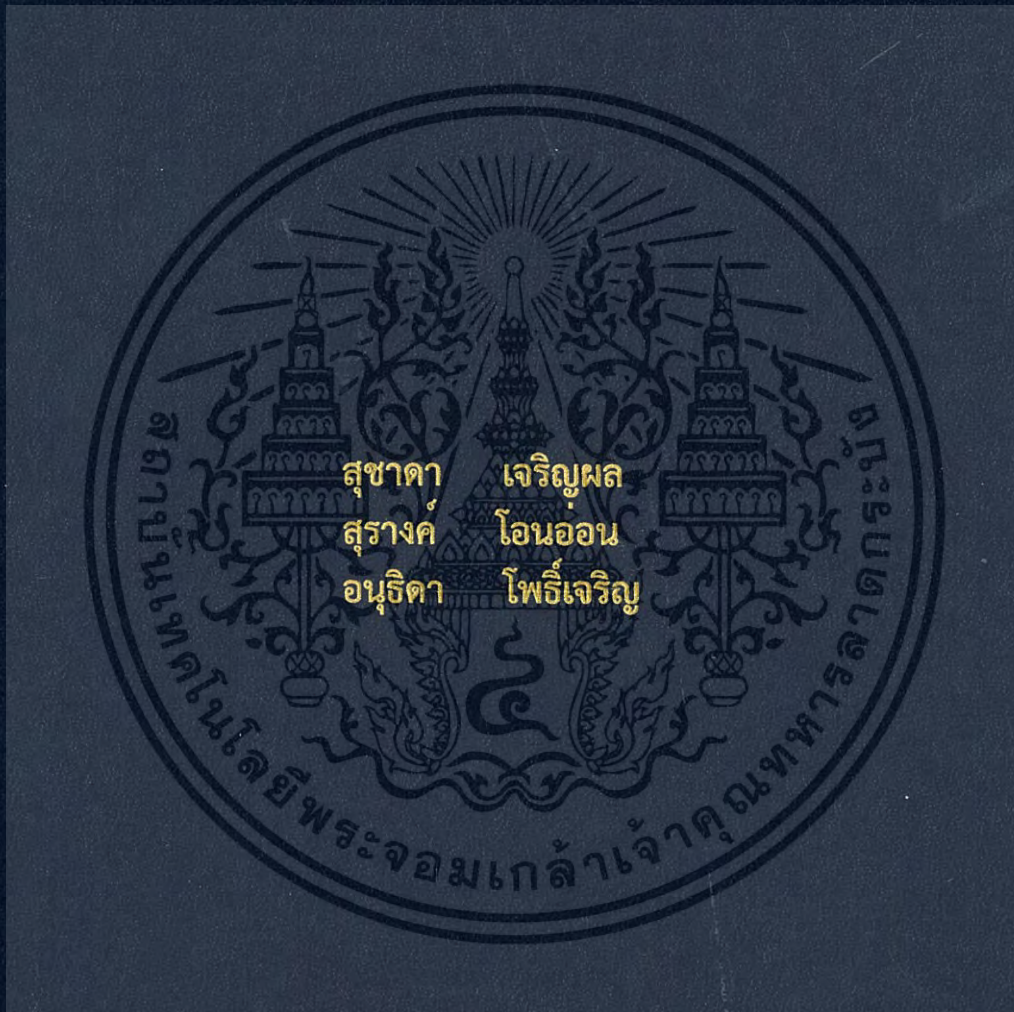


การเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
ที่ผสมกับกากกาแฟ

BIODEGRADABLE PLASTIC BAG FROM LDPE AND
WASTE COFFEE GROUND



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
ที่ผสมกับกากกาแฟ

BIODEGRADABLE PLASTIC BAG FROM LDPE AND
WASTE COFFEE GROUND



T149279



สุชาดา
สุรางค์
อนุริตา

เจริญผล
โอนอ่อน
โพธิ์เจริญ

รฟว.

๗ ๗๕๙๗
๑๕๕๘

เลขหมู่..... 149279

เลขทะเบียน.....

วันเดือนปี..... 30 ส.ค. 2561



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2568

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BIODEGRADABLE PLASTIC BAG FROM LDPE AND WASTE COFFEE GROUND






A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในวิทยาลัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสมกับกากกาแฟ Biodegradable plastic bag from LDPE and waste coffee ground		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุชาดา เจริญผล	รหัสนักศึกษา	55050833
	นางสาวสุรางค์ โอนอ่อน	รหัสนักศึกษา	55050847
	นางสาวอนุธิดา โพธิ์เจริญ	รหัสนักศึกษา	55050858
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ ประธานกรรมการ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการ	
รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ที่ผสมกับกากกาแฟ		
	Biodegradable plastic bag from LDPE and waste coffee ground		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุชาดา เจริญผล	รหัสนักศึกษา	55050833
	นางสาวสุรางค์ โอนอ่อน	รหัสนักศึกษา	55050847
	นางสาวอนุธิดา โพธิ์เจริญ	รหัสนักศึกษา	55050858
ปริญญา ภาควิชา คณะ มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) เคมี วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) 2558 รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเป่าขึ้นรูปถุงพลาสติกจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสมกากกาแฟ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และมี PE-g-MA เป็นตัวประสาน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน ตอนแรกจะทำการหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกลีเซอรอล โดยใช้เครื่องผสมแบบร้อน เครื่องผสมแบบปิด และเครื่องเป่าขึ้นรูปฟิล์มพบว่าพลาสติกไซเซอร์ในปริมาณ 50 phr เป็นสภาวะที่ดีที่สุด ตอนที่สองเป็นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารช่วยผสม คือ PE-g-MA เพื่อใช้ในการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการเป่าฟิล์ม พบว่าสูตรที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดคือ 15 เปอร์เซ็นต์กากกาแฟที่มี 6 เปอร์เซ็นต์ PE-g-MA รองลงมาคือ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์กากกาแฟ ที่มี 4.5 และ 6.5 เปอร์เซ็นต์ PE-g-MA ตามลำดับ และตอนที่สามเป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มโดยการเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยพบว่าที่กากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น 7 เปอร์เซ็นต์ ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากกาแฟมากขึ้น จะทำให้ฟิล์มมีสมบัติการดูดซับน้ำ และการย่อยสลายมากขึ้น ส่วนสมบัติการกระจายตัว และสมบัติเชิงกลลดลง เมื่อใส่สารช่วยผสมมากขึ้นที่จุดหนึ่งจะทำสมบัติเชิงกลดีขึ้นหากมากเกินไปส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง หากไม่ใส่เลยฟิล์มจะไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้เพราะสมบัติขั้วที่ต่างกันฟิล์มจึงเป็นรู และในการเพิ่ม LLDPE ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

คำสำคัญ : กระบวนการเป่าฟิล์ม กลีเซอรอล กากกาแฟ ตัวประสาน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Biodegradable plastic bag from LDPE and waste coffee ground		
Students	Miss Suchada Jareanphon	Student ID	55050833
	Miss Surang Onoon	Student ID	55050847
	Miss Anutida Pocharoen	Student ID	55050858
Degree	Bachelor of Science (Industrial chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Somosak Woramongkolchai		

Abstract

This research aims to study the blown-film process of polymer blend between the low density polyethylene (LDPE) and waste coffee ground (WCG) by using glycerol as a plasticizer and PE-g-MA as a compatibilizer. There are three parts for this research, first was the to find the optimum mixture between WCG and glycerol by using dry blend and internal mixer, it was found that 50% plasticizer was a suitable ratio for mixing optimum forming, second the suitable ratio between compatibilizer was PE-g-MA and WCG mixing LDPE, it was found that 15% w/w WCG mixing 6% PE-g-MA given optimum mechanical properties and then 10% and 20% w/w WCG mixing with PE-g-MA 4.5% and 6.5%, respectively. For third part, the improvement mechanical properties of film by using the linear low density polyethylene (LLDPE) was revealed that 10% w/w WCG mixing with 7% LLDPE were shown optimum mechanical properties.

The result of this research indicated that increasing amount of WCG, the more absorption and degradation of the film. In addition, the dispersion and mechanical properties were decreased. If no addition, the film could not be blown for forming because of different in polarity of film, causing hole. When LLDPE was increased, the improvement of mechanical properties.

Keywords : Blown film, Glycerol, Waste coffee ground, PE-g-MA, LDPE, LLDPE

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะไม่สามารถลุล่วงไปได้หากปราศจากคำชี้แนะ และการสนับสนุนจากบุคคลเหล่านี้
ขอขอบคุณ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ
ในระหว่างการดำเนินงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ และดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่ให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อผิดพลาด
ต่างๆ

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี และเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือในการติดต่อขอใช้
เครื่องมือ สารเคมี และอาคารปฏิบัติการอุตสาหกรรม และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ทั้งในเวลาราชการ และนอก
เวลาราชการ

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการ
อุตสาหกรรม และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวก และให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือต่างๆในการ
ดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท เขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์หากกาแพมาใช้ในงานวิจัย
ครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายณัฐพงษ์ พิณปรุ นักศึกษาปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือต่างๆตลอด
การดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ บิดา มารดา พี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยนี้ตลอดมา

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นอีกมากมายที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือต่างๆทางผู้จัดทำ
ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุชาดา	เจริญผล
สุรางค์	โอนอ่อน
อนุธิดา	โพธิ์เจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิเมอร์เบสตันด์.....	3
2.1.1 ความเข้ากันได้.....	3
2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	4
2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น.....	6
2.4 กาแฟ.....	7
2.4.1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์.....	7
2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดกาแฟ.....	9
2.5 สารเติมแต่ง.....	14
2.5.1 ชนิดของสารตัวเติม.....	14
2.5.2 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer).....	14
2.6 ตัวประสาน.....	16
2.7 กระบวนการลดขนาดอนุภาค.....	18
2.8 เครื่อง Dry blending.....	19
2.9 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer).....	19
2.10 การบดย่อย.....	20
2.11 กระบวนการอัดรีด (Extrusion processes).....	20
2.11.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder).....	21
2.11.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder).....	24
2.12 การเป่าขึ้นรูปฟิล์ม.....	25
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	30
3.3 วิธีการทดลอง.....	31
- ตอนที่ 1 หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ	31
- ตอนที่ 2 ลดขนาดกากกาแฟและผสมกลีเซอรอล	31
- ตอนที่ 3 เตรียมเม็ดพอลิเมอร์ของ LDPE ผสมกากกาแฟ.....	31
- ตอนที่ 4 ขึ้นรูปฟิล์ม LDPE ผสมกากกาแฟ	32
- ตอนที่ 5 ศึกษาสมบัติของกากกาแฟและฟิล์ม LDPE ผสมกากกาแฟ	32
- ตอนที่ 6 ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเติม LLDPE.....	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	36
4.1 การวิเคราะห์กากกาแฟ.....	36
4.1.1 สัณฐานวิทยาของผงกากกาแฟ.....	36
4.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากกาแฟด้วยอินฟราเรด.....	37
4.1.3 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผงกากกาแฟ	37
4.1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของกากกาแฟ.....	38
4.2 การวิเคราะห์ผลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟโดยเติม PE-g-MA ในอัตราส่วนที่ต่างกัน	39
4.2.1 สมบัติทางสัณฐานวิทยา.....	39
- ลักษณะกระจายตัวที่พื้นผิว.....	39
- ลักษณะการยึดเกาะของกากกาแฟกับพอลิเมอร์	40
4.2.2 สมบัติทางเคมีของฟิล์ม	42
- การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน	42
- การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน.....	46
4.2.3 สมบัติทางกายภาพ	49
- สมบัติการดูดซับน้ำ.....	49
4.2.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	52
4.2.4.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง.....	52
4.2.4.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส	53
4.2.4.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการยึดที่จุดขาด	54
4.2.5 สมบัติการย่อยสลาย	54
4.2.5.1 สัณฐานวิทยาของการย่อยสลาย	55
4.3 ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเติม LLDPE	57
4.3.1 สมบัติทางสัณฐานวิทยา	57
4.3.2 สมบัติทางเคมี	59
- การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน	59
- การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 4.3.3 สมบัติทางกายภาพเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 70 ราคา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมบัติการดูดซับน้ำ.....	70
4.3.4 สมบัติเชิงกล.....	73
4.2.4.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง.....	73
4.2.4.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส	74
4.2.4.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด	75
4.3.5 สมบัติการย่อยสลาย.....	76
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	79
เอกสารอ้างอิง	80
ภาคผนวก.....	84
ภาคผนวก ก.....	85
ภาคผนวก ข.....	115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE).....	5
2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของในเมล็ดกาแฟสดที่ไม่ได้ผ่านการคั่ว.....	13
2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟสดที่ผ่านการคั่วแล้ว.....	13
2.4 คุณลักษณะเฉพาะของกลีเซอรอล.....	15
3.1 แสดงอัตราส่วนของกากกาแฟที่ผสมกลีเซอรอล, LDPE, และPE-G-MA.....	31
3.2 แสดงอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟที่ผสมกลีเซอรอล, LDPE, LLDPE และPE-G-MA.....	35
4.1 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของกากกาแฟ.....	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LDPE	4
2.2 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LLDPE	6
2.3 ส่วนประกอบในเม็ดก้าแพ	7
2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส	9
2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส	10
2.6 โครงสร้างของลิกนิน	10
2.7 โครงสร้างของคาเฟอีน	11
2.8 โครงสร้างของ Trigonelline	11
2.9 โครงสร้างของ Nicotinic acid	11
2.10 โครงสร้างของ Quinic acid	12
2.11 โครงสร้างของ Hydroxycinnamic acids	12
2.12 มอนอเอสเทอร์ของ Quinic acid และ Hydroxycinnamic acids	12
2.13 โครงสร้างของกลีเซอรอล	16
2.14 การจับกันของตัวประสานกับพอลิเมอร์	17
2.15 กลไกการเกิดพันธะเอสเทอร์ของและพันธะไฮโดรเจนระหว่างสารคู่ควบกับเซลลูโลส	17
2.16 ลักษณะการหมุนของหม้อบดและการเคลื่อนที่ของลูกบด	18
2.17 เครื่อง Dry blend	19
2.18 ใบพัดการกวนในถังผสม	19
2.19 กระบวนการผสมโดยหมุนด้วยความเร็วรอบสูง	19
2.20 ภาพตัดขวางของเครื่องอัดรีดแบบสกรู	21
2.21 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว	22
2.22 ลักษณะของสกรู	23

2.24 ภาพตัดขวางของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ 24

2.25 กระบวนการเป่าฟิล์ม..... 26

4.1 รูป SEM ของกากกาแฟ (ก) กำลังขยาย 100 เท่า (ข) กำลังขยาย 1000 เท่า 36

4.2 อินฟราเรดสเปกตรัม (ก) กากกาแฟ..... 37

4.3 TGA ของกากกาแฟ 38

4.4 รูป SEM การกระจายตัวที่พื้นผิวของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟในปริมาณที่ต่างกัน 39

4.5 รูป SEM ลักษณะการยึดเกาะของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟในปริมาณที่ต่างกัน..... 40

4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ LDPE และฟิล์มที่ผสมกากกาแฟในปริมาณที่ต่างกัน 43

4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของปริมาณกากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสม PE-g-MA ที่ต่างกัน 44

4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของปริมาณกากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสม PE-g-MA ที่ต่างกัน 44

4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของปริมาณกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสม PE-g-MA ที่ต่างกัน 45

4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PE-g-MA..... 45

4.11 TGA ของ LDPE 46

4.12 TGA ของ 10% WCG..... 46

4.13 TGA ของ 15% WCG..... 47

4.14 TGA ของ 20% WCG..... 48

4.15 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟในอัตราส่วนที่ต่างกัน..... 49

4.16 อินฟราเรดสเปกตรัมของ LDPE กับฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ
ในปริมาณที่ต่างกันหลังทดสอบการดูดน้ำ 50

4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10% ในปริมาณ PE-g-MA
ที่ต่างกันหลังทดสอบการดูดน้ำ..... 51

4.18 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15% ในปริมาณ PE-g-MA
ที่ต่างกันหลังทดสอบการดูดน้ำ..... 51

4.19 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20% ในปริมาณ PE-g-MA
ที่ต่างกันหลังทดสอบการดูดน้ำ..... 52

4.21 ค่ามอดูลัสของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟและ PE-g-MA ในปริมาณที่ต่างกัน.....	53
4.22 ค่าร้อยละการยึดที่จุดขาดของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟและ PE-g-MA ในปริมาณที่ต่างกัน.....	54
4.23 แสดงน้ำหนักของฟิล์มก่อนและหลังฝังดิน.....	55
4.24 SEM การกระจายตัวการย่อยสลายของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์.....	55
4.25 SEM การกระจายตัวการย่อยสลายของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์.....	56
4.26 SEM การกระจายตัวการย่อยสลายของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์.....	56
4.27 SEM การยึดเกาะของการย่อยสลายของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ.....	56
4.28 SEM การกระจายตัวของฟิล์มที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติโดยเติม LLDPE	57
4.29 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ เติม LLDPE ในอัตราส่วนที่ต่างกัน.....	59
4.30 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์ เติม LLDPE ในอัตราส่วนที่ต่างกัน.....	59
4.31 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์ เติม LLDPE ในอัตราส่วนที่ต่างกัน.....	60
4.32 TGA ของ 10% WCG 3% LLDPE.....	61
4.33 TGA ของ 10% WCG 5% LLDPE.....	62
4.34 TGA ของ 10% WCG 7% LLDPE.....	63
4.35 TGA ของ 15% WCG 3% LLDPE.....	64
4.36 TGA ของ 15% WCG 5% LLDPE.....	65
4.37 TGA ของ 15% WCG 7% LLDPE.....	66
4.38 TGA ของ 20% WCG 3% LLDPE.....	67
4.39 TGA ของ 20% WCG 5% LLDPE.....	68
4.40 TGA ของ 20% WCG 7% LLDPE.....	69
4.41 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของฟิล์มกากกาแฟที่เติม LLDPE ในปริมาณที่ต่างกัน.....	70
4.42 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ เติม LLDPE ทดสอบการดูดน้ำ.....	71

4.43 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์
 เต็ม LLDPE ทดสอบการดูดน้ำ..... 71

4.44 อินฟราเรดสเปกตรัมของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์
 เต็ม LLDPE ทดสอบการดูดน้ำ..... 72

4.45 ค่าความแข็งแรงดึงของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ และ LLDPE ในปริมาณที่ต่างกัน 73

4.46 ค่ามอดูลัสของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ และ LLDPE ในปริมาณที่ต่างกัน..... 74

4.47 ค่าร้อยละการยืดที่จุดขาดของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ และ LLDPE ในปริมาณที่ต่างกัน..... 75

4.48 แสดงน้ำหนักก่อน และหลังฝังดินของฟิล์มที่ปรับปรุงสมบัติโดยเติม LLDPE..... 76

4.49 (ก) ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (ข) ค่ามอดูลัส
 (ค) ค่าทดสอบร้อยละการยืดที่จุดขาด หลังฝังดิน 77



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene)
LLDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene)
WCG	กากกาแฟ (Waste coffee ground)
MA	PE-g-MA (Polyethylene-grafted maleic anhydride)
TS	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)
MO	ค่ามอดุลัส (Modulus)
EB	ค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด (Elongation at break)
FT-IR	Fourier transform infrared



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันชีวิตความเป็นอยู่ของคนทั่วโลกมักจะนิยมใช้ของที่สามารหาได้ง่ายเพราะในชีวิตประจำวันต้องแข่งขันกับเวลา วัสดุพลาสติกจึงนิยมนำมาใช้อย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นบรรจุภัณฑ์ใสของอุปโภคบริโภค หรือกระทั่งของเสีย เนื่องจากพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ราคาไม่แพง และใช้งานได้นาน ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ในปัจจุบันขยะพลาสติกเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เพราะย่อยสลายได้ยากและใช้เวลานานมากในการย่อยสลาย แม้ว่าจะมีการทำลายพลาสติกได้หลายวิธี เช่น การฝังดิน การเผา การนำกลับมาใช้ใหม่ แต่วิธีเหล่านี้ก็มีข้อจำกัด เนื่องจากการฝังดินใช้พื้นที่มากในการฝังเพราะพลาสติกมีปริมาณการใช้มากมายและกว่าจะย่อยสลายก็ใช้เวลานานมาก การเผาจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และการนำกลับมาใช้ใหม่อาจจะได้ไม่กี่ครั้งเพราะสมบัติจะค่อยๆ ลดลงทำให้ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ทำให้ต้องมีการคิดค้นวิธีที่จะหาวัสดุอื่นมาทดแทนพลาสติกหรือคิดค้นวิธีที่จะทำให้พลาสติกนั้นสามารถย่อยสลายได้ในเวลาสั้นๆ เพื่อแก้ปัญหาขยะจากพลาสติก

กาแฟเป็นหนึ่งในสินค้าเกษตรที่ใหญ่ที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ซึ่งมีการปลูกต้นกาแฟกว่า 70 ประเทศทั่วโลก โดยเฉลี่ยทั่วโลกมีการผลิตกาแฟปีละประมาณ 8 ล้านตัน นำไปสู่ขยะอินทรีย์จำนวนมาก ขยะนี้เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากต้องการปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำสูง (BOD) อันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ เช่น คาเฟอีน พอลิฟีนอล และ แทนนิน แม้ว่าปัจจุบันจะมีการนำกากกาแฟมาใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ ปุ๋ย และถ่าน แต่อย่างไรก็ตามกากกาแฟส่วนมากจะกลายเป็นขยะอินทรีย์ที่จะต้องทำลายโดยการฝังกลบ

งานวิจัยนี้นำเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการนำสิ่งที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่โดยนำกากกาแฟมาอบแห้งแล้วนำผสมกับเม็ดพลาสติก LDPE จากนั้นนำไปขึ้นรูปโดยการเป่าขึ้นรูปเพื่อให้ได้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกและขยะอินทรีย์จากกากกาแฟ เนื่องจากผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะจากพลาสติกและขยะอินทรีย์จากกาแฟ แม้ว่ากาแฟจะเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่เมื่อใช้งานไปนานๆ กากกาแฟจะย่อยสลายก่อน แล้วโครงสร้างของพลาสติกจะถูกทำลายลงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ถูกทำลายแล้วเกิดการย่อยสลายได้เร็วขึ้น โดยการใส่กากกาแฟในการผลิตพลาสติกนั้นนอกจากจะช่วยให้พลาสติกย่อยสลายได้เร็วทำให้ลดขยะพลาสติกได้แล้ว ยังสามารถช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิตพลาสติกเพราะกากกาแฟเป็นขยะที่มีมากมาย ทำให้หาได้ง่าย ไม่มีค่าใช้จ่ายและใช้ไม่หมดเพราะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติและในชีวิตประจำวันมีการบริโภคมากขึ้นทุกวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพิ่มมูลค่าของกากกาแฟที่ใช้แล้ว
2. ปรับปรุงสมบัติบางประการของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เพื่อทำเป็นฟิล์มที่ย่อยสลายได้
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้จริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟ กับพลาสติกไฮเซอรัทที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าฟิล์ม
2. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟ กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าฟิล์ม
3. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับสารช่วยผสม (Compatibilizer) ที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบเป่าฟิล์ม
4. ทำการหาสภาวะเครื่องที่เหมาะสมในการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการเป่าฟิล์ม
5. ทดสอบสมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานที่ได้

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. ทำการคัดขนาดอนุภาคของกากกาแฟให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันโดยใช้ตระแกรงร่อนเบอร์ 100 และนำไปผ่านเครื่องบดแบบลูกบอล อีกครั้งเพื่อเป็นการลดขนาดอนุภาคกากกาแฟ
2. ทำการผสมกากกาแฟกับพลาสติกไฮเซอรัทในอัตราส่วนที่เหมาะสมและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. ทำการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับสารช่วยผสม (Compatibilizer) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและนำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder)
4. นำส่วนผสมของกากกาแฟ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มาทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw extruder)
5. นำสูตรที่ดีที่สุดของแต่ละสูตรมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) ในอัตราส่วนต่างๆ
6. ทำการศึกษาตัวแปรที่มีบทบาทต่อกระบวนการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม
7. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางเคมี สัณฐานวิทยา และการย่อยสลาย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากกาแฟ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE)
2. ทราบถึงผลของสารช่วยผสมที่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติบางประการในกระบวนการเป่าขึ้นรูปฟิล์ม
3. สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ การศึกษานี้ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิเมอร์เบลนด์ (Polymer blend) [1] [2] [3]

การผสม (Blending) เป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมอาจจะเป็นการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นหรือผสมกับสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อให้ได้สมบัติที่หลากหลายตามความต้องการและสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต การทำพอลิเมอร์เบลนด์เป็นการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหลได้แก่เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้เป็นพอลิเมอร์เบลนด์ (Polymer blend) ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกันเกิดเป็นพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีสมบัติแตกต่างไปจากเดิมโดยไม่ต้องเสียเวลาสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมาซึ่งต้องใช้เวลาและอาจต้องใช้ต้นทุนสูงในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่เกิดจากการผสมแล้ว ช่วยให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น มีความเหนียว (Toughness) เพิ่มขึ้น และมีความแข็งแรงต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance) เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พอลิเมอร์เบลนด์สามารถปรับปรุงโครงสร้างให้บิดโค้งงอแปรรูป (Processability) ให้เหมาะสมต่อการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีสมบัติคงตัว (Product uniformity) สามารถเปลี่ยนแปลงสูตรการผสมในการผลิตได้อย่างรวดเร็ว และให้อัตราการผลิตที่มีปริมาณสูงชัน (High productivity) นอกจากนี้ยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมอีกด้วย

2.1.1 ความเข้ากันได้ (Compatibility) [1] [2] [3]

ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ คือ ความเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ซึ่งหมายถึง ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าในระดับโมเลกุลไม่แสดงการแยกเฟสเมื่อทำการผสมซึ่งความเข้ากันได้จะขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ มวลโมเลกุล สัดส่วนของพอลิเมอร์ทั้งสอง และสภาวะของการผสม โดยขึ้นกับวิธีการผสม อุณหภูมิ และเวลา พอลิเมอร์บางชนิดผสมกันแล้วไม่มีความเข้ากันได้เลย (Incompatible blend) บางชนิดมีความเข้ากันได้เป็นบางส่วน (Partially compatible blend) และบางชนิดสามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมด (Completely compatible blend)

2.1.1.1 ผสมกันแล้วไม่มีความเข้ากันได้

พอลิเมอร์ทั้งสองไม่ผสมเข้าด้วยกัน มีขอบเขตการแยกอย่างชัดเจนไม่มีการผสมกันในระดับโมเลกุลส่งผลให้แรงกระทำระหว่างเฟส (Interfacial adhesion) ไม่ดี พอลิเมอร์ทั้งสองแยกกันอยู่เป็นผลทำให้ไม่มีการแลกเปลี่ยนสมบัติระหว่างกัน การผสมไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์นั้นๆ เมื่อมีแรงกระทำในขณะที่ใช้งานจะเกิดการแตกหักได้ง่าย

2.1.1.2 ผสมกันแล้วมีความเข้ากันได้เป็นบางส่วน

พอลิเมอร์ที่ได้จะมีได้หลายเฟสซึ่งเป็นระบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous system) และเกิดขอบเขตขึ้นซึ่งอาจมีหรือไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสก็ได้โดยสามารถเกิดสัณฐานวิทยาได้หลายแบบ ดังนี้

- Heterogeneous multi-phase พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไม่มีการผสมเข้ากันมีการแยกเฟส
- Interpenetrating polymer network (IPN) พอลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้บางส่วนซึ่งเป็นการแยกเฟส A กับ B อยู่ด้วยกันโดยที่เฟส A จะประกอบด้วยพอลิเมอร์ B แต่มีปริมาณที่น้อยกว่า เรียกเฟส A ว่า A rich phase และเรียกเฟส B ว่า B rich phase เนื่องจากมีพอลิเมอร์ B อยู่มากกว่า A ซึ่งทั้งสองเฟสไม่ได้แยกกันอย่างเด็ดขาดและไม่ได้เป็นเฟสที่มีสารบริสุทธิ์เพียงตัวเดียว
- Droplet particle in continuous phase เป็นสัณฐานวิทยาเข้ากันได้บางส่วนโดยมี B rich phase เป็น Continuous phase และ A rich phase อยู่ในรูปอนุภาคที่กระจายอยู่ใน B rich phase เรียกว่า Dispersed phase

สัณฐานวิทยาแบบเข้ากันได้บางส่วนทั้ง 2 แบบนี้มีสัณฐานวิทยาที่ต่างกันและมีสมบัติไม่เหมือนกันสามารถนำไปใช้งานที่ต่างกันด้วย

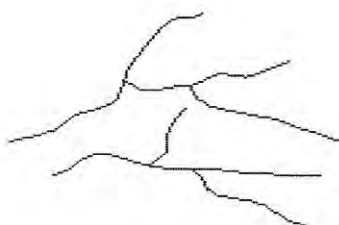
2.1.1.3 ผสมกันแล้วรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมด

พอลิเมอร์เบลนด์ที่ได้มีเฟสเดียว และเป็นเนื้อเดียวกันไม่เห็นขอบเขต (Boundary) ของการแยกเฟสไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสถ้าหากพอลิเมอร์เบลนด์เข้ากันได้ดีสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งสองอาจจะหักล้างกันหรืออาจเสริมกันก็ได้

การผสมกันของพอลิเมอร์ที่ดีต้องสามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ทั้งหมดเพราะจะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ถ้าหากการผสมกันของพอลิเมอร์ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้หมด จะส่งผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ คือ ทำให้เกิดการแยกเฟสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดอย่างชัดเจน และเฟสแต่ละเฟสของพอลิเมอร์จะเกิดการยึดเหนี่ยวกันของแต่ละเฟสทำให้พอลิเมอร์มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลภายในต่ำลงและทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลหรือสมบัติอื่นๆต่ำกว่า พอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกันถือว่าเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีคุณภาพและไม่ควรนำไปใช้งาน ดังนั้นถ้าหากจะทำการเตรียมผสมพอลิเมอร์ต้องคำนึงความเข้ากันได้เป็นสำคัญ

2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-density polyethylene : LDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โครงสร้างมีสายโซ่โมเลกุลแบบกิ่ง ดังรูปที่ 2.1



LDPE

รูปที่ 2.1 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LDPE [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ถูกค้นพบโดยบริษัทโอซีไอ ประเทศอังกฤษ และถูกผลิตขึ้นในปี ค.ศ.1939 เป็นพอลิเอทิลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตขึ้นในทางการค้า มีความหนาแน่นต่ำ ($0.910-0.930 \text{ g/cm}^3$) เนื่องจากโครงสร้างมีกิ่งก้านสาขาแยกออกมามาก ทำให้โมเลกุลจัดตัวอยู่อย่างหลวมๆ และไม่เป็นระเบียบ LDPE มีลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียวพอสมควร และมีผิวหน้ามันคล้ายขี้ผึ้งหรือเทียนไข การสังเคราะห์ LDPE ในทางการค้าถูกผลิตด้วยกระบวนการความดันระดับสูง (High pressure process) ประมาณ 150-350 MPa และอุณหภูมิ 80-300 องศาเซลเซียส ใช้ตัวริเริ่มชนิดอิสระ หรือถ้าใช้ออกซิเจน (ประมาณ 0.03-0.1 เปอร์เซ็นต์) จะใช้ความดันประมาณ 1500 บรรยากาศ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ในการทำพอลิเมอร์เซชันโดยผ่านมอนอเมอร์และตัวริเริ่ม

พอลิเอทิลีน (Polyethylene) ลักษณะโดยทั่วไปมีสีขาวขุ่นโปร่งแสง มีความลื่นมันในตัวเอง เมื่อสัมผัสจึงรู้สึกลื่น ยืดหยุ่นได้ดี และที่สำคัญ ไม่มีกลิ่น และรส นอกจากนี้ยังไม่ติดแม่พิมพ์อีกด้วย มีความเหนียวแต่ทนความร้อนได้ไม่มากนักแต่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก ใสสีผสมได้ง่าย มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ดี เมื่อมีความหนาแน่นสูงขึ้น จะทำให้มีความแข็งแรง และความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในการหลอมตัวจึงสูงขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้อัตราการคายก๊าซเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้อัตราการเสื่อมสลายของผิวเพิ่มขึ้น กล่าวคือผิวจะแตกรานได้ง่ายขึ้น LDPE มีจุดเด่นในการใช้งานทั่วไปที่อุณหภูมิต่ำได้ดี คือ จุดหลอมเหลวประมาณ 110 องศาเซลเซียส และจุดอ่อนตัว 40-50 องศาเซลเซียส จึงไม่ควรใช้งานที่อุณหภูมิสูง

สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีความยืดหยุ่นได้ดีและเหนียวมากที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature) ทนทานต่อสารเคมีได้ดีมาก ทนต่อสภาวะอากาศได้ดีพอสมควร อากาศสามารถซึมผ่านได้ดีจึงทำให้ผสมสีได้ง่าย หดตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ไม่ติดแม่พิมพ์ ทำให้ถอดจากแม่พิมพ์ได้ง่าย เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมากอีกชนิดหนึ่ง สามารถผลิตเป็นฟิล์มใสและสีได้ดี และยังทำเป็นฟิล์มโปร่งแสงหรือทึบแสงได้ง่ายไม่มีกลิ่นและรส โดยมีสมบัติบางประการแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) [5]

สมบัติ	ASTM	LDPE
ความถ่วงจำเพาะ	D792	0.91-0.93
ความเป็นผลึก (%)	-	50.0-70.0
อุณหภูมิหลอมเหลว (°C)	-	98.0-120.0
ความแข็งแรงดึง (MPa)	D638	4.10-16.0
มอดุลัส (GPa)	D638	0.10-0.26
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	D638	90.0-800.0
ความแข็งแรงกระแทก (J.m^{-1})	D256	No break
อุณหภูมิเปื่อยเบนทางความร้อน (°C)	D648	38.0-49.0

การใช้งาน LDPE ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ โดยนำไปแปรรูปเป็นฟิล์ม เช่น ใช้ทำถุงเย็น ถุงสินค้าทั่วไป ฟิล์มหดรูป (Shrink film) และฟิล์มยืด (Stretch film) เป็นต้น ประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในงานผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด เช่น ขวด ถ้วย ถาดบรรจุอาหารและไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยา ของเล่นเด็ก และของใช้ภายในบ้าน เป็นต้น อีกประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟ และสายเคเบิล วัสดุเคลือบผิว และการเป่าขวด

ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ ขวดใส่สารเคมี ขวดใส่น้ำ ลังหรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่าง ๆ ถู ยื่น เครื่องเล่นของเด็ก ถาดทำน้ำแข็ง ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฉนวนไฟฟ้า ถูใส่ของ เช่น แผ่นฟิล์มสำหรับห่อของโต๊ะและเก้าอี้เพื่อป้องกันการขีดข่วน และกันกระแทก

2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene : LLDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นมีโครงสร้างที่มีการจัดเรียงโมเลกุลเป็นระเบียบกว่า LDPE แสดงดังรูปที่ 2.2



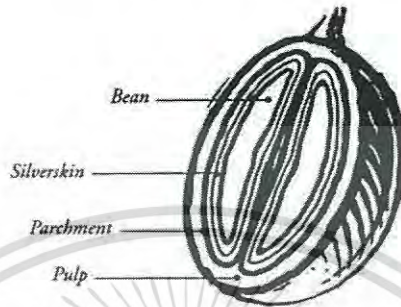
พอลิเมอร์ชนิดนี้มีการปฏิบัติอุตสาหกรรมพลาสติกด้วยการปรับปรุงสมบัติ ความแข็งแรงดึงที่ ความหนาแน่นเดิมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ LDPE พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ซึ่งมีกิ่งสั้น และมีความแน่นอนของตำแหน่งของสายโซ่ที่มีระยะห่างที่ชัดเจนทำให้ LLDPE เป็นพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงโมเลกุลเป็นระเบียบกว่า LDPE (ซึ่งมีกิ่งที่มีความยาวและมีตำแหน่งแบบสุ่ม) ความเป็นระเบียบของโครงสร้างของกิ่งใน LLDPE ได้มาจากใช้โคมอนอเมอร์ เช่น พวกกิวเทน (Butane) โพรพิลีน (Propylene) เฮกเซน (Hexane) ออกเทน (Octane) เป็นต้น ทำปฏิกิริยาร่วมกับเอทิลีน โดยโคมอนอเมอร์เหล่านี้จะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มขึ้นตามลำดับ ความยาวของกิ่งใน LLDPE ที่ผลิตจะขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลโคมอนอเมอร์ที่ใช้ ตัวเร่งที่ใช้ในการเตรียม LLDPE เช่น ไททาเนียมเฮไลด์ ตรีงบนวัสดุต่างๆ เช่น อะลูมินา เป็นต้น

โดยปกติแล้ว LDPE จะทำการผลิตที่ความดันประมาณ 35000 psi แต่ใน LLDPE ความดันจะอยู่ที่ประมาณ 30000 psi ความหนาแน่นของ LLDPE อยู่ระหว่าง 0.915 ถึง 0.940 g/cm³ ซึ่ง LLDPE มีสมบัติคล้าย LDPE มาก กล่าวคือ มีความนิ่ม และลักษณะการใช้งานของ LLDPE ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำแผ่นฟิล์มหรือแผ่นพลาสติก ซึ่งอาจใช้ตัวเดียวหรือผสมกับ LDPE เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มความเหนียว และสมบัติเด่นของฟิล์ม LLDPE คือมีความสามารถในการทนต่อแรงดึงได้มาก ทำให้สามารถผลิตฟิล์มที่มีความบางกว่าโดยไม่เกิดแรงฉีกขาด มีความทนทานต่อการเจาะทะลุสูง และมีความเป็นผลึก (Crystallinity) สูงกว่า LDPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กาแฟ [6]

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันกาแฟถือเป็นหนึ่งในธุรกิจที่สำคัญทางการค้าที่ผู้คนนิยมนำมาใช้ในด้านอาหารและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือเครื่องดื่มที่ผู้คนนิยมบริโภคกันทั่วโลกและมีแนวโน้มที่จะมีการพัฒนา ปรับปรุงสายพันธุ์ของเมล็ดกาแฟให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้นเพื่อตอบสนองของผู้บริโภคที่มีมากขึ้นในปัจจุบัน



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบในเมล็ดกาแฟ [6]

กาแฟมีชื่อในทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea Sp.* จัดเป็นพุ่มไม้ขนาดกลาง สูงประมาณ 3-5 เมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของกาแฟ สภาพแวดล้อมและแหล่งอาหารในบริเวณที่เพาะปลูก

2.4.1 ลักษณะทางพันธุศาสตร์แบ่งได้ 4 ประเภทคือ [7]

2.4.1.1 ลำต้น

ลำต้น โดยธรรมชาติแล้วกาแฟมีลักษณะลำต้นตรงในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะไม่แตกกิ่ง แต่จะมีใบแตกออกตรงข้ออยู่ตรงข้ามกันเป็นคู่ๆ ต่อมาเมื่อมีการเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ จะมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกันและอยู่ตรงข้ามกันกิ่งที่แตกออกมาใหม่จะมี ใบแตกออกเป็นคู่ๆอยู่ตรงข้อเช่นเดียวกับลำต้น กิ่งจะขนานไปกับระดับพื้นดินหรือห้อยต่ำลงดิน ซึ่งเป็นที่เกิดของดอกและผลต่อไป นอกจากนี้ยังมีการแตกกิ่งที่ออกจากตาของลำต้น เป็นจำนวนมากทำให้หน่อเกิดขึ้นใหม่นี้ เบียดกับลำต้นซึ่งถ้าหากปล่อยไว้ให้เจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ โดยไม่มีการปลิดทิ้งหรือตัดออก จะทำให้กาแฟมีรูปร่างเป็นพุ่มที่แน่นทึบเป็นที่สะสมของโรค แมลง และให้ผลผลิตลดต่ำลง [7]

2.4.1.2 ดอก

ดอกกาแฟมีสีขาวบริสุทธิ์ กลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า รูปลักษณ์คล้ายดาวมีก้านสั้น อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม จะเกิดตามข้อของต้นกาแฟบ้างเป็นส่วนน้อย แต่ส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกิ่งต้นกาแฟ โดยเริ่มจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง ต้นกาแฟมีลักษณะพิเศษ คือ ข้อของกิ่งจะสั้นสามารถที่จะเกิดดอกปลดติดผลได้มาก โดยดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมียรวมอยู่ในดอกเดียวกัน เกสรตัวเมียจะมีอยู่สองส่วน ส่วนเกสรตัวผู้จะมีอยู่ในจำนวนที่เท่ากับกลีบดอกคือประมาณ 2-4 อัน ต้นกาแฟบางพันธุ์อาจจะมีการผสมพันธุ์ข้ามสายพันธุ์กันโดยง่ายหากต้นกาแฟสองต้นอยู่ใกล้กัน เวลาในการออกดอกของต้นกาแฟขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ถ้าในท้องถิ่นที่มีฝนตกเป็นฤดู ดอกจะออกหลังจากฝนตกประมาณ 1 เดือน แต่ ถ้าหากอากาศชุ่มชื้นอยู่ตลอดปีหรือกรมการชลประทานเพียงพอ ต้นกาแฟจะออกดอกสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3 ผลกาแฟ

ผลกาแฟ การติดผลจะมีเพียง 16-26 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าจะมีการติดดอกเป็นจำนวนมากเมื่อกลีบดอกร่วงแล้วกาแฟจะติดเป็นผลที่มีลักษณะคล้ายลูกหว้า ซึ่งภายในผลกาแฟแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนหนึ่งมีเมล็ดกาแฟอยู่ 1 เมล็ด ซึ่งมีลักษณะแบนยาวไปตามรูปของเปลือกหุ้มถ้าหากเมล็ดหนึ่งเมล็ดใดสับเพราะเหตุมาจากการผสมพันธุ์ที่ไม่ดี เมล็ดที่เหลืออยู่ก็จะมีลักษณะกลมจะสังเกตได้ว่าเมล็ดกาแฟที่สุกแล้วจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลปนแดง

2.4.1.4 เมล็ดกาแฟ

เมล็ดกาแฟ แสดงดังรูปที่ 2.2 เป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลาเมื่อสุกเต็มที่จะมีรสหวานเล็กน้อย ลักษณะเป็นยางเหนียวๆ ผลกาแฟเมื่อสุกเต็มที่จะปอกเอาเปลือก และเนื้อทิ้ง นำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้ง ผลของการตากแห้งจะทำให้ความชื้นในเมล็ดกาแฟระเหยไป โดยน้ำหนักที่หายไปประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อกะเทาะเปลือก (กะลา) และเนื้อทิ้ง นำเมล็ดกาแฟไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปอีกประมาณ 14.78 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวได้ว่าผลกาแฟสดที่เก็บมาทำเป็นเมล็ดกาแฟแห้งจะเสียน้ำหนักไปประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะถ้าหากนำไปคั่วทำเป็นผงกาแฟที่ใช้ชงรับประทานจะมีเนื้อกาแฟแท้ประมาณ 13.60 เปอร์เซ็นต์ จากต้นกาแฟจะพบว่ากิ่งของกาแฟข้อหนึ่งๆที่ออกผลกาแฟไปแล้ว จะส่งผลให้ในปีต่อไปจะไม่ออกผลอีกแต่ผลของกาแฟจะออกต่อไปในข้อของกิ่งที่ยังไม่ได้้ออกผล ต้นกาแฟจะออกผลจากข้อที่ใกล้ลำต้นออกไปสู่ปลายกิ่ง ส่วนจะออกกี่ข้อนั้นสุดแต่ความสมบูรณ์ของต้นกาแฟในปีนั้นๆ

สายพันธุ์กาแฟที่มีความสำคัญในเชิงพาณิชย์มีอยู่ด้วยกันสองสายพันธุ์ ได้แก่ Coffea Arabica หรือ อาราบิก้า (Arabica) และ Coffea Canaphora หรือ โรบัสต้า (Robusta) สำหรับพันธุ์อาราบิก้า นั้นถือเป็นพันธุ์กาแฟที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จัก และแบ่งความแตกต่างของกาแฟสองสายพันธุ์ได้ดังนี้ คือ

เมล็ดอาราบิก้า มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมใหญ่ และแบนกว่าเมล็ดโรบัสต้าทั้งยังมีปริมาณคาเฟอีนน้อยกว่า และให้รสชาติที่ไม่เข้มข้นมากนัก ประกอบกับมีกลิ่นหอมที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวถือเป็นสายพันธุ์กาแฟที่มีคุณภาพที่สุดและมีราคาแพง แม้ว่าจะเพาะปลูกยาก เพราะกาแฟสายพันธุ์นี้มักเติบโตได้ดีในสภาพอากาศที่ค่อนข้างเย็น คล้ายกับพืชเมืองหนาว และยังมีเสียงต่อการเกิดโรค แมลง และน้ำค้างแข็งได้ง่าย แต่เมล็ดอาราบิก้ายังคงครอง สัดส่วนประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณกาแฟโลกที่คนนิยมบริโภค

เมล็ดโรบัสต้า มีลักษณะเป็นรูปวงรี และมีขนาดเมล็ดที่เล็กกว่าสายพันธุ์อาราบิก้า แต่เป็นสายพันธุ์กาแฟที่มีความทนทานอย่างมาก ทนทานต่อสภาพภูมิอากาศและสามารถปรับเข้ากับสภาพภูมิอากาศได้ดี สามารถเติบโตได้ในเขตอบอุ่น และต้องการความชุ่มชื้นถึงจะออกผลได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถทนทานต่อโรค แมลง เเพาะปลูกได้ง่ายกว่าสายพันธุ์อาราบิก้าสายพันธุ์โรบัสต้าให้รสชาติที่ขมและเข้ม แต่มีกลิ่นเหม็นหืนเล็กน้อยไม่หอมเท่าอาราบิก้า โดยครองสัดส่วนประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของกาแฟโลกเนื่องจากมีรสชาติที่เข้มข้นมาก เนื่องมาจากปริมาณคาเฟอีนสูงกว่าสายพันธุ์อาราบิก้า เมล็ดโรบัสต้ามักถูกใช้ในการผสมกับกาแฟพันธุ์อาราบิก้าเพื่อเพิ่มรสชาติ หรือใช้ในการผลิตกาแฟสำเร็จรูป

2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดกาแฟ [8]

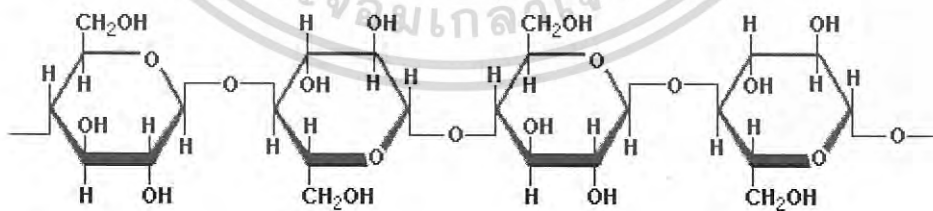
2.4.2.1 คาร์โบไฮเดรตและเส้นใย

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบหลักภายในเมล็ดกาแฟที่อาจจะมีมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง พบคาร์โบไฮเดรตจำพวก มอนอแซคคาไรด์ ไดแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ และพอลิแซคคาไรด์ แบ่งตามกลุ่มได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง กับน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซึ่ง ซึ่งส่วนมากที่พบจะพบในกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์ (มีทั้งแบบสลายและไม่สลายไป) ประมาณ 44 เปอร์เซ็นต์ในกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า และประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ในกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า

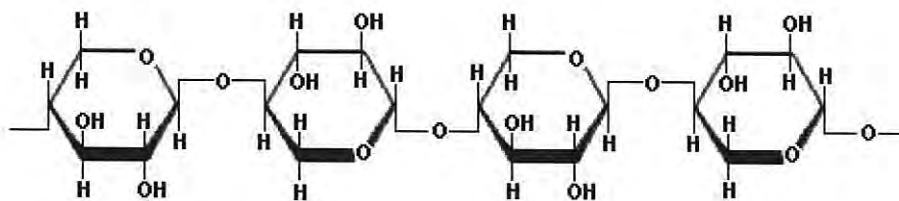
พบน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่มีความสำคัญมากในการให้รสชาติในกาแฟ ซึ่งมีประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ในกาแฟอาราบิก้า ส่วนของโรบัสต้าจะมีปริมาณครึ่งหนึ่งของกาแฟอาราบิก้า โดยน้ำตาลซูโครสจัดเป็นน้ำตาลในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ นอกจากนี้ยังพบคาร์โบไฮเดรตทั่วไปซึ่งอยู่ในกลุ่มของมอนอแซคคาไรด์ และ ไดแซคคาไรด์ ได้แก่ ฟรักโทส กลูโคส แมนโนส อาราบิโนส และแรมโนส ในกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์เช่น ราฟิโนสสแตคิโอส คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้จะพบมากในเมล็ดกาแฟสีเขียวที่ยังไม่ได้ผ่านการคั่วบดซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญในการให้ กลิ่น รส และสีของกาแฟ ถ้าเมล็ดกาแฟผ่านการคั่วบดแล้ว กลุ่มของหมู่น้ำตาลเหล่านี้จะมีปริมาณลดน้อยลง ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 เนื่องมาจากการระเหยไปเมื่อถูกความร้อน ตอนคั่วเมล็ดกาแฟ และลดลงอย่างมากถ้าเป็นกากของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการชงมาแล้ว

สารโมเลกุลใหญ่จำพวกพอลิแซคคาไรด์มีอยู่ประมาณร้อยละ 48-60 เปอร์เซ็นต์จะพบ Galactomannan และ Arabinogalactan ที่สามารถสลายตัวได้เมื่อให้ความร้อนที่แตกต่างกันในการคั่วเมล็ดกาแฟ เป็นผลมาจากโครงสร้างที่ใหญ่และมีความเป็นกึ่งมาก เมื่อถูกความร้อนไปกระตุ้นหรือเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้สายโซ่ของโครงสร้างแตกตัวได้เป็นมอนอแซคคาไรด์ โอลิโกแซคคาไรด์ และเกิดการระเหยไป ยกเว้นเซลลูโลสที่เป็นหนึ่งในส่วนประกอบหลักและอยู่ในกลุ่มของพอลิแซคคาไรด์ ที่ไม่ระเหยไปเมื่อนำเมล็ดกาแฟไปผ่านการคั่วบด

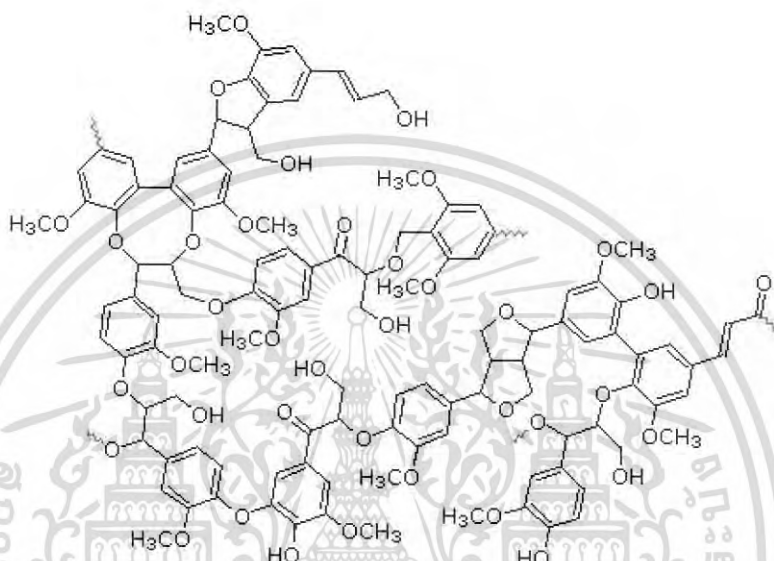
ดังนั้นสารที่หลงเหลืออยู่มากที่สุดหลังจากที่กาแฟผ่านการคั่วบด และนำไปผ่านการชงกาแฟ หรือที่เรียกว่ากากของเมล็ดกาแฟจะพบว่ามีเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.3 เฮมิเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.4 และลิกนิน แสดงดังรูปที่ 2.5 ที่หลงเหลืออยู่ซึ่งเป็นส่วนของผนังเซลล์มีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส [8]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [8]



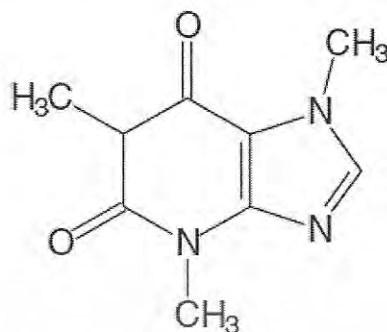
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของลิกนิน [8]

2.4.2.2 สารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนอยู่ในรูปของโปรตีนเพปไทด์และกรดอะมิโนอิสระซึ่งจะมีมากขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเมล็ดกาแฟซึ่งมีความสำคัญมากในการให้รสชาติ และการเกิดปฏิกิริยา Maillard reaction คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ กับกรดอะมิโนโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่างๆเมื่อได้รับความร้อนสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนั้นเป็นสีของเมล็ดกาแฟที่ผ่านการให้ความร้อนจะทำให้เกิดทั้งกลิ่น รสและสีโดยการเกิดปฏิกิริยาจากการระเหยของสารตั้งต้น เช่น Furan, Pyridines, Pyrazines, Pyrroles, Aldehydes และ Melanoidins โดยเฉพาะ Melanoidins นอกจากจะให้กลิ่น รส และสีแล้วยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย ซึ่งจะพบมากในเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแล้วคาเฟอีนเป็นสารเมทิลแซนทีน (Methylxanthine) แสดงดังรูปที่ 2.7 เป็นแซนทีน อัลคาลอยด์ เป็นสารที่มีรสขมพบในกาแฟโรบัสต้าประมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีมากกว่าพันธุ์อาราบิก้า คาเฟอีนเป็นสารกระตุ้นประสาททำให้ร่างกายเกิดความตื่นตัว และลดความง่วงได้

Trigonelline แสดงดังรูปที่ 2.8 เป็นอัลคาลอยด์ที่มาจาก Enzymatic methylation ของ กรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) แสดงดังรูปที่ 2.9 หรือเรียกว่าปฏิกิริยาการเติมหมู่เมทิล เมื่อนำเมล็ดกาแฟไปคั่วโดยการให้ความร้อนในระหว่างคั่วเมล็ดกาแฟจะปลดปล่อยสารระเหย เช่น Pyrroles และ Pyridines ออกมาโดยในกาแฟพันธุ์โรบัสต้าจะพบมากกว่า นอกจากนี้ Trigonelline ยังเป็นสารยับยั้งการลุกลามของเซลล์มะเร็ง และเป็นสารกระตุ้นประสาทให้ตื่นตัวช่วยในด้านการจัดจตใจขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้านำ Trigonelline ที่ผ่านการเอาหมู่เมทิลออก (Demethylation) โดยการให้ความร้อนหรือการคั่ว จะผลิตสาร Nicotinic acid ออกมา คือวิตามินบีรวมหรือที่เรารู้จักกันในชื่อ ไนอะซิน (Niacin)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของคาเฟอีน [8]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Trigonelline [8]

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ Nicotinic acid [8]

2.4.2.3 แร่ธาตุ

แร่ธาตุส่วนมากที่พบจะเป็นโพแทสเซียม ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของแร่ธาตุในเมล็ดกาแฟที่ยังไม่ผ่านการคั่ว และยังมีฟอสฟอรัส ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ และธาตุอื่นๆอีกประมาณ 30 ชนิด เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และซิลเฟอร์ นอกจากนี้ยังพบธาตุเหล็กอีกมากมาย ซึ่งทั้งนี้ความแตกต่างของธาตุเหล็กที่พบมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่แตกต่างกันตามสภาพภูมิศาสตร์

2.4.2.4 ลิพิด

ลิพิด หรือไขมันประเภทที่พบหลักๆได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นไขมันธรรมดาพบประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ไขมันอิสระประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ สเตอรอลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และ Tocopherols ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเป็นน้ำมันที่สามารถรับประทานได้ซึ่งจะพบมากอยู่บริเวณที่ผิวชั้นนอกของเมล็ดกาแฟ โดยความสำคัญอยู่ตรงไขมันอิสระซึ่งมีประโยชน์ในเรื่องของการคงรูปของเมล็ดกาแฟให้มีความสดใหม่ ไม่เหม็นหืน โดยไขมันอิสระจะทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และออกซิเดชันของน้ำมันไตรเอซิลกลีเซอรอล หรือไตรกลีเซอรอล

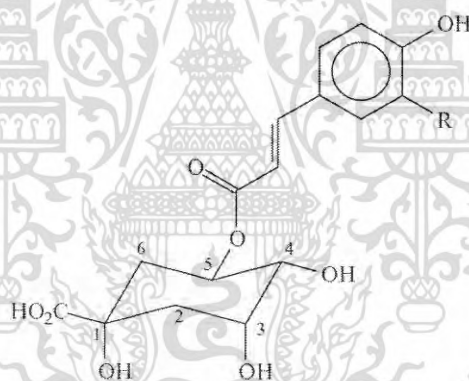
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.5 กรดอินทรีย์และเอสเทอร์

Chlorogenic acid ประกอบด้วยกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกตามการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของ *trans*-cinnamic acids ดังรูปที่ 2.10 กับ Quinic acid ดังรูปที่ 2.11 และแบ่งตามการแทนที่ของ Cinnamic ในการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันตรงตำแหน่งวงไฮโคลเฮกเซนของ Quinic acid โดยส่วนใหญ่จะเกิดการแทนที่ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ตามโครงสร้างดังนี้ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Hydroxycinnamic acids รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ Quinic acid [8]



รูปที่ 2.12 มอนอเอสเทอร์ของ Quinic acid กับ Hydroxycinnamic acids [8]

Chlorogenic acid (CGA) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระประสิทธิภาพสูง (กาแพทัวไปมักสูญเสีย CGA ระหว่างกระบวนการคั่วผ่านความร้อน) ช่วยป้องกันโรคหลอดเลือดตีบในหัวใจ (Coronary heart disease) ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคเบาหวานโดยเข้าไป ยับยั้งการผลิตน้ำตาลในเซลล์ ตับนอกจากนี้ยังพบกรดตัวอื่นๆอีกเช่น Aliphatic, Alicyclic และ Carboxylic ซึ่งกรดเหล่านี้สามารถพบได้ในเมล็ดกาแฟสด และเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วแล้ว

สามารถสรุปสารประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟสด และกาแฟที่ผ่านการคั่ว หรือผ่านการให้ความร้อน เทียบทั้งสองสายพันธุ์ของกาแฟที่กล่าวมาข้างต้น ดังตารางที่ 2.2 และ ตารางที่ 2.3 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดกาแฟสดที่ไม่ได้ผ่านการคั่ว [8]

Component	Concentration ^a (g/100 g)	
	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
<i>Carbohydrates/fiber</i>		
Sucrose	6.0-9.0	0.9-4.0
Reducing sugars	0.1	0.4
Polysaccharides	34-44	48-55
Lignin	3.0	3.0
Pectin	2.0	2.0
<i>Nitrogenous compounds</i>		
Protein/peptides	10.0-11.0	11.0-15.0
Free amino acids	0.5	0.8-1.0
Caffeine	0.9-1.3	1.5-2.5
Trigonelline	0.6-2.0	0.6-0.7
<i>Lipids</i>		
Coffee oil (triglycerides with unsaponifiables, sterols/tocopherols)	15-17.0	7.0-10.0
Diterpenes (free and esterified)	0.5-1.2	0.2-0.8
<i>Minerals</i>		
	3.0-4.2	4.4-4.5
<i>Acids and esters</i>		
Chlorogenic acids	4.1-7.9	6.1-11.3
Aliphatic acids	1.0	1.0
Quinic acid	0.4	0.4

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่ว [8]

Compounds	Concentration ^a (g/100 g)	
	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
<i>Carbohydrates/fiber</i>		
Sucrose	4.2-tr	1.6-tr
Reducing sugars	0.3	0.3
Polysaccharides (arabinogalactan, mannan, and glucon)	31-33	37
Lignin	3.0	3.0
Pectins	2.0	2.0
<i>Nitrogenous compounds</i>		
Protein	7.5-10	7.5-10
Free amino acids	ND	ND
Caffeine	1.1-1.3	2.4-2.5
Trigonelline	1.2-0.2	0.7-0.3
Nicotinic acid	0.016-0.026	0.014-0.025
<i>Lipids</i>		
Coffee oil (triglycerides with unsaponifiables)	17.0	11.0
Diterpene esters	0.9	0.2
<i>Minerals</i>		
	4.5	4.7
<i>Acids and esters</i>		
Chlorogenic acids	1.9-2.5	3.3-3.8
Aliphatic acids	1.6	1.6
Quinic acid	0.8	1.0
<i>Melanoidins</i>		
	25	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สารเติมแต่ง [9]

สารเติมแต่งถือว่ามีมีความสำคัญมากกับการผสมพอลิเมอร์แต่ละชนิด จึงได้มีการพัฒนาให้สารเติมแต่งมีคุณสมบัติที่มีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน และความต้องการของตลาดที่มีมากขึ้น การใช้สารเติมแต่งผสมในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการและกระบวนการขึ้นรูปถ้าพอลิเมอร์ปราศจากสารเติมแต่งเมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูปอาจก่อให้เกิดปัญหา เช่น การเสื่อมสภาพ การเกิดสี ชีงงานติดกับเครื่องจักร การเติมสารเติมแต่งจะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้

สารเติมแต่ง คือ สารที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ในปริมาณที่น้อยกว่าเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการ ซึ่งโดยปกติแล้วสารเติมแต่งจะกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ในทางกายภาพ โดยไม่เปลี่ยนแปลงหรือทำลายสายโครงสร้างที่สำคัญของพอลิเมอร์

2.5.1 ชนิดของสารตัวเติม

2.5.1.1 สารช่วยปรับเปลี่ยนสมบัติเชิงกล (Mechanical properties modifiers) เช่น สารเสริมแรง (Reinforcing agents) สารลดแรงระหว่างผิว (Interfacing agents) สารเพิ่มความเหนียว (Toughening agents) พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) และสารให้ฟอง (Blowing agents) เป็นต้น

2.5.1.2 สารช่วยในกระบวนการผลิตหรือในการแปรรูป (Processing aids) เช่น สารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นต้น

2.5.1.3 สารช่วยปรับเปลี่ยนสมบัติของผิวหน้า (Surface properties modifiers) เช่น Slip additives เป็นต้น

2.5.1.4 สารช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ (Physical properties modifiers) เช่น Blowing agents สารหน่วงไฟ (Flame retardants) และ Particulate fillers เป็นต้น

2.5.1.5 สารช่วยปรับเปลี่ยนสมบัติทางแสง (Optical properties modifiers) เช่น สีย้อม (Dyes) และผงสี (Pigment) เป็นต้น

2.5.1.6 สารช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antiaging additives) เช่น สารฆ่าเชื้อรา (Fungicides) แอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) และยูวีสเตบิไลเซอร์ (UV stabilizers) เป็นต้น

สารตัวเติมแบ่งตามหน้าที่ได้เป็นดังนี้ สารตัวเติม (Fillers) พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) และ Softeners สารหล่อลื่น (Lubricants) และสารช่วยในการไหล (Flow promoters) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antiaging additives) สารหน่วงการติดไฟ (Flame retardants) สารทำให้เกิดสี (Colorants) สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agents) สารทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking agents) สารช่วยให้เกิดการสลายตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV degradable) เป็นต้น

2.5.2 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)

พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์ หรือพลาสติกเพื่อลดจุดหลอมที่ทำให้เกิดการไหล (Flexing temperature) ของพอลิเมอร์ทำให้มีความยืดหยุ่นและอ่อนตัวขึ้น และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนตัวไม่ให้เสียสภาพโดยง่าย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดต่าง โดยพลาสติกไซเซอร์จะไปลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น เป็นผลให้พอลิเมอร์อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายขึ้นแบ่งพลาสติกไซเซอร์เป็น 2 ประเภท คือ

2.5.2.1 พลาสติกไซเซอร์ภายนอก (External plasticizer) เป็นการผสมโดยไม่เอกลสารเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ซึ่งพลาสติกไซเซอร์จะเข้าไปในโครงสร้างของพอลิเมอร์ทำให้เกิดสารเชิงซ้อนที่ไม่วาร์ณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือการจับกลุ่มของโมเลกุล เนื่องจากพลาสติกไซเซอร์ไปจับยึดกับพอลิเมอร์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ทุติยภูมิ (Secondary covalent) ทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้เคียงกันอ่อนลง เกิดโครงสร้างที่อ่อนตัว

2.5.2.2 พลาสติกไซเซอร์ภายใน (Internal plasticizer) เป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสมในการเกิดพอลิเมอร์ (Copolymerization)

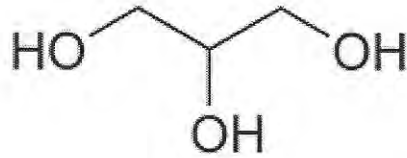
สมบัติของพลาสติกไซเซอร์ที่ดีต้องรวมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ที่ใช้โดยมีแรงระหว่างโมเลกุลของสารทั้งสองคล้ายคลึงกันมีจุดเดือดสูงระเหยยากละลายในตัวทำละลายที่ใช้ได้ตินนอกจากนี้ไม่ควรมีสีกลิ่นรสไม่เป็นพิษและไม่ติดไฟถ้าใช้พลาสติกไซเซอร์ที่มีสมบัติเหมาะสมจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวระหว่างการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งพลาสติกที่ดีจะมีลักษณะทางกายภาพที่ดีสามารถคงทนความยืดหยุ่นตลอดการใช้งานพลาสติกไซเซอร์ที่นำมาใช้กับพลาสติกจากแป้งมีหลายประเภท ได้แก่ มอนอ ได และโอลิโกแซ็กคาไรด์ พอลิออล และลิวพิด หรืออนุพันธ์ของลิวพิดพอลิออล

พอลิออล (Polyols) [10] พอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์เป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลซึ่งหมู่คีโตนหรืออัลดีไฮด์ถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลพอลิออลบางชนิดพบในน้ำผลไม้โดยเฉพาะพวกที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น ซอร์บิทอล หรือสามารถผลิตจากปฏิกิริยาเติมไฮโดรเจนให้กับน้ำตาล (Hydrogenation) พอลิออลมีสมบัติคงทนต่อสารเคมีและความร้อนได้ดีจึงไม่สลายตัวง่ายดูดซับน้ำ และเก็บความชื้นได้ดีละลายน้ำได้มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลเนื่องจากถูกดูดซับน้ำได้ช้ำมากจึงสามารถใช้กับผู้ที่เป็โรคนเบาหวานได้ กลีเซอรอล (Glycerol) หรือกลีเซอริน (Glycerine) เป็นพอลิออลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มีสูตรโครงสร้าง ($C_3H_8O_3$) มีน้ำหนักโมเลกุล 92 เป็นผลพลอยได้จากการผลิตสบู่ และกรดไขมันมีสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืดมีรสหวาน 0.6 เท่า ของน้ำตาลสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำและแอลกอฮอล์ได้ดีมากเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีพอสมควรดูดความชื้นจากอากาศได้ปานกลางโดยสรุปคุณลักษณะเฉพาะของกลีเซอรอล ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะเฉพาะของกลีเซอรอล [11]

- มีสถานะปกติเป็นของเหลวขุ่น ไม่มีสี มีรสหวาน
- สูตรทางเคมี $C_3H_8O_3$
- มวลอะตอม 92.09382 กรัม/โมล
- ความหนาแน่น 1.261 กรัม/ลบ.ซม.
- จุดหลอมเหลว 18 องศาเซลเซียส
- จุดเดือด 290 องศาเซลเซียส
- ความหนืด 1.2 pa-s
- แรงตึงผิว (20 องศาเซลเซียส) 63.4 มิลลินิวตัน/เมตร
- จุดวาบไฟ (ระบบเปิด) 177 องศาเซลเซียส
- จุดติดไฟ 204 องศาเซลเซียส
- ละลายได้ในน้ำ และแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในเบนซีน อีเทอร์ และน้ำมัน
- IUPAC Propane-1,2,3-triol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของกลีเซอรอล [11]

2.6 ตัวประสาน (Compatibilizer agent) [12]

ตัวประสานหรือ สารควบคู่ปฏิกิริยา คือสารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมระหว่างทั้งสองโมเลกุลไว้โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟิลเลอร์และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดีเมื่อพื้นผิวฟิลเลอร์ได้รับการปรับปรุงด้วยตัวประสานหรือสารควบคู่ นั้น การเกิดปฏิกิริยาจะช่วยลดแรงดึงผิวของฟิลเลอร์หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ซึ่งไม่เพียงช่วยให้การผสมเกิดได้ดีขึ้นแต่ในบางกรณีเมื่อเติมตัวประสานเข้าไปแล้วยังสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตอีกด้วยโดยปกติแล้วโครงสร้างของตัวประสานจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

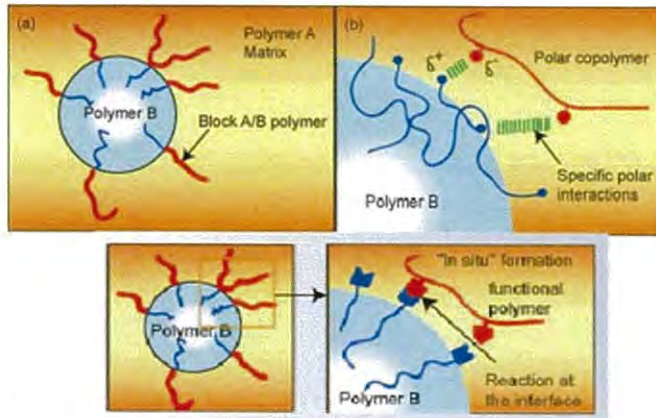
2.6.1 Hydrophilic function (จับกับส่วนที่มีขี้)

2.6.2 Organophilic function (จับกับส่วนที่ไม่มีขี้)

การจับกันของฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์แบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้

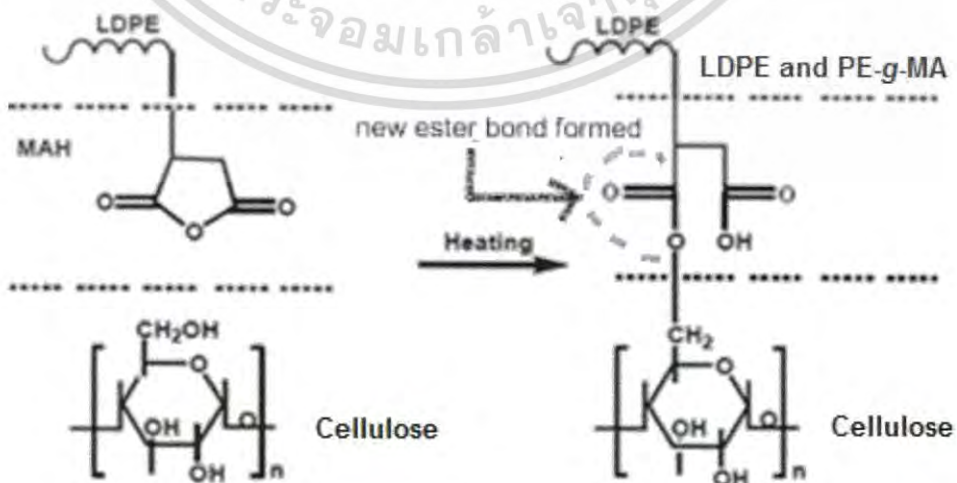
1. Reactive coupling agents เป็นการปรับปรุงพื้นผิวฟิลเลอร์โดยใช้สารที่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมระหว่างสองเฟสซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ และฟิลเลอร์โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารควบคู่ปฏิกิริยาจะประกอบด้วยหมู่ที่ว่องไว เช่น หมู่คาร์บอกซิลิก หรือ หมู่อีพอกซี

2. Non-reactive coupling agents เป็นการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์ และฟิลเลอร์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทำหน้าที่ลดแรงดึงผิวเพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวโดยการสร้างแรงดึงดูดแบบแวนเดอร์วาลส์หรือเกิดพันธะไฮโดรเจนแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ภาพการแสดงการจับกันของตัวประสานกับพอลิเมอร์โดย A) Reactive coupling agents และ B) Non-reactive coupling agents [12]

ตัวประสานที่เลือกใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิเอทิลีน (Maleic anhydride graft polyethylene (PE-g-MA)) เลือกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene grafted with maleic anhydride (LLDPE-g-MA)) มีคุณสมบัติจำเพาะ คือ สามารถใช้กับงานคอมโพสิตได้หลากหลาย เช่น ยึดเกาะกับพวกอะลูมิเนียม แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ในสารประกอบที่ต้องการความสามารถในการทนความร้อน ใช้ในการเสริมแรงกับใยแก้ว ใช้กับงานไม้ ตัวประสานในการทดลองนี้จะช่วยปรับปรุงการยึดเกาะกันระหว่างพอลิเมอร์และผงกากกาแฟที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบเดียวกันกับไม้ ทำให้เกิดการกระจายตัวของผงกากกาแฟในพอลิเมอร์ได้ดีเนื่องจาก Maleic anhydride graft polyethylene ประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยส่วนที่มีขั้วจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของผงกากกาแฟเกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ (Ester linkage) และพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) และส่วนที่ไม่มีขั้วจะเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ แสดงดังรูปที่ 2.15

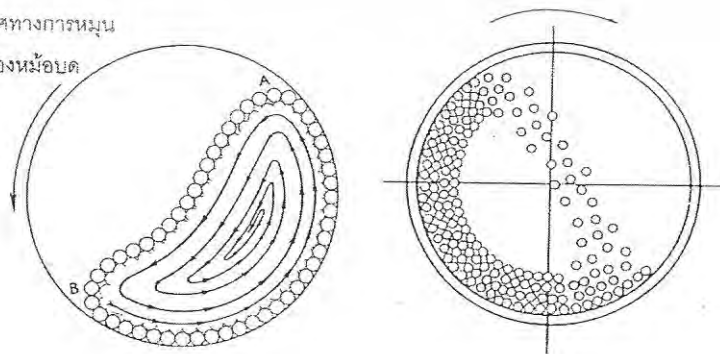


รูปที่ 2.15 กลไกการเกิดพันธะเอสเทอร์และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสารคู่ควบกับเซลลูโลสซึ่งเป็นเอกสารองค์ประกอบหลักในกากกาแฟ [12] งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 กระบวนการลดขนาดอนุภาค [13]

เทคนิคการบดย่อยแบบลูกบอลนี้ต้องอาศัยตัวกลางในการบดหรือเม็ดบอลในการทำให้อนุภาคเล็กลง ซึ่งกระบวนการหลักที่ทำให้อนุภาคแตกได้ คือ การกดอัดการกระแทกและแรงเฉือน (แรงเสียดทาน) ระหว่างเม็ดบดและอนุภาคผงการลดขนาดของอนุภาคจะเป็นไปอย่างรวดเร็วมากในช่วงเริ่มต้นและจะเริ่มช้าลงเรื่อยๆเมื่ออนุภาคเริ่มมีขนาดที่เล็กลงอัตราการบดย่อยจะขึ้นกับขนาดค่าความถ่วงจำเพาะและความแข็งของลูกบดที่สัมผัสกับของอนุภาควัตถุบดที่จะลดขนาดมาๆ นอกจากนี้ขนาดของเม็ดบดก็มีความสำคัญโดยเม็ดบดที่มีขนาดเล็กจะดีกว่าเม็ดบดขนาดใหญ่ เนื่องจากที่ปริมาตรเดียวกันจะได้จำนวนเม็ดบดมากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเม็ดบดก็ไม่ควรจะมีขนาดเล็กจนเกินไป ทั้งนี้อาจจะทำให้เม็ดบดไม่มีแรงมากเพียงพอที่จะทำให้อนุภาคผงแตกได้ ก่อนที่จะทำการหมุนหม้อบดจะต้องมีการใส่วัตถุบดที่ต้องการจะลดขนาดพร้อมกับลูกบอล (Ball) หรือลูกบด (Grinding media) และสารเติมแต่งอื่นๆ เช่น สารเจือหรือสารช่วยหล่อลื่น เป็นต้น ลงไปในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของหม้อบดโดยจะต้องพยายามปรับอัตราส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ในหม้อบดให้ระบบทั้งชุดสามารถเกิดพฤติกรรมกรบดย่อย ลูกบดจะต้องมีการเคลื่อนที่คล้ายกับตัวอักษร D โดยมี การเคลื่อนที่ไล่เลียงกันจากตำแหน่ง B ขึ้นไปจนถึงตำแหน่ง A แล้วตกลงมากระแทกกับวัสดุด้านล่าง แสดงดังรูปที่ 2.16 จากนั้นก็มีการหมุนเบียดเสียดกันและมีการเลื่อนไหลเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไปทำให้อนุภาคของวัตถุบดมีขนาดลดลงเนื่องจากถูกกระแทกด้วยลูกบดถูกขัดสีระหว่างลูกบดและระหว่างลูกบดกับผนังของหม้อบด การบดย่อยด้วยลูกบอลนั้นสามารถกระทำได้ทั้งแบบเปียกและแบบแห้งซึ่งก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน การบดย่อยด้วยลูกบอลแบบแห้งนั้น ไม่ต้องมีขั้นตอนของการแยกลูกบดออกจากของเหลวแต่ต้องคอยระมัดระวังไม่ให้อนุภาคผงไปเกาะอยู่ตามมุมตามร่องของหม้อบดเพราะอนุภาคผงเหล่านี้จะไม่โดนบดย่อยเหมือนกับอนุภาคอื่นๆ วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหานี้ คือ การใช้สารช่วยหล่อลื่นแบบแห้ง (Dry lubricant) ทำให้มีความชื้นลดลงและลดการเกาะกลุ่มก้อนได้เป็นอย่างดี ทำให้มีอัตราการบดย่อยสูงขึ้นและได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กจำนวนมากขึ้นตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการบดย่อยเพื่อลดขนาดอนุภาควัตถุบดด้วยลูกบดจะสามารถทำได้ดีกว่าถ้าอนุภาคของวัตถุบดที่จะลดขนาดอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (การบดย่อยแบบเปียก) นอกจากนี้ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆอีกมากมายที่มีอิทธิพลต่ออัตราการบดย่อย เช่น ความเร็วในการหมุนหม้อบดซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักรวมของชุดบดย่อยที่เลือกใช้ ความหนืดของสารแขวนลอยขณะที่ทำการบดย่อย และลักษณะของลูกบดที่ใช้ เป็นต้น

ทิศทางการหมุน
ของหม้อบด



รูปที่ 2.16 ลักษณะการหมุนของหม้อบดและการเคลื่อนที่ของลูกบด [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 เครื่อง Dry blending

การผสมคือการนำสารต่างๆ มารวมกัน และเกลี่ยให้เข้ากันโดยการให้วัตถุดิบเคลื่อนที่ คลุกเคล้ากันจนได้สภาพการผสมที่ต้องการ วัตถุดิบที่ผสมได้ออกมา เรียกว่า “Dry blend” ในการใช้งานเมื่อจัดเตรียมวัตถุดิบต่างๆพร้อมแล้วจะนำมาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม Dry blend แสดงดังรูปที่ 2.17 ที่มีใบกวนอยู่ในถังผสม ดังรูปที่ 2.18 และหมุนด้วยความเร็วรอบสูงทำให้ของผสมเคลื่อนไหวเหมือนของเหลวด้วยความเร็วของผสมที่กระทบกับผนังของถังจะทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากแรงเสียดสีขึ้นอย่างมาก แสดงดังรูปที่ 2.19 และยังมีช่องใส่ของเหลวเพื่อไปผสมกับสารเริ่มต้นในการผสมต้องให้สารต่างๆ เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด และของผสมที่ได้จะมีลักษณะแห้งร่วนเพื่อให้นำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป

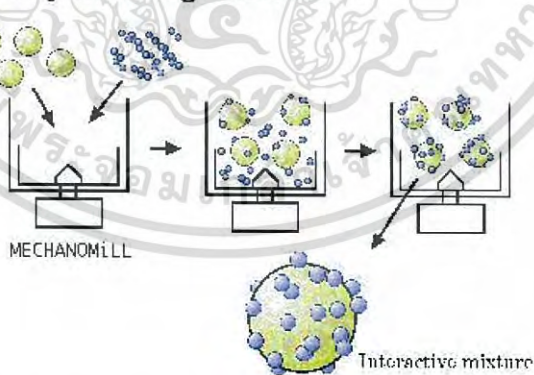


รูปที่ 2.17 เครื่อง Dry blend



รูปที่ 2.18 ใบพัดกวนในถังผสม

Dry blending method



รูปที่ 2.19 กระบวนการผสมโดยหมุนด้วยความเร็วรอบสูง

2.9 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) [14]

เครื่องผสมแบบปิด หรือเครื่องผสมภายใน (Internal mixer) เป็นเครื่องสำหรับใช้ในการผสมยางหรือพลาสติกเข้ากับสารเคมี และสารตัวเติมต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกัน เครื่องผสมประกอบด้วยโรเตอร์ (Rotor) จำนวนสองชุดบรรจุอยู่ในห้องผสม ซึ่งโรเตอร์ทั้งสองหมุนสวนทางกัน โดยมีความจุภายในห้องผสม 500 มิลลิลิตร ในการทำงานผสมยังสามารถปรับความเร็วรอบของโรเตอร์ และอุณหภูมิของห้องผสมได้ในช่วงที่กว้างเพื่อให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท การหมุนของโรเตอร์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในห้องผสมทำให้เกิดแรงเฉือนภายในห้องผสมสูงมากจึงทำให้การกระจายตัวของสารเติมแต่งในพลาสติกเกิดขึ้นได้ดีทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี ข้อดีของเครื่องผสมแบบปิด คือ ใช้เวลาในการผสมสั้น ผู้ปฏิบัติไม่จำเป็นต้องมีทักษะสูง ไม่มีการสูญเสียวัสดุหรือเกิดการปนเปื้อนเนื่องจากการผสมทำในระบบปิด ขนาดและความสม่ำเสมอของการผสมในแต่ละครั้งค่อนข้างแน่นอน สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมแบบปิด คือ ไม่สามารถมองเห็นการผสมได้ และการทำความสะอาดห้องผสมทำได้ยาก เครื่องผสมแบบปิดเหมาะสำหรับการใช้งานหลายประเภท ได้แก่

- การผสมพอลิเมอร์ และ / หรือยางคอมปาวด์
- การผสมพอลิเมอร์ และ / หรือยางคอมโพสิต
- การผสมพอลิเมอร์ และ / หรือยางหลายชนิดเข้าด้วยกัน

2.10 การบดย่อย [15]

การบดย่อย หมายถึง การลดขนาดของพลาสติกแข็งโดยวิธีทางกลเพื่อให้พลาสติกมีขนาด และรูปร่างเหมาะสมซึ่งสามารถนำไปขึ้นรูปต่อได้ในการบดย่อยจะทำให้ได้พลาสติกที่มีขนาดเล็กแตกต่างกันตามความต้องการ เหตุผลที่จำเป็นต้องบดย่อยพลาสติกมีหลายอย่าง เช่น เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสเมื่อทำการผสม ทำให้อบแห้งได้ดี ป้อนเข้าเครื่องจักรแปรรูปได้อย่างสม่ำเสมอ หลอมละลายได้เร็ว เป็นต้น เครื่องบดย่อยมีหลายชนิดซึ่งสร้างไว้ให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก เช่น เครื่องรีย่อย โม่ตี โม่กวน โม่ตัด โม่แท่งตี และโม่รีด เป็นต้น ลักษณะการทำงานของเครื่องบดย่อยต่างๆแตกต่างกัน เช่น เครื่องรีย่อย ใช้แรงตัด เครื่องโม่ตัด ใช้การตัดเฉือน และเครื่องโม่แท่ง ใช้การตีให้กระจาย และการเสียดสี

เครื่องโม่ตัดเป็นเครื่องย่อยที่มีใช้มากในการย่อยพลาสติกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย่อยเศษพลาสติกหรือชิ้นงานที่เสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องโม่ตัด ประกอบด้วย เรือนเหล็กหล่อที่มั่นคง มีคมตัดติดอยู่กับเรือน 4 คม ตอนล่างจะมีตะแกรงประกอบอยู่ วัสดุที่จะตัดถูกส่งเข้าทางปล่องด้านบน ตรงกลางจะมีเพลาลูกเบี้ยวที่มีคมตัดติดอยู่ 3 เล่ม เศษพลาสติกที่ใส่ลงไปจะถูกมีดหมุนจับ และนำไปตัดกับมีดซึ่งติดอยู่กับเรือนเครื่องโดยเครื่องจะทำงานช้าๆไปจนกว่าพลาสติกจะละเอียดพอที่จะลอดตะแกรงได้

2.11 กระบวนการอัดรีด (Extrusion processes) [15] [16]

การอัดรีดเป็นกระบวนการแปรรูปหลักของอุตสาหกรรมพลาสติกชนิดหนึ่งโดยทั่วไปจะนิยามกระบวนการแปรรูปชนิดนี้ว่าการทำให้วัสดุมีรูปร่างตามที่ต้องการโดยการอัดพลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดายที่มีรูปร่างที่เหมาะสม การแปรรูปพลาสติกโดยการอัดรีดจัดเป็นกระบวนการแปรรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous process) และผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่ก็จะเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (Semi-finished product) ที่จะต้องนำไปเข้ากระบวนการชนิดอื่นต่อเพื่อผลิตเป็นชิ้นงานสุดท้าย (Finished product) ก่อนจะนำไปใช้งาน การอัดรีดเทอร์โมพลาสติกทำโดยการให้พลาสติกผง (Powder) หรือเม็ด (Pellets) หลอมเป็นเนื้อเดียวแล้วผลักดัน โดยการหมุนของสกรูให้พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวดายที่มีรูปร่างตามลักษณะชิ้นงานที่ต้องการผลิต พลาสติกหลอมจะแข็งตัวเมื่อออกจากดายเนื่องจากการหล่อเย็น ในการอัดรีดสามารถใช้การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบต่างๆ เช่น ผลิตเส้นใย (Fiber) ท่อขนาดเล็ก (Tube) ท่อขนาดกลาง และท่อขนาดใหญ่ (Pipe) แผ่นพลาสติก (Sheet) ฟิล์มพลาสติก (Film) และชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นโพรไฟล์ (Profile) รูปแบบ

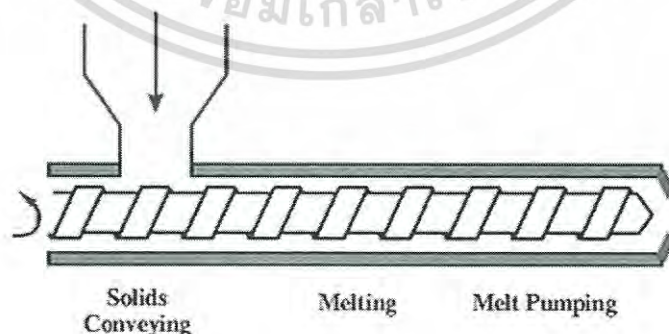
ต่างๆ และยังใช้เครื่องอัดรีดเป็นอุปกรณ์หลักในเครื่องแปรรูปพลาสติกในชนิดต่างๆ เช่น การเคลือบพลาสติกลงบนชิ้นวัสดุชนิดอื่น (Extrusion covering process) การเอ็กซ์ทรูดเป่า (Extrusion blow molding) และการเป่าฟิล์ม (Extrusion blow film process) เป็นต้น นอกจากนี้เครื่องเตรียมคอมพาวด์พลาสติกโดยการผสมพลาสติกกับสารเติมแต่ง (Additives) และสารตัวเติมชนิดต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเป็นการเตรียมวัสดุสำหรับการแปรรูปโดยเทคนิคต่างๆ

เครื่องอัดรีดแบบสกรูที่มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง และเครื่องอัดรีดที่มีการเคลื่อนที่ของสกรูในแนวแกนเป็นเครื่องอัดรีดที่ใช้ในกระบวนการผลิต และแปรรูปพลาสติกมากที่สุด รายละเอียดของเครื่องอัดรีดที่มีการเคลื่อนที่ของสกรูในแนวแกนของสกรูจะอธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องอัดรีดที่ใช้มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง ซึ่งแบ่งเครื่องอัดรีดออกเป็น 3 ชนิดตามจำนวนสกรูที่อยู่ในกระบอก (Barrel) ของเครื่องดังนี้ คือ เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) และเครื่องอัดรีดแบบหลายสกรู (Multi screw extruder) ในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์ และการแปรรูปพลาสติกมักจะใช้เครื่องอัดรีดสองชนิดแรก คือ เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว และสกรูคู่มากที่สุด ส่วนเครื่องอัดรีดชนิดที่ 3 ใช้สกรูจำนวนมากกว่ามีการใช้กันน้อย

2.11.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)

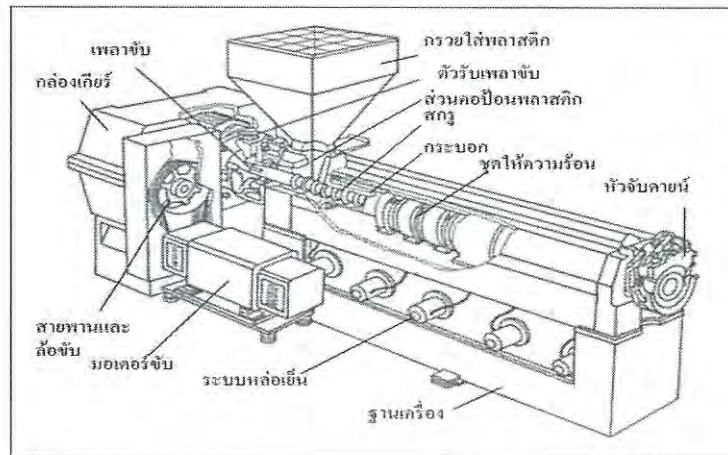
สกรูของเครื่องอัดรีดเป็นสกรูแบบอาคิมีเดีย (Archimedean screw) ซึ่งเป็นสกรูที่ใช้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติกมีเส้นผ่านศูนย์กลางจะอยู่ในช่วง 25-200 มิลลิเมตร มีความยาวเป็น 20-40 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลาง และใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนในช่วง 5 ถึง 500 กิโลวัตต์ หน้าที่หลักของสกรูสรุปได้ดังนี้

- รับเม็ดหรือผงพลาสติกจากรวดยเติมพลาสติกเข้ามาในกระบอก
- ผสมส่วนผสมต่างๆ หรือพลาสติกสารตัวเติม และสีเข้าด้วยกัน
- ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียว
- ช่วยเพิ่มความดันของพลาสติกหลอมเพื่อเอาชนะแรงต้านทำให้สามารถส่งพลาสติกหลอมไปยังส่วนอื่นๆ ของสกรูและหัวตายได้
- ทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกหลอมเข้าสู่ตาย



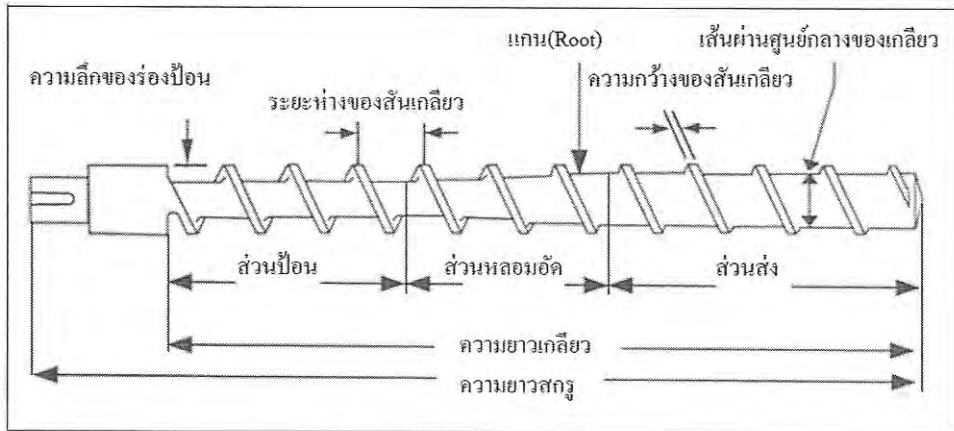
รูปที่ 2.20 ภาพตัดขวางของเครื่องอัดรีดแบบสกรู [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



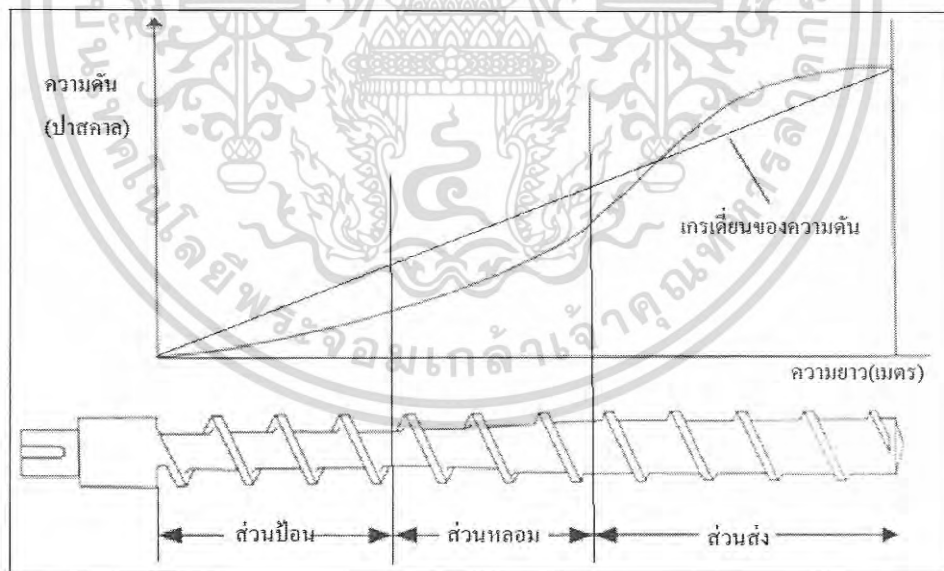
รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว [16]

เพื่อทำหน้าที่ดังกล่าวข้างต้นสกรูของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวมักจะมีส่วนต่างๆ แยกออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนป้อนเต็ม (Feed หรือ Solid conveying section) ส่วนหลอมอัด (Compression หรือ Transition หรือ Plasticating zone) ส่วนส่งพลาสติกหลอม (Metering หรือ Melt pumping section) ภาพตัดขวางของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว แสดงดังรูปที่ 2.18 และ ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว แสดงดังรูปที่ 2.19 ส่วนป้อนของสกรูเป็นส่วนที่มีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเกลียวในช่วงแรกซึ่งมีระยะสั้นๆ มีหน้าที่หลัก คือ การดึงเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกลงในกระบอกเริ่มให้ความร้อนแก่พลาสติก และทำให้เกิดการผสมของพลาสติกกับวัสดุชนิดต่างๆ เช่น สารตัวเติมและสี นอกจากนี้ส่วนป้อนยังทำหน้าที่ ในการส่งพลาสติกไปยังส่วนต่อไปของสกรู การออกแบบสกรูในส่วนนี้มีความสำคัญ กล่าวคือ ต้องออกแบบให้ความลึกและความยาวของร่องของสกรูในส่วนนี้บรรจุพลาสติกได้มากพอที่จะป้อนเข้าสู่ส่วนต่อไป คือ ส่วนหลอมอัดลักษณะของสกรูในส่วนหลอมอัด ความลึกของร่องเกลียวจะค่อยๆ ลดลงเพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอมและทำให้ความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลงจึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกสูบได้ดีขึ้นความร้อนและแรงเสียดทานเนื่องจากการหมุนของสกรูในช่วงนี้จะสูงมากทำให้พลาสติกหลอมผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนสุดท้ายของสกรู คือ ส่วนส่งพลาสติกหลอม ลักษณะของสกรูจะมีความลึกของร่องเกลียวคงที่แต่มีความลึกน้อยกว่าส่วนป้อน แสดงดังรูปที่ 2.20 พลาสติกหลอมในส่วนนี้จะมีความดันเพิ่มขึ้นและมีความเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์และเสถียรอยู่ภายใต้ความดันที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน การทำงานพื้นฐานของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว มีลักษณะตรงไปตรงมา กล่าวคือ วัสดุเข้ามาทางอุปกรณ์ป้อนวัสดุโดยอาศัยหลักแรงโน้มถ่วงไหลลงมายังส่วนกระบอกสกรูและเข้าสู่ห้องหลอมเหลวต่อไป



รูปที่ 2.22 ลักษณะของสกรู [16]

ความดันที่เกิดขึ้นในขณะที่สกรูหมุนมีความสำคัญต่อการส่งพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกไปยังหัวดายมาก ลักษณะการเพิ่มของความดันของพลาสติกที่ส่วนต่างๆของสกรูแสดงดังรูปที่ 2.21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความดันจะเพิ่มขึ้นจากส่วนป้อนและมีค่าสูงสุดที่ส่วนปลายของสกรูถ้าเป็นสกรูที่มีส่วนส่งสั้นอาจเกิดความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีลักษณะเป็นพีคที่บริเวณปลายสกรูดังนั้นจึงต้องกำหนดความยาวของสกรูในส่วนต่างๆให้เหมาะสมซึ่งมักจะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกที่ทำการเอ็กซ์ทรูด

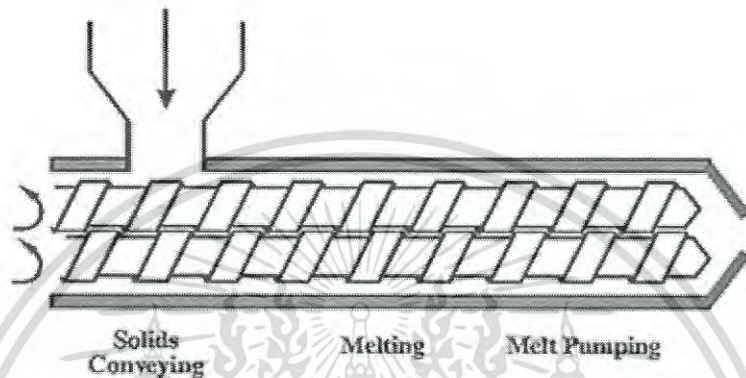


รูปที่ 2.23 ความดันในส่วนต่างๆของสกรู [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่มักมีประสิทธิภาพการผสมสูงกว่าเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ทั้งนี้เนื่องจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรูคู่สูงกว่า แสดงดังรูปที่ 2.22 โดยลักษณะการหมุนของสกรูคู่มีสองแบบ ได้แก่ การหมุนในทิศทางเดียวกัน (Co-rotating screw) และการหมุนสวนทางกัน (Counter-rotating screw) โดยในการทำคอมปาวด์พลาสติกมักใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีลักษณะการหมุนของสกรูคู่แบบหมุนในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 2.24 ภาพตัดขวางของเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin screw extruder) [15]

- เกลียวหนอนคู่หมุนทางเดียวกัน (Co-rotating twin screw extruder) ทุกๆรอบของการหมุนของเกลียวหนอนคู่แบบหมุนไปทางเดียวกัน จะส่งพลาสติกเหลวจากร่องของเกลียวหนอนตัวหนึ่งไปยังร่องของเกลียวหนอนอีกตัวหนึ่ง ซึ่งกลไกในการส่งพลาสติกและแรงลากจูง (Drag force) จะเทียบได้กับเกลียวหนอนเดี่ยว แต่มีการเฉือน (Shear element) กับส่วนที่ทำหน้าที่นวดผสม (Kneading element) จะอยู่ด้วยกัน เกลียวหนอนคู่แบบนี้จึงนิยมนำมาใช้ในงานทำเม็ดผสม (Compounding)
- เกลียวหนอนคู่หมุนสวนทางกัน (Counter-rotating twin screw extruder) กลไกการทำงานจะต่างกับเกลียวหนอนคู่แบบหมุนทางเดียวกัน คือ สกรูแต่ละส่วนจะปรับสภาพเป็นห้องปิด (Closed chamber) ทำหน้าที่ ลำเลียงพลาสติกจากกรวยเติม (Hopper) ไปยังปลายเกลียวโดยไม่มี การส่งผ่านให้กับห้องใกล้เคียง โดยหลักการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้แรงลากจูง (Drag force) ซึ่งมีผลทำให้ การเฉือนต่ำและความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเฉือนน้อย

2.12 การเป่าขึ้นรูปฟิล์ม

เครื่อง Blow film extrusion จะมีส่วนประกอบและหลักการทำงานดังต่อไปนี้ และแสดงดังรูปที่ 2.23

ส่วนประกอบของเครื่อง ได้แก่

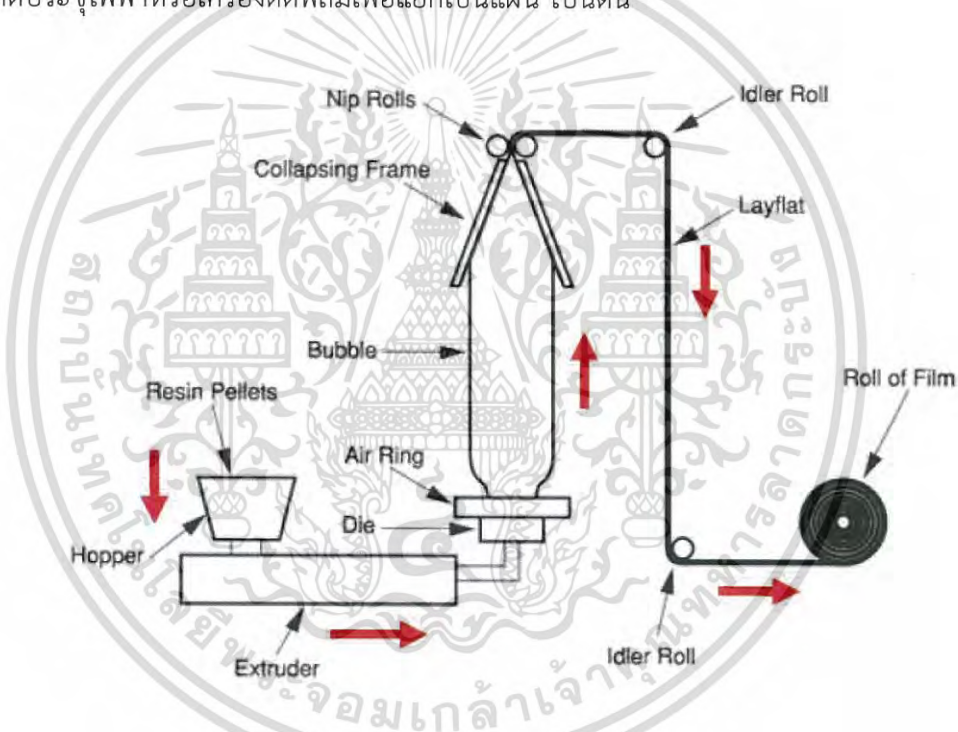
1. เครื่องหลอม (Extruder)
2. แม่แบบ (Die)
3. วงแหวนหล่อเย็น (Cooling ring)
4. แผ่นนำถุงเข้าสู่ลูกรีด
5. ลูกกลิ้งรีด (Nip roll)
6. ลูกกลิ้งม้วน

หลักการทำงานของเครื่อง Blow film extrusion

1. เครื่องหลอม (Extruder) ทำหน้าที่ ป้อน และผสมเม็ดพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เกลียวตัวหนอนทำหน้าที่หมุนอัดพลาสติกให้เคลื่อนที่ไปตามเรือนเกลียวหนอน
2. แม่แบบ (Die) ทำหน้าที่ เป็นแม่แบบให้พลาสติกที่หลอมเหลวเกิดรูปร่างเป็นท่อพลาสติกบางในการเป่าถุงพลาสติก
3. วงแหวนหล่อเย็น (Cooling ring) ทำหน้าที่ หล่อเย็นท่อพลาสติกบางให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วพลาสติกเหลวที่ออกมาจากหัวเป่าจะต้องทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากความคงรูปของพลาสติกเองมีน้อย ในการหล่อเย็นนั้นสามารถทำได้โดยใช้ลม น้ำ หรือทั้งลม และน้ำ ในการหล่อเย็นก็ได้ ลมหล่อเย็นจะเป่าออกมาจากเครื่องเป่าลม (Blower) ขนาดความดันปานกลาง และความดันสูง โดยการแบ่งจ่ายตามสายท่อเข้าสู่วงแหวนหล่อเย็นที่อยู่รอบหัวเป่า วงแหวนหล่อเย็นทำหน้าที่จ่ายลมให้ออกมาอย่างสม่ำเสมอ วงแหวนนี้ส่วนใหญ่เป็นอลูมิเนียมหล่อหรือโลหะแผ่น
4. แผ่นนำถุงเข้าสู่ลูกรีด ทำหน้าที่ ครอบถุงที่เป่าให้ค่อยๆรีดตัวเข้าสู่ลูกกลิ้งรีด
5. ลูกกลิ้งรีด (Nip Roll) ทำหน้าที่ รีดท่อพลาสติกบางให้แบนโดยท่อพลาสติกบางที่พองตัวในอากาศจะถูกบีบให้ลู่เข้าหากันด้วยแผ่นนำถุงเข้าสู่ลูกรีด และถูกรีดให้แบนด้วยลูกกลิ้งรีดอีกครั้งเพื่อส่งแผ่นถุงพลาสติกเข้าสู่ลูกกลิ้งม้วน
6. ลูกกลิ้งม้วน ทำหน้าที่ม้วน และดึงพลาสติกบางเข้าเก็บด้วยความเร็วคงที่หลังจากพลาสติกบางถูกบีบให้แบนแล้วนำพลาสติกบางผ่านลูกกลิ้ง นำย่อนลงมาเพื่อม้วนแผ่นพลาสติก

กระบวนการเป่าฟิล์มโดยสรุป

1. เริ่มจากการนำเม็ดพลาสติกมาอัดหลอมอย่างต่อเนื่องจนได้เป็นพลาสติกเหลวหนืดซึ่งจะถูกเอ็กทรูดผ่านดายทรงกลม
2. เป่าลมเข้าทางศูนย์กลางดาย แรงดันลมจะทำให้พลาสติกเหลวพองออกลักษณะเป็นลูกโป่ง ฟิล์มควบคุมให้ปริมาณลมเข้าเท่ากับปริมาณลมออก เพื่อให้แรงดันลมคงที่ซึ่งจะทำให้ความหนาฟิล์มมีความสม่ำเสมอ
3. โป่งฟิล์มถูกดึงออกจากดายอย่างต่อเนื่อง และถูกทำให้เย็นตัวลงโดยลมจาก Air ring นอกจากนี้ด้านในโป่งฟิล์มสามารถทำให้เย็นลงได้โดยการใช้ Internal bubble cooling
4. หลังจากฟิล์มแข็งตัวดีแล้วซึ่งเป็นจุดที่เกิดเส้นแข็งตัวฟิล์มจะถูกดึง และหนีบเป็นแผ่นโดย Nip rollers แล้วแผ่นฟิล์มก็จะถูก Puller rolls ดึงฟิล์มให้ตึง และส่งเก็บเข้าม้วนที่ Windup โดยที่ระหว่าง Nip rollers และ Windup rollers อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม เช่น เครื่องระเบิดผิวฟิล์ม เครื่องตัดประจุไฟฟ้าหรือเครื่องตัดฟิล์มเพื่อแยกเป็นแผ่น เป็นต้น



รูปที่ 2.25 กระบวนการเป่าฟิล์ม [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จารีนุช [1] งานวิจัยนี้ได้นำสไตรีน อะคริโคโนไตรลโคพอลิเมอร์ (SAN) ที่ได้มาจากการผลิตที่มีสมบัติไม่เป็นไปตามเกรดที่ขายทางการค้าโดยนำมาผสมกับยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มสมบัติการรับแรงกระแทก และลดปัญหาเรื่องสีและสิ่งปนเปื้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ในกระบวนการผสมจึงมีการนำสารว่องไวปฏิกิริยามาช่วยเพิ่มความเข้ากัน ผลของสมบัติเชิงกลพบว่า พอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ร่วมกับ MA มีค่า เอลงชันต์ Elongation at break สูงที่สุด แต่ใน Tensile strength ที่ต่ำกว่าการใช้ SMA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยาเพียงอย่างเดียว

ชวนชม [2] ศึกษาการดัดแปรโมเลกุลแบ่งโดยทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างแบ่ง และออกตะโนคลอไรด์ ได้เป็นแบ่งออกตะโนเอต เพื่อช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างแบ่ง และพอลิเอทิลีนสำหรับนำไปพัฒนาเป็นพลาสติกคลุมโรงเรือนที่มีสมบัติย่อยสลายได้ โดยสมบัติเชิงกลทั้งค่าความต้านทานแรงดึง และค่าการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแบ่งดัดแปรเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากแบ่งดัดแปรซึ่งมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของแบ่งที่ลดลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ส่งผลให้แบ่งมีความเป็นไฮโดรโฟบิกเพิ่มขึ้น และสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเอทิลีนได้ดีขึ้น และการผสมแบ่งดัดแปรในพอลิเอทิลีน ส่งผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านฟิล์มพอลิเมอร์ผสมลดลง

นางสาวจรรุพัชร์ พิชัยอุตทกฤษฎ์ และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกาแพในเรื่องของลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นกาแพรวมถึง การเพาะปลูก การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ สายพันธุ์กาแพที่มีหลากหลายชนิด รวมไปถึงทางด้านเศรษฐกิจการตลาดของกาแพที่คนนิยมบริโภค สรรพคุณและโทษของกาแพ

Adriana Farah [8] วิจัยเกี่ยวกับสารประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในเมล็ดกาแพ และบอกถึงโครงสร้าง การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารที่อยู่ในเมล็ดกาแพที่สามารถระเหยได้เมื่อผ่านความร้อนทำให้เกิดเป็นรสชาติของกาแพขึ้นมา และค้นพบสารที่ไม่สามารถระเหยได้พร้อมกับแร่ธาตุที่มีอยู่ในกาแพ ซึ่งมาจากดินที่ใช้ในการปลูกต้นกาแพ ศึกษาประโยชน์และโทษของสารประกอบในเมล็ดกาแพ เมื่อนำมาบริโภคเข้าสู่ร่างกาย ทั้งในเมล็ดกาแพสด และเมล็ดกาแพที่ผ่านการคั่วแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้สายพันธุ์กาแพสองชนิดหลักๆ คือ พันธุ์อาราบิก้า และพันธุ์โรบัสต้า

Magdy Y. [12] งานวิจัยเกี่ยวกับการนำ PE-g-MA มาใช้เป็นตัวประสานเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติในการเข้ากันในงานผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับผงไม้ซึ่งมีส่วนประกอบของลิกโนเซลลูโลสที่แบ่งได้เป็นลิกนิน และเซลลูโลส ในการขึ้นรูปแบบหล่อ พบว่าเมื่อปริมาณผงไม้มากขึ้นความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์กับผงไม้นั้นลดลง เนื่องมาจากความมีขั้วที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการใส่ตัวประสานเข้าไปเพื่อช่วยในความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม เมื่อเพิ่มปริมาณตัวประสานมากขึ้นความเข้ากันได้ของผงไม้กับพอลิเมอร์นั้นมากขึ้น พบว่าที่ปริมาณตัวประสาน 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการขึ้นงานครั้งนี้ เนื่องจากส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึงจะลดลงเมื่อปริมาณผงไม้เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชลธิชา และคณะ [21] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟคั่วบดได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของกากกาแฟคั่วบด เช่น การดูพื้นผิวของกากกาแฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าพื้นผิวการแฟมีรูพรุนมาก และมีความขรุขระ การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่พบมากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักหลังจากการนำไปอบให้ความร้อน และสมบัติการสลายตัวทางความร้อน (TGA) พบว่าที่อุณหภูมิ 0-200 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นจะระเหยออกมาก่อนประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 250-540 องศาเซลเซียส พบว่าเป็นสารที่สามารถระเหยได้จำพวก Furan, Pyrroles และ Pyridine เป็นต้น ประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์

Hansaem และคณะ [24] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเอากากกาแฟมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกใหม่ในการผลิตไฟฟ้า โดยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ ซึ่งพบว่ากากกาแฟมีส่วนประกอบของธาตุ คาร์บอนประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจนประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซัลเฟอร์ประมาณ 0.08 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจนประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ นำกากกาแฟไปผ่านการคาร์บอนไนซ์เซชันเพื่อให้มีปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการเทียบกากกาแฟที่ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันว่ามีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันอย่างไรกับ การใช้คาร์บอนแบล็คที่มีปริมาณคาร์บอนถึง 94 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากากกาแฟสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าได้เพื่อลดปัญหาขยะสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานสะอาดที่มาจากธรรมชาติ แต่ยังคงติดปัจจัยอีกหลายๆ ด้าน การใช้คาร์บอนแบล็คจึงถือว่าดีกว่า จึงทำให้ต้องมีการพัฒนาและคาดว่าจะได้รับการนิยมเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

นนทวิช และคณะ [25] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย ซึ่งได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟดิบตรวจสอบวิเคราะห์ที่สามารถระเหยได้ด้วยเครื่อง Gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) และวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) ได้ค้นพบสารประกอบในกาแฟว่ามีมากมายหลายชนิด เช่น สารที่สามารถระเหยได้ กรดที่ไม่สามารถระเหยได้ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต น้ำมัน เป็นต้น ซึ่งชนิดของสารระเหยมีผลต่อรสชาติ กลิ่น และการเกิดสีของกาแฟคั่วบด

Isotton และคณะ [26] ศึกษาชนิดของพลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลกระทบต่อการเตรียม และสมบัติของฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวโพด โดยฟิล์มที่ใส่พลาสติกไซเซออร์ชนิดต่างกันจะทำให้ฟิล์มที่ได้มีสมบัติต่างกัน โดยการใส่กลีเซอรอลจะทำให้สมบัติความแข็งแรงดึงต่ำกว่า การใส่ซอร์บิทอล และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แต่มีสมบัติการดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่า การใส่ซอร์บิทอล และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ฟิล์มที่ใส่ 20 เปอร์เซ็นต์กลีเซอรอล มีความนุ่มสัมผัสมากกว่า ฟิล์มที่ใส่ 20 เปอร์เซ็นต์ ซอร์บิทอล และ 20 เปอร์เซ็นต์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I. Krupa และคณะ [27] ศึกษาสมบัติเชิงกลของของผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นและน้ำมันพาราฟิน พบว่าเมื่อใส่ Wax มากขึ้นจะทำให้อัตราการใช้โพลีเมอร์เพิ่มขึ้น และทำให้ Young's modulus เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการใส่ Wax มากขึ้นจะทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม Stress และ Elongation at break ลดลง

D. Bikiaris และคณะ [28] ศึกษาของผสมที่ประกอบไปด้วย พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและแข็ง มี PE-g-MA เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) พบว่าเมื่อใส่ Compatibilizer จะทำให้ Tensile strength และ Elongation มากขึ้น แต่เมื่อใส่แข็งมากขึ้นจะทำให้ Tensile strength และ Elongation ลดลง และเมื่อใส่แข็งมากขึ้นจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น หรือน้ำหนักที่หายไปมากขึ้น

ณัฐกานต์ และคณะ [29] ศึกษาสารระเหยในควันที่ผลิตจากกากกาแฟสด โดยนำกากกาแฟพันธุ์โรบัสต้า และอะราบิก้ามาให้ความร้อนโดยจำกัดออกซิเจนทำให้เกิดควันที่อุณหภูมิ 200, 250 และ 300 องศาเซลเซียส และดักจับควัน โดยใช้สารโพรพิลีนไกลคอลได้ควันเหลว พบว่ามีองค์ประกอบได้แก่ กลุ่มสารประกอบฟีนอลิก คาร์บอนิล ฟูแรน และโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เมื่ออุณหภูมิในการผลิตควันเพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 300 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความเป็นกรดเบสของควันเหลวลดลง ค่าสีเข้มขึ้น และสารระเหยในควันเพิ่มขึ้น และพบว่าสารระเหยในควันจากกากกาแฟสดพันธุ์โรบัสต้ามีสารประกอบที่ให้กลิ่นควันมากกว่าพันธุ์อะราบิก้า และควันที่ได้จากกากกาแฟโรบัสต้ามีสารประกอบฟีนอลิกที่เข้มกว่าอะราบิก้า ซึ่งแสดงว่าควันจากกากกาแฟพันธุ์โรบัสต่าน่าจะมีกลิ่นควันที่แรงกว่า ส่วนควันที่ได้จากกากกาแฟพันธุ์อะราบิก้ามีแนวโน้มที่ให้กลิ่นที่หอมหวานกว่า และมีกลิ่นควันที่นุ่มนวลกว่าควันจากโรบัสต้าเนื่องจากพันธุ์อะราบิก้ามีจำนวนชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบฟูแรนมากกว่า

R. Balart และคณะ [30] ได้ทำกรีนคอมโพสิตโดยใช้พอลิโพรพิลีนผสมกับกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้ทำเป็นไม้เทียมโดยการฉีดขึ้นรูป โดยใช้ Palmitoyl chloride และ Trimethoxysilane เป็นสารเคลือบกากกาแฟให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ และใช้ PP-g-MA ทำหน้าที่เป็น Compatibilizer และผลการทดสอบพบว่าเมื่อใส่ PP-g-MA จะทำให้สมบัติเชิงกลของไม้เทียมที่ดีที่สุด และการเคลือบกากกาแฟด้วย Palmitoyl chloride และ Trimethoxysilane สามารถลดการดูดซึมน้ำของไม้เทียมได้มากกว่าไม้เคลือบ ซึ่ง Palmitoyl chloride สามารถลดการดูดซึมน้ำของไม้เทียมได้ดีที่สุด

Heartwin และคณะ [31] ศึกษาปริมาณการใส่กลีเซอรอลและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ส่งผลต่อสมบัติของฟิล์มที่ทำจากแป้งข้าวโพด โดยมีการใส่กลีเซอรอล 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ 35 เปอร์เซ็นต์ ให้ฟิล์มที่มีลักษณะเรียบกว่าที่ 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใส่กลีเซอรอลมากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงดึงและมอดูลัส ลดลง และนอกจากนี้ยังมีการศึกษาระหว่างแป้ง LDPE และกลีเซอรอลที่มีการผสม และไม่มีการผสม พบว่า แป้ง LDPE และกลีเซอรอลที่มีการผสมจะให้สมบัติ ความแข็งแรงดึงและมอดูลัส สูงกว่า แป้ง LDPE และกลีเซอรอลที่ไม่มีการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กากกาแฟ จาก บริษัท เขาช่องอุตสาหกรรม 1979 จำกัด
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene : LDPE) เกรดการค้า InnoPlus LD2426K: PTT Global Chemical
3. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low-density polyethylene : LLDPE) เกรดการค้า EL-Lene L2009F: SCG Plastics Co., Ltd.
4. กลีเซอรอล (glycerol) เกรดการค้า บริษัท CARLO ERBA REAGENT GROUP
5. PE-g-MA (Linear low-density polyethylene graft maleic anhydride) เกรดการค้า บริษัท POLYMER ASIA TECHNOLOGY PRODUCING & TRADING CO., LTD

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องเป่าฟิล์ม LDPE (Blown film LDPE) รุ่น Type LF 400 : LAB TECH Engineering company, LTD.
2. เครื่องผสมพอลิเมอร์ระบบปิด (Internal mixer) รุ่น MX500-D75L90: CHAREON TUT CO., LTD.
3. เครื่องบดเม็ดพอลิเมอร์ (Grinder) รุ่น BS 4999 & 5000 : Teco ELEC. MACH. PTE. LTD.
4. เครื่องบดละเอียด (Ball mill)
5. Sieve No.100
6. เครื่องชั่ง (Electronic balance) รุ่น ML204/01 : Behn Meyer (T) Co.,Ltd.,
7. ตู้อบ (Oven) : S.N.P. Scientific Co.,Ltd.
8. ช้อนตักสาร (Spatula)
9. ถุงซีปล็อก ชนิด LDPE (Ziplock)
10. โกร่งบดสาร (Pestle & Mortar)
11. เครื่องแก้ว
 - บีกเกอร์ ขนาด 500 มิลลิลิตร (Beaker 500 ml)
 - บีกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร (Beaker 1,000 ml)
 - กรวยกรองแก้ว (Glass funnel)
12. ถาดอลูมิเนียม (Aluminum tray)
13. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น LR5K: Llyod Instrument Ltd.
14. เครื่องไมโครมิเตอร์ (Micrometer)
15. เครื่องผสมแบบให้ความร้อน (Dry blend) รุ่น LMX10DC No.0023 : LAB TECH Engineering company, LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากกาแฟ

1. นำกากกาแฟที่แห้งที่ได้มาจากร้านกาแฟมาชั่งน้ำหนักแล้วอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้กากกาแฟแห้ง
2. นำกากกาแฟหลังอบไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสูตร

ตอนที่ 2 ลดขนาดกากกาแฟและผสมกลีเซอรอล

1. นำกากกาแฟมาใส่ลงใน Ball mill จากนั้นใส่น้ำลงไป แล้วทำการปิดปากหม้อแล้วนำไปวางบนแท่นหมุนแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
2. นำกากกาแฟออกจาก Ball mill ใส่ในภาตอลูมิเนียมแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ใช้โกร่งบดสารบดกาแฟที่แห้งแล้วซึ่งจะจับกันเป็นก้อนให้แตกออกจากกัน จากนั้นนำไปใส่เครื่อง Sieve ใช้ sieve no.100 mesh เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บกาแฟที่ผ่านการ sieve ไว้ในถุงซิปล็อค
4. นำกาแฟมาชั่งใส่ถุงซิปล็อค จากนั้นชั่งกลีเซอรอลใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ในปริมาณ กลีเซอรอล : กากกาแฟเท่ากับ 0.5 : 1.0
5. นำกาแฟใส่ในเครื่อง Dry blend โดยใช้ความถี่การปั่นของใบมีดที่สูงที่สุด ปั่นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอลด้านบนของเครื่องผ่านกรวยกรองแก้วขณะปั่นกวน เมื่อใส่กลีเซอรอลเสร็จแล้วปั่นกวนต่อไปเป็นเวลา 15 นาที

ตอนที่ 3 เตรียมเม็ดพอลิเมอร์ของ LDPE ผสมกากกาแฟ

1. เตรียมกากกาแฟที่ผสมกลีเซอรอล, LDPE และ PE-g-MA โดยการชั่งตามอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนกากกาแฟที่ผสมกลีเซอรอล, LDPE และ PE-g-MA ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	สูตร	กากกาแฟผสมกลีเซอรอล	LDPE	PE-g-MA
1	10%MA3	10%	90%	3 % w/w
2	10%MA4.5	10%	90%	4.5 % w/w
3	10%MA6	10%	90%	6 % w/w
4	15%MA4.5	15%	85%	4.5 % w/w
5	15%MA6	15%	85%	6 % w/w
6	15%MA7	15%	85%	7 % w/w
7	20%MA6	20%	80%	6 % w/w
8	20%MA6.5	20%	80%	6.5 % w/w
9	20%MA7	20%	80%	7 % w/w

หมายเหตุ ; การทดลองที่ 1-9 เป็นการศึกษาผลของ Compatibilizer ที่มีบทบาทต่อสมบัติของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ และศึกษาปริมาณกากกาแฟที่มีบทบาทต่อสมบัติ

เอกสารของฟิล์ม สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งกากกาแพที่ผสมกลีเซอรอลใส่ถุงซิปล็อค
3. ชั่งเม็ด LDPE ใส่ในถุงซิปล็อค จากนั้นชั่ง PE-g-MA แล้วเทใส่ในถุงที่มีเม็ด LDPE อยู่ จากนั้นปิดผนึกปากถุงแล้วทำการเขย่าให้สารในถุงให้เข้ากัน
4. นำเม็ด LDPE ที่ผสม PE-g-MA แล้วใส่ลงไปในเครื่อง Internal mixer ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 40 rpm เป็นเวลา 5 นาที
5. ใส่กากกาแพที่ผสมกลีเซอรอลลงไปในผสม ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 55 rpm เป็นเวลา 10 นาที
6. นำพอลิเมอร์ที่ได้ออกมาใส่ถาดอลูมิเนียม รोजनเย็น แล้วเก็บใส่ถุงซิปล็อค ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. นำพอลิเมอร์ที่เก็บไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาเข้าเครื่องบดเม็ดพอลิเมอร์จากนั้นเก็บใส่ถุงซิปล็อค

ตอนที่ 4 ขึ้นรูปฟิล์ม LDPE ผสมกากกาแพ

1. นำเม็ดพอลิเมอร์ผสมที่ได้ มาใส่ในเครื่องเป่าฟิล์ม LDPE
2. เครื่อง Single screw extruder กำหนดความเร็วรอบสกรู 70 rpm และ อุณหภูมิโซนที่ 1, 2, 3 และหัวตายเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส
3. เครื่อง Blow film กำหนดอุณหภูมิโซนที่ 1, 2, 3 และหัวตายเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส
4. เครื่อง Blow film กำหนด roller บน เท่ากับ 2.0 rpm และ roller ล่าง เท่ากับ 2.5 rpm

ตอนที่ 5 ศึกษาสมบัติของกากกาแพและฟิล์มLDPEผสมกากกาแพ

1. การวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา (Morphology)
 - การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope , SEM) รุ่น LEO 1455 VP: LEO Germany

การเตรียมตัวอย่าง ในส่วนของกากกาแพทำโดยเก็บกากกาแพหลังการลดขนาดไว้ในตู้อบเพื่อลดความชื้น และในส่วนของฟิล์มทำโดยตัดตัวอย่างเป็นสี่เหลี่ยมขนาดพอวางใน stub ในการดูพื้นผิว และหักฟิล์มในไนโตรเจนเหลวเพื่อดูภาพตัดขวางของฟิล์ม จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไปโดยส่องที่กำลังขยาย 1000 เท่า ภาพที่ถ่ายได้บอกถึงลักษณะพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดที่กำลังขยายสูงเพื่อหาขนาดของกากกาแพ การกระจายตัวของกากกาแพบนฟิล์ม และความเข้ากันได้ของสององค์ประกอบระหว่างกากกาแพ และ LDPE
2. ทดสอบสมบัติทางเคมี
 - ทดสอบโดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared (FTIR) เพื่อหาหมู่ฟังก์ชันของกากกาแพ และฟิล์ม เตรียมตัวอย่างโดย ในส่วนของกากกาแพเตรียมโดยอัดตัวอย่างที่ผสมกับ KBr และผ่านการบดให้ละเอียดเรียบร้อยแล้วให้เป็นแผ่นบางๆ และในส่วนของฟิล์มทำการเตรียมโดยการตัดชิ้นงานเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม 4x3 ตารางเซนติเมตร จากนั้นนำส่วนที่เตรียมได้ไปติดบนหน้าต่างเซลล์และบรรจุลงในที่บรรจุเซลล์ (Cell holder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric analysis (TGA) รุ่น Pyris 1 TGA: Perkin USA

เพื่อดูเสถียรภาพทางความร้อนของกากกาแฟ เตรียมตัวอย่างโดยนำกากกาแฟมา ปริมาณ 5 มิลลิกรัมใส่ลงในครุชชีเบลและทำการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 50-900 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

3. สมบัติทางกายภาพ

3.1 การทดสอบความหนา

ทำการวัดความหนาโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์วัด 10 จุด บันทึกผลแล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของแต่ละชิ้นงาน

3.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D 570)

ทำการตัดชิ้นงานขนาดกว้าง 1x3 นิ้ว จำนวน 10 ชิ้นต่อ 1 สูตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช็ดชิ้นงานให้แห้ง ทำความสะอาดชิ้นงานให้เรียบร้อย นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล นำผลที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำ ตามสมการที่ (1)

$$\% \text{การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักแรก} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักแรก}} \times 100 \quad (1)$$

จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบทดสอบโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) เพื่อหาหมู่ฟังก์ชัน -OH ที่เพิ่มขึ้นมา

4. ทดสอบสมบัติเชิงกล

4.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด (Elongation at break) และค่ามอดุลัส (Modulus) (ตามมาตรฐาน ASTM D882) ด้วยเครื่อง ทดสอบแรงดึงและต้านทานการฉีกขาด (Universal testing machine) เตรียมตัวอย่างฟิล์มโดยตัดแผ่นฟิล์มให้มีขนาด 1 x 10 ตารางเซนติเมตรทั้งทิศตามแนวเครื่องจักร และตามขวางทิศทางละ 10 ชิ้น และวัดความหนาของฟิล์ม 10 ตำแหน่ง ด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตรและหาความหนาเฉลี่ย จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปหนีบเข้ากับตัวหนีบ (Grip) ทั้งด้านบนด้านล่าง โดยกำหนดให้มีสภาวะการทดสอบดังนี้

ระยะห่างของตัวรองรับตัวอย่าง (Gauge length)	30 มิลลิเมตร
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell)	100 N
แรงดึงเริ่มต้น (Preload)	0.50 นิวตัน
ความเร็วของແ່ນตัดขวาง (Crosshead speed)	50 มิลลิเมตร/นาที
จำนวนชิ้นงานทดสอบต่อสูตร/ทิศทาง	10 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดสอบความหนา

ทำการวัดความหนาโดยใช้เครื่องไมโครมิเตอร์วัด 10 จุด บันทึกผลแล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของแต่ละชิ้นงาน

4.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำ (ตามมาตรฐาน ASTM D 570)

ทำการตัดชิ้นงานขนาดกว้าง 1x3 นิ้ว จำนวน 10 ชิ้นต่อ 1 สูตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เช็ดชิ้นงานให้แห้ง ทำความสะอาดชิ้นงานให้เรียบร้อย นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล นำผลที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำ ตามสมการ (1)

$$\% \text{การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักสุดท้าย} - \text{น้ำหนักแรก}}{\text{น้ำหนักแรก}} \times 100 \quad (1)$$

จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบทดสอบโดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared (FTIR) เพื่อหาหมู่ฟังก์ชัน -OH ที่เพิ่มขึ้นมา

5. การทดสอบการย่อยสลาย

ทดสอบการย่อยสลายโดยตัดชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 10x10 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล จากนั้นนำไปทำการฝังในดินเป็นเวลา 2 เดือน ที่ความลึก 0.5 เมตร แล้วนำมาทำความสะอาดชิ้นงานให้เรียบร้อย ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล นำผลที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป ตามสมการที่ (1) และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลอีกครั้ง

ตอนที่ 6 ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเติม LLDPE

- เตรียมกากกาแฟที่ผสมกลีเซอรอล, LDPE, LLDPE และ PE-g-MA โดยการชั่งตามอัตราส่วนต่างๆดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนกากกาแฟที่ผสมกลีเซอรอล, LDPE และ PE-g-MA ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	สูตร	กากกาแฟผสมกลีเซอรอล	LDPE	LLDPE	PE-g-MA
1	10MA4.5LL3	10%	87%	3%	4.5 % w/w
2	10MA4.5LL5	10%	85%	5%	4.5 % w/w
3	10MA4.5LL7	10%	83%	7%	4.5 % w/w
4	15MA6LL3	15%	82%	3%	6 % w/w
5	15MA6LL5	15%	80%	5%	6 % w/w
6	15MA6LL7	15%	78%	7%	6 % w/w
7	20MA6.5LL3	20%	77%	3%	6.5 % w/w
8	20MA6.5LL5	20%	75%	5%	6.5 % w/w
9	20MA6.5LL7	20%	73%	7%	6.5 % w/w

หมายเหตุ ;

การทดลองที่ 1-9 เป็นการศึกษาผลของ LLDPE ที่มีบทบาทต่อสมบัติของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟปริมาณ 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ โดยเลือกสมบัติที่ดีที่สุดในการเติม PE-g-MA จากตอนที่ 3

จากนั้นนำฟิล์มไปทดสอบสมบัติตามตอนที่ 5

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการทดลองศึกษาโดยนำผงกากกาแฟไปผ่านตะแกรงร่อนเพื่อเป็นการคัดขนาดอนุภาค เพื่อให้อนุภาคกาแฟมีขนาดใกล้เคียงกันโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 170 จากนั้นหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณผงกากกาแฟและพลาสติกไซเซอร โดยผสมพลาสติกไซเซอรในปริมาณ 50 phr ของปริมาณกากกาแฟที่ใช้ในเครื่องผสมแบบให้ความร้อน (Dry blend) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยค่อยๆ ผสมพลาสติกไซเซอรลงในผงกากกาแฟ และรอประมาณ 30 นาที เพื่อให้ผงกากกาแฟกับพลาสติกไซเซอรมีความเข้ากัน จากนั้นผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับตัวประสาน คือ PE-g-MA ลงในเครื่องผสมแบบ Internal mixer อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 40 rpm เป็นเวลา 15 นาที และนำผงกากกาแฟที่ผสมกับพลาสติกไซเซอรในอัตราส่วน 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่เตรียมไว้มาเติมลงในเครื่องผสมแบบปิด ที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับ PE-g-MA และรออีก 15 นาที เพื่อให้ผงกากกาแฟผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ จากนั้นนำส่วนผสมไปผ่านเครื่องบดเม็ดพอลิเมอร์ และนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยภาวะเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม คือ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการหมุนของสกรู 60 รอบ/นาที และความเร็วในการดึงฟิล์มออกจากหัวตายอยู่ที่ 2 และ 2.5 รอบ/นาที จากนั้นนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา และสมบัติการย่อยสลาย

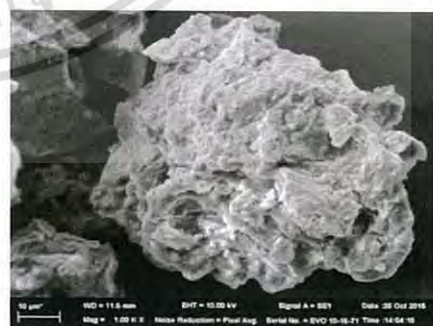
4.1 การวิเคราะห์กากกาแฟ

4.1.1 สัณฐานวิทยาของผงกากกาแฟ ผลของการศึกษาลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จากภาพ SEM กากกาแฟมีลักษณะเป็นเหลี่ยม ขรุขระ รูปร่างไม่แน่นอน โดยกากกาแฟมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 20-80 ไมครอน



ก.

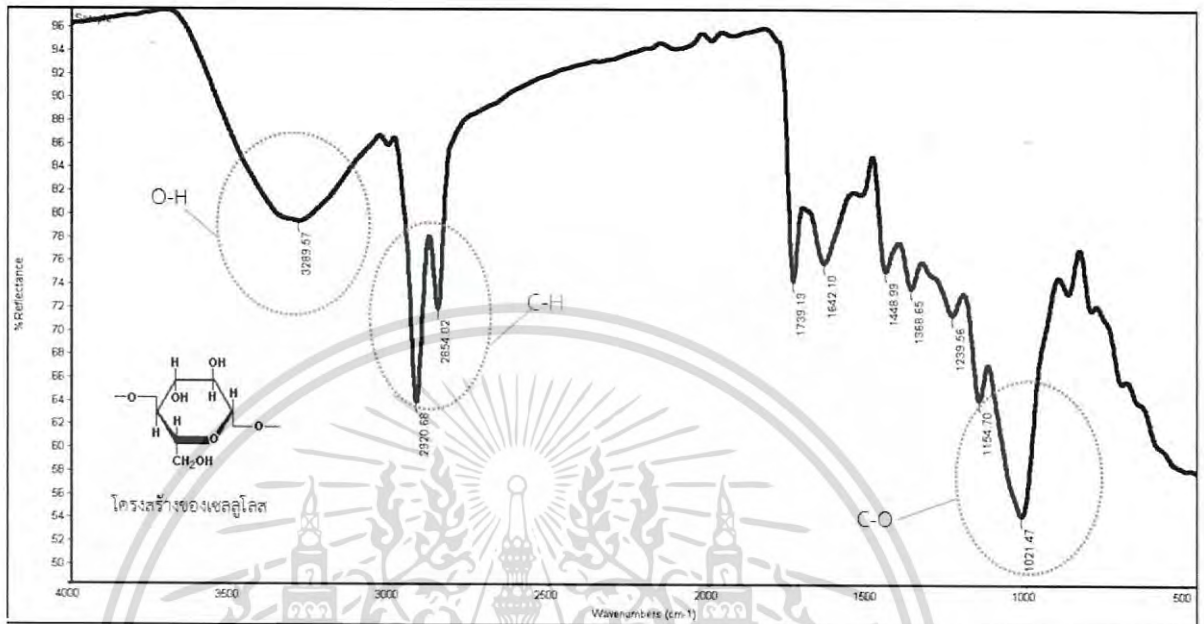


ข.

รูปที่ 4.1 จากภาพ SEM รูป (ก.) เป็นลักษณะรูปทรงของกากกาแฟที่ 100 μm กำลังขยาย 100 เท่า และภาพ (ข.) ขนาดอนุภาคและลักษณะพื้นผิวของกากกาแฟที่ 10 μm กำลังขยาย 1000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของกากกาแฟด้วยอินฟราเรด



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) กากกาแฟ

จากอินฟราเรดสเปกตรัม รูปที่ 4.2 (ก.) ประมาณ 3371 cm^{-1} เป็นการสั่นของหมู่ O-H stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล ที่มาจากอนุภาคของเซลลูโลส และลิกนิน ในกากกาแฟที่คิดประมาณ 2900 cm^{-1} สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ 1050 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-O stretching แสดงว่ามีหมู่ของ Primary alcohol

4.1.3 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นของผงกากกาแฟ

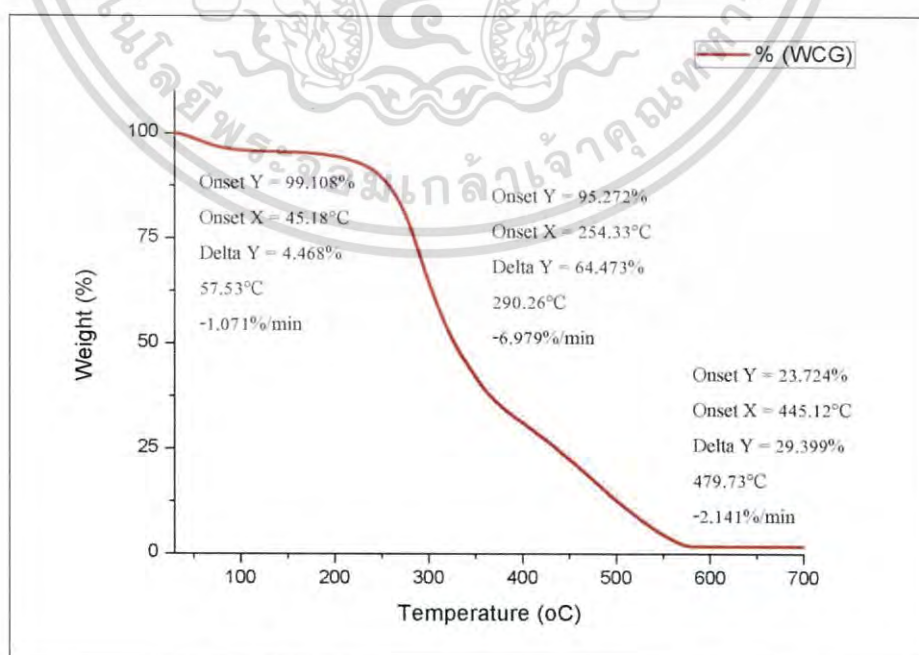
การหาความชื้นของกากกาแฟที่ผ่านการคั่วบดที่ได้มาจากบริษัทเขาช่อง โดยนำมาชั่งน้ำหนักก่อนจะไปใส่ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำออก และนำออกมาชั่งใหม่หลังจากนำออกจากตู้อบแล้วได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่ากากกาแฟจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ยประมาณ 63.44 เปอร์เซ็นต์เนื่องมาจากองค์ประกอบของกากกาแฟมีหมู่ O-H ซึ่งเป็นหมู่มีขั้ว มีความชอบน้ำจึงทำให้กากกาแฟดูดความชื้นได้มาก

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของกากกาแฟ

จำนวนครั้ง	นน.กากกาแฟก่อนอบ(g)	นน.กากกาแฟหลังอบ(g)	%ความชื้น
ครั้งที่1	483.43	169.15	65.01
ครั้งที่2	554.2	218.23	60.62
ครั้งที่3	435.55	151.66	65.18
ครั้งที่4	520.37	189.76	63.53
ครั้งที่5	542.24	201.53	62.83
เฉลี่ย			63.44

4.1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของกากกาแฟ

ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออุณหภูมิของชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มพอลิเอทิลีนที่ผสมกับกากกาแฟสูตรต่างๆ ฤกษ์ขยะเกรดการค้ำ ฟิล์มพอลิเอทิลีน และกากกาแฟ โดยใช้เทคนิคในการทดสอบ (Thermogravimetric analysis: TGA) อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนและปริมาณเถ้าสามารถหาได้จากเครื่อง Thermogravimetric analysis สำหรับการทดลองนี้จะใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียส/นาที จากอุณหภูมิตั้งแต่ 30-700 องศาเซลเซียส โดยสารแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิการสลายที่แตกต่างกัน หลักการพื้นฐานของเทคนิค TGA คือ การวัดน้ำหนักที่สูญเสียไปของชิ้นงานตัวอย่างกับอุณหภูมิและบันทึกผลในรูปความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่สูญเสียกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟ TGA ของกากกาแฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของกากกาแฟ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้นและกรดอินทรีย์และเอสเทอร์ ที่อุณหภูมิ 30-110 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 4.468 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของพอลิฟิดและเส้นใยที่อุณหภูมิ 110-400 องศาเซลเซียส และส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของพอลิเมอร์ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 400-580 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 93.872 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.66 เปอร์เซ็นต์

4.2 การวิเคราะห์ผลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟโดยเติม PE-g-MA ในอัตราส่วนที่ต่างกัน

4.2.1 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

- ลักษณะกระจายตัวที่พื้นผิว

ศึกษาผลของการกระจายตัวของกากกาแฟในปริมาณที่ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักในฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ดังรูปที่ 4.4 โดยเลือกสูตรที่ดีที่สุดมาทดสอบ



ค.

ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จ.



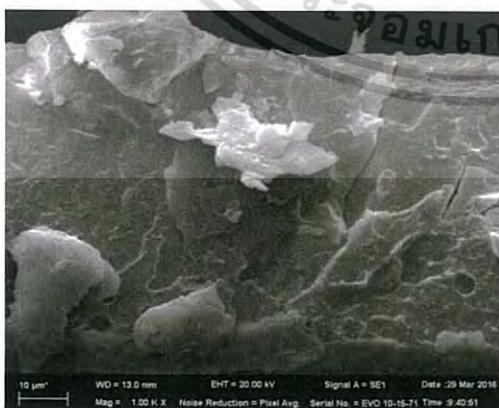
ฉ.

รูปที่ 4.4 รูป (ก.) และ (ข.) ภาพการกระจายตัวของปริมาณกากกาแฟ 10% ที่ผสม PE-g-MA 4.5% โดยน้ำหนัก ที่ 100 และ 10 μm กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า รูป (ค.) และ (ง.) ปริมาณกากกาแฟ 15% ที่ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก ที่ 100 และ 20 μm กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า รูป (จ.) และ (ฉ.) ปริมาณกากกาแฟ 20% ที่ผสม PE-g-MA 6.5% โดยน้ำหนัก ที่ 100 และ 10 μm กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

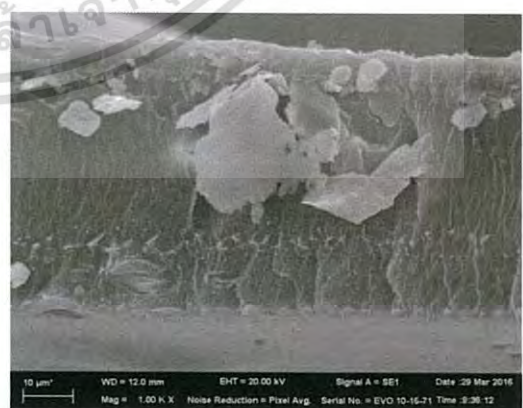
จากภาพ SEM พบว่าที่ปริมาณกากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีการกระจายตัวของผงกากกาแฟดีที่สุด การจับตัวกันเป็นก้อนน้อย ผิวค่อนข้างเรียบถึงแม้จะมีการจับรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของผงกากกาแฟ แต่ขนาดอนุภาคของกลุ่มก้อนนั้นถ้ามองจากภาพ (ก.) ที่ 100 μm กำลังขยาย 100 เท่า อนุภาคของกลุ่มก้อนนั้นจะมีขนาดเล็กกว่ามากถ้าเทียบกับของปริมาณกากกาแฟที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ดังรูป (ค.) และรูป (จ.) และปริมาณกากกาแฟที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ 100 μm กำลังขยาย 100 เท่า จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อปริมาณกากกาแฟเพิ่มมากขึ้น การจับรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่จะมีมากขึ้น การกระจายตัวต่ำลง ส่งผลให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความขรุขระ ไม่สม่ำเสมอ

- ลักษณะการยึดเกาะของกากกาแฟกับพอลิเมอร์

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ผสมกากกาแฟในปริมาณที่ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 4.5

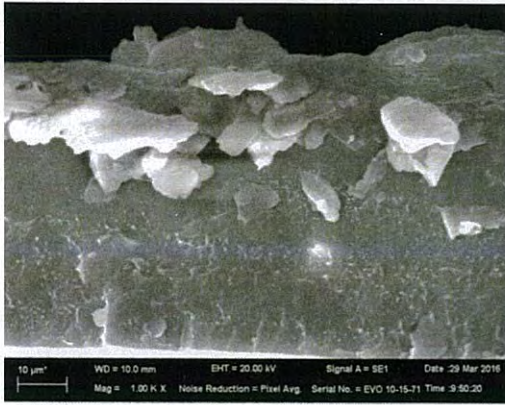


ก.

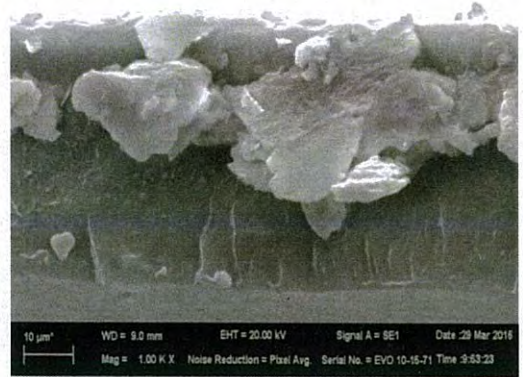


ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค.



ง.



จ.



ฉ.



ช.



ซ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ณ.



ญ.

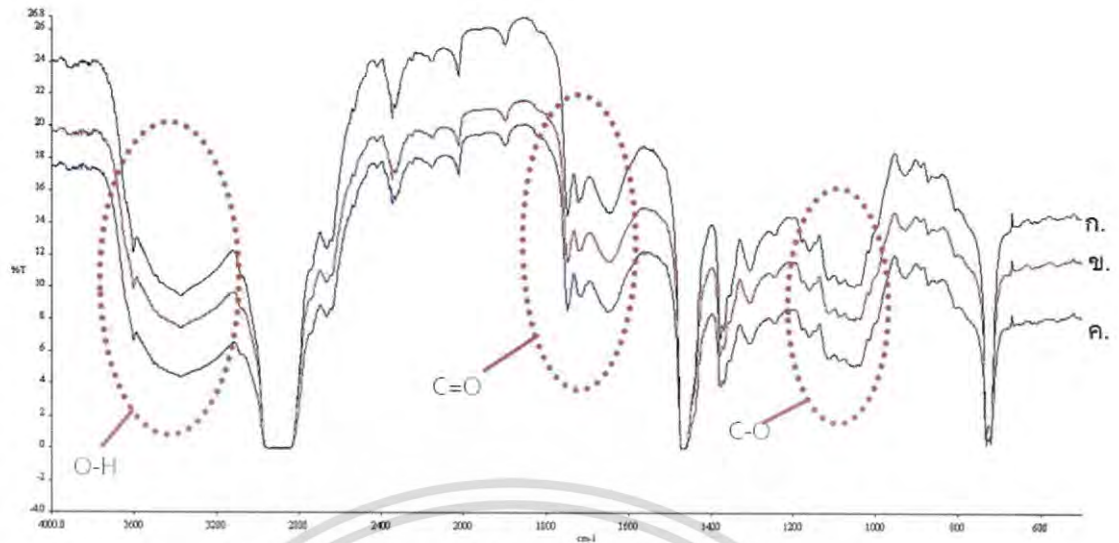
รูปที่ 4.5 จากภาพ SEM แสดงผลการยึดเกาะของกากกาแฟกับพอลิเมอร์รูป (ก.) (ข.) และ (ค.) ปริมาณกากกาแฟ 10% ที่ผสม PE-g-MA 3% 4.5% และ 6% โดยน้ำหนัก รูป (ง.) (จ.) และ (ฉ.) ปริมาณกากกาแฟ 15% ที่ผสม PE-g-MA 4.5% 6% และ 7% โดยน้ำหนัก รูป (ช.) (ซ.) (ณ.) และ (ญ.) ปริมาณกากกาแฟ 20% ที่ผสม PE-g-MA 4.5% 6% 6.5% และ 7% โดยน้ำหนัก ที่ 10 µm กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.5 พบว่าการยึดเกาะของกากกาแฟกับพอลิเมอร์ที่ผสมกากกาแฟในอัตราส่วน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ไม่ดีเท่าที่ควร จากรูปจะสังเกตเห็นว่ามีบางบริเวณพบอนุภาคกากกาแฟขนาดใหญ่ออกมาอยู่ที่พื้นผิวของพอลิเมอร์ และมีบางส่วนที่ยึดติดเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะสมบัติของตัวประสานที่เติมลงไป จากรูป (ก.) (ข.) และ (ค.) อธิบายได้ว่าลักษณะการยึดเกาะที่กากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ พบอนุภาคกากกาแฟออกมาที่บริเวณพื้นผิวพอลิเมอร์น้อยที่สุดจึงส่งผลให้การยึดเกาะ และความเข้ากันดีที่สุด ในการขึ้นรูปชิ้นงาน ในทางกลับกัน เมื่อปริมาณกากกาแฟเพิ่มมากขึ้นจากรูป (ง.) (จ.) และ (ฉ.) ที่กากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์ จากรูป (ช.) (ซ.) (ณ.) และ (ญ.) ที่กากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบการยึดเกาะ และความเข้ากันได้ลดลงจึงพบอนุภาคกากกาแฟอยู่ที่พื้นผิวของพอลิเมอร์มากขึ้น

4.2.2 สมบัติทางเคมีของฟิล์ม

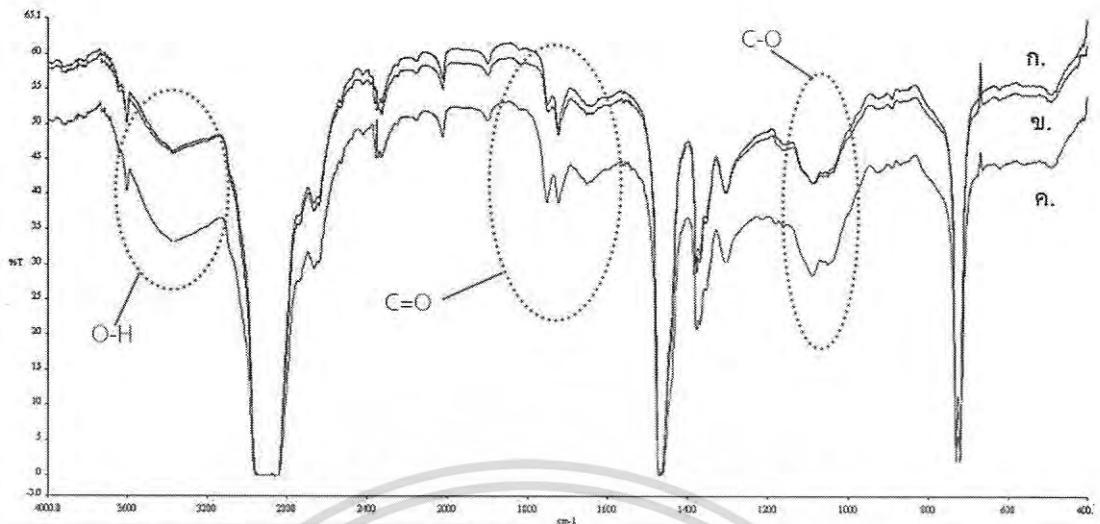
- การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับกากกาแฟที่ผสมตัวประสาน โดยอัตราส่วนของปริมาณกากกาแฟ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิค FTIR โดยใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectrometer ในช่วงความยาวคลื่น $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ แสดงดังรูปที่ 4.6

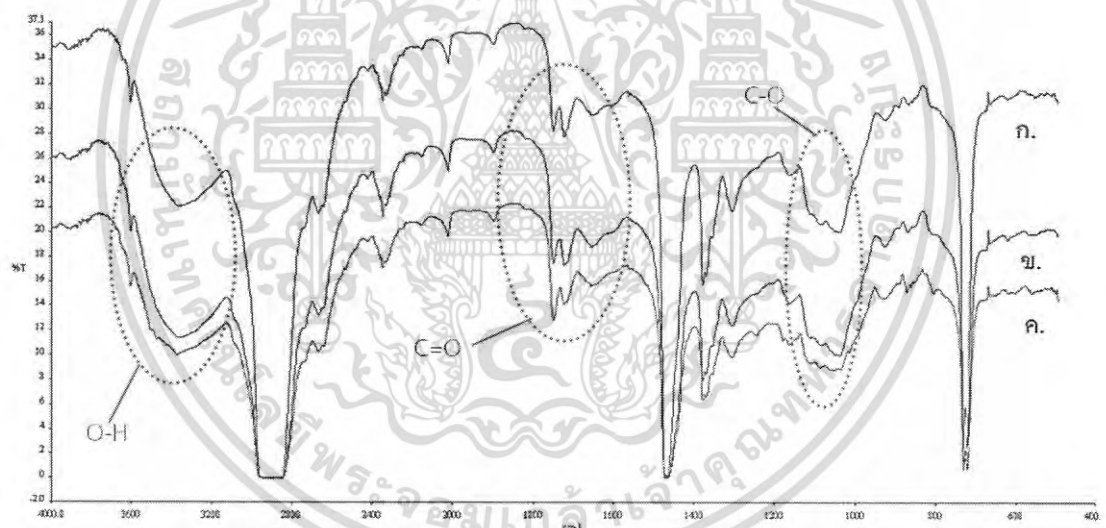


รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) LDPE บริสุทธิ์ (ข.) LDPE ผสมกากกาแพที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก (ค) LDPE ผสมกากกาแพที่อัตราส่วน 15% โดยน้ำหนัก (ง.) LDPE ที่ผสมกากกาแพที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก

จากอินฟราเรดสเปกตรัม รูปที่ 4.6 (ก.) พบหมู่ฟังก์ชันที่เป็นของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำบริสุทธิ์ดังนี้ ที่ 2854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-H stretching ของสายโซ่คาร์บอนอิ่มตัว ที่ 1463 และ 1377 cm^{-1} เป็นการสั่นของ CH_2CH_3 bending และ CH_3 bending ตามลำดับ ที่ประมาณ 720 cm^{-1} เป็นการสั่นของ CH_2 rocking และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปที่ (ข.) (ค.) และ (ง.) เป็นการเติมปริมาณกากกาแพในอัตราส่วน 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์จากอินฟราเรดสเปกตรัม พบว่าที่ประมาณ 3371 cm^{-1} เป็นการสั่นของหมู่ O-H stretching ของหมู่ไฮดรอกซิล ที่มาจากอนุภาคของเซลลูโลสในกากกาแพ และกลีเซอรอล ที่ประมาณ $1750\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของ C=O ของหมู่คาร์บอกซิลิก และเอสเทอร์ ที่มาจาก Maleic anhydride ที่ $1300\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของ C-O ของคาร์บอกซิลิก และเอสเทอร์ ที่ 1050 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-O stretching แสดงว่ามีหมู่ของ Primary alcohol อยู่ในโครงสร้าง จากพีคที่เพิ่มขึ้นมาจากพีคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำบริสุทธิ์ เป็นการบ่งบอกได้ชัดเจนว่า พอลิเมอร์ที่ผ่านการผสมนั้น มีปริมาณกากกาแพเป็นส่วนประกอบ ซึ่งการสั่นของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ มาจากองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนินในผงกากกาแพ และ PE-g-MA ที่มาจากตัวประสาน ส่วนพีคการสั่นของ C-H ของไฮโดรคาร์บอนที่มีลักษณะเหมือนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำบริสุทธิ์ พบว่ามีปริมาณน้อยลงตามเปอร์เซ็นต์ของกากกาแพที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัม จากรูปที่ (ข.) (ค.) และ (ง.) พบว่ามีความคล้ายคลึงกัน แตกต่างตรงที่พีค O-H และ C=O ที่จะกว้างขึ้นเมื่อปริมาณกากกาแพมากขึ้น

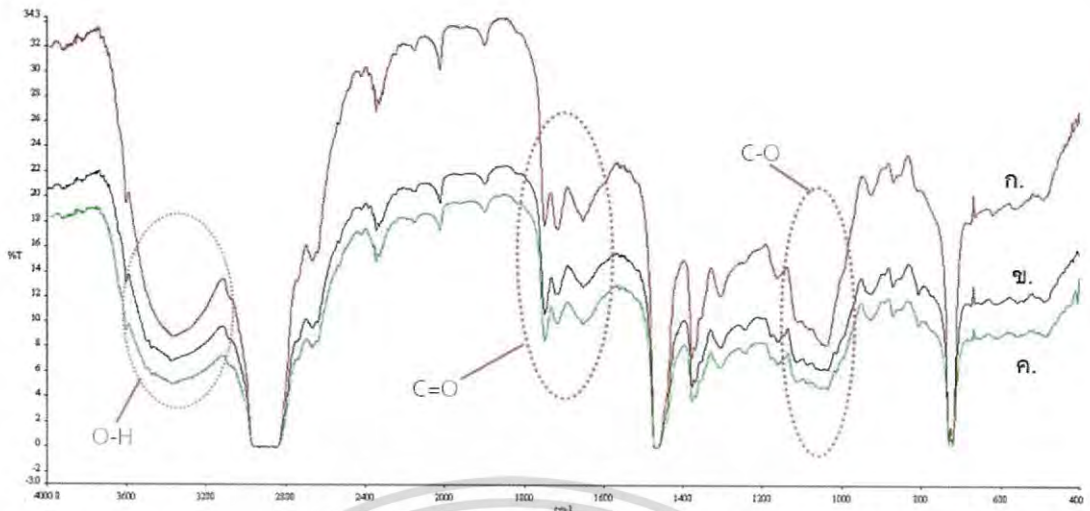


รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) กากกาแฟที่ 10% ผสม PE-g-MA 3% โดยน้ำหนัก (ข.) กากกาแฟที่ 10% ผสม PE-g-MA 4.5% โดยน้ำหนัก (ค.) กากกาแฟที่ 10% ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก



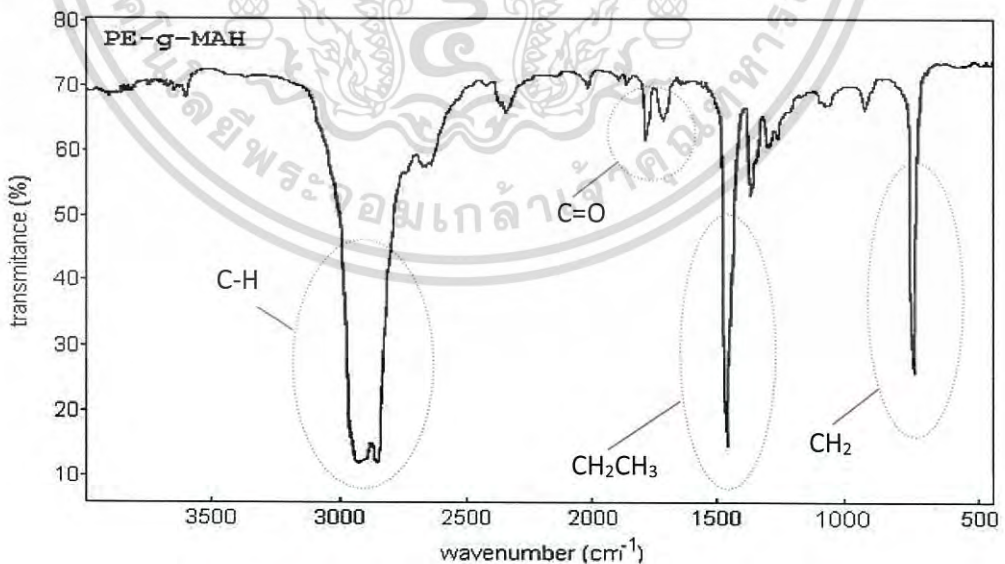
รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) กากกาแฟที่ 15% ผสม PE-g-MA 4.5% โดยน้ำหนัก (ข.) กากกาแฟที่ 15% ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก (ค.) กากกาแฟที่ 15% ผสม PE-g-MA 7% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) กากกาแพทที่ 20% ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก (ข.) กากกาแพทที่ 20% ผสม PE-g-MA 6.5% โดยน้ำหนัก (ค.) กากกาแพทที่ 20% ผสม PE-g-MA 7% โดยน้ำหนัก

จากกราฟเปรียบเทียบผลของตัวประสาน PE-g-MA ที่มีผลต่อแผ่นฟิล์มที่ผสมกากกาแพพบว่า ในทุกสูตรของปริมาณกากกาแพที่ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีหมู่ O-H ที่เพิ่มขึ้นสังเกตได้จากพีคที่ ประมาณ 3300 cm^{-1} มีความกว้างมากขึ้น ตามรูป (ก.) (ข.) และ (ค.) ของแต่ละสูตร แทนที่ปริมาณ หมู่ O-H จะลดน้อยลง เนื่องจากเกิดเป็นพันธะของเอสเทอร์ที่จับกับหมู่ O-H กลายเป็นว่ามีหมู่ O-H เพิ่มมากขึ้น ผลของ IR อาจบอกได้ว่า PE-g-MA อาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับกากกาแพไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร อาจจะช่วยในเรื่องของการยึดเกาะที่ดีขึ้น แต่ไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของการดูดน้ำ



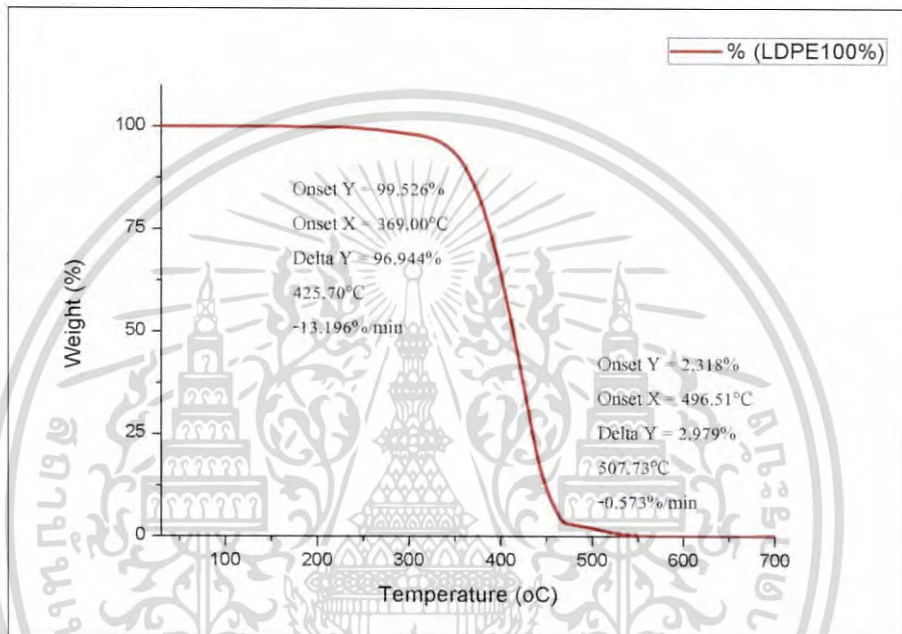
รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของ PE-g-MA

จากอินฟราเรดสเปกตรัมจากรูป 4.10 (ก.) พบพีคของ LDPE ที่ 2854 cm^{-1} เป็นการสั่นของ C-H เอกสารนี้ H stretching ประมาณ $1750\text{--}1720\text{ cm}^{-1}$ เป็นการสั่นของ C=O ของหมู่คาร์บอกซิลิกและเอสเทอร์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

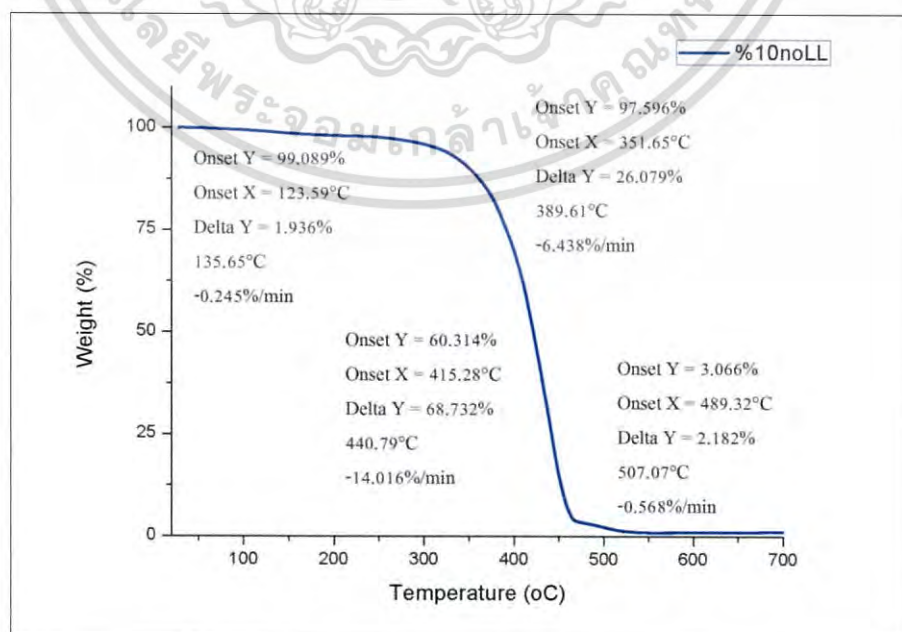
ที่มาจาก Maleic anhydride ที่ 1463 และ 1377 cm^{-1} เป็นการสั่นของ CH_2CH_3 bending และ CH_3 bending ตามลำดับ และที่ประมาณ 720 เป็นการสั่นของ CH_2 rocking

- การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

จากรูปที่ 4.11 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของ LDPE PURE พบว่า LDPE PURE มีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 360-560 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 99.923เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 0.077 เปอร์เซ็นต์



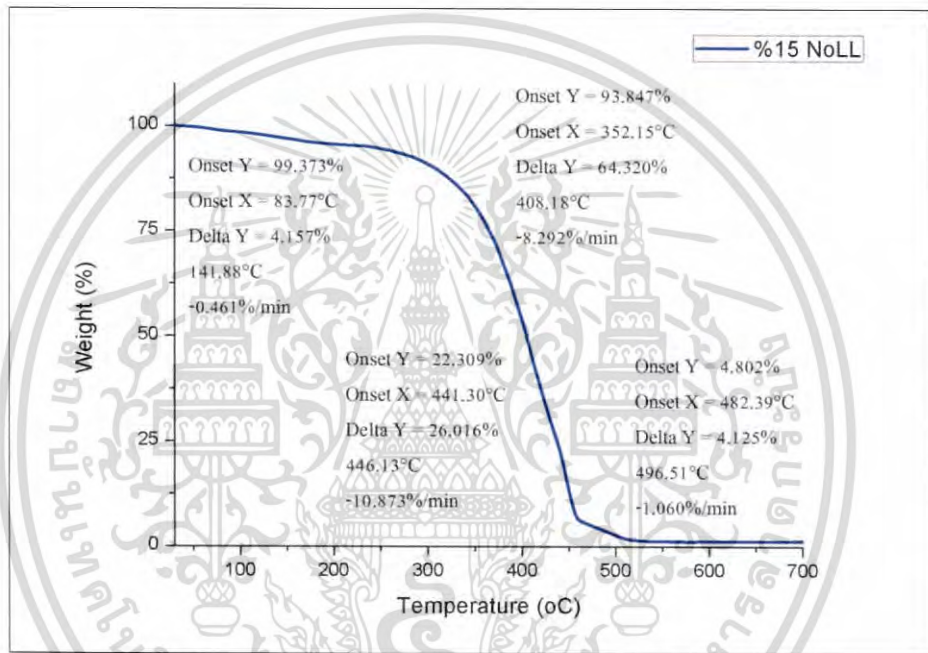
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟ TGA ของ พลาสติก LDPE PURE



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟ TGA ของ 10% WCG NO LLDPE

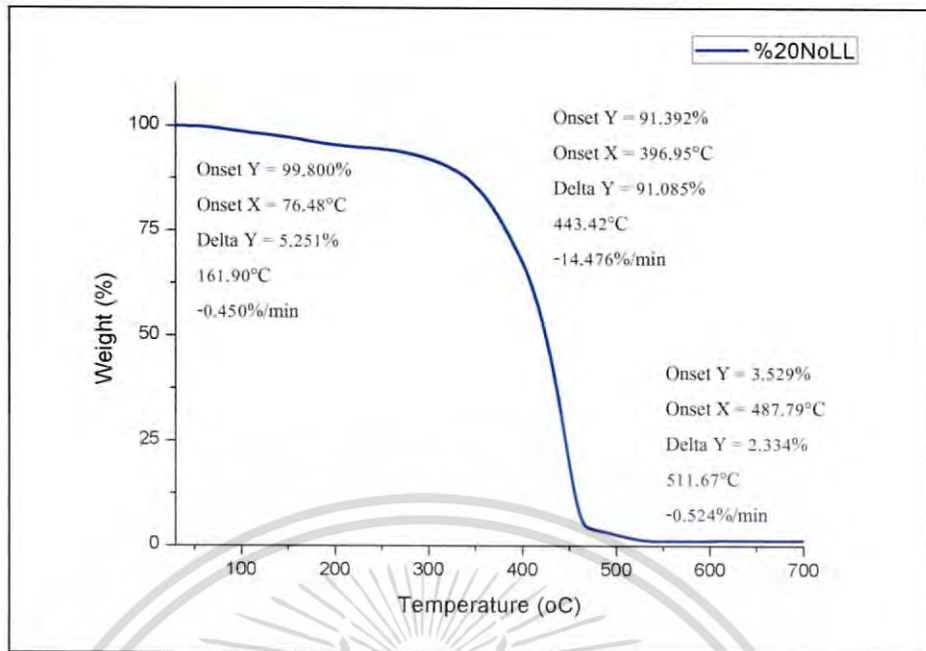
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม 10% WCG NO LLDPE พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น กลิเซอรอลและสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 40-210 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 1.936 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 210-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-480 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE กับ PE-g-MA ที่อุณหภูมิ 360-480 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 94.811 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ LDPE และ PE-g-MA ที่ยังสลายตัวไม่หมดในช่วงอุณหภูมิ 480-530 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.182 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.071 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟ TGA ของ 15% WCG NO LLDPE

จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม 15% WCG NO LLDPE พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น กลิเซอรอลและสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 40-180 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 4.157 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ที่เหลือที่อุณหภูมิ 180-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-480 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE กับ PE-g-MA ที่อุณหภูมิ 360-480 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 90.336 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ LDPE และ PE-g-MA ที่ยังสลายตัวไม่หมดในช่วงอุณหภูมิ 480-530 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.334 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.382 เปอร์เซ็นต์



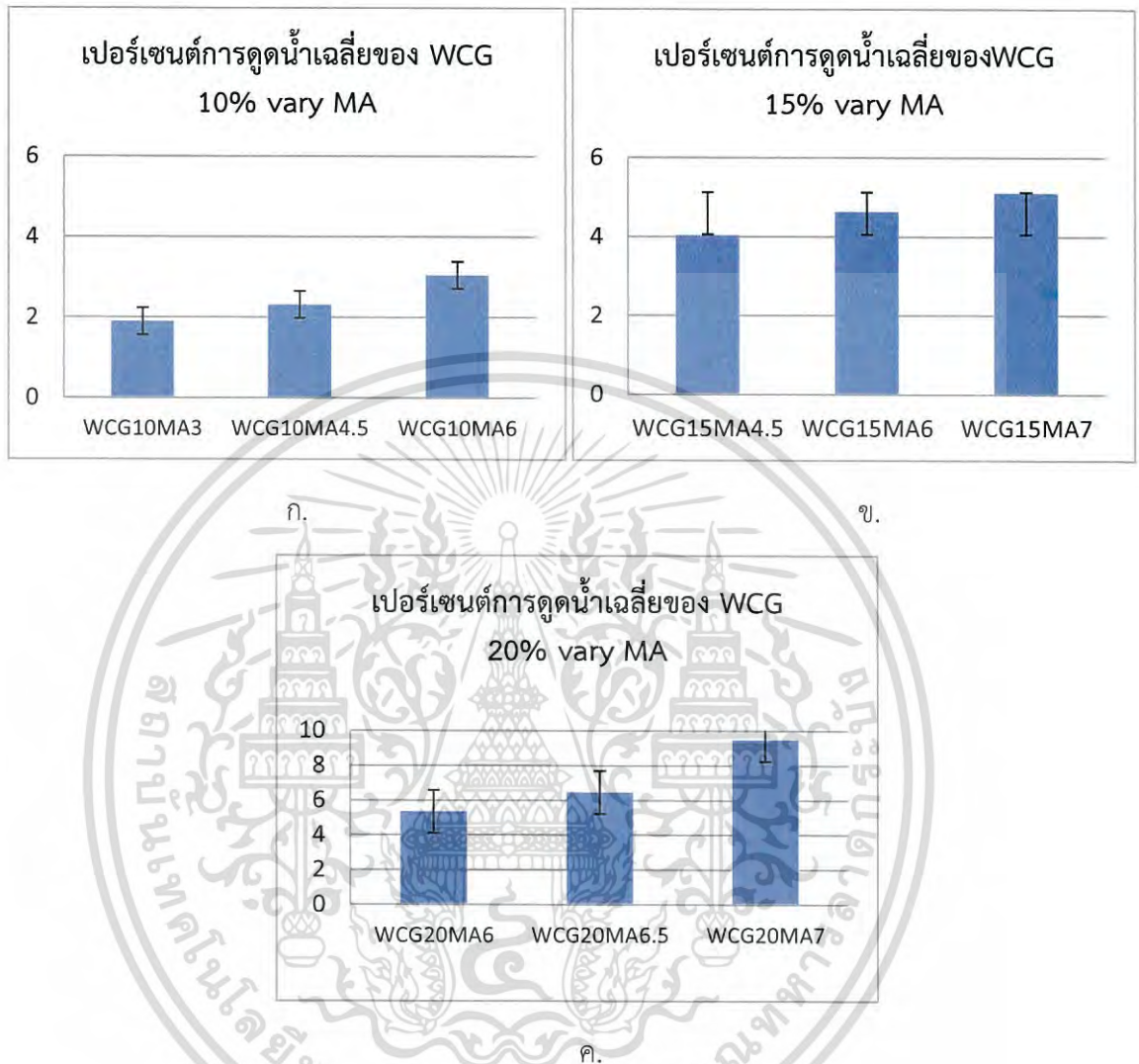
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟ TGA ของ 20% WCG NO LLDPE

จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของ फिल्मที่ผสม 20% WCG NO LLDPE พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของ ความชื้น กลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-250 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 5.251 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลและสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 250-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-480 องศาเซลเซียส และส่วน LDPE PE-g-MA และ LLDPE สลายตัวที่อุณหภูมิ 360-480 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 91.085 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ LDPE และ PE-g-MA ที่ยังสลายตัวไม่หมดที่ช่วงอุณหภูมิ 480-530 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.334 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.33 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 เป็นการแสดงผลกราฟ TGA ของฟิล์ม LDPE ที่ผสมกากกาแฟ ในปริมาณที่มากขึ้น คือ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อปริมาณกากกาแฟมากขึ้นปริมาณพลาสติกจะลดลง ดังนั้นเมื่อเติมปริมาณกากกาแฟมากขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิการสลายตัวเร็วขึ้น เนื่องจากกากกาแฟมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่เร็วกว่าพลาสติก

4.2.3 สมบัติทางกายภาพ

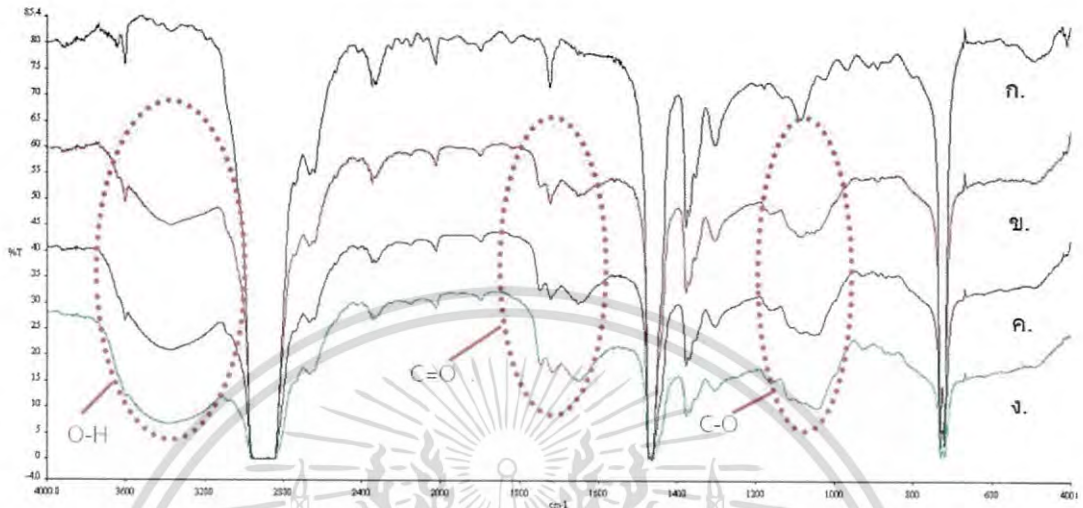
- สมบัติการดูดซับน้ำ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแพ รูป (ก.) (ข.) และ (ค.) WCG 10% 15% 20% vary MA ตามลำดับ

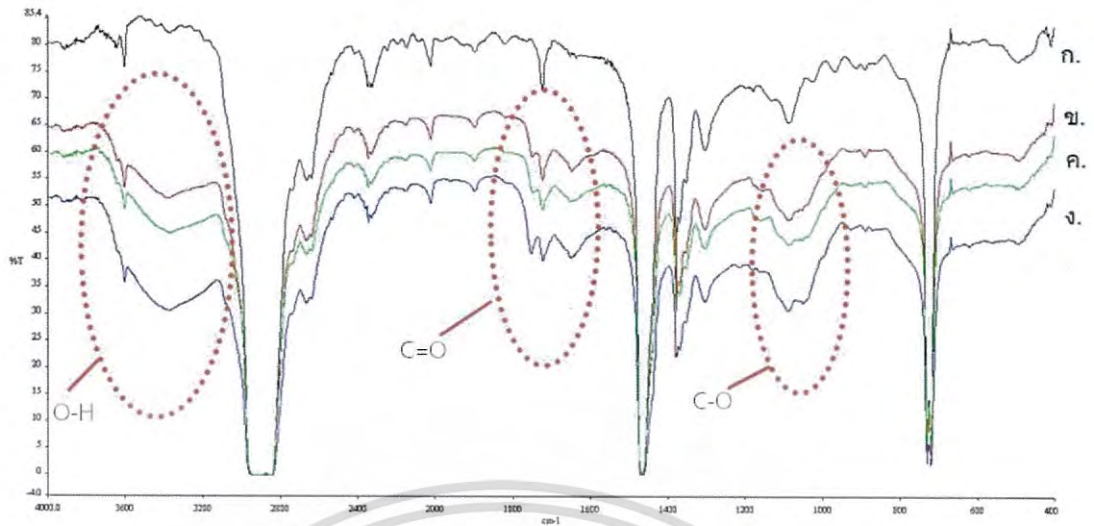
จากผลการทดลอง เมื่อใส่กากกาแพเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ฟิล์มที่ผสมกับกากกาแพสามารถดูดน้ำได้มากขึ้นเนื่องจากกากกาแพมีหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วจึงทำให้ฟิล์มมีสมบัติการดูดน้ำได้ดี ดังนั้นจึงทำให้ฟิล์มที่ผสมกับกากกาแพ 20 เปอร์เซ็นต์ ดูดน้ำได้มากกว่าที่ 15 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ฟิล์มที่ผสมกับกากกาแพสูตร 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ทำการ vary PE-g-MA พบว่าผลของการใช้สารช่วยผสม PE-g-MA มีผลต่อการดูดซับน้ำของฟิล์ม LDPE ที่ผสมกับกากกาแพ เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมจะทำให้ฟิล์ม LDPE ที่ผสมกับกากกาแพดูดซับน้ำได้มากขึ้น สามารถยืนยันผลได้จาก รูปที่ 4.15 กราฟ (ก.) (ข.) (ค.) ทั้งนี้เนื่องจากสารช่วยผสม PE-g-MA อาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับกากกาแพได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร เนื่องจากวงแหวนแอนไฮดรารายของ PE-g-MA ที่ไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของกากกาแพ ทำให้เกิดพันธะเอสเทอร์เกิดขึ้น โดยพันธะเอสเทอร์ไม่แข็งแรง เมื่อเจอกับไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อน และความชื้น อาจจะทำให้พันธะเอสเทอร์เกิดการแตกออก ดังนั้นเมื่อใส่ PE-g-MA มากขึ้น จึงทำให้ฟิล์มดูดน้ำมากขึ้น ส่วน PE-g-MA อาจจะช่วยในเรื่องของการยึดเกาะได้ดีขึ้น แต่ไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของการดูดน้ำ

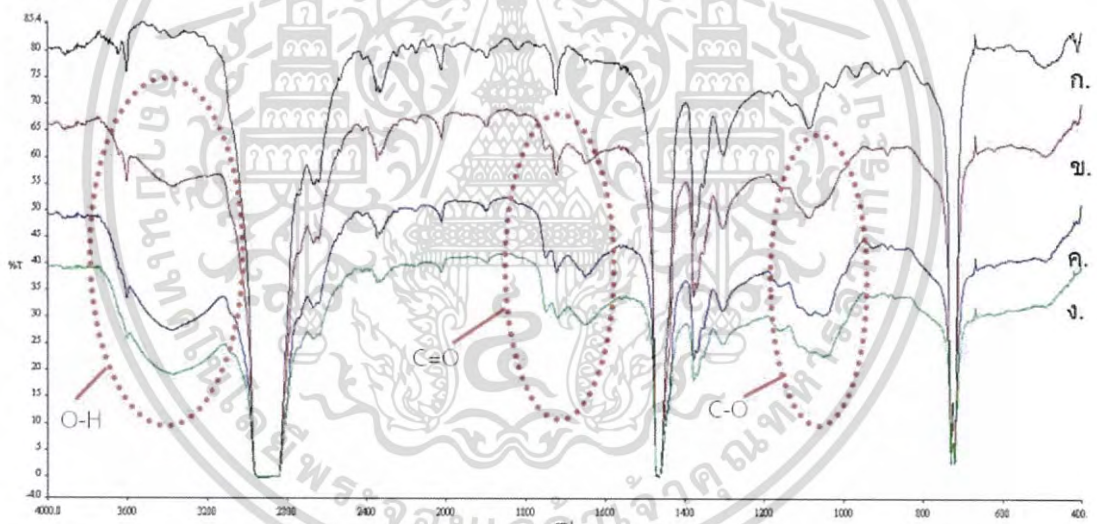


รูปที่ 4.16 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) LDPE บริสุทธิ์ (ข.) LDPE ผสมกากกาแฟที่อัตราส่วน 10% โดยน้ำหนัก (ค.) LDPE ผสมกากกาแฟที่อัตราส่วน 15% โดยน้ำหนัก (ง.) LDPE ที่ผสมกากกาแฟที่อัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก เลือกเฉพาะสูตรที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 4.16 (ข.) (ค.) และ (ง.) เมื่อนำไปทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำพบพีคที่แตกต่างกันตรงตำแหน่ง O-H ที่จะกว้างขึ้นตามปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกากกาแฟมีคุณสมบัติในการดูดน้ำหรือความชื้นได้ดี เพราะเป็นผลมาจากหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของกากกาแฟ เห็นได้ว่าจากรูป (ง.) ที่ปริมาณกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์ มีการดูดซึมน้ำหรือความชื้นมากที่สุด สังเกตได้จากหมู่ O-H ที่กว้างที่สุดตรงบริเวณพีค 3300 cm^{-1} ถ้าเทียบกับรูป (ข.) กับ (ค.) ส่วนรูป (ก.) ที่เป็น LDPE บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว และไม่มีสมบัติการดูดซึมน้ำ สังเกตได้จากไม่มีพีคของหมู่ O-H เกิดขึ้น

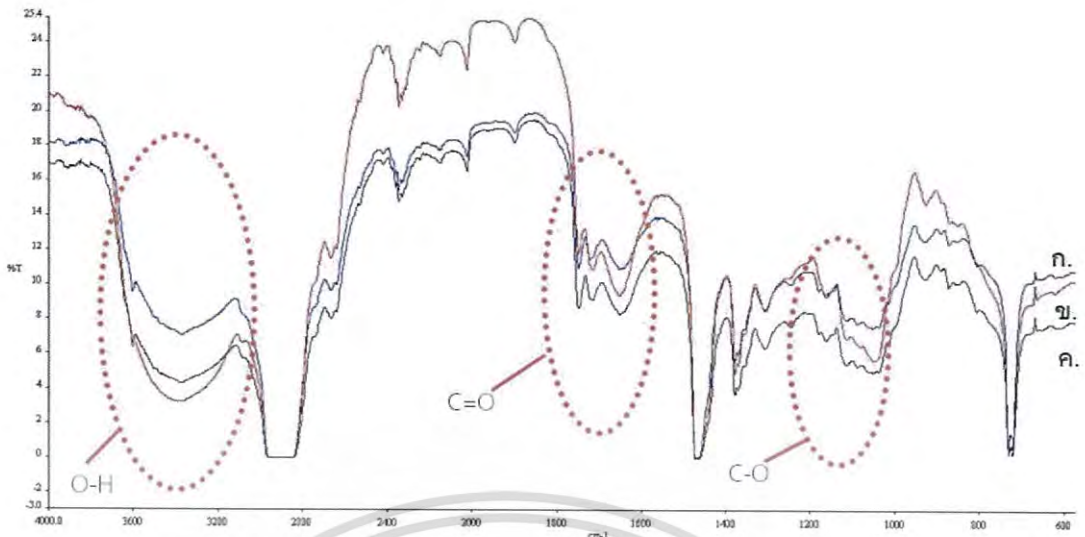


รูปที่ 4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) LDPE บริสุทธิ์ (ข.) กากกาแพที่ 10% ผสม PE-g-MA 3% โดยน้ำหนัก (ค.) กากกาแพที่ 10% ผสม PE-g-MA 4.5% โดยน้ำหนัก (ง.) กากกาแพที่ 10% ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.18 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) LDPE บริสุทธิ์ (ข.) กากกาแพที่ 15% ผสม PE-g-MA 4.5% โดยน้ำหนัก (ค.) กากกาแพที่ 15% ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก (ง.) กากกาแพที่ 15% ผสม PE-g-MA 7% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

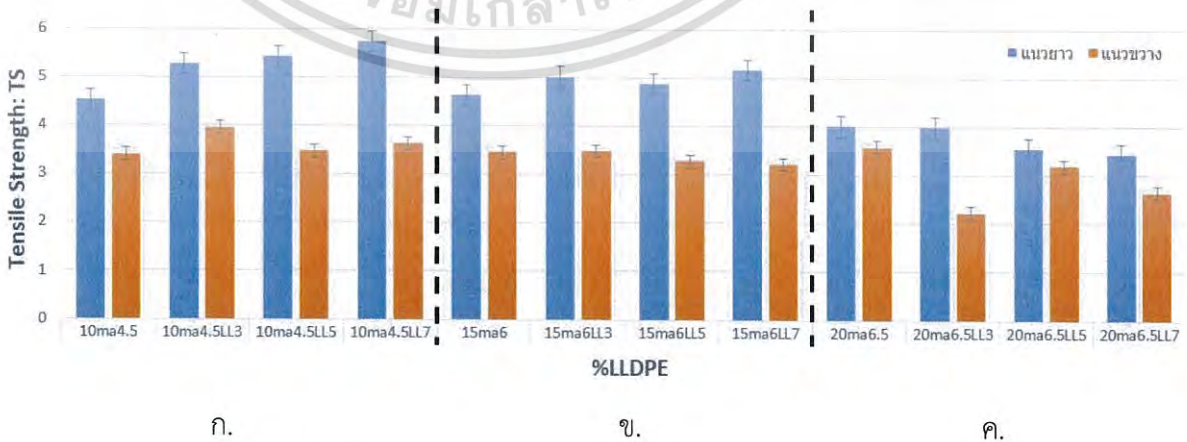


รูปที่ 4.19 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก.) กากกาแพที่ 20% ผสม PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก (ข.) กากกาแพที่ 20% ผสม PE-g-MA 6.5% โดยน้ำหนัก (ค.) กากกาแพที่ 20% ผสม PE-g-MA 7% โดยน้ำหนัก

เปรียบเทียบความแตกต่างของแผ่นฟิล์มที่ผสมกากกาแพในปริมาณตัวประสานที่แตกต่างกันในแต่ละสูตร เมื่อนำมาทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่าที่ปริมาณตัวประสาน (PE-g-MA) ที่เพิ่มขึ้นของกากกาแพในแต่ละสูตรมีการดูดซึมน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ดูได้จากพีคของหมู่ O-H ที่ประมาณ 3300 cm^{-1} มีขนาดที่กว้างขึ้นตามลำดับ นอกจากนี้ผลของ PE-g-MA สังเกตได้ว่า ปริมาณกากกาแพที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการดูดซึมน้ำน้อยสุด และที่ปริมาณกากกาแพ 20 เปอร์เซ็นต์ ดูดซึมน้ำมากที่สุดตามลำดับ ดังนั้นผลของ IR อาจบอกได้ว่า PE-g-MA อาจเข้าไปทำปฏิกิริยากับกากกาแพไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร อาจจะแค่ช่วยในเรื่องของการยึดเกาะที่ดีขึ้น แต่ไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของการดูดน้ำให้ลดน้อยลง

4.2.4 การศึกษาสมบัติเชิงกล

4.2.4.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength: TS)

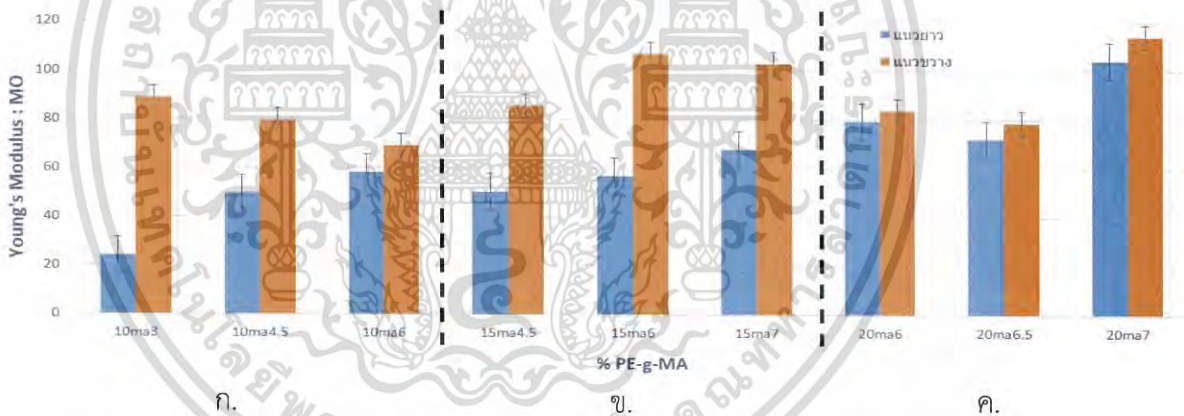


รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งแรงดึง ที่ปริมาณ PE-g-MA ต่างๆ โดยรูป (ก.) ฟิล์มผสมกากกาแพ 10% รูปเอกสารนี้ (ข.) ฟิล์มผสมกากกาแพ 15% และรูป (ค.) ฟิล์มผสมกากกาแพ 20% ตีหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง หรือ TS เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ PE-g-MA พบว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ กากาแฟใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า TS สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณ PE-g-MA มากขึ้นถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ค่า TS มีค่าลดลง ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ กากาแฟใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า TS สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณ PE-g-MA มากขึ้นถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ค่า TS มีค่าลดลง และที่ 20 เปอร์เซ็นต์ กากาแฟใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 6.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า TS สูงที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณ PE-g-MA มากขึ้นถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ค่า TS มีค่าลดลง

จึงสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ที่ผสม PE-g-MA จะทำให้ค่า TS เพิ่มขึ้นถึงจุดๆ หนึ่ง โดยยิ่งเพิ่มปริมาณกากกาแฟมากขึ้นจะต้องใช้ปริมาณ PE-g-MA มากขึ้น เนื่องจากเราใส่ PE-g-MA ไปเพื่อให้ MA ทำปฏิกิริยาจับกับ หมู่ O-H ของกากกาแฟ และ PE จับกับพอลิเมอร์เพื่อให้กากกาแฟกับพอลิเมอร์เข้ากันมากขึ้น แต่หากเพิ่มปริมาณมากเกินไปจะทำให้ค่า TS ลดลงเนื่องจาก MA ไม่มีกาแฟให้จับทำให้เกิดเป็นหมู่เกาะส่งผลให้ค่า TS ลดลง แต่หากไม่ใส่ PE-g-MA จะไม่สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้ ฟิล์มจะมีลักษณะเป็นรู ไม่สามารถเป่าลมให้ถุงพองออกได้ เพราะกากกาแฟนั้นมีขี้ ส่วนพอลิเมอร์นั้นไม่มีขี้จึงไม่สามารถเข้ากันได้

4.2.4.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส (Young's modulus: MO)



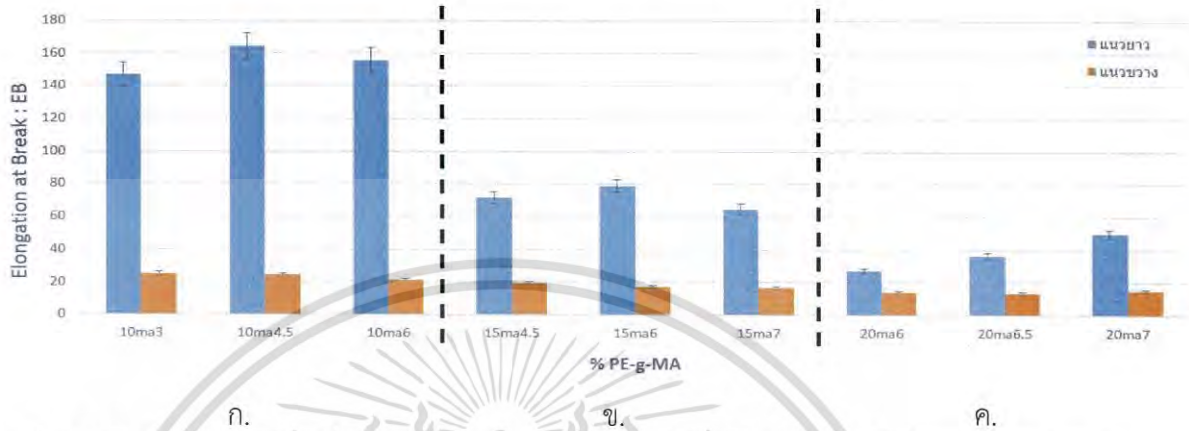
รูปที่ 4.21 ค่ามอดุลัสที่ปริมาณ PE-g-MA ต่างๆ โดยรูป (ก.) ฟิล์มผสมกากกาแฟ 10% รูป (ข.) ฟิล์มผสมกากกาแฟ 15% และรูป (ค.) ฟิล์มผสมกากกาแฟ 20%

จากรูปที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบค่ามอดุลัส หรือ MO เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ PE-g-MA พบว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ กากาแฟใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า MO สูงที่สุด ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ กากาแฟใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า MO สูงที่สุด และที่ 20 เปอร์เซ็นต์ กากาแฟใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า MO สูงที่สุด

จึงสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ที่ผสม PE-g-MA จะทำให้ค่า MO เพิ่มขึ้น โดยค่า MO จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากกาแฟและปริมาณ PE-g-MA มากขึ้น เนื่องจาก PE-g-MA มีวงแหวนแอนไฮดรอย เมื่อมีมากขึ้นจะทำให้ฟิล์มแข็งมากขึ้น และเมื่อกากาแฟมีมากขึ้นจะแข็งมากขึ้น เนื่องจากกากกาแฟเป็นของแข็ง ยิ่งใส่มากจะกระจายตัวได้ยาก จับกลุ่มกันเป็นก้อนไปแทรกตัวในสายโซ่ และจากข้อมูลทาง

สัณฐานวิทยาเห็นว่าพื้นผิวฟิล์มไม่สม่ำเสมอ กากกาแพบางส่วนแยกตัวออกมาอยู่บนพื้นผิว ส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่า MO มากขึ้น แต่ค่า TS และ EB จะลดลง

4.2.4.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด (Elongation at break: EB)



รูปที่ 4.22 ค่าร้อยละการยืดที่จุดขาดที่ปริมาณ PE-g-MA ต่างๆ โดยรูป (ก.) ฟิล์มผสมกากกาแพ 10% รูป (ข.) ฟิล์มผสมกากกาแพ 15% และรูป (ค.) ฟิล์มผสมกากกาแพ 20%

จากรูปที่ 4.22 แสดงผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดที่จุดขาดหรือ EB เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ PE-g-MA พบว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า EB สูงที่สุด รองลงมาคือ 6 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับที่ 15 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า EB สูงที่สุด รองลงมาคือ 7 และ 4.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ 20 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 6.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า EB สูงที่สุด รองลงมาคือ 7 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ที่ผสม PE-g-MA จะทำให้ค่า EB เพิ่มขึ้นถึงจุดๆ หนึ่ง แต่หากเพิ่มปริมาณมากเกินไปจะทำให้ค่า EB ลดลง เนื่องจาก MA ไม่มีกากกาแพให้จับทำให้เกิดเป็นหมู่เกาะทำให้เกิดระยะห่างระหว่างสายโซ่ทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ลดลง ส่งผลให้ค่า EB ลดลง ดึงยึดได้น้อยลง และยิ่งเพิ่มปริมาณกากกาแพมากขึ้นจะทำให้ค่า EB ลดลง เพราะจากภาพทางสัณฐานวิทยาทำให้เห็นว่ากากกาแพยิ่งมากจะยิ่งกระจายตัวยาก เกาะกันเป็นก้อนทำให้เกิดช่องว่างในพอลิเมอร์มาก ส่งผลให้เมื่อดึงยึดขาดง่ายขึ้น

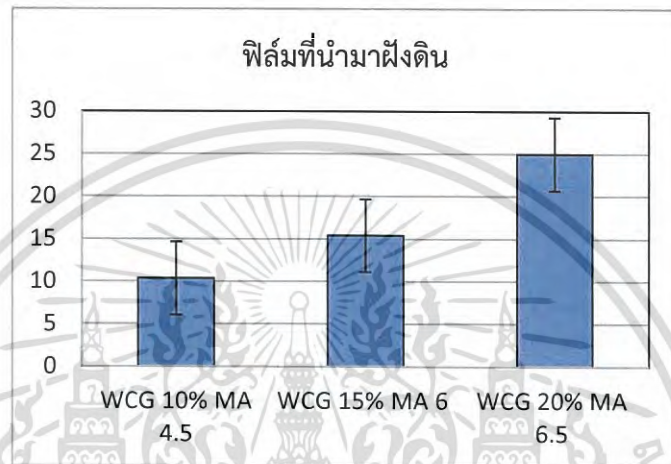
4.2.5 สมบัติการย่อยสลาย

การทดสอบการย่อยสลายของของฟิล์มที่ทำการเป่าขึ้นรูปจากเม็ดพลาสติก LDPE ที่ผสมกับกากกาแพและสารต่างๆ โดยใช้วิธีการฝังดินและดูสมบัติทางสัณฐานวิทยาคือการส่อง SEM โดยจะมีการนำฟิล์มที่ผสมกับกากกาแพไปฝังดินเป็นเวลา 1 เดือนครึ่ง เพื่อดูการย่อยสลายพบว่าเมื่อนำฟิล์มพลาสติก LDPE ที่ผสมกากกาแพมาชั่งน้ำหนักหลังจากการฝังดินมีน้ำหนักลดลงจากก่อนที่จะนำไปฝังดิน เนื่องจากว่ากากกาแพหายไปบางส่วนเกิดจากการกัดกินของจุลินทรีย์และแบคทีเรียในดินและพบว่าเมื่อใส่กากกาแพในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้เกิดการย่อยสลายได้มากกว่าฟิล์มที่มีการใส่ปริมาณกากกาแพน้อย แสดงได้ดังรูปที่ 4.23 เนื่องจากเมื่อใส่กากกาแพมากขึ้น จุลินทรีย์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียในดินจะไปกัดกินได้มากขึ้นจึงส่งผลให้น้ำหนักของฟิล์มลดลง และเมื่อนำฟิล์มหลังจากการฝังดินไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง (Tensile) พบว่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงจากก่อนที่ยังไม่ได้ฝังดินโดยสังเกตได้รูปที่ 2 และเมื่อนำฟิล์มที่ฝังดินไปทดสอบบัติทางสัณฐานวิทยาพบว่า บนผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะเป็นรูหรือ ช่องว่าง เหมือนเม็ดกาแฟเกิดการย่อยสลาย แสดงดังรูปที่ 4.24 - 4.27 ดังนั้นจึงส่งผลให้น้ำหนักของฟิล์มลดลงและมีสมบัติความแข็งแรงดึงลดลง

การทดลองนี้ไม่ได้ทำทุกสูตร เลือกเฉพาะสูตรที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดของปริมาณกากกาแฟ 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แสดงดังรูป 4.23

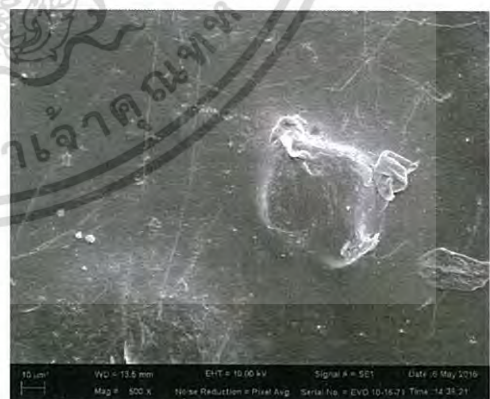


รูปที่ 4.23 แสดงน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มที่นำไปฝังดินของ WCG 10% PE-g-MA 4.5% WCG 15% PE-g-MA 6% และ WCG 20% PE-g-MA ที่ 6.5% โดยน้ำหนัก

4.2.5.1 สัณฐานวิทยาของการย่อยสลาย



ก.



ข.

รูปที่ 4.24 รูป SEM แสดงการกระจายตัวและการย่อยสลายของกากกาแฟ รูป (ก.) 10% WCG NO LLDPE ที่ 100 μm รูป (ข.) 10% WCG NO LLDPE ที่ 10 μm ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก.

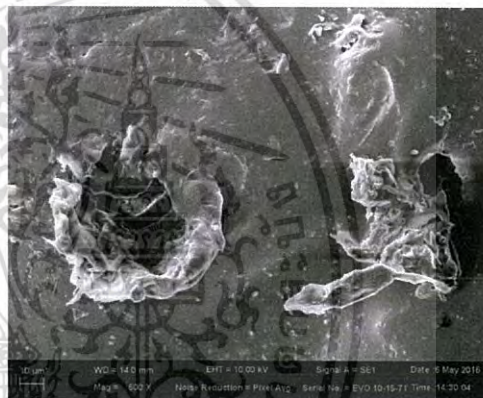


ข.

รูปที่ 4.25 รูป SEM แสดงการกระจายตัวและการย่อยสลายของกากกาแฟ รูป (ก.) 15% WCG NO LLDPE ที่ 100 μm NO LLDPE รูป (ข.) 15% WCG ที่ 10 μm ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ

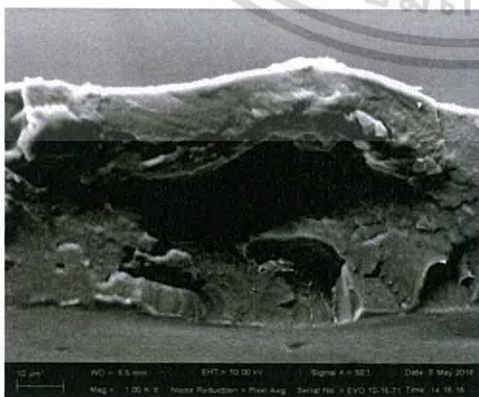


ก.

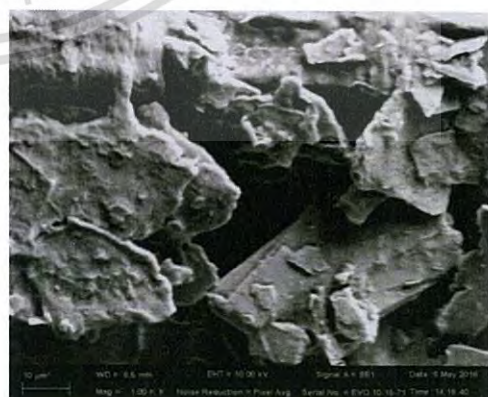


ข.

รูปที่ 4.26 รูป SEM แสดงการกระจายตัวและการย่อยสลายของกากกาแฟ รูป (ก.) 20% WCG NO LLDPE ที่ 100 μm รูป (ข.) 20% WCG NO LLDPE ที่ 10 μm ที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า ตามลำดับ



ก.



ข.

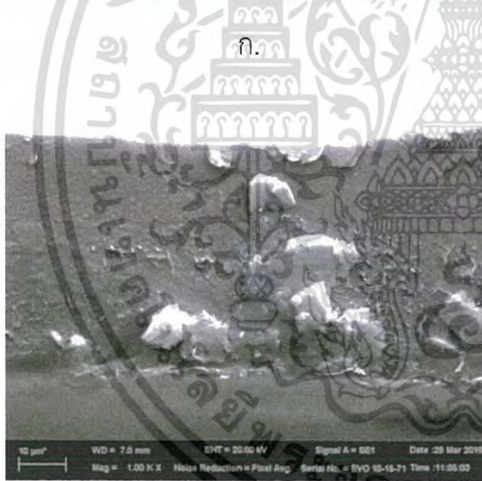
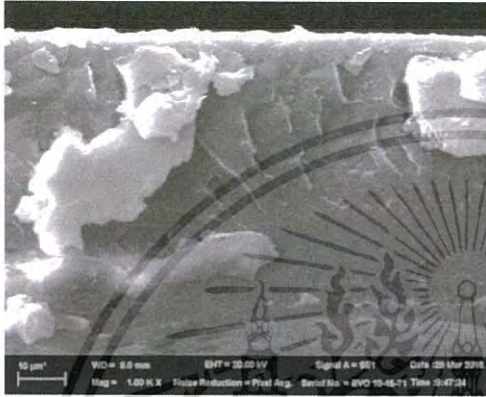
รูปที่ 4.27 รูป SEM แสดงการยึดเกาะของการย่อยสลายของกากกาแฟ 10 μm ที่กำลังขยาย 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเติม LLDPE

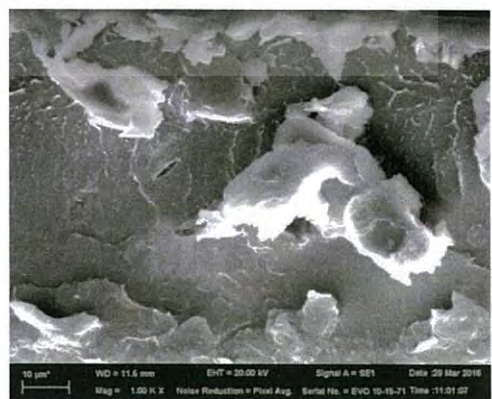
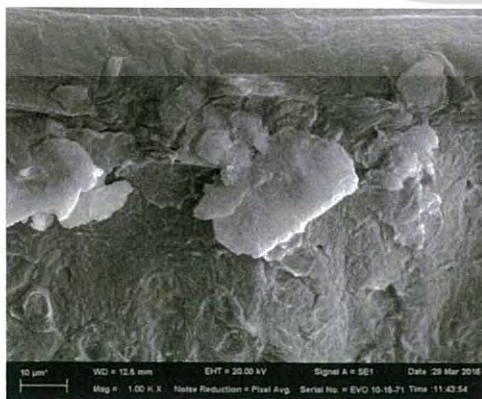
4.3.1 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

เมื่อนำมาปรับปรุงสมบัติของชิ้นงาน โดยการเติมปริมาณ LLDPE ในอัตราส่วน 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ลงในปริมาณกากกาแฟที่ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก โดยคาดว่า LLDPE ที่เติมลงไปจะช่วยให้การปรับปรุงสมบัติในการขึ้นรูปชิ้นงาน และสามารถนำไปใช้งานได้ มีความเหนียวมากขึ้นไม่ขาดง่าย และสามารถเข้ากับตัวประสานได้ดี เพราะส่วนประกอบของ LLDPE เหมือนกันดังรูปที่ 4.24



ค.

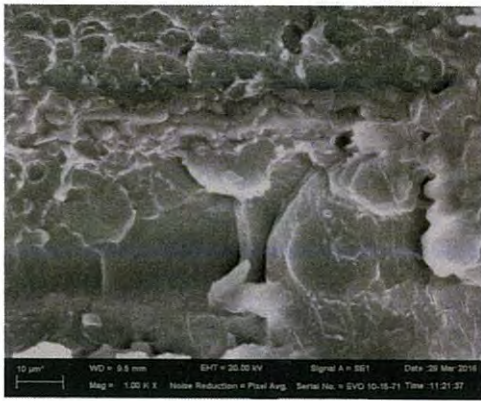
ง.



จ.

ฉ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข.



ค.



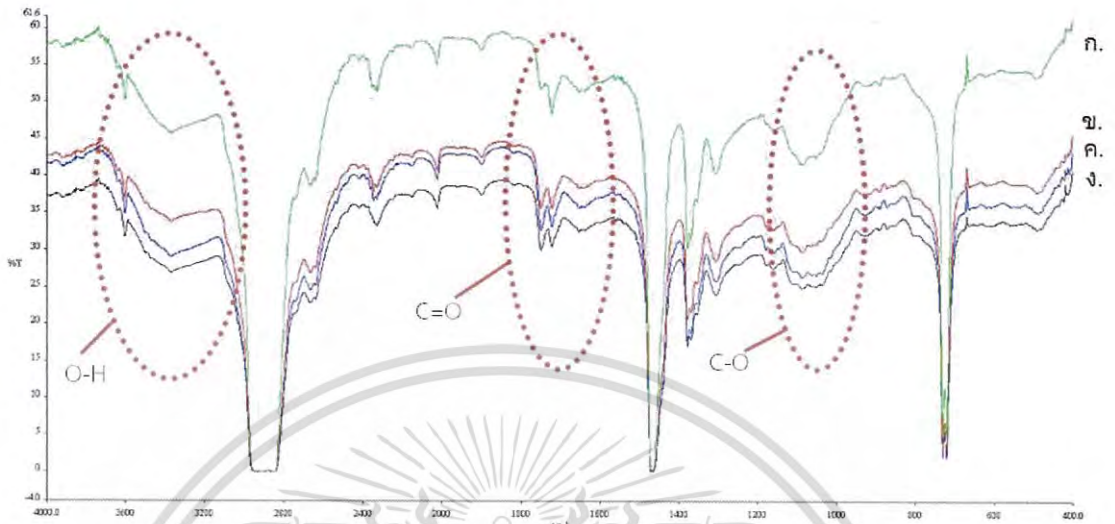
ง.

รูปที่ 4.28 จากภาพ SEM แสดงผลการยึดเกาะของกากกาแฟกับพอลิเมอร์ที่ผสม LLDPE รูป (ก.) (ข.) และ (ค.) ปริมาณกากกาแฟที่ 10% รูป (ง.) (จ.) และ (ฉ.) ปริมาณกากกาแฟที่ 15% รูป (ช.) (ซ.) และ (ฅ.) ปริมาณกากกาแฟที่ 20% โดยน้ำหนัก ผสม LLDPE 3% 5% 7% ที่ 10 μm กำลังขยาย 1000 เท่า จากรูป (ก.) (ข.) (ค.) ที่ 10% LLDPE

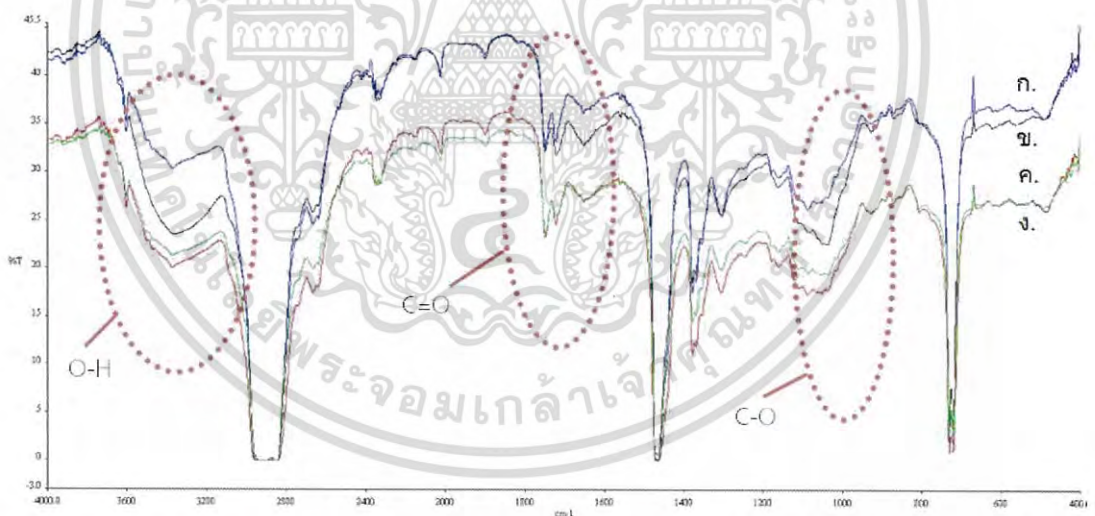
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สมบัติทางเคมี

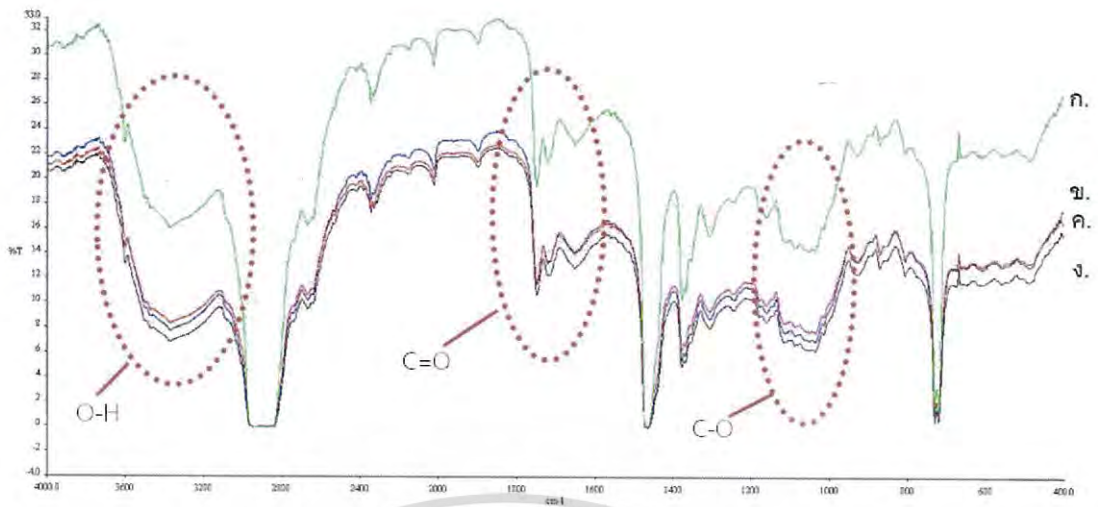
- การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน



รูปที่ 4.29 อินฟราเรดสเปกตรัมของกากกาแฟที่ 10% ผสม PE-g-MA 4.5% ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติม LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ (ก.) LLDPE 7% โดยน้ำหนัก (ข.) LLDPE 5% โดยน้ำหนัก (ค.) LLDPE 3% เทียบกับ รูป (ง.) กากกาแฟ 10% NO LLDPE



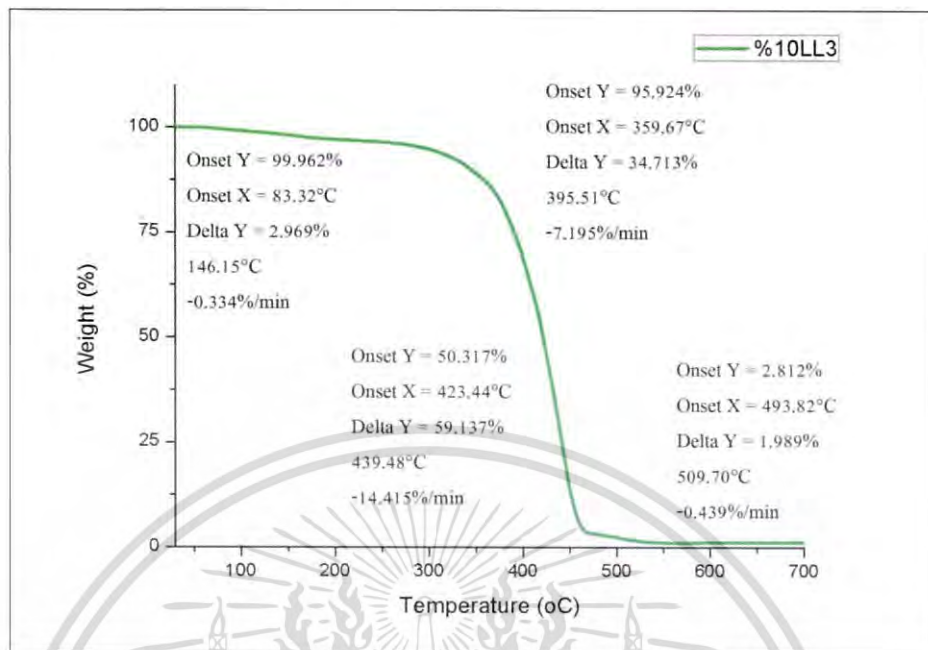
รูปที่ 4.30 อินฟราเรดสเปกตรัมของกากกาแฟที่ 15% ผสม PE-g-MA 6% ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติม LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ บริสุทธิ์ (ก.) LLDPE 7% โดยน้ำหนัก (ข.) LLDPE 5% โดยน้ำหนัก (ค.) LLDPE 3% โดยน้ำหนัก เทียบกับ รูป (ง.) กากกาแฟ 15% No LLDPE



รูปที่ 4.31 อินฟราเรดสเปกตรัมของกากกาแฟที่ 20% ผสม PE-g-MA 6.5% ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติม LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ บริสุทธิ์ (ก.) LLDPE 7% โดยน้ำหนัก (ข.) LLDPE 5% โดยน้ำหนัก (ค.) LLDPE 3% โดยน้ำหนัก เทียบกับรูป (ง.) กากกาแฟ 15% NO LLDPE

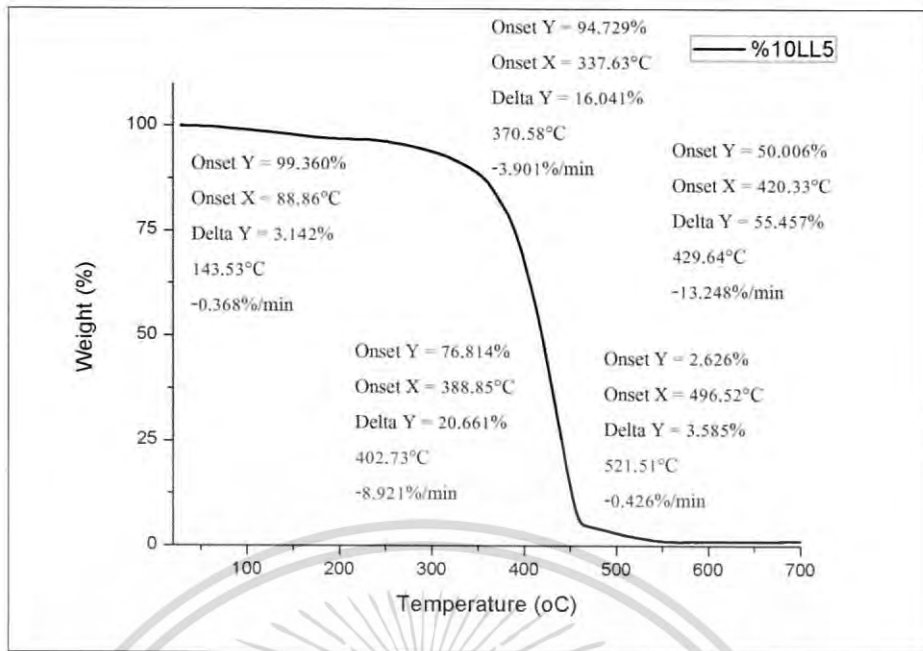
จากรูปอินฟราเรดสเปกตรัมที่ทำการปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์มโดยเติมปริมาณ LLDPE ในอัตราส่วน 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ผลของ IR ทำให้ทราบว่าที่ปริมาณ LLDPE ที่ 7 เปอร์เซ็นต์ พบพีกของหมู่ O-H ที่แคบที่สุด จากรูป (ก.) เนื่องจากผลของ LLDPE ที่เติมเข้าไปอาจทำให้การยึดเกาะของกากกาแฟกับตัวประสานเข้ากันได้มากขึ้น เนื่องจากมีโครงสร้างของ LLDPE ที่เหมือนกัน อาจเกิดการจับกันของ Maleic anhydride กับเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของกากกาแฟได้ดีขึ้น เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ส่งผลให้หมู่ O-H ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับรูป (ง.) ที่ก่อนเติม LLDPE จะแสดงพีก O-H ที่กว้างกว่าอย่างเห็นได้ชัด

- การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน



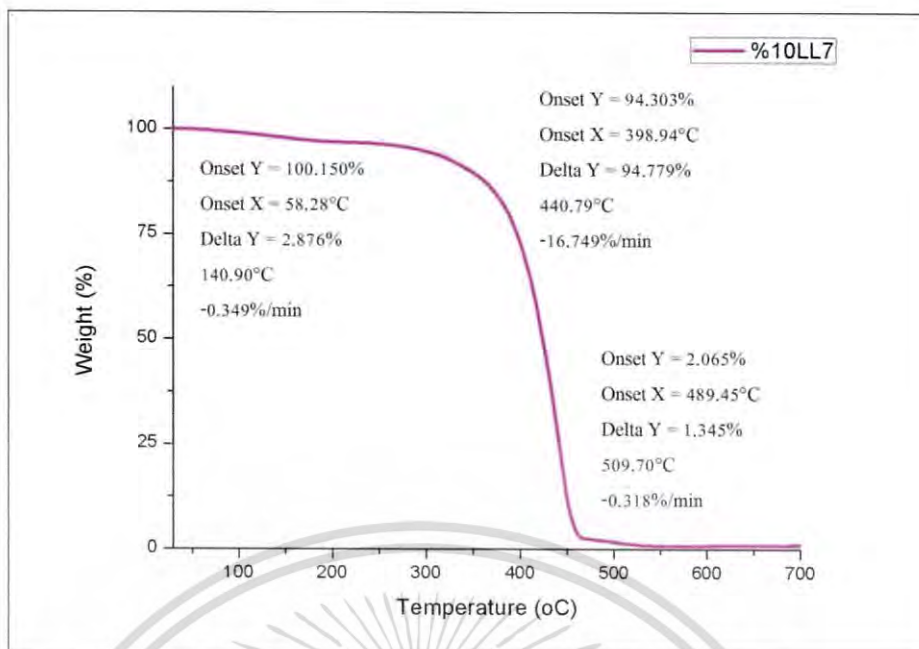
รูปที่ 4.32 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 10% LLDPE 3%

จากรูปที่ 4.32 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 10 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-210 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.969 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 210-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 93.85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดในช่วงอุณหภูมิ 480-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 1.989 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.192 เปอร์เซ็นต์



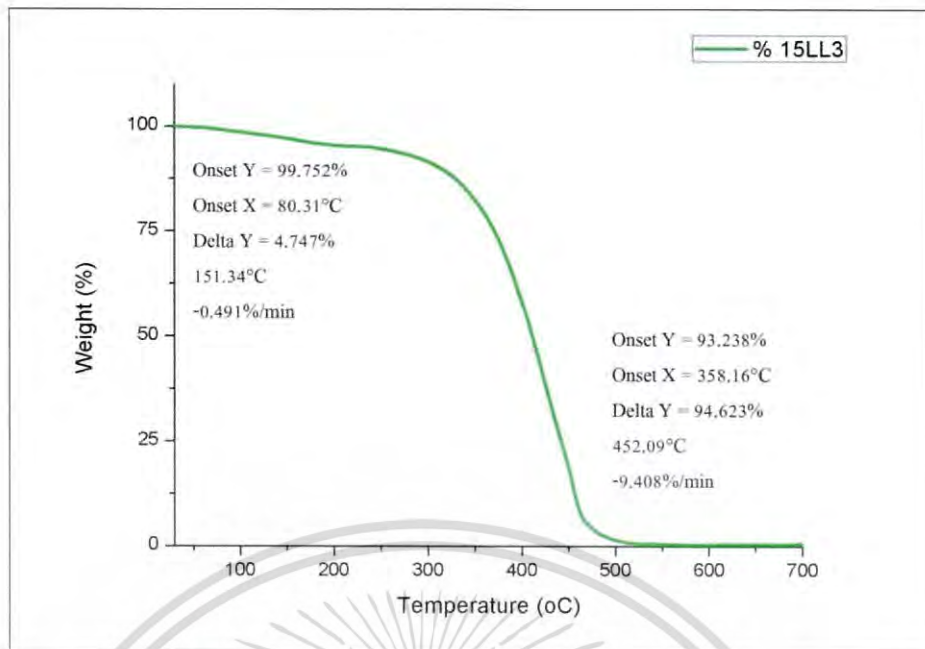
รูปที่ 4.33 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 10% LLDPE 5%

จากรูปที่ 4.33 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 10 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-210 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 3.142 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 210-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 92.159 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดที่ช่วงอุณหภูมิ 480-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 3.585 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.114 เปอร์เซ็นต์



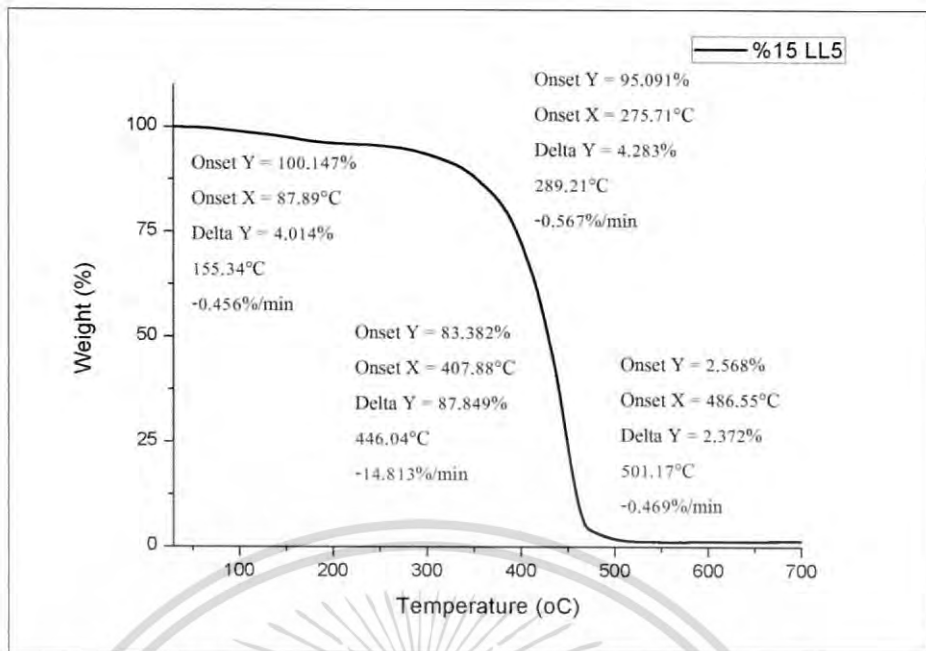
รูปที่ 4.34 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 10% LLDPE 7%

จากรูปที่ 4.34 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 10 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-190 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.876 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 190-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 94.779 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดที่ช่วงอุณหภูมิ 480-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 1.345 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1 เปอร์เซ็นต์



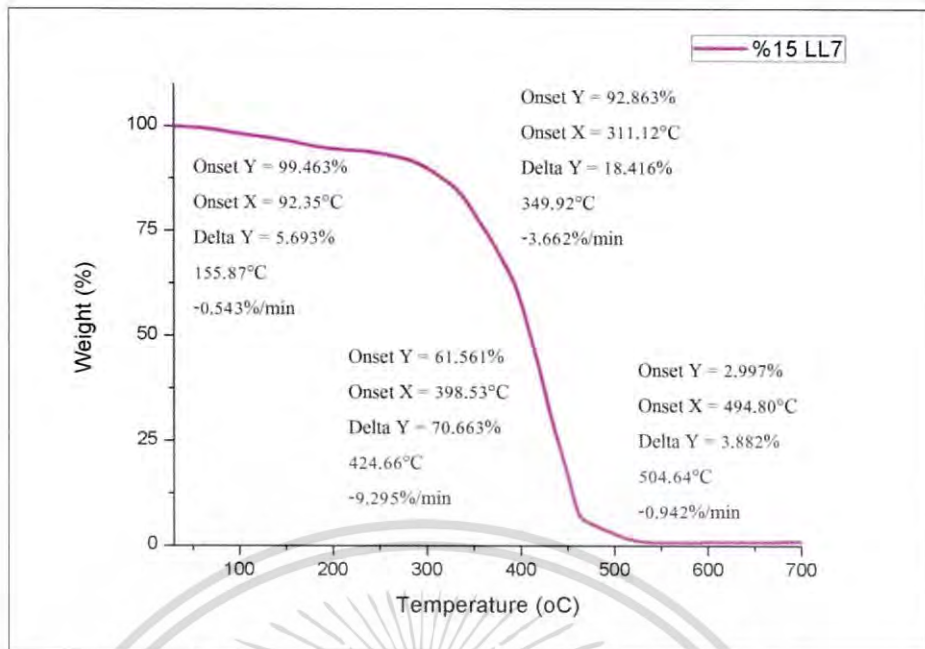
รูปที่ 4.35 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 15% LLDPE 3%

จากรูปที่ 4.35 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 15 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-220 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 4.747 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 190-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-540 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 94.623 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 0.63 เปอร์เซ็นต์



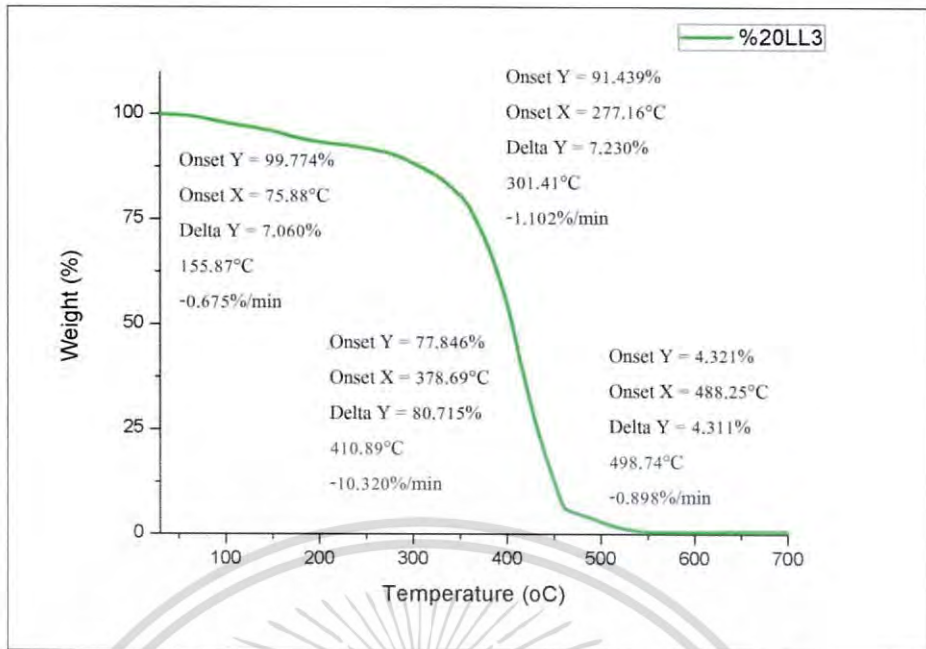
รูปที่ 4.36 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 15% LLDPE 5%

จากรูปที่ 4.36 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 15 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-220 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 4.014 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 200-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 92.132 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดในช่วงอุณหภูมิ 480-530 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.372 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.482 เปอร์เซ็นต์



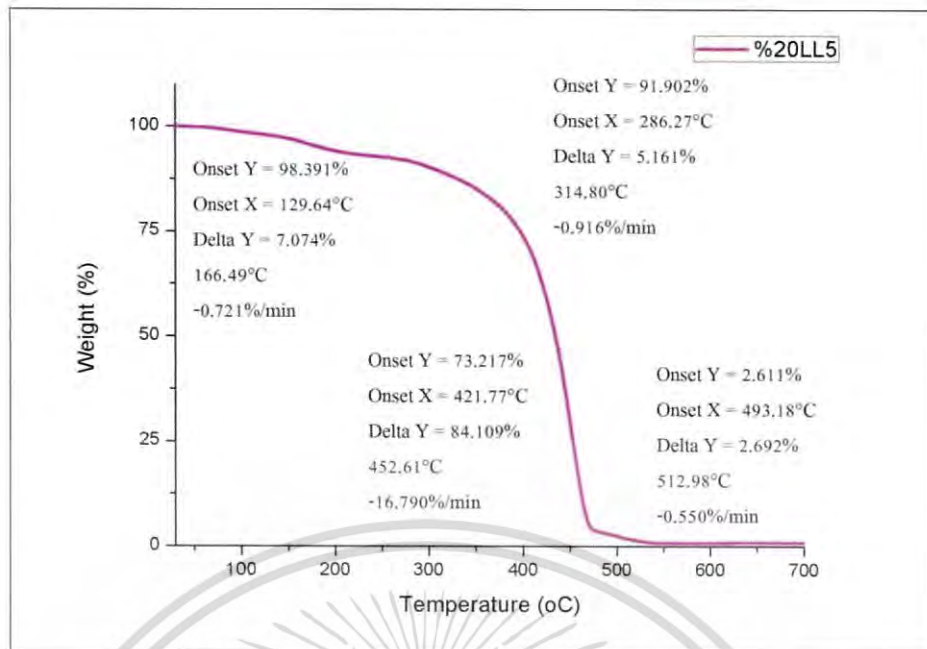
รูปที่ 4.37 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 15% LLDPE 7%

จากรูปที่ 4.37 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 15 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-220 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 5.693 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 220-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 89.079 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดที่ช่วงอุณหภูมิ 480-530 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 3.882 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 1.346 เปอร์เซ็นต์



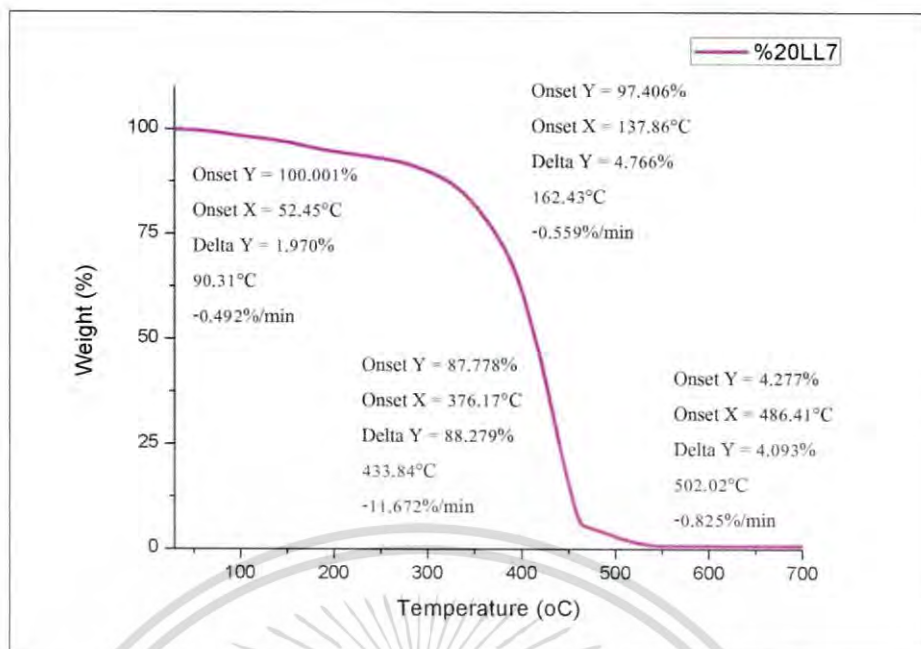
รูปที่ 4.38 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 20% LLDPE 3%

จากรูปที่ 4.38 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 20 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-220 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 7.060 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 220-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 87.945 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดในช่วงอุณหภูมิ 480-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 4.311 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 0.684 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.39 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 20% LLDPE 5%

จากรูปที่ 4.39 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 20 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-240 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 7.074 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 240-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 89.27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการสลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดในช่วงอุณหภูมิ 480-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญหายไป 2.692 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 0.964 เปอร์เซ็นต์

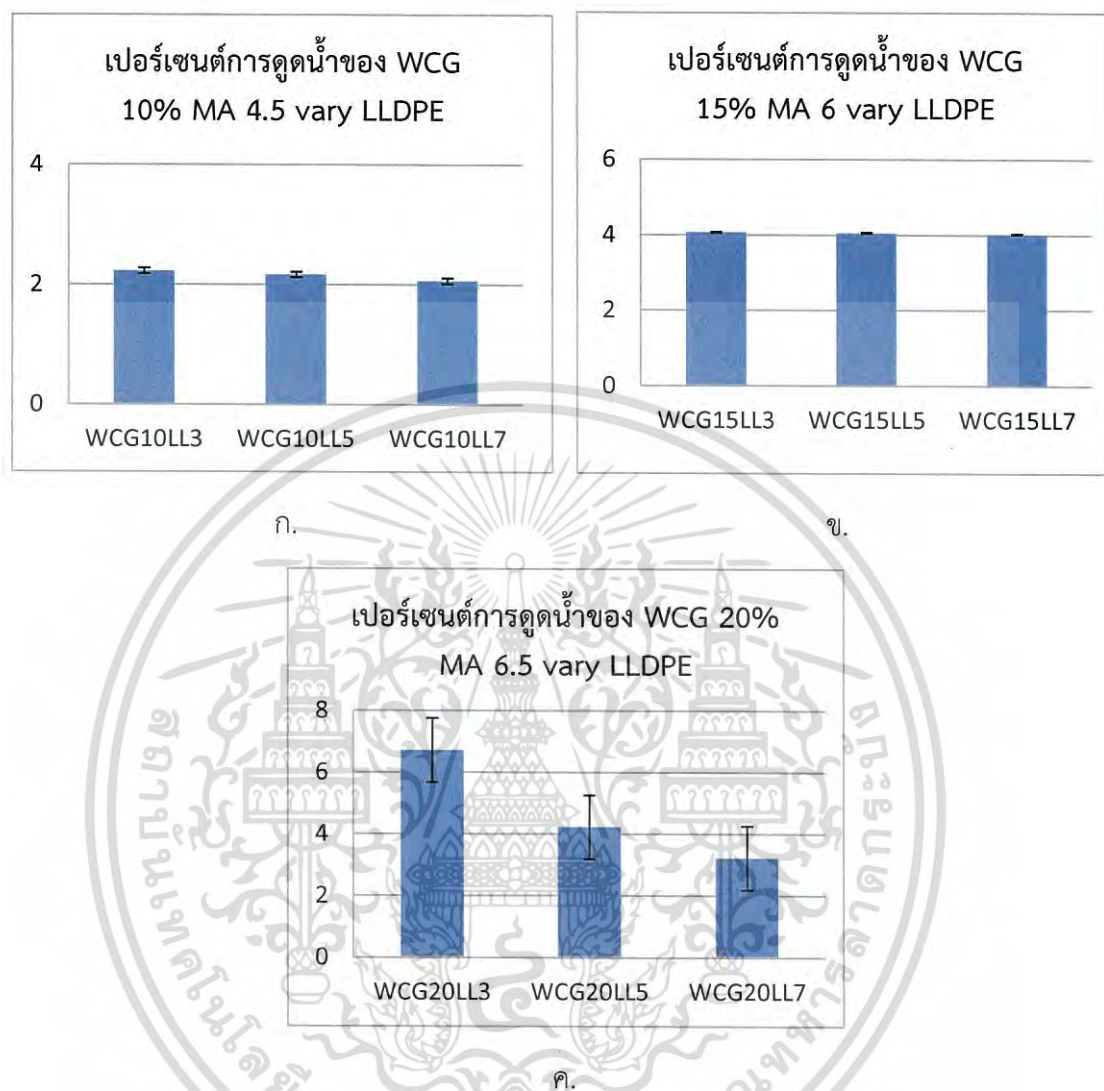


รูปที่ 4.40 แสดงกราฟ TGA ของ WCG 20% LLDPE 7%

จากรูปที่ 4.40 แสดงกราฟระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปกับอุณหภูมิของฟิล์มที่ผสม WCG 20 เปอร์เซ็นต์ LLDPE 7 เปอร์เซ็นต์ พบว่าช่วงแรกเป็นการสลายตัวของความชื้น และสารระเหยอื่นๆ บางส่วนที่อุณหภูมิ 50-240 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญเสียไป 6.736 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่สองเป็นการสลายตัวของกลีเซอรอล และสารระเหยอื่นๆ ส่วนที่เหลือที่อุณหภูมิ 240-290 องศาเซลเซียส ส่วนกากกาแฟสลายตัวที่อุณหภูมิ 250-470 องศาเซลเซียส และการสลายตัวของ LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่อุณหภูมิ 360-470 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญเสียไป 88.279 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่สามเป็นการ สลายตัวของกากกาแฟ, LDPE, PE-g-MA และ LLDPE ที่ยังสลายตัวไม่หมดที่ช่วงอุณหภูมิ 480-540 องศาเซลเซียส คิดเป็นส่วนน้ำหนักที่สูญเสียไป 4.093 เปอร์เซ็นต์ และเหลือส่วนที่ไม่เกิดการสลายตัว 0.892 เปอร์เซ็นต์

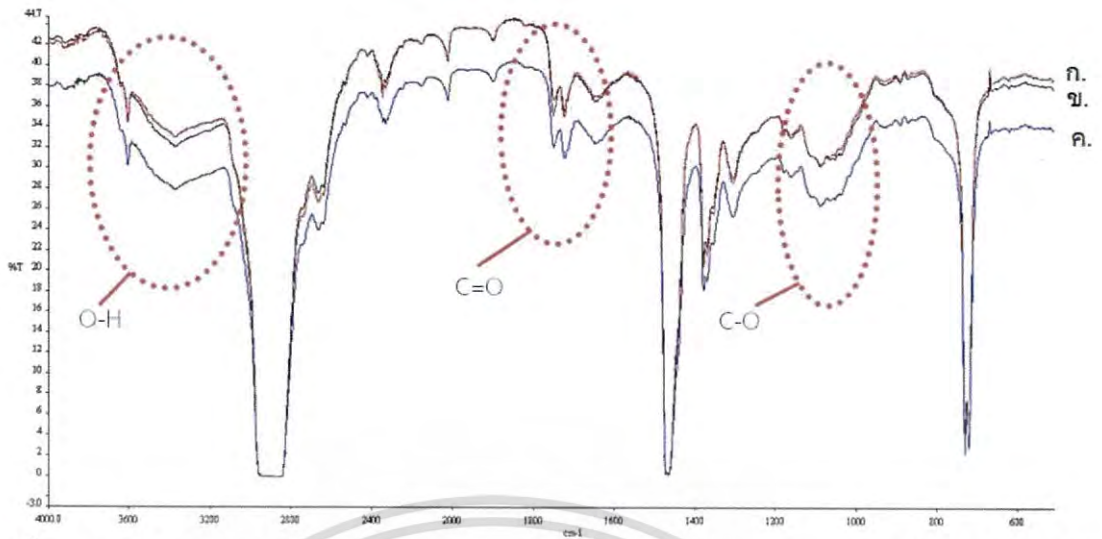
จากรูปที่ 4.32-4.40 เป็นการแสดงผลกราฟ TGA ของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่ทำการปรับปรุงสมบัติโดยเติม LLDPE ลงไปในปริมาณที่ต่างกัน คือ 3 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก พบว่าการเติม LLDPE ในปริมาณที่มากขึ้นไม่มีผลต่อการปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อน เนื่องจากรูปที่ 4.32-4.40 แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟมีลักษณะเหมือนกัน และอาจเกิดจากการที่เติม LLDPE ในปริมาณที่น้อยมากจึงทำให้การเติม LLDPE ในปริมาณที่มากขึ้น ไม่มีผลต่อปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อน

4.3.3 สมบัติทางกายภาพ -สมบัติการดูดซับน้ำ

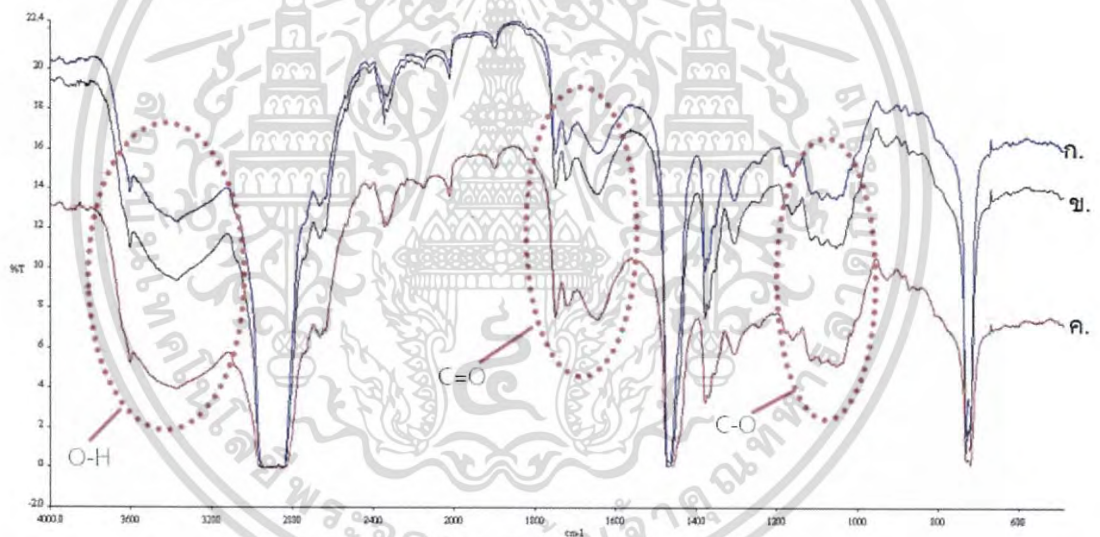


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแพะ รูป (ก.) 10% WCG MA 4.5 vary LLDPE รูป (ข.) 15% WCG MA 6 vary LLDPE รูป (ค.) 20% WCG MA 6.5 vary LLDPE

จากรูปที่ 4.41 เป็นการแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของฟิล์มที่ผสมกับกากกาแพะ ที่มีการปรับปรุงสมบัติโดยเติม LLDPE ในปริมาณที่ 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ลงไปจะทำให้ฟิล์มมีความเหนียวมากขึ้น และพบว่าเมื่อมีการเติม LLDPE ลงไปจะทำให้ฟิล์มมีการดูดน้ำน้อยลง เนื่องจากกว่า PE-g-MA อาจจะไปจับกับ LLDPE และกากกาแพะได้ดีจึงทำให้มีหมู่ไฮดรอกซิลลดลง ฟิล์มจึงดูดซับน้ำได้น้อยลง

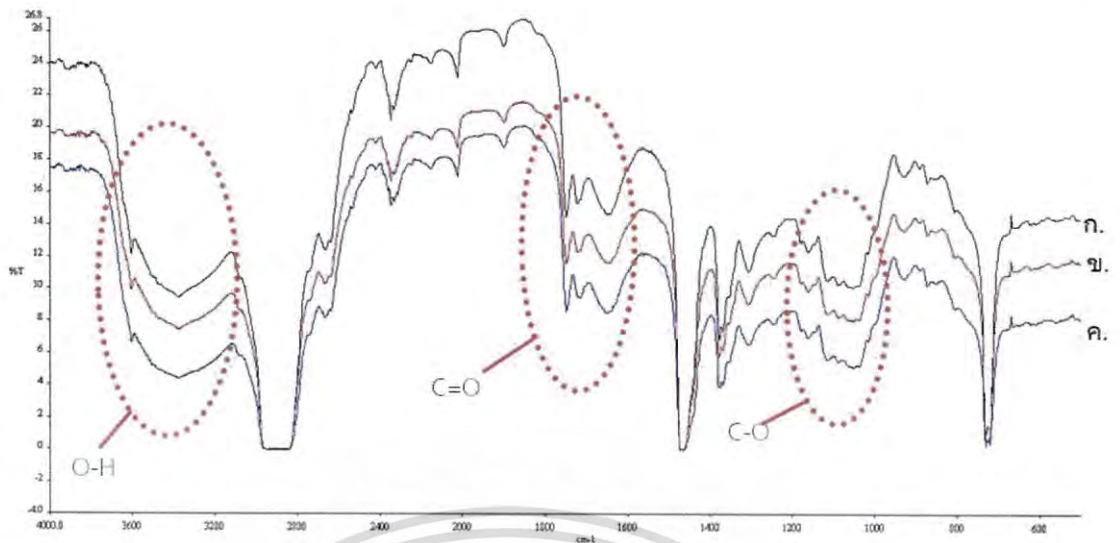


รูปที่ 4.42 อินฟราเรดสเปกตรัมของกากกาแพะที่ 10% ผสม PE-g-MA 4.5% ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติม LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ (ก.) LLDPE 7% โดยน้ำหนัก (ข.) LLDPE 5% โดยน้ำหนัก (ค.) LLDPE 3% โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.43 อินฟราเรดสเปกตรัมของกากกาแพะที่ 15% ผสม PE-g-MA 6% ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติม LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ บริสุทธิ์ (ก.) LLDPE 7% โดยน้ำหนัก (ข.) LLDPE 5% โดยน้ำหนัก (ค.) LLDPE 3% โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

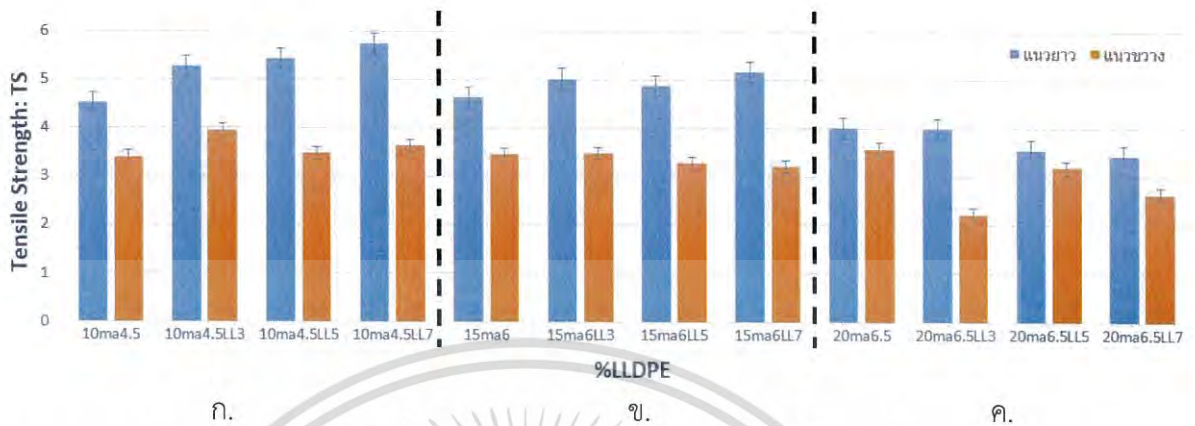


รูปที่ 4.44 อินฟราเรดสเปกตรัมของกากกาแฟที่ 20% ผสม PE-g-MA 6.5% ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติม LLDPE ในอัตราส่วนต่างๆ บริสุทธิ์ (ก.) LLDPE 7% โดยน้ำหนัก (ข.) LLDPE 5% โดยน้ำหนัก (ค.) LLDPE 3% โดยน้ำหนัก

จากรูปอินฟราเรดสเปกตรัมที่ทำการปรับปรุงสมบัติของแผ่นฟิล์มโดยเติมปริมาณ LLDPE ในอัตราส่วน 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ผลของ IR ทำให้ทราบว่าที่ปริมาณ LLDPE ที่ 7 เปอร์เซ็นต์ พบการดูดซึมน้ำลดน้อยลง สังเกตได้จากหมู่ O-H ที่แคบที่สุด จากรูป (ก.) ของแต่ละสูตร เนื่องจากผลของ LLDPE ที่เติมเข้าไปอาจทำให้การยึดเกาะของกากกาแฟกับตัวประสานเข้ากันได้มากขึ้น เนื่องจากมีโครงสร้างของ LLDPE ที่เหมือนกัน อาจเกิดการจับกันของ Maleic anhydride กับเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของกากกาแฟได้ดีขึ้น เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ส่งผลให้หมู่ O-H ลดลง จึงทำให้การดูดซึมน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟลดลงตามปริมาณ LLDPE ที่มากขึ้นตามลำดับ

4.3.4 สมบัติเชิงกล

4.3.4.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength: TS) หลังผสม LLDPE

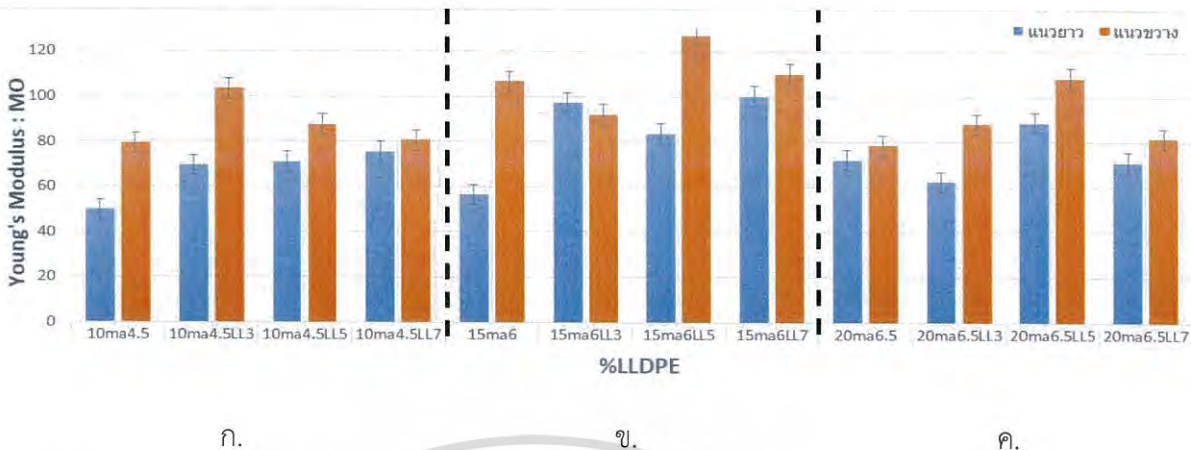


รูปที่ 4.45 ค่าความแข็งแรงดึง ที่ปริมาณ LLDPE ต่างๆ โดยรูป (ก.) फिल्मผสมกากกาแพ 10% รูป (ข.) फिल्मผสมกากกาแพ 15% และรูป (ค.) फिल्मผสมกากกาแพ 20%

จากรูปที่ 4.45 แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง หรือ TS เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ LLDPE พบว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณ เท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า TS สูงที่สุด รองลงมาคือ 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า TS สูงที่สุด รองลงมาคือ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งตามทฤษฎีแล้ว ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ควรที่จะมีค่า TS สูงกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องมาจากการกระจายตัวของกากกาแพในเนื้อพอลิเมอร์กระจายตัวได้ไม่ดี ทำให้มีการจับตัวกันเป็นก้อนของกากกาแพไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้ความแข็งแรงลดลง จึงทำให้ทราบว่าที่ 5 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีความกระจายตัวของกากกาแพที่ไม่ดีที่ 20 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า TS สูงที่สุด รองลงมาคือ 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับซึ่งหลังจากการเติม LLDPE ความแข็งแรงดึงต่ำกว่าก่อนเติม เป็นผลมาจากที่ 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกากกาแพมากทำให้การกระจายตัวแย่ และมีปริมาณของแข็งในเนื้อพอลิเมอร์ที่มากกว่าทำให้ความแข็งแรงใน 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำที่สุด และค่า TS ไม่เป็นไปตามทฤษฎี

จึงสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ LLDPE มากขึ้นจะทำให้ค่า TS มีแนวโน้มที่มากขึ้น

4.3.4.2 ผลการทดสอบค่ามอดุลัส (Young's modulus : MO) หลังผสม LLDPE

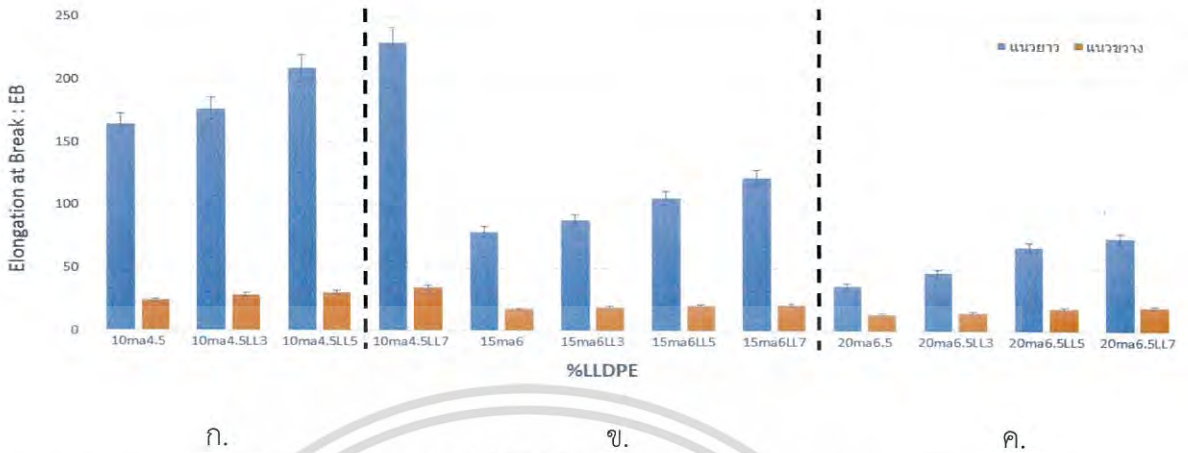


รูปที่ 4.46 ค่ามอดุลัสที่ปริมาณ LLDPE ต่างๆ โดยรูป (ก.) फिल्मผสมกากกาแพ 10% รูป (ข.) फिल्मผสมกากกาแพ 15% และรูป (ค.) फिल्मผสมกากกาแพ 20%

จากรูปที่ 4.46 แสดงผลการทดสอบค่าร้อยละการยึดที่จุดขาดหรือ MO เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ LLDPE พบว่าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า MO สูงที่สุด รองลงมาคือ 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับที่ 15 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า MO สูงที่สุด รองลงมาคือ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ 20 เปอร์เซ็นต์ กากกาแพใส่ PE-g-MA ปริมาณเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า MO สูงที่สุด รองลงมา คือ 7 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จึงสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ที่ผสม LLDPE จะทำให้ค่า MO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะ LLDPE มีความเป็นผลึกเมื่อเพิ่มเข้าไปทำให้พอลิเมอร์แข็งขึ้น แต่เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่ดีมากขึ้นเมื่อปริมาณ กากกาแพมากขึ้นทำให้กากกาแพเกาะกันเป็นก้อนทำให้ฟิล์มแข็งขึ้น และแข็งแรงลดลงและทำให้ใน 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ผลไม่เป็นไปตามทฤษฎี

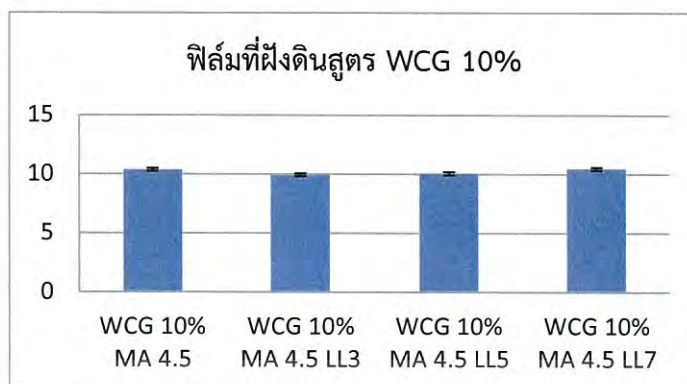
4.3.4.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด (Elongation at break: EB) หลังผสม LLDPE



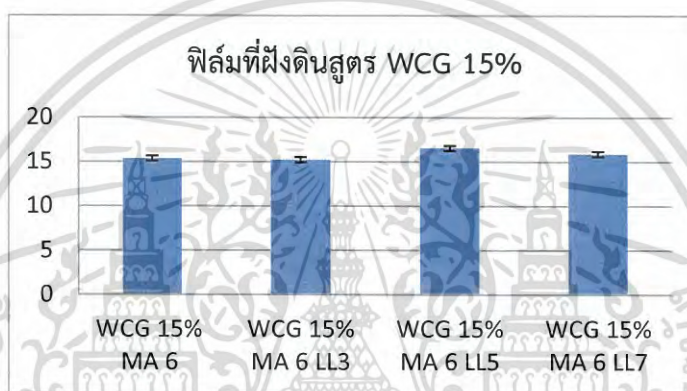
รูปที่ 4.47 ค่าร้อยละการยืดที่จุดขาดที่ปริมาณ LLDPE ต่างๆ โดยรูป (ก.) ฟิล์มผสมกากกาแฟ 10% รูป (ข.) ฟิล์มผสมกากกาแฟ 15% และ รูป (ค.) ฟิล์มผสมกากกาแฟ 20%

จากรูปที่ 4.47 แสดงผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดที่จุดขาดหรือ EB เมื่อพิจารณาถึงปริมาณ LLDPE พบว่าที่การใส่กากกาแฟ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ได้มีการใส่ LLDPE ในปริมาณ 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยที่ปริมาณ LLDPE เท่ากับ 7 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่า EB สูงที่สุด รองลงมาคือ 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าพอลิเมอร์ที่ผสม LLDPE จะทำให้ค่า EB เพิ่มขึ้น

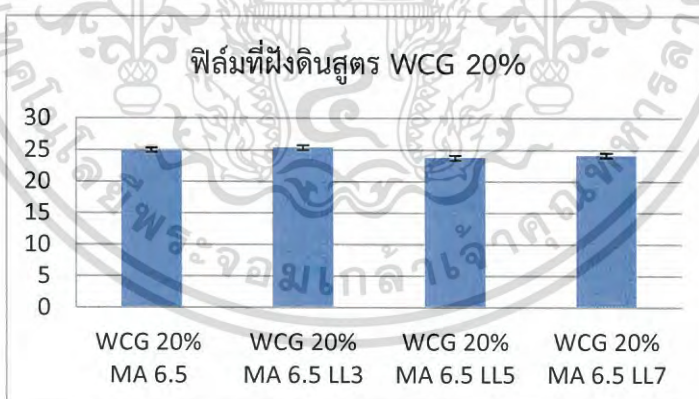
4.3.5 สมบัติการย่อยสลาย



ก.



ข.



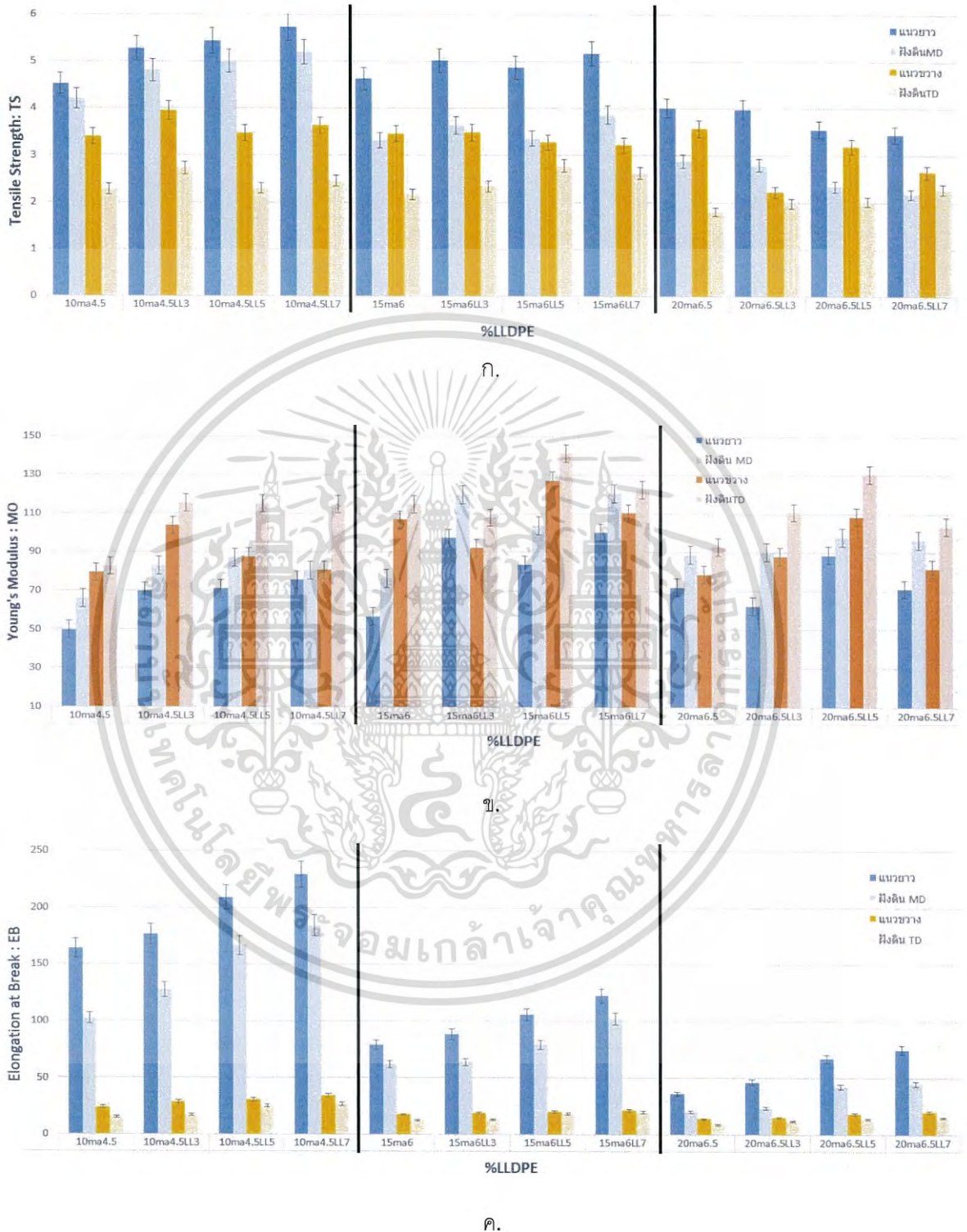
ค.

รูปที่ 4.48 แสดงน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มที่นำไปฝังดิน ที่มีการปรับปรุงสมบัติโดยเติม LLDPE 3, 5 และ 7% โดยกราฟ (ก.) ที่ WCG 10% PE-g-MA 4.5% โดยน้ำหนัก (ข.) WCG 15% PE-g-MA 6% โดยน้ำหนัก และ (ค.) WCG 20% PE-g-MA ที่ 6.5% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.48 แสดงน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มที่นำไปฝังดินและมีการปรับปรุงสมบัติโดยเติม LLDPE 3, 5 และ 7% พบว่าเมื่อมีการใส่ LLDPE มากขึ้น ไม่ได้ช่วยในเรื่องสมบัติการย่อยสลายแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LLDPE ช่วยในเรื่องการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์มให้มีลักษณะที่เหนียวมากขึ้นแสดงได้จากสมบัติเชิงกลดังรูปที่ 4.49



รูปที่ 4.49 (ก.) แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (ข.) แสดงผลการทดสอบค่ามอดูลัส และ (ค.) แสดงผลการทดสอบค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.49 รูปที่ (ก.) แสดงผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง หรือ TS หลังการฝังดินสรุปได้ว่าในระยะเวลา 1 เดือนเห็นผลการย่อยสลายที่น้อยมากแต่จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่ายังมีปริมาณของกากกาแฟมากขึ้นจะทำให้การย่อยสลายเกิดได้มากขึ้นโดยสังเกตจากค่าความแข็งแรงดึงที่ลดลง เนื่องจากฟิล์มมีปริมาณกากกาแฟมากขึ้นซึ่งส่วนของกากกาแฟนี้สามารถย่อยสลายได้ เมื่อกากกาแฟเริ่มย่อยสลายจะทำให้เกิดช่องว่างบริเวณผิวฟิล์มที่เดิมมีกากกาแฟออกมาอยู่บนพื้นผิว โดยใน 1 เดือนบริเวณที่ย่อยสลายก่อนจะเป็นที่ผิวเนื่องจากเป็นเวลาที่น้อยมากในการทดสอบการย่อยสลาย ส่วนการใส่ LLDPE เข้าไปไม่ส่งผลต่อค่า TS ของฟิล์มเนื่องจากเราใส่ไปแทนที่ LDPE โดยปริมาณกากกาแฟเท่าเดิม

จากรูปที่ (ข.) แสดงผลการทดสอบค่ามอดูลัส หรือ MO หลังการฝังดินสรุปได้ว่ายังมีปริมาณของกากกาแฟมากขึ้นจะทำให้ฟิล์มเปลี่ยนรูปได้ง่ายมากขึ้นทนต่อแรงกระทำได้น้อยลงโดยสังเกตจากค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้น ส่วนการใส่ LLDPE เข้าไปไม่ส่งผลต่อค่า MO ของฟิล์มเนื่องจากเราใส่ไปแทนที่ LDPE โดยปริมาณกากกาแฟเท่าเดิม

จากรูปที่ (ค.) แสดงผลการทดสอบค่าร้อยละการยึดที่จุดขาด หรือ EB หลังการฝังดินสรุปได้ว่ายังมีปริมาณของกากกาแฟมากขึ้นจะทำให้ฟิล์มขาดได้ง่ายขึ้นทนต่อการดึงได้น้อย ดึงยึดได้น้อยลงโดยสังเกตจากค่าร้อยละการยึดที่จุดขาดที่เพิ่มลดลง ส่วนการใส่ LLDPE เข้าไปไม่ส่งผลต่อค่า EB ของฟิล์มเนื่องจากเราใส่ไปแทนที่ LDPE โดยปริมาณกากกาแฟเท่าเดิม



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสามารถนำกากกาแฟที่เหลือทิ้งมาผสมกับพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยมีสารช่วยผสม PE-g-MA เป็นตัวช่วยในการเพิ่มความสามารถในการเข้ากันระหว่างกากกาแฟที่มีขี้และพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ไม่มีขี้จึงทำให้สามารถเป่าขึ้นรูปฟิล์มได้ โดยอัตราส่วนของกากกาแฟที่ใส่ได้มากที่สุด และสามารถเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ คือ อัตราที่ส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กากกาแฟมีลักษณะเป็นเหลี่ยม มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ผิวขรุขระ นอกจากนี้กากกาแฟมีสมบัติการดูดความชื้นเท่ากับ 63.44 เปอร์เซ็นต์ สันฐานวิทยาของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ พบว่าเมื่อปริมาณกากกาแฟมากขึ้นส่งผลให้ การยึดติดระหว่างกากกาแฟกับพอลิเมอร์แย่ง เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของกากกาแฟมากขึ้น กระจายตัวได้น้อย พบกากกาแฟเกาะตัวอยู่บริเวณพื้นผิวของฟิล์มมากขึ้น ที่ปริมาณกากกาแฟ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ผสมตัวประสาน 4.5, 6 และ 6.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากนั้นจึงนำสูตรที่ดีที่สุดในข้างต้นไปปรับปรุงสมบัติ โดยการเติม LLDPE ผลของสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณ LLDPE มากขึ้น ส่วนสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การดูดซับน้ำ เมื่อมีปริมาณกากกาแฟ และ PE-g-MA มากขึ้นจะทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำได้มากขึ้น ส่วน LLDPE เมื่อใส่ในปริมาณมากขึ้นจะทำให้ฟิล์มดูดซับน้ำได้น้อยลง ส่วนสมบัติทางความร้อน พบว่ากากกาแฟมีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ช่วง 250-540 องศาเซลเซียส ส่วน LDPE มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ช่วง 360-560 องศาเซลเซียส เมื่อของผสมมีการใส่กากกาแฟในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเริ่มการสลายตัวเร็วขึ้นถ้าเทียบกับ LDPE และเมื่อของผสมมีการปรับปรุงสมบัติโดยใส่ LLDPE ในปริมาณที่มากขึ้น ไม่ได้ส่งผลต่อการปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของฟิล์ม ส่วนสมบัติทางเคมี จากผลของ FT-IR พบว่าเมื่อใส่กากกาแฟลงไปในฟิล์มจะปรากฏพีคของกากกาแฟร่วมกับ LDPE และเมื่อนำฟิล์มไปแช่น้ำ พีคของ O-H Band มากขึ้น และสมบัติการย่อยสลาย เมื่อปริมาณกากกาแฟมากขึ้น จะเกิดการย่อยสลายได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ LLDPE ไม่ส่งผลต่อการย่อยสลาย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์กับกากกาแฟโดยใช้สารช่วยผสมชนิดอื่นมาช่วย
2. ปรับสภาพของกากกาแฟให้เหมาะสมและเข้ากันได้กับฟิล์มพลาสติก
3. ลดปริมาณของพลาสติกลงโดยเพิ่มปริมาณกากกาแฟให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. จารีนุช โรจน์เสถียร. 2554. ศึกษาการผสมระหว่างสไตรีน อะครีโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ออฟเกรดและยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
2. ชวนชม อ่วมเนตร. 2552. การพัฒนาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและแป้งตัดแปรเพื่อผลิตวัสดุคลุมโรงเรือนสำหรับเพาะปลูกพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
3. วิจิตา บุญโยดม, โรเบิร์ต มอลลอย และคณะ. สูตรคอมพาวด์ดีดิงของพอลิเมอร์เมอร์เบลนด์ PLA/CAB/Plasticizer สำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. ประทุมมา สุโส๊ะ. 2554. สมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม 3 ชนิด ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและพอลิโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
5. มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. 2546. เคมีพอลิเมอร์. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิตยา รัตนาปนนท์. กาแฟ. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4089/coffee-bean>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2558.
7. จารุพัชร พิชัยอุตถุขภูมิ และคณะ. 2556. กาแฟ. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/kafaeswu/laksana-thang-phvkssastr>. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2558.
8. Yi-Fang Chu, Adriana Farah, Blackwell. 2012. Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention. Institute of Food Technologists. 22-58.
9. อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์. Additives. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี.
10. รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ไฝเพชร. ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2548- พฤษภาคม 2549. อิทธิพลของพลาสติกไฮเซอรัทต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ภิชะกร รุ่งโรจน์ชัยพร. 2557. Glycerol: Utilization for Hydrogen Production. สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
12. Magdy Y., Abdelaal, Elsayed H., Elmoosalamy, Saleh O.S. Bahaffi. 2012. Enhancement of Polyolefins Compatibility with Natural Fibers through Chemical Modification. American Journal of Polymer Science 2(5) 102-108.
13. กิตติเชษฐ์ เล่าเงิน. 2552. การสร้างเครื่องบอลมิลล์ กรดด้วยอิฐเซรามิกส์. ปรินูญานินพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
14. ฉกาจ จบนุช. 2556. การศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบจากยูคาลิปตัสและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
15. ดร.รชนี พัทธวรากร. 2554. เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์. เชียงใหม่: ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
16. กาญจน์ แก้วกะปวง และศิวกกร ชัดิโย. 2551. การออกแบบและสร้างเครื่องอัดรีดพอลิเมอร์แบบเกลียวหนอนเดี่ยว. ปรินูญานินพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่
17. จินตหรา สาธารณ์, ภัทรพงษ์ จำปาแถม และสรารุณี เพ็ญวิเศษ. 2553. การลดของเสียโดยการหาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการเป่าขึ้นรูปพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
18. Shogo Kumagai, Itaru Hasegawa, Guido Grause, Tomohito Kameda and Toshiaki Yoshioka. 2015. Thermal decomposition of individual and mixed plastics in the presence of CaO or Ca(OH)₂. Applied Pyrolysis 113 584–590.
19. R. Pe´reza, E. Rojoa, M. Fern´ndez, V. Lealb, P. Lafuenteb, A. Santamar´. 2005. Basic and applied rheology of m-LLDPE/LDPE blends: Miscibility and processing features. Polymer 46 8045–8053.
20. J.Z. Liang, L.C. Tan, K.J. Wang, F.J. Li, S.D. Zhang. 2015. Melt elongation flow behavior of LDPE/LLDPE blends. Polymer Testing 41 133-139.
21. ชลธิชา ประจักษ์สูตร และลักษมณ คุบุญญอารักษ์. 2554. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟคั่วบด. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. ฉัตรเกล้า มะชะศรี และสมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. 2554. ผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน-แก้วกลบที่ก๊าซซิมผ่านได้. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
23. Alireza Farzadfar, Saied Nouri Khorasani, and Shahla Khalili. 2014. Blends of recycled polycarbonate and acrylonitrile-butadiene-styrene: comparing the effect of reactive compatibilizers on mechanical and morphological properties. *Polymer International* 63(1) 145-150.
24. Hansaem Jang, Joey D. Ocon, Seunghwa Lee, Jae Kwang Lee, Jaeyoung Lee. 2015. Direct power generation from waste coffee grounds in a biomass fuel cell. *Journal of Power Sources* 296 433-439.
25. นนทวัชร ชิตวิสัย. 2547. การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกากกาแฟอบที่ปลูกในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.
26. F.S. Isotton, G.L. Bernardo, C. Baldasso, L.M. Rosa, M. Zeni. 2015. The plasticizer effect on preparation and properties of etherified cornstarches films. *Industrial Crops and Products*.76 717-724.
27. I. Krupa, A.S. Luyt. 2001. Physical properties of LLDPE and an oxidized paraffin wax. *Polymer*.42 7285-7289.
28. D. Bikiaris, J. Prinios, K. Koutsopoulos, N. Vouroutzis, E. Pavlidou, N. Frangis C. Panayiotou. 1998. LDPE/plasticized starch blends containing PE-g-MA copolymer as compatibilizer. *Polymer Degradation and Stability*. 59 287-291.
29. ณัฐกานต์ อังศิริสวัสดิ์, วรณวิบูลย์ กาญจนบุญชู และวรรณิ จิรภาคย์กุล. การระบุชนิดของสารระเหยในควันที่ผลิตจากกากกาแฟสด. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
30. D. Garcia-García, A. Carbonell, M.D. Samper, D. Garcia-Sanoguera, R. Balart. 2015. Green composites based on polypropylene matrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder. *Composites Part B* 78 (2015). 256-265.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

31. Heartwin A. Pushpadass, Pratik Bhandari, Milford A. Hanna. 2010. Effects of LDPE and glycerol contents and compounding on the microstructure and properties of starch composite films. Carbohydrate Polymers. 82 1082-1089.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลอง

ตารางภาคผนวกแสดงการดูดน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10%

%WCG	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	นน.หลังการดูดน้ำ	%การดูดความชื้น	%การดูดความชื้น AVG
WCG10MA3	0.2210	0.2192	0.2228	1.6423	1.9018
	0.2332	0.2314	0.2351	1.5989	
	0.2182	0.2162	0.2200	1.7576	
	0.2210	0.2180	0.2235	2.5229	
	0.2245	0.2214	0.2258	1.9873	
WCG10MA4.5	0.1906	0.1893	0.1935	2.2187	2.3183
	0.1964	0.1953	0.1987	1.7409	
	0.1952	0.1940	0.1994	2.7835	
	0.1947	0.1933	0.1979	2.3797	
	0.1971	0.1944	0.1992	2.4691	
WCG10MA6	0.1987	0.1982	0.2001	0.9586	3.0495
	0.1995	0.1983	0.2003	1.0086	
	0.2026	0.2020	0.2094	3.6634	
	0.2150	0.2045	0.2166	5.9169	
	0.2097	0.2081	0.2158	3.7001	
WCG10LL3	0.2247	0.2216	0.2271	2.4819	2.2302
	0.2252	0.2228	0.2297	3.0969	
	0.2215	0.2213	0.2269	2.5305	
	0.2282	0.2268	0.2300	1.4109	
	0.2472	0.2453	0.2493	1.6306	
WCG10LL5	0.2172	0.2146	0.2194	2.2367	2.1691
	0.2223	0.2219	0.2266	2.1181	
	0.2233	0.2217	0.2258	1.8493	
	0.2127	0.2112	0.2159	2.2254	
	0.2190	0.2111	0.2162	2.4159	
WCG10LL7	0.2266	0.2247	0.2296	2.1807	2.0667
	0.2119	0.2109	0.2153	2.0863	
	0.2258	0.2229	0.2280	2.2880	
	0.2221	0.2217	0.2255	1.7140	
	0.2090	0.2083	0.2126	2.0643	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... สำหรับ... เพื่อการ... นั้น ไม่นับ... ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกแสดงการดูดน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15%

%WCG	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	นน.หลังการดูดน้ำ	%การดูดความชื้น	%การดูดความชื้น AVG
WCG15MA4.5	0.2435	0.2406	0.2510	4.3225	4.0325
	0.2388	0.2360	0.2426	2.7966	
	0.3242	0.3126	0.3325	6.3659	
	0.3199	0.3136	0.3239	3.2844	
	0.2978	0.2947	0.3047	3.3933	
WCG15MA6	0.2255	0.2246	0.2292	2.0481	4.6306
	0.2232	0.2213	0.2342	5.8292	
	0.2951	0.2883	0.3034	5.2376	
	0.2727	0.2697	0.2831	4.9684	
	0.2892	0.2781	0.2922	5.0701	
WCG15MA7	0.2202	0.2178	0.2256	3.5812	5.1040
	0.2196	0.2145	0.2238	4.3356	
	0.1952	0.1918	0.1985	3.4932	
	0.1947	0.1905	0.2066	8.4514	
	0.1947	0.1944	0.2054	5.6584	
WCG15LL3	0.2656	0.2628	0.2718	3.4246	4.0649
	0.2686	0.2656	0.2722	2.4849	
	0.2655	0.2601	0.2691	3.4602	
	0.2741	0.2671	0.2813	5.3163	
	0.2583	0.2483	0.2623	5.6383	
WCG15LL5	0.3243	0.3206	0.3291	2.6513	4.0517
	0.3291	0.3257	0.3345	2.7018	
	0.3698	0.3583	0.3705	3.4049	
	0.3801	0.3508	0.3856	9.9202	
	0.3575	0.3544	0.3600	1.5801	
WCG15LL7	0.2605	0.2580	0.2687	4.1473	4.0254
	0.2339	0.2305	0.2400	4.1214	
	0.2854	0.2772	0.2884	4.0404	
	0.2652	0.2581	0.2701	4.6493	
	0.2620	0.2588	0.2670	3.1684	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกแสดงการดูน้ำของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20%

%WCG	นน.ก่อนอบ	นน.หลังอบ	นน.หลังการดูน้ำ	%การดูความชื้น	%การดูความชื้น AVG
WCG20MA6	0.3408	0.3346	0.3473	3.7955	5.3525
	0.3630	0.3566	0.3703	3.8418	
	0.3339	0.3199	0.3386	5.8456	
	0.3454	0.3338	0.3509	5.1228	
	0.3116	0.2930	0.3169	8.1570	
WCG20MA6.5	0.3263	0.3202	0.3342	4.3722	6.6754
	0.3069	0.3013	0.3270	8.5297	
	0.3391	0.3339	0.3554	6.4390	
	0.3526	0.3514	0.3791	7.8827	
	0.3632	0.3624	0.3847	6.1534	
WCG20MA7	0.3283	0.3220	0.3322	3.1677	9.4710
	0.3186	0.3131	0.3231	3.1938	
	0.2472	0.2270	0.2595	14.317	
	0.2545	0.2521	0.3112	23.443	
	0.2637	0.2598	0.2682	3.2332	
WCG20LL3	0.3717	0.3660	0.3802	3.8798	6.4785
	0.3708	0.3644	0.3788	3.9517	
	0.3018	0.2763	0.3072	11.183	
	0.3026	0.2776	0.3085	11.131	
	0.3124	0.3116	0.3186	2.2465	
WCG20LL5	0.3474	0.3412	0.3547	3.9566	4.2287
	0.3626	0.3586	0.3709	3.4300	
	0.3883	0.3852	0.3980	3.3229	
	0.3822	0.3783	0.3943	4.2294	
	0.3586	0.3433	0.3646	6.2045	
WCG20LL7	0.3359	0.3313	0.3427	3.4410	3.2266
	0.3183	0.3154	0.3255	3.2022	
	0.3463	0.3448	0.3520	2.0881	
	0.3645	0.3617	0.3703	2.3776	
	0.3351	0.3344	0.3512	5.0239	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของ LDPE (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
LDPETD-1	8.8544	243.0945	659.6960
LDPETD-2	9.6405	239.5712	684.6890
LDPETD-3	8.9338	239.5231	672.8788
LDPETD-4	11.4211	240.7296	659.6960
LDPETD-5	9.3276	243.3725	676.8758
LDPETD-6	8.4431	239.2372	672.9679
LDPETD-7	9.1534	239.5209	672.7188
LDPETD-8	8.1855	238.2716	669.6960
LDPETD-9	10.1047	243.0158	686.7816
LDPETD-10	9.2119	240.9596	672.7880

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของ LDPE (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
LDPEMD-1	12.6549	259.3338	539.6711
LDPEMD-2	9.3946	263.3128	541.7336
LDPEMD-3	13.5078	253.7789	540.9441
LDPEMD-4	13.3913	262.1271	536.2322
LDPEMD-5	12.0021	260.9538	544.3948
LDPEMD-6	12.1852	259.9579	539.3946
LDPEMD-7	10.6909	263.3811	551.1122
LDPEMD-8	13.1857	264.3149	553.3094
LDPEMD-9	12.8143	257.3321	552.4443
LDPEMD-10	12.0251	265.0455	544.7114

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของ LLDPE ที่ 10, 15 และ 20% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10LLTD-1	10.6573	279.8936	910.5858
10LLTD-2	11.4089	279.7481	904.4944
10LLTD-3	9.9632	286.1161	914.9299
10LLTD-4	11.3614	282.7311	904.2434
10LLTD-5	10.9970	280.7223	910.5634
10LLTD-6	11.0656	279.9039	907.1127

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10LLTD-7	11.8936	283.2434	907.2253
10LLTD-8	11.2434	285.6573	915.3380
10LLTD-9	11.0437	279.4874	905.7652
10LLTD-10	11.0219	279.8081	905.3756
15LLTD-1	13.5329	232.6690	886.1493
15LLTD-2	12.5953	239.1363	985.0002
15LLTD-3	10.9294	228.5518	917.7025
15LLTD-4	12.1527	215.7605	984.3884
15LLTD-5	12.1102	242.7605	930.7414
15LLTD-6	13.9294	239.5518	786.3884
15LLTD-7	12.1527	248.6455	985.7025
15LLTD-8	10.5953	255.1363	817.1493
15LLTD-9	12.1102	249.0078	984.7414
15LLTD-10	12.5329	239.0157	930.0002
20LLTD-1	11.7030	220.8902	956.9069
20LLTD-2	12.1643	229.7336	941.6378
20LLTD-3	11.4650	232.7287	949.0986
20LLTD-4	14.6835	227.7842	952.5478
20LLTD-5	12.5039	210.5933	952.0985
20LLTD-6	12.7030	229.7332	956.9069
20LLTD-7	11.6835	242.7287	951.3698
20LLTD-8	12.1643	227.7686	949.6073
20LLTD-9	11.4650	229.7285	952.6521
20LLTD-10	14.5039	226.1527	962.6521

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของ LLDPE ที่ 10, 15 และ 20% (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10LLMD-1	13.2091	202.6263	579.2434
10LLMD-2	13.7629	202.4936	574.1776
10LLMD-3	14.0146	185.8024	600.6015
10LLMD-4	12.9450	210.1326	576.2543
10LLMD-5	12.0018	180.6593	586.2587
10LLMD-6	11.7760	211.1055	576.5173
10LLMD-7	13.3289	209.1582	591.1552
10LLMD-8	14.6578	205.1319	573.3104
10LLMD-9	12.1973	195.2637	578.4656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10LLMD-10	11.9734	200.2637	581.7760
15LLMD-1	15.3820	206.2130	692.3076
15LLMD-2	15.7833	206.2076	727.7678
15LLMD-3	16.2614	222.1806	723.6766
15LLMD-4	17.7694	216.2130	696.8006
15LLMD-5	17.4591	216.2076	702.8006
15LLMD-6	15.7694	220.1618	717.3076
15LLMD-7	15.4591	214.1941	703.6766
15LLMD-8	16.2614	214.1941	716.8138
15LLMD-9	17.7833	211.2076	710.7678
15LLMD-10	17.3820	215.1618	709.4625
20LLMD-1	13.6124	137.5540	731.1679
20LLMD-2	15.1511	139.4596	736.8894
20LLMD-3	13.2205	131.0241	740.5358
20LLMD-4	13.3468	135.0125	757.7084
20LLMD-5	13.8484	137.4031	741.6530
20LLMD-6	13.4399	139.8216	741.1678
20LLMD-7	14.6128	130.0517	731.1016
20LLMD-8	14.8481	135.4696	756.8873
20LLMD-9	13.2210	133.9211	730.6597
20LLMD-10	13.1833	130.4083	748.7589

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10% vary MA ที่ 3 4.5 และ 6% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10MA3TD-1	3.1523	75.8292	26.3885
10MA3TD-2	2.9523	77.5365	16.3866
10MA3TD-3	2.8268	77.0858	22.1376
10MA3TD-4	2.8623	88.5504	13.8755
10MA3TD-5	2.8188	100.5596	41.6918
10MA3TD-6	3.4157	82.9587	18.6589
10MA3TD-7	3.8567	111.0537	24.8557
10MA3TD-8	2.9473	110.9610	37.1549
10MA3TD-9	3.1031	77.8144	21.1658
10MA3TD-10	3.4960	85.7825	26.2416
10MA4.5TD-1	3.4862	83.8457	23.2397

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้拿去ใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10MA4.5TD-2	3.3992	72.0739	21.2056
10MA4.5TD-3	3.3903	69.6388	26.1550
10MA4.5TD-4	3.5451	88.5124	24.5152
10MA4.5TD-5	3.3737	71.4014	23.1328
10MA4.5TD-6	3.6512	73.0699	24.7925
10MA4.5TD-7	3.3524	84.2702	26.3484
10MA4.5TD-8	3.1192	78.0295	24.8538
10MA4.5TD-9	3.4651	90.4829	22.0962
10MA4.5TD-10	3.1995	83.1663	25.6214
10MA6TD-1	3.0709	56.4382	21.4597
10MA6TD-2	3.3210	76.4093	18.9592
10MA6TD-3	3.0997	66.8741	20.2191
10MA6TD-4	2.9585	50.4214	20.6781
10MA6TD-5	3.1275	75.3990	22.4842
10MA6TD-6	2.9853	73.5694	21.0267
10MA6TD-7	3.0117	77.7499	20.7451
10MA6TD-8	3.0938	80.8272	21.5026
10MA6TD-9	2.7934	71.3257	24.9351
10MA6TD-10	3.0357	62.6324	18.5322

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15% vary MA ที่ 4.5, 6 และ 7% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
15MA4.5TD-1	3.0717	88.5263	17.4165
15MA4.5TD-2	3.4604	82.7747	19.9554
15MA4.5TD-3	3.1930	81.7931	19.8790
15MA4.5TD-4	3.1021	91.0116	17.9411
15MA4.5TD-5	3.4161	91.1429	18.9895
15MA4.5TD-6	3.2671	77.6720	19.0756
15MA4.5TD-7	3.2838	88.1104	18.1818
15MA4.5TD-8	3.2543	94.7566	21.5436
15MA4.5TD-9	3.1423	79.1152	20.9391
15MA4.5TD-10	3.0548	78.5858	19.6450
15MA6TD-1	3.8517	113.2012	14.0496
15MA6TD-2	3.5413	98.3834	17.1948
15MA6TD-3	3.9459	83.4426	20.3071

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15MA6TD-4	3.5563	106.9631	15.5074
15MA6TD-5	3.1316	102.7303	19.0520
15MA6TD-6	3.1885	113.9403	18.6935
15MA6TD-7	3.0685	115.2285	17.3574
15MA6TD-8	3.6202	121.7124	17.1317
15MA6TD-9	3.2403	106.2816	17.2635
15MA6TD-10	3.4605	106.5631	17.3952
15MA7TD-1	3.3729	114.7902	17.2114
15MA7TD-2	2.2689	86.4638	16.3391
15MA7TD-3	3.4794	95.0714	17.6959
15MA7TD-4	2.5289	83.7649	19.1328
15MA7TD-5	3.0830	116.0509	15.4880
15MA7TD-6	3.5705	96.4846	19.0193
15MA7TD-7	3.5594	98.4761	11.1624
15MA7TD-8	2.9311	116.0292	12.9311
15MA7TD-9	3.3155	97.9889	21.3517
15MA7TD-10	3.1233	123.6741	16.4646

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20% vary MA ที่ 6, 6.5 และ 7% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
20MA6TD-1	2.9117	70.3292	14.7229
20MA6TD-2	3.1471	93.0567	13.6427
20MA6TD-3	3.0978	95.1596	14.0070
20MA6TD-4	3.2446	73.5928	11.4210
20MA6TD-5	2.9497	90.7139	16.8461
20MA6TD-6	2.9876	96.3136	17.3703
20MA6TD-7	2.8784	83.9376	13.7105
20MA6TD-8	2.8555	59.2877	14.7818
20MA6TD-9	3.1423	93.5433	13.5743
20MA6TD-10	3.3026	79.9698	8.6176
20MA6.5TD-1	2.9086	70.3283	8.1807
20MA6.5TD-2	4.0984	65.7619	13.3987
20MA6.5TD-3	3.4842	96.9107	15.7778
20MA6.5TD-4	4.3315	81.9006	14.3336
20MA6.5TD-5	4.1383	81.8831	15.3692

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20MA6.5TD-6	3.1682	67.9576	14.8480
20MA6.5TD-7	3.2427	91.0535	19.6702
20MA6.5TD-8	4.1017	83.2944	10.1336
20MA6.5TD-9	3.0231	56.7333	10.2101
20MA6.5TD-10	3.2628	89.8204	11.9519
20MA7TD-1	3.1707	127.7013	15.6515
20MA7TD-2	2.9378	78.7022	14.7289
20MA7TD-3	3.3245	73.0318	15.4473
20MA7TD-4	2.6706	119.3420	13.2248
20MA7TD-5	3.3257	152.9701	15.2045
20MA7TD-6	3.2642	144.4813	17.9481
20MA7TD-7	2.8354	128.3974	14.8165
20MA7TD-8	2.6093	124.2662	12.5779
20MA7TD-9	3.0601	93.0056	14.5114
20MA7TD-10	2.8412	98.9406	17.6450

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10% vary MA ที่ 3 4.5 และ 6% (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10MA3MD-1	4.2796	20.0730	154.0391
10MA3MD-2	4.1277	22.7425	151.0623
10MA3MD-3	3.9349	25.3270	137.4107
10MA3MD-4	4.2971	27.8298	155.0185
10MA3MD-5	4.2854	20.1818	144.0274
10MA3MD-6	4.3913	25.3286	153.1400
10MA3MD-7	3.8568	25.7916	147.1645
10MA3MD-8	4.3818	24.4406	150.0548
10MA3MD-9	4.3314	24.2933	137.7309
10MA3MD-10	4.1511	25.1743	141.1743
10MA4.5MD-1	4.6912	50.7805	161.3071
10MA4.5MD-2	4.5909	55.8264	169.9539
10MA4.5MD-3	4.4475	43.4365	164.5638
10MA4.5MD-4	4.5045	43.5492	173.3604
10MA4.5MD-5	4.5116	49.7144	168.7633
10MA4.5MD-6	4.4441	52.0078	170.3840
10MA4.5MD-7	4.5821	57.2428	173.4926

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10MA4.5MD-8	4.5296	55.7365	142.1572
10MA4.5MD-9	4.5985	43.1654	164.0638
10MA4.5MD-10	4.3308	45.7414	153.4078
10MA6MD-1	4.4066	58.6131	216.0691
10MA6MD-2	4.3145	69.8148	67.0802
10MA6MD-3	4.1870	63.1844	152.4984
10MA6MD-4	4.3665	62.3373	134.8504
10MA6MD-5	4.4609	53.2681	89.3487
10MA6MD-6	4.0265	57.1867	192.3557
10MA6MD-7	4.6478	56.7704	173.4042
10MA6MD-8	4.5206	56.6953	179.2114
10MA6MD-9	4.2595	50.6500	185.1372
10MA6MD-10	4.2045	55.2179	168.0159

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15% vary MA ที่ 4.5, 6 และ 7%
(ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
15MA4.5MD-1	4.2474	49.5019	69.9441
15MA4.5MD-2	4.2792	54.0867	73.3525
15MA4.5MD-3	3.8024	48.5142	70.4359
15MA4.5MD-4	3.9999	49.3858	73.8640
15MA4.5MD-5	4.0168	49.3858	70.3483
15MA4.5MD-6	4.2217	48.4579	70.3600
15MA4.5MD-7	3.9052	53.1799	73.6386
15MA4.5MD-8	4.2103	48.4785	72.1799
15MA4.5MD-9	4.3155	52.3589	71.0867
15MA4.5MD-10	4.1566	50.2393	71.6900
15MA6MD-1	4.5157	57.2715	80.0380
15MA6MD-2	4.7502	55.8417	79.7839
15MA6MD-3	4.7094	54.8651	80.0964
15MA6MD-4	4.4619	60.1139	78.0699
15MA6MD-5	4.7996	55.7720	78.4720
15MA6MD-6	4.5806	56.0788	77.9702
15MA6MD-7	4.8306	56.7424	79.4806
15MA6MD-8	4.7204	54.6389	79.3491
15MA6MD-9	4.5102	58.4260	78.0096

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการคำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15MA6MD-10	4.4272	56.6389	79.0193
15MA7MD-1	4.5647	61.4506	68.2881
15MA7MD-2	4.3592	45.8283	62.3209
15MA7MD-3	4.7871	85.1010	69.0829
15MA7MD-4	4.4842	61.1969	68.7507
15MA7MD-5	4.5416	46.7794	63.2601
15MA7MD-6	4.4194	68.1432	63.0523
15MA7MD-7	4.3052	75.5206	64.3203
15MA7MD-8	4.5520	81.0136	61.0490
15MA7MD-9	4.4477	73.3113	62.3009
15MA7MD-10	4.3186	78.0861	66.6018

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20% vary MA ที่ 6, 6.5 และ 7%
(ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
20MA6MD-1	3.7764	74.1177	28.5903
20MA6MD-2	3.9405	81.7432	29.5687
20MA6MD-3	3.7836	79.4299	28.2813
20MA6MD-4	3.0170	75.3156	26.6268
20MA6MD-5	3.8269	83.3876	28.4696
20MA6MD-6	2.8765	77.7301	24.3564
20MA6MD-7	3.7068	83.4015	25.1462
20MA6MD-8	3.8559	80.0706	25.0850
20MA6MD-9	2.8699	78.1184	29.1699
20MA6MD-10	3.8412	80.2368	27.2549
20MA6.5MD-1	4.0778	72.0426	29.7728
20MA6.5MD-2	4.4861	71.6531	43.6506
20MA6.5MD-3	4.2137	73.2243	42.0114
20MA6.5MD-4	3.6874	71.4858	32.9044
20MA6.5MD-5	3.7604	72.5183	24.9294
20MA6.5MD-6	4.6086	71.3395	39.2973
20MA6.5MD-7	3.5446	72.0029	25.4581
20MA6.5MD-8	4.2547	71.3774	40.7855
20MA6.5MD-9	3.6727	71.9257	45.6959
20MA6.5MD-10	3.7922	71.6874	37.8656
20MA7MD-1	3.5267	88.8771	64.7444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20MA7MD-2	3.8229	98.9507	61.3519
20MA7MD-3	3.6419	111.0868	40.8402
20MA7MD-4	3.3387	101.0810	39.2865
20MA7MD-5	3.8742	111.5358	44.1747
20MA7MD-6	3.7162	114.2773	36.6108
20MA7MD-7	3.8293	108.1750	46.1970
20MA7MD-8	3.4334	95.7895	63.1328
20MA7MD-9	3.5309	108.1413	53.4301
20MA7MD-10	3.6349	104.2127	49.9743

ตารางภาคผนวกค่าเฉลี่ยสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20 % vary MA ที่ ปริมาณต่างๆ (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile Strength	Young's modulus	Elongation at Break
10ma3	3.051419162	88.81317902	24.85568534
10ma4.5	3.398175889	79.44908028	24.1960569
10ma6	3.049755525	69.16464839	21.05420684
15ma4.5	3.224553766	85.34886392	19.35665863
15ma6	3.460477184	106.8446623	17.39522367
15ma7	3.123293324	102.8794121	16.67963535
20ma6	3.051720339	83.59042256	13.86941818
20ma6.5	3.575954814	78.56438394	13.67359571
20ma7	3.003946257	114.0838323	15.1755844

ตารางภาคผนวกค่าเฉลี่ยสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20 % vary MA ที่ ปริมาณต่างๆ (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10ma3	4.203691178	24.11824487	147.0822635
10ma4.5	4.525323192	49.72009482	164.1453819
10ma6	4.339435983	58.3737974	155.7971227
15ma4.5	4.115498354	50.35889684	71.69000207
15ma6	4.630573061	56.63892962	79.02890891
15ma7	4.477973777	67.64308272	64.90269019
20ma6	3.549462119	79.3551289	27.25491714
20ma6.5	4.009837586	71.92569844	36.23709542
20ma7	3.634892583	104.2127249	49.97425541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE
กากกาแฟ 10% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10LL3TD-1	4.0231	116.5871	28.6584
10LL3TD-2	3.9478	97.1923	30.9188
10LL3TD-3	4.1317	110.5321	29.4193
10LL3TD-4	3.7829	104.2235	26.0680
10LL3TD-5	3.9386	95.1353	26.7308
10LL3TD-6	3.9142	98.2929	30.7360
10LL3TD-7	4.0724	105.8769	27.8314
10LL3TD-8	3.9552	99.8728	30.8426
10LL3TD-9	3.8744	102.5478	27.6465
10LL3TD-10	3.9235	106.3446	28.8939
10LL5TD-1	3.5167	97.7025	21.5791
10LL5TD-2	3.5052	89.2282	21.4299
10LL5TD-3	3.5097	91.9389	29.6257
10LL5TD-4	3.4433	80.3668	34.5047
10LL5TD-5	3.3980	78.9863	45.4822
10LL5TD-6	3.5950	85.8320	29.8597
10LL5TD-7	3.4362	91.8458	30.7489
10LL5TD-8	3.4913	86.0035	29.6294
10LL5TD-9	3.4570	90.4355	30.6879
10LL5TD-10	3.3935	84.1060	31.6957
10LL7TD-1	3.7934	58.7920	26.5342
10LL7TD-2	3.7146	97.0414	46.4916
10LL7TD-3	3.5742	88.0597	28.4105
10LL7TD-4	3.5943	83.8536	53.6929
10LL7TD-5	3.4961	75.8154	16.6147
10LL7TD-6	3.5866	80.4573	35.4057
10LL7TD-7	3.5768	78.8493	38.4046
10LL7TD-8	3.6560	79.9442	34.3493
10LL7TD-9	3.6718	83.8345	32.2457
10LL7TD-10	3.6813	80.4769	31.3387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE
กากกาแฟ 15% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
15LL3TD-1	3.2080	59.9226	21.3645
15LL3TD-2	3.6866	110.7315	20.9916
15LL3TD-3	3.2863	113.3253	16.2725
15LL3TD-4	3.7048	98.0691	16.8960
15LL3TD-5	3.5314	79.0091	18.9802
15LL3TD-6	3.3502	90.4288	16.4947
15LL3TD-7	3.5046	106.3937	18.9575
15LL3TD-8	3.4862	85.0597	18.5986
15LL3TD-9	3.4975	91.1180	19.9085
15LL3TD-10	3.5785	88.0572	20.5457
15LL5TD-1	3.4736	124.3086	17.9322
15LL5TD-2	3.4796	130.8982	18.4128
15LL5TD-3	3.5562	140.0640	19.1840
15LL5TD-4	3.0250	123.9870	24.5548
15LL5TD-5	3.0579	145.6897	20.1931
15LL5TD-6	2.8611	98.5866	21.3585
15LL5TD-7	2.9703	120.9850	19.7638
15LL5TD-8	3.5701	127.6870	20.7947
15LL5TD-9	3.4977	128.5988	20.5839
15LL5TD-10	3.2995	131.7520	19.9477
15LL7TD-1	3.0475	114.5777	17.2554
15LL7TD-2	2.9456	99.4110	19.7802
15LL7TD-3	3.4006	80.2811	24.5233
15LL7TD-4	3.6102	132.7644	21.8439
15LL7TD-5	3.0858	124.1826	22.7564
15LL7TD-6	3.3186	109.7449	20.7402
15LL7TD-7	3.2969	106.8703	19.9638
15LL7TD-8	3.1783	118.7943	22.9599
15LL7TD-9	3.0877	108.3158	21.6376
15LL7TD-10	3.2084	107.4914	20.8576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE กากกาแฟ 20% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
20LL3TD-1	2.0539	86.7850	11.0503
20LL3TD-2	2.4940	102.0254	15.1906
20LL3TD-3	1.9228	73.9634	14.9999
20LL3TD-4	2.5128	100.1299	14.1685
20LL3TD-5	2.1598	77.0618	19.2407
20LL3TD-6	2.1755	86.8346	14.7685
20LL3TD-7	2.3907	97.7471	15.4594
20LL3TD-8	2.2852	83.9529	14.4595
20LL3TD-9	2.1947	86.6146	15.6658
20LL3TD-10	2.0972	84.8164	14.2968
20LL5TD-1	2.9306	109.6964	17.7152
20LL5TD-2	3.3886	136.3507	12.6683
20LL5TD-3	3.3550	94.9850	22.1422
20LL5TD-4	3.1772	92.8734	22.9041
20LL5TD-5	3.0923	108.0611	16.1131
20LL5TD-6	2.9658	109.7595	20.7595
20LL5TD-7	3.1956	99.0753	18.2792
20LL5TD-8	3.0880	107.7504	17.4786
20LL5TD-9	3.3997	115.7454	16.6836
20LL5TD-10	3.2946	109.6361	18.3420
20LL7TD-1	2.9795	103.1037	16.7505
20LL7TD-2	2.9712	62.2216	13.3581
20LL7TD-3	3.0423	107.4359	15.5198
20LL7TD-4	3.0224	115.2957	19.0112
20LL7TD-5	2.4952	67.3151	25.5494
20LL7TD-6	2.0211	70.8261	21.2683
20LL7TD-7	2.6273	64.0117	22.7033
20LL7TD-8	2.3142	74.0320	21.5490
20LL7TD-9	2.5319	70.2198	21.5763
20LL7TD-10	2.5115	82.1447	22.4573

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20% ที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile Strength	Young's modulus	Elongation at Break
10ma4.5	3.3982	79.4491	24.1961
10ma4.5LL3	3.9564	103.6605	28.7746
10ma4.5LL5	3.4746	87.6445	30.5243
10ma4.5LL7	3.6345	80.7124	34.3488
15ma6	3.4605	106.8447	17.3952
15ma6LL3	3.4834	92.2115	18.9010
15ma6LL5	3.2791	127.2557	20.2726
15ma6LL7	3.2179	110.2434	21.2318
20ma6.5	3.5760	78.5644	13.6736
20ma6.5LL3	2.2287	87.9931	14.9300
20ma6.5LL5	3.1887	108.3933	18.3086
20ma6.5LL7	2.6517	81.6606	19.9743

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE กากกาแฟ 10% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10LL3MD-1	4.8346	72.2098	184.4769
10LL3MD-2	5.5980	69.1308	180.4554
10LL3MD-3	5.5546	59.0586	201.5450
10LL3MD-4	4.8142	85.5932	155.9843
10LL3MD-5	5.5771	62.2350	160.0993
10LL3MD-6	4.9796	70.9419	180.9835
10LL3MD-7	5.4879	68.6575	177.5021
10LL3MD-8	5.4576	73.4639	178.3763
10LL3MD-9	4.9952	65.6368	165.2372
10LL3MD-10	5.4582	69.5272	180.4619
1OLL5MD-1	5.6240	79.5997	208.6107
1OLL5MD-2	5.8446	74.3403	216.0760
1OLL5MD-3	4.9128	62.6165	216.6909
1OLL5MD-4	5.8371	73.5723	246.0605
1OLL5MD-5	4.9789	65.1557	157.7757
1OLL5MD-6	5.5132	74.0130	212.7644

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1OLL5MD-7	5.7146	69.2132	204.4904
1OLL5MD-8	4.9865	67.8331	207.1366
1OLL5MD-9	5.4665	69.2122	204.2583
1OLL5MD-10	5.5165	75.0131	216.5642
1OLL7MD-1	5.9324	77.8987	277.3801
1OLL7MD-2	5.8190	73.6100	211.9227
1OLL7MD-3	5.9819	80.3937	199.8245
1OLL7MD-4	5.6954	73.3364	244.2170
1OLL7MD-5	5.2823	72.6688	213.9547
1OLL7MD-6	5.8750	76.6498	225.7374
1OLL7MD-7	5.6012	74.6938	238.7436
1OLL7MD-8	5.7273	74.2986	224.7519
1OLL7MD-9	5.8043	75.8961	229.6927
1OLL7MD-10	5.7032	76.3693	228.3735

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE
กากกาแฟ 15% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
15LL3MD-1	4.8101	99.8017	87.3510
15LL3MD-2	5.2669	86.0113	85.6848
15LL3MD-3	5.3078	96.6954	88.2983
15LL3MD-4	4.6648	95.7082	91.1518
15LL3MD-5	5.0539	108.9687	90.2920
15LL3MD-6	4.8463	95.8792	87.2842
15LL3MD-7	4.9283	97.8233	89.3871
15LL3MD-8	5.2134	96.4180	87.7412
15LL3MD-9	5.1831	97.5855	89.0581
15LL3MD-10	4.9324	99.4793	87.9347
15LL5MD-1	4.5846	89.8252	97.6281
15LL5MD-2	4.5656	88.7143	117.2212
15LL5MD-3	5.4866	68.6399	99.3440
15LL5MD-4	5.4887	85.2774	120.2698
15LL5MD-5	4.4422	81.5730	91.4157
15LL5MD-6	4.7167	87.1027	110.9208
15LL5MD-7	4.6947	87.4281	106.7395
15LL5MD-8	5.2363	82.4720	110.6465

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประกอบการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15LL5MD-9	4.9177	83.3846	99.8499
15LL5MD-10	4.6742	81.6371	105.7971
15LL7MD-1	5.3368	91.4746	115.3050
15LL7MD-2	5.3078	125.9390	106.8563
15LL7MD-3	5.7097	118.4483	155.2374
15LL7MD-4	4.6035	74.8132	133.6431
15LL7MD-5	5.2954	111.3534	92.3258
15LL7MD-6	5.6897	117.2685	87.1725
15LL7MD-7	4.3977	74.7197	144.9748
15LL7MD-8	5.1397	88.3677	128.5329
15LL7MD-9	5.0216	96.6175	134.3339
15LL7MD-10	5.1977	104.3462	126.1775

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE
กากกาแฟ 20% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
20LL3MD-1	3.9532	43.2452	52.3645
20LL3MD-2	3.7170	57.8317	46.9496
20LL3MD-3	3.8082	67.9517	59.3948
20LL3MD-4	4.2724	92.9658	15.5887
20LL3MD-5	3.8121	49.2708	58.3395
20LL3MD-6	4.1443	64.7452	47.8321
20LL3MD-7	3.8930	61.5319	45.3391
20LL3MD-8	3.9743	59.7422	42.8545
20LL3MD-9	4.1735	61.8072	49.6463
20LL3MD-10	4.0915	63.4384	46.9651
20LL5MD-1	3.1277	68.2715	79.8723
20LL5MD-2	3.4622	94.1228	88.6251
20LL5MD-3	3.2863	91.7372	44.9472
20LL5MD-4	3.2388	90.3876	51.7388
20LL5MD-5	3.5603	102.3217	46.2006
20LL5MD-6	4.1266	104.6256	90.7171
20LL5MD-7	4.0445	89.0016	77.9584
20LL5MD-8	3.5825	69.6614	58.2388
20LL5MD-9	3.6235	88.5487	67.8265
20LL5MD-10	3.4840	87.7334	66.7480

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20LL7MD-1	3.5264	73.2656	91.4983
20LL7MD-2	3.2925	70.0343	64.5805
20LL7MD-3	3.1093	51.0009	69.9259
20LL7MD-4	3.7486	60.1559	96.9111
20LL7MD-5	3.3509	76.2920	105.1903
20LL7MD-6	3.6603	101.4043	69.5431
20LL7MD-7	3.3456	63.1468	55.0361
20LL7MD-8	3.2841	49.7709	52.4209
20LL7MD-9	3.6430	95.2613	68.8458
20LL7MD-10	3.4457	71.1476	74.8829

ตารางภาคผนวกค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20% ที่มีการปรับปรุงสมบัติโดย LLDPE ที่ 3, 5 และ 7% (ตามยาว)

Batch reference	Tensile Strength	Young's modulus	Elongation at Break
10ma4.5	4.5253	49.7201	164.1454
10ma4.5LL3	5.2757	69.6455	176.5122
10ma4.5LL5	5.4395	71.0569	209.0428
10ma4.5LL7	5.7422	75.5815	229.4598
15ma6	4.6306	56.6389	79.0289
15ma6LL3	5.0207	97.4371	88.4183
15ma6LL5	4.8807	83.6054	105.9833
15ma6LL7	5.1700	100.3348	122.4559
20ma6.5	4.0098	71.9257	36.2371
20ma6.5LL3	3.9839	62.2530	46.5274
20ma6.5LL5	3.5536	88.6412	67.2873
20ma6.5LL7	3.4406	71.1480	74.8835

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของสูตรที่ดีที่สุดของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20% ที่มีการนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10MA4.5TD-1	2.5531	83.5827	14.5439
10MA4.5TD-2	2.3147	79.4170	14.5044
10MA4.5TD-3	2.1029	88.2229	12.3185
10MA4.5TD-4	2.2197	77.1687	11.9589
10MA4.5TD-5	2.2255	76.2367	12.5687
10MA4.5TD-6	2.4472	80.9880	18.3953
10MA4.5TD-7	2.0895	93.0564	20.7571
10MA4.5TD-8	2.4362	82.8855	17.3328
10MA4.5TD-9	2.2194	83.1579	14.9003
10MA4.5TD-10	2.1810	81.9585	14.0558
15MA6TD-1	2.3922	100.7928	11.0926
15MA6TD-2	2.0479	117.0525	15.0577
15MA6TD-3	2.0431	110.4143	13.1216
15MA6TD-4	2.1176	113.2182	16.1393
15MA6TD-5	2.2065	123.0435	17.0292
15MA6TD-6	2.2923	127.8102	9.5270
15MA6TD-7	2.1822	117.2406	7.3056
15MA6TD-8	2.0588	122.1031	12.1355
15MA6TD-9	2.1553	98.6017	11.5859
15MA6TD-10	2.1821	118.3310	9.0400
20MA6.5TD-1	1.8667	100.1718	11.1415
20MA6.5TD-2	1.5333	95.5891	13.3148
20MA6.5TD-3	1.9816	92.3437	7.5370
20MA6.5TD-4	1.8292	100.7977	8.9643
20MA6.5TD-5	1.5880	85.9300	10.7973
20MA6.5TD-6	1.8002	82.3571	6.9001
20MA6.5TD-7	1.9210	91.4319	7.2304
20MA6.5TD-8	1.7397	105.0208	7.0882
20MA6.5TD-9	1.9500	89.5819	7.3572
20MA6.5TD-10	1.8215	86.1545	7.5426

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7 % และนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10LL3TD-1	3.0916	110.8079	21.8614
10LL3TD-2	2.7050	118.5774	20.2050
10LL3TD-3	2.4184	116.2473	13.6345
10LL3TD-4	2.3983	117.2651	10.3400
10LL3TD-5	2.7033	112.1176	15.8760
10LL3TD-6	2.3183	116.8420	17.9395
10LL3TD-7	2.9633	115.7053	20.4202
10LL3TD-8	2.3474	114.8217	17.0989
10LL3TD-9	3.5542	116.7231	15.1857
10LL3TD-10	2.7458	116.6370	16.3712
10LL5TD-1	2.0224	116.2204	21.1966
10LL5TD-2	2.2472	111.7110	23.2146
10LL5TD-3	2.6720	116.0300	31.6901
10LL5TD-4	2.7207	115.1300	25.0273
10LL5TD-5	2.4819	118.7093	25.3233
10LL5TD-6	2.1649	106.6551	28.8700
10LL5TD-7	2.3994	120.1036	25.4463
10LL5TD-8	1.9987	117.1122	26.2127
10LL5TD-9	2.0208	115.1645	24.0291
10LL5TD-10	2.2610	114.4339	22.1548
10LL7TD-1	2.6315	121.1624	24.1432
10LL7TD-2	2.0497	116.4673	30.4817
10LL7TD-3	3.0679	117.5679	24.2164
10LL7TD-4	2.4851	84.8047	37.9551
10LL7TD-5	2.5403	115.8249	29.3578
10LL7TD-6	3.1233	120.3228	27.8016
10LL7TD-7	2.2896	117.2958	22.4265
10LL7TD-8	2.0088	115.1045	26.5767
10LL7TD-9	2.2280	118.7531	25.0953
10LL7TD-10	2.1145	121.4130	21.7396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์ vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% และนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
15LL3TD-1	2.3311	120.6820	12.2479
15LL3TD-2	2.2504	131.9878	13.3349
15LL3TD-3	2.1698	89.3719	11.2078
15LL3TD-4	2.4917	101.7560	12.6884
15LL3TD-5	2.3738	98.7020	13.8969
15LL3TD-6	2.4944	103.6674	11.5737
15LL3TD-7	2.3895	106.5013	13.8679
15LL3TD-8	2.2386	112.7500	14.7380
15LL3TD-9	2.2396	109.8641	11.1599
15LL3TD-10	2.4085	104.4618	13.7769
15LL5TD-1	2.6791	121.4407	21.6614
15LL5TD-2	2.6055	120.1530	27.4615
15LL5TD-3	2.5014	120.2794	16.4539
15LL5TD-4	2.5997	118.9350	15.9678
15LL5TD-5	2.5793	123.4506	16.6413
15LL5TD-6	2.6518	125.3331	18.1584
15LL5TD-7	2.7787	124.2370	25.4251
15LL5TD-8	2.7042	126.0880	17.0354
15LL5TD-9	2.6908	124.7237	20.8388
15LL5TD-10	2.4955	120.5945	18.6413
15LL7TD-1	3.4999	137.2300	20.4115
15LL7TD-2	3.2113	155.6085	21.2316
15LL7TD-3	2.6041	140.7451	18.5046
15LL7TD-4	3.0186	136.5027	19.2976
15LL7TD-5	2.3097	145.3125	16.5174
15LL7TD-6	2.6058	138.7219	20.4720
15LL7TD-7	2.5219	135.0216	17.1598
15LL7TD-8	3.1093	137.0509	15.3391
15LL7TD-9	2.4168	141.2057	18.0288
15LL7TD-10	2.5230	143.2155	16.2309

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20 เปอร์เซ็นต์ vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% และนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
20LL3TD-1	2.1027	104.3527	11.5690
20LL3TD-2	2.0784	100.3855	14.0605
20LL3TD-3	1.4927	114.4087	12.2399
20LL3TD-4	2.0539	108.9304	11.1540
20LL3TD-5	2.0197	106.5609	8.7032
20LL3TD-6	2.0627	118.4729	15.7610
20LL3TD-7	2.1095	120.8857	10.9528
20LL3TD-8	1.9970	107.8465	8.7119
20LL3TD-9	1.9827	114.6145	13.0361
20LL3TD-10	1.8781	111.4629	12.0250
20LL5TD-1	2.1426	128.1293	12.8241
20LL5TD-2	1.6742	122.9050	15.1826
20LL5TD-3	1.8632	131.6578	16.8306
20LL5TD-4	2.2276	129.8855	13.0794
20LL5TD-5	2.4238	134.1892	17.1150
20LL5TD-6	2.0772	132.4036	12.9572
20LL5TD-7	1.6038	134.3992	9.0594
20LL5TD-8	2.1356	130.7485	11.0379
20LL5TD-9	1.9265	131.8813	12.2172
20LL5TD-10	2.1174	128.5996	14.2653
20LL7TD-1	2.4070	92.5700	12.7037
20LL7TD-2	2.2818	102.3589	18.0656
20LL7TD-3	2.0613	98.1042	13.2374
20LL7TD-4	2.2230	120.8132	15.5938
20LL7TD-5	2.0568	106.2503	11.2306
20LL7TD-6	2.1091	108.3256	16.2865
20LL7TD-7	2.6879	99.6483	12.2738
20LL7TD-8	2.5705	100.6201	16.6971
20LL7TD-9	2.1888	105.4006	13.7623
20LL7TD-10	2.2800	101.8130	17.8503

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20% ของสูตรที่ดีที่สุด และมีการ vary LLDPE โดยมีการนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามขวาง)

Batch reference	Tensile Strength	Young's modulus	Elongation at Break
10MA4.5	2.2789	82.6675	15.1335
10LL3	2.7245	115.5744	16.8932
10LL5	2.2988	115.1270	25.3165
10LL7	2.4539	114.8717	26.9794
15MA6	2.1678	114.8608	12.2034
15LL3	2.3387	107.9745	12.8492
15LL5	2.7821	141.0614	18.3193
15LL7	2.6279	122.5234	19.8285
20MA6.5	1.8031	92.9378	8.7873
20LL3	1.9777	110.7921	11.8214
20LL5	2.0192	130.4800	13.4569
20LL7	2.2866	103.5901	14.7702

ตารางภาคผนวกแสดงสมบัติเชิงกลของสูตรที่ดีที่สุดของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 10, 15 และ 20% ที่มีการนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10MA4.5MD-1	4.5060	55.2956	100.1660
10MA4.5MD-2	4.0256	62.8897	95.4942
10MA4.5MD-3	4.0110	71.8470	103.8011
10MA4.5MD-4	3.9526	82.7873	96.6544
10MA4.5MD-5	4.0833	62.1849	104.3020
10MA4.5MD-6	4.4886	67.0210	110.5248
10MA4.5MD-7	4.3642	59.7883	97.2411
10MA4.5MD-8	4.0322	59.9052	105.4147
10MA4.5MD-9	4.2961	71.8930	106.5553
10MA4.5MD-10	4.2851	66.1228	103.1803
15MA6MD-1	3.3659	91.2768	63.5695
15MA6MD-2	3.1940	67.2441	60.9542
15MA6MD-3	3.3826	69.8243	61.8952
15MA6MD-4	3.3427	74.4045	59.8201
15MA6MD-5	3.6452	64.1782	63.7002
15MA6MD-6	3.1902	83.1563	64.7062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15MA6MD-7	3.1508	75.5150	60.6431
15MA6MD-8	3.3244	79.6417	58.5801
15MA6MD-9	3.5273	82.0363	64.6301
15MA6MD-10	3.1216	77.2065	62.9106
20MA6.5MD-1	2.9454	84.4760	22.3524
20MA6.5MD-2	2.8476	85.6082	16.2225
20MA6.5MD-3	3.0099	92.2331	23.8437
20MA6.5MD-4	2.8958	86.8246	19.4278
20MA6.5MD-5	2.6856	91.5299	17.1659
20MA6.5MD-6	2.7097	93.7856	20.2686
20MA6.5MD-7	2.9775	85.5908	21.1092
20MA6.5MD-8	2.5416	93.1959	19.5977
20MA6.5MD-9	3.0712	91.4575	20.9083
20MA6.5MD-10	3.0844	84.0313	21.1283

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมจากกาแฟ 10 เปอร์เซ็นต์ vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% และนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
10LL3MD-1	5.0762	78.7394	127.4882
10LL3MD-2	4.6463	91.0574	97.5161
10LL3MD-3	4.5271	90.0382	118.8448
10LL3MD-4	5.3981	82.7237	138.4729
10LL3MD-5	4.4581	90.0130	125.4693
10LL3MD-6	5.4704	75.4046	129.1703
10LL3MD-7	4.8080	74.5740	130.3837
10LL3MD-8	4.4220	75.1856	121.2546
10LL3MD-9	4.2470	89.0141	145.3807
10LL3MD-10	5.0720	83.4231	139.7964
10LL5MD-1	5.3259	82.3329	183.3960
10LL5MD-2	5.0665	100.8493	157.9393
10LL5MD-3	4.8576	81.6550	166.0648
10LL5MD-4	4.6751	83.6882	159.6261
10LL5MD-5	4.9533	74.5697	165.8969
10LL5MD-6	4.7736	77.9892	159.6947
10LL5MD-7	5.4298	97.9465	161.3472
10LL5MD-8	4.9862	88.1867	167.5231

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10LL5MD-9	5.2187	95.7064	170.8508
10LL5MD-10	4.8303	88.3895	175.2262
10LL7MD-1	5.5024	77.0746	185.4557
10LL7MD-2	5.3663	68.6750	184.0184
10LL7MD-3	5.1605	77.3030	143.4960
10LL7MD-4	4.7064	91.8538	185.8551
10LL7MD-5	4.8404	93.0225	195.3368
10LL7MD-6	4.9893	84.4543	200.1105
10LL7MD-7	5.5783	71.7256	187.8141
10LL7MD-8	5.0747	84.9599	189.5900
10LL7MD-9	5.7837	80.8197	183.9086
10LL7MD-10	5.0527	75.9810	185.9669

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 15 เปอร์เซ็นต์ vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% และนำไปฝังดินเพื่อทดสอบการย่อยสลาย (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
15LL3MD-1	3.6161	123.2611	67.5861
15LL3MD-2	3.6005	112.6084	45.3593
15LL3MD-3	3.7464	119.1939	65.2172
15LL3MD-4	3.5048	120.8560	60.0957
15LL3MD-5	4.0270	123.3986	64.7824
15LL3MD-6	3.5771	122.3543	73.1606
15LL3MD-7	3.4235	118.1912	74.2943
15LL3MD-8	3.7596	122.4303	69.5569
15LL3MD-9	3.6555	118.6989	59.4417
15LL3MD-10	3.5110	117.6436	61.4677
15LL5MD-1	3.7966	118.8026	80.8414
15LL5MD-2	3.2869	119.4885	127.7207
15LL5MD-3	3.9900	121.2543	108.5352
15LL5MD-4	4.0128	118.8683	84.8156
15LL5MD-5	4.0606	124.1973	124.5249
15LL5MD-6	4.0718	119.2003	115.4287
15LL5MD-7	4.3765	125.0120	99.4807
15LL5MD-8	3.5069	116.4389	101.8247
15LL5MD-9	3.5968	119.7642	88.6804
15LL5MD-10	3.9987	121.0510	90.0639

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15LL7MD-1	3.1454	100.7167	93.3609
15LL7MD-2	3.3023	85.8689	101.3080
15LL7MD-3	3.5708	108.2722	65.9701
15LL7MD-4	3.5405	102.8978	77.3970
15LL7MD-5	3.2155	105.6504	69.2945
15LL7MD-6	3.3992	107.9850	71.5449
15LL7MD-7	3.5216	103.6180	85.6423
15LL7MD-8	3.3507	108.1183	76.2165
15LL7MD-9	3.4401	111.9765	73.2107
15LL7MD-10	3.1365	101.7089	78.7153

ตารางภาคผนวกสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกากกาแฟ 20% vary LLPEE ที่ 3, 5 และ 7% และนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามยาว)

Batch reference	Tensile strength	Young's modulus	Elongation at break
20LL3MD-1	2.5642	85.2932	21.7574
20LL3MD-2	2.8739	93.3830	26.3491
20LL3MD-3	2.6250	87.6310	23.4845
20LL3MD-4	2.9536	92.7395	22.1592
20LL3MD-5	3.0718	87.8480	19.9077
20LL3MD-6	3.1117	92.5263	21.1404
20LL3MD-7	3.2037	90.6348	26.9599
20LL3MD-8	2.6094	100.0282	23.9215
20LL3MD-9	2.3831	85.0316	22.7976
20LL3MD-10	2.5804	87.5004	25.8982
20LL5MD-1	2.5662	110.8654	45.9847
20LL5MD-2	2.3670	73.7518	48.2068
20LL5MD-3	2.0551	94.5932	30.4140
20LL5MD-4	2.7512	105.0680	46.2157
20LL5MD-5	2.1413	103.1045	38.0189
20LL5MD-6	2.1515	100.5093	47.6747
20LL5MD-7	2.1947	97.6820	44.6772
20LL5MD-8	2.7315	95.5250	43.0958
20LL5MD-9	2.2289	100.6646	42.1937
20LL5MD-10	2.2000	98.0569	41.3773
20LL7MD-1	2.0411	92.0561	40.9045
20LL7MD-2	2.0577	108.0595	52.2274

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20LL7MD-3	2.4796	96.3669	48.2449
20LL7MD-4	1.9358	101.0832	52.2644
20LL7MD-5	1.8321	96.4024	34.2946
20LL7MD-6	2.3329	91.5501	54.7063
20LL7MD-7	2.5318	93.1195	39.8753
20LL7MD-8	2.1729	98.9035	45.9879
20LL7MD-9	2.3231	97.0656	42.1662
20LL7MD-10	2.0238	92.0184	40.0684

ตารางภาคผนวกค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่ผสมกาจากาแฟ 10, 15 และ 20% ของสูตรที่ดีที่สุด และมีการ vary LLDPE โดยมีการนำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลาย (ตามยาว)

Batch reference	Tensile Strength	Young's modulus	Elongation at Break
10MA4.5	4.2045	65.9734	102.3334
10LL3	4.8126	83.0173	127.3777
10LL5	5.0117	87.1314	166.7566
10LL7	5.2055	80.5870	184.1552
15MA6	3.3245	76.4484	62.1410
15LL3	3.6422	119.8636	64.0961
15LL5	3.3623	103.6812	79.2661
15LL7	3.8698	120.4078	102.1916
20MA6.5	2.8769	88.8734	20.2025
20LL3	2.7977	90.2617	23.4376
20LL5	2.3387	97.9820	42.7858
20LL7	2.1730	96.6625	45.0739

ตารางภาคผนวกแสดงน้ำหนักของฟิล์มที่นำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลายที่กาจากาแฟ 10%

สูตร	นน.ก่อนฝัง	นน.หลังฝัง	เฉลี่ยก่อน	เฉลี่ยหลัง	นน.ที่หายไป
WCG 10% MA 4.5	0.7844	0.7728	0.8844	0.7928	10.3573
WCG 10% MA 4.5	0.9391	0.7928			
WCG 10% MA 4.5	0.935	0.7928			
WCG 10% MA 4.5	0.8791	0.8128			
WCG 10% MA 4.5 LL3	1.0116	0.9125	1.0116	0.911275	9.9174
WCG 10% MA 4.5 LL3	1.0175	0.9201			
WCG 10% MA 4.5 LL3	1.0006	0.9023			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WCG 10% MA 4.5 LL3	1.0167	0.9102			
WCG 10% MA 4.5 LL5	0.9408	0.8796	0.9608	0.8643	10.0437
WCG 10% MA 4.5 LL5	0.9685	0.8625			
WCG 10% MA 4.5 LL5	0.9608	0.8614			
WCG 10% MA 4.5 LL5	0.9731	0.8537			
WCG 10% MA 4.5 LL7	0.9666	0.8657	0.9666	0.8657	10.4386
WCG 10% MA 4.5 LL7	0.9779	0.8622			
WCG 10% MA 4.5 LL7	0.9602	0.8648			
WCG 10% MA 4.5 LL7	0.9617	0.8701			

ตารางภาคผนวกแสดงน้ำหนักของฟิล์มที่นำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลายที่กากกาแฟ 15%

สูตร	นน.ก่อนฝัง	นน.หลังฝัง	เฉลี่ยก่อน	เฉลี่ยหลัง	นน.ที่หายไป
WCG 15% MA 6	1.2699	1.0145	1.2699	1.0745	15.3870
WCG 15% MA 6	1.2704	1.1071			
WCG 15% MA 6	1.2711	1.0999			
WCG 15% MA 6	1.2682	1.0765			
WCG 15% MA 6 LL3	1.1612	1.1539	1.3612	1.1539	15.2292
WCG 15% MA 6 LL3	1.4894	1.1508			
WCG 15% MA 6 LL3	1.5391	1.1585			
WCG 15% MA 6 LL3	1.2551	1.1524			
WCG 15% MA 6 LL5	1.6316	1.0727	1.3116	1.0947	16.5370
WCG 15% MA 6 LL5	1.4355	1.0957			
WCG 15% MA 6 LL5	1.1091	1.1139			
WCG 15% MA 6 LL5	1.0702	1.0965			
WCG 15% MA 6 LL7	1.3122	1.1039	1.3122	1.1039	15.8741
WCG 15% MA 6 LL7	1.3113	1.1051			
WCG 15% MA 6 LL7	1.3099	1.1077			
WCG 15% MA 6 LL7	1.3154	1.0989			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกแสดงน้ำหนักของฟิล์มที่นำไปฝังดินเพื่อดูการย่อยสลายที่กากกาแฟ 20%

สูตร	นน.ก่อนฝัง	นน.หลังฝัง	เฉลี่ยก่อน	เฉลี่ยหลัง	นน.ที่หายไป
WCG 20% MA 6.5	1.4055	0.9944	1.4055	1.0544	24.9804
WCG 20% MA 6.5	1.3994	1.0744			
WCG 20% MA 6.5	1.4080	1.0921			
WCG 20% MA 6.5	1.4091	1.0567			
WCG 20% MA 6.5 LL3	1.4471	1.1237	1.5471	1.1547	25.3636
WCG 20% MA 6.5 LL3	1.6044	1.1732			
WCG 20% MA 6.5 LL3	1.5777	1.1585			
WCG 20% MA 6.5 LL3	1.5592	1.1634			
WCG 20% MA 6.5 LL5	1.4699	1.4461	1.8699	1.4261	23.7339
WCG 20% MA 6.5 LL5	2.1926	1.4129			
WCG 20% MA 6.5 LL5	1.5652	1.4261			
WCG 20% MA 6.5 LL5	2.2519	1.4193			
WCG 20% MA 6.5 LL7	1.8524	1.3675	1.8024	1.3675	24.1289
WCG 20% MA 6.5 LL7	1.7924	1.3621			
WCG 20% MA 6.5 LL7	1.8011	1.3689			
WCG 20% MA 6.5 LL7	1.7637	1.3715			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

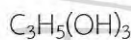
ภาคผนวก ข

ข้อมูลสารเคมี

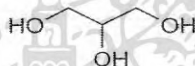
Glycerol

ชื่อเคมี IUPAC	1,2,3-propanetriol ; 1,2,3-Thyhydroxypropane
ชื่อเคมีทั่วไป	Glycerol ; Glycerin
ชื่อเรียกอื่นๆ	Glycerol ; D-glycerol ; L-glycerol ; Glyceritol ; Glycyl alcohol ; Trihydroxypropane ; Glycerin mist ; Polyhydric alcohols ; Propanetriol

สูตรโมเลกุล



สูตรโครงสร้าง



สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สถานะ	ของเหลว
สี	ใสคล้ายน้ำมัน
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
น้ำหนักโมเลกุล	92.09
จุดเดือด(°C)	290
จุดหลอมเหลว(°C)	18
ความถ่วงจำเพาะ	1.26
ความหนืด (mPa.sec)	1400
ความดันไอ (มม.ปรอท)	0.0025
ความหนาแน่นไอสัมพัทธ์ (อากาศ=1)	3.1
ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัม/100มล.)	ละลายน้ำได้ที่ 20°C
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5 ที่ 20°C
จุดวาบไฟ (°C)	199
จุดติดไฟเองได้ (°C)	370
แฟคเตอร์แปลงหน่วย 1 ppm=3.77 มก./ม ³ หรือ 1มก./ม ³ =2.27 ที่ 25°C	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลอื่นๆ

- สารนี้ละลายในเอทานอล

การใช้ประโยชน์

- ใช้เป็นตัวถ่ายเทความร้อนใช้วัดจุดเดือด
- ใช้เป็นสารปรับสภาพพลาสติก (plasticizer)
- ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา
- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้เสถียรที่สภาวะปกติในการใช้งานและการเก็บ
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : สารออกซิไดซ์เข้มข้น
- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง : เปลวไฟ ความร้อน แหล่งจุดติดไฟ และสารที่เข้ากันไม่ได้
- สามารถเกิดปฏิกิริยารุนแรงกับอะซิติกแอนไฮดริดไฮดรอกซีออกไซด์ แคดเมียมออกไซด์ ออคคาไลน์เมทอล และไฮโดรด์
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ถ้าเกิดเพลิง สารนี้จะสลายตัวให้ไอระเหย และแก๊สพิษที่เป็นอันตราย
- อันตรายเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ไม่เกิด
- Glycerin จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 290 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดก๊าซพิษ (Acrolein)

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- ห้ามทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ดิน
- สารนี้สามารถถูกย่อยสลายตามธรรมชาติได้
- เมื่อเกิดการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำ สารนี้จะก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ในระดับต่ำ
- จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ ถ้ามีหากมีการจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

การเก็บรักษาและการขนส่ง

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บบริเวณที่เย็นและแห้ง
- เก็บในบริเวณที่อากาศถ่ายเทสะดวก
- เก็บให้ห่างจากสารที่เข้ากันไม่ได้
- เก็บโดยมีการป้องกันการเสียหายทางกายภาพ
- ภาชนะบรรจุของสารที่เป็นขวดเปล่า อาจมีสารหรือกากสารเคมีตกค้างอยู่ เช่น ไอระเหยของของเหลวอาจเป็นอันตรายได้
- ให้สังเกตคำเตือนและข้อระวังจากฉลากข้างขวด

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย

ทางเดินหายใจ

- เนื่องจากไอระเหยมีความดันต่ำการสูดดมไอระเหยที่อุณหภูมิห้องจะไม่เกิดขึ้น การสูดดมไอระเหยของสารนี้เข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ

ทางผิวหนัง

- การสัมผัส จะทำให้เกิดการระคายเคืองที่บริเวณผิวหนังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับประทานหรือกลืนเข้าไป

- เนื่องจากสารนี้มีความอันตรายต่ำ การกินหรือกลืนเข้าไปอาจทำให้เกิดการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ ท้องร่วง

การสัมผัสผิวหนัง

- ทำให้เกิดการระคายเคือง

การปฐมพยาบาลการหายใจเข้าไป

- ให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปยังที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าหากผู้ป่วยหยุดหายใจให้รีบผายปอด หากหายใจติดขัดให้ผู้ป่วยสูดดมออกซิเจน และนำไปพบแพทย์ทันที

รับประทานหรือกลืนเข้าไป

- กระตุ้นให้ผู้รับประทานเข้าไปอาเจียนออกมาเพื่อเป็นการเอาสารออกจากร่างกาย ผู้ป่วยที่หมดสติไป ให้นำไปพบแพทย์ทันที

ทางผิวหนัง

- ให้ล้างออกด้วยน้ำสะอาดและสบู่ปริมาณมากๆ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อป้องกันการระคายเคืองที่บริเวณผิวหนัง และรีบถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีออก

การสัมผัสผิวหนัง

- รีบล้างตาด้วยน้ำสะอาดในปริมาณมากๆ เป็นเวลา 15 นาที พร้อมกระพือตาถี่ๆ ขณะล้างและรีบไปพบแพทย์

การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด

- ฉีดน้ำให้เป็นฝอยจะช่วยลดไอระเหยและก๊าซที่ทำให้เกิดอันตราย
- ฉีดน้ำเป็นฝอยสามารถดับเพลิงบริเวณโดยรอบ และใช้ในการหล่อเย็นภาชนะที่ถูกเพลิงเผาไหม้
- ข้อมูลพิเศษในการเกิดเหตุเพลิงไหม้ สวมใส่ชุดป้องกันสารเคมีและอุปกรณ์ช่วยหายใจ ชนิดมีถังอากาศในตัว (SCBA) พร้อมใส่หน้ากากแบบเต็มหน้า

Polyethylene-graft-maleic anhydride (PE-g-MA)

Property	Unit	Nominal values	Test method
Density	g/cm ³	0.92	ASTM D792
Melt Index	(190°C/2.16 kg)	1.0-1.5 g/10min	ASTM D1238
Melting point	°C	120	ASTM D3418
Freezing point	°C	102	ASTM D3418
Vicat softening point	°C	95	ASTM D1525
Maximum processing temperature	°C	290	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Brittle temperature	°C	-70	ASTM D746
Heat deflection temperature	°C	41	ASTM D648
Durometer hardness	-	60	ASTM D2240
MAnh grafted	wt%	0.90	FTIR (Dupont)
Residual	Ppm	<500	GC (Dupont)
YI-1	-	<25	ASTM1925-70
Carrier resin type	-	LLDPE	-

การใช้ประโยชน์

- ใช้เป็นสารคู่ควบ (Coupling agent)
- ใช้เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer)

ข้อมูลอื่นๆ

- ใช้เป็นสารคู่ควบในพอลิเมอร์ผสมระหว่างเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยแก้วในพอลิเอทิลีน
- ใช้เป็นตัวปรับปรุงสมบัติด้านการทนทานต่อแรงกระแทกในเทอร์โมพลาสติก

การป้องกันอันตราย

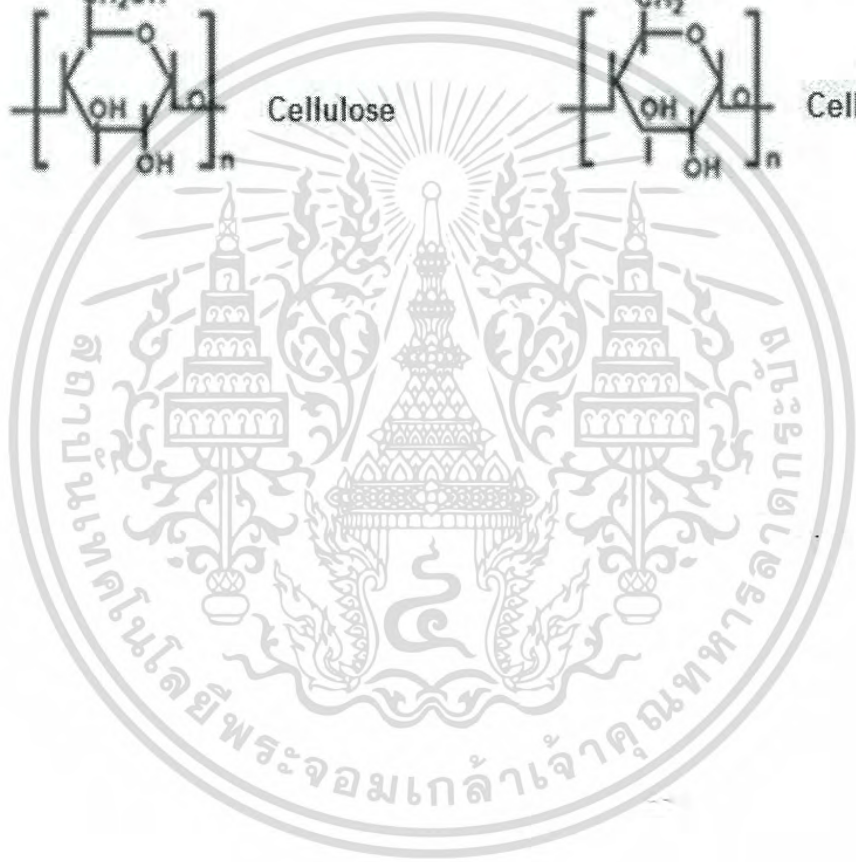
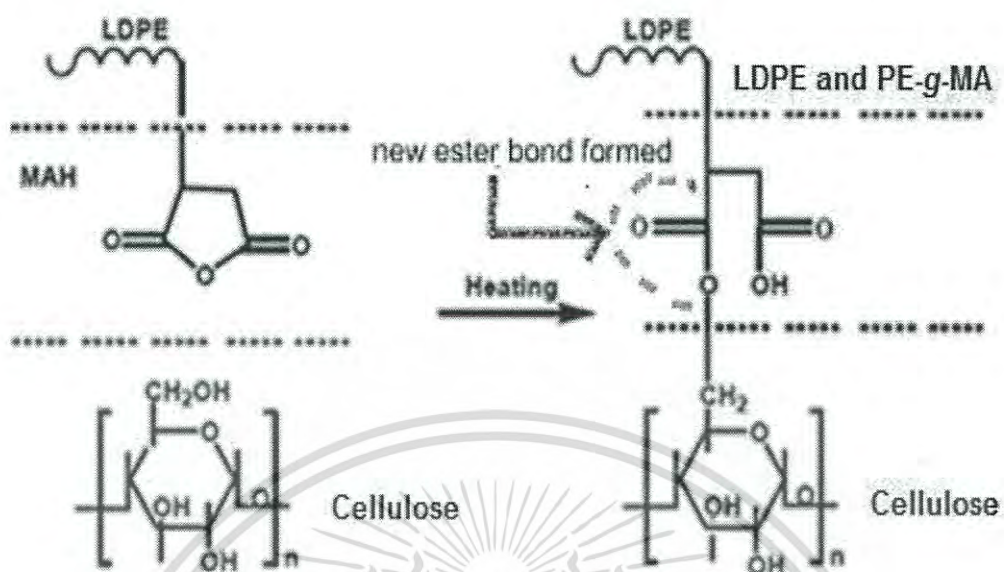
- หลีกเลี่ยงการสูดดมฝุ่นหรือไอระเหย โดยเฉพาะในการเปิดใช้ครั้งแรก

ลักษณะโครงสร้าง Maleic anhydride ต่อกิ่งกับ PE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง MAH กับหมู่ OH ในพอลิเอทิลีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้