

## Heat Sealing of Polypropylene Film in Flexible Packaging

Khemchai HEMACHANDRA, Nataya EUAPITAKSAKUL

Department of Materials Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University

### Abstract

Five kinds of flexible packaging films composed of oriented polypropylene as a main substrate were selected for heat sealing. It was aimed to study both machine and film factors influencing seal integrity by considering seal strength and mode of failure.

## การปิดผนึกด้วยความร้อนของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน

เข็มชัย เหมะจันทร์, นาทยา เอื้อพิทักษ์สกุล

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทคัดย่อ

นำฟิล์มที่ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนที่ประกอบด้วยฟิล์มพอลิโพรพิลีนเป็นฟิล์มชั้นนอก จำนวน 5 ชนิด มาทดสอบการปิดผนึกด้วยความร้อน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของรอยผนึก โดยพิจารณาทั้งจากเครื่องปิดผนึกและฟิล์มที่ใช้แล้ว วัดค่าความแข็งแรงของรอยผนึกและดูรูปแบบการขาดของฟิล์ม

### คำนำ

บรรจุภัณฑ์ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการห่อหุ้มหรือบรรจุวัสดุสิ่งของต่างๆ ทุกชนิด ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ วัสดุที่นำมาทำบรรจุภัณฑ์มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ แก้ว ไม้ โลหะ กระดาษ ใบตอง และพลาสติกชนิดต่างๆ เป็นต้น

ปัจจุบัน พลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์ เพราะมีสมบัติเหนือกว่าวัสดุประเภทอื่น เช่น ทนต่อการแตก มีความยืดหยุ่น มีความโปร่งใส น้ำหนักเบา ราคา

ถูกและสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้หลายชนิด ทั้งชนิดแข็ง กึ่งแข็ง และชนิดอ่อน โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์ประเภทอาหาร อาหารแช่เยือกแข็ง ยารักษาโรคและเครื่องอุปโภคต่างๆ

ฟิล์มพอลิโพรพิลีน เป็นฟิล์มพลาสติกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นได้ดี มีความเงามันสูง น้ำหนักเบา และสามารถนำไปประกอบกับวัสดุหรือพลาสติกชนิดอื่นๆ ให้ได้ฟิล์มที่มีโครงสร้างหลายชั้น การ

เลือกฟิล์มให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุนั้นมีความสำคัญ และอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตบรรจุภัณฑ์นั้นก็คือ การปิดผนึก เนื่องจากถ้ำรอยที่ปิดผนึกมีรูรั่วหรือไม่แข็งแรงแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ถูกบรรจุไว้ก็จะเกิดความเสียหายจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ การปิดผนึกเป็นการทำให้เกิดพันธะระหว่างฟิล์มพลาสติกแล้วทำให้ฟิล์มพลาสติกทั้งสองเชื่อมติดกัน การทำให้เกิดพันธะระหว่างฟิล์มที่สัมผัสกันนั้นต้องอาศัยปัจจัยที่ให้โมเลกุลของแผ่นฟิล์มเกิดการเคลื่อนที่มาสัมผัสและสร้างพันธะระหว่างกันขึ้น โดยการใช้แรงกล การใช้อัลตราโซนิคส์ และการใช้ความร้อน

โดยทั่วไปการปิดผนึกฟิล์มประเภทเทอร์โมพลาสติกหรือฟิล์มที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการบรรจุโดยมีระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซ มักจะใช้การปิดผนึกด้วยความร้อน (1-4) เนื่องจากให้ข้อดีหลายประการ คือ ลักษณะของผนึกมีความแน่นซึ่งสามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของกลิ่น ก๊าซ ไอน้ำ และจุลินทรีย์ได้ดี การปิดผนึกฟิล์มเหล่านี้ทำได้ง่าย สะดวก และเครื่องมือที่ใช้มีราคาไม่สูงมาก นอกจากนี้ยังใช้เวลาสั้น ทำให้อัตราเร็วในการผลิตสูงขึ้น

การปิดผนึกด้วยความร้อนของฟิล์มชนิดอ่อน ต้องคำนึงถึงปัจจัย 3 ประการ คือ ปัจจัยจากเครื่องปิดผนึก เรซิน และฟิล์มที่ใช้ (Robertson, 1993) ส่วนมากแล้วจะพิจารณาจากชนิดของฟิล์มก่อน เพื่อให้เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ที่จะบรรจุงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ในการหาอิทธิพลของเครื่องปิดผนึกและฟิล์มที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของรอยปิดผนึก โดยกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน

## วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ใช้ฟิล์มพอลิโพรพิลีน (polypropylene) ที่มีส่วนประกอบของชั้นฟิล์มและผลิตด้วยกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของฟิล์ม	ความหนาของฟิล์ม (ไมโครเมตร)	กระบวนการผลิตฟิล์ม
OPP20/PE25/LLDPE25	70	การประกบแบบออครีด
OPP20/PE30	50	การประกบแบบออครีด
OPP20/PE28	48	การประกบแบบออครีด
OPP20/PP30	50	การประกบแบบออครีด
OPP20/PP25	45	การประกบแบบออครีด
OPP20/CPP30	50	การประกบแบบแห้ง
OPP20/CPP20	40	การประกบแบบแห้ง
OPP20/MCPP25	45	การประกบแบบแห้ง
OPP20/MCPP25	50	การประกบแบบแห้ง

## หมายเหตุ

- คำย่อของฟิล์มที่ใช้
 

OPP	=	Oriented Polypropylene
PE	=	Polyethylene
LLDPE	=	Linear Low Density Polyethylene
PP	=	Polypropylene
CPP	=	Cast Polypropylene
MCPP	=	Metallized Cast Polypropylene

2. ตัวเลขที่ตามหลังชื่อของฟิล์ม คือ ความหนาของฟิล์มในแต่ละชั้นมีหน่วยเป็นไมโครเมตร

3. ฟิล์ม OPP เป็นฟิล์มชั้นนอกสุด ฟิล์มชั้นในสุดทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับปิดผนึก

## อุปกรณ์และวิธีการ

แบ่งการศึกษาออกได้ดังนี้

### การศึกษาลักษณะของฟิล์มก่อนการปิดผนึก

- ศึกษาโครงสร้างในแต่ละชั้นของฟิล์มว่าประกอบด้วยพอลิเมอร์ชนิดใด จำนวนชั้นของพอลิเมอร์ที่ประกอบกันเป็นฟิล์มกระบวนการผลิตและความหนาของแผ่นฟิล์ม ข้อมูลเหล่านี้ได้จากผู้ผลิตดังแสดงในตารางที่ 1

### Heat Sealing of PP Film in Flexible Packaging.

2. นำฟิล์มมาทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน JIS K7127 โดยใช้เครื่อง Strogaph E-S Universal Tensile Testing Machine โดยกำหนดภาวะของเครื่องในการทดสอบ ดังนี้

ขนาด load cell	500 นิวตัน
ระยะทดสอบ (gage length)	50 มิลลิเมตร
อัตราเร็วในการดึง	100 มิลลิเมตรต่อนาที

ตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ในการทดสอบตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 15 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร

เริ่มทดสอบโดยการจับตัวอย่างฟิล์มด้วยตัวจับของเครื่อง จากนั้นจึงเริ่มดึงขึ้นตัวอย่างแล้วอ่านค่าของแรงที่ทำให้ฟิล์มขาดที่ได้จากกราฟหรือหน้าปัดของเครื่อง มีหน่วยเป็นนิวตัน

3. หาจุดหลอมเหลวของฟิล์มที่ทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับการปิดผนึกตามมาตรฐาน ASTM D3417 โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น Netzsch DSC2000 โดยการเตรียมตัวอย่างฟิล์มประมาณ 4-5 มิลลิกรัม ใส่ไว้ในถาดอะลูมิเนียมที่มีฝาปิด และใส่ถาดอะลูมิเนียมที่ไม่มีตัวอย่างเป็นถาดอ้างอิง นำถาดทั้งสองไปวางไว้ในเครื่อง DSC ก่อนจะให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง ให้ทำการไล่ก๊าซออกซิเจนภายในเครื่องออกด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงเริ่มให้ความร้อนด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียสจนถึงที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ในขณะที่มีการให้ความร้อนจะมีการป้อนก๊าซไนโตรเจนในอัตรา 15 มิลลิตร/นาที อ่านค่าจุดหลอมเหลวของฟิล์มจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลของความร้อน (heat flow) และอุณหภูมิ

4. หาความแข็งแรงของการประกอ (lamination strength) โดยการนำชิ้นตัวอย่างขนาด 15 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร มาแยกชั้นของฟิล์มที่เป็นวัสดุหลักกับสารปิดผนึกออก โดยให้เหลือส่วนที่ยังไม่ได้แยกไว้ยาว 100 มิลลิเมตร แล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่อง Strogaph E-S Universal Tensile Testing Machine โดยตั้งภาวะของเครื่อง ดังนี้

ขนาด load cell	500 นิวตัน
ระยะทดสอบ (gage length)	50 มิลลิเมตร

อัตราเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที  
จากนั้นจึงเริ่มดึงขึ้นงานตัวอย่าง บันทึกค่าแรงดึงสูงสุดและต่ำสุดที่อ่านได้จากกราฟหรือหน้าปัดของเครื่องมีหน่วยเป็นนิวตัน

#### การศึกษาฟิล์มขณะทำการปิดผนึก

นำตัวอย่างฟิล์มชนิดต่างๆ มาทำการปิดผนึกโดยใช้เครื่องทดสอบการปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat Sealer Tester) และกำหนดภาวะต่างๆ กัน เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อรอยปิดผนึก ดังนี้

#### ปัจจัยของเครื่องปิดผนึก

ปัจจัยสามประการของเครื่องปิดผนึกที่จำเป็นต้องควบคุมในขณะที่ทำการปิดผนึกด้วยความร้อนได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และความดัน โดยใช้ฟิล์ม 5 ชนิด คือ OPP20/PE25/LLDPE25, OPP20/PE28, OPP20/PP25, OPP20/PP30 และ OPP20/MCPP25

นำฟิล์มแต่ละชนิดมาทำการปิดผนึกโดยให้ความดันและเวลาคงที่ คือใช้ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที และเพิ่มอุณหภูมิทุก 5 °C ตั้งแต่ 95 °C ถึง 160 °C เพื่อดูแนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

จากการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิทำให้ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อความแข็งแรงของรอยผนึกใช้อุณหภูมิดังกล่าวมาทำการปิดผนึกฟิล์ม โดยให้ความดันคงที่ คือ 1.5 บาร์ และเปลี่ยนเวลาเพื่อดูแนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกจากการศึกษาเบื้องต้นนี้ ทำให้ได้เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมกับความแข็งแรงของรอยผนึกให้นำอุณหภูมิและเวลาดังกล่าว มาทำการปิดผนึก เพื่อหาแนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไป โดยใช้ความดันระหว่าง 0.5 ถึง 3.5 บาร์

#### ปัจจัยทางความหนาของชั้นปิดผนึก

ใช้ฟิล์มที่มีความหนาของชั้นปิดผนึกแตกต่างกัน โดยใช้ความดัน 1.5 บาร์และเวลา 0.5 วินาที แล้วเปลี่ยนค่าของอุณหภูมิในการปิดผนึก ตัวอย่างฟิล์มที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ OPP20/PE28 กับ OPP20/PE30, OPP20/PP25 กับ OPP20/PP30 และ OPP20/PP20 กับ OPP20/PP30

### ปัจจัยทางความหนาของฟิล์มชั้นนอก

ใช้ฟิล์มที่มีความหนาของฟิล์มชั้นนอกต่างกัน โดยให้ความดันและเวลาที่ แต่เปลี่ยนค่าของอุณหภูมิในการปิดผนึกฟิล์มที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ OPP20/MCPP25 กับ OPP25/MCPP25

### การศึกษาฟิล์มหลังจากการปิดผนึก

โดยทดสอบดังนี้

#### ความแข็งแรงของรอยผนึก (seal strength)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน JIS Z 0238 โดยใช้เครื่อง Stograph E-S Universal Tensile Testing Machine และกำหนดภาวะการทดสอบ ดังนี้

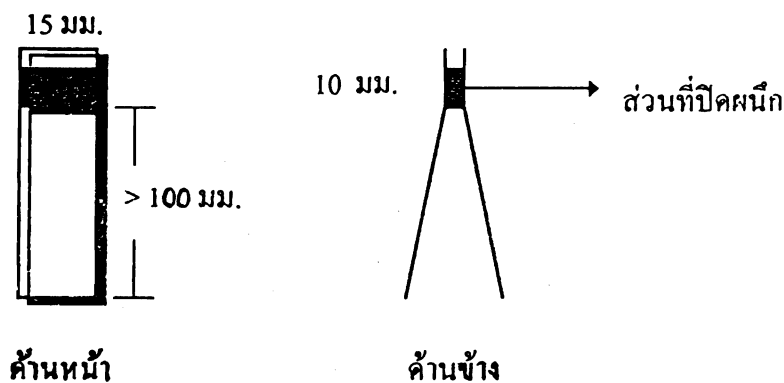
ขนาด load cell	500 นิวตัน
ระยะทดสอบ (gage length)	50 มิลลิเมตร
อัตราเร็วในการดึง	100 มิลลิเมตรต่อนาที
ขนาดของชิ้นตัวอย่าง	ดังในรูปที่ 1

วิธีการทดสอบเริ่มจากจับชิ้นตัวอย่างด้วยตัวจับของเครื่องแล้วเริ่มดึงขึ้นตัวอย่าง อ่านค่าของแรงที่ใช้ในการดึงจากกราฟ หรือหน้าปัดของเครื่องมีหน่วยเป็นนิวตัน โดยขณะทำการทดสอบให้สังเกตลักษณะของการขาดว่าเป็นแบบใด

#### ความทนต่อการลอก (peel strength)

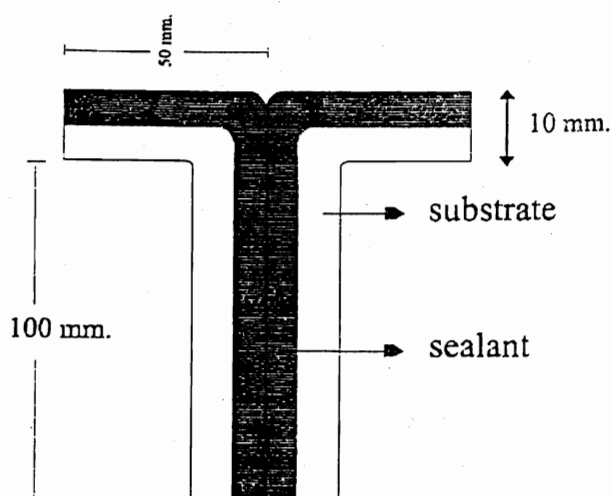
ทดสอบตามมาตรฐาน JIS K 6854 โดยใช้วิธีการลอกแบบ T-type peel ด้วยเครื่อง Instron Universal Tester โดยตั้งภาวะการทดสอบ ดังนี้

ขนาด load cell	5 กิโลนิวตัน
ระยะทดสอบ (gage length)	50 มิลลิเมตร
อัตราเร็วในการดึง	100 มิลลิเมตรต่อนาที
ขนาดของชิ้นตัวอย่าง	10 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร โดยมีส่วนที่ไม่ได้ปิดผนึกยาว 50 มิลลิเมตร ส่วนที่ปิดผนึกยาว 100 มิลลิเมตร (ดังในรูปที่ 2)



รูปที่ 1 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของรอยผนึก

*Heat Sealing of PP Film in Flexible Packaging.*



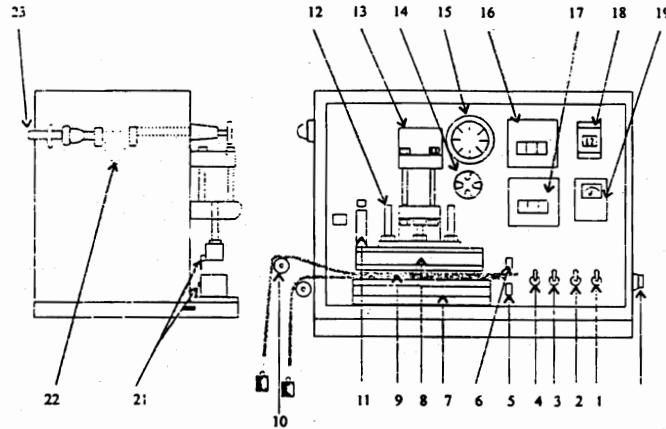
รูปที่ 2 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความทนต่อการลอก

การทดสอบเริ่มจากการจับชิ้นตัวอย่างด้วยตัวจับเครื่องโดยวางตัวอย่างไว้ในรูปตัว T แล้วจึงเริ่มดึงชิ้นงานอ่านค่าแรงที่ใช้ในการดึงทุกๆ ระยะ 10 มิลลิเมตร จนครบ 5 จุด ถ้าฟิล์มมีค่าความทนต่อการลอกในระยะทางที่มากขึ้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกันแสดงว่าฟิล์มมีความสมบูรณ์ของรอยผนึก (seal integrity)

ความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน (hot tack)

ทดสอบโดยใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน ดังรูปที่ 3 ตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 25 มิลลิเมตร x 800 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น นำส่วนที่เป็นสารปิดผนึกมาประกบกัน หนีบปลายของฟิล์มแต่ละชิ้นด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด 45 กรัม รวมน้ำหนัก 2 ชิ้นเท่ากับ 90 กรัม แล้วจึงนำฟิล์มไปเข้าเครื่องปิดผนึก โดยให้ส่วนของตุ้มน้ำหนักทั้งตัวเป็นอิสระและให้ตัวอย่าง

ฟิล์มวางไปตามแนวยาวของแท่งปิดผนึกจับปลายด้านหนึ่งของฟิล์มที่ไม่ถ่วงตุ้มน้ำหนักไว้ ทำการปิดผนึกพร้อมปล่อยตัวฟิล์มที่จับไว้ทำให้ฟิล์มที่ปิดผนึกแล้วแต่ยังมีรอยผนึกที่ยังร้อนอยู่ เกิดการแยกตัวไปตามน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักที่ถ่วงอยู่แต่ละข้างของฟิล์ม ทำการวัดความยาวของรอยผนึกที่แยกออกจากกันมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร หากฟิล์มมีความยาวของรอยแยกมากแสดงว่าฟิล์มมีความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนต่ำ เนื่องจากการเกิดรอยแยกของฟิล์มทันทีหลังการปิดผนึก แต่ถ้าหากฟิล์มมีความยาวของรอยแยกน้อย แสดงว่าฟิล์มมีความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนสูง เนื่องจากฟิล์มทั้งสองเกิดพันธะต่อกัน ทำให้รอยผนึกมีความแข็งแรงสูงพอที่จะยึดฟิล์มทั้งสองให้ติดกันได้ดี



- |                                    |   |   |
|------------------------------------|---|---|
| 1. Main power switch               | 10. Roller for hot tack test                      | 17. Temperature controller for the lower seal bar |
| 2. Timer switch                    | 11. Limit switch                                  | 18. Digital timer                                 |
| 3. Switch for the upper bar heater | 12. Guide rod                                     | 19. Ammeter                                       |
| 4. Switch for the lower bar heater | 13. Air cylinder                                  | 20. Connector for the start switch                |
| 5. Lower heater insert hole        | 14. Pressure control valve                        | 21. Temperature sensors                           |
| 6. Upper heater insert hole        | 15. Pressure gauge                                | 22. Air filter                                    |
| 7. Lower seal bar                  | 16. Temperature controller for the upper seal bar | 23. Air horse connection                          |
| 8. Upper seal bar                  |   |   |
| 9. Film                            |   |   |

รูปที่ 3 เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อน

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### ผลการศึกษาสมบัติของฟิล์มก่อนการปิดผนึก

ได้ทำการศึกษาความต้านทานแรงดึง ความแข็งแรงของการประกบและจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนก่อนการปิดผนึก

ฟิล์ม	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน/15 10 มิลลิเมตร)	ความแข็งแรงของการประกบ (นิวตัน/15 10 มิลลิเมตร)	จุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก ( $^{\circ}\text{C}$ )
1. OPP20/PE25/LLDPE25	0.30 - 1.80	45.80	104/123
2. OPP20/PE30	1.22 - 1.70	29.33	105
3. OPP20/PE28	0.38 - 3.00	28.33	105
4. OPP20/PP30	0.29 - 1.35	31.74	144
5. OPP20/PP25	0.32 - 1.70	26.98	144
6. OPP20/PP30	0.80 - 1.30	32.60	140
7. OPP20/PP20	0.42 - 1.25	45.80	147
8. OPP20/MCPP25	0.17 - 0.60	27.29	138
9. OPP25/MCPP25	0.10 - 2.09	57.20	136

### Heat Sealing of PP Film in Flexible Packaging.

#### ผลการศึกษาสมบัติของฟิล์มขณะทำการปิดผนึก

#### ผลการศึกษาปัจจัยของเครื่องที่มีผลต่อรอยปิดผนึก

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ ความดันและเวลาในการปิดผนึกของฟิล์ม 5 ชนิด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 ถึง 5 และแสดงในกราฟรูปที่ 4 ถึง 6

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกของฟิล์มชนิดต่างๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 นาที

อุณหภูมิ (°ซ)	OPP20/PE25/LLDPE25		OPP20/PE28		OPP20/PP25		OPP20/CPP30		OPP20/MCPP25	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
95			0.06	P						
100			0.31	P						
105			4.45	D						
110			4.79	D						
115	0.09	P	5.72	D						
120	0.56	P	5.87	D	0.02	P			0.05	P
125	2.26	P	5.54	D	0.04	P			0.15	P
130	9.46	D	5.56	D	0.31	P	0.28	P	2.15	P
135	10.62	D	5.83	D	1.49	P	4.34	P	6.54	P
140	11.00	D	5.80	D	4.41	P	14.07	D	8.96	D
145	14.13	D	5.84	D	5.8	P	14.13	D	8.96	D
150	38.08	F			7.96	D	14.73	D	10.90	D
155							15.35	D		
160							14.56	D		

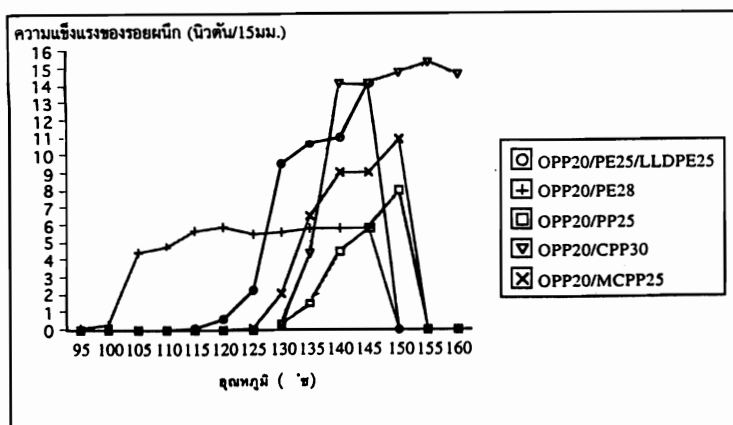
SS = Seal Strength, ความแข็งแรงของรอยผนึก

MOF = Mode of Failure, รูปแบบของการกุด

P = Pell, การลอก

D = Delamination, การแยกประกอบ

F = Fail, ฟิล์มขาด

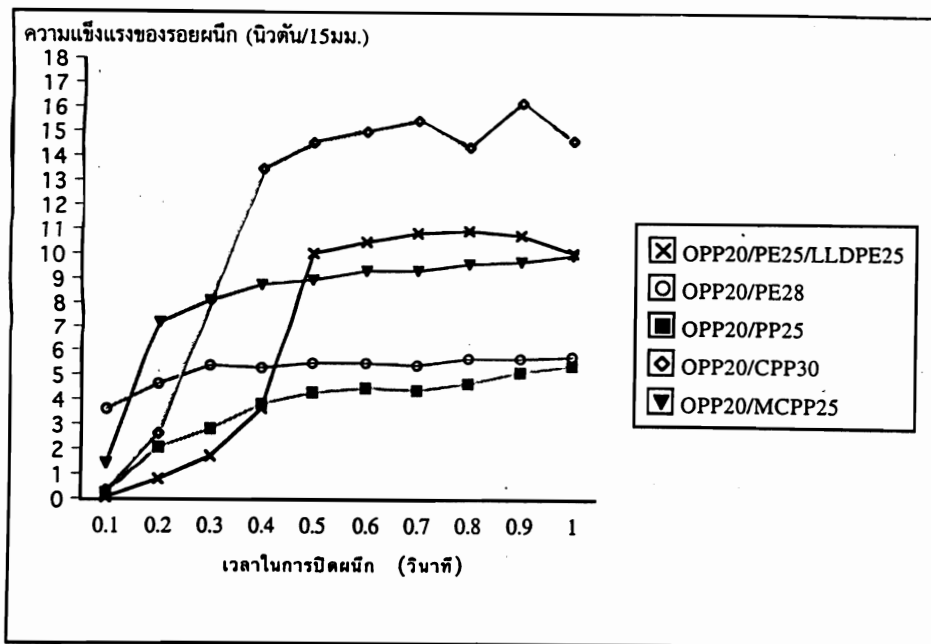


รูปที่ 4 ความแข็งแรงของรอยผนึกของฟิล์มชนิดต่างๆ เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงที่ความดัน 1.5 บาร์และเวลา 0.5 วินาที

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีกของฟิล์มชนิดต่างๆ เมื่อเวลาที่ใช้ในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าความดัน 1.5 บาร์ และอุณหภูมิคงที่

เวลา (วินาที)	OPP20/PE25/LLDPE25		OPP20/PE28		OPP20/PP25		OPP20/PP30		OPP20/MCPP25	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
0.1	0.13	P	3.63	D	0.25	P	0.35	P	1.50	P
0.2	0.81	P	4.62	D	2.08	P	2.68	P	7.17	D
0.3	1.74	P	5.37	D	2.78	P	8.10	P	8.13	D
0.4	3.67	P	5.27	D	3.85	P	13.47	D	8.76	D
0.5	9.99	D	5.41	D	4.25	P	14.57	D	8.87	D
0.6	10.43	D	5.43	D	4.47	P	15.03	D	9.31	D
0.7	10.85	D	5.36	D	4.36	P	15.49	D	9.31	D
0.8	10.88	D	5.68	D	4.61	P	14.38	D	9.56	D
0.9	10.73	D	5.63	D	5.11	P	16.21	D	9.63	D
1	9.97	D	5.70	D	5.33	P	14.60	D	9.87	D

หมายเหตุ คำย่อใช้เช่นเดียวกับตารางที่ 3



รูปที่ 5 ความแข็งแรงของรอยฉีกของฟิล์มชนิดต่างๆ เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงที่ความดัน 1.5 บาร์ และอุณหภูมิคงที่

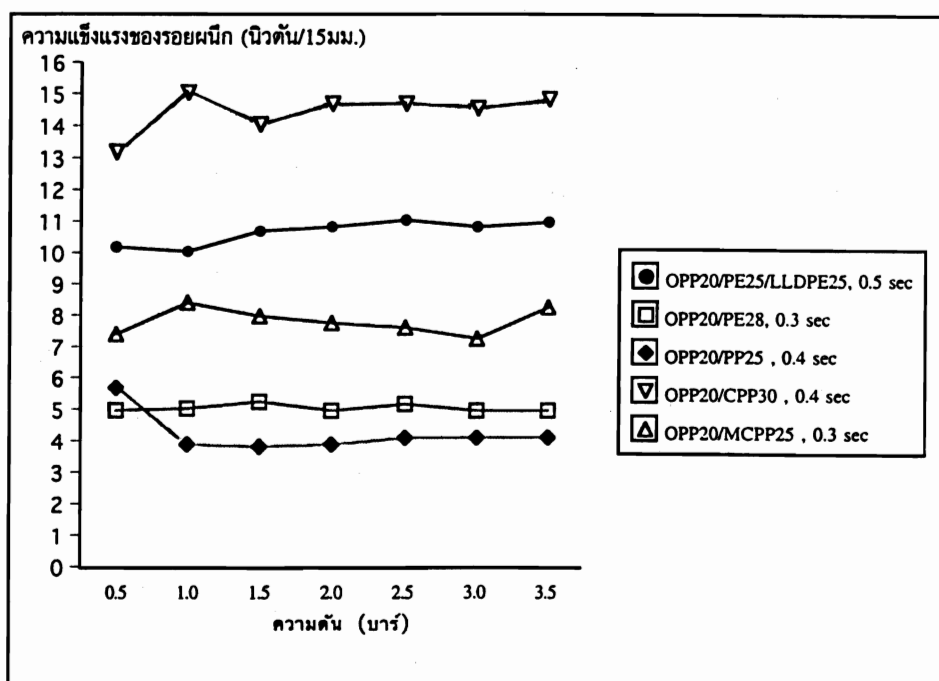


*Heat Sealing of PP Film in Flexible Packaging.*

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกของฟิล์มชนิดต่างๆ เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง โดยมีเวลาในการปิดผนึกและอุณหภูมิคงที่

ความดัน (บาร์)	OPP20/PE25/LLDPE25		OPP20/PE28		OPP20/PP25		OPP20/PP30		OPP20/MCPP25	
	SS ที่ 0.5 sec	MOF	SS ที่ 0.3 sec	MOF	SS ที่ 0.4 sec	MOF	SS ที่ 0.4 sec	MOF	SS ที่ 0.3 sec	MOF
0.5	10.18	D	4.98	D	5.74	P	13.21	D	7.46	D
1.0	10.05	D	5.07	D	3.94	P	15.05	D	8.46	D
1.5	10.74	D	5.32	D	3.83	P	14.06	D	8.03	D
2.0	10.84	D	4.98	D	3.94	P	14.69	D	7.82	D
2.5	11.08	D	5.20	D	4.12	P	14.69	D	7.61	D
3.0	10.87	D	5.02	D	4.15	P	14.58	D	7.28	D
3.5	11.02	D	4.99	D	4.16	P	14.88	D	8.32	D

หมายเหตุ ค่าย่อใช้เช่นเดียวกับตารางที่ 3



รูปที่ 6 ความแข็งแรงของรอยผนึกของฟิล์มชนิดต่างๆ เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลง โดยมีอุณหภูมิและเวลาในการผนึกคงที่

จากตารางที่ 3 และกราฟรูปที่ 4 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการปิดผนึกเพิ่มขึ้นความแข็งแรงของรอยผนึกจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่มีความแข็งแรงของรอยผนึกจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่มีความแข็งแรงของรอยผนึกมีค่าคงที่ เนื่องจากได้รับความร้อนเพียงพอในการทำให้โมเลกุลทั้งหมดของสารปิดผนึกเกิดการหลอมเหลวและมีอิสระมากขึ้น โมเลกุลอิสระที่มากขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการสร้างพันธะได้มากขึ้น จึงทำให้ได้รอยผนึกที่มีความแข็งแรงมากขึ้น จนถึงจุดหนึ่งที่จะให้ความร้อนเพียงพอต่อการทำให้โมเลกุลของชั้นปิดผนึกเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์แล้วค่าความแข็งแรงของรอยผนึกมีค่าคงที่นี้จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์มควรเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงสุดได้ โดยรอยปิดผนึกที่ได้จะต้องมีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่เกิดรอยย่นหรือหดรัดตัวของฟิล์ม และไม่เกิดการบิดเบี้ยวของรอยผนึก (seal distortion)

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าแนวโน้มของความแข็งแรงของรอยผนึกเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการปิดผนึกเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งก็จะคงที่ เนื่องจากเมื่อใช้เวลานานในการปิดผนึกเพิ่มขึ้น โมเลกุลอิสระของชั้นปิดผนึกจะมีเวลาในการแลกเปลี่ยนสาย

โซ่โมเลกุลและเกิดการเกี่ยวพันได้มากขึ้น จึงทำให้มีพันธะในการปิดผนึกที่แข็งแรงขึ้นและเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนสายโซ่และการเกี่ยวพันของโมเลกุลทั้งหมดแล้ว ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะคงที่จุดแรกที่มีความแข็งแรงของรอยผนึกมีค่าคงที่ จะเป็นเวลาที่เหมาะสมในการปิดผนึก โดยจะสอดคล้องกับการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด คือ เปลี่ยนจากแบบลอก (peel) มาเป็นแบบแยกประกบ (delamination)

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าความดันของการปิดผนึกของฟิล์มในช่วง 0.5 ถึง 3.5 บาร์ ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยผนึกมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากความดันในการปิดผนึกเป็นเพียงการช่วยทำให้โมเลกุลอิสระของชั้นปิดผนึกเกิดการสัมผัสกันที่ผิวสัมผัสได้มากยิ่งขึ้น ไม่มีส่วนช่วยในการเกิดพันธะจึงทำให้การเพิ่มความดันมีผลน้อยต่อความแข็งแรงของรอยผนึก

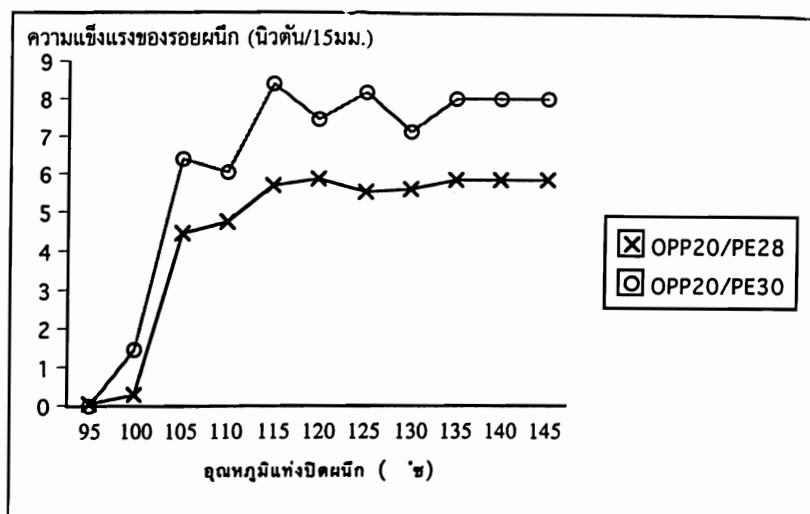
ผลการศึกษาปัจจัยทางความหนาของชั้นปิดผนึก  
- ฟิล์ม OPP/PE

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการปิดผนึกของฟิล์มที่มีความหนาของชั้นปิดผนึกต่างกัน โดยให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 6 และกราฟรูปที่ 7

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PE

อุณหภูมิ (°C)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที			
	OPP20/PE28		OPP20/PE30	
	SS	MOF	SS	MOF
95	0.06	P		
100	0.31	P	1.46	P
105	4.45	D	6.40	P
110	4.79	D	6.06	P
115	5.72	D	8.42	D
120	5.87	D	7.48	D
125	5.54	D	8.18	D
130	5.56	D	7.14	D
135	5.83	D	7.99	D
140	5.80	D	8.00	D
145	5.84	D	7.99	D

## Heat Sealing of PP Film in Flexible Packaging.



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PE ที่ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

ฟิล์ม OPP/PE ทั้งสองชนิดมีความหนาของชั้นปิดผนึกต่างกัน 2 ไมโครเมตร (PE30 กับ PE28) ซึ่งถือว่าเป็นความหนาที่ต่างกันน้อยมาก ดังนั้นอาจถือได้ว่าความหนาของฟิล์มรวมทั้งหมดจะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มชั้นนอกเข้าสู่ผิวสัมผัสระหว่างชั้นปิดผนึกนั้นมีผลน้อยมากนั่นคือ เมื่อให้ความร้อนแก่ฟิล์มทั้งสองชนิด ด้วยอุณหภูมิของแท่งปิดผนึกเดียวกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากฟิล์มชั้นนอกไปยังผิวสัมผัสกับชั้นปิดผนึกได้อุณหภูมิที่เท่ากัน ชั้นปิดผนึกของฟิล์มทั้งสองชนิดจะได้รับปริมาณความร้อนเท่ากัน ดังนั้นเมื่อความหนาของชั้นปิดผนึกที่แตกต่างกัน และได้รับความร้อนและเวลาในการปิดผนึกที่เท่ากัน ความแข็งแรงของรอยผนึกน่าจะขึ้นกับอัตราเร็วในการแลกเปลี่ยนสายโซ่โมเลกุลและการเกี่ยวพันกันที่ผิวสัมผัสฟิล์มที่มีชั้นปิดผนึกหนาจะมีสายโซ่โมเลกุลมาก จึงทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนสายโซ่โมเลกุล และการเกี่ยวพันมากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง ดังนั้นจึงมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่า

#### - ฟิล์ม OPP/PP

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงไป โดยให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ฟิล์ม OPP/PP ที่มีความหนาของชั้นปิดผนึกที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 7 และกราฟรูปที่ 8

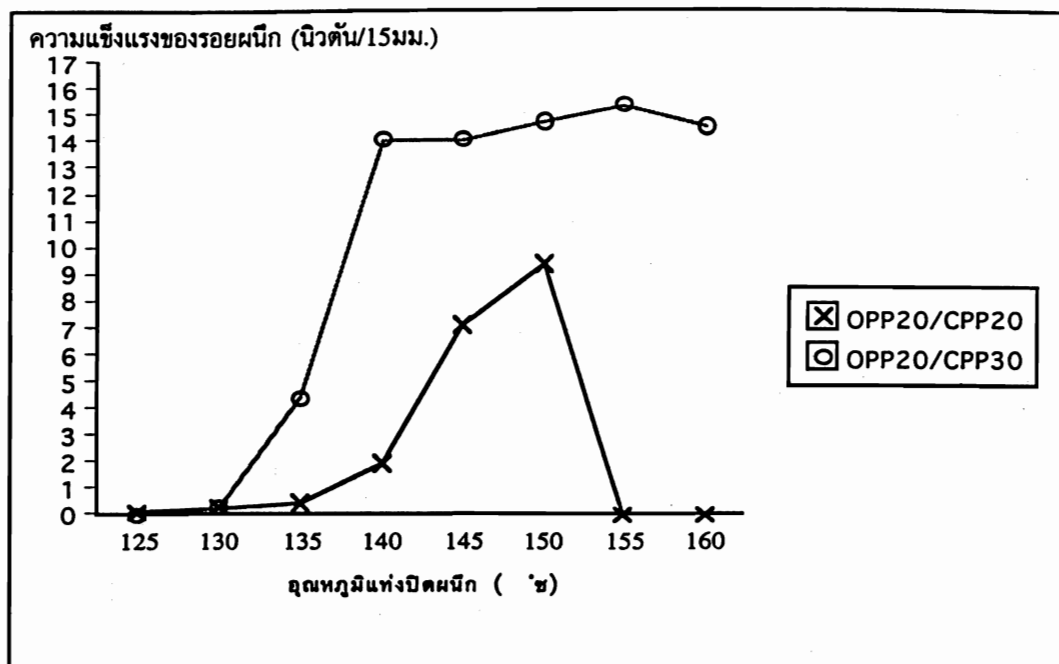
จากกราฟรูปที่ 8 จะเห็นว่าฟิล์ม OPP/PP ที่มีชั้นปิดผนึกหนา (CPP30) จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มชั้นที่มีชั้นปิดผนึกบาง (CPP20) อย่างมาก ซึ่งสามารถอธิบายเช่นเดียวกับฟิล์ม OPP/PE ในแง่ที่การมีชั้นปิดผนึกหนาทำให้มีจำนวนสายโซ่โมเลกุลที่จะเกิดพันธะได้มาก จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูง แต่ฟิล์มทั้งสองนี้มีความหนารวมต่างกันถึง 10 ไมโครเมตร ซึ่งต่างจากกรณีของฟิล์ม OPP/PE ดังนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มชั้นนอกไปสู่ชั้นปิดผนึกน่าจะมีผลจากความหนารวมของฟิล์มมาเกี่ยวข้องด้วย คือ ถ้าหากฟิล์มหนาขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะช้าลง และในกรณีนี้ใช้ส่วนที่เป็นสารปิดผนึกบางที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าส่วนที่เป็นสารปิดผนึกหนาเพียงเล็กน้อย คือ CPP20 มีจุดหลอมเหลว 147 °C ในขณะที่ CPP30 มีจุดหลอมเหลว 140 °C ซึ่งเป็นการปรับตัวแปรในด้านความหนารวมที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มชั้นนอกไปสู่ชั้นปิดผนึก จึงทำให้ฟิล์ม OPP20/PP30 ซึ่งมีความหนาของสารปิดผนึกสูงยังคงมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์ม OPP20/PP20 ดังนั้น สรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ฟิล์มมีความแข็งแรงของรอยผนึกสูงจึงควรเลือกฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาชั้นเล็กน้อยและมีจุดหลอมเหลวของชั้นปิดผนึกต่ำ เมื่อสรุปแบบของการขาดมาประกอบการพิจารณาแล้ว

สรุปได้ว่า फिल्म OPP20/ CPP20 และ OPP20/ CPP30 จึงมี อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่อุณหภูมิแห้งปิดผนึก 150 °ซ ผลการศึกษาปัจจัยความหนาของฟิล์มชั้นนอก (OPP)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของ รอยผนึกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป โดยให้ความดันและ เวลาในการปิดผนึกคงที่ของฟิล์ม OPP/MCPP ที่มีความ หนาของฟิล์มชั้นนอก (OPP) แตกต่างกันแสดงดังในตาราง ที่ 8 และกราฟรูปที่ 9

ตารางที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นปิดผนึกของฟิล์ม OPP/ CPP

อุณหภูมิ (°ซ)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที			
	OPP20/ CPP20		OPP20/ CPP30	
	SS	MOF	SS	MOF
125	0.06	P		
130	0.25	P	0.28	P
135	0.47	P	4.34	P
140	1.89	P	14.07	D
145	7.13	P	14.13	D
150	9.36	F	14.73	D
155			15.35	D
160			14.56	D

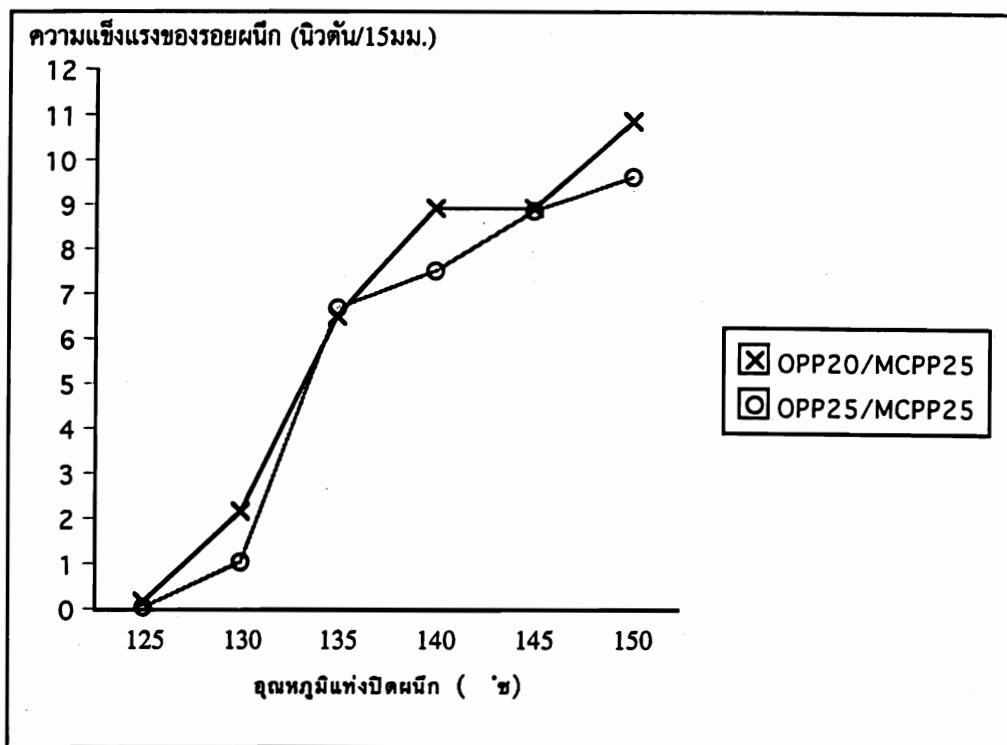


รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นปิดผนึกฟิล์ม OPP/ CPP ที่ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

*Heat Sealing of PP Film in Flexible Packaging.*

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มชั้นนอกของฟิล์ม OPP/MCPP

อุณหภูมิ (°ซ)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที			
	OPP20/ CPP25		OPP25/ MCPP25	
	SS	MOF	SS	MOF
125	0.15	P	0.04	P
130	2.15	P	1.07	P
135	6.54	P	6.72	P
140	8.96	D	7.51	D
145	8.96	D	8.91	D
150	10.9	D	9.67	D



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของฟิล์มชั้นนอก

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าฟิล์มที่มีฟิล์มชั้นนอก (OPP20) จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีฟิล์มชั้นนอกหนากว่า (OPP25) อาจอธิบายได้เช่นเดียวกับปัจจัยทางความหนาของชั้นปิดผนึกคือ การที่ฟิล์มชั้นหลักหนาจะมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่ชั้นปิดผนึกได้ช้าลง และอาจเกิดการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการปิดผนึกความร้อนเป็นระบบเปิด จากรูปแบบการขาดทำให้ประเมินได้ว่า อุณหภูมิแห่งปิดผนึกที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP/MCPP ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ MCPP เกิดการหลอมเหลวได้นั้น คือ อุณหภูมิแห่งปิดผนึกที่ 140 °ซ (จุดหลอมเหลวของ MCPP ประมาณ 136°ซ ถึง 138°ซ) และจากกราฟทั้งสองจะเห็นว่าในช่วงอุณหภูมิของแห่งปิดผนึกที่เข้าใกล้จุดที่ทำให้ชั้นปิดผนึกหลอมเหลวได้นั้น เส้นกราฟทั้งสองจะมาตัดกันที่อุณหภูมิประมาณ 135°ซ ซึ่งเมื่อดูความแข็งแรงของรอยผนึกไม่ต่างกันมากนัก เหมือนกับว่าความหนาของฟิล์มชั้นหลักไม่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกเลย อาจอธิบายในทำนองเดียวกับปัจจัยทางความหนาของชั้นปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PP ที่ว่า ในช่วงอุณหภูมิที่เข้าใกล้จะถึงจุดหลอมเหลวของชั้นปิดผนึกเพื่อให้ส่วนสติกได้รับความร้อนเต็มที่ พร้อมทั้งจะขยายตัวและเคลื่อนตัวออกจากกัน หรือเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ขึ้น แต่เนื่องจากฟิล์มทั้งสองมีความหนาของชั้นปิดผนึกเท่ากัน จึงทำให้มีสายโซ่ที่จะเกิดการขยายตัวและสร้างพันธะได้เท่ากัน ทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเท่ากัน

### สรุปผลการทดลอง

ในการปิดผนึกฟิล์มด้วยความร้อนให้มีความสมบูรณ์ขึ้นกับปัจจัยดังนี้

#### ปัจจัยเครื่อง

พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการปิดผนึกฟิล์มด้วยความร้อนจะมีผลต่อความแข็งแรงและรอยผนึก แต่ความดันในช่วง 0.5 ถึง 3.5 บาร์ มีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกเพียงเล็กน้อย

### ปัจจัยทางความหนาของชั้นปิดผนึก

ฟิล์มที่มีชั้นปิดผนึกหนาจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีชั้นปิดผนึกบาง เมื่อฟิล์มทั้งสองเกิดมีชั้นปิดผนึกที่มีสมบัติเหมือนกันตลอดช่วงอุณหภูมิแห่งปิดผนึกเมื่อชั้นปิดผนึกมีจุดหลอมเหลวต่ำ และมีอุณหภูมิแห่งปิดผนึกที่สูงพอที่จะทำให้ชั้นปิดผนึกเกิดการหลอมได้

### ปัจจัยทางความหนาของฟิล์มชั้นนอก

ฟิล์มที่มีฟิล์มชั้นนอกที่บางจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีฟิล์มชั้นนอกที่หนากว่า เมื่อฟิล์มทั้งสองแบบมีชั้นปิดผนึกที่มีความหนาเท่ากัน และมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกัน

### เอกสารอ้างอิง

- David, D.S., and Usher, L.M. 1975. High Frequency Sealing of Polyolefin Structure. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 11 : 113-125.
- Gent, A.N. 1977. Peel Mechanics of Adhesive Joints. *Polymer Engineering and Science*. 17 : 462-466.
- Meka, P. and Stehling, F.C. 1994. Heat Sealing of Semicry-stalline Polymer Films. I. Calculation and Measurement of Interfacial Temperatures : Effect of Process Variables of Seal Properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 51 : 89-103.
- Nicastro, L. C., Paik, J.S., Keown, R. W. and Metzner, A.B. 1993. Change in Crystallinity During Heat Sealing of Cast Polypropylene Film. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 9 : 159-167.