
ที่อยู่ชิดกัน ซึ่งทำให้เกิดเป็นไมเซลล์คริสตัลไลน์ (micellar crystallite) มีผลต่อการ
รวมเป็นเม็ด และมีผลต่อสมบัติของบาวฟริงเจนท์ เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องโพลาริซไมโคร-
สโคป จะแสดงถึงลักษณะของมอลเตสครอส (moltess cross) เช่นเดียวกับผลึก (crys-
talline) และตรวจสอบโครงสร้างด้วยเอกซ์เรย์ดิฟแฟกชันแพทเทิร์น (x - ray
diffraction pattern) องค์ประกอบของความเป็นระเบียบต่างกันจะให้สมบัติที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งมีลักษณะบางฟริ่งเจนนั่นหมายความว่า มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างเป็นระเบียบภายในเม็ดแป้ง โดยปราศจากการเกี่ยวข้องกับโครงสร้างผลึกแต่อย่างใด เมื่อเม็ดแป้งเกือบทั้งหมดแสดงลักษณะแอนไอโซทรอปิก (anisotropic) ซึ่งสมบัติเช่นนี้เกิดขึ้นในแป้งที่แตกต่างกันของแป้งที่มีปริมาณอะไมโดสอยู่มาก

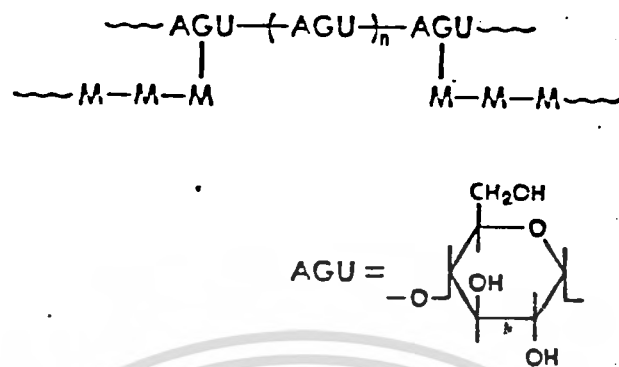
แป้งสามารถนำมาปรับปรุงคุณสมบัติได้ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ และกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้เอนไซม์ เพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้กว้างขวาง

ปัจจัยหลัก 5 ประการที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้ง ได้แก่

1. แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส
2. แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน 2 ชนิด คือ ชนิดที่โมเลกุลเป็นเส้นตรง เรียกว่าอะไมโดส และที่โมเลกุลเป็นโซ่สาขา เรียกว่าอะไมโลเพกทิน
3. โมเลกุลของแป้งเป็นเส้นตรงสามารถเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนได้ ทำให้มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ
4. โมเลกุลของแป้งจะอยู่ในรูปเม็ดแป้งที่ไม่ละลายน้ำ
5. การที่จะทำให้แป้งบวมตัวในน้ำ จะต้องทำให้โมเลกุลของแป้งที่อยู่ในรูปเม็ดแป้งแตกตัวออก

2.3 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของแป้ง (starch graft copolymer) เมื่อ AGU แทนหมู่กลูโคไพราโนสิด หรือแอนไฮโดรกลูโคส และ H แทนหน่วยที่ซ้ำกันของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน ความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ในปฏิกิริยาสามารถแสดงในหน่วยโมล ซึ่งก็คือโมลของ AGU นั้นเอง โดยจะสามารถคำนวณได้จากน้ำหนักโมเลกุลของ AGU (AGU น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 162)



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของกราฟท์โพลีเมอร์ของแป้ง

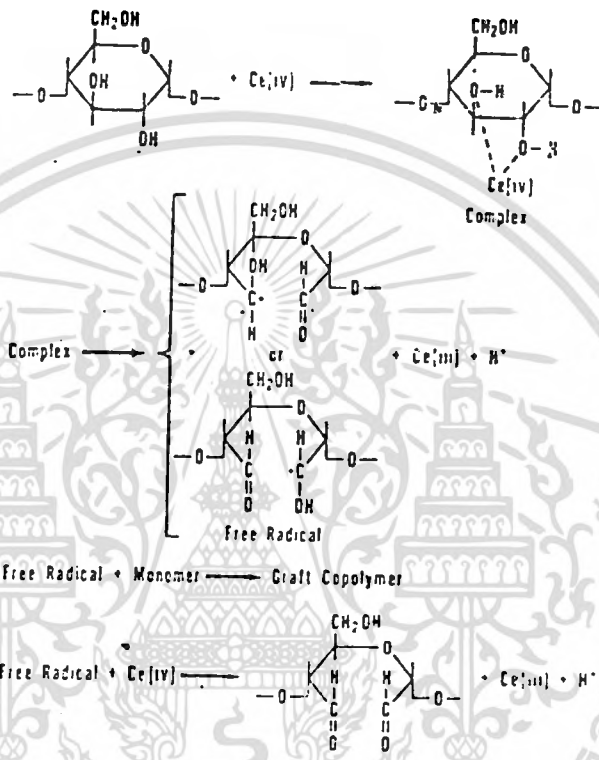
กราฟท์โพลีเมอร์ของแป้งสามารถเตรียมได้ โดยการทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ขึ้นบนโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มขนาดใหญ่ (macro initiator) สำหรับมอนอเมอร์ไวนิลและอะคริลิค ซึ่งทำให้โมเลกุลของแป้งเกิดโซ่สาขาที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

ปฏิกิริยากราฟท์โพลีเมอไรเซชันโดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระนั้น อัตราส่วนของหน่วย AGU ต่อสาขาโพลีเมอร์ที่มีต่อ (หรือความถี่ของการต่อโซ่สาขา) จะอยู่ในช่วงหลายร้อยถึงหลายพันหน่วย AGU ดังนั้นโมเลกุลของแป้งจะมีโซ่สาขาที่เกิดจากการต่อโซ่สาขาคู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความถี่ของการต่อโซ่สาขานบนโมเลกุลของแป้งสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของโพลีเมอร์ส่วนที่สังเคราะห์ขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโซ่สาขานบนโมเลกุลของแป้งสามารถหาได้ โดยการกระทำให้แป้งสลายตัวเป็นน้ำตาลโดยใช้กรดหรือเอนไซม์

ปฏิกิริยากราฟท์โพลีเมอไรเซชันบนโมเลกุลของแป้งโดยการทำให้เกิดอนุมูลอิสระจะใช้ระบบที่ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยา 2 ประเภท คือ ตัวริเริ่มทางเคมี และการริเริ่มปฏิกิริยาโดยการฉายรังสี สำหรับการริเริ่มปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่จะนำมาใช้ในปฏิกิริยา ตัวริเริ่มทางเคมีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ซีริกแอมโมเนียมไนเตรต

ปฏิกิริยาการกราฟท์โพลีเมอไรเซชันของซีริกแอมโมเนียมไนเตรต สามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.6 โดยในขั้นแรกแป้งจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับซีริกไอออน ทำให้ซีริก

ไฮดรอกซิลิกซ์ไปเป็นรีดิวซ์ ไฮโดรเจนอะตอมจะถูกออกซิไดซ์ และอนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง ขณะที่พันธะระหว่างคาร์บอนตัวที่ 2 และ 3 ของกลูโคสไพราโนสิด แยกออกจากกัน อนุมูลอิสระบนโมเลกุลของแป้ง จะทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ เพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยากราฟท์ โพลีเมอไรเซชัน หรืออาจจะกลายเป็นเกลือรีดิวซ์ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของแป้ง สามารถตรวจสอบโดยใช้ electron spin resonance



รูปที่ 2.6 การเริ่มต้นปฏิกิริยาของกราฟท์โพลีเมอไรเซชันโดยรีดิวซ์แอมโมเนียมไนเตรด เมื่อต่อสาขาโบนโมเลกุลของแป้งด้วยพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic polymer) เม็ดแป้งจะยังคงสภาพเดิมอยู่ กราฟท์โพลีเมอร์ของแป้งกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โพลีเมทิลเมทาอะคริเลต โพลีอะคริลาไมด์ ไทแรล หรือพอลิสไตรีน เมื่อทดสอบโดยใช้แสงโพลาไรซ์พบว่าโมเลกุลยังคงมีลักษณะของบิฟริงเจนซ์(birefringence) โดยส่วนที่เป็นระเบียบยังคงสภาพเดิมอยู่หลังจากการต่อใช้สาขาแล้ว และเมื่อใช้ x-ray diffraction ทำการตรวจสอบกราฟท์โพลีเมอร์ของอะไมโลสกับพอลิเมทิลเมทาอะคริเลต ที่ปริมาณของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่ 80 เปอร์เซ็นต์ โมเลกุลก็ยังคงมีโครงสร้างของอะไมโลสลักษณะเหมือนเดิม

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งด้วยพอลิเมอร์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ จะไม่สามารถกระจายตัวในน้ำได้ แต่จะอยู่ในสภาพที่เป็นของแข็งเล็กๆ แขนวนลอยอยู่ ถึงแม้จะให้ความร้อนเพิ่มขึ้น แต่สามารถทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี หรือละลายได้มากขึ้น โดยใช้ไดเมทิลซัลโฟไซด์ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับพอลิเมอร์สังเคราะห์จากแป้งจำนวนมาก สมบัติในการละลายของกราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งกับพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ พบว่าสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เมื่อทำให้อยู่ในรูปของอนุพันธ์ เช่น การเติมหมู่แอซิดในโมเลกุลของกราฟท์โคพอลิเมอร์

กราฟท์โคพอลิเมอร์ของแป้งที่เกิดจากพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ จะสามารถบวมตัวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ตามสามารถทำการแยกแป้งส่วนที่ไม่บวมตัวออกจากน้ำได้โดยตรง แต่สิ่งกีดขวางที่ใช้เป็นชนิดที่บวมตัวได้ การแยกผลิตภัณฑ์แป้งจะทำได้ยากขึ้น โดยทำการตกตะกอนด้วยการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอล เป็นต้น

2.4 การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติก

ในส่วนนี้ เราจะศึกษาการทำกราฟท์โคพอลิเมอร์เชนของเมทิลเมทาอะคริเลตกับแป้งมันสำปะหลัง เพื่อเตรียมเป็นสารตัวเติมสำหรับพลาสติกเพื่อผลการย่อยสลายทางชีวภาพ เนื่องจากการก่อให้เกิดกึ่งที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเข้ากันกับพลาสติกมากกว่าแบบที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ

กราฟท์โคพอลิเมอร์เชนของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต

ประสิทธิภาพในการกราฟท์ที่ใช้ได้ในตัวริเริ่มหลายระบบ เช่น ของ Brockway จะใช้ระบบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ - เปอร์ริสแอมโมเนียมซัลเฟต - กรดแอสคอร์บิก (H_2O_2 - ferrous ammonium sulfate - ascorbic acid system)

ซิริกไอออนเป็นตัวริเริ่มที่ดีสำหรับปฏิกิริยาเหล่านี้ Reyes และ Russell พบว่าปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชนในน้ำ จะให้โซ่สาขาของพอลิเมทิลเมทาอะคริเลตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight PMMA) มากกว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชนใน dimethyl formamide water อัตราส่วน 1:1

Goni et al. ใช้ไอออนซิริกในการเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชนบนอะไมโดสและ

สังเกตโครงสร้างของผลผลิตที่ได้ขึ้นกับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายจะสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ GPC

เกลือแมงกานีส (manganese salts) และเกลือโพแทสเซียมวานาเตต (potassium vanadate) สามารถใช้เป็นตัวริเริ่มให้กับ ozonized starch การริเริ่มปฏิกิริยาโดยการใช้รังสี โดยทั่วไปจะไม่ได้มีการศึกษากันมากเท่ากับการเริ่มต้นปฏิกิริยาทางเคมี

2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพโดยเชื้อรา (Biodegradation by Fungi)

เชื้อราสามารถเข้าทำลาย หรือสร้างความเสียหายให้แก่วัสดุได้ 3 วิธี คือ ทางกายภาพ ทางเคมี และการก่อให้เกิดรอยด่างดำ (Soiling)

1. การทำลายทางกายภาพ (Mechanical damage)

การทำลายนี้เกิดขึ้นเมื่อจุลินทรีย์สามารถทำลายวัสดุในทางกายภาพ เช่นการกัดแทะของเปลือกไม้โดยมด และการเจาะผิวของแผ่นพลาสติกบาง ๆ โดยปลวก ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในทางอาณานิคมของพืช เชื้อราสามารถเจาะผิวหนังและผนังเซลล์ได้

2. การทำลายทางเคมี (Chemical damage)

การทำลายทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยตัวการทางเคมี ซึ่งเชื้อราเองเป็นสาเหตุหลักหรือการที่เชื้อราเองเข้าทำลายวัสดุ โดยการปลดปล่อยสารเคมีเข้าไปยังวัสดุ ยกตัวอย่างเช่นผลิตภัณฑ์ของ mycotoxin โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตบนอาหาร เช่น aflatoxin ที่ผลิตมาจาก Aspergillus flavus หรือรอยด่างดำซึ่งเกิดขึ้นบนสิ่งทอ

3. การเกิดรอยด่างดำ (Soiling)

ความเสียหายสุดท้ายคือ การเกิดรอยด่างดำ ซึ่งเป็นผลมาจาก เส้นใยของเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นความสามารถของเชื้อราที่จะปกคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ด้วยเส้นใยของเชื้อราเอง และเชื้อราจะก่อให้เกิดสปอร์ที่มีสีได้ ตั้งแต่โปร่งแสงจนถึงทึบ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ รอยด่างดำเช่นนี้มักเกิดขึ้นในสถานะซึ่งไม่มีการแข่งขันจากสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ อื่น ๆ เช่นแบคทีเรีย ดังนั้นการเกิดรอยด่างดำของเครื่องมือทางไฟฟ้า หรือผิวหนังของแก้ว โดยการเจริญของเส้นใยเชื้อรา สืบเนื่องมาจากการที่เชื้อราสามารถผลิตเส้นใยเฉพาะ จากที่ได้รับจากอาหารเลี้ยงเชื้อตามชนิดต่าง ๆ และโดยความสามารถของเส้นใยที่จะเชื่อมต่อกันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่างของอากาศ

เอนไซม์สำคัญที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายแป้งและน้ำตาล

แอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) แอลฟา-อะไมเลส เป็น endo-enzyme ซึ่งไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคสิติกของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแป้ง แต่ไม่สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ α 1,6 ไกลโคสิติกของอะไมโลเพกติน

อะไมโลกลูโคซิเดส หรือ กลูโค-อะไมเลส (amyloglucosidase or gluco-amylase) เอนไซม์ชนิดนี้สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคสิติกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส ในโมเลกุลของแป้ง ซึ่งสามารถถึงหน่วยกลูโคส (glucose units) จากปลายโซ่ non-reducing และสามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,6 ไกลโคสิติกของอะไมโลเพกติน ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนแป้งและเดกทรินไปเป็นกลูโคส

เบต้า-อะไมเลส (β - amylase) เอนไซม์สามารถไฮโดรไลซ์พันธะ 1,4 ไกลโคสิติกของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสในโมเลกุลของแป้ง ให้ได้มอลโตสจากปลายโซ่ non-reducing

ตารางที่ 2.1 แสดงถึงจุลินทรีย์ที่สำคัญบางชนิดและเอนไซม์ที่สามารถผลิตได้

Fungus	Type of Enzyme
<i>Aspergillus oryzae</i> <i>A. niger</i>	Amylase, pectinase, protease, adenylic acid deaminase Amylase, amyloglucosidase, pectic enzymes, protease, glucose oxidase, naringinase
<i>Rhizopus</i> sp. <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>P. citrinum</i>	Amyloglucosidase, lipase, rennet protease, pectic enzymes Glucose oxidase 5'phosphodiesterase
<i>Mucor</i> sp. <i>Trichoderma viride</i> <i>A. foetidus</i>	Rennet protease Cellulase Amyloglucosidase

2.6 เสถียรภาพของพลาสติก

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า การที่พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรา มากขึ้น เป็นเพราะข้อดีของพลาสติกข้อหนึ่ง นั่นคือ พลาสติกมีความทนทานต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่พกร้อน เหมือนเช่นโลหะ และด้วยข้อนี้เองที่ทำให้เกิดปัญหาคามาในภายหลังว่าจะมีความยุ่งยากและปัญหาในการกำจัดหรือทำลายขยะพลาสติกให้หมดไป

การสลายตัวของพลาสติกเกิดขึ้นได้เนื่องจากหลาย ๆ สาเหตุ แต่ที่น่าสนใจและมีการศึกษาอยู่มาก คือการสลายตัวของพลาสติกอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ (microorganism) โดยเฉพาะแบคทีเรีย และรา

พลาสติกสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติ
- พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์

พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์ในธรรมชาติทุกชนิด สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ในขณะที่พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จำนวนมากหลายชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์จะมีความสามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องเป็นพลาสติกประเภทที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ เช่น อะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ (aliphatic polyester) พอลิเอไมด์และพอลิยูรีเทน ตัวอย่างของพอลิเมอร์ดังกล่าว เช่น พอลิไกลคอลิกแอซิด (Polyglycolic acid) และพอลิคาร์โพลแลกโตน (Polycaprolactone) เป็นต้น

นักวิทยาศาสตร์ ได้พยายามศึกษาว่า เหตุใดพลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ จึงไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสรุปเหตุผลได้ 2 ข้อดังต่อไปนี้

1. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ ได้จากน้ำมันปิโตรเลียม และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เมื่อใช้โมเลกุลมีขนาดยาวมาก ๆ ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ จากการค้นคว้าวิจัยของบริษัทยูนิคาร์ไบด์ (Union Carbide) โดยการนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาทดสอบสมบัติการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ โดยทำการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 123,000 และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงมาเรื่อย ๆ พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดที่มีความหนาแน่นสูงที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ จะไม่สามารถถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ได้ และพอลิเอทิลีนจะสามารถถูกย่อยสลายได้เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 3200

2. พลาสติกที่ผลิตได้จากสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ค่าการซึมผ่านของความชื้นต่ำ มีลักษณะไม่เป็นรูพรุน พื้นผิวมันเยิ้ม เนื่องจากใน

ระหว่างการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปยังพลาสติก เอนไซม์จะทำหน้าที่ย่อยสลายโมเลกุลของพลาสติกให้มีขนาดเล็กลง โดยผ่านกระบวนการเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารชนิดอื่นต่อไป แต่เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีค่าการซึมผ่านของก๊าซต่ำ จะทำให้เอนไซม์สัมผัสกับผิวหน้าของพลาสติกน้อยลง และการที่พลาสติกไม่เป็นรูพรุนทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสถึงน้อยลง จึงเป็นการยากที่จะทำให้พลาสติกถูกย่อยสลายได้

2.7 ประเภทของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้

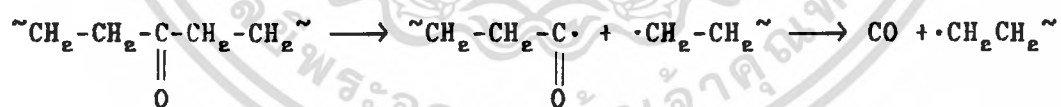
พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (Photodegradable plastics)
2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)
3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ

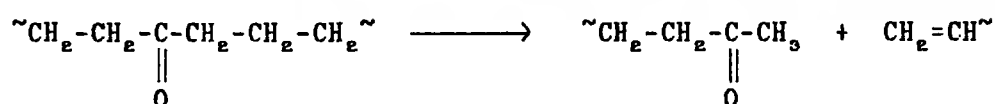
2.7.1. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยแสง (photodegradable plastics)

การสลายตัวโดยใช้แสง เป็นวิธีที่อาศัยรังสีอัลตราไวโอเลตในแสงอาทิตย์เป็นตัวทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์แตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ พอลิเมอร์จะเสถียรสมบัติทางกายภาพ ทำให้กรอบ ไม่แข็งแรง ในที่สุดก็จะสลายตัวไปเป็นชิ้นเล็ก ๆ ดังสมการ

Norrish Type I Reaction



Norrish Type II Reaction



รูปที่ 2.7 แสดงปฏิกิริยาการสลายตัวโดยแสงของพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ (ethylene / carbon monoxide copolymer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ และสมบัติทางกายภาพลดลง วิธีหลักที่ทำให้พลาสติกสลายตัวได้โดยแสงมีอยู่ 4 วิธี คือ

1. ใส่สารช่วยกระตุ้นการสลายตัว (photoactivator)

วิธีการนี้ทำโดยใส่สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่น เหล็ก หรือทองแดงใส่ลงในพลาสติก โดยสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะจะทำปฏิกิริยากับสารต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (antioxidant) ได้เป็นสารเชิงซ้อนอีกชนิดหนึ่ง เมื่อสารเหล่านี้ถูกกระตุ้นด้วยแสง ทำให้แตกตัวได้อิออนโลหะ เป็นตัวริเริ่มในการเกิดการสลายตัวต่อไป บริษัท Plastigone technology ได้ใส่สารเหล่านี้ในการผลิตแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร โดยควบคุมให้มีอายุการใช้งานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่เก็บเกี่ยวผลผลิต

2. คีโตน คาร์บอนิล (ketone carbonyl system)

บริษัท Ecoplastics ได้ผลิตสารเคมีที่มีชื่อทางการค้าว่า Ecolyte ทำได้โดยใช้มอนอเมอร์ของเอทิลีน สไตรีน เป็นต้น เมื่อสารเคมีเหล่านี้ถูกแสงแดดหมู่คีโตนในสายโซ่พอลิเมอร์จะรับพลังงานจากแสง ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ขาดลง

3. พอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและคาร์บอนมอนอกไซด์ (ethylene/carbon-monoxide) (E/CO)

บริษัทคูปองส์ คาว และยูเนี่ยนคาร์ไบด์ ได้ผลิตพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเมอร์ร่วมระหว่างเอทิลีนและคาร์บอนมอนอกไซด์ อัตราการสลายตัวด้วยแสงของ E/CO copolymer ขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น ลักษณะที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาล ลักษณะภูมิอากาศ มุมของพลาสติกที่หันเข้าหาแสงแดด

4. มาสเตอร์แบทช์ (masterbatch)

บริษัท Ampacet ได้เตรียม masterbatch ของสารประกอบเฟอริก เบนโซฟีโนน (ferric benzophenone) และส่วนผสมของbenzophenone กับ titanium dioxide ลงในพลาสติก โดยสารเหล่านี้เป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัว การสลายตัวจะดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของสารเหล่านี้ในเนื้อพลาสติกว่าจะกระจายตัวได้ดีมากน้อยเพียงใด

2.7.2. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในทางชีวภาพ (Biodegradable plastics)

การสลายตัวทางชีวภาพนั้น เกิดจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น รา แบคทีเรีย ปล่องเอนไซม์ ซึ่งเป็นสารเคมีออกมาย่อยสลาย โดยขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร กล่าวคือ

1. ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมในขณะนั้น เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด เป็นต้น
2. ชนิดของจุลินทรีย์ที่สามารถปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยพลาสติก
3. น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ คือถ้าพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ความสามารถในการย่อยสลายจะสูง ในทางกลับกันถ้าพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลสูงความสามารถในการย่อยสลายจะต่ำ
4. ชนิดของพลาสติก
5. พื้นที่ผิว และความหนาของพลาสติก

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติสามารถย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

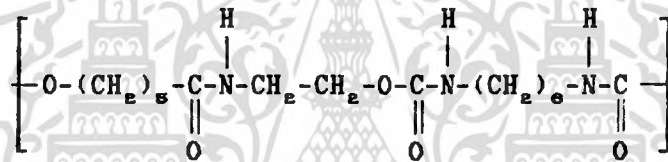
จากที่กล่าวมาแล้วว่า มีพลาสติกสังเคราะห์ประเภทพอลิเอสเทอร์สามารถถูกย่อยสลายได้นั้น จะต้องมีการสร้างเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์เท่านั้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้ พอลิคาร์โพลแลคโตน (Polycaprolactone) เรียกว่า พีซีแอล (PCL) เป็นผลงานของนายเจมส์ ปอตส์ นักวิทยาศาสตร์ของบริษัทยูเนียนคาร์ไบด์ (Union Carbide) ในปี ค.ศ. 1970 และได้มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการปลูกป่าของสหรัฐฯ (US Forest Service) ได้นำพีซีแอล (PCL) มาใช้ทำเป็นกระสุนบรรจุเมล็ดพืชเพื่อยิงลงไปในดิน ตามโครงการเร่งรัดการปลูกป่าของสหรัฐอเมริกา โดยพีซีแอล (PCL) จะทำหน้าที่เป็นเกราะคุ้มกันภัยให้กับเมล็ดพืช จนกว่าเมล็ดพืชจะงอกและเจริญเติบโต ยิ่งรากลงไปในดิน และเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด พีซีแอล (PCL) ที่หุ้มอยู่ก็จะสลายตัวไป โดยจะใช้เวลาประมาณ 1 ปี

พอลิไกลคอลิกแอซิด (Polyglycolic acid)

ผลิตโดยบริษัท American Cyanamid เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้ยังมีราคาแพงมาก ดังนั้นการใช้งานจึงอยู่ในวงจำกัด โดยมีการใช้เฉพาะในวงการแพทย์เท่านั้น เช่นเอ็นสำหรับเย็บแผล ที่เรียกว่าไหมละลาย (Degradable Sutures) ซึ่งเมื่อนำไปใช้เย็บแผล จะ

สามารถสลายตัวจนหมดไปเองและไม่มีร่องรอยเหลืออยู่ภายในระยะเวลา 3 เดือน

จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ที่กล่าวมาทั้ง 2 ชนิด ล้วนแต่เป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ทั้งสิ้น นอกจากนี้ยังมีพอลิเมอร์อีกหลายตัว เช่น พอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก (block copolymer) และพอลิเมอร์ร่วมแบบค่อ (graft copolymer) ของอะลิฟาติกพอลิเอสเตอร์ ชนิดต่าง ๆ ซึ่งก็เป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ให้ดีขึ้น โดยพัฒนาจากข้อเสียของพีซีแอล (PCL) ก็คือมีอุณหภูมิการหลอมตัวต่ำ และความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงได้ทำการพัฒนาพีซีแอล (PCL) ให้เป็นพอลิเมอร์ร่วมตัวใหม่ที่ประกอบไปด้วยหมู่เอสเตอร์ (ester) เอไมด์ (amide) และยูรีเทน (urethane) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ร่วมตัวใหม่ที่ประกอบด้วยหมู่เอไมด์ และยูรีเทน

ไวนิล พอลิเมอร์

ได้แก่ พอลิไวนิล แอลกอฮอล์ [poly (vinyl alcohol)] PVA ในระบบกำจัดน้ำเสีย(waste water activated sludges) พบว่าหมู่ไฮดรอกซีที่ติดอยู่กับพอลิเมอร์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น ketone โดยเอนไซม์ ต่อจากนั้นจะตามด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (ketone hydrolysis) และการแตกออกของสายโซ่หลัก (chain cleavage) ความสามารถในการละลายน้ำ ทำให้ PVA มีประโยชน์ในการนำไปใช้ผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์ อนุพันธ์ของ PVA ชนิดหนึ่งกับ poly (enol-ketone) PEK สามารถถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่า PVA การผสม PEK และ PCL จะทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยหมู่ไฮดรอกซีได้ เพราะ PCL ไม่ละลายน้ำ จะรักษารูปร่างให้คงอยู่ระหว่างการปลดปล่อยหมู่ไฮดรอกซี พอลิไวนิลอะซิเตต (PVAc) สามารถที่จะถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้ากว่า โดยสามารถถูกไฮโดรไลซิสไป

เป็น PVA และจากนั้นจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น PEK ในการที่จะได้คุณสมบัติและความสามารถที่จะย่อยสลายที่ดี

การนำสารเติมแต่งใส่ลงในพลาสติกเพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีความสามารถในการย่อยสลายได้ในทางชีวภาพ

1. การเติมแป้งผสมกับสารเชื่อมโอง

งานวิจัยของมหาวิทยาลัยเปอรีคิว ได้นำแป้งมาผสมกับพอลิไสตรีน แล้วเติมสารช่วยในการเชื่อมโองระหว่างโมเลกุลของพอลิไสตรีนกับโมเลกุลของแป้ง ทำให้สายโซ่โมเลกุลของแป้งกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพลาสติก

2. การสลายตัวของพลาสติกในทางชีวภาพ

การสลายตัวในทางชีวภาพของพลาสติกมี 3 ลักษณะ คือ

1. พลาสติกไม่ได้เสื่อมสลายเนื่องจากจุลินทรีย์โดยตรง แต่ถูกจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายสารเติมแต่งในส่วนอื่น ๆ ทำให้เหลือพลาสติกอยู่ในสภาพโครงสร้างรูพรุน และต่อไปก็จะกลายเป็นผงละเอียด

2. การเสื่อมสลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตนเอง (autooxidation) ซึ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลของพลาสติกสลายตัวสั้นลง เพื่อให้จุลินทรีย์สลายต่อ โดยเปลี่ยนให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำต่อไป



รูปที่ 2.9 แสดงแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผสมแป้ง 15% ก่อนการย่อยสลาย และหลังการย่อยสลายเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยชื่อราชของบริษัท St. Lawrence Starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเสื่อมสลายเนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์โดยตรง นั่นคือจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อทำการย่อยสลายพลาสติกประเภทนั้นโดยตรง เช่น พอลิคาร์โปแลคโตน และพอลิไฮดรอกซีบีวทิเรตอาร์เรต เป็นต้น

2.7.3. พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้โดยวิธีการอื่น ๆ ยังมีอีกมากมายหลายชนิด เช่น พลาสติกที่สลายตัวได้ด้วยน้ำ และพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทั้งทางชีวภาพและแสง เป็นต้น เนื่องจากพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ดังกล่าวเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก เพราะเป็นการรวมเอาข้อดีของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในแต่ละวิธีเข้าไว้ด้วยกัน เช่น พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเอโซอะโรมาติก (azo aromatic) และหมู่คีโต (keto groups) ที่ไวต่อแสง ในระหว่างใช้งานหมู่เอโซ (azo groups) จะช่วยป้องกันกำรสลายตัวเนื่องจากแสง และหลังจากเลิกใช้งานแล้วพลาสติกชนิดนี้จะถูกทิ้งไว้ในสิ่งแวดล้อม ทำให้เอโซถูกจุลินทรีย์เข้าทำลาย และเหลือหมู่ที่สามารถสลายตัวเนื่องจากแสง ดังนั้นเมื่อทิ้งไว้กลางแจ้งจึงสามารถสลายตัวได้ต่อไป

บทที่ 3

การทดลองและการดำเนินงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้

1. แป้งมันสำปะหลัง เกรดการค้า ตรา ROSE
2. ซีริกแอมโมเนียมไนเตรด $[\text{Ce}(\text{NH}_4)_2(\text{NO}_3)_6]$ Ceric Ammonium Nitrate
เกรดวิเคราะห์ บริษัท ชิกมา เคมีคอล จำกัด
3. กรดไนตริก (HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท เมอร์ค จำกัด
4. มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต เกรดการค้า บริษัท ชันที จำกัด
5. เม็ดพลาสติก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรดเปาขาว (Hizex 6200B)
ของบริษัท มิตรชัย
6. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด Film Extrusion D2022
ของบริษัท ปิโตรเคมีคัลไทย จำกัด
7. เฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate ; HMDI)
เกรดการค้า DESMODURE N75
8. น้ำมันถั่วเหลือง รัน เกรดการค้า บริษัทอุตสาหกรรมวิวัฒน์ จำกัด
9. กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า บริษัท เอสซีเอ็ม เคมีคอล จำกัด
10. อีโพลีน แวกซ์ อี-43 (Epoline wax E-43) ของ บริษัท ไวท์กรุป ประเทศ
ไทย จำกัด
11. สารช่วยในการถอดแม่พิมพ์ เกรดที่ใช้ในการพิมพ์สี บริษัทยูเนียนคาร์ไบด์ จำกัด
12. อาหารเลี้ยงเชื้อ nutritant salts agar
13. อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA
14. ก๊าซไนโตรเจน เกรดอุตสาหกรรม บริษัท ไทยอินดรัสเตรียลแก๊ส จำกัด
15. ซิงค์สเตียเรต (Zinc stearate) เกรดการค้า บริษัท บางกอกบริบเบอร์
จำกัด

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

1. หม้อปฏิกิริยา (Reactor) ขนาด 2 ลิตร
2. อ่างน้ำมัน (Oil bath)
3. มอเตอร์ปั่นกวน รุ่น RW 20 บริษัท IKA Labortechnik จำกัด
4. หลอดเลี้ยงเชื้อ
5. จานเพาะเชื้อ
6. หม้ออบไอน้ำความดันสูง (Autoclave)
7. เตาอบร้อน แบบ Hot air บริษัท Memmert จำกัด
8. เครื่องอัดร้อน (Hot press) รุ่น LP 20 บริษัท Labtech Engineering จำกัด
9. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile testing machine) Shimadzu รุ่น S-100-C บริษัท Shimadzu จำกัด
10. เครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (Polarized microscope) รุ่น AFX II พร้อมกล้องถ่ายภาพ บริษัท Nikkon จำกัด
11. เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electric balance) รุ่น 2462 บริษัท Sartorius จำกัด
12. ไมโครมิเตอร์
13. เครื่องคัดแยกขนาด
14. เครื่องบดผสมแบบลูกบอล
15. แม่พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ขนาด 7x7 นิ้วหนา 2 มิลลิเมตร พร้อมแผ่นกั้นที่มีความหนา 1.2 มิลลิเมตร
16. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ชนิดลำแสงคู่
17. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงคู่ บริษัท Shimadzu จำกัด

3.3 วิธีการทดลอง

ในโครงการวิจัยนี้ สามารถแบ่งการทดลองออกเป็นสามส่วน ดังต่อไปนี้

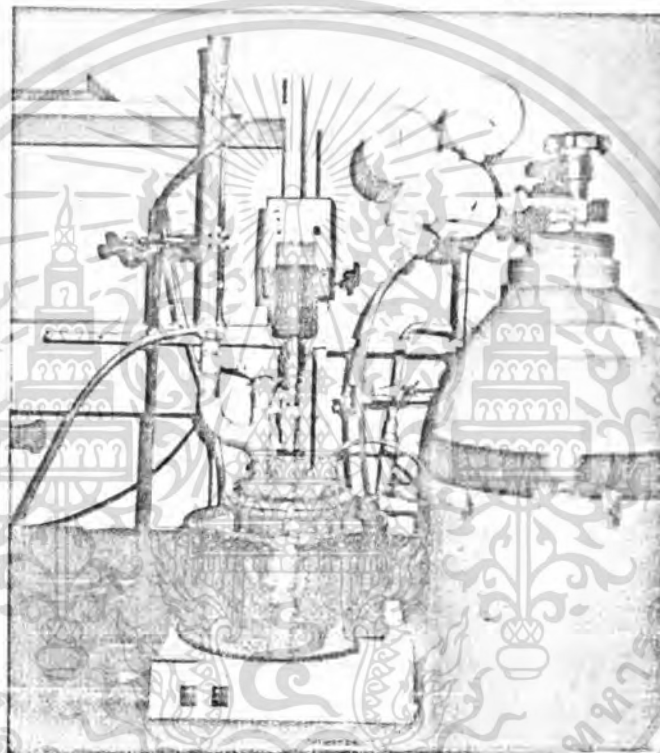
1. การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับ มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต
2. การเตรียมแป้งมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงความเป็นขี้ว โดยให้สารเฮกซะ-เมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate)
3. การหาปริมาณความชื้นของแป้ง
4. การตรวจสอบคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งที่ผ่านการปรับปรุง เปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับปรุง
5. การเตรียมสารตัวเติม
6. การผสมสูตรพลาสติก
7. การขึ้นรูปพลาสติก
8. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ของพลาสติก
9. การศึกษาความสามารถการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
10. การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของพลาสติก
11. การทดสอบคุณสมบัติความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์
12. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายหลังการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ โดยสังเกตจากลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนไป และโดยใช้เครื่องโกลาไรซ์ไมโครสโคป
13. ทดสอบหาเชื้อชนิดอื่นที่ปนเปื้อนเข้ามาในงานเพาะเชื้อ

3.3.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาอะคริเลต

ชั่งแป้งมันสำปะหลัง 75 กรัมใส่ลงในหม้อปฏิกริยาขนาด 2 ลิตร ที่มีชุดเครื่องกวน เติมน้ำกลั่นปริมาตร 990 มิลลิลิตร ต่อก่อนนำก๊าซไนโตรเจนเข้ากับหม้อปฏิกริยา กวนสาร พร้อมทั้งให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (เพื่อทำให้แป้งเกิดเป็นเจล) ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทั้งไว้ให้เย็น (ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส) เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรในสารละลายกรดไนตริกที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 60 มิลลิลิตร กวนสารคั่วที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วประมาณ 1500 รอบ/นาที เติมนอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลตที่สกัดสารยับยั้งปฏิกิริยาออกแล้ว ค่อยๆเติมลงในอ่างในส่วน 1:1 โบล กวนคั่วที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตลอดเวลาในการทำปฏิกิริยาให้อยู่ในบรรยากาศของไนโตรเจน นำพอลิเมอร์รวมทั้งสังเคราะห์ให้ได้มารอง โดยให้เมทานอล อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นำไปบดละเอียด และเก็บไว้ในเคซิเคเคอร์



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดอุปกรณ์การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาอะคริเลต

3.3.2 การเตรียมแป้งมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงความเป็นตัวโดยใช้สารเฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Hexamethylene diisocyanate)

ซึ่งแป้งมันสำปะหลังที่อบแล้ว 100 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำเฮกซะเมทิลีนไดไอโซไซยาเนตให้น้ำหนัก 5 กรัม 10 กรัม และ 15 กรัม สำหรับอัตราส่วนผสม 5% 10% และ 15% คือน้ำหนักของแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การหาปริมาณความชื้นของแป้ง

ทำแผ่นฟลอยด์เป็นรูปกระทงจำนวน 5 กระทง อบกระทงที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ นำมาชั่งน้ำหนักกระทงบันทึกผลไว้ ชั่งแป้งใส่ในกระทงประมาณ 10 กรัม และบันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบที่ 110 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ซึ่งให้ได้ น้ำหนักที่แน่นอน เพื่อทำการคำนวณหาความชื้นของแป้ง

$$\text{ปริมาณความชื้นของแป้ง} = \frac{(F+T)_1 - (F+T)_2}{F}$$

F = น้ำหนักแป้ง

$(F+T)_1$ = น้ำหนักแป้งรวมกับกระทงก่อนอบ

$(F+T)_2$ = น้ำหนักแป้งรวมกับกระทงหลังอบ

3.3.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งพอลิเมอร์รวม และแป้งที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง

ก. การตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังก่อนและหลังการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้เครื่อง Infrared spectrophotometer โดยใช้เทคนิค KBr disc สารตัวอย่างคือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งพอลิเมอร์รวมที่ผ่านการอบแล้ว และแป้ง Isocyanate

ข. การตรวจสอบรูปร่างของแป้งมันสำปะหลังก่อน และหลังการปรับปรุงคุณสมบัติตรวจสอบได้โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า Analyzer 50 องศา สำหรับพอลิเมอร์รวมของแป้งมันสำปะหลัง และกำลังขยาย 200 เท่า Analyzer 5 องศา สำหรับแป้งมันสำปะหลัง

3.3.5 การเตรียมสารตัวเติม

สารตัวเติมที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 3 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง พอลิเมอร์รวมแบบต่อของแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมทิลเมทาอะครีเลต และแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วย HMDI ทำการปรับปรุงคุณสมบัติในการผสมโดยทำการเคลือบผิวของสารตัวเติมด้วยสารช่วยกระจายตัว (dispersing agent) แต่ละสูตรของการผลิตพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน

ซึ่งแป้งและสารช่วยกระจายตัว ใส่ลงไปพร้อม ๆ กันในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และกวนของผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในเวลา 10 นาที

3.3.6 การผสมสูตรพลาสติก

เครื่องมือที่ใช้ในการผสมคือ เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two roll mill)

สภาวะที่ใช้ในการผสม

พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง

: อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า และลูกกลิ้งหลังเท่ากัน)

เวลาที่ใช้ในการผสม 15 นาที

พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ

: อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้าและลูกกลิ้งหลังเท่ากัน)

เวลาที่ใช้ในการผสม 15 นาที

ขั้นตอนในการผสม เริ่มตามลำดับดังนี้

ทำความสะอาดเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง โดยเฉพาะบริเวณลูกกลิ้ง ตั้งความร้อนสำหรับลูกกลิ้งหน้า และลูกกลิ้งหลังมีอุณหภูมิเท่ากัน ตามสภาวะของแต่ละการผสม รอประมาณ 30 นาที ให้ลูกกลิ้งทั้งสองมีความร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และค่อนข้างคงที่ ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (nip) ประมาณ 4 - 5 มิลลิเมตร เทพลาสติกที่ต้องการผสมบนช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งพร้อมกับเริ่มจับเวลา ปลอຍให้พลาสติกได้รับความร้อนอยู่บนลูกกลิ้งเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกดปุ่มให้ลูกกลิ้งหมุนเพื่อผสมพลาสติก รอจนพลาสติกหลอมเป็นเนื้อเดียวกันใช้เหล็กปาดพลาสติกเหลว เพื่อให้พลาสติกหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันหมด ค่อย ๆ ใส่สารตัวเติมที่ผ่านการเคลือบผิวเรียบร้อยแล้วทีละน้อยๆ ในการใส่สารตัวเติมแต่ละครั้งจะใช้เหล็กปาดปาดเนื้อพลาสติกไปมา เพื่อช่วยให้สารตัวเติมและพลาสติกเข้ากันได้ดีขึ้น ในการผสมจะต้องใส่สารตัวเติมให้หมดภายใน 15 นาที หลังจากนั้นจะทำการรีดพลาสติกเพื่อนำพลาสติกออกจากลูกกลิ้งในสภาพที่เป็นแผ่น และทำให้เย็นภายนอกเครื่องผสม จากนั้นจะทำการผสมสูตรพลาสติกในสูตรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมในพลาสติกแต่ละสูตร

สูตรที่	องค์ประกอบ (กรัม)							
	PE*	S	St-g-MMA	HMDI	E	St	OIL	ZnSt
1	100	-	-	-	-	-	-	-
2	100	40	-	-	-	-	-	-
3	100	40	-	-	2	0.8	0.8	-
4	100	-	40	-	-	-	-	-
5	100	-	40	-	2	0.8	0.8	-
6	100	40	-	2	2	0.8	0.8	-
7	100	40	-	4	2	0.8	0.8	-
8	100	40	-	6	2	0.8	0.8	-
9	100	-	-	-	2	0.8	0.8	-
10	100	-	40	-	2	0.8	0.8	2

PE* = พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

= พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

S = แป้งมันสำปะหลัง

St-g-MMA = พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง กับพอลิเมทิลเมทาอะคริเลต

St-HMDI = แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงความเป็นตัว โดยใช้ HMDI

E = อีโพลีน อี-43

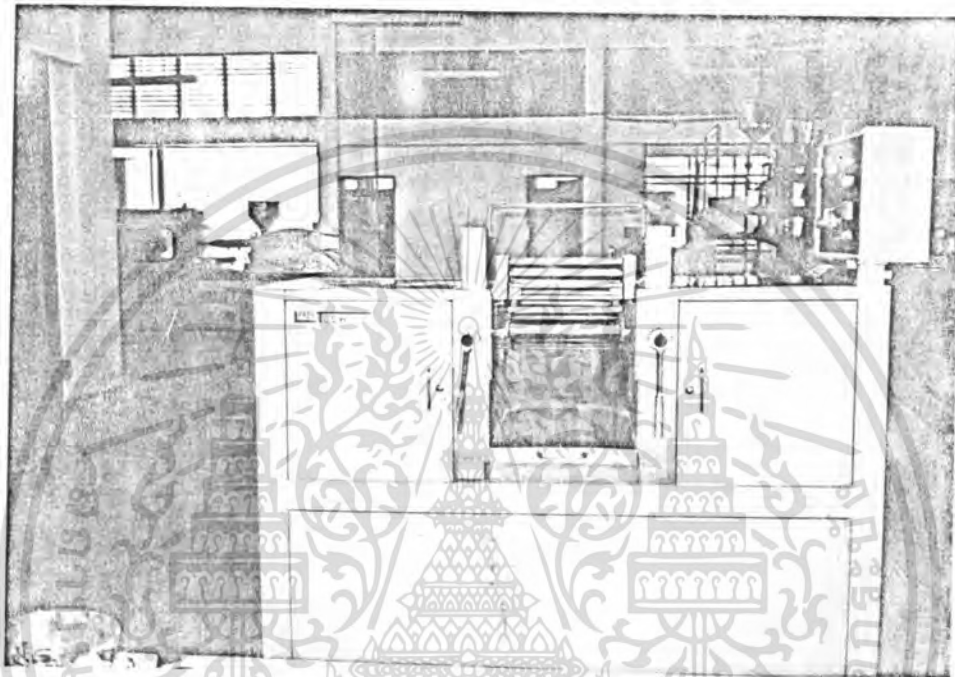
St = กรดสเตียริก

OIL = น้ำมันถั่วเหลือง

ZnSt = ซิงค์สเตียเรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ ในการผสมต้องมีภาชนะที่สะอาดรองรับได้ลูกกลิ้ง เพื่อเก็บสารที่
หล่นลงมา ควรใส่สารตัวเติมอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้มีสารที่หล่นมาก



รูปที่ 3.2 แสดงภาพเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง

3.3.7 การขึ้นรูปพลาสติก

ก. การขึ้นรูปพลาสติกเป็นแผ่น เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก

นำแผ่นพลาสติกที่ได้จากการผสมในหัวข้อที่ 3.3.6 มาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้กรรไกร จากนั้นทำความสะอาดแม่พิมพ์ จี๊ดซิลิโคนลงบนแผ่นแม่พิมพ์ให้ทั่วเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการยึดเกาะระหว่างพลาสติกกับแม่พิมพ์ สภาวะที่ใช้ในการอัดมีดังต่อไปนี้

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

Preheat อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 100 Kg/cm³ เวลา 3 นาที

อีลร้อน อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 125 Kg/cm³ เวลา 3 นาที

อัดเย็น อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 125 Kg/cm³ เวลา 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

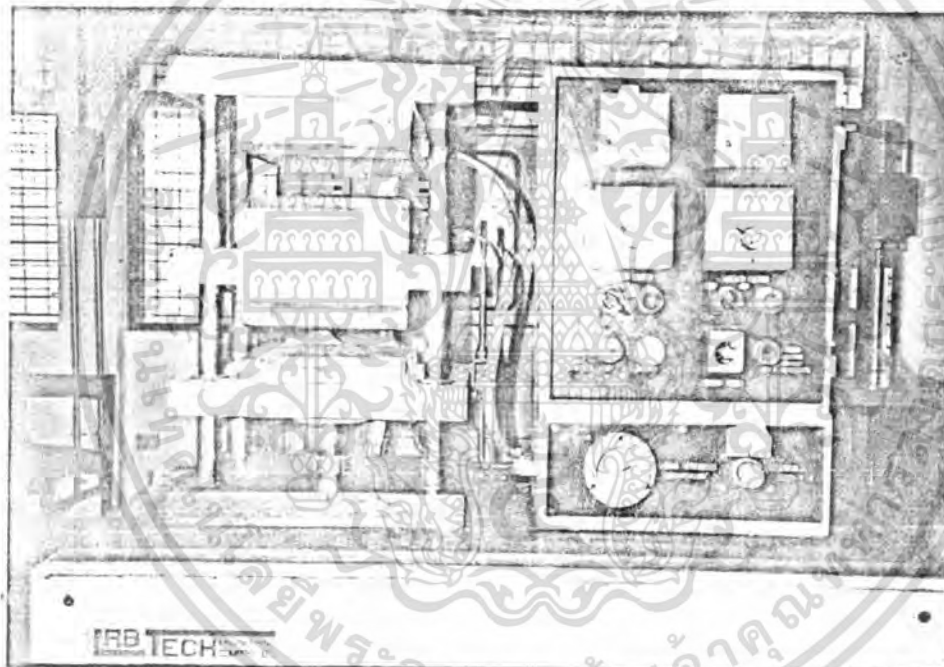
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

Preheat อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 100 Kg/cm³ เวลา 3 นาที

อัดร้อน อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความดัน 125 Kg/cm³ เวลา 3 นาที

อัดเย็น อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 125 Kg/cm³ เวลา 3 นาที

เปิดสวิตช์เครื่องอัดร้อนตามสภาวะที่ใช้ จากนั้นนำแม่พิมพ์ใส่ไว้ในเครื่องอัดร้อนและอัดเย็นตามลำดับ เมื่อครบกำหนดเวลา แท่นอัดแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่ลง นำชิ้นงานพลาสติกออกจากแม่พิมพ์ จากนั้นเตรียมชิ้นรูปพลาสติกชิ้นต่อไป นำพลาสติกที่ได้มาตัดเป็นรูปคัมเบลโดยใช้หัวตัด (die cutter) ขนาดหมายเลข 5 ตามมาตรฐาน ASTM D 638 เพื่อให้ได้ชิ้นงานพลาสติกมาตรฐานรูปคัมเบล นำไปทดสอบตามการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง



รูปที่ 3.3 แสดงภาพเครื่องอัดร้อน

ข. การขึ้นรูปพลาสติกเพื่อนำไปทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

ทำการทดลองเหมือนในข้อ 3.3.7 ก นำพลาสติกที่เตรียมได้มาจากข้อ 3.3.6 มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 3 x 3 นิ้ว ทำความสะอาดแม่พิมพ์ จัดซิลิโคนให้ทั่ว (ถอดแผ่นเหล็กอันกลางของแม่พิมพ์ออก) ปรับแรงอัดให้มีค่าตามสภาวะในข้อ 3.3.7 ก นำชิ้นพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมขนาด 3 x 3 นิ้ว วางไว้บนกึ่งกลางของแม่พิมพ์ จากนั้นนำแม่พิมพ์ใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปในช่องอัดร้อนด้านบน ตั้งเวลา 1 นาที เมื่อครบเวลานำฟิล์มออกจากช่องอัดร้อน ใส่เข้าไปในช่องอัดเย็น เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำพลาสติกที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ แล้วตัดให้มีขนาด $1/2 \times 1/2$ นิ้ว เพื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

3.3.8 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก

ก. ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด

ทดสอบความทนทานต่อแรงดึงโดยใช้เครื่อง tensile testing machine ขึ้นตัวอย่างพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบเตรียมได้จากข้อ 3.3.7 ก ทำการทดสอบโดยใช้ load select 2 เท่ากับ 50 กิโลกรัม ความเร็วแท่นขยับ 50 มิลลิเมตร / นาที ความยาวเริ่มต้นของชิ้นพลาสติก (gage length) 2.5 เซนติเมตร ทดสอบที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 องศาเซลเซียส ความชื้นในอากาศ 90 เปอร์เซ็นต์ และทำการทดสอบ 7 ชิ้นตัวอย่าง ชิ้นงานพลาสติกที่ใช้ทดสอบ จะต้องวัดขนาดความกว้างและความหนาบริเวณคอขวดของรูปคัมเบส ชิ้นงานละ 3 จุด และนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย เพื่อคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด

$$\text{ความทนทานต่อแรงดึง} = \frac{\text{แรงที่ใช้}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}}$$

$$\text{หน่วยที่ได้เป็น กิโลกรัมแรง / ตารางมิลลิเมตร}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} = \text{ความกว้างเฉลี่ย} \times \text{ความหนาเฉลี่ย}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด} = \frac{(L - L_0)}{L_0} \times 100$$

$$L = \text{ความยาวเมื่อยืดออก}$$

$$L_0 = \text{ความยาวเริ่มต้น}$$

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{(n - 1)}}$$

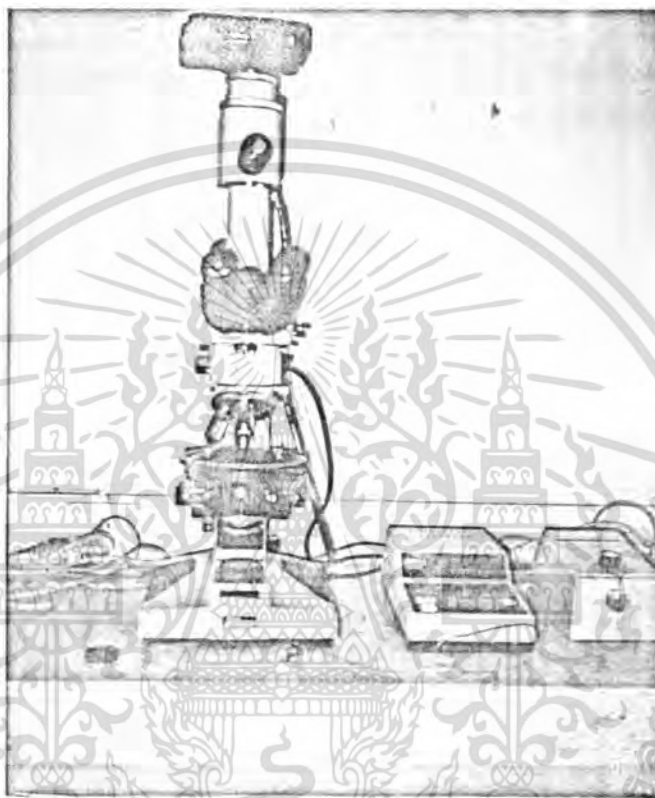
ข. ทดสอบความแข็ง (hardness)

ทดสอบความแข็ง โดยนำชิ้นตัวอย่างพลาสติกที่เตรียมได้ในข้อ 3.3.7 ก มาวางซ้อนกันให้ความหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร ใช้เครื่อง durometer และหาค่าเป็น shore D ในการวัดค่าความแข็ง อ่านค่าหลังจากให้แรงไป 15 วินาที จากนั้นเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างพลาสติก ทำการวัดความแข็งที่จุดต่างๆ ให้ได้ค่าอย่างน้อย 10 ค่า แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 การศึกษาความสามารถในการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (dispersibility)

การเตรียมชั้นทดสอบ สำหรับการศึกษาด้วยเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (polarize microscope) นี้ จะใช้แผ่นพลาสติกที่ขึ้นรูปในหัวข้อ 3.3.7 ข เนื่องจากแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้นั้น ทำการหล่อเย็นอย่างรวดเร็ว จึงเห็นการกระจายของอนุภาคแข็งได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 3.4 แสดงภาพเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

3.3.10 การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของพลาสติก

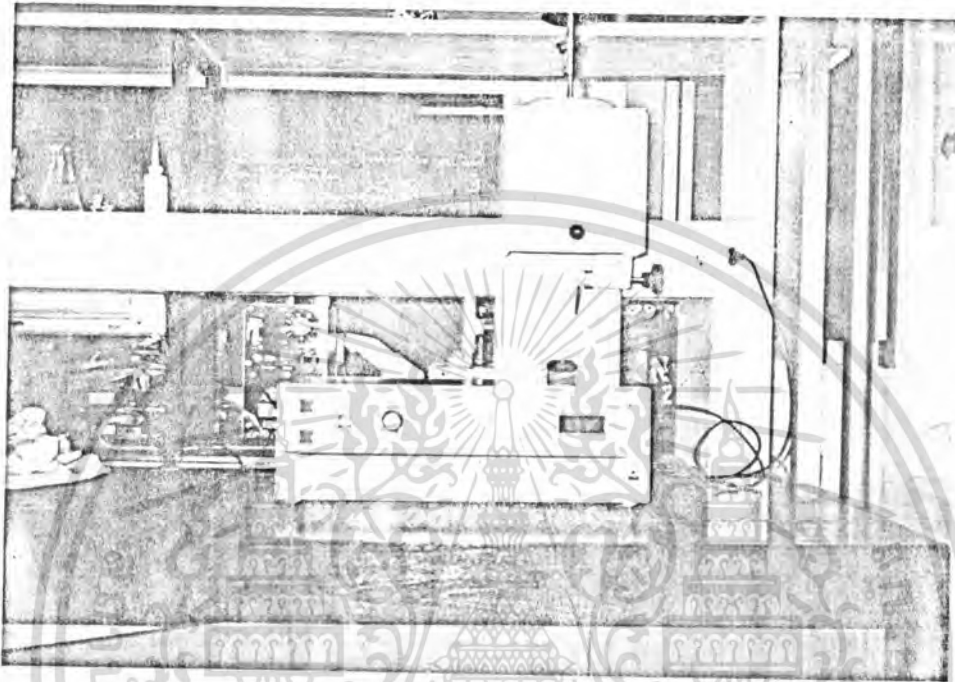
ทำการทดลองโดยใช้เครื่อง Extrusion plastometer ขึ้นตัวอย่างพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบเตรียมได้จากข้อ 3.3.6 โดยทำการตัดให้มีขนาดเล็ก ๆ

วิธีการทดสอบ ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบของเครื่องให้มีค่า 190 องศาเซลเซียส ทำการล้างเครื่องให้สะอาด จากนั้นใส่ชิ้นพลาสติกที่ตัดแล้วลงในช่องด้านบนของเครื่อง โดยให้น้ำหนักตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D 1258-90B แล้วนำก้าน (piston) และแท่นน้ำหนักใส่ด้านบนของช่องใส่พลาสติก ปลดปล่อยพลาสติกไหลออกมาทางช่องด้านล่าง สักครู่หนึ่งตัดด้วยมีดตัดที่ติดกับเครื่อง จับเวลาตามที่กำหนดในมาตรฐาน แล้วตัดพลาสติกที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลออกมาไปซึ่งน้ำหนัก และหาค่าเฉลี่ย

ค่า MFI = น้ำหนักเฉลี่ยที่ได้ X Factor for obtaining rate in g/10 min



รูปที่ 3.5 แสดงภาพของเครื่อง Extrusion Plastometer

3.3.11 การทดสอบคุณสมบัติความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

ก. เชื้อที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Bacillus subtilis* และ *Serratia marcescens* และเชื้อรา 1 ชนิด คือ *Aspergillus niger*

ข. การเตรียมเชื้อ

เชื้อแบคทีเรีย โดยเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิดในหลอดอาหาร nutrient agar (NA) ทั้งไว้ให้มียา 24 ชั่วโมง นำเชื้อมาละลายในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.85% ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแล้ว เจือจางเชื้อแต่ละชนิดด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ให้มีค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นเท่าๆ กัน โดยวัดจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิดลำแสงคู่ ที่มีความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ให้มีค่าประมาณ 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อรา โดยเลี้ยงเชื้อในหลอดอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ทั้งไว้ให้มียา 7 วัน นำเชื้อมาละลายในน้ำกลั่นผสม Tween80 0.05% นับสปอร์เชื้อราโดยใช้ Haemocytometer เพื่อให้ได้สปอร์ 10^6 สปอร์ต่อมิลลิเมตรต่อจาน

ค. การเตรียมอาหารทดสอบ

อาหารที่เตรียมไว้ใช้สำหรับทดสอบ คือ nutrient-salts agar เป็นอาหารที่ไม่มีแหล่งคาร์บอนอยู่ เตรียมได้ดังสูตรข้างล่าง ดังนี้

Potassium dihydrogen orthophosphate (KH_2PO_4)	0.7	กรัม
Potassium monohydrogen orthophosphate (K_2HPO_4)	0.7	กรัม
Magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.7	กรัม
Potassium monohydrogen orthophosphate (K_2HPO_4)	0.7	กรัม
Ammonium nitrate (NH_4NO_3)	1.0	กรัม
Sodium chloride (NaCl)	0.005	กรัม
Ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.002	กรัม
Manganese sulfate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	0.001	กรัม
Agar	15.0	กรัม
Distilled water	1000.0	กรัม

ละลายส่วนผสมต่าง ๆ ตามสูตรในน้ำเดือด 1 ลิตร กวนสารละลายอย่างสม่ำเสมอ เตรียมอาหารที่ได้ใส่ในขวด ๆ ละ 100 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เย็น เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ง. การเตรียมชิ้นงานพลาสติก

นำพลาสติกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.7 ข มาตัดให้มีขนาด $1/2 \times 1/2$ นิ้ว จากนั้นนำพลาสติกไปฆ่าเชื้อโดยแช่ลงในสารละลาย hypochlorite 5% ประมาณ 10 นาที แล้วจึงล้างออกด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้ว 3 ครั้ง

จ. วิธีการทดสอบ

หอยมอาหารที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.11 ค ให้ละลายให้หมด ทั้งไว้ให้เย็นประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45 องศาเซลเซียส (เมื่อใช้มือและจะรู้สึกอุ่นๆ พอทนได้) เทอาหารลงในจานเพาะเชื้อ (ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว) ประมาณครึ่งจานหรือประมาณ 20 มิลลิตร ปล่องยให้อาหารแห้งตัว ปิดเต็ดเชื้อที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.11 ข จำนวน 1 มิลลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ใช้แท่งแก้วรูปตัวแอลที่ฆ่าเชื้อแล้ว เคลี่ยเชื้อให้ทั่วผิวหน้าจานเพาะเชื้อ วางชั้นพลาสติกที่ต้องการทดสอบในจานเพาะเชื้อ บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 21 วัน ตรวจดูผลที่เกิดขึ้นทุกๆ 7 วัน โดยถ้าเชื้อสามารถเจริญเติบโตได้บนชั้นงานพลาสติก แสดงว่าพลาสติกชนิดนั้นสามารถย่อยสลายได้ และทำการสังเกตว่าพลาสติกสูตรใดที่สามารถย่อยสลายได้ดีที่สุด

3.3.12 การเปลี่ยนแปลงภายหลังการทดสอบด้วยจุลินทรีย์โดยสังเกตจากลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนไป

การศึกษาการเปลี่ยนแปลง ภายหลังการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ นำชั้นพลาสติกไปล้างเชื้อออกก่อนโดยแช่ในสารละลายเมอคิวริกคลอไรด์ ($HgCl_2$) เป็นเวลา 5 นาที และทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน นำชั้นพลาสติกที่ได้มาศึกษา ลักษณะภายนอกที่เปลี่ยนไป โดยศึกษาลักษณะสีและผิวที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำชั้นงานพลาสติกมาตรวจสอบโดยใช้เครื่องโพลาริไรซ์ไมโครสโคป เพื่อทำการศึกษาในเชิงเปรียบเทียบ มุมของ Analyzer 90 องศา

3.3.13 ทดสอบหาเชื้อที่ปนเปื้อนในจานเพาะเชื้อ

เชื้อเชื้อที่ปนเปื้อนบนแผ่นพลาสติกลงในหลอดน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 1 มิลลิตร ใช้ปิเปตต์ 0.1 มิลลิตร ปิเปตต์เชื้อที่ละลายน้ำกลั่นแล้วลงในจานเพาะเชื้อที่เทอาหารแห้ง PDA จากนั้นเกลี่ยเชื้อให้ทั่ว บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้อง ตรวจผลในวันที่ 7 โดยการถ่ายเชื้อที่แยกโคโลนีเดี่ยว ๆ แล้วลงในหลอด PDA Slant เก็บไว้ในตู้เย็น

นำเชื้อที่ปนเปื้อนจากหลอด PDA Slant เก็บไว้ในตู้เย็น นำเชื้อที่ปนเปื้อนมาจากหลอด PDA slant และทำการศึกษาคูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยดูลักษณะและโครงสร้างของเชื้อโดยใช้กำลังขยาย 40 เท่า

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษานำมันสำปะหลังมาใช้เป็นสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และความหนาแน่นต่ำ ในการศึกษาพยายามได้ปรับปรุงสมบัติจุดต่าง ๆ ที่ยังเป็นข้อบกพร่องของพลาสติกผสมสูตรที่ได้ โดยในการศึกษานั้นแบ่งการทดลองออกเป็น 13 ตอน ดังต่อไปนี้

4.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมดังกล่าว สามารถเตรียมได้ดังหัวข้อ 3.3.1 พอลิเมอร์ร่วมที่สังเคราะห์ได้ จะมีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด เมื่ออบให้แห้งจะจับตัวเป็นก้อนแข็ง ในการนำไปใช้เป็นสารตัวเติมจะต้องนำไปบดแล้วผ่านเครื่องคัดแยกที่มีขนาด 200 เมช

4.2 การปรับปรุงสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้สารเสกซ์ เมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (HMDI)

การปรับปรุงสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ HMDI สามารถเตรียมได้ดังหัวข้อ 3.3.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะร่วนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งธรรมดา และแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ควรจะอบให้แห้งเสียก่อน เพื่อให้ความชื้นไม่ทำให้ทำปฏิกิริยากับหมู่ isocyanate เกิดเป็นน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.3 การหาปริมาณความชื้นของแป้ง

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความชื้นของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดของแป้ง	ปริมาณความชื้น (%)
แป้งมันสำปะหลัง	3.475
พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง	1.045

จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นของแป้งมันสำปะหลังนั้นมีความชื้นมากกว่าพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังนั้นมีคุณสมบัติที่มีความเป็นขั้วลดน้อยลงกว่าแป้งมันสำปะหลัง จึงมีปริมาณความชื้นลดลง

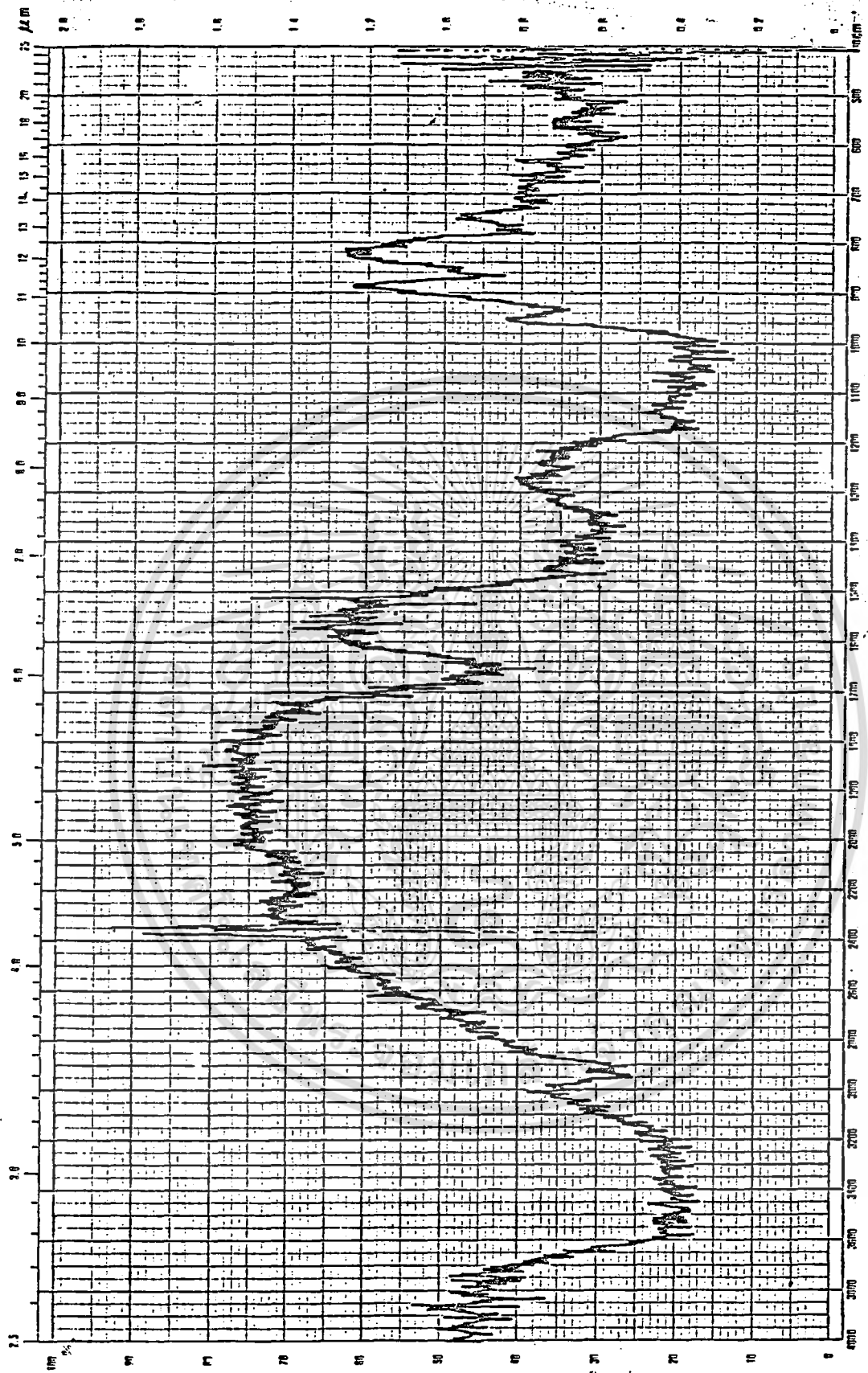
4.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งพอลิเมอร์ร่วมและแป้งที่ได้รับการปรับปรุงสภาพความเป็นขั้วเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง

4.4.1 การตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันของแป้งมันสำปะหลังก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ

จากการตรวจสอบโดยใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้เทคนิค KBr disc

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงถึงสเปกตรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของแป้งมันสำปะหลัง และพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังได้อย่างชัดเจน คือ ที่ปริมาณ $3,000 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$ แป้งมันสำปะหลังจะมีพีค (peak) ของหมู่ hydroxy ที่ค่อนข้างกว้างกว่าพอลิเมอร์ร่วมทั้งนี้เนื่องจากการที่มอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลตที่ต่อเข้าไป ณ สายโซ่ของอะไมโดสที่หมู่ hydroxy และที่ประมาณเลขคลื่น $1,740 \text{ cm}^{-1}$ ปรากฏว่ามีพีคของหมู่คาร์บอนิล (carbonyl) เกิดขึ้นในสเปกตรัมของพอลิเมอร์ร่วม

ส่วนแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต สามารถเตรียมได้ดังข้อ 3.3.2 ซึ่งใช้ HMDI 15 % ลักษณะของสเปกตรัมแสดงได้ในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ณ เลข $3,000 - 3,600 \text{ cm}^{-1}$ จะมีพีคของหมู่ hydroxy ที่เล็กลงเช่นเดียวกัน และที่ประมาณ 1700 cm^{-1}



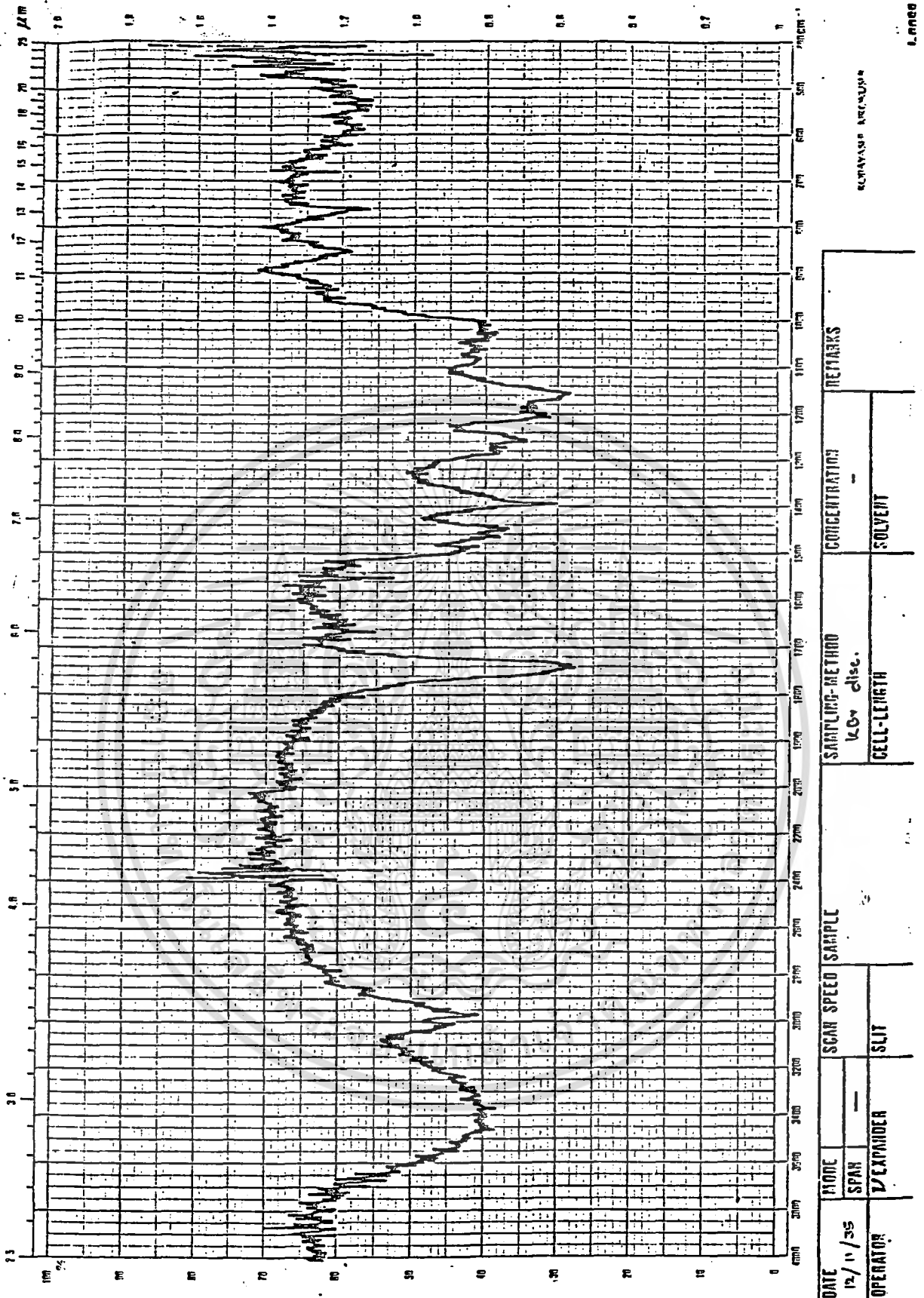
KORVAFAR RECORDS

J-0068

DATE	MODE	SCAN SPEED		SAMPLE		REMARKS
	SPAN					
OPERATOR	1/EXPANDER	SLIT		SAMPLING-METHOD		CONCENTRATION
			CELL-LENGTH		SOLVENT	

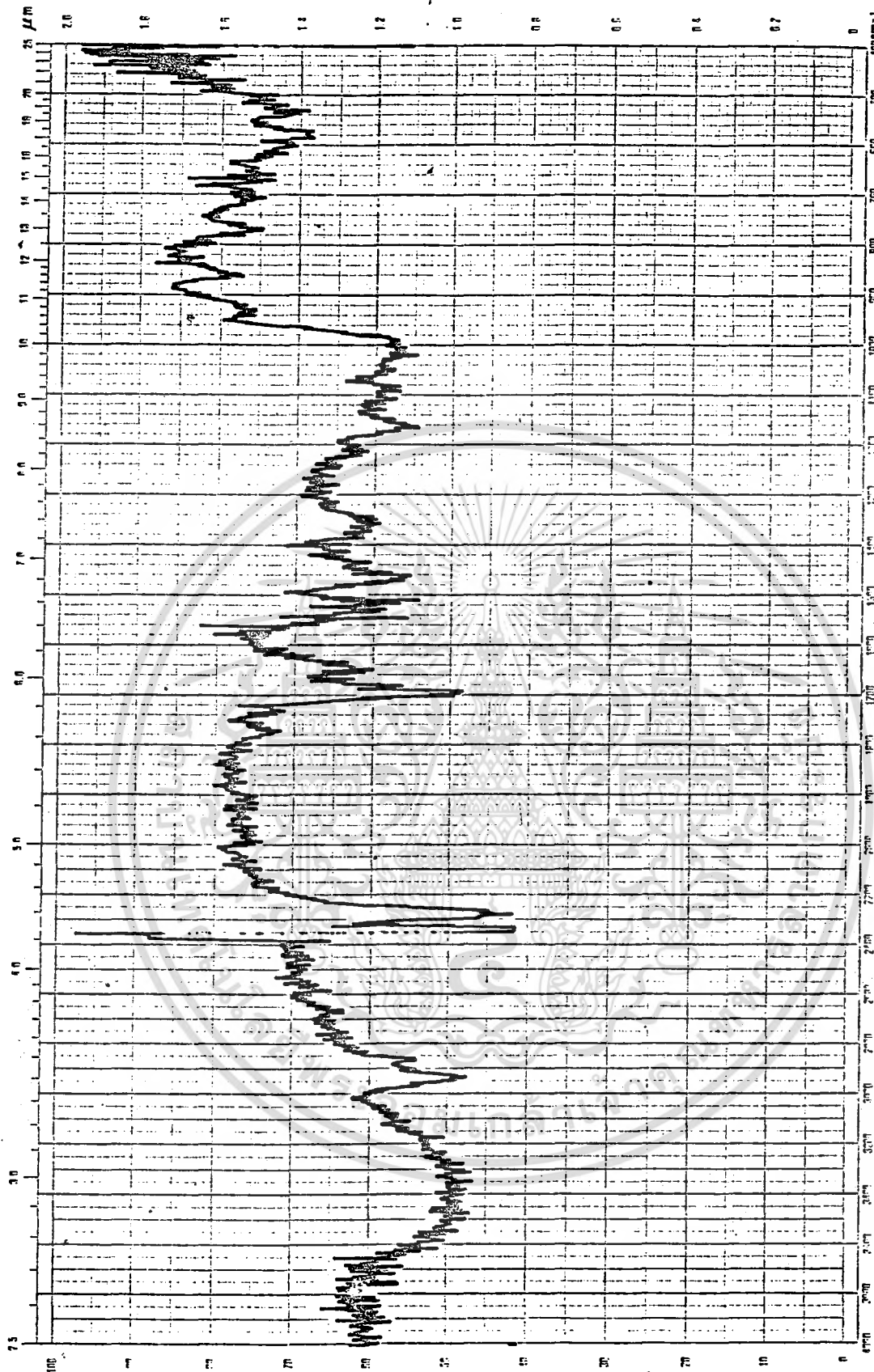
รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เทคนิค KBr disc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับ
เมทิลเมทาอะคริเลต โดยใช้เทคนิค KBr disc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DATE		MODE		SCAN SPEED		SAMPLE		SCANNING METHOD		CONCENTRATION		REFERENCE	
4/2/36		STAY		20		Standard - 100%		CELL-LENGTH		50 μm		JASCO	
OPERATOR		W/EXAMINER		SUIT								J-0068	

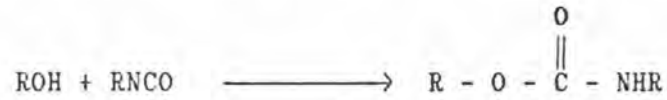
JAPAN SPECTROSCOPIC CO. LTD.
日本分光工業株式会社
MADE IN JAPAN

รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของแป้งไอโซไซยานเนตที่ HMDI 15 %

โดยใช้เทคนิค KBr disc

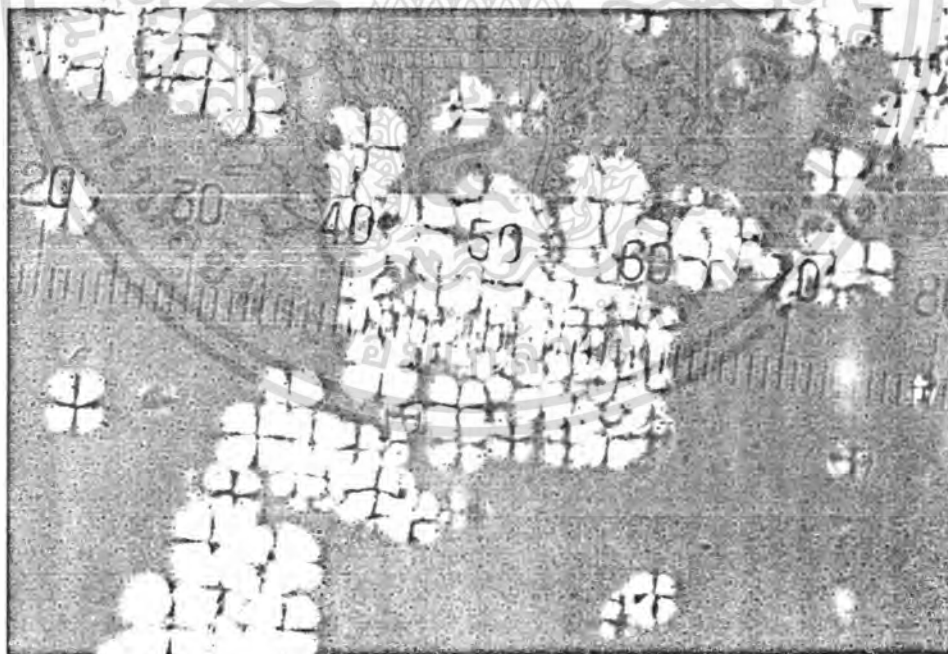
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะปรากฏฟีดของหมู่คาร์บอนิลที่มีความเข้มต่ำ เนื่องจากอยู่ติดกับอะตอมของออกซิเจน และไนโตรเจน ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างหมู่ hydroxy ในโมเลกุลแข็ง และหมู่ isocyanate ในโมเลกุลของ HMDI ดังสมการ



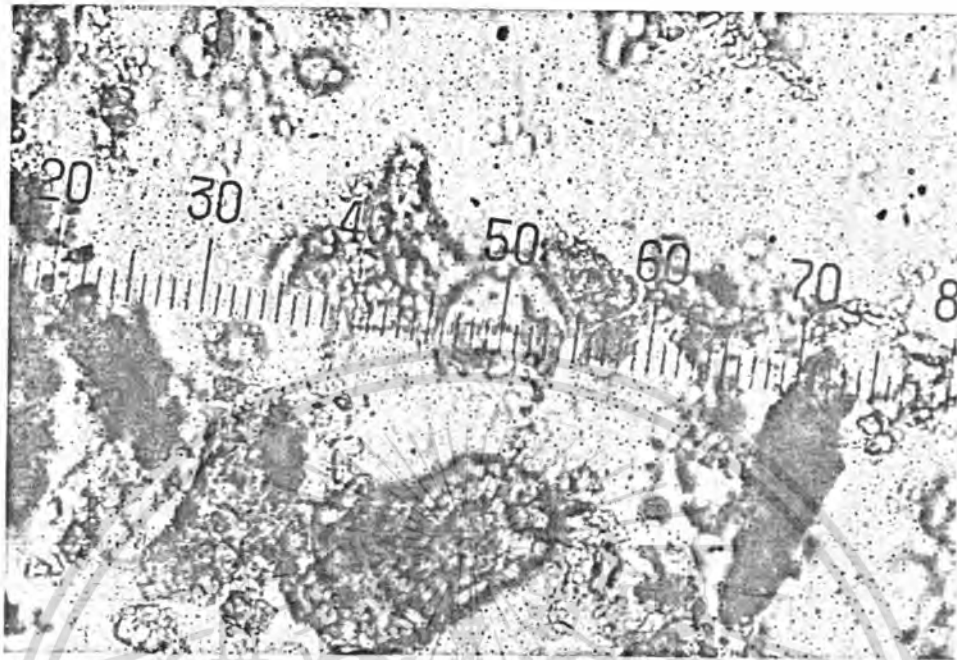
4.4.2 การตรวจสอบลักษณะรูปร่างของแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะรูปร่างของแป้งมันสำปะหลังและพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง จะเห็นได้ว่าลักษณะผลึกของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังจะสูญเสียความเป็นนาฬิกาลูกตุ้ม (Birefringence) ไป หมายถึงการจัดเรียงตัวภายในโมเลกุลลดลง เนื่องจากในขณะทำปฏิกิริยานั้น น้ำจะเข้าไปแทรกกระหว่างสายโซ่โมเลกุล



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงรูปร่างของแป้งมันสำปะหลัง จากกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป
กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงรูปร่างของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังจากกล้องโพลาริซ์ ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 50 องศา

4.5 การเตรียมสารตัวเติม

การเตรียมสารตัวเติมตามวิธีดังกล่าวในหัวข้อ 3.3.5 จะใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เพื่อให้ Epolene wax E 43 และน้ำมันก๊วยเหลือง ที่เติมลงไปยังไม่สามารถเข้ากันกับแป้งได้ เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จะเห็นได้ว่าส่วนผสมจะมีความหนืดและกวนได้ยากขึ้นเรื่อย ๆ จนครบเวลา 10 นาที จะรู้สึกได้ว่าส่วนผสมที่ได้ค่อนข้างจะจับตัวกันและมีลักษณะร่วนขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมที่เติมลงไปนั้นลอยตัว และถูกดูดซับโดยอนุภาคของแป้ง

4.6 การผสมสูตรพลาสติก

จากการผสมสูตรพลาสติก และตรวจสอบลักษณะทางกายภาพภายนอกของพลาสติก ที่ได้จะสังเกตได้ว่า ลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผสมสูตรได้ในแต่ละสูตรจะมีความคล้ายคลึงกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ทำการผสมสูตรแล้ว

สูตรที่ 1	พลาสติกพอลิเอทิลีนธรรมดา ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ
สูตรที่ 2	ส่วนผสมที่มีแป้งและพลาสติก ลักษณะที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ แป้งที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงด้วยสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ จะไม่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเอทิลีนได้ และมีความเปราะเพิ่มขึ้นจากสูตรที่ 1
สูตรที่ 3	การปรับปรุงสมบัติของสารตัวเติมแป้งด้วยอีโพลีน อี43 น้ำมันถั่วเหลือง และการคสเคียวริก จะทำให้แป้งสามารถกระจายตัวในพลาสติกได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 2 เพราะแป้งเป็นสารตัวเติมที่มีชีวิต ส่วนพอลิเอทิลีน เป็นพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีชีวิต เมื่อนำแป้ง และพอลิเอทิลีนผสมเข้ากัน จะต้องมีการปรับสภาพผิวของสารตัวเติมด้วยอีโพลีน อี43 ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้แป้งสามารถกระจายตัวในพอลิเอทิลีนได้ดี และนอกจากนั้นยังมี น้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งช่วยทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนเคลื่อนไหวย่างขึ้น โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ผ่านกันได้ดี ทำให้ลดความเปราะลงได้ แต่อย่างไรก็ตามสูตรที่ 3 นี้ยังมีความขุ่นมากกว่าสูตร ที่ 1
สูตรที่ 4	ใช้พอลิเมอร์รวมของแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม โดยที่ไม่มีสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าลักษณะสีของพลาสติกจะเปลี่ยนไปเป็นสีเหลือง และสารตัวเติมจะไม่ค่อยเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเอทิลีน ความเปราะเพิ่มมากขึ้น ลักษณะสีของพลาสติกที่เปลี่ยนไปนั้นเนื่องจากพอลิเมอร์รวมเกิดการสลายตัวในระหว่างการผสม

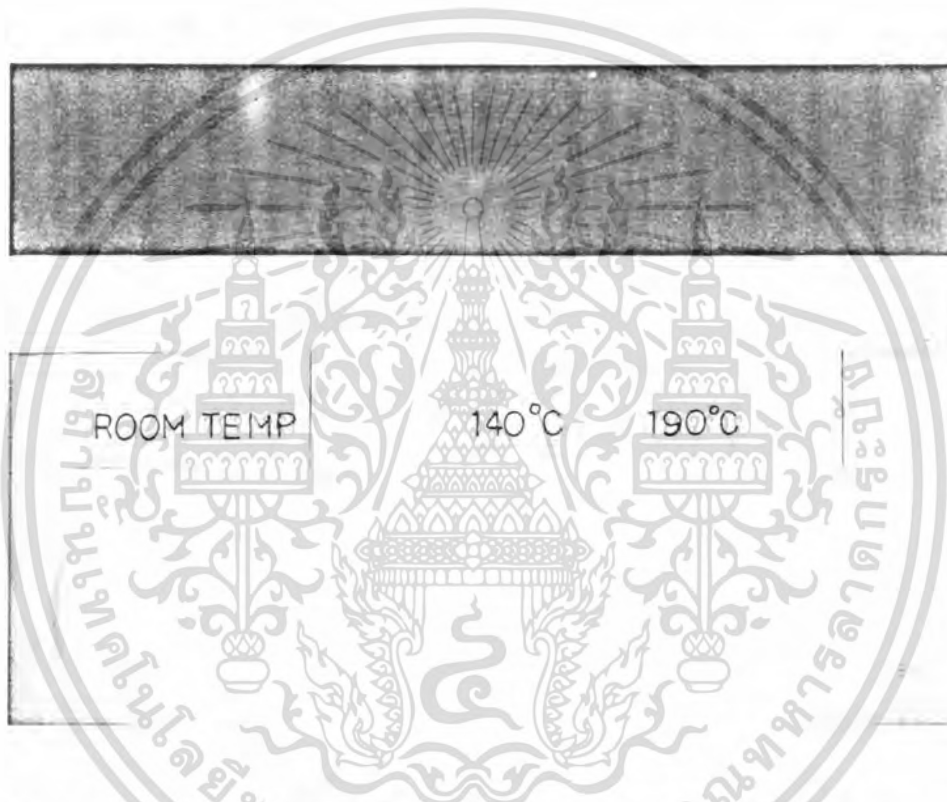
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ทำการผสมสูตรแล้ว

สูตรที่ 5	พอลิเมอร์ร่วม ทำการปรับปรุง โดยใช้อีโพลีน อี43 น้ำมันก๊วยเหลือง และกรดสเตียริกเช่นเดียวกับสูตรที่ 3 จะเห็นว่าแป้งสามารถเข้ากันได้กับพลาสติกมากขึ้น แต่ลักษณะสีของพลาสติกยังเป็นสีเหลืองอย่างเดิม
สูตรที่ 6-8	สารตัวเติมแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต 5 % 10 % และ 15 % ตามลำดับ สิ่งที่เกิดขึ้นได้ คือ แป้งสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณของ HMDI มากขึ้นจะทำให้พลาสติกมีสีเหลืองขึ้นบ้างเล็กน้อยตามลำดับ แต่ไม่เท่ากับสูตรที่ 4 และสูตรที่ 5
สูตรที่ 9	สารตัวเติมแป้งมันสำปะหลังที่ใช้สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ พลาสติกที่ได้จะมีสีเหลืองขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 ทั้งนี้อาจเกิดจากอนุภาคของสารตัวเติมที่ลงไปแทรกระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนเมื่อได้รับความร้อนแล้ว เกิดการเปลี่ยนสภาพไปได้
สูตรที่ 10	สารตัวเติมแป้งมันสำปะหลังที่ใช้สารเติมแต่งชนิดต่างๆ และมีสารเสริมเสถียรสภาพซิงค์สเตียเรตใส่ลงไป 5 % พลาสติกที่ได้จะมีลักษณะทางกายภาพดีขึ้น อนุภาคของแป้งสามารถเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับพลาสติกมากขึ้น

พลาสติกที่ได้จากการผสมสูตรที่ 4 , 5 และ 10 ซึ่งใช้พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังและเมทิลเมทาอะครีเลตเป็นสารตัวเติม จะมีความเปราะ และมีสีคล้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ร่วมในระหว่างกระบวนการผลิต สามารถตรวจสอบ

ได้ โดยนำพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง และสารเติมแต่งอื่น ๆ มาให้ความร้อนที่ 140 องศาเซลเซียส และ 190 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าสารเติมแต่งอื่น ๆ ที่ใส่ลงไป ด้วยนั้น ไม่เกิดการเปลี่ยนสี แต่สำหรับพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังจะเกิดการเปลี่ยนสี ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพแสดงการเปลี่ยนสีเนื่องจากเกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับเมทิลเมทาอะครีเลต ที่อุณหภูมิห้อง, 140 °C และ 190 °C

จากผลการทดลองนี้ สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการเติมซิงค์สเตียเรต ซึ่งช่วยทำหน้าที่ 2 ประการ คือ เป็นสารเสริมเสถียรภาพทางความร้อน (heat stabilizer) และทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นช่วยลดความเปราะได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การขึ้นรูปพลาสติก

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

ตารางที่ 4.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการขึ้นรูป

สูตร	ลักษณะทางกายภาพเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
1	สีขาวนวล
2	สีขาวทึบ เห็นอนุภาคแป้งจับตัวเป็นก้อน
3	สีขาวขุ่น อนุภาคแป้งสามารถเข้ากันได้ดีกับพลาสติก
4	สีน้ำตาลแกมเหลือง เห็นอนุภาคแป้งจับเป็นก้อน และมีฟองอากาศกระจายไปทั่วอนุภาคพลาสติก ผิวพลาสติกไม่เรียบ
5	สีน้ำตาลเข้มขึ้นจากสูตรที่ 4 แต่การกระจายตัวของอนุภาคแป้งดีขึ้น ฟองอากาศน้อยลง
6	มีสีขาวนวล การกระจายของอนุภาคดี
7	มีสีขาวออกเหลืองจาง ๆ
8	มีสีเข้มกว่าสูตร 7 เล็กน้อย เห็นอนุภาคแป้งจับตัวเป็นก้อนบ้างเล็กน้อย
9	สีขาวออกเหลือง
10	สีน้ำตาล การกระจายตัวของอนุภาคแป้งดีขึ้น มีฟองอากาศภายในน้อยมาก

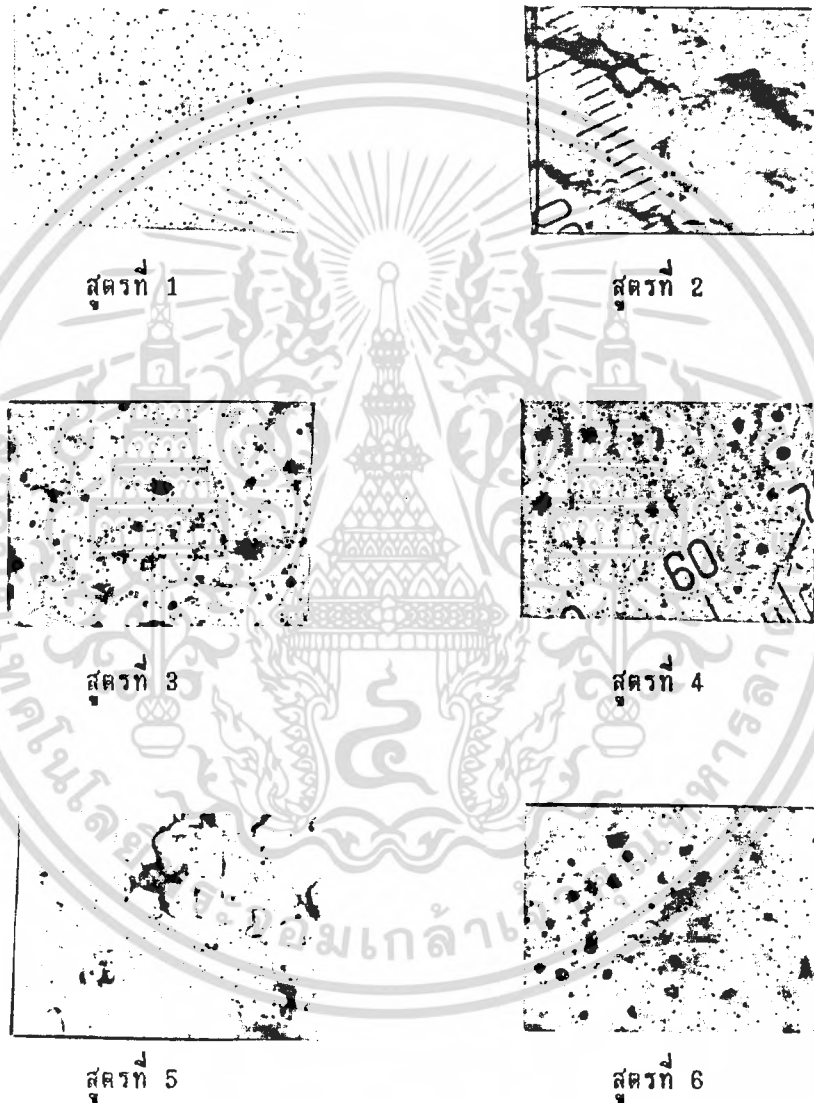
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผ่านการขึ้นรูป

สูตร	ลักษณะภายนอกเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
1	โปร่งใส มีความอ่อนตัวสูง
2	สีขาวขุ่น เห็นอนุภาคแป้งจับตัวเป็นก้อนอยู่ทั่วไป
3	สีขาวขุ่น เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี
4	สีน้ำตาลแกมเหลือง เห็นอนุภาคแป้งจับตัวเป็นก้อน และมีฟองอากาศกระจายอยู่ทั่วแผ่นพลาสติก ผิวพลาสติกไม่เรียบ
5	สีน้ำตาลเข้มขึ้น การกระจายตัวของอนุภาคแป้งดีขึ้น แต่ยังคงมีฟองอากาศ
6	สีขาวนวล การกระจายของอนุภาคดี
7	สีขาวนวล การกระจายของอนุภาคดี
8	สีเหลืองขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสูตรที่ 7 เห็นอนุภาคแป้งจับตัวเป็นก้อนบ้างเล็กน้อย
9	ลักษณะโปร่งแสง สีออกเหลือง
10	สีน้ำตาลแกมเหลือง การกระจายตัวของอนุภาคแป้งดีขึ้น มีฟองอากาศน้อยมาก

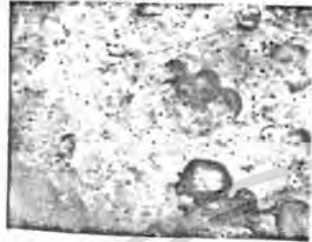
4.8 การศึกษาการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (DISPERSIBILITY)

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ 4.7 ภาพแสดงลักษณะของการกระจายตัวของสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูงทั้ง 10 สูตร โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป
กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90 องศา

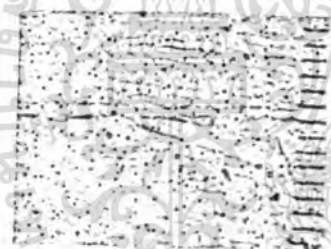
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



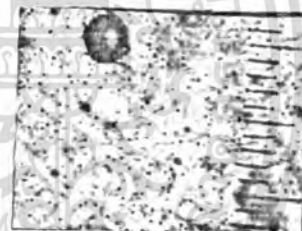
สูตรที่ 7



สูตรที่ 8



สูตรที่ 9

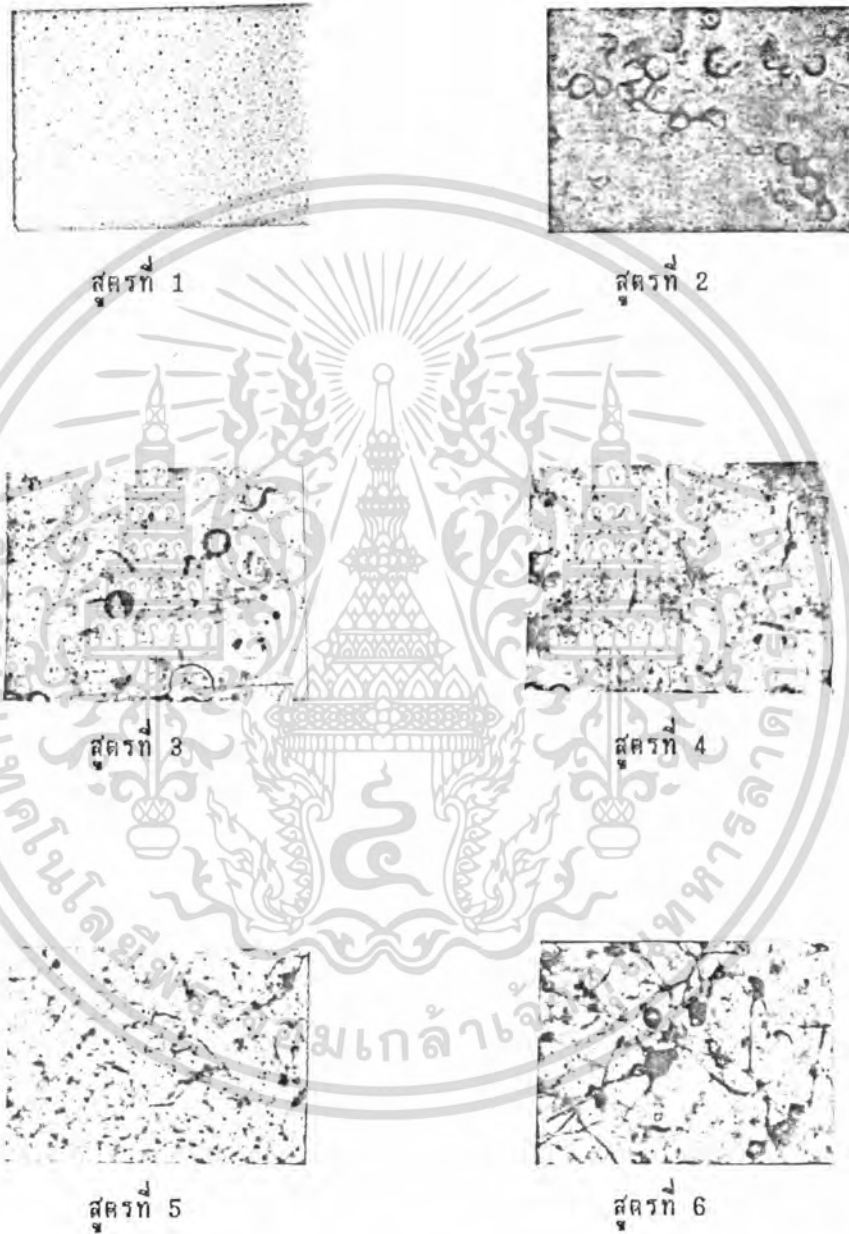


สูตรที่ 10

รูปที่ 4.7 (ต่อ) ภาพแสดงลักษณะของการกระจายตัวของสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูงทั้ง 10 สูตร โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป!
กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงลักษณะของการกระจายตัวของสารตัวเติมในพลาสติกพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นต่ำทั้ง 10 สูตร โดยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป
กำลังขยาย 200 เท่า มม Analyzer 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (ต่อ) ภาพแสดงลักษณะของการกระจายตัวของสารตะกั่วในพลาสติกพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นต่ำทั้ง 10 สูตร โดยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป
กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบความสามารถในการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จะเตรียมโดยใช้เครื่องอัดรีด ซึ่งทำให้เราสามารถควบคุมปริมาณความร้อนให้คงที่ และอัตราการเย็นตัวของพลาสติก ให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว จนมีเวลาในการตกผลึก (crystallisation) น้อยมาก เมื่อนำมาศึกษาด้วยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป จะไม่เห็นสเฟียรูไลต์ของพอลิเอทิลีน จึงง่ายต่อการศึกษาเป็นอย่างมาก จากภาพถ่ายทั้งหมดจะเห็นได้ว่า

1. แป้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ จะสามารถกระจายตัวในพอลิเอทิลีนได้ดีกว่าแป้งที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ

2. เมื่อเปรียบเทียบสารตัวเติมทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต 5% , 10% และ 15% พบว่า แป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต 5 % มีการกระจายตัวของอนุภาคแป้งดีที่สุดทั้งนี้เนื่องจาก

2.1 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต 15% และ 20% จะพบว่าแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต 15% และ 20% จะมีปริมาณของการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างค้ายาวมากกว่าที่ 5 % ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบเฮกซะเมทิลีนไดไฮโดรไลซายาเนตเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้ดี

2.2 เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซายาเนต 5 % กับพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังพบว่า พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะโครงสร้างที่เกาะเกาะเนื่องจากสายโซ่ด้านข้างซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต ซึ่งทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) กับพลาสติกมีน้อยลง

4.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล

4.9.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด

จากการทดสอบในหัวข้อ 3.3.8 ก ผลการทดสอบทั้งหมดนำมาสรุปไว้ในตารางที่

4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

ของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูตรต่าง ๆ

สูตรที่	ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดคราก		ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด		เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	
	ค่าเฉลี่ย (kg/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย (kg/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	289.47	0.10	137.37	0.65	520.00	0.89
2	179.72	0.14	142.96	0.83	15.00	0.51
3	26.87	0.06	144.90	0.35	60.00	0.21
4	26.11	0.03	174.28	0.73	-	-
5	24.65	0.03	166.50	0.91	-	-
6	29.64	0.01	181.38	0.14	-	-
7	26.30	0.02	185.30	0.08	-	-
8	26.77	0.07	171.97	0.10	-	-
9	231.29	0.08	103.89	0.09	646.70	0.71
10	23.30	1.89	138.58	1.40	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

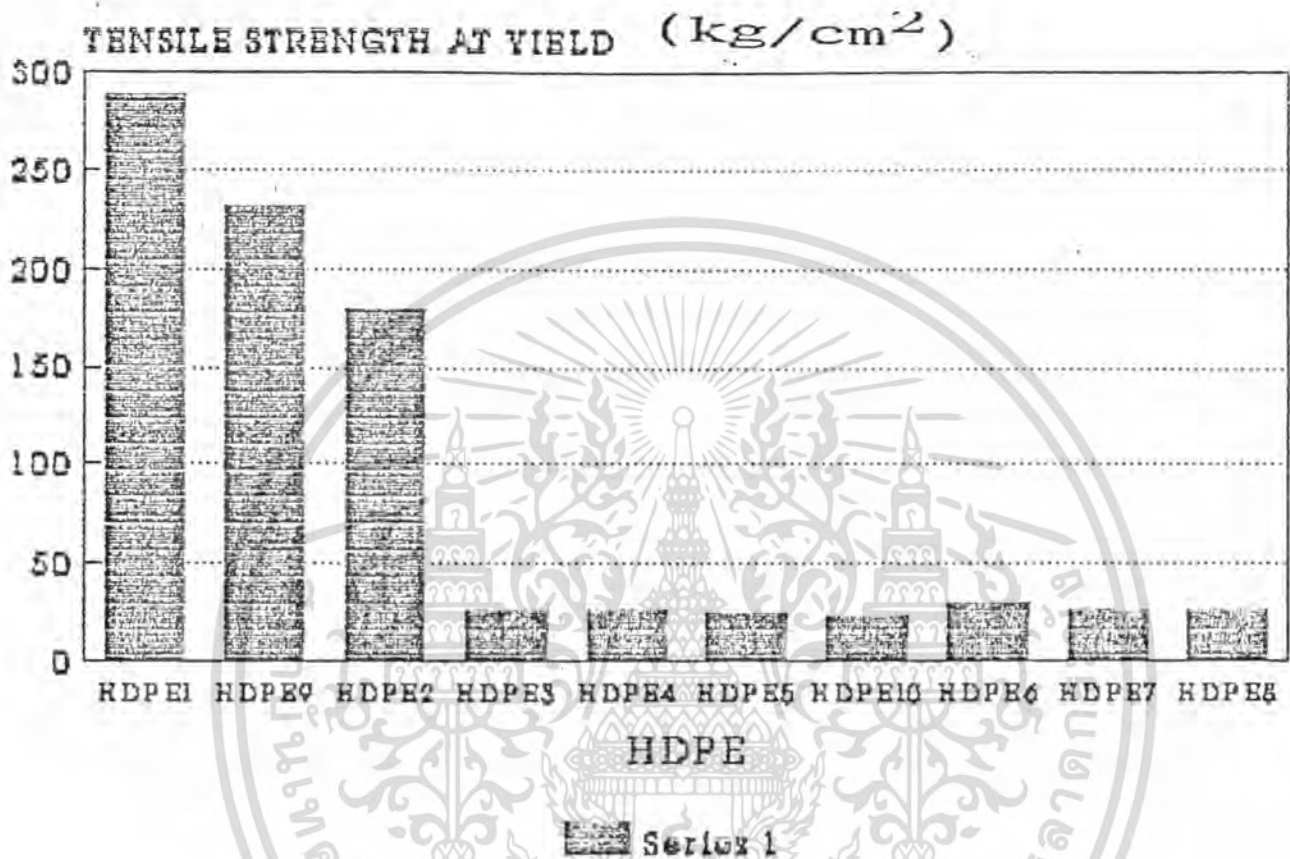
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด
ของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสูตรต่าง ๆ

สูตรที่	ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดคราก		ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาด		เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	
	ค่าเฉลี่ย (kg/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย (kg/cm ²)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
1	92.18	1.44	177.55	0.91	565.00	3.62
2	26.96	1.76	73.66	0.42	76.00	1.98
3	23.49	3.24	81.22	0.55	224.00	3.21
4	22.17	1.12	52.82	0.77	25.00	3.14
5	24.82	21.04	68.16	1.02	38.00	1.14
6	27.83	2.11	85.25	1.41	21.00	5.12
7	26.37	3.45	80.42	0.59	20.00	0.00
8	34.61	4.33	74.11	1.33	20.00	1.95
9	85.55	0.44	118.30	4.25	427.00	1.40
10	32.05	0.55	69.20	3.11	145.00	0.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดคราก

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ 4.9 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดครากของพลาสติก HDPE

เมื่อเปรียบเทียบพลาสติกในสูตรที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าสมบัติความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดคราก ของสูตรที่ 2 มีค่าลดลง เนื่องจากอนุภาคของแป้งไม่มีแรงยึดติดกับเนื้อ (Matrix) พอลิเอทิลีน เพียงแต่แทรกเข้าไปในเนื้อของพอลิเอทิลีนเท่านั้น ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึง จึงเกิดการเคลื่อนที่ออกจากกันได้ง่าย และหลังจากนั้นจะมีการจัดเรียงตัวระหว่างอนุภาคของแป้งและพลาสติกที่เป็นระเบียบมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบพลาสติกในสูตรที่ 3 ซึ่งได้มีการเติมสารช่วยกระจาย และน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัวเหลียงลงไปเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพ จากผลการทดสอบปรากฏว่า ความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดคราก มีค่าลดลงกว่าสูตร 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการเติมสารช่วยกระจายและสารหล่อลื่นลงไปนั้นจะมีผลทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงดึง

จากสูตรที่ 4 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง แต่ไม่ได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติโดยสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ จะเห็นได้ว่ามีสมบัติความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดคราก ต่ำมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคของแป้งมีลักษณะที่ไม่สามารถเข้ากันกับพลาสติกดีนิก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาพถ่ายในหัวข้อ 4.8

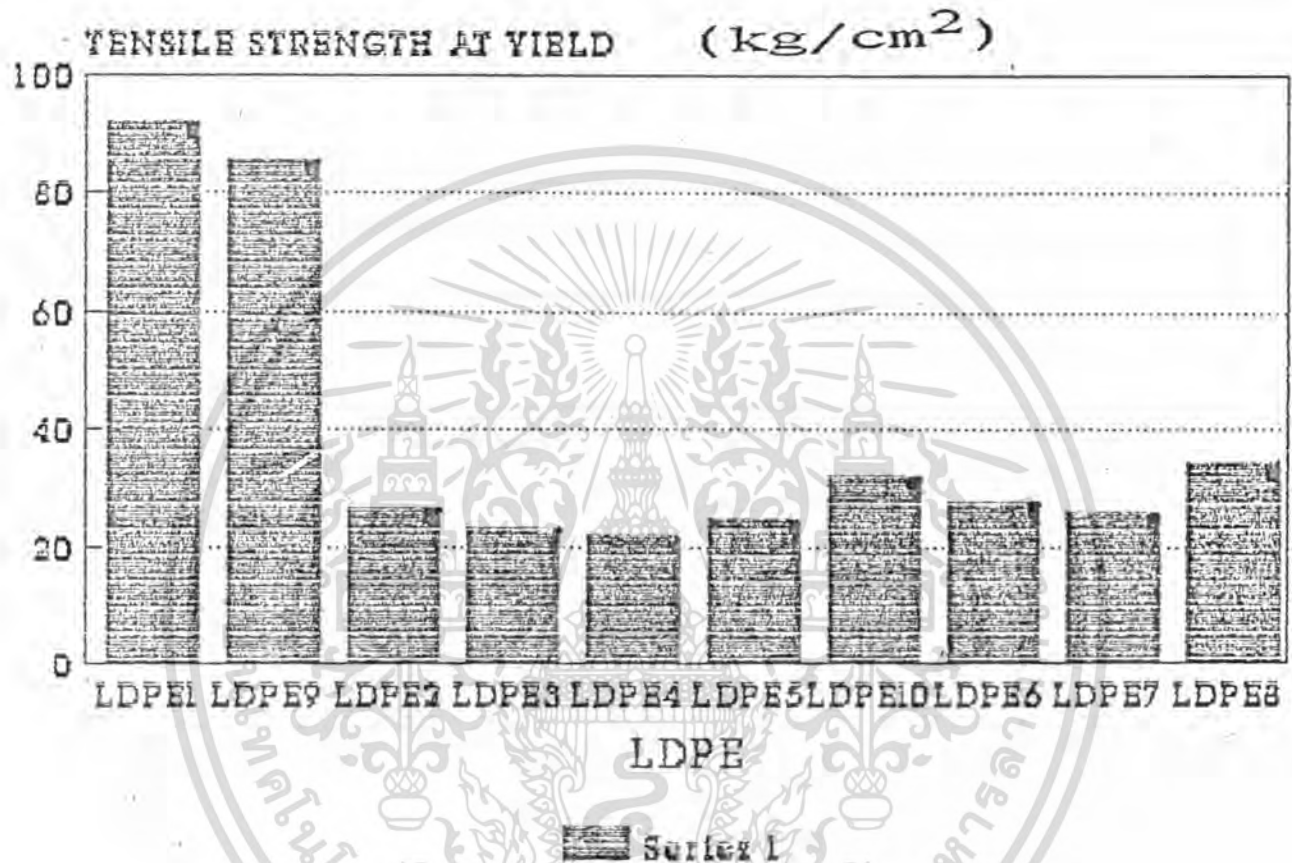
เมื่อเปรียบเทียบพลาสติกในสูตรที่ 4 และ 5 สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับสูตรที่ 2 และ 3

ในพลาสติกสูตรที่ 10 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง และได้รับการปรับปรุงคุณภาพด้วยซิงค์สเตียเรตและสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ จะเห็นได้ว่ามีค่าความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดครากลดลงกว่าสูตรที่ 4 และ 5 ทั้งนี้เนื่องจากซิงค์สเตียเรต ที่เติมลงไปนั้น นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารเสริมเสถียรภาพทางความร้อนแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยหล่อลื่นอีกด้วย

สำหรับพลาสติกในสูตรที่ 6 , 7 และ 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติม HMDI มากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง ๗ จุดคราก มีแนวโน้มลดลงคือ 29.64 , 26.30 และ 26.77 kg/cm² ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากมาจาก เมื่อปริมาณ HMDI มากขึ้น ทำให้ปริมาณการเชื่อมโยงเพิ่มมากขึ้น ทำให้อนุภาคของแป้งมีความแข็งแรงมากกว่าพลาสติก ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึง ความสามารถในการตอบสนองต่อแรงดึงไม่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้เกิดความเค้น (stress concentration) ขึ้น พลาสติกจึงเสียรูปและขาดออกจากกันในที่สุด

สำหรับสูตรที่ 9 นั้น แสดงให้เห็นถึงผลของสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ ที่ใส่ลงไปเพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง โดยในกรณีนี้ไม่ได้ใช้แป้งเป็นสารตัวเติม จะเห็นได้ว่าค่าความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดคราก มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากว่าสายโซ่ของพอลิเมอร์เคลื่อนที่ผ่านกันได้ง่ายขึ้น เพราะน้ำมันกัวเหลียงแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ด้วยเหตุนี้จึงสามารถใช้ในการยืนยันผลการทดลองได้ว่า การที่ค่าความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดครากลดลงเมื่อเติมสารช่วยกระจายและสารหล่อลื่นนั้นเป็นจริง

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 4. 10 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดครากของพลาสติก LDPE

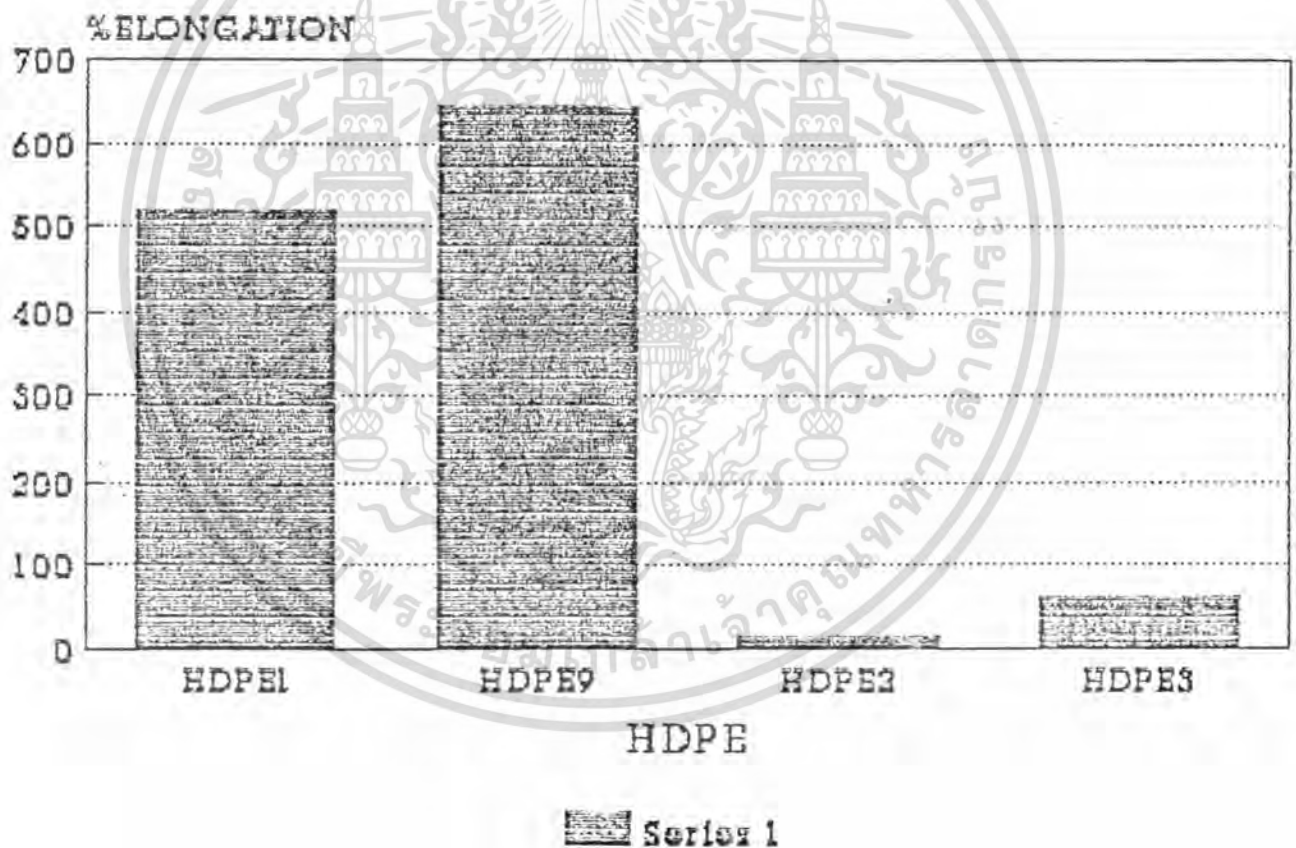
จะเห็นว่าความทนทานต่อแรง ณ จุดคราก ของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง สำหรับสูตรที่ 1 , 2 และ 3 ซึ่งสามารถอธิบายได้คล้ายกับพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒. ความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาด

ความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาดนั้นสามารถที่จะพิจารณาได้ดังนี้ หลังจาก
ที่พลาสติกได้รับแรงดึงในช่วงแรก จนผ่านจุดครากแล้ว จะเกิดลักษณะที่เรียกว่า cold
drawing หรือ necking ซึ่งสายโซ่ของโมเลกุลที่พันกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบจะเริ่ม
ยืดตัวออก และเกิดการจัดเรียงตัวกันให้เป็นระเบียบมากขึ้น ดังนั้นสมบัติความทนทานต่อแรง
ดึง ๗ จุดขาดของพลาสติก ที่มีสสารตัวเติมจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง และ
ขนาดของอนุภาคของสสารตัวเติมว่า เมื่อได้รับแรงดึงแล้ว จะสามารถจัดเรียงตัวให้เข้ากับ
พลาสติกได้มากน้อยเพียงใด

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาดของพลาสติก HDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 1 เปรียบเทียบกับสูตร 2 และ 3 จะเห็นว่าพลาสิกในสูตรที่ 2 นั้น มีค่าความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาดลดลงจากสูตรที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากว่าอนุภาคของ แป้งนั้นจะไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่ของพลาสิก แต่เมื่อเติมสารช่วยกระจาย ลงไป (สูตรที่ 3) จะช่วยทำให้สามารถเข้ากันได้กับพลาสิกมากขึ้น โอกาสที่สายโซ่จะจัด เรียงตัวกันเป็นระเบียบมีมากขึ้น ดังนั้นแรงที่ใช้ในการดึงจึงต้องมากตามไปด้วย ทำให้ค่า ความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาด ของสูตรที่ 3 นั้นเพิ่มมากขึ้น

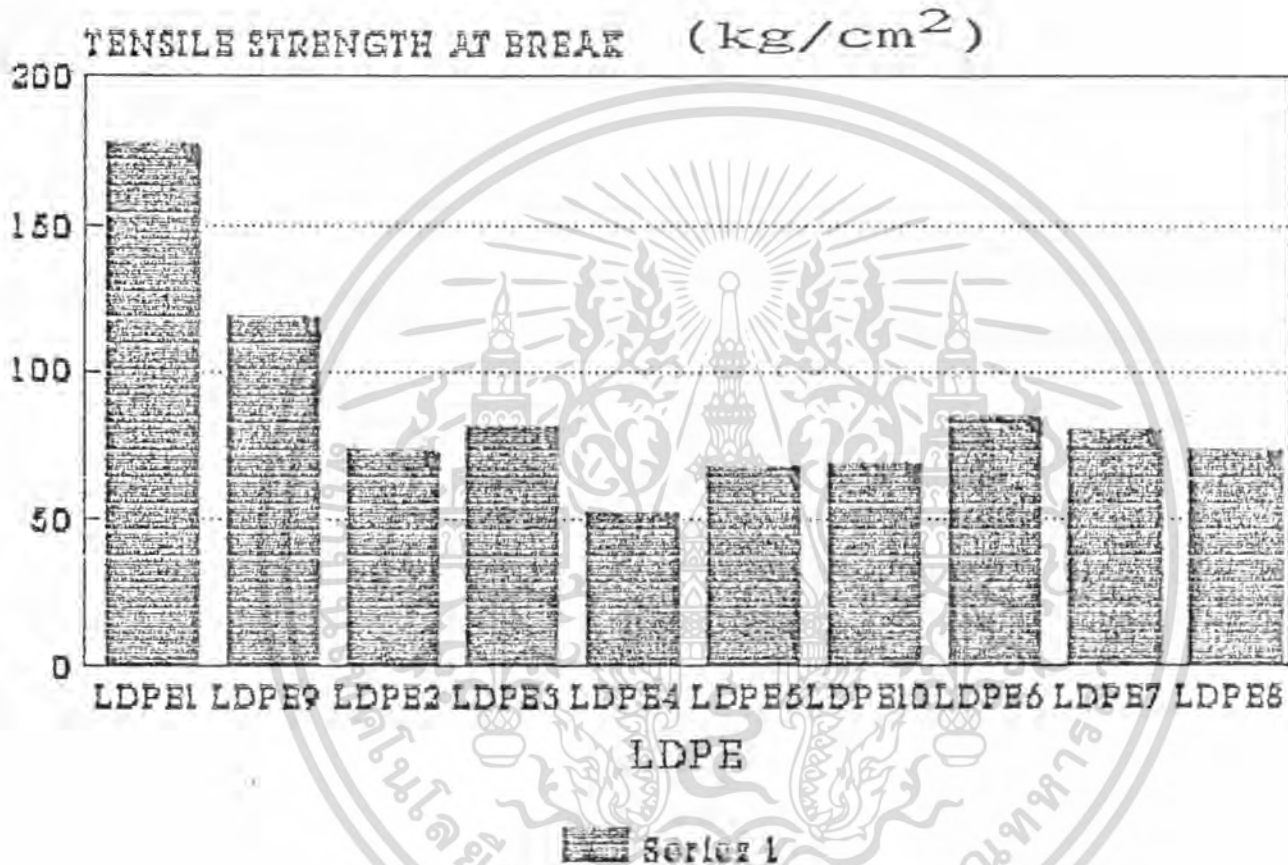
ส่วนสูตรที่ 4 และ 5 นั้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับสูตรที่ 2 และ 3

พลาสิกสูตรที่ 6 , 7 และ 8 ซึ่งทั้ง 3 สูตรใช้สารตัวเติมชนิดเดียวกัน เพียง แต่เพิ่มปริมาณสารเติมชนิดเดียวกันได้โอโซโซอานะต ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างจะพบ ว่า ความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาดจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะผลของปริมาณการเชื่อมโยง จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมชนิดเดียวกันได้โอโซโซอานะต

สูตรที่ 9 สูตรนี้เป็นการเติมสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ สารเหล่านี้จะแทรกตัวอยู่ ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ไม่ให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ชิดติดกันมาก ดังนั้นจึงใช้แรงดึง เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ก็ทำให้สายโซ่ขาดออกจากกันได้

สูตรที่ 10 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงดึง ๗ จุดขาด กับสูตร ที่ 5 จะพบว่ามีความทนทานต่อแรงดึงต่ำกว่าสูตรที่ 5 ทั้งนี้เพราะสูตรที่ 10 มีการเติม ซิงค์สเตียเรตลงไปในซิงค์สเตียเรตทำหน้าที่เป็นสายหล่อลื่น โดยไปแทรกอยู่ระหว่าง สายโซ่ ทำให้สายโซ่ไม่สามารถจัดเรียงตัวให้เป็นแบบที่แน่นที่สุดได้ ดังนั้นค่าความทนทาน ต่อแรงดึง ๗ จุดขาด จึงต่ำกว่าสูตรที่ 5

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



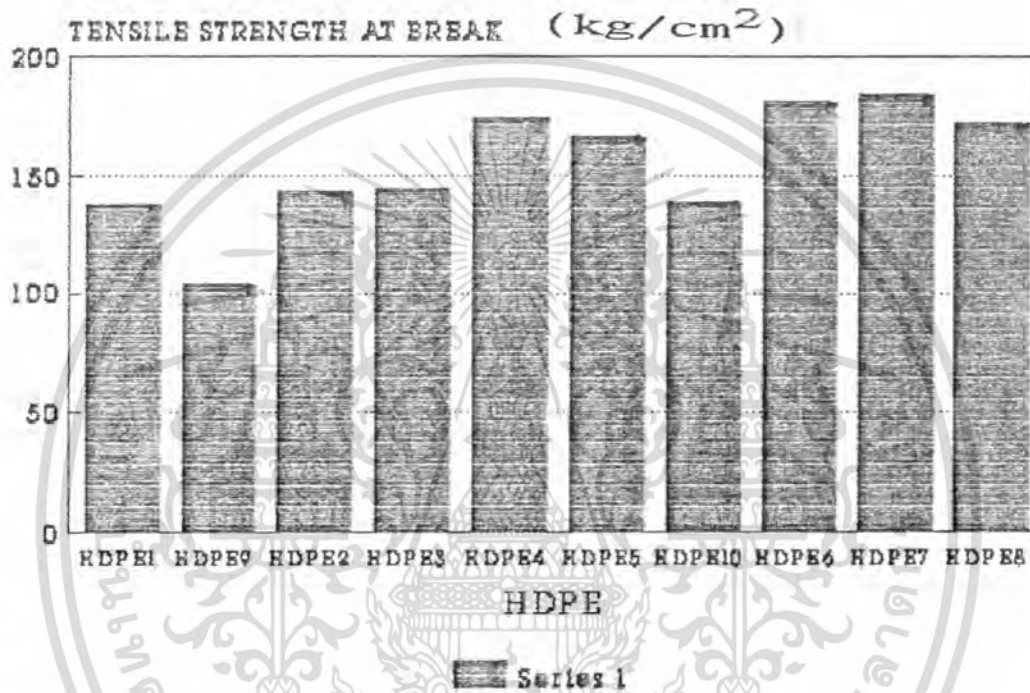
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ณ จุดขาดของพลาสติก LDPE

จะพบว่ามันวามที่คล้ายคลึงกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และจะปรากฏแนวโน้มให้เห็นชัดเจนกว่าพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เช่น ในลำดับของการเติม HMDI ในสูตรที่ 6 , 7 และ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



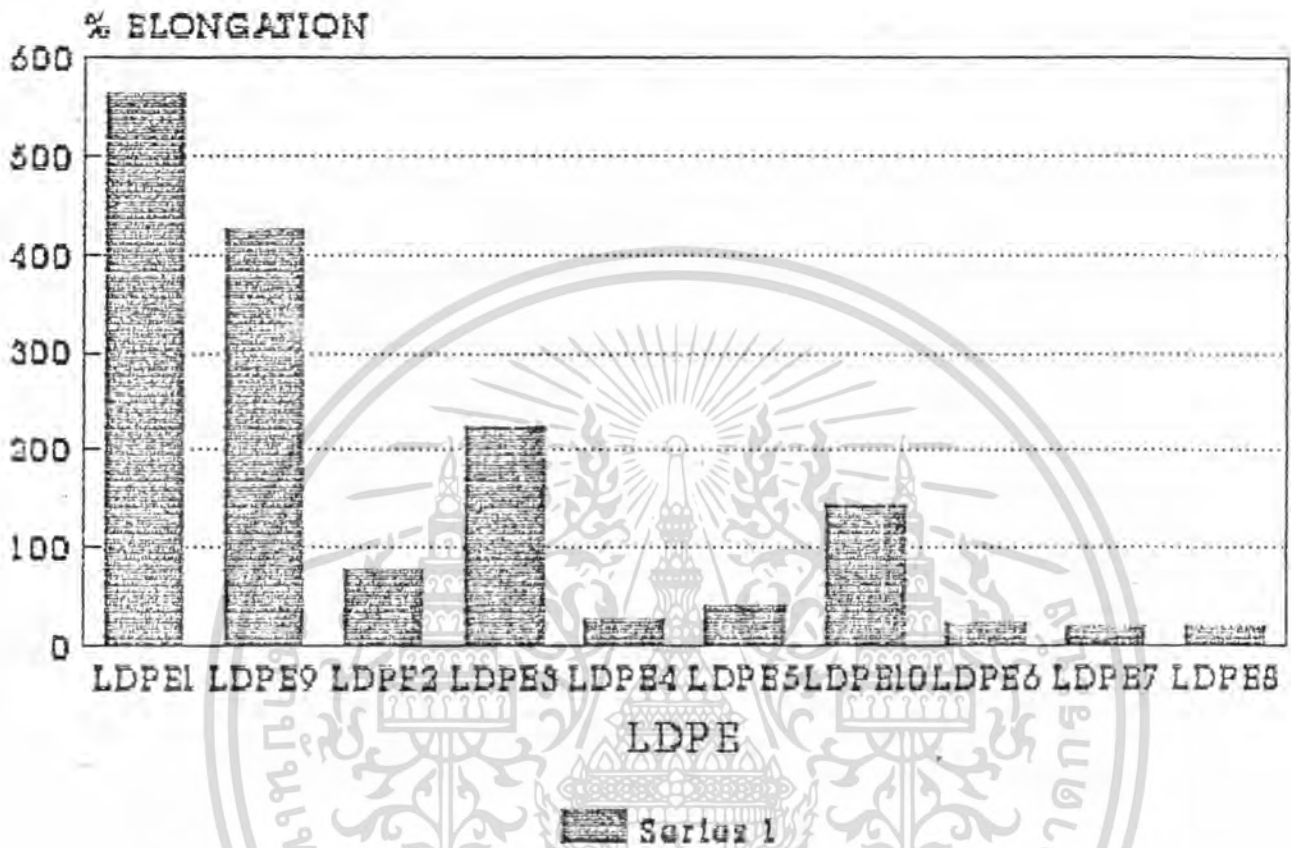
รูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก HDPE

สามารถตรวจสอบได้เพียง 4 สูตรเท่านั้น คือ สูตรที่ 1 , 2 , 3 และ 9 ส่วนสูตรอื่น ๆ ไม่สามารถที่จะนำมาเสนอได้ ทั้งนี้เพราะพลาสติกที่นำมาทดสอบมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดน้อยมาก จนไม่อาจวัดได้

จากค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดที่วัดได้ อาจสรุปได้โดยรวม ๆ ว่า เมื่อเติมสารตัวเติมที่เป็นแป้งลววน ๆ (สูตรที่ 2) ลงในพลาสติก จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 4.14 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติก LDPE

จากค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จะได้ว่า เมื่อเติมสารตัวเติมที่เป็นแป้งมันสำปะหลังลงไป จะทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากเหตุผลที่ว่า อนุภาคของแป้งมันสำปะหลังจะไปขัดขวาง การจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเอทิลีนไม่ให้เข้ากันได้มากที่สุด จึงไม่สามารถจะเบียดกันให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า fibril structure ดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึง จึงเกิดการขาดได้ง่าย ก่อนที่จะยืดตัวออกได้มากที่สุด

เมื่อเติมสารเติมแต่งอื่น ๆ ลงไปช่วย ทำให้อนุภาคของแป้งสามารถเข้ากันได้กับพลาสติกมากขึ้น ซึ่งทำให้สามารถยืดตัวออกได้มากกว่าสูตรที่ไม่มีสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 การทดสอบค่าความแข็งของพลาสติก

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแข็งของพลาสติกพอลิเอทิลีนสูตรต่าง ๆ

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

สูตร	ค่าความแข็งเฉลี่ย (shore D)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	56.60	0.72
2	57.00	0.52
3	57.00	0.94
4	60.50	0.52
5	58.00	0.92
6	56.00	0.56
7	57.80	0.73
8	60.40	0.19
9	55.60	0.14
10	56.00	0.57

พลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

สูตร	ค่าความแข็งเฉลี่ย (shore D)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	41.95	0.00
2	44.60	0.58
3	42.50	0.58
4	45.00	0.82
5	44.00	0.00
6	43.40	0.89
7	45.00	0.75
8	45.30	0.75
9	40.00	0.91
10	44.00	0.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวัดค่าความแข็งของพลาสติกในสูตรที่ 1, 2 และ 3 ปรากฏว่าสูตรที่ 2 ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมนั้นมีค่าสูงกว่าสูตรที่ 1 ซึ่งเป็นพลาสติกบริสุทธิ์ และเมื่อพิจารณาสูตรที่ 3 ปรากฏว่าค่าความแข็งควรจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากว่าสูตรที่ 3 นั้น มีการเติมสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งจะทำให้พลาสติกมีความอ่อนตัวมากขึ้น สามารถยืดหยุ่นได้จากค่าความแข็งของสูตรที่ 9 ที่ลดลงจากสูตรที่ 1 ดังนั้นเมื่อพลาสติกสูตรที่ 3 ได้รับแรงกดจากหัวกดของเครื่องวัด ก็จะทำให้หัวของเครื่องวัดความแข็งแทรกกลงไปในเนื้อพลาสติกได้ง่ายขึ้น ความแข็งของสูตรที่ 3 จึงลดลงจากสูตรที่ 2 แต่เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อน ส่วนพลาสติกในสูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 สามารถอธิบายได้เช่นกัน

เมื่อพิจารณาสูตรที่ 6 , 7 และ 8 ปรากฏว่าค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่า จากทั้ง 3 สูตรนั้น มีการเติมสารเชิงอะโรมาติกไดไอโซไซยาเนตซึ่งเป็นสารเชื่อมโอง ดังนั้นปริมาณของการเชื่อมโองระหว่างโมเลกุลของแป้งจึงมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความแข็งมากขึ้นตามไปด้วย

สำหรับสูตรที่ 10 นั้น มีการเติมซิงค์สเตียเรตลงไปด้วย ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารเสริมเสถียรภาพต่อความร้อนแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ดังนั้นค่าความแข็งเฉลี่ยในสูตรนี้จึงลดลงเมื่อเทียบกับสูตรที่ 4 และ 5

สำหรับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำนั้น มีผลค่อนข้างจะมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน

4.10 การทดสอบความสามารถในการขึ้นรูปของพลาสติก

สามารถทดสอบได้ดังหัวข้อ 3.3.10

สำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ใช้สภาวะดังนี้ (ASIM D 1238)

อุณหภูมิ/น้ำหนัก	190/2.16	องศาเซลเซียส/กิโลกรัม
น้ำหนักของสารตัวอย่าง	5.0	กรัม
ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ	1.00	นาที

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าดัชนีการไหลของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสูตรต่างๆ

สูตร	average weight (g)	SD	MFI g/10 min
1	0.50	0.01	52.0
2	0.42	0.02	42.0
3	0.45	0.01	45.0
4 ^u	0.65	0.01	65.0
5 ^u	0.55	0.06	55.0
6	0.39	0.02	39.0
7	0.36	0.01	36.0
8	0.35	0.02	35.0
9	0.53	0.01	53.0
10	0.55	0.06	55.0

สำหรับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำใช้สภาวะดังนี้ (ASIM D 1238)

อุณหภูมิ/น้ำหนัก	190/2.16	องศาเซลเซียส/กิโลกรัม
น้ำหนักตัวอย่าง	3.0	กรัม
ระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ	6.00	นาที

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการไหลของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสูตรต่างๆ

สูตร	average weight (g)	SD	MFI g/10 min
1	0.16	0.006	0.27
2	0.08	0.006	0.13
3	0.14	0.017	0.23
4*	0.05	0.011	0.08
5*	0.09	0.011	0.15
6	0.07	0.006	0.11
7	0.06	0.03	0.10
8	0.07	0.72	0.12
9	0.19	0.004	0.31
10	0.10	0.01	0.167

*หมายเหตุ สูตร 4 และ 5 ของพลาสติกทั้งสองชนิด เมื่อทำการทดสอบแล้วปรากฏว่ามีลักษณะไหม้และมีฟองอากาศอยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงพบว่า

1. พลาสติกที่มีแป้งเป็นสารตัวเติมเพียงอย่างเดียว (สูตร 2) นั้นจะมีค่าการชนและการไหลต่ำกว่าพลาสติกธรรมดา (สูตร 1) ทั้งนี้เนื่องจากว่าอนุภาคของแป้งเข้าไปขวางการไหลของพลาสติก
2. เมื่อเติมน้ำแป้งมันสำปะหลังมาปรับปรุงคุณภาพ โดยการเติมสารตัวเติมอื่น ๆ ซึ่งมีกรดสเตียริกเป็นสารเติมแต่งตัวหนึ่งด้วย (สูตร 3) ปรากฏว่ามีค่าการชนและการไหลสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่า กรดสเตียริก นั้นทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ทำให้สายโซ่เคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น จึงเกิดการไหลได้ง่ายขึ้น
3. สำหรับสูตร 4 และสูตร 5 ซึ่งเป็นส่วนผสมของพอลิเมอร์ร่วม ปรากฏว่ามีค่าการชนและการไหลสูงกว่าสูตร 2 และสูตร 3 ทั้งนี้เนื่องจากว่า แป้งพอลิเมอร์ร่วมนี้มีโครงสร้างของกราฟท์ที่ซึ่งทำให้แป้งสูญเสียความเป็นสายพริงเจนซ์ ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ชดกลสมมากขึ้นทำให้ค่าการชนและการไหลเพิ่มสูงขึ้น
4. สำหรับสูตรที่ 6, 7 และ 8 ซึ่งมี HMDI เป็นส่วนผสม พบว่าถ้ายังเพิ่มปริมาณ HMDI มากขึ้น ทำให้สายโซ่มีความเกะกะมากขึ้น ไหลผ่านกันมากขึ้นค่าการชนและการไหลจึงลดลงเมื่อปริมาณ HMDI สูงขึ้น
5. สูตรที่ 9 เป็นพลาสติกผสมกับสารตัวเติม ซึ่งสารตัวเติมเหล่านี้ช่วยทำให้สายโซ่เคลื่อนไหวผ่านกันง่ายขึ้น ค่าการชนและการไหลจึงมากขึ้นตามไปด้วย

ส่วนพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกัน แต่ในสูตรที่ 8 นั้นจะเห็นได้ว่า มีค่าที่ไม่เป็นไปตามแนวโน้มเหมือนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง แต่เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วปรากฏว่ามีค่ามาก ดังนั้น ค่านี้จึงเชื่อถือไม่ได้

4.11 การทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์

ในการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ โดยวิธีการเลี้ยงเชื้อในงานเพาะเชื้อโดยผลการทดสอบจะสังเกตถึงปริมาณของเชื้อที่เจริญเติบโตได้บนแผ่นพลาสติก

งานเพาะเชื้อชุดที่ 1 คือ Aspergillus niger

งานเพาะเชื้อชุดที่ 2 คือ Bacillus subtilis

งานเพาะเชื้อชุดที่ 3 คือ Serratia marcescens

จากการเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 8 สัปดาห์ ปรากฏว่าการเพาะเชื้อทั้งหมด 144 งาน เชื้อที่สามารถขึ้นได้คือ Aspergillus niger ซึ่งสามารถขึ้นได้ 48 งาน ส่วน Bacillus subtilis และ Serratia marcescens ไม่สามารถขึ้นได้ แต่จะมีเชื้อขึ้นมาปนเปื้อนเป็นจำนวน 32 งาน

จากการที่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถขึ้นบนวัน ซึ่งไม่มีแหล่งคาร์บอนอยู่ ดังในชุดที่ 3 สัปดาห์ที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเชื้อเหล่านี้ สามารถมีชีวิตอยู่ได้โดยไม่ต้องใช้แหล่งอาหารจากพลาสติก

การปนเปื้อนจากเชื้อภายนอกบนแผ่นพลาสติก เป็นการแสดงให้เห็นว่าพลาสติกที่ผสมสูตรออกมานั้น เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้สารตัวเดิมในพลาสติกเป็นแหล่งอาหารได้ เพราะในวันมีแต่แหล่งอาหารที่ไม่ใช่แหล่งคาร์บอน

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละสัปดาห์

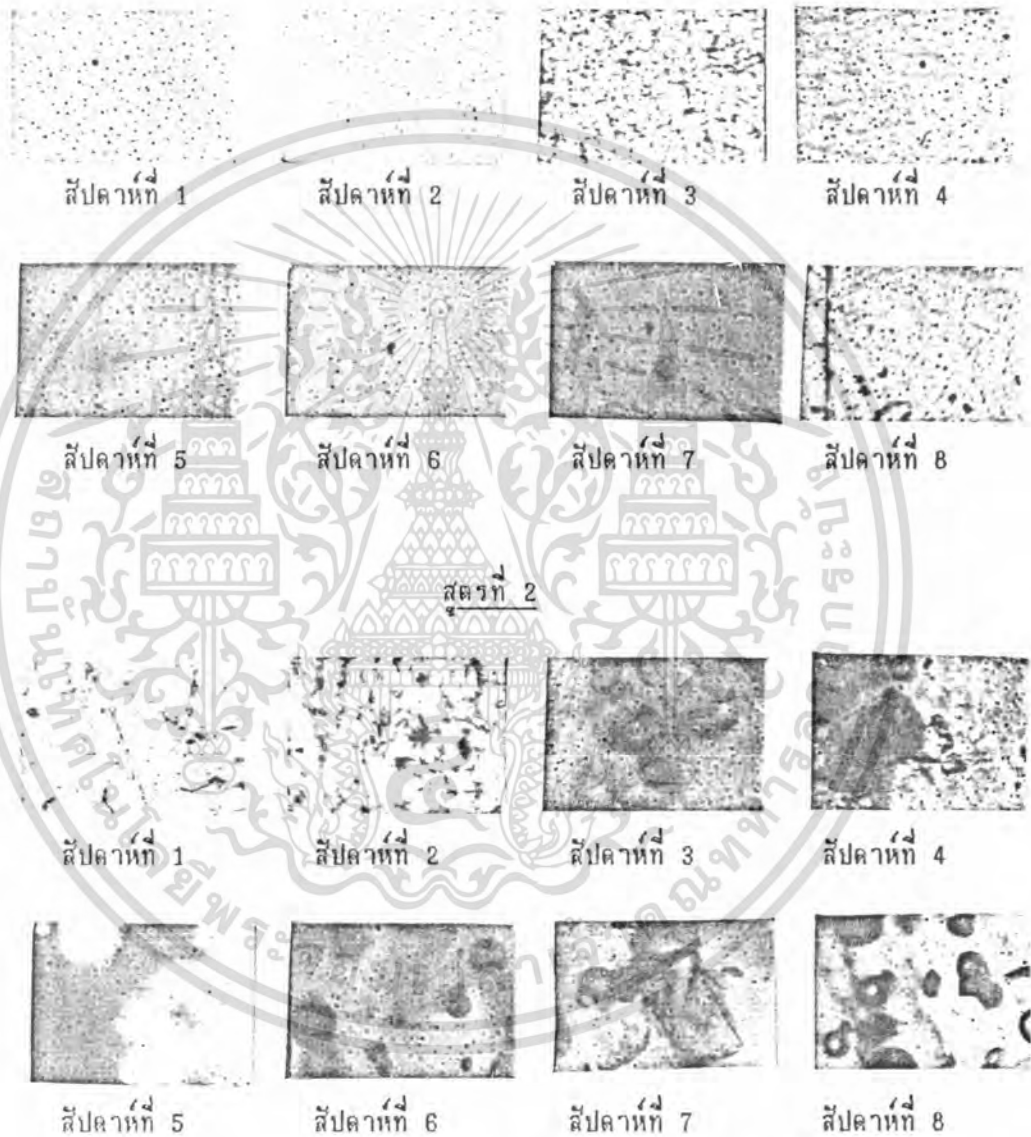
สัปดาห์	ลักษณะ	งานเพาะเชื้อ		
		ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
สัปดาห์ที่ 1	วันที่ 4 ของการทดสอบ จะเห็นได้ว่ามีจุดสีดำเล็ก ๆ กระจายทั่วไปบนชิ้นพลาสติก ในงานเพาะเชื้อ ยกเว้นสูตรที่ 1 และสูตรที่ 9	ยังไม่มีเชื้อใด ๆ ขึ้น	ยังไม่มีเชื้อใด ๆ ขึ้น	ยังไม่มีเชื้อใด ๆ ขึ้น
สัปดาห์ที่ 2	เชื้อเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเห็นได้ว่ามีจุดสีดำเล็ก ๆ ขึ้นบนชิ้นงานพลาสติกมากขึ้น จากสัปดาห์ที่ 1	พลาสติกสูตรที่ 4 และ 5 เป็นจุดเล็ก ๆ สีเขียว ขึ้นบนชิ้นงานพลาสติก แต่ไม่มีเชื้อ <u>Bacillus subtilis</u> ขึ้น	ที่วันของงานเพาะเชื้อสูตรที่ 4 จะมีจุดสีขาวเล็ก ๆ กระจายอยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ แต่บนชิ้นงานพลาสติก ไม่ปรากฏว่ามีเชื้อชนิดใดขึ้น	
สัปดาห์ที่ 3	มีจุดสีดำเล็ก ๆ มากขึ้น โดยจะมากที่สุดที่สูตรที่ 10 ส่วนสูตรที่ 2 และสูตรที่ 7 นั้นมีปริมาณเชื้อที่ขึ้นบนแผ่นพลาสติก ใกล้เคียงกัน และรองลงมา จากสูตรที่ 4 ส่วนสูตรอื่น ๆ ที่เหลือ นั้น เชื้อสามารถเจริญเติบโตได้ ยกเว้นสูตรที่ 1 และสูตรที่ 9	จุดสีเขียวเล็ก ๆ เริ่มเจริญเติบโต	เหมือนสัปดาห์ที่ 2	
สัปดาห์ที่ 4-8	การเจริญเติบโตของเชื้อรา เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ	ไม่ปรากฏว่ามีเชื้อแบคทีเรียขึ้น แต่จะมีเชื้ออื่นขึ้นแทน	เช่นเดียวกับชุดที่ 2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหลังการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายโดยเชื้อ
จุลินทรีย์โดยใช้กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

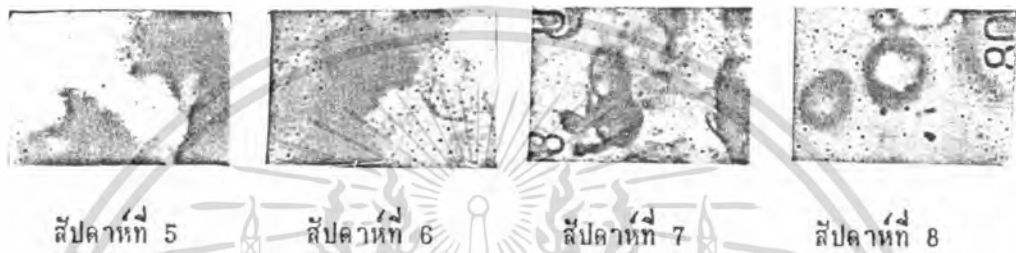
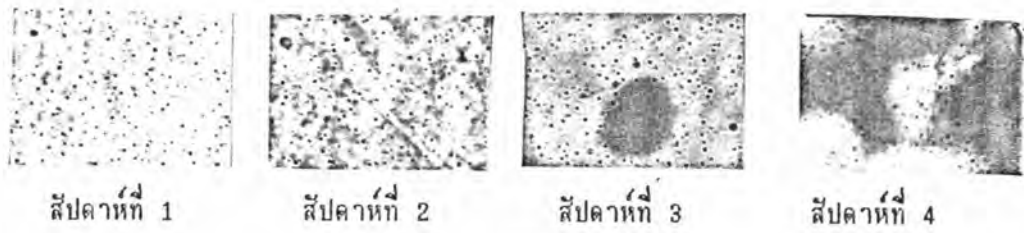
สูตรที่ 1



รูปที่ 4.15 ภาพแสดงลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากกล้อง
โพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90°
ของสัปดาห์ที่ 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

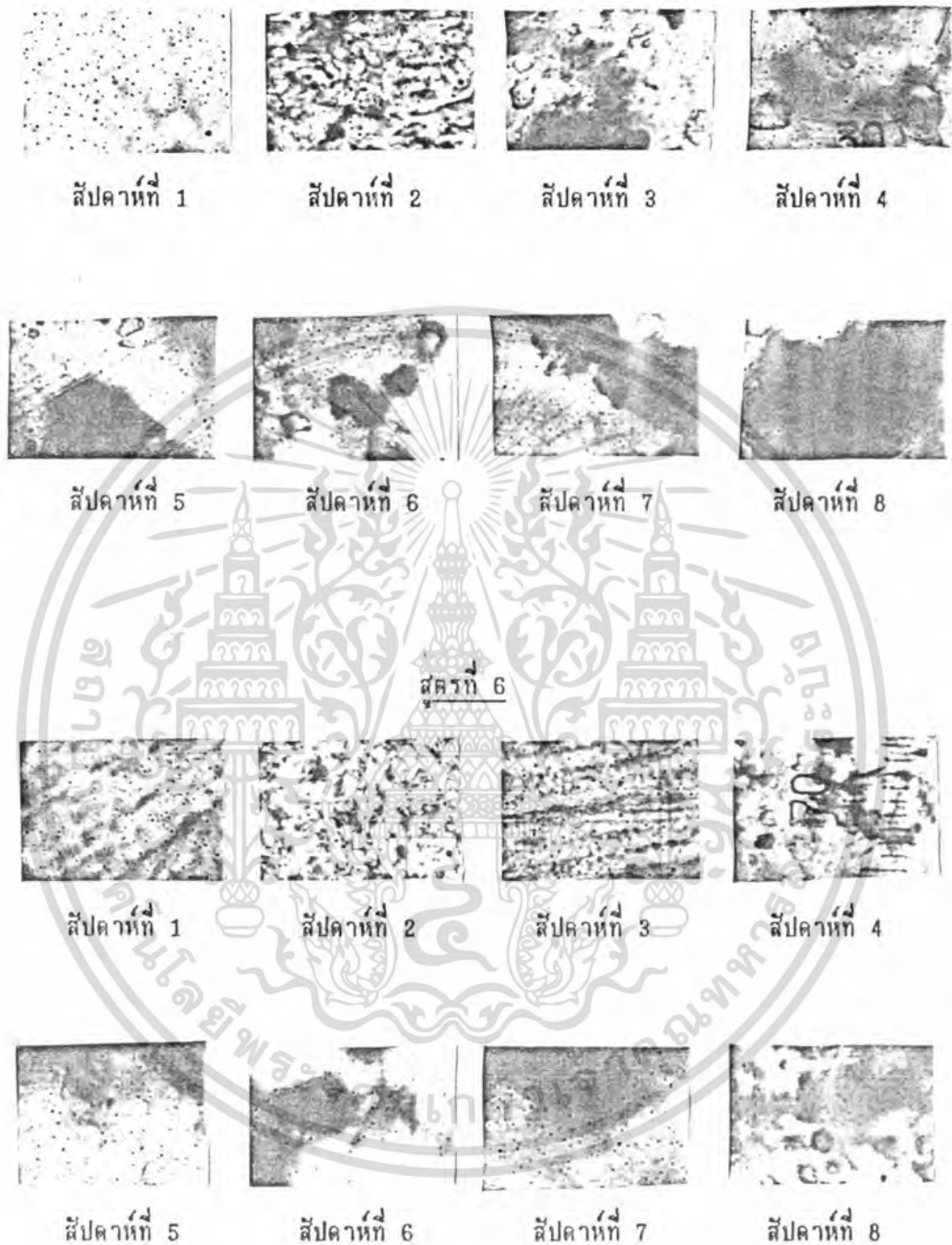
สูตรที่ 3



รูปที่ 4.15 (ต่อ) ภาพแสดงลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากกล้อง
โพลาริไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90°
ของสปีดไลท์ 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 5



รูปที่ 4.15 (ต่อ) ภาพแสดงลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากกล้อง
โพลาไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90°
ของสัปดาห์ที่ 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 7



สัปดาห์ที่ 1



สัปดาห์ที่ 2



สัปดาห์ที่ 3



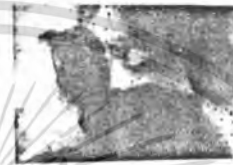
สัปดาห์ที่ 4



สัปดาห์ที่ 5



สัปดาห์ที่ 6



สัปดาห์ที่ 7



สัปดาห์ที่ 8

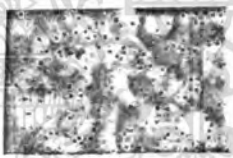
สูตรที่ 8



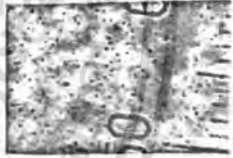
สัปดาห์ที่ 1



สัปดาห์ที่ 2



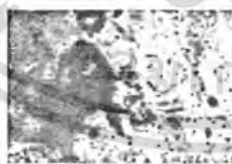
สัปดาห์ที่ 3



สัปดาห์ที่ 4



สัปดาห์ที่ 5



สัปดาห์ที่ 6



สัปดาห์ที่ 7

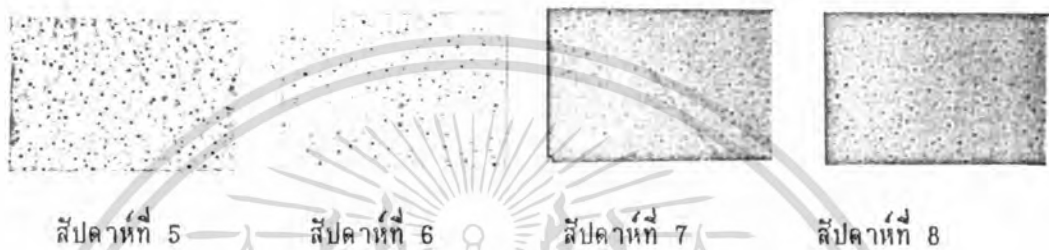
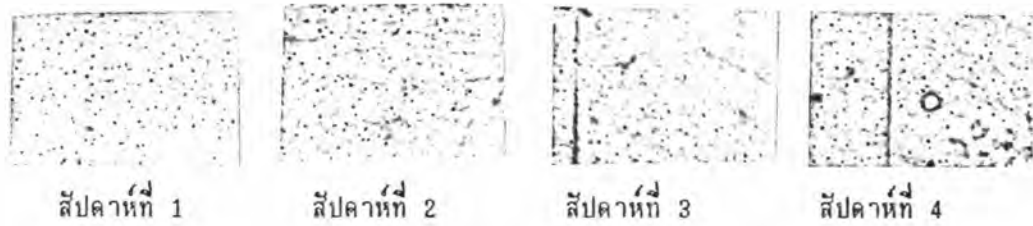


สัปดาห์ที่ 8

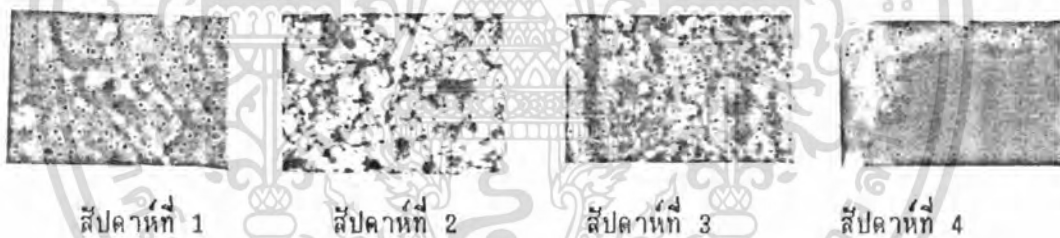
รูปที่ 4.15 (ต่อ) ภาพแสดงลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากกล้อง
โพลาริไรซ์ไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90°
ของสัปดาห์ที่ 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ 9



สูตรที่ 10



รูปที่ 4.15 (ต่อ) ภาพแสดงลักษณะของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจากกล้อง
โพลาริซไมโครสโคป กำลังขยาย 200 เท่า มุม Analyzer 90°
ของสปีดไลท์ 1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่แสดงนั้น เป็นการเปรียบเทียบผลาสติกขึ้นเดียวกัน ซึ่งทำการถ่ายภาพจากกล้องโฟลาริซ์ไมโครสโคปก่อน และหลังการทดสอบ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งเมื่อทดสอบแล้วจึงนำมาส่องดูด้วยกล้องโฟลาริซ์ไมโครสโคปอีกครั้งหนึ่ง เราจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ระหว่างภาพถ่ายก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ เราสามารถสรุปความแตกต่างเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. เมื่อนำผลาสติกมาทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายจะพบว่า ชิ้นงานมีลักษณะเป็นรูพรุนเกิดขึ้นที่ผิว บางรูเล็กบ้างใหญ่บ้าง มีบางจุดเกิดเป็นจุดขาวเล็ก ๆ

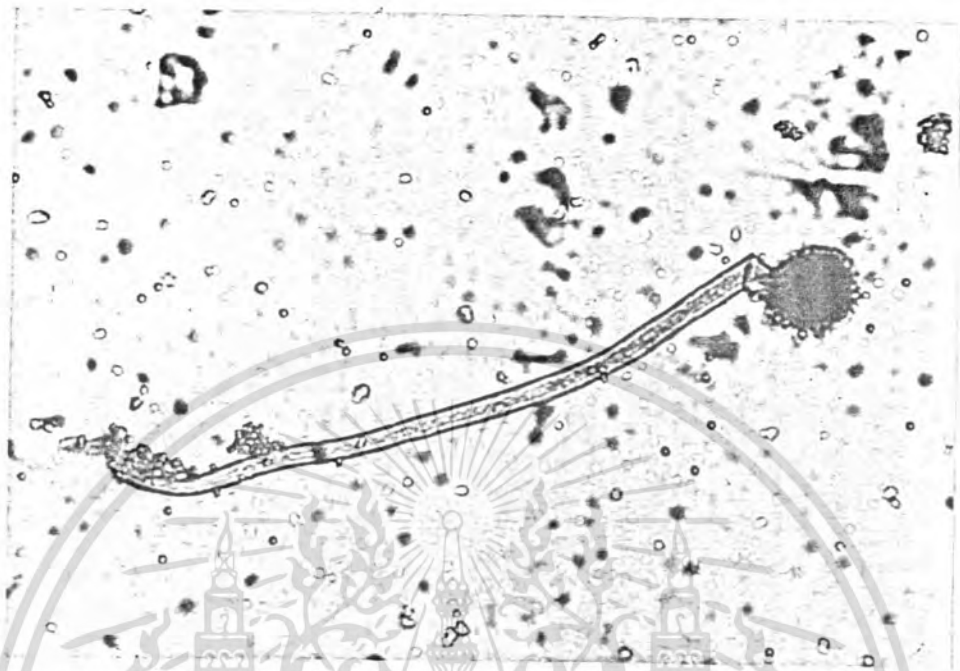
2. สีของผลาสติกเปลี่ยนแปลงไป จากภาพถ่ายก่อน และหลังการทดสอบโดยการเลี้ยงเชื้อ ดังเช่น สูตรที่ 8 ในสัปดาห์ที่ 6 และสูตรที่ 4 ในสัปดาห์ที่ 3 เนื่องจากการเกิดสีต่าง ๆ ในผลาสติกนั้นมาจากการผสมสารเคมีอื่น ๆ ลงไป เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง เมื่อนำไปทดสอบโดยการเลี้ยงเชื้อ สารเคมีเหล่านั้นอาจถูกเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายหรือเปลี่ยนสภาพไปได้ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง

3. จากการเปรียบเทียบผลาสติกทั้ง 10 สูตร ในการย่อยสลายด้วยเชื้อ *Aspergillus niger* จะเห็นได้ว่าผลาสติกในสูตรที่ 1 และ 9 นั้นไม่เกิดการย่อยสลาย ทั้งนี้เนื่องจากว่าไม่มีแป้งเป็นส่วนผสมของผลาสติกชนิดนี้ แต่สูตรผสมอื่นทุกสูตรสามารถที่จะถูกย่อยสลายได้หมด จากการเปรียบเทียบด้วยตาเปล่าพบว่าผลาสติกในสูตรที่ 10 คือสูตรที่มีแป้งพอลิเมอร์รวมและสารตัวเติมอื่น ๆ นั้น จะมีปริมาณของสปอร์เชื้อราอยู่บนพื้นผลาสติกมากที่สุด

4.12 การทดสอบหาเชื้อปนเปื้อนในจานเพาะเชื้อ

เมื่อนำเชื้อที่ปนเปื้อนจากหลอด PDA Slant มาทำการศึกษาดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้กำลังขยาย 40 เท่า ผลปรากฏว่าพบเชื้อที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.10

จากลักษณะที่เห็นนั้น เป็นลักษณะของเชื้อรา ซึ่งคาดว่าเป็นเชื้อ *Aspergillus*



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของเชือกป่นป้อนเข้ามาในจาน ขณะทำการทดสอบการย่อยสลาย
โดยเชื้อจุลินทรีย์ จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนสามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2 วิธีคือ ทำการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังกับมอนอเมอร์เมทิลเมทาอะคริเลต และทำการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยลดความเป็นขี้เถ้าโดยใช้สารเชิงซ้อนเมทิลีนไดไฮโดรซยาเนต จากโครงการที่ทำการวิจัยไปทั้งหมดแล้วนั้น สามารถสรุปได้ว่า

5.1.1 ในแง่ของคุณลักษณะภายนอกจะเห็นได้ว่าพลาสติกที่มีพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังจะให้ลักษณะที่ด้อยคุณภาพลง คือมีความเปราะมากขึ้น และมีสีคล้ำมากขึ้นแต่สามารถลดปัญหาได้ โดยการผสมสารเสริมเสถียรภาพลงไปด้วยในระหว่างการผลิตสูตร ส่วนแป้งมันสำปะหลังไฮโดรซยาเนตนั้นจะให้คุณสมบัติที่ดีกว่าในด้านคุณลักษณะภายนอก

5.1.2 เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติเชิงกล จะพบว่าแป้งที่ทำการผสมสูตรไปนั้น ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกต่ำลง ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการเติมสารช่วยกระจายและสารหล่อลื่น พลาสติกสูตรที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ สูตรที่ 6 เป็นสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังปรับปรุงคุณภาพด้วย HMDI 5 % เป็นสารตัวเติม

5.1.3 เมื่อพิจารณาความสามารถในการขึ้นรูป จะพบว่าสูตรที่สามารถขึ้นรูปได้ดี คือ สูตรที่ 2 และ 3 เป็นสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติม ส่วนสูตรที่ 4 , 5 และ 10 นั้น ถึงแม้ว่าจะมีค่าดรรชนีการไหลที่ค่อนข้างสูง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมานั้นจะมีลักษณะไหม้ ไม่เหมาะแก่การนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

5.1.4 เมื่อทำการทดสอบการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ปรากฏว่าพลาสติกที่ผสมแป้งมันสำปะหลังทุกสูตรสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ สำหรับสูตรผสมที่สามารถย่อยสลายได้ดีที่สุด คือ สูตรที่ 10 คือ พอลิเอทิลีนที่ทำการผสมสูตรด้วยพอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลัง 40 phr สารช่วยกระจาย 5 phr น้ำมันก๊วยเหลือง 2 phr กรดสแตียริก 2 phr สารเสริมเสถียรภาพด้วยความร้อน ซึ่งสามารถย่อยสลายด้วยเชื้อ Aspergillus

niger

5.1.5. ส่วนผสมของพลาสติกที่ดีที่สุดสำหรับพลาสติกทั้งสองชนิด เมื่อพิจารณาสมบัติหลายประการประกอบกันคือ

พอลิเอทิลีน	100	กรัม
แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุง		
คุณสมบัติด้วย HMDI 5%	40	กรัม
สารช่วยกระจายอีพอกซี	2	กรัม
กรดสเตียริก	0.8	กรัม
น้ำมันถั่วเหลือง	0.8	กรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากโครงการวิจัยทั้งหมดที่ได้ทำการศึกษาผู้ทำการวิจัยพบว่ายังมีข้อบกพร่องของโครงการวิจัยอยู่มาก และนอกจากนั้นยังมีสิ่งที่น่าสนใจที่ควรศึกษาดังนี้คือ

1. ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมของแป้งมันสำปะหลังนั้นควรจะทำการวัดน้ำหนักโมเลกุลและหาเปอร์เซ็นต์ของการเกิดสายโซ่สาขาของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งอาจเกิดการต่อโซ่สาขาที่มากเกินไป ทำให้คุณสมบัติของพลาสติกที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่เห็นได้จากลักษณะภายนอกที่ปรากฏ และคุณสมบัติเชิงกลที่ด้อยลง
2. ในขั้นตอนของการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกปรากฏว่ามีเชื้อชนิดอื่นที่ปนเปื้อนเข้ามาในจานเพาะเชื้อและสามารถเจริญเติบโตบนชิ้นงานพลาสติกได้ ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการตรวจหาชนิดของเชื้อนั้น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในการย่อยสลายต่อไป
3. การศึกษาการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม ว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด และต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือไม่อย่างไร และที่สำคัญคือ ต้องศึกษาว่า เมื่อสินค้าชนิดนี้ออกสู่ตลาดแล้ว ทัศนคติที่ผู้บริโภคมีต่อพลาสติกชนิดนี้เป็นอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

1. " บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ใช้แล้ว : ขยะไฮเทคที่ต้องรีบแก้ไข " สรุปข่าวธุรกิจ 21(22) (2533): 6-14.
2. เกียรติศักดิ์ คูหา, "พลาสติกที่ย่อยสลายได้ " พลาสติก (9)2535: 29-26.
3. เกียรติศักดิ์ คูหา, "การกำจัดพลาสติกและการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ในประเทศไทย" พลาสติก 9(3) 2535 29-26.
4. กฤษฎา สุชีวะ, "การกำจัดพลาสติก" วิทยาศาสตร์ 33(9) 2522 : 57-58.
5. สงวน บุญธรรมน้อย "การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง" วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534.
6. Wurzburg, OB. Modifided starches: Properties and uses, 3 rd ed. pp. 150-162, CRC press, Inc., Florida , 1987.
7. Eggins, N.O.W. and Allsopp, D., Biodeterioration and Biodegradnation by Fungi, The Filamentous Fungi, 1 st ed. pp. 303-305, William Clowes & Sons, London, 1975.
8. Brockway, C.E. and Moser, K.B., "Grafting of poly(methyl methyacrylate) to granular corn starch" J. Polym. Sci. Part A, vol.1, (1963) : 1025-1029.
9. Francis Shelly "The degradable-plastic debate" Plastic compounds 12(2) 1989 : 21-38.
10. Ceresa , R.J. " Block and Graft Copolymers" , pp. 1-27, Butterworths, Washington , D.C., 1962.
11. Maddever J.W., Chanman M.G., " Additives Modified Starch Based Biodegradable Plastics " Plastic Engineering 1989: 31-34.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อทางการค้าของพลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ในต่างประเทศ

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ด้วยแสง

บริษัท	ผลิตภัณฑ์	เรซิน	การใช้งาน
Ampacet	Poly-Grade I,II,III	Poly olefins	แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน บรรจุภัณฑ์ชนิดแข็ง
Environnemt Enterprises	Ecolyte master batch	Poly olefins Polystyrene	แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร ถุงใส่ขยะ,บรรจุภัณฑ์อาหารฟาสต์ฟู้ด
Plastigone Technologies	Plastigone additive	Poly olefins Polystyrene	แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร ถุงใส่ขยะ,ผลิตภัณฑ์ผ้าอ้อม
Dow Chemical,Dupont, Union Carbide	E/CO	LDPE	Ring-loop connectors

พลาสติกที่สามารถสลายตัวได้ทางชีวภาพ

บริษัท	ผลิตภัณฑ์	เรซิน	การใช้งาน
Archer Donials Midland	Poly Clean master batch	PE,PP,PS	ถุงใส่ขยะ,แผ่นฟิล์มที่ใช้สัมผัสอาหาร ถุงรีไซเคิล
St Lawrence starch	Ecostar master batch	PE	ถุงรีไซเคิล,งานเป่าขวด
Marborough		เทอร์โมพลาสติก	ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์
Biopolymers Ltd.	Biopols	พอลิเอสเตอร์	งานเป่าขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer¹

This standard is issued under the fixed designation D 1238; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers measurement of the rate of extrusion of molten resins through a die of a specified length and diameter under prescribed conditions of temperature, load, and piston position in the barrel as the timed measurement is being made.

1.2 Procedure A is a manual cutoff operation based on time used for materials having flow rates that fall generally between 0.15 and 50 g/10 min. Procedure B is an automatically timed flow rate measurement used for materials having flows from 0.50 to 900 g/10 min. By both procedures, the piston travel is generally the same during the timed measurement; the piston foot is about 46 and 20.6 mm (1.81 and 0.81 in.) above the die. Comparable flow rates have been obtained by these procedures in interlaboratory round-robin measurements of several materials described in 12.1.

NOTE 1—Round-robin testing indicates this test method may be suitable at flow rates up to 1500 g/10 min if the timing clock resolves the elapsed time to the nearest 0.01 s.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are given for information only.

1.4 *This standard does not purport to address the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given in Note 9.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 618 Methods of Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method³

2.2 American National Standards Institute Standard:

B46.1 on Surface Texture⁴

3. Terminology

3.1 General:

3.1.1 For definition of some of the technical terms used in

this standard refer to Definitions D 883.

4. Significance and Use

4.1 This test method is particularly useful for quality control tests on thermoplastics.

NOTE 2—Polymers having flow rates less than 0.15 or greater than 900 g/10 min may be tested by the procedures in this test method; however, precision data have not been developed.

4.2 This test method serves to indicate the uniformity of the flow rate of the polymer as made by an individual process and, in this case, may be indicative of uniformity of other properties. However, uniformity of flow rate among various polymers as made by various processes does not, in the absence of other tests, indicate uniformity of other properties.

4.3 The flow rate obtained with the extrusion plastometer is not a fundamental polymer property. It is an empirically defined parameter critically influenced by the physical properties and molecular structure of the polymer and the conditions of measurement. The rheological characteristics of polymer melts depend on a number of variables. Since the values of these variables occurring in this test may differ substantially from those in large-scale processes, test results may not correlate directly with processing behavior.

4.4 The flow rate of a material may be measured under any of the conditions listed for it in 8.2. Additional characterization of a material can be obtained if more than one condition is used. In case two conditions are employed, a Flow Rate Ratio (FRR) may be obtained by dividing the flow rate at one condition by the flow rate at the other condition.

5. Apparatus

5.1 Plastometer:

5.1.1 The apparatus shall be a dead-weight piston plastometer consisting of a thermostatically controlled heated steel cylinder with a die at the lower end and a weighted piston operating within the cylinder. The essential features of the plastometer, illustrated in Figs. 1 and 2, are described in 5.2 to 5.8.

5.1.2 Relatively minor changes in the design and arrangement of the component parts have been shown to cause differences in results between laboratories. It is important, therefore, for the best interlaboratory agreement that the design adhere closely to the description herein; otherwise, it should be determined that modifications do not influence the results.

5.2 *Cylinder*—The steel cylinder shall be 50.8 mm (2 in.) in diameter, 162 mm (6 3/8 in.) in length with a smooth, straight hole 9.5504 ± 0.0076 mm (0.3760 ± 0.0003 in.) in diameter, displaced 4.8 mm (3/16 in.) from the cylinder axis.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.30 on Thermal Properties (Section D20.30.08).

Current edition approved Oct. 26, 1990. Published December 1990. Originally published as D 1238 - 65 T. Last previous edition D 1238 - 90a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁴ Available from the American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, NY 10018.

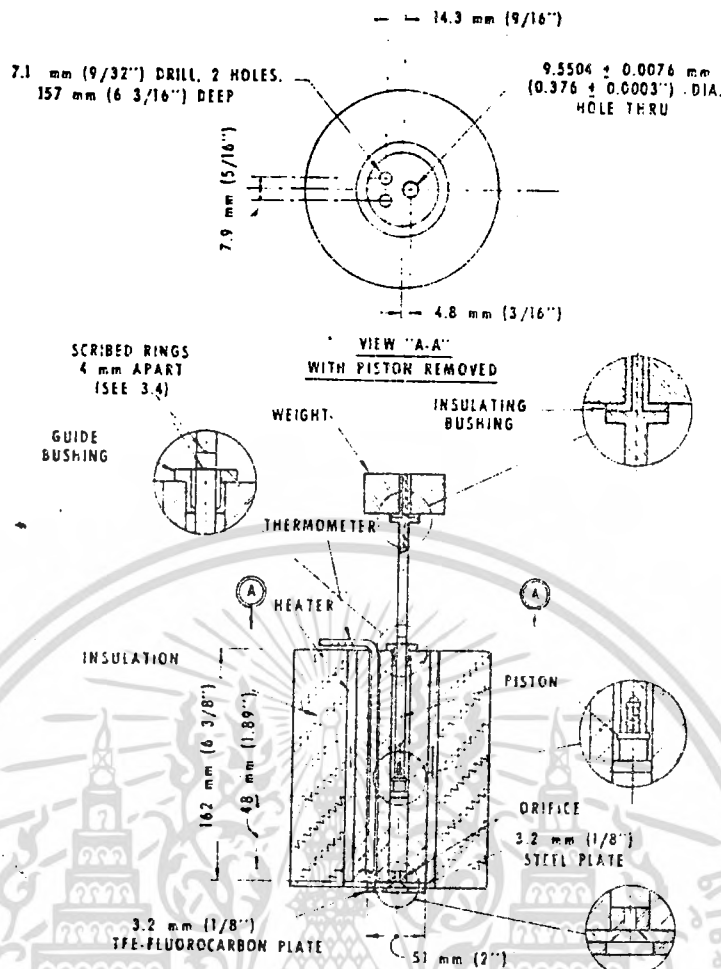


FIG. 1 General Arrangement of Extrusion Plastometer

Wells for a thermal sensor (thermoregulator, thermistor, etc.) and thermometer shall be provided as shown in Fig. 1. A 3.2-mm ($1/8$ -in.) plate shall be attached to the bottom of the cylinder to retain the die. A hole in this plate, centered under the die and countersunk from below, allows free passage of the extrudate. The cylinder may be supported by at least two 6.4-mm ($1/4$ -in.) high-strength screws at the top (radially positioned at right angles to the applied load) or by at least two 10-mm ($3/8$ -in.) diameter rods screwed into the side of the cylinder for attaching to a vertical support. The essential dimensions of a satisfactory cylinder of this type are shown in Fig. 1 (Note 3). The cylinder bore should be finished by techniques known to produce approximately 12 rms or better in accordance with ANSI B46.1.

NOTE 3—Cylinders made of SAE 52100 steel heat-hardened to a Rockwell hardness, C scale, of 60 to 64 give good service when used at temperatures below 200°C.⁵ Cylinder liners of cobalt-chromium-tungsten alloy are also satisfactory to 300°C.

5.3 Die—The outside of the steel die shall be such diameter that it will fall freely to the bottom of the 9.5504-mm (0.3760-in.) diameter hole in the cylinder (Note 4). The die shall have a smooth straight bore $2.0955 \pm$

0.0051 mm (0.0825 ± 0.0002 in.) in diameter and shall be 8.000 ± 0.025 mm (0.315 ± 0.001 in.) in length. The bore and its finish are critical. It shall have no visible drill or other tool marks and no detectable eccentricity. The die bore shall be finished by techniques known to produce approximately 12 rms or better in accordance with ANSI B46.1.

NOTE 4—Die materials also found to be satisfactory are tungsten carbide,⁶ synthetic sapphire, and cobalt-chromium-tungsten alloy.⁵

5.4 Piston:

5.4.1 The piston shall be made of steel with an insulating bushing at the top as a barrier to heat transfer from the piston to the weight. The land of the piston shall be 9.4742 ± 0.0076 mm (0.3730 ± 0.0003 in.) in diameter and 6.35 ± 0.13 mm (0.250 ± 0.005 in.) in length. The piston design may incorporate means for land replacement, for example, having threads and flats immediately above the land. Above the land, the piston shall be relieved to 8.890 ± 0.025 mm (0.350 ± 0.001 in.) in diameter (Note 5). The finish of the piston foot shall be 12 rms in accordance with ANSI B46.1.

NOTE 5—To improve standardization it is preferable that the piston be sleeved at the top and be relieved as described in 5.4.2.

NOTE 6—Pistons of SAE 52100 steel with the bottom 25 mm (1 in.)

⁵ Haynes Stellite 6B, manufactured by the Haynes Stellite Co., Kokomo, IN, has been found satisfactory for this purpose.

⁶ Talcide C-99, manufactured by the Metal Carbides Corp., Youngstown, O., has been found satisfactory for this purpose.

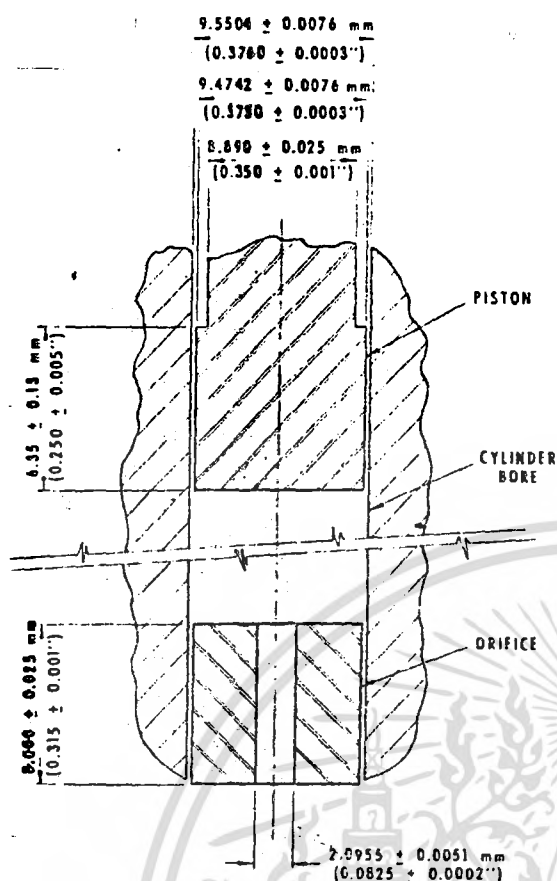


FIG. 2 Details of Extrusion Plastometer

including the foot, hardened to a Rockwell hardness, C scale, of 55 to 59 have been found to give good service when used at temperatures below 200°C.

5.4.2 A solid piston relieved to 7.900 ± 0.025 mm (0.311 ± 0.001 in.) in diameter above the land with a loose-fitting metal guiding sleeve at the top of the cylinder is desirable for use with the 21.6 kg load. If wear or corrosion is a problem, the piston should be of stainless steel and equipped with a detachable foot for ease of replacement.

5.4.3 For Procedure A the piston shall be scribed with two reference marks 4 mm apart in such fashion that when the lower mark coincides with the top of the cylinder or other suitable reference point, the bottom of the piston is 48 mm (1.89 in.) above the top of the die (see Fig. 1).

5.4.4 The combined weight of piston and load shall be within a tolerance of ±0.5 % of the selected load.

5.5 Heater:

5.5.1 Provision shall be made for heating the apparatus so that the temperature of the material can be maintained within ±0.2°C of the desired temperature during the test. At temperatures higher than 200°C, this degree of temperature control may be more difficult to obtain. The temperature specified shall be the equilibrium temperature of the material 127 mm (½ in.) above the die.

5.5.2 Calibrate the temperature-indicating device by means of a light-gage probe-type thermocouple or a platinum-resistance temperature sensor having a short sensing

length.⁷ The thermocouple should be encased in a metallic sheath having a diameter of approximately 1.6 mm (⅛ in.) with its hot junction grounded to the end of the sheath. Insert the temperature sensor into the melt from the top of the cylinder so that it is 12.7 mm (½ in.) above the upper face of the die. The temperature sensors shall be used with a potentiometer having a sensitivity of at least 0.005 mV, or a temperature readout having a sensitivity of at least 0.1°C. It is desirable to calibrate the thermocouple or platinum-resistance temperature sensor and readout equipment with reference to a platinum resistance temperature thermometer. Comparison of the temperature sensor and readout of a calibrated thermometer similar to that described in 4.7, using the thermometer well containing heat-transfer medium, has also been found useful.

5.5.3 Heat shall be supplied by an electric band heater which covers the entire length of the cylinder. The heater may be a single- or multi-element heater, depending upon manufacturer's control means. The heater plus control system must be capable of maintaining the set points within the required ±0.2°C. If the heater contains two 100-W concentric elements, as close to 90 % as feasible of the power required to maintain the cylinder at the specified temperature should be supplied continuously by the outer of the two heating elements. Six tenths of this amount of power shall be applied intermittently by the inner element as required to maintain the specified temperature (Note 7). The cylinder with heater shall be lagged with 38 mm (1.5 in.) of foamed-glass insulation.⁸ A TFE-fluorocarbon plate 3.2 mm (⅛ in.) in thickness shall be attached to the bottom of the cylinder to minimize heat loss at this point.

NOTE 7—Experience has shown that the correct adjustment of the power to the heaters is important in order that all instruments possess identical thermal characteristics. A convenient method for adjustment is obtained by measuring the voltage required to maintain the cylinder at the specified temperature (±1°C) using only the constant heater. Then the voltage to the constant heater is readjusted to the voltage obtained from the calculation:

$$E_c = \sqrt{0.9e^2} = 0.95e$$

where:

E_c = voltage required to maintain approximately 90 % of the power required to keep the cylinder at the specified temperature, and
 e = voltage required to maintain the power required to keep the cylinder at the specified temperature.

The intermittent heater voltage is then obtained by the calculation:

$$E_i = \sqrt{0.6e^2} = 0.78e$$

where:

E_i = voltage specified for the intermittent heater, and
 e = same as above.

Measurement of the voltages is imperative because variable autotransformer settings do not necessarily represent voltages.

5.6 Temperature Controller—The type of controller and sensor must be capable of meeting the required control tolerance specified in 5.5.1.

⁷ Round-robin data showing flow rate and corresponding temperature profile of the melt obtained using probe-type thermocouples and platinum resistance temperature sensors can be obtained from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1094.

⁸ "Foamglas" 5.4-cm (2¼-in.) diameter 1W pipe insulation as manufactured by the Pittsburgh Corning Corp., Pittsburgh, PA. is recommended for this purpose.

NOTE 8—Wood's metal,⁹ as a heat transfer medium, may be used with the indicating or control elements if required for accuracy or stability by a particular control system. Care should be taken that the Wood's metal is suitable for the selected temperature. Elements that could sustain damage upon cooling with Wood's metal should be removed prior to the cool down. Silicon oil, as a heat transfer medium, should be avoided based upon possible contamination of the extrusion plastometer cylinder and its effect on flow rate.

5.7 Thermometer—Thermometers having a range of 4°C graduated in 0.2°C divisions may be used to indicate temperature. The temperature at this point may not necessarily be the temperature of the material 12.7 mm (½ in.) above the die. The thermometer may be used to monitor indirectly the temperature of the material 12.7 mm (½ in.) above the die and may be calibrated by reference to a thermocouple inserted in the material 12.7 mm (½ in.) above the die. See 5.5.2 for description of thermocouple and method for measuring temperature.

NOTE 9—Warning: Caution should be observed with the use of a mercury-filled thermometer. Mercury vaporization occurs if the thermometer is broken. Mercury thermometers are not to be used at or above the boiling point of mercury, which is 357°C.

5.8 Level—Provision shall be made for vertical alignment of the bore of the extrusion plastometer. This is necessary to minimize subtractive loads resulting from rubbing or friction between the piston tip and sidewall. Means of alignment are discussed in Appendix X1.

5.9 Accessory Equipment—Necessary accessories include equipment for charging samples to the cylinder, a funnel, a die plug, a tool for cutting off the extruded sample, a timer or stop watch, cleaning equipment, and a balance accurate to ±0.001 g.

NOTE 10—Satisfactory operation of the apparatus for polyethylenes can be ascertained by making measurements on NIST Standard Reference Materials (SRM) Nos. 1475 and 1476.¹⁰ These SRM polyethylenes are, respectively, a linear polyethylene having a flow rate of 2.07 g/10 min at test condition 190/0.325 and a branched polyethylene having a flow rate of 1.19 g/10 min at test condition 190/2.16 (melt index).

6. Test Specimen

6.1 The test specimen may be in any form that can be introduced into the bore of the cylinder, for example, powder, granules, strips of film, or molded slugs. It may be desirable to preform or pelletize a powder.

7. Conditioning

7.1 Many thermoplastic materials do not require conditioning prior to testing. Materials which contain volatile components, are chemically reactive, or have other special characteristics most probably require appropriate conditioning procedures. Moisture not only affects reproducibility of flow rate measurement but, in some types of materials, degradation is accelerated by moisture at the high temperatures used in testing. If conditioning is necessary, see the applicable material specification and Methods D 618.

8. Procedural Conditions

8.1 Standard conditions of test are given in Table 1. The previously used alphabetized system for designating test conditions is shown in Table 1 for reference only. Test conditions shall be shown as: Condition ---/---, where the temperature in degrees Celsius is shown first, followed by the weight in kilograms. For example: Condition 190/2.16 (formerly Condition E).

8.2 The following conditions have been found satisfactory for the material listed:

Material	Condition	
Acetals (copolymer and homopolymer)	190/2.16	190/1.05
Acrylics	230/1.2	230/3.8
Acrylonitrile-butadiene-styrene	200/5.0	230/3.8
Cellulose esters	190/0.325	190/2.16
	190/21.60	210/2.16
Nylon	275/0.325	235/1.0
	235/2.16	235/5.0
	275/5.0	
Polychlorotrifluoroethylene	265/12.5	
Polyethylene	125/0.325	125/2.16
	190/0.325	190/2.16
	190/21.60	190/10
	310/12.5	
Polycarbonate	300/1.2	
Polypropylene	230/2.16	
Polystyrene	200/5.0	230/1.2
	230/3.8	190/5.0
Polyterephthalate	250/2.16	210/2.16
	285/2.16	
Poly(vinyl acetal)	150/2.16	
Poly(phenylene sulfide)	315/5.0	
Styrene acrylonitrile	220/10	230/10
	230/3.8	
Styrenic Thermoplastic Elastomer	190/2.16	200/5.0
Thermoplastic Elastomer-Ether-Ester	190/2.16	220/2.16
	230/2.16	240/2.16
		250/2.16

8.3 If more than one condition is used and the material is polyethylene, the determination of Flow Rate Ratio (FRR) has been found to be useful. FRR is a dimensionless number derived by dividing the flow rate at Condition 190/10 by the flow rate at Condition 190/2.16.

NOTE 11—When determining such a ratio of flow rates for a material at the same temperature under different loads, it has been found that precision is maximized when one operator uses one Procedure (A or B), the same plastometer, and the same die for both measurements (the die need not be removed from the plastometer between the two determinations).

NOTE 12—Moisture sensitivity can significantly influence flow rate results for some materials. Appropriate material specifications should be referenced for specific pre-drying or sample handling instructions.

9. Procedure A—Manual Operation

9.1 Select conditions of temperature and load from Table 1 in accordance with material specifications such that flow rates will fall between 0.15 to 50 g/10 min.

9.2 Ensure that the bore of the extrusion plastometer is properly aligned in the vertical direction. (See Appendix X1).

9.3 The apparatus shall be clean. The parts are more easily cleaned while they are hot. The temperature of the cylinder with piston and die in place shall have been at the test temperature for at least 15 min before a test is begun. When the equipment is used repetitiously, it should not be necessary to heat the piston and die for 15 min. See Note 7 for procedure for adjusting temperature. Take care that cleaning or previous use shall not have changed the dimensions. Make frequent checks to determine whether the die

⁹ Wood's Metal or an aluminum powder may be used. Wood's metal is available from Belmont Smelting and Refining Works, Inc., 320 Belmont Ave., Brooklyn, NY 11207.

¹⁰ These standard polyethylenes are available from the National Institute of Standards and Technology, Office of Standard Reference Materials, Washington, DC 20234.

TABLE 1 Standard Test Conditions, Temperature, and Load

Condition		Temperature, °C	Total Load Including Piston, kg	Approximate Pressure	
Obsolete-For-reference only	Standard Designation			kPa	psi
A	125/0.325	125	0.325	44.8	6.5
B	125/2.16	125	2.16	298.2	43.25
C	150/2.16	150	2.16	298.2	43.25
D	190/0.325	190	0.325	44.8	6.5
E	190/2.16	190	2.16	298.2	43.25
F	190/21.60	190	21.60	2982.2	432.5
G	200/5.0	200	5.0	689.5	100.0
H	230/1.2	230	1.2	165.4	24.0
I	230/3.8	230	3.8	524.0	76.0
J	265/12.5	265	12.5	1723.7	250.0
K	275/0.325	275	0.325	44.8	6.5
L	230/2.16	230	2.16	298.2	43.25
M	190/1.05	190	1.05	144.7	21.0
N	190/10.0	190	10.0	1379.0	200.0
O	300/1.2	300	1.2	165.4	24.0
P	190/5.0	190	5.0	689.5	100.0
Q	235/1.0	235	1.0	138.2	20.05
R	235/2.16	235	2.16	298.2	43.25
S	235/5.0	235	5.0	689.5	100.0
T	250/2.16	250	2.16	298.2	43.25
U	310/12.5	310	12.5	1723.7	250.0
V	210/2.16	210	2.16	298.2	43.25
W	285/2.16	285	2.16	298.2	43.25
X	315/5.0	315	5.0	689.5	100.0

diameter is within the tolerances given in 5.3.

9.4 Remove the piston and place it on an insulated surface. Charge the cylinder within 1 min with a weighed portion of the sample according to the expected flow rate, as given in Table 2. Place the weighted piston in position, and start timing for a 6 to 8-min preheat.

NOTE 12—Experience has shown that for the best reproducibility the piston should operate within the same part of the cylinder for each measurement. The piston is scribed so the starting point for each extrusion is roughly the same. Some excess of material over the minimum required for the actual flow measurement portion of the test is provided by the charging weights shown in Table 2. This is necessary to achieve a void-free extrudate and flow equilibrium before start of rate measurements. For the lower flow rate materials, it may be necessary to manually force some of the excess resin out of the cylinder to obtain proper scribe mark position within the specified preheat time.

NOTE 13—There may be cases where 6 to 8 min of preheat time may not be sufficient. Six minutes is a minimum preheat time. Longer preheat periods are permissible when they can be shown to be necessary. If longer preheat times are used, the report shall so indicate. Care may be necessary to ensure that the sample so tested is adequately protected against changes in polymer structure, usually by appropriate antioxidant addition.

NOTE 14—It is frequently helpful to take interim cuts of the extrudate at uniform time intervals during the specified extrusion time. Weights of these individual cuts give an indication of the presence of bubbles which may be masked due to their size or to opacity of the sample. This technique is particularly helpful in the case of highly pigmented materials. Forcing out some of the resin manually during the preheat period often eliminates bubbles in the test extrudate.

9.5 For flow rates of 0.15 to 10 g/10 min, if the weighted piston alone does not purge sufficient material during the preheat time to obtain piston positioning as required in 9.6, manually purge the estimated excess prior to 4 min. The amount of purge must be regulated so subsequent free travel of the weighted piston will position the scribe marks at the reference start position between the 6th and 8th min (9.6). Manual purging in this manner is permissible only when it is

known that it will not affect results. Otherwise, purge sooner, or use a lower charge weight.

9.6 For flow rates of greater than 10 to 50 g/10 min, the loss of weighed sample as shown in Table 2 could be unduly large by proceeding as in 9.4 without modification. In this case, during the first 6 min of preheat time, either a piston support or a die plug may be used.

9.6.1 A piston support should be of such length that the lower scribe mark of the supported piston will be 25 mm (1 in.) above the top of the cylinder or other reference point (5.4.3). The support may be a piece of wooden dowel rod or the like of appropriate length beneath the weight, to support the weight and thus the piston in the desired position. The

TABLE 2 Standard Test Conditions, Sample Weight,^A and Testing Time—Procedure A^B

Flow Range, g/10 min	Suggested Weight of Sample in Cylinder, g	Time Interval, min	Factor for Obtaining Flow Rate in g/10 min
0.15 to 1.0	2.5 to 3.0	6.00	1.67
>1.0 to 3.5	3.0 to 5.0	3.00	3.33
>3.5 to 10	5.0 to 8.0	1.00	10.00
>10 to 25	4.0 to 8.0	0.50	20.00
>25 to 50	4.0 to 8.0	0.25	40.00

^A This is a suggested weight for materials with melt densities of about 0.7 g/cm³. Correspondingly, greater quantities are suggested for materials of greater melt densities. Density of the molten resin (without filler) may be obtained using the procedure described by Terry, B. W., and Yang, K., "A New Method for Determining Melt Density as a Function of Pressure and Temperature," *SPE Journal*, SPEJA, Vol 20, No. 6, June 1964, p. 540 or the procedure described by Zoller, Paul, "The Pressure-Volume-Temperature Properties of Polyolefins," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol 23, 1979, p. 1051. It may also be obtained from the weight of an extruded known volume of resin at the desired temperature. For example, 25.4 mm (1 in.) of piston movement extrudes 1.804 cm³ of resin. An estimate of the density of the material can be calculated from the following equation:

$$\text{Resin density at test temperature} = W/1.804$$

where W = weight of extruded resin.

^B See 9.11.

amount of weighed sample should be such that at least 1 g of material is purged through the die during the melting period, as the weight descends to the point wherein it is supported by the stop. Remove the support after 6 min of preheat.

9.6.2 When a die plug is used, the plug is inserted into the die before the weighed sample is charged. The die plug may be a brass pin nominally 2.05 mm (0.081 in.) in diameter and 25 mm (1 in.) long, projecting 8 mm (0.315 in.) from the end of a wooden dowel rod or other poor heat conductor. The length of the rod, conveniently, is such that one of the spare weights will just slip beneath it to hold it in place after the plug is inserted into the die from below. When a plug is used, adjust the amount of charge to provide a melted volume that will support the piston so that the lower scribe mark is approximately 25 mm (1 in.) above the top of the cylinder or other reference point. Remove the plug after 6 min of preheat.

NOTE 15—Care should be taken in removing the plug to avoid contact with molten extrudate.

9.7 For all tests, start collecting a timed extrudate when requirements for piston position are met, provided this is between 6 and 8 min from charging (Note 13); otherwise, discard the charge and readjust the charge weight or manual position during preheat. Requirements are that the top scribed mark on the piston be visible above the cylinder or index and that the lower scribed mark be in the cylinder or below the index. As the lower scribed mark approaches the top of the cylinder or index, reset the timer to zero, then simultaneously start the timer and make the cut-off when position requirements are met. Collect the next extruded portion exactly according to the time interval given in Table 2 (Note 14). If the extrudate contains visible bubbles, discard the complete charge and begin the test again.

9.8 Discharge the remainder of the specimen and push the die out through the top of the cylinder. Swab out the cylinder with cloth patches after the manner of cleaning a pistol barrel. The die may be cleaned by dissolving the residue in a solvent. A better method is pyrolytic decomposition of the residue in a nitrogen atmosphere. Place the die in a tubular combustion furnace or other device for heating to $550 \pm 10^\circ\text{C}$ and clean with a small nitrogen purge through the die. This method is preferable to flame or solvent cleaning, being faster than solvent cleaning and less detrimental to the die than an open flame. In certain cases where materials of a given class having similar flow characteristics are being tested consecutively, interim die cleaning may be unnecessary. In such cases, however, the effect of cleaning upon flow rate determination must be shown to be negligible if this step is avoided.

9.9 Weigh the extrudate to the nearest 1 mg when cool.

9.10 Multiply the weight by the factor shown in Table 2 to obtain the flow rate in grams per 10 min.

NOTE 16—Frequently, errors in test technique, apparatus geometry, or test conditions, which defy all but the most careful scrutiny exist, causing discrepancy in flow rate determinations. The existence of such errors is readily determined by periodically measuring a reference sample of known flow rate. The flow rate value and range to be tolerated can be determined using a statistically correct test program composed of multiple determinations with various instruments. Standard samples of polyethylene, linear branched, are available from the National Institute of Standards and Technology.

9.11 In case a specimen has a flow rate at the borderline of the ranges in Table 2 and slightly different values are obtained at different time intervals, the referee value shall be obtained at the longer time interval.

10. Procedure B—Automatically Timed Flow Rate Measurement

10.1 Apparatus:

10.1.1 Extrusion plastometer and auxiliary equipment are detailed in Section 4 and below.

10.1.2 A timing device shall electrically or mechanically time piston movement within the specified travel range. The requirements of the system are as follows:

10.1.2.1 Sense and indicate time within ± 0.1 s (See Note 1).

10.1.2.2 Measure piston travel within ± 0.025 mm (± 0.001 in.) for use in the flow rate calculations.

10.1.2.3 Any effects on the applied load must be included in the allowable tolerance given in 5.4.1.

10.1.2.4 It should be preset or be settable for measuring piston travel of 6.35 ± 0.25 mm (0.250 ± 0.010 in.) for flow rates up to 10 g/10 min.

10.1.2.5 It should be preset or be adjustable for measuring piston travel of 25.4 ± 0.25 mm (1.000 ± 0.010 in.) for flow rates greater than 10 g/10 min.

10.2 Procedure:

10.2.1 To ensure high interlaboratory reproducibility, it is important that the timing device operates within a fixed portion of the cylinder. This is defined as the portion of the cylinder between 46 ± 2 mm (1.81 ± 0.079 in.) and 20.6 ± 2 mm (0.81 ± 0.079 in.) above the top of the die.

10.2.2 Check die, cylinder, and position dimensions for conformance to 5.2 through 5.4 and Figs. 1 and 2.

10.2.3 Refer to Table 1 for selection of conditions of temperature and load in accordance with the material specification.

10.2.4 Set the temperature of the plastometer as required for the material being tested and with voltage applied to the heaters as detailed in Note 7.

10.2.5 Ensure that the bore of the extrusion plastometer is properly aligned in the vertical direction. (See Appendix X1.)

10.2.6 Clean the apparatus thoroughly prior to each test (see 9.8). Position the piston and die in the cylinder and seat firmly on the base plate. Maintain the temperature for at least 15 min before beginning a test. When the equipment is used repetitiously, it should not be necessary to heat the piston and die for 15 min.

10.2.7 For flow rates of 0.50 to 10 g/10 min charge the cylinder with a weighed portion of the sample depending on the expected flow rate of the material as shown in Table 3. Place the weighted piston in place, and start the stop-watch or preheat timer. For samples whose flow rate is greater than 10 g/10 min, insert a plug into the die prior to charging the

TABLE 3 Suggested Sample Charge Weight—Procedure B

Flow Rate, g/10 min	Suggested Weight of Sample, g
0.5–3.5	2.0–4.0
>3.5–300	4.0–8.0

weighed sample as shown in Table 3 or use a piston support (see 9.6.1).

10.2.8 If it is necessary to force out excess resin manually so as to adjust the position of the piston in the cylinder, do this before 4 min of preheat. For expected flow rates greater than 10 g/10 min remove the piston stop or remove the plug at 6 min. Small deviation from the expected flow rate is permissible.

10.2.9 Upon subsequent free travel, the timer must be actuated between the sixth and eighth minute of total preheat time, otherwise discard the charge and readjust the charge weight.

10.2.10 Observe the extrudate for voids during the flow rate measurement time. Also note condition of the extrudate leaving the orifice for any indication of material leakage around the sides of the die.

10.2.11 Record the time to the nearest 0.1 s for the piston to complete the calibrated distance of travel. Discard any runs with voids occurring in the timed portion or leakage of extrudate around the die.

10.2.12 Discharge any remaining resin and clean die and cylinder as detailed in 8.8.

11. Calculation (Procedure B)

11.1 Calculate the flow rate in grams per 10 min as follows (Note 16):

$$\text{Flow rate} = (427 \times L \times d)/t$$

where:

L = length of calibrated piston travel, cm,

d = density of resin at test temperature, g/cm³ (see reference under Table 2),

t = time of piston travel for length L , s, and

427 = mean of areas of piston and cylinder $\times 600$.

NOTE 17—Factors that may be substituted in the following equation are given for some materials in Table 4.

$$\text{Flow rate, g/10 min} = F/t$$

where:

F = factor from Table 4, and

t = time of piston travel for length L , s.

NOTE 18—It has been found, however, that agreement between Procedures A and B may be optimized if an average melt density for a particular type material is determined with the actual equipment used and that value substituted into the equation given in 11.1.

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Statement indicating the nature and physical form of the material charged to the cylinder.

12.1.2 Temperature and load at which the test is run shall be reported. The results and test conditions can be referred to as FR-condition, where the standard designation for the condition from Table 1 is shown (for example: FR-190/2.16).

NOTE 19—It has become customary to refer to the flow rate of polyethylene as "melt index" when obtained under Condition 190/2.16. However, for all other materials the use of melt index or any term other than "flow rate" is discouraged, regardless of the condition used.

12.1.3 Flow rate reported as the rate of extrusion in grams per 10 min.

12.1.4 Procedure used (A or B).

12.1.5 Any unusual behavior of the test specimen such as

TABLE 4 Factors for Calculation of Flow Rate

Material (Unpigmented)	Temperature, °C	Piston Travel, L, cm (in.)	Factor for Calculation of Flow Rate, F^A
Polyethylene	190	2.54 (1)	828
Polyethylene	190	0.635 (0.25)	207
Polypropylene	230	2.54 (1)	801
Polypropylene	230	0.635 (0.25)	200

^A Factors calculated using melt-density values of 0.7636 g/cm³ for polyethylene and 0.7386 g/cm³ for polypropylene, as expressed in article by Zoller, Paul, "The Pressure-Volume-Temperature Properties of Polyolefins," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol 23, 1979, p. 1051. The base densities at 23°C for which the melt densities are reported were 0.917 g/cm³ and 0.906 g/cm³ for annealed low-density polyethylene and polypropylene homopolymer.

discoloration, sticking, extrudate surface irregularity or roughness, etc.

12.1.6 Details of conditioning, if any.

13. Precision and Bias (Procedures A and B)

13.1 Precision:

13.1.1 Tables 5 and 6 are based on a round robin¹¹ conducted in 1986 and 1987, involving polypropylene, polyethylene, polystyrene, polycarbonate and acrylic materials. The number of participating laboratories is shown for each material. Each laboratory tested two specimens for each material on three different days. The analysis in Practice E 691 is based on a test result being the average of two specimens.

13.1.2 Table 7 is based on a round robin¹² conducted in 1980 using Procedure B. Four polypropylene samples having flow rates from 250 to 1500 were tested in 9 laboratories.

NOTE 20: Caution—The following explanations of I_r and I_R (13.1.3 through 13.1.5) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 5 to 7 should not be vigorously applied to acceptance or rejection of material since those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials. The principles of 13.1.3 through 13.1.6 would then be valid for such data.

13.1.3 *Concept of I_r and I_R* —Relevant if S_r and S_R have been calculated from a large enough body of data, and if test results are averages obtained from testing two specimens.

13.1.4 *Repeatability, I_r* —In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_r value for that material.

13.1.5 *Reproducibility, I_R* —In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_R value for that material.

13.1.6 Any judgment in accordance with 13.1.3 and 13.1.5 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.2 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

¹¹ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D-20-1164.

¹² Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR: D-20-1124.

TABLE 5 Precision, Procedure A (values in g/10 min)

Material	Condition	Average	S_r^A	S_R^B	I_r^C	I_R^D	No. of Laboratories
Polyethylene	190/2.16	0.27	0.008	0.022	0.023	0.063	9
Polyethylene	190/2.16	0.40	0.012	0.038	0.035	0.108	9
Polyethylene	190/2.16	2.04	0.026	0.079	0.073	0.224	9
Polyethylene	190/2.16	44.1	0.919	1.232	2.560	3.486	7
Polypropylene	230/2.16	2.23	0.106	0.226	0.299	0.639	9
Polypropylene	230/2.16	7.09	0.222	0.471	0.627	1.331	9
Polypropylene	230/2.16	32.8	0.581	1.051	1.644	2.974	9
Polystyrene	200/5	1.67	0.024	0.122	0.068	0.344	6
Polystyrene	200/5	8.82	0.190	0.667	0.538	1.886	6
Polystyrene	200/5	13.3	0.305	0.925	0.864	2.617	6
Polycarbonate	300/1.2	2.41	0.076	0.115	0.215	0.326	4
Polycarbonate	300/1.2	10.5	0.429	0.647	1.215	1.830	4
Polycarbonate	300/1.2	16.2	0.155	1.109	0.438	3.140	4
Acrylic	230/3.8	2.59	0.051	0.051	0.145	0.145	3

^A S_r = within-laboratory standard deviation of the average,^B S_R = between-laboratories standard deviation of the average,^C I_r = $2.83 S_r$, and^D I_R = $2.83 S_R$.

TABLE 6 Precision, Procedure B (values in g/10 min)

Material	Condition	Average	S_r^A	S_R^B	I_r^C	I_R^D	No. of Laboratories
Polyethylene	190/2.16	0.27	0.009	0.014	0.026	0.039	8
Polyethylene	190/2.16	0.40	0.016	0.027	0.045	0.076	8
Polyethylene	190/2.16	2.04	0.040	0.094	0.112	0.266	9
Polyethylene	190/2.16	43.7	0.997	1.924	2.819	5.443	8
Polypropylene	230/2.16	2.25	0.052	0.214	0.1466	0.604	8
Polypropylene	230/2.16	7.16	0.143	0.589	0.4051	1.666	8
Polypropylene	230/2.16	32.6	0.693	0.945	1.959	2.672	8
Polystyrene	200/5	1.65	0.037	0.166	0.106	0.470	4
Polystyrene	200/5	8.39	0.144	0.423	0.406	1.197	4
Polystyrene	200/5	13.0	0.108	0.387	0.306	1.097	4

^A S_r = within-laboratory standard deviation of the average,^B S_R = between-laboratories standard deviation of the average,^C I_r = $2.83 S_r$, and^D I_R = $2.83 S_R$.

TABLE 7 Precision, Procedure B (values in g/10 min)

Material	Condition	Average	S_r^A	S_R^B	I_r^C	I_R^D
Polypropylene	230/2.16	245	13.2	16.6	37.4	46.9
Polypropylene	230/2.16	482	31.8	40.0	89.9	113
Polypropylene	230/2.16	837	20.9	58.6	59.1	166
Polypropylene	230/2.16	1603	129	243	365	688

^A S_r = within-laboratory standard deviation of the average,^B S_R = between-laboratories standard deviation of the average,^C I_r = $2.83 S_r$, and^D I_R = $2.83 S_R$.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. EXTRUSION PLASTOMETER BORE ALIGNMENT

X1.1 A fixture consisting of a circular level mounted on a shaft having two bearing points $9.47 + 0.00 - 0.0076$ mm ($0.373 + 0.00 - 0.0003$ in.) in diameter that can be inserted into the bore has been found suitable. A circular level that can be rigidly mounted on the piston rod for insertion into

the bore may also be satisfactory. A circular level having a sensitivity of 20 minutes per 2.5 mm (0.1 in.) has been found satisfactory. Other alignment techniques that give comparable alignment sensitivity would be considered satisfactory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา 401 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

- (1) "Polyethylene Insulation and Sheathing for Electrical Cables," *Government Department Electrical Specification No. 27*, Great Britain, 1950.
- (2) Tordella, J. P., and Jolly, R. E., "Melt Flow of Polyethylene," *Modern Plastics*, MOPLA, Vol 31, No. 2, 1953, p. 146.
- (3) Dexter, F. D., "Plasticity Grading of Fluorotherenes," *Modern Plastics*, MOPLA, Vol 30, No. 8, 1953, p. 125.
- (4) Harban, A. A., and McClamery, R. M., "Limitations on Measuring Melt Flow Rates of Polyethylene and Ethylene Copolymers by Extrusion Plastometer," *Materials Research and Standards*, MTRSA, Vol 3, No. 11, 1963, p. 906.
- (5) Rudin, A., and Schreiber, H. P., "Factors in Melt Indexing of Polyolefins," *SPE Journal*, SPEJA, Vol 20, No. 6, 1964, p. 533.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

