

การปิดผนึกด้วยความร้อนของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน

นางสาว นาดยา เอื้อพิทักษ์สกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวัสดุศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974 - 635 - 195 -8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**HEAT SEALING OF POLYPROPYLENE FILM IN FLEXIBLE
PACKAGING**



MISS NATAYA EUAPITAKSAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Materials Science

Graduate School

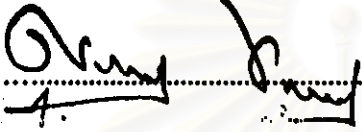
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

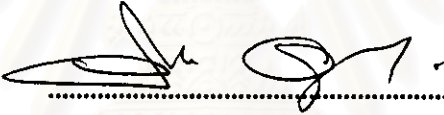
ISBN 974 - 635 -195 - 8

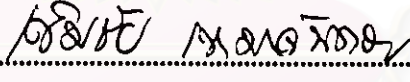
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การป้อนน้ำด้วยความร้อนของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์
ชนิดอ่อน
โดย นางสาว นาดชา เอื้อพิทักษ์สกุล
ภาควิชา วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เข็มรัช เหมะจันทร์

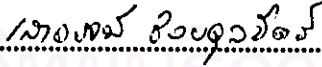
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะแพทยศาสตร์
รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เข็มรัช เหมะจันทร์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุดจิตร)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพพรรณ ต้นติสุข)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นิตยา เอื้อพิทักษ์สกุล : การปิดผนึกด้วยความร้อนของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน (HEAT SEALING OF POLYPROPYLENE FILM IN FLEXIBLE PACKAGING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. เข็มชัย เทมะจันทร์ , 136 หน้า . ISBN 974-635-195-8

นำฟิล์มที่ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนที่ประกอบด้วยฟิล์มพอลิโพรพิลีนเป็นหลักจำนวน 5 ประเภท จากโรงงานอุตสาหกรรม คือ OPP/PE/LLDPE OPP/PE OPP/PP OPP/PP และ OPP/MCPP มาปิดผนึกด้วยความร้อน เพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยที่มีต่อความสมบูรณ์ของรอยผนึก โดยพิจารณาทั้งเครื่องปิดผนึกและฟิล์มที่ใช้ โดยการวัดค่าความแข็งแรงของรอยผนึกและดูรูปแบบของการขาด หลังจากนั้นจะศึกษาหาวิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก โดยการวัดค่าความแข็งแรงของรอยผนึก ความทนต่อการลอก และความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน การปิดผนึกด้วยความร้อนจะใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนแบบเทอร์มอล (thermal heat sealing) ที่มีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง และนำรอยปิดผนึกออกในขณะที่ยังร้อนอยู่

การเพิ่มอุณหภูมิแท่งปิดผนึกและเวลาในการปิดผนึกจะมีผลทำให้ความแข็งแรงของรอยผนึกสูงขึ้นในระยะหนึ่ง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกหรือถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการขาดแล้วจึงจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเริ่มคงที่ ส่วนความดันในการปิดผนึกจะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกน้อยมาก หากฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง แต่ฟิล์มจากวัสดุหลักที่หนาจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกต่ำกว่าฟิล์มจากวัสดุหลักที่บาง วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่เหมาะสมควรใช้อุณหภูมิแท่งปิดผนึกที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกเล็กน้อย โดยให้ความร้อนเพียงพอเฉพาะต่อการหลอมสารปิดผนึกเท่านั้น โดยมีเวลาในการปิดผนึกที่เพียงพอที่จะให้สารปิดผนึกมีอุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลวและเกิดพันธะที่ผิวสัมผัสได้ ส่วนความดันในการปิดผนึกควรใช้ค่าความดันต่ำเพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวของรอยผนึก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์
สาขาวิชา วิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิตดา นิตยา เอื้อพิทักษ์สกุล
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. เข็มชัย เทมะจันทร์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C726283 : MAJOR
KEY WORD.

APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
HEAT SEALING / FLEXIBLE PACKAGING / ORIENTED POLYPROPYLENE
NATAYA EUAPITAKSAKUL : HEAT SEALING OF POLYPROPYLENE FILM
IN FLEXIBLE PACKAGING. THESIS ADVISOR : ASSIS. PROF. KHEMCHAI
HEMACHANDRA, Ph.D. 136 pp. ISBN 974-635-195-8

Five kinds of flexible packaging films composed of oriented polypropylene as a substrate from packaging industry are OPP/PE/LLDPE OPP/PE OPP/PP OPP/CPP and OPP/MCPP used for heat sealing. The main objective is to study both machine and film factors influencing seal integrity by considering seal strength and mode of failure. The study include the relation between sealing method and seal properties by measuring seal strength, peel strength and hot tack. All heat sealing are made by heat sealing machine which is continuous heating and does not let the seal cool under pressure.

Seal strength increases as seal bar temperature and sealing time increase, and it will increase until it reaches appropriate seal bar temperature and sealing time or changes mode of failure, and then seal strength will be constant. Sealing pressure has less measurable effect on seal strength. Thicker sealant film has higher seal strength than thinner one. Thicker substrate film has lower seal strength than thinner one. To achieve appropriate heat sealing, seal bar temperature should be set slightly above the melting point of sealing film and has enough heat to melt the sealant; sealing time should be sufficiently long to permit sealant film to reach its melting point and to bond at the interface; sealing pressure should be kept low in order to prevent seal distortion.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา... วัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต..... นานา เอลีนัททันต์กุล

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... อ. อธิษฐาน นามอพิทอง

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ความเอื้อเฟื้อทางด้านสถานที่ เครื่องมือ และวัสดุสำหรับงานวิจัย ตลอดจนได้รับความช่วยเหลือแนะนำแนวทางในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ขอขอบคุณ ศศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ช่วยให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ พร้อมทั้งช่วยเหลือติดต่อประสานงานให้โครงการวิจัยสามารถดำเนินต่อไปจนสำเร็จ

ขอขอบคุณ ผู้จัดการโรงงาน คุณพอล เอ็ง และ หัวหน้าฝ่ายควบคุมคุณภาพ คุณอัญญารัตน์ วงศ์วิวัฒน์ จากบริษัท ไทยนิสเซ่ ไลน์เซ็น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณปริญญา พวงนาค จากสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการใช้เครื่องมือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวราวุฒิ พ่างทวนิช และ คุณพรเพ็ญ อาทกรกิจวัฒน์ ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะในด้านการค้นคว้าค่าและให้กำลังใจต่อการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พร้อมทั้งอาจารย์ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาการให้แก่ข้าพเจ้า

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
(นาคยา เอื้อพิทักษ์สกุล)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1	บทนำ.....	1
2	วารสารปริทัศน์.....	3
2.1	ความหมายของบรรจุภัณฑ์.....	3
2.2	หน้าที่พื้นฐานของบรรจุภัณฑ์.....	4
2.3	กระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก.....	5
2.3.1	การผลิตฟิล์มพลาสติกชั้นเดียว.....	5
2.3.1.1	การเปลี่ยนรูปจากเม็ดพลาสติกให้เป็นพลาสติกเหลว ด้วยเครื่องรีด.....	5
2.3.1.2	การเปลี่ยนรูปพลาสติกเหลวเป็นแผ่นฟิล์มบาง.....	7
2.3.2	การผลิตฟิล์มพลาสติกหลายชั้น.....	11
2.3.2.1	การเคลือบฟิล์ม (Film coating).....	11
2.3.2.2	การเคลือบฟิล์มแบบอัดรีด (Extrusion coating).....	13
2.3.2.3	การประกบฟิล์ม (Film lamination)	14
2.3.2.4	การรีดร่วม (Coextrusion).....	17
2.4	ส่วนประกอบของแผ่นฟิล์ม.....	19
2.4.1	วัสดุหลัก.....	19
2.4.1.1	ทอติโพรพิลีนหรือพีพี.....	19
2.4.2	วัสดุเพื่อการปิดผนึก (Heat sealable material).....	25
2.4.3	พอลิเมอร์เพื่อการสกัดกัน (Barrier Polymer).....	28
2.4.4	กาว (Adhesive).....	31

	2.4.4.1 กาวในน้ำ.....	32
	2.4.4.2 กาวในตัวทำละลาย.....	32
	2.4.4.3 กาวเหลวร้อน.....	33
2.5	การปิดผนึกฟิล์ม (scaling of film).....	33
2.5.1	การปิดผนึกด้วยความร้อน.....	34
	2.5.1.1 การปิดผนึกด้วยความร้อนแบบเทอร์มอด.....	34
	2.5.1.2 การปิดผนึกด้วยความร้อนแบบอิมพัลส์.....	35
2.5.2	การทดสอบรอยผนึก.....	36
	2.5.2.1 ความแข็งแรงของรอยผนึก (scal strength).....	36
	2.5.2.2 ความทนต่อการลอก (peel strength).....	37
	2.5.2.3 ความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน (hot tack).....	37
2.5.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการปิดผนึก.....	38
	2.5.3.1 ปัจจัยจากเครื่องจักร (machine factors).....	38
	2.5.3.2 ปัจจัยจากเรซิน (resin factors).....	39
	2.5.3.3 ปัจจัยจากฟิล์ม (film factors).....	40
3	การทดลอง.....	43
3.1	อุปกรณ์.....	43
3.2	วัสดุคืบ.....	43
3.3	วิธีการทดลอง.....	44
	3.3.1 ฟิล์มก่อนการปิดผนึก.....	44
	3.3.2 ฟิล์มขณะทำการปิดผนึก.....	45
	3.3.2.1 ปัจจัยทางเครื่องปิดผนึกที่มีผลต่อรอยผนึก.....	46
	3.3.2.2 ปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกที่มีผลต่อรอยผนึก... ..	48
	3.3.2.3 ปัจจัยทางความหนาของวัสดุหลักที่มีผลต่อรอยผนึก.....	48
	3.3.2.4 วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก.....	48
	3.3.3 ฟิล์มหลังการปิดผนึก.....	48
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	51
4.1	สมบัติของฟิล์มก่อนการปิดผนึก.....	51
4.2	ปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยปิดผนึก.....	51

4.2.1	อุณหภูมิของเครื่องปิดผนึก.....	51
4.2.2	เวลาของเครื่องปิดผนึก.....	57
4.2.3	ความดันของเครื่องปิดผนึก.....	61
4.2.4	อุณหภูมิและเวลาของเครื่องปิดผนึก.....	64
	4.2.4.1 OPP20/PE25/LLDPE25.....	64
	4.2.4.2 OPP20/PE28.....	66
4.3	ปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกที่มีผลต่อรอยผนึก.....	68
	4.3.1 OPP/PE.....	68
	4.3.2 OPP/PP.....	70
	4.3.3 OPP/PPP.....	72
4.4	ปัจจัยทางความหนาของวัสดุหลักที่มีผลต่อรอยผนึก.....	75
4.5	วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก.....	77
	4.5.1 OPP20/PE25/LLDPE25.....	77
	4.5.2 OPP/PE.....	82
	4.5.3 OPP/PP.....	85
	4.5.4 OPP/PPP.....	88
	4.5.5 OPP/MPPP.....	93
5	สรุปผลการทดลอง.....	104
5.1	ปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยผนึก	104
5.2	ปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกที่มีต่อรอยผนึก	105
5.3	ปัจจัยทางความหนาของวัสดุหลักที่มีผลต่อรอยผนึก	105
5.4	วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก	106
	5.4.1 OPP20/PE25/LLDPE25.....	106
	5.4.2 OPP/PE.....	106
	5.4.3 OPP/PP.....	106
	5.4.4 OPP/PPP.....	107
	5.4.5 OPP/MPPP.....	107
	รายการอ้างอิง.....	108
	ภาคผนวก.....	111
	ประวัติผู้วิจัย.....	136

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การเปรียบเทียบสมบัติระหว่างฟิล์มพอลิโพรพิลีน 2 ชนิด..... 22
2.2	สมบัติของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ไม่เคลือบและถูกเคลือบด้วยพีวีดีจีหรืออะคริลิก..... 24
2.3	แสดงสมบัติการประกบฟิล์มพอลิโพรพิลีนด้วยแอลคิทีอี..... 25
2.4	พอลิเมอร์เพื่อการสกดกัน..... 29
2.5	พอลิเมอร์สกดกันที่มีการซึมผ่านค่า..... 30
3.1	ฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง..... 43
4.1	สมบัติของฟิล์มก่อนการปิดผนึก..... 51
4.2	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ 52
4.3	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่ความดัน 1.5 บาร์..... 57
4.4	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ..... 61
4.5	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์ 64
4.6	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์ 67
4.7	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PE..... 68
4.8	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PP..... 70
4.9	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PP..... 73
4.10	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาวัสดุหลักของฟิล์ม OPP/MCPP..... 75
4.11	การทดสอบรอยผนึกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที 78

4.12	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวนทั้งในขณะที่สารปิดผนึก ร้อนหรือเย็นแล้ว เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.5 บาร์.....	80
4.13	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที	82
4.14	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PP25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที	85
4.15	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PP30 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที	87
4.16	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/CP30 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที	89
4.17	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/CP20 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที	91
4.18	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที	93
4.19	เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์.....	96
4.20	การทดสอบหาภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25.....	98
4.21	การทดสอบรอยฉนวนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที	100
4.22	เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์.....	103

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาคตัดขวางของเครื่องรีด.....	6
2.2	หัวคานฟิล์มแบบเรียบ.....	7
2.3	หัวคานฟิล์มแบบวง.....	8
2.4	การขึ้นรูปฟิล์มด้วยลูกกลิ้งเย็น.....	8
2.5	การขึ้นรูปฟิล์มด้วยน้ำหล่อเย็น.....	9
2.6	การขึ้นรูปฟิล์มด้วยกระบวนการเป่า.....	10
2.7	การจัดระเบียบลูกรีดแบบต่าง ๆ	10
2.8	กระบวนการเคลือบกรด โดเฟนแบบสารเคลือบมากกินทอ.....	12
2.9	กระบวนการเคลือบฟิล์มแบบสารเคลือบพองเหมาะ.....	13
2.10	กระบวนการเคลือบฟิล์มแบบอครีค.....	13
2.11	การผลิตฟิล์มหลายชั้น โดยการประกบแบบเปียก.....	14
2.12	การผลิตฟิล์มหลายชั้น โดยการประกบแบบแห้ง.....	15
2.13	การผลิตฟิล์มหลายชั้น โดยการประกบแบบอครีค.....	16
2.14	การผลิตฟิล์มหลายชั้น โดยการประกบด้วยความร้อน.....	16
2.15	การผลิตฟิล์มหลายชั้น โดยการประกบด้วยของเหลวร้อน.....	17
2.16	การรีดร่วม.....	17
2.17	หัวคานแบบเรียบของการรีดร่วม.....	18
2.18	บล็อกป้อนของการรีดร่วม.....	18
2.19	โครงสร้างทอติโพรฟิล์มแบบไอโซแทกติก.....	20
2.20	โครงสร้างทอติโพรฟิล์มแบบอแทกติก.....	20
2.21	โครงสร้างทอติโพรฟิล์มแบบซินดิโอแทกติก.....	21
2.22	โครงสร้างทอติโพรฟิล์มแบบสเตอริโอบล็อก.....	21
2.23	แสดงการดึงยืดแผ่นฟิล์มในกระบวนการหล่อฟิล์ม.....	23
2.24	แสดงการดึงยืดแผ่นฟิล์มในกระบวนการเป่าฟิล์ม.....	24
2.25	การปิดผนึกด้วยความร้อนแบบเทอร์มอล	35
2.26	การปิดผนึกด้วยความร้อนแบบอิมพลัส	35
2.27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ในการแยกฟิล์มที่ผิว กับความหนาของฟิล์ม.....	42

3.1	เครื่อง Strogaph E-S Universal Testing Machine.....	45
3.2	เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	46
3.3	เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน.....	47
3.4	แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของรอยผนึก.....	49
3.5	เครื่อง Instron Universal Testing Machine.....	50
3.6	แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความทนต่อการดก.....	50
4.1	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลง ของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที.....	53
4.2	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลง ของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที.....	54
4.3	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลง ของฟิล์ม OPP20/PP25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที.....	55
4.4	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลง ของฟิล์ม OPP20/ CPP30 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที.....	56
4.5	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลง ของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที.....	56
4.6	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 อุณหภูมิ 130 °ซ ความดัน 1.5 บาร์.....	57
4.7	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 อุณหภูมิ 115 °ซ ความดัน 1.5 บาร์.....	57
4.8	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP25 อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์.....	59
4.9	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/ CPP30 อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์.....	60
4.10	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/MCPP25 อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์.....	60
4.11	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 อุณหภูมิ 130 °ซ เวลา 0.5 วินาที.....	61
4.12	แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 อุณหภูมิ 115 °ซ เวลา 0.3 และ 0.8 วินาที.....	62

- 4.13 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อความดันในการปิดฉีกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP25 อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที 63
- 4.14 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อความดันในการปิดฉีกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP30 อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.4 นาที..... 63
- 4.15 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อความดันในการปิดฉีกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/MCPP25 อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที..... 63
- 4.16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์65
- 4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์ 67
- 4.18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉีกของฟิล์ม OPP/PE ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที.....69
- 4.19 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉีกของฟิล์ม OPP/PE ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.7 วินาที.....69
- 4.20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉีกของฟิล์ม OPP/PP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 71
- 4.21 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉีกของฟิล์ม OPP/PP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที..... 71
- 4.22 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉีกของฟิล์ม OPP/PP ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 73
- 4.23 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉีกของฟิล์ม OPP/PP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที..... 74
- 4.24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาวัสดุหลักของฟิล์ม OPP/MCPP ที่ภาวะความดัน 1.0บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 76
- 4.25 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาวัสดุหลักของฟิล์ม OPP/MCPP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที..... 76

- 4.26 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที..... 79
- 4.27 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที 79
- 4.28 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่อง Strogaph กับ Instron..... 80
- 4.29 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 81
- 4.30 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ โดยใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 250 มม./นาที..... 81
- 4.31 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที..... 83
- 4.32 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที 83
- 4.33 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที.....84
- 4.34 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PP25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 86
- 4.35 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PP25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 86
- 4.36 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 87

- 4.37 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 88
- 4.38 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 90
- 4.39 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดสนิทของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 90
- 4.40 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที 91
- 4.41 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดสนิทของฟิล์ม OPP20/PP20 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที..... 92
- 4.42 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP20/PP20 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที 92
- 4.43 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 94
- 4.44 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดสนิทของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 95
- 4.45 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 95
- 4.46 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยร้าวระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดสนิทของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์..... 97
- 4.47 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าวของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที..... 98
- 4.48 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยร้าว เมื่อเปลี่ยนแปลง เวลาการปิดสนิทของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะอุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์..... 99

- 4.49 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความดันการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะอุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที..... 99
- 4.50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 101
- 4.51 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 101
- 4.52 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวนขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที..... 102
- 4.53 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์..... 103