

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 สมบัติของฟิล์มก่อนการปิดผนึก

สมบัติของฟิล์มที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนรวม 9 ชนิด แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนก่อนการปิดผนึก

ฟิล์ม	ความแข็งแรงของการประกบ ( นิวตัน/15 มม. )	ความต้านทานแรงดึง ( นิวตัน/15 มม. )	จุดหลอมเหลว สารปิดผนึก ( °ซ )
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/ CPP30	0.80 - 1.30	32.60	140
7. OPP20/ CPP20	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

#### 4.2 ปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยปิดผนึก

##### 4.2.1 อุณหภูมิของเครื่องปิดผนึก

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแท่งปิดผนึกของฟิล์มชนิดต่าง ๆ โดยมีความดันและเวลาในปิดผนึกคงที่ที่ 1.5 บาร์และ 0.5 วินาที ตามลำดับ จะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2 และนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟของฟิล์มแต่ละชนิดได้ ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการปิดผนึกเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะมีค่าคงที่ ในช่วงแรกที่ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงขึ้นตามอุณหภูมิแท่งปิดผนึก ก็เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ความร้อนซึ่งเป็นผลผลิตทางอุณหภูมิมีมากขึ้น ปริมาณความร้อนจะช่วยทำให้โมเลกุลของสารปิดผนึกเกิดการหลอมเหลวและมีอิสระมากขึ้น โมเลกุลอิสระที่มากขึ้นนี้จะก่อให้เกิดการสร้างพันธะได้มากขึ้น จึงทำให้ได้รอยผนึกที่มีความแข็งแรงมากขึ้น จนถึงอุณหภูมิจุดหนึ่งที่จะให้ความร้อนเพียงพอต่อการทำให้โมเลกุลทั้งหมดของสารปิดผนึก

เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์แล้วค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะคงที่ ข อุณหภูมิจุดแรกที่ความแข็งแรงของรอยผนึกมีค่าคงที่นี้จะบ่งชี้เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์มควรเป็นอุณหภูมิค่าสุดท้ายที่สามารถให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงสุดได้ โดยรอยปิดผนึกที่ได้จะต้องมีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่เกิดรอยย่นหรือหูดตัวของฟิล์มและไม่เกิดการบิดเบี้ยวของรอยผนึก (seal distortion)

ตารางที่ 4.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ

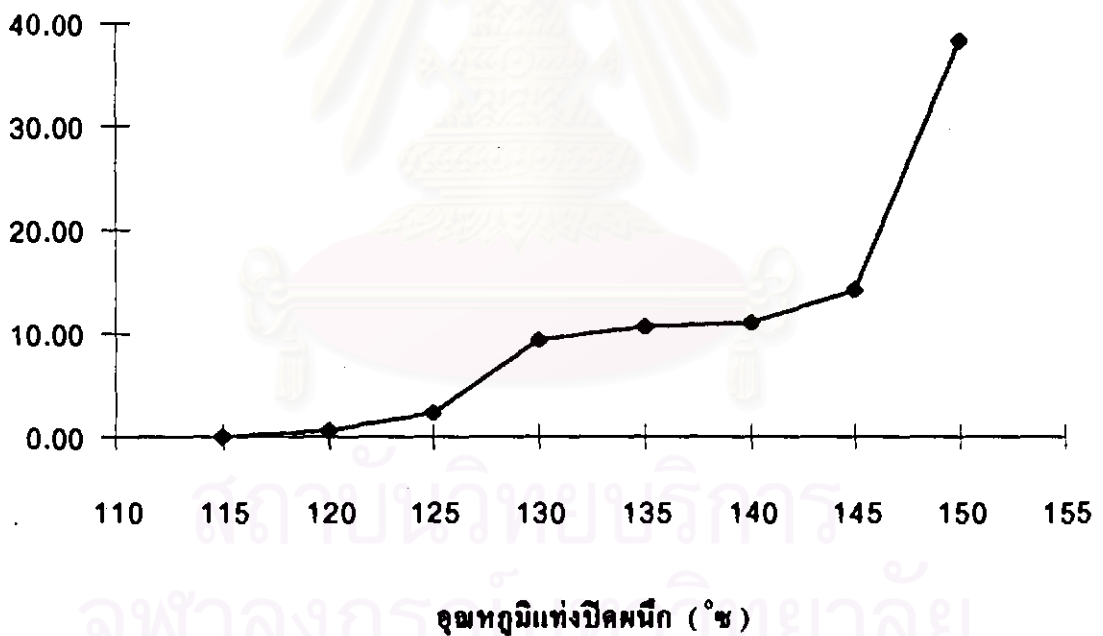
อุณหภูมิ (°C)	OPP20/PE25/LLDPE25		OPP20/PE28		OPP20/PP25		OPP20/CPP30		OPP20/MCPP25	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
95			0.06	P						
100			0.31	P						
105			4.45	D						
110			4.79	D						
115	0.09	P	5.72	D						
120	0.56	P	5.87	D	0.02	P			0.05	P
125	2.26	P	5.54	D	0.04	P			0.15	P
130	9.46	D	5.56	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	5.80	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		

- หมายเหตุ
- SS = ความแข็งแรงของรอยผนึก (seal strength) มีหน่วยเป็นนิวตัน/15 มม.
  - MOF = รูปแบบของการขาด (mode of failure)
  - P = การลอก (peel)
  - D = การแยกประกบ (delamination)
  - F = ฟิล์มขาด (film break)

เมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.1 สารปิดผนึกของฟิล์มคือ PE25/LLDPE25 ซึ่งมีจุดหลอมเหลวของ PE 104 °C และ LLDPE 123 °C ในการปิดผนึกฟิล์มจะต้องนำส่วนของ LLDPE มาประกบกัน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกจึงควรเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ LLDPE เกิดการหลอมได้ ในรูปที่ 4.1

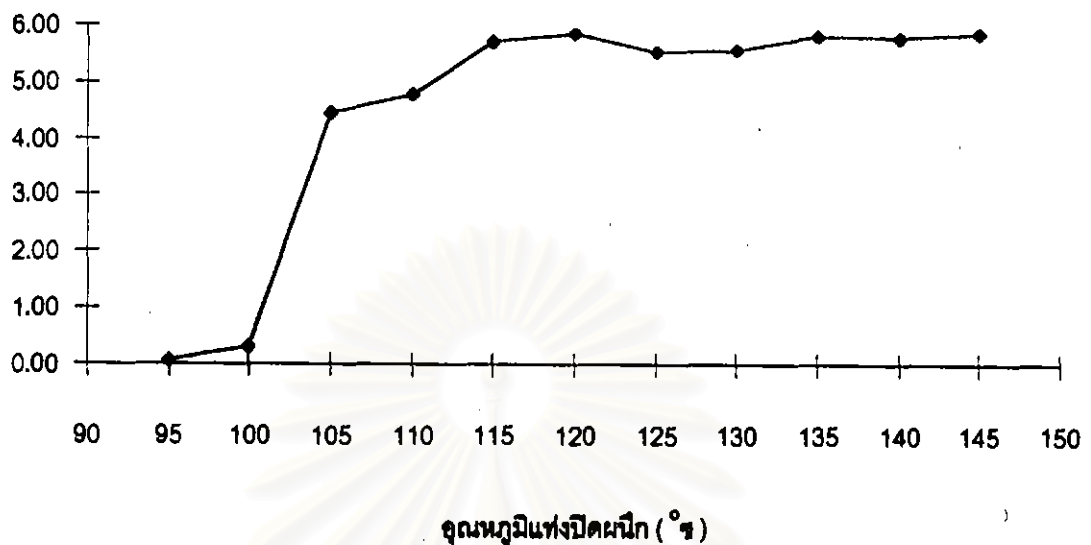
จะเห็นว่าในช่วงแรกของกราฟอุณหภูมิของแท่งปิดผนึกยังไม่สูงพอที่จะทำให้ LLDPE หลอมได้ เพียงแต่ทำให้ LLDPE เกิดการขยายตัวและทำให้ส่วน PE หลอมเท่านั้น จึงทำให้ช่วงนี้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกไม่สูงมากนัก จนเมื่ออุณหภูมิของแท่งปิดผนึกถึง 130 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของ LLDPE เล็กน้อยก็ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่คงที่และสูงได้ การที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของ LLDPE เล็กน้อย ก็เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ 130 °ซ นี้เป็นอุณหภูมิของแท่งปิดผนึกที่ใช้อุณหภูมิที่ตัวสัมผัสระหว่าง LLDPE ที่นำมาประกบกัน ดังนั้นจึงต้องมีเวลาเพียงพอที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากชั้นภายนอกฟิล์ม OPP เข้าสู่ชั้นสารปิดผนึก ในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นสารปิดผนึกอาจมีการสูญเสียความร้อนไปได้บางส่วน เนื่องจากในการปิดผนึกจะทำในระบบเปิด ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 130 ถึง 145 °ซ ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ก็แสดงว่าที่อุณหภูมิ 130 °ซ ของแท่งปิดผนึกจะส่งความร้อนที่เพียงพอต่อการหลอมเหลวสารปิดผนึก และทำให้โมเลกุลของสารปิดผนึกทั้งหมดมีอิสระต่อการเคลื่อนที่และเกิดพันธะ

ความแข็งแรงของรอยผนึก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.1 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

ความแข็งแรงของรอยผนึก  
(นิวตัน/15 มม.)

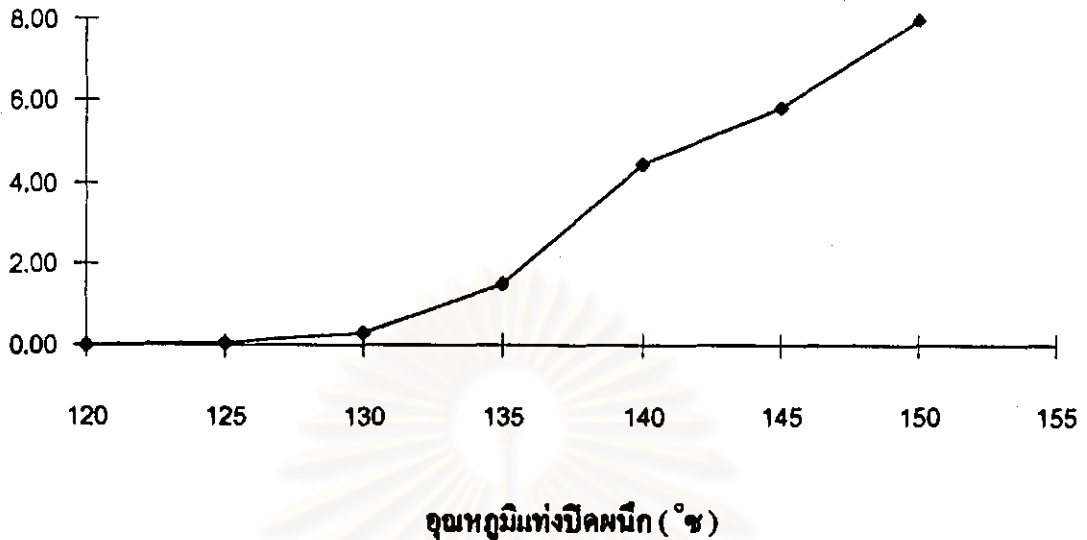


รูปที่ 4.2 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

นอกจากนี้ในช่วงอุณหภูมิ 130 ถึง 145 °ซ จะมียูปร่างของการขาดเหมือนกันคือ เป็นแบบแตกประกบ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ารูปแบบของการขาดจะเปลี่ยนแปลงสอดคล้องไปตามจุดเปลี่ยนกราฟ คือเมื่อกราฟเปลี่ยนความชันจาก 125 °ซ มาเป็น 130 °ซ รูปแบบของการขาดก็จะเปลี่ยนจากแบบดอกมาเป็นแบบแตกประกบ และเมื่อกราฟเปลี่ยนความชันจาก 145 °ซ มาเป็น 150 °ซ รูปแบบของการขาดก็จะเปลี่ยนจากแบบแตกประกบมาเป็นแบบฟิล์มขาด ที่อุณหภูมิ 150 °ซ เป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงสุด แต่ที่อุณหภูมินี้ฟิล์มจะเกิดการงอและหดตัวอย่างมาก จึงไม่เหมาะต่อการปิดผนึกฟิล์มในแง่ทางการค้า และที่อุณหภูมินี้มีรูปแบบของการขาดเป็นแบบฟิล์มขาด แสดงว่าที่จุดนี้ตัวฟิล์มมีความอ่อนแอกว่าค่าความแข็งแรงของรอยผนึก จึงทำให้เกิดการขาดที่ฟิล์ม และค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่แท้จริงจะมากกว่าค่าที่ได้ในการทดสอบ ในกราฟรูปอื่น ๆ ก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน เช่น ในรูปที่ 4.2 สารปิดผนึกของฟิล์มคือ PE28 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 105 °ซ จากกราฟจะมีความชันขึ้น 2 ช่วง คือที่อุณหภูมิ 105 °ซ และ 115 °ซ การเปลี่ยนความชันของกราฟที่อุณหภูมิ 105 °ซ จะสอดคล้องกับรูปแบบของการขาดที่เปลี่ยนจากแบบดอกมาเป็นแบบแตกประกบ แสดงว่าที่อุณหภูมิ 105 °ซ สามารถที่จะเกิดพันธะเพื่อการปิดผนึกได้ แต่การเกิดพันธะอาจไม่ใช้การเกิดจากโมเลกุลทั้งหมดของสารปิดผนึกจึงทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 115 °ซ ซึ่งอุณหภูมินี้จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงขึ้นและเป็นอุณหภูมิจุดแรกที่มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกคงที่ ดังนั้นที่อุณหภูมินี้จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28

### ความแข็งแรงของรอยฉนึก

(นิวตัน/15 มม.)

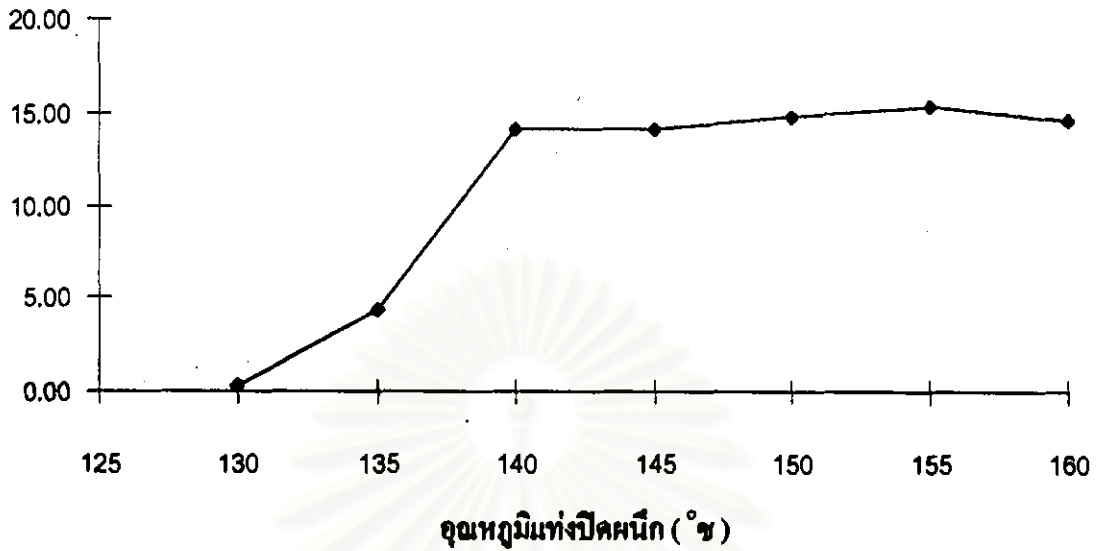


รูปที่ 4.3 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉนึก เมื่ออุณหภูมิการปัดฉนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

ในรูปที่ 4.3 สารปัดฉนึกของฟิล์มคือ PP25 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 144 °ซ ในกราฟรูปนี้ จะไม่มีจุดที่มีค่าความแข็งแรงของรอยฉนึกคงที่ แต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากจุดหลอมเหลวของสารปัดฉนึกมีค่าสูงนั่นเอง ดังนั้นอุณหภูมิของแท่งปัดฉนึกจึงควรจะสูงกว่า อุณหภูมิจุดหลอมเหลวเล็กน้อยเหมือนฟิล์มทั้งสองข้างต้น แต่เนื่องจากวัสดุหลักของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ OPP ซึ่งจะเริ่มเกิดการงอและหดตัวที่อุณหภูมิ 145 °ซ และจะเกิดการงอและหดตัวอย่างมากที่อุณหภูมิ 150 °ซ จนบางครั้งไม่สามารถจะปัดฉนึกฟิล์มได้ เมื่อพิจารณา รูปแบบของการขาดประกอบจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 150 °ซ ฟิล์มจะเริ่มเปลี่ยนรูปแบบของการขาด แสดงว่า ณ จุดนี้น่าจะเป็นจุดที่ค่าความแข็งแรงของรอยฉนึกเริ่มคงที่ แต่เนื่องจากการงอและหดตัวของฟิล์มดังกล่าว จึงไม่สามารถใช้อุณหภูมินี้ในการปัดฉนึกฟิล์มได้ ดังนั้นจะเลือกอุณหภูมิ 140 °ซ เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปัดฉนึกฟิล์ม ในรูปที่ 4.4 สารปัดฉนึกของฟิล์มคือ CPP30 มีจุดหลอมเหลว 140 °ซ และมีอุณหภูมิจุดแรกที่ค่าความแข็งแรงของรอยฉนึกเริ่มคงที่ ที่อุณหภูมิ 140 °ซ ซึ่งจะเป็น อุณหภูมิที่มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด

### ความแข็งแรงของรอยผนึก

(นิวตัน/15 มม.)

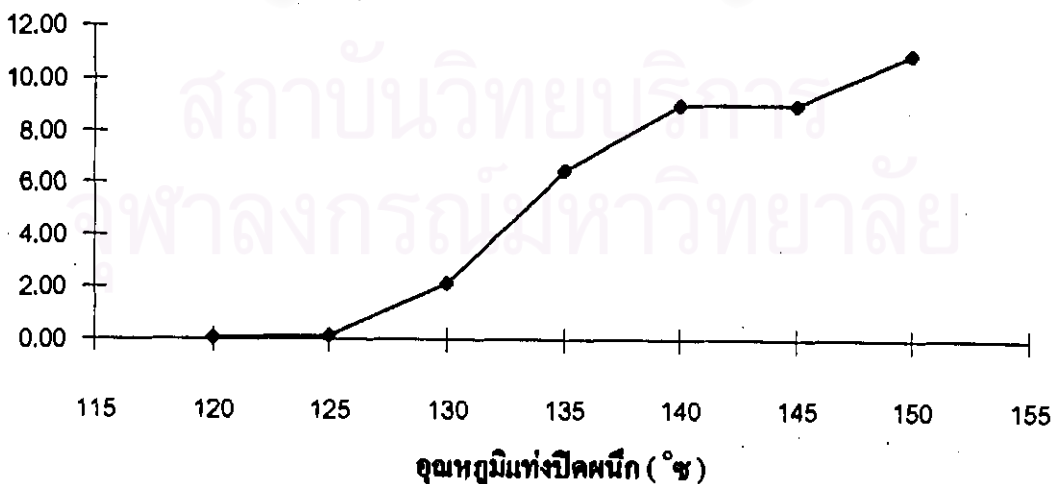


รูปที่ 4.4 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/CPP30 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

ในรูปที่ 4.5 ตารางปิดผนึกของฟิล์มคือ MCPP25 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 138 °ซ จะมีอุณหภูมิจุดแรกที่ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเริ่มคงที่คือที่อุณหภูมิ 140 °ซ ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนรูปแบบของกราฟ

### ความแข็งแรงของรอยผนึก

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.5 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

#### 4.2.2 เวลาของเครื่องปิดผนึก

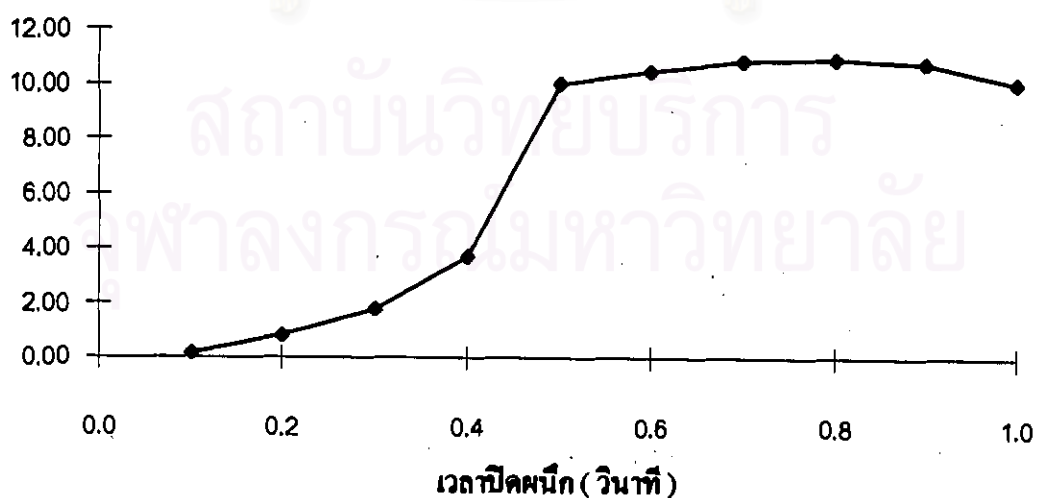
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปของฟิล์มชนิดต่าง ๆ โดยทำการปิดผนึกที่อุณหภูมิและความดันคงที่ จะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.3 และนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟของฟิล์มแต่ละชนิดได้ ดังรูปที่ 4.6 ถึง 4.10

ตารางที่ 4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ ที่ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	OPP20/PE25/LLDPE25		OPP20/PE28		OPP20/PP25		OPP20/CPP30		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
1.0	9.97	D	5.70	D	5.33	P	14.60	D	9.87	D

ความแข็งแรงของรอยผนึก

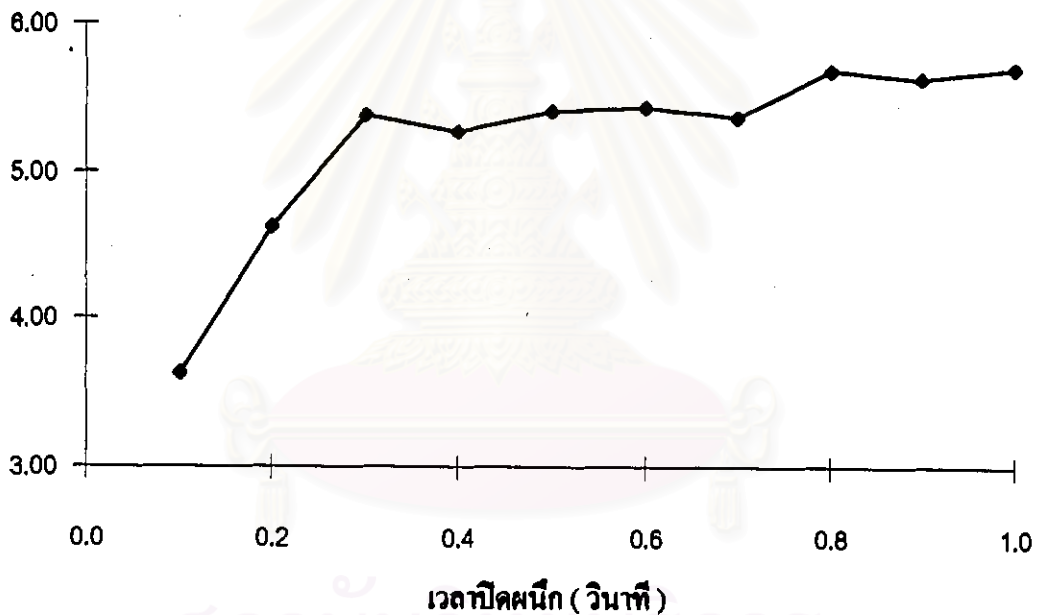
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.6 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 อุณหภูมิ 130 °ซ ความดัน 1.5 บาร์

จากรูปที่ 4.6 ถึง 4.10 จะเห็นว่า แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉนิกเมื่อเวลาการปิดฉนิกเปลี่ยนแปลงไปจะเหมือนกับเมื่ออุณหภูมิแห่งปิดฉนิกเปลี่ยนแปลงไป คือเมื่อเวลาการปิดฉนิกเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของรอยฉนิกจะเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งแล้วจะคงที่ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเมื่อเวลาในการปิดฉนิกเพิ่มขึ้น โมเลกุลอิสระของสารปิดฉนิกจะมีเวลาในการแลกเปลี่ยนสายโซ่โมเลกุลและเกิดการเกี่ยวพันได้มากขึ้น จึงทำให้มีพันธะในการปิดฉนิกที่แข็งแรงขึ้น และเมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนสายโซ่และการเกี่ยวพันของโมเลกุลทั้งหมดแล้ว ค่าความแข็งแรงของรอยฉนิกก็จะคงที่ จุดแรกที่ความแข็งแรงของรอยฉนิกมีค่าคงที่จะเป็น เวลาที่เหมาะสมต่อการปิดฉนิก ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในแต่ละรูป เวลาที่เหมาะสมต่อการปิดฉนิกในแต่ละรูปจะมีดังนี้คือ ในรูปที่ 4.6 ที่เวลา 0.5 วินาที จะเห็นว่าเวลาที่เหมาะสมนี้จะสอดคล้องกับการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด คือจะมีการเปลี่ยนจากแบบดอกมาเป็นแบบแยกประกบ

ความแข็งแรงของรอยฉนิก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.7 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉนิก เมื่อเวลาการปิดฉนิกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 อุณหภูมิ 115 °ซ ความดัน 1.5 บาร์

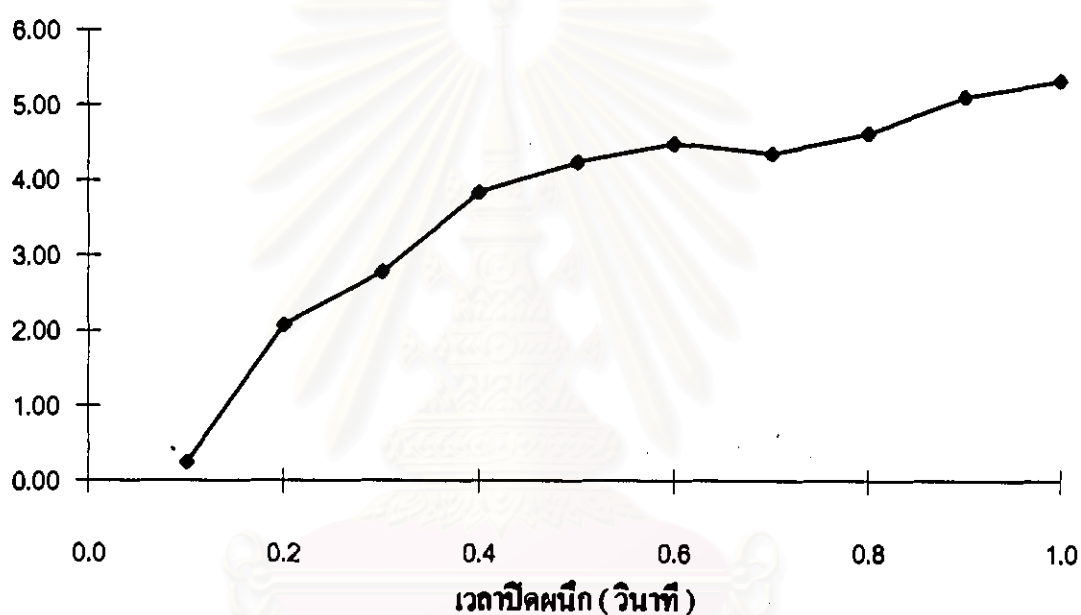
ในรูปที่ 4.7 จะมีช่วงกราฟคงที่ 2 ช่วง คือที่เวลา 0.3 และ 0.8 วินาที ดังนั้นจึงเลือกเวลาทั้งสองนี้ไว้เพื่อการทดสอบต่อไป และเมื่อนำรูปแบบของการขาดมาพิจารณาประกอบซึ่งเป็นแบบแยกประกบในทุก ๆ ช่วงเวลา ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการขาด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการปิดฉนิกสูงเกินไป อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดฉนิกอาจต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ขณะนี้ได้ โดยอุณหภูมิที่ใช้จะมีรูปแบบของการขาดแบบดอกประกบด้วย แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นว่าความแข็งแรงของรอยฉนิกจะขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิและเวลา หากลดอุณหภูมิการปิดฉนิกลง อาจจะต้องเพิ่มเวลาในการปิดฉนิกให้สูงขึ้นมากจนไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรม ซึ่งจะใช้



เวลาในการปิดผนึกอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 1.0 วินาที ดังนั้นจะนำหัวข้อนี้ไปพิจารณาในหัวข้ออุณหภูมิ และเวลาของเครื่องปิดผนึกที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกต่อไป นอกจากนี้ในช่วงการเปลี่ยนกราฟในรูปที่ 4.7 นี้จะไม่สอดคล้องกับรูปแบบของการขาด ซึ่งถ้าเป็นแบบแยกประกบแล้วควรเปลี่ยนเป็นแบบฟิล์มขาด ทั้งนี้ก็อาจเป็นเพราะตัวฟิล์มมีความแข็งแรงมากกว่าความแข็งแรงของรอยผนึกมากจึงทำให้ไม่เกิดการขาดที่ฟิล์ม ซึ่งเมื่อดูค่าความต้านทานแรงดึงประกอบ แล้วจะเห็นว่าฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าความแข็งแรงของรอยผนึกมาก ฟิล์ม OPP20/PE28 มีค่าความต้านทานแรงดึง 29.33 นิวตัน/15 มม. ในขณะที่ความแข็งแรงของรอยผนึกจะมีค่าอยู่ในช่วง 3.63 ถึง 5.70 นิวตัน/15 มม.

#### ความแข็งแรงของรอยผนึก

(นิวตัน/15 มม.)

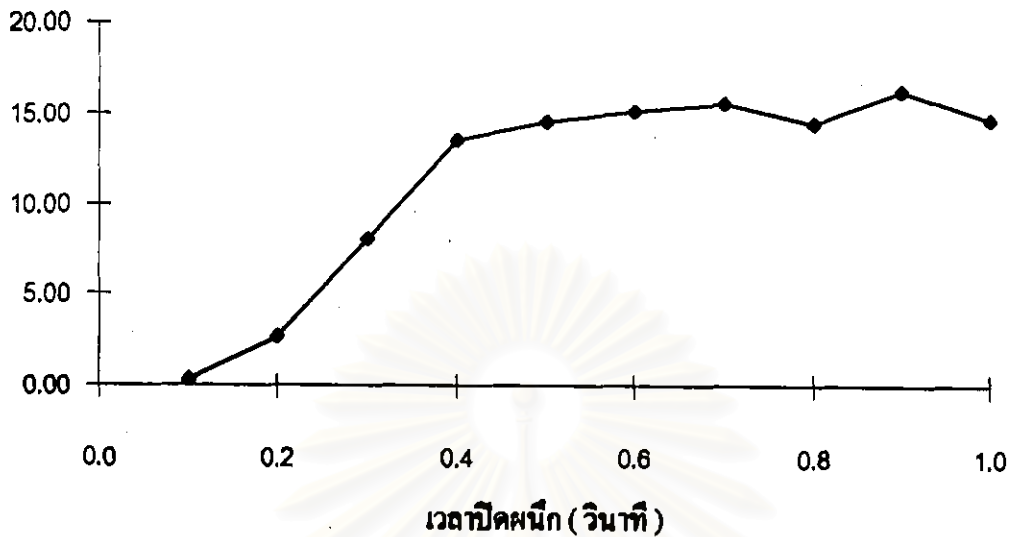


รูปที่ 4.8 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP25 อุณหภูมิ 140°C ความดัน 1.5 บาร์

ในรูปที่ 4.8 ดังได้กล่าวในปัจจัยทางอุณหภูมิมาแล้วว่า สารปิดผนึก PP มีจุดหลอมเหลวสูง แต่ในการปิดผนึกจะใช้อุณหภูมิสูงตามสารปิดผนึกไม่ได้ เนื่องจากตัวฟิล์มหลักจะเกิดการงอหรืออ่อนเสียก่อน ดังนั้นในการปิดผนึกฟิล์มนี้จึงต้องใช้อุณหภูมิการปิดผนึกต่ำกว่าค่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก ซึ่งจะสังเกตได้จากรูปแบบของการขาดว่าเป็นแบบลอกทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าแม้จะใช้เวลาการปิดผนึกมาก สารปิดผนึกก็ไม่สามารถเกิดการหลอมได้ เนื่องจากมีความร้อนไม่สูงถึงจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 0.4 วินาที ซึ่งเป็นจุดที่ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกค่อนข้างคงที่

### ความแข็งแรงของรอยฉีก

(นิวตัน/15 มม.)

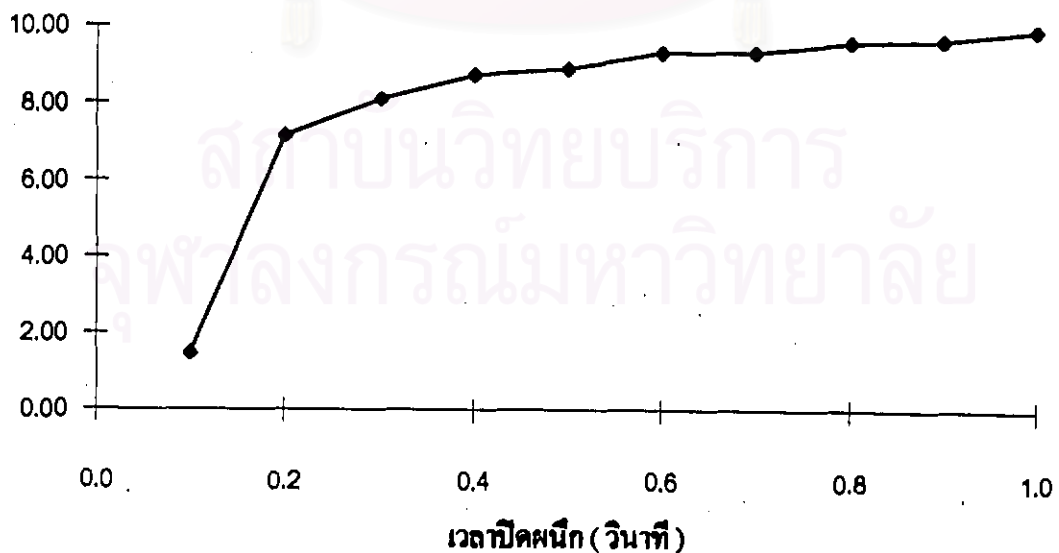


รูปที่ 4.9 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเวลาการเปิดฉีกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/ CPP30 อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์

ในรูปที่ 4.9 จะได้จุดเปลี่ยนความชันกราฟที่เวลา 0.4 วินาที และในรูปที่ 4.10 ควรจะเลือกที่เวลา 0.2 วินาที ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปแบบของการขาด แต่ที่เวลา 0.2 วินาทีนี้ จะมีฟองอากาศภายในรอยฉีกเล็กน้อย จึงเลื่อนมาใช้เวลาที่ 0.3 วินาที ซึ่งให้รอยฉีกที่เรียบสม่ำเสมอและไม่มีฟองอากาศ

### ความแข็งแรงของรอยฉีก

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.10 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเวลาการเปิดฉีกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/ MCPP25 อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์

### 4.2.3 ความดันของเครื่องปิดผนึก

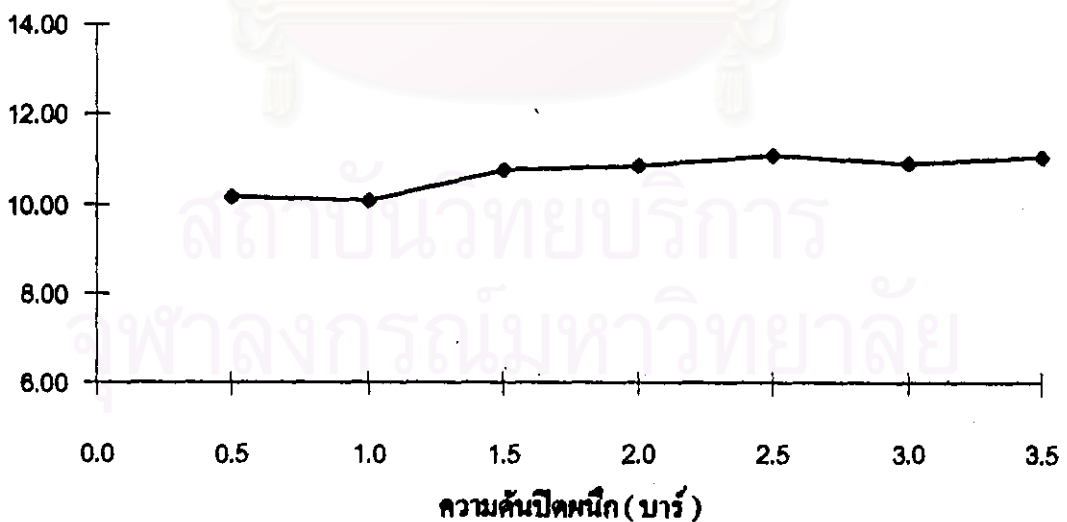
แนวโน้มนำการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไปของฟิล์มชนิดต่าง ๆ โดยทำการปิดผนึกที่อุณหภูมิและเวลาคงที่ จะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.4 และนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟของฟิล์มแต่ละชนิดได้ ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.15

ตารางที่ 4.4 แนวโน้มนำการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ

ความดัน (บาร์)	OPP20/PE25/LLDPE25		OPP20/PE28			OPP20/PP25		OPP20/PP30		OPP20/MCPP25	
	SS	MOF	SS ที่ 0.3	SS ที่ 0.8	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
0.5	10.18	D	4.98	5.62	D	5.74	P	13.21	D	7.46	D
1.0	10.05	D	5.07	5.67	D	3.94	P	15.05	D	8.46	D
1.5	10.74	D	5.32	5.75	D	3.83	P	14.06	D	8.03	D
2.0	10.84	D	4.98	5.55	D	3.94	P	14.69	D	7.82	D
2.5	11.08	D	5.20	5.63	D	4.12	P	14.69	D	7.61	D
3.0	10.87	D	5.02	5.72	D	4.15	P	14.58	D	7.28	D
3.5	11.02	D	4.99	5.56	D	4.16	P	14.88	D	8.32	D

### ความแข็งแรงของรอยผนึก

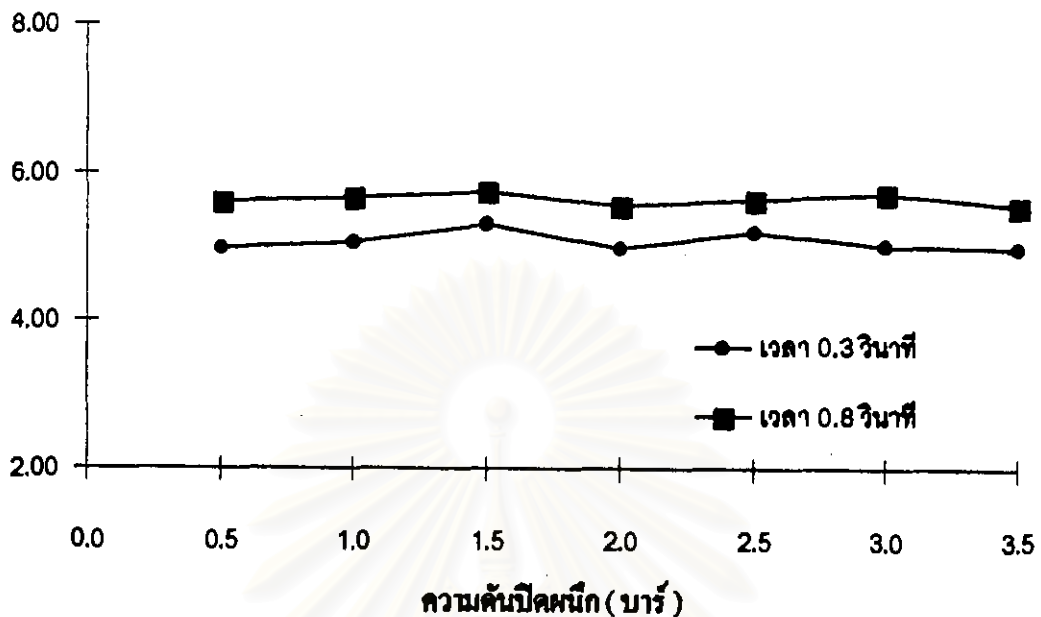
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.11 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 อุณหภูมิ 130 °ซ เวลา 0.5 วินาที

### ความแข็งแรงของรอยฉนวน

(นิวตัน/15 มม.)

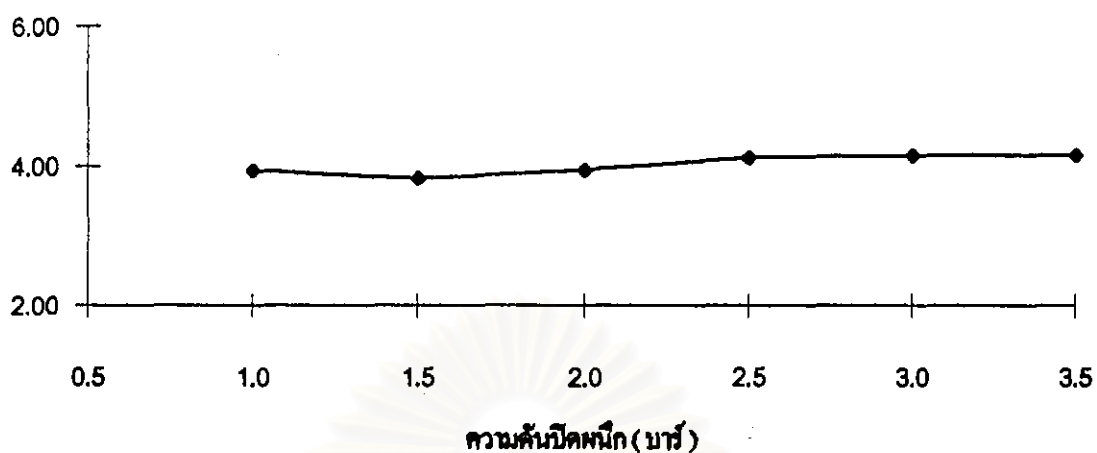


รูปที่ 4.12 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 อุณหภูมิ 115 °ซ เวลา 0.3 และ 0.8 วินาที

ในรูปที่ 4.12 เมื่อใช้เวลาสองจุดที่ได้จากรูปที่ 4.7 มาปิดผนึก เพื่อเปลี่ยนแปลงความดัน จะเห็นว่าความดันไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนมากนัก แต่เวลาที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ความแข็งแรงของรอยฉนวนสูงขึ้นเล็กน้อย และจากรูปที่ 4.11 ถึง 4.15 ซึ่งเป็นรูปที่ดูแนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์มชนิดต่าง ๆ นั้น จะเห็นว่าความดันที่ใช้ในการทดสอบในช่วง 0.5 ถึง 3.5 บาร์นี้ จะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยฉนวนน้อยมาก เมื่อดูรูปแบบของการขาดประกอบก็จะเห็นว่าในทุก ๆ ความดันนั้นจะมีรูปแบบของการขาดที่เหมือนกันด้วย จึงอาจสรุปได้ว่าความดันในช่วง 0.5 ถึง 3.5 บาร์ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยฉนวน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความดันในการปิดผนึกเพียงแต่จะช่วยทำให้โมเลกุลอิสระของสารปิดผนึกเกิดการสัมผัสกันที่ผิวสัมผัสได้มากยิ่งขึ้น ไม่มีส่วนช่วยทำให้เกิดพันธะเลข จึงทำให้การเพิ่มความดันมีผลต่อความแข็งแรงของรอยฉนวนน้อย และเนื่องจากข้อจำกัดในด้านเครื่องมือจึงไม่สามารถหาอิทธิพลของความดันสูง ๆ ที่มีต่อความแข็งแรงของรอยฉนวนได้

### ความแข็งแรงของรอยร้าว

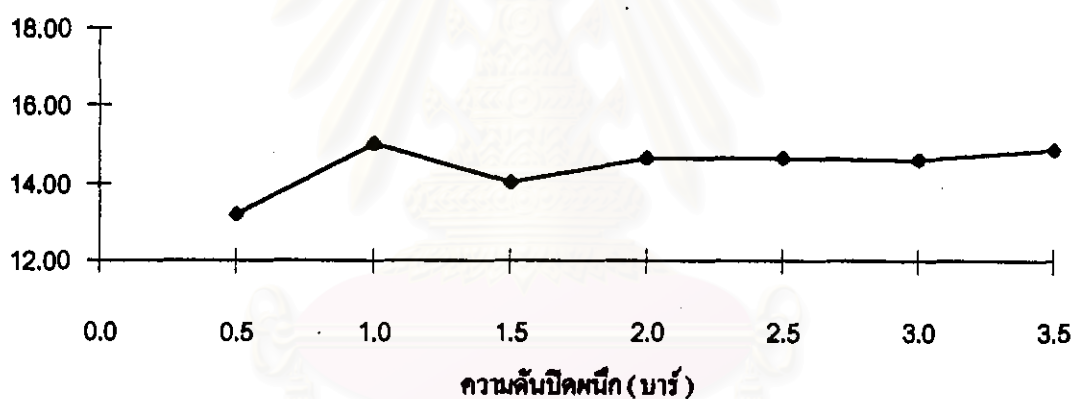
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.13 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยร้าว เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP25 อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที

### ความแข็งแรงของรอยร้าว

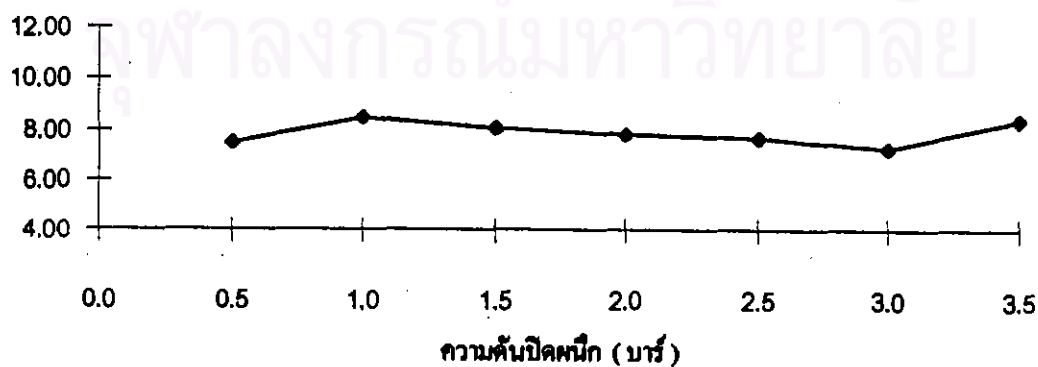
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.14 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยร้าว เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PP30 อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที

### ความแข็งแรงของรอยร้าว

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.15 แนวโน้มความแข็งแรงของรอยร้าว เมื่อความดันในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/MCPP25 อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที

จากการศึกษาปัจจัยจากเครื่องปิดผนึกที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของรอยผนึก โดยการแยกศึกษาแต่ละปัจจัยนี้พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการปิดผนึกจะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึก แต่ความดันจะมีผลน้อยมากหรือเกือบ ไม่มีเลยในช่วงความดัน 0.5 ถึง 3.5 บาร์ ดังนั้นในการศึกษาต่อไป จึงนำอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลามาประกอบกันในการพิจารณาแนวโน้มของค่าความแข็งแรงของรอยผนึก

#### 4.2.4 อุณหภูมิและเวลาของเครื่องปิดผนึก

เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกเมื่อเปลี่ยนแปลงทั้งค่าอุณหภูมิและเวลาของการปิดผนึก โดยทำการปิดผนึกที่ความดันคงที่ พิจารณาที่ฟิล์มชนิดต่าง ๆ ดังนี้

##### 4.2.4.1 OPP20/PE25/LLDPE25

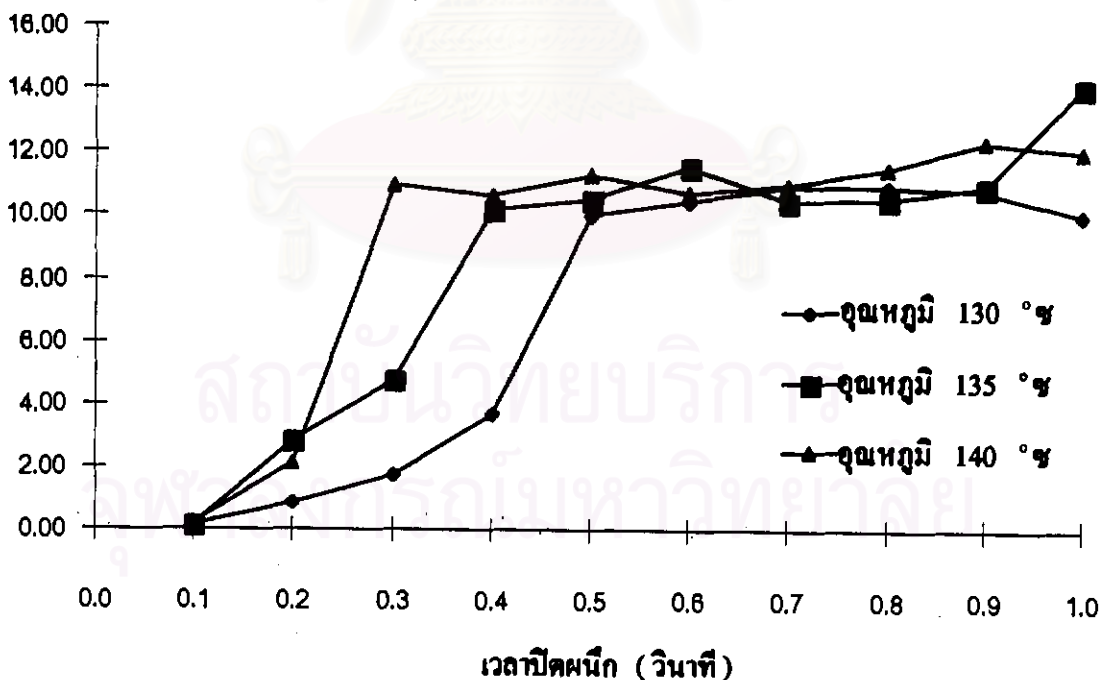
เมื่อปิดผนึกฟิล์มโดยให้ความดันคงที่ที่ 1.5 บาร์ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาในการปิดผนึกจะได้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกกับรูปแบบของการขาดดังตารางที่ 4.5 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิการปิดผนึกสูงขึ้น ค่าเวลาของการปิดผนึกจุดแรกที่ความแข็งแรงของรอยผนึกมีค่าคงที่นั้นจะลดลง ดังเช่นที่อุณหภูมิ 130 °ซ จะใช้เวลา 0.5 วินาที ที่อุณหภูมิ 135 °ซ จะใช้เวลา 0.4 วินาที และที่อุณหภูมิ 140 °ซ จะใช้เวลา 0.3 วินาที

ตารางที่ 4.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ 130 °ซ		อุณหภูมิ 135 °ซ		อุณหภูมิ 140 °ซ	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
0.1	0.13	P	0.12	P	0.20	P
0.2	0.81	P	2.81	P	2.14	P
0.3	1.74	P	4.74	P	10.93	D
0.4	3.67	P	10.18	D	10.59	D
0.5	9.99	D	10.46	D	11.24	D
0.6	10.43	D	11.51	D	10.64	D
0.7	10.85	D	10.43	D	10.95	D
0.8	10.88	D	10.49	D	11.43	D
0.9	10.73	D	10.89	D	12.27	D
1.0	9.97	D	14.02	D	11.97	D

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าถ้าหากต้องการปิดผนึกฟิล์มให้ได้ความแข็งแรงของรอยผนึกใกล้เคียงกัน ถ้าหากลดอุณหภูมิการปิดผนึกเพื่อประหยัดพลังงานแล้ว ควรจะเพิ่มเวลาในการปิดผนึก แต่อุณหภูมิที่ลดลงไม่ควรต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกและเวลาที่เพิ่มขึ้นก็ไม่ควรสูงเกินไปจนฟิล์มเกิดการงอหรือย่น ในทางกลับกันหากต้องการลดเวลาในการปิดผนึก เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก็ควรจะเพิ่มอุณหภูมิในการปิดผนึกด้วย โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไม่สูงเกินไปจนทำให้ฟิล์มเกิดการงอหรือย่นได้ ซึ่งผลของการเพิ่มอุณหภูมิที่มีต่อการงอหรือย่นของฟิล์มจะมีมากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้การปิดผนึก และเวลาที่ลดลงก็ไม่ควรต่ำเกินไป เพราะถ้าหากเวลาในการปิดผนึกต่ำก็แสดงว่าอัตราการผลิตจะสูง การใช้อัตราการผลิตสูงจะต้องคำนึงถึงความสามารถของเครื่องจักรในการผลิตด้วย นอกจากนี้ในรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าตั้งแต่เวลา 0.5 วินาที ขึ้นไป อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะไม่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกมากนัก จึงอาจสรุปได้ว่าการให้ความร้อนในการปิดผนึกนั้นจะเป็นการให้เพียงพอให้สารปิดผนึกเกิดการหลอมเหลวและไหลได้เท่านั้น ความร้อนที่สูงเกินไปจะไม่มีประโยชน์ในแง่การปิดผนึก และในทำนองเดียวกัน การให้เวลาในการปิดผนึกนั้นก็เพียงพอให้โมเลกุลของสารปิดผนึกมีเวลาที่ จะเกิดการไหลแลกเปลี่ยนสายโซ่และเกิดการเกี่ยวพันกันที่ผิวสัมผัสของฟิล์มเท่านั้น เวลาที่มากเกินไปจะไม่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกเช่นเดียวกัน

ความแข็งแรงของรอยผนึก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์

จากรูปที่ 4.16 จึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิในการปิดผนึก (T) จะแปรผกผันกับเวลาในการปิดผนึก (t) ในช่วงหนึ่ง ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ (Schricker, 1986) คือ

$$T = \frac{\text{Const}}{t} + T_0$$

ดังนั้นถ้าเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T และ  $1/t$  ก็จะสามารถหาค่าคงที่ (const) และอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อให้เกิดรอยผนึก ณ จุดที่สัมพันธ์กับผิวฟิล์มหรือจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก ( $T_0$ ) ได้ โดยการเลือก T และ t นี้จะเลือกที่ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกและให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกใกล้เคียงกันดังแสดงในภาคผนวก ค ซึ่งจะได้ค่า const = 8.17 และ  $T_0 = 116$  °ซ จากการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าภาวะการปิดผนึกที่เหมาะสมต่อฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 โดยดูจากค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะปิดผนึกได้ในช่วงอุณหภูมิ 130 ถึง 140 °ซ เวลา 0.3 ถึง 0.5 วินาที

#### 4.2.4.2 OPP20/PE28

เมื่อปิดผนึกฟิล์มโดยให้ความดันคงที่ที่ 1.5 บาร์ และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลาในการปิดผนึกจะได้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกกับรูปแบบของการขาดคังดรรชนีที่ 4.6 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.17 แนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28 เมื่ออุณหภูมิและเวลาการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงไปนี้สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 คือ เมื่ออุณหภูมิในการปิดผนึกเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการปิดผนึกก็จะลดลง โดยจะได้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกใกล้เคียงกัน เช่นที่ อุณหภูมิ 105 °ซ จะใช้เวลา 0.5 วินาที แต่ที่อุณหภูมิ 110 °ซ จะใช้เวลา 0.3 วินาที ณ อุณหภูมิทั้งสองจุดนี้ในรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจนถึง 0.5 วินาที ทั้งอุณหภูมิและเวลาปิดผนึกจะไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยผนึกฟิล์มชนิดนี้จะมี PE เป็นสารปิดผนึกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจึงทำให้ฟิล์มมีช่วงอุณหภูมิการปิดผนึกกว้างจากรูปที่ 4.17 จึงเห็นว่านอกจากจะมีช่วงอุณหภูมิการปิดผนึกเหมือนกับของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 คือช่วง 105 ถึง 110 °ซ แล้ว ยังมีช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นที่สามารถใช้ปิดผนึกฟิล์มได้คือ ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 115 °ซ ขึ้นไป ในช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าในช่วงอุณหภูมิต่ำ และเมื่อให้อุณหภูมิในการปิดผนึกเพิ่มขึ้นก็จะใช้เวลาในการปิดผนึกน้อยลงเช่นเดียวกัน แต่จะเป็นไปเฉพาะในช่วงต้น ๆ ของกราฟเท่านั้น หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง T และ t ของฟิล์ม OPP20/PE28 ตามสมการของ Schricker แล้วก็จะมึลักษณะเหมือนกับของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ซึ่งจะสามารถคำนวณหาค่า const และ  $T_0$  ได้เช่นเดียวกันดังแสดงในภาคผนวก ค ซึ่งจะได้ค่า const = 1.76 และ  $T_0 = 104$  °ซ

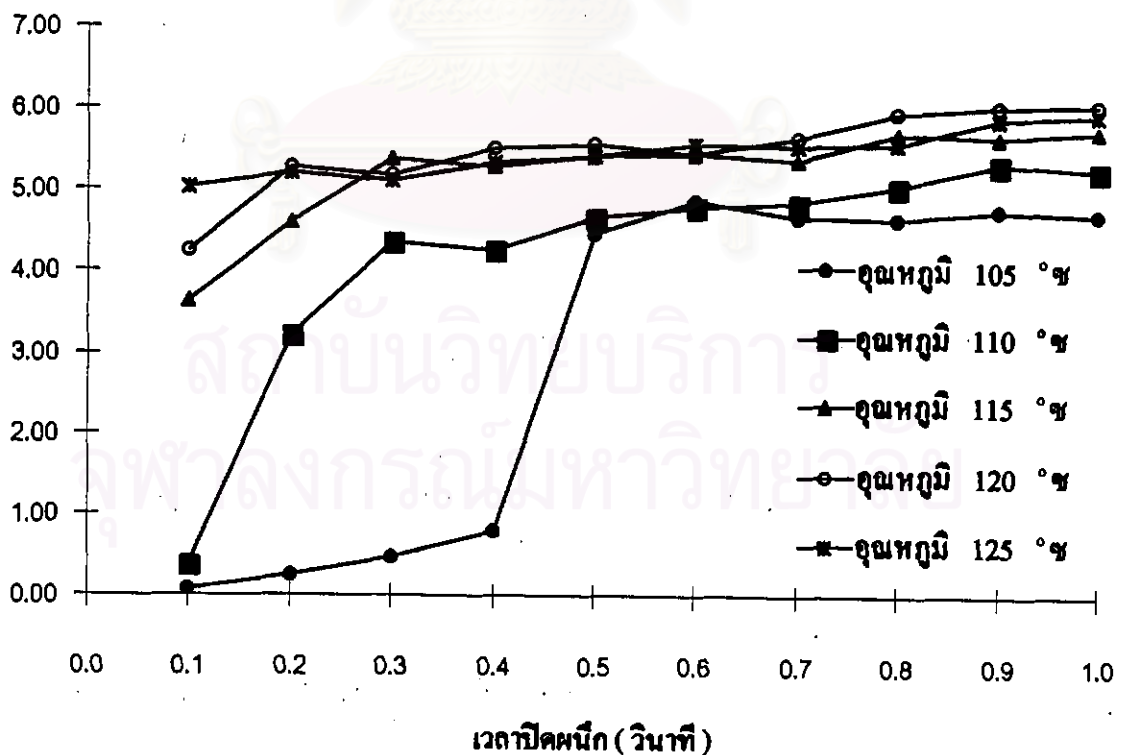
ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าภาวะการปิดผนึกที่เหมาะสมต่อฟิล์ม OPP/PE โดยดูจากค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ที่อุณหภูมิ 105 ถึง 110 °ซ ใช้เวลา 0.3 ถึง 0.5 วินาที ซึ่งจะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกต่ำกว่าในช่วงที่ 2 ที่ใช้อุณหภูมิ 115 °ซ ขึ้นไป ในช่วงนี้หากคำนึงถึงในแง่การประหยัดพลังงานแล้วสามารถเลือกใช้ที่อุณหภูมิ 115 °ซ ได้ โดยจะใช้เวลาที่ 0.3 วินาที หรือที่ 0.8 วินาทีเมื่อต้องการความแข็งแรงของรอยผนึกสูงขึ้น



ตารางที่ 4.6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอกฉนีก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ 105 °ซ		อุณหภูมิ 110 °ซ		อุณหภูมิ 115 °ซ		อุณหภูมิ 120 °ซ		อุณหภูมิ 125 °ซ	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
0.1	0.09	P	0.37	P	3.63	D	4.25	D	5.03	D
0.2	0.25	P	3.21	D	4.62	D	5.28	D	5.20	D
0.3	0.48	P	4.37	D	5.37	D	5.17	D	5.10	D
0.4	0.80	P	4.25	D	5.27	D	5.51	D	5.33	D
0.5	4.47	D	4.67	D	5.41	D	5.56	D	5.40	D
0.6	4.87	D	4.78	D	5.43	D	5.44	D	5.54	D
0.7	4.65	D	4.84	D	5.36	D	5.62	D	5.53	D
0.8	4.63	D	5.04	D	5.68	D	5.94	D	5.56	D
0.9	4.73	D	5.30	D	5.63	D	6.01	D	5.86	D
1.0	4.68	D	5.22	D	5.70	D	6.04	D	5.92	D

ความแข็งแรงของรอกฉนีก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอกฉนีก เมื่ออุณหภูมิและเวลาเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์

จากการศึกษาปัจจัยทางเครื่องของฟิล์มทั้ง 5 ชนิดนี้ จะสังเกตเห็นว่าฟิล์มที่มีจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกต่ำจะให้ช่วงอุณหภูมิการปิดผนึกกว้างกว่าฟิล์มที่มีจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกสูง โดยที่ฟิล์มมีชั้นวัสดุหลักเหมือนกัน

#### 4.3 ปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกที่มีผลต่อรอยผนึก

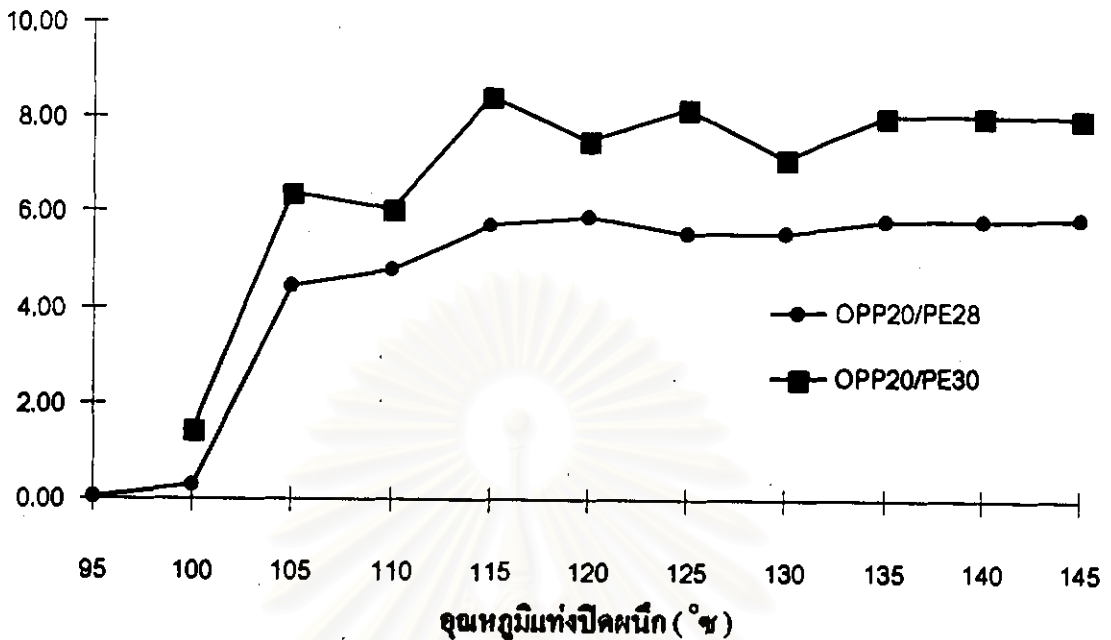
##### 4.3.1 OPP/PE

การศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการปิดผนึก แต่ให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ของฟิล์ม OPP/PE ที่มีความหนาของสารปิดผนึกแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 จากรูปทั้ง 2 จะเห็นว่าฟิล์ม OPP/PE ที่มีสารปิดผนึกหนา (PE30) จะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกมากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง (PE28)

ตารางที่ 4.7 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PE

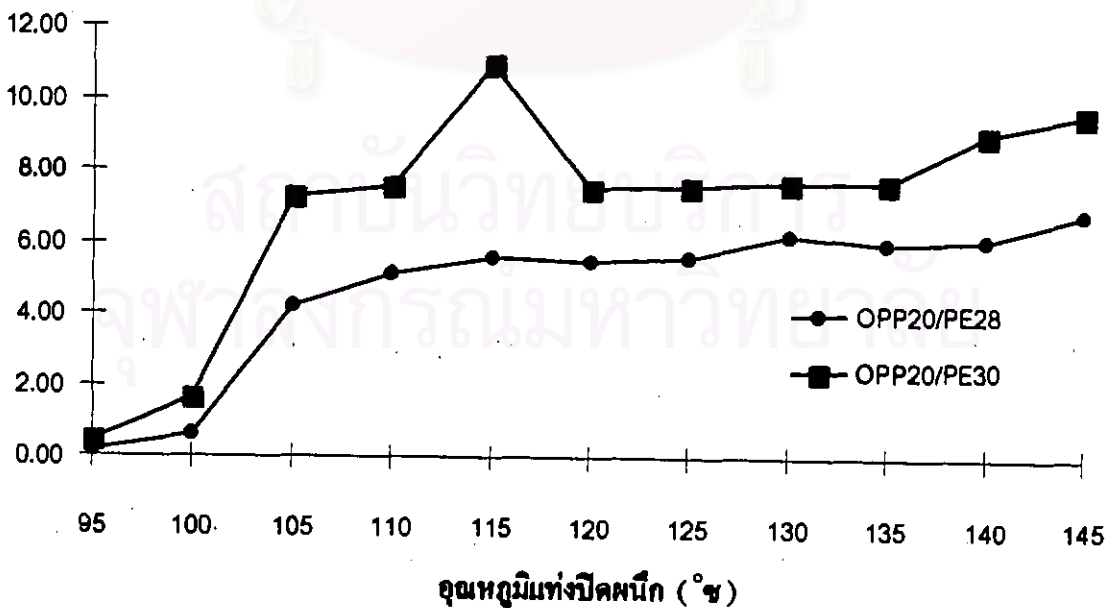
อุณหภูมิ (°C)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที				ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.7 วินาที			
	OPP20/PE28		OPP20/PE30		OPP20/PE28		OPP20/PE30	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
95	0.06	P			0.15	P	0.44	P
100	0.31	P	1.46	P	0.61	P	1.61	P
105	4.45	D	6.40	P	4.23	D	7.09	D
110	4.79	D	6.06	P	5.14	D	7.29	D
115	5.72	D	8.42	D	5.56	D	7.36	D-F
120	5.87	D	7.48	D	5.45	D	7.50	D-F
125	5.54	D	8.18	D	5.56	D	7.55	D-F
130	5.56	D	7.14	D	6.19	D	7.66	D-F
135	5.83	D	7.99	D	5.97	D	7.68	D-F
140	5.80	D	8.00	D	6.10	D	8.72	D-F
145	5.84	D	7.99	D	6.80	D	9.55	D-F

ความแข็งแรงของรอยฉนวน  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา  
สารปิดฉนวนของฟิล์ม OPP/PE ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

ความแข็งแรงของรอยฉนวน  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.19 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา  
สารปิดฉนวนของฟิล์ม OPP/PE ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.7 วินาที

จากการศึกษาปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยฉีกที่ผ่านมาจะเห็นว่า อุณหภูมิและเวลาในการปิดผนึกทำนั้ที่มีผลต่อรอยฉีก ส่วนความดันในช่วง 0.5 ถึง 3.5 บาร์จะมีผลต่อรอยฉีกน้อยมาก อุณหภูมิที่มีผลต่อรอยฉีกก็คือ ความร้อนที่จะทำให้สารปิดผนึกเกิดการหลอมเหลวและไหลได้ ส่วนเวลาที่มีผลต่อรอยฉีกก็คือ การมีเวลาที่มากพอที่จะทำให้สารปิดผนึกหลอมเหลวเกิดการเกาะพันและแตกเปลี่ยนสายโซ่โมเลกุลที่ผิวสัมผัสชั้น ฟิล์ม OPP/PE ทั้ง 2 ที่ใช้ในการทดลองมีความหนาของสารปิดผนึกแตกต่างกัน 2 ไมโครเมตร (PE30 กับ PE28) ซึ่งถือว่าเป็นความหนาที่แตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นจึงอาจถือได้ว่าความหนาของฟิล์มรวมทั้งห้จะมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุห้กเข้าสู่ผิวสัมผัสระหว่างสารปิดผนึกนั้นจะมีผลน้อยมาก นั่นคือ เมื่อให้ความร้อนแก่ฟิล์มทั้ง 2 (OPP20/PE28 กับ OPP20/PE30) ที่อุณหภูมิแห่งปิดผนึกเดียวกัน ความร้อนจะถ่ายเทจากวัสดุห้กไปถึงผิวสัมผัสระหว่างสารปิดผนึกได้อุณหภูมิที่เท่ากัน สารปิดผนึกของฟิล์มทั้ง 2 จะได้รับปริมาณความร้อนที่เท่ากัน ดังนั้นในแง่ความหนาของสารปิดผนึกที่แตกต่างกันนี้ เมื่อให้ความร้อนและเวลาในการปิดผนึกที่เท่ากัน ความแข็งแรงของรอยฉีกน่าจะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการแตกเปลี่ยนสายโซ่โมเลกุลและการเกาะพันกันที่ผิวสัมผัส ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาจะมีปริมาณสายโซ่โมเลกุลมาก จึงทำให้มีอัตราการแตกเปลี่ยนสายโซ่โมเลกุลและการเกาะพันมากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง ดังนั้นจึงมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกสูงกว่า

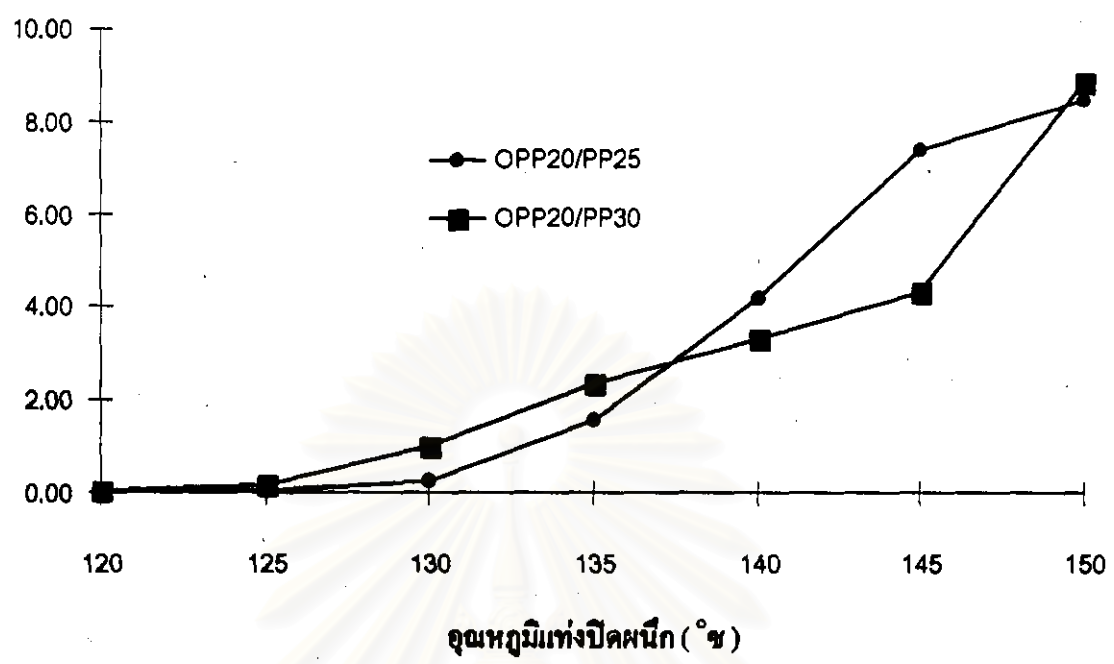
#### 4.3.2 OPP/PP

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่ออุณหภูมิในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงไป โดยให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ของฟิล์ม OPP/PP ที่มีความหนาของสารปิดผนึกแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21

ตารางที่ 4.8 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PP

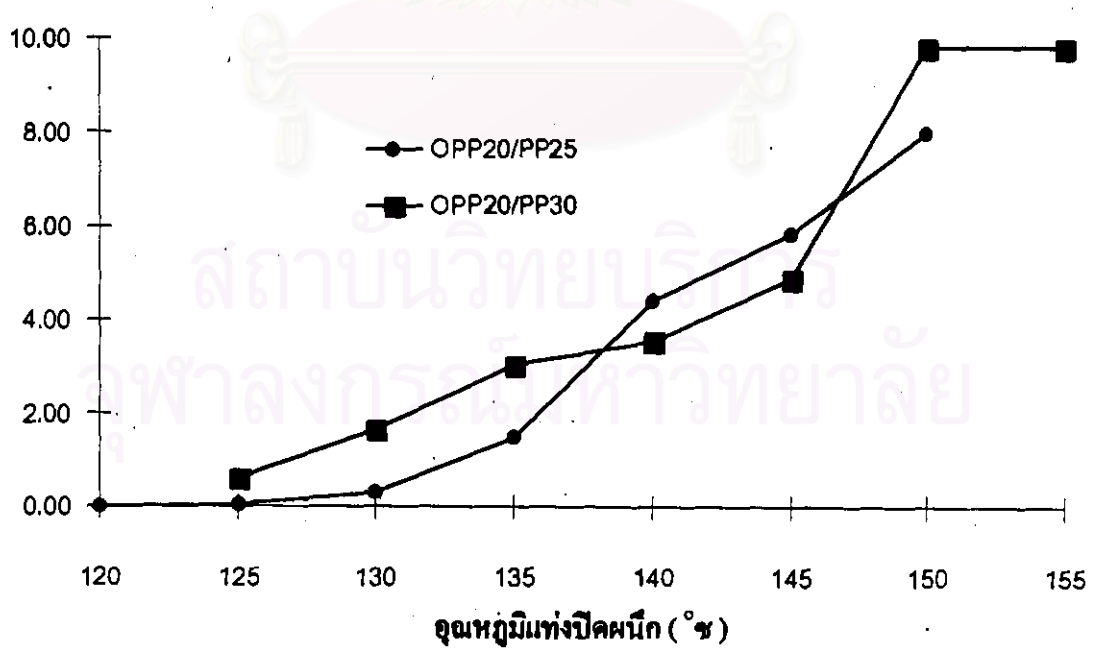
อุณหภูมิ (°ซ)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.4 วินาที				ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที			
	OPP20/PP25		OPP20/PP30		OPP20/PP25		OPP20/PP30	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
120	0.02	P	0.05	P	0.02	P		
125	0.03	P	0.19	P	0.04	P	0.58	P
130	0.28	P	0.99	P	0.31	P	1.64	P
135	1.59	P	2.34	P	1.49	P	3.01	P
140	4.18	P	3.34	P	4.41	P	3.55	P
145	7.39	P	4.34	P	5.80	P	4.86	P
150	8.46	D	8.85	D	7.96	D	9.77	D
155							9.78	D

ความแข็งแรงของรอยฉนวน  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา  
สารปิดฉนวนของฟิล์ม OPP/PP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

ความแข็งแรงของรอยฉนวน  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.21 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา  
สารปิดฉนวนของฟิล์ม OPP/PP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 จะเห็นว่าช่วงกราฟทั้งสองมีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ ในช่วงแรกของกราฟ พิล์มที่มีสารปิดผนึกหนา (PP30) จะมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกมากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง (PP25) กราฟในช่วงนี้อาจอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับฟิล์ม OPP/PE คือฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนาจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนสายโซ่ได้เร็วและเกิดการเกี่ยวพันที่ผิวสัมผัสได้มาก จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกสูง ส่วนกราฟในช่วงที่ 2 ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางกลับมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนา ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะกราฟในช่วงนี้เป็นช่วงที่อุณหภูมิแห่งปิดผนึกเข้าใกล้จุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก PP เป็นสารปิดผนึกที่มีจุดหลอมเหลว  $144^{\circ}\text{C}$  เมื่อพิจารณารูปแบบของการขาดจะเห็นว่าที่อุณหภูมิแห่งปิดผนึก  $150^{\circ}\text{C}$  น่าจะเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ PP เกิดการหลอมได้ เนื่องจากในช่วงอุณหภูมินี้จะมีการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด ดังนั้นก่อนถึงอุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  เล็กน้อย จึงเป็นช่วงที่ทำให้ส่วนที่เป็นผลึกของ PP เกิดการขยายตัว ความร้อนที่ให้อุณหภูมิในช่วงนี้จึงเป็นความร้อนที่ส่งไปยังส่วนผลึก เพื่อให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนได้อย่างอิสระ แต่ความร้อนที่ส่งไปในช่วงก่อนอุณหภูมิ  $150^{\circ}\text{C}$  นี้ ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ PP เกิดการหลอมเหลว เพียงแต่จะทำให้ส่วนผลึกเกิดการขยายตัว พร้อมทั้งจะไหลออกจากกัน แล้วเกิดการหลอมเหลวขึ้น ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนามีความต้องการความร้อนที่จะทำให้ส่วนผลึกขยายตัวมากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง แต่เมื่อให้ความร้อนที่เท่ากัน ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางจะทำให้ส่วนที่เป็นสายโซ่โมเลกุลเกิดการขยายตัวได้มากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนา ดังนั้นฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางจึงมีสายโซ่ที่จะทำให้เกิดพันธะได้มากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนา จึงทำให้ในช่วงอุณหภูมิแห่งปิดผนึกก่อนเข้าสู่จุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกนี้ ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางจึงมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนา ส่วนกราฟในช่วงที่ 3 จะเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกแล้ว คือ มีปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้สารปิดผนึกทั้งหมดหลอมเหลวได้ จึงทำให้ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนานี้มีสายโซ่โมเลกุลที่จะเกิดพันธะได้มากกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง จึงทำให้ในช่วงนี้ฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนากลับมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบางอีกครั้ง

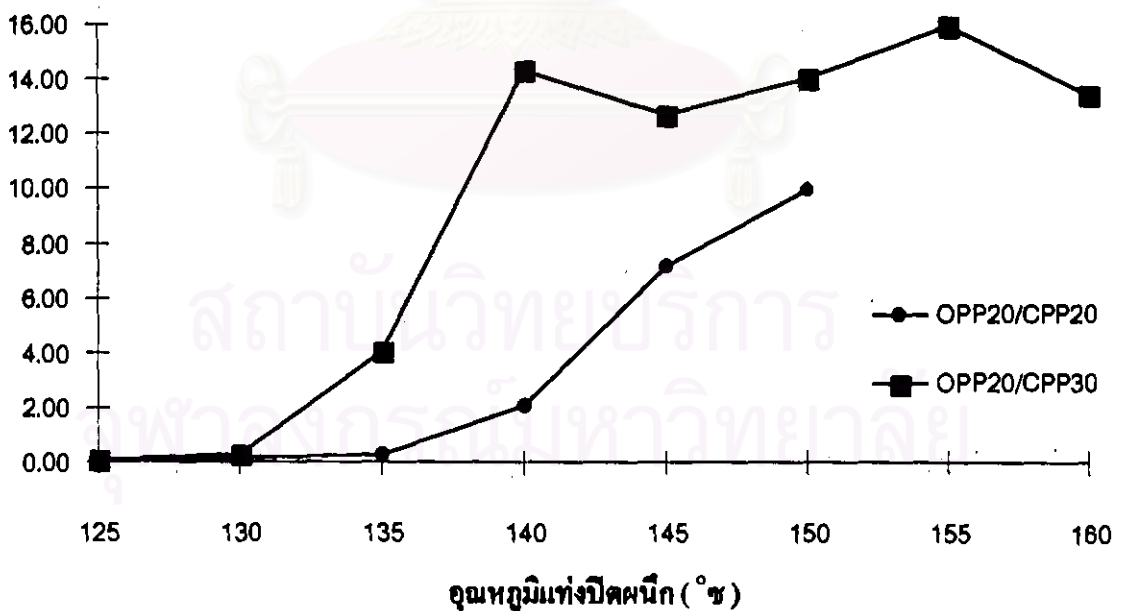
#### 4.3.3 OPP/PP

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่ออุณหภูมิในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงไป โดยให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ของฟิล์ม OPP/PP ที่มีความหนาของสารปิดผนึกแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.9 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.22 และ 4.23

ตารางที่ 4.9 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา สารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/CPP

อุณหภูมิ (°ซ)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.0 บาร์ และ 0.4 วินาที				ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที			
	OPP20/CPP20		OPP20/CPP30		OPP20/CPP20		OPP20/CPP30	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
125	0.08	P	0.06	P	0.06	P		
130	0.16	P	0.33	P	0.25	P	0.28	P
135	0.26	P	4.05	P	0.47	P	4.34	P
140	2.05	P	14.29	D	1.89	P	14.07	D
145	7.17	P	12.70	F	7.13	P	14.13	D
150	9.98	D	14.00	D	9.36	F	14.73	D
155			15.91	D			15.35	D
160			13.43	F			14.56	D

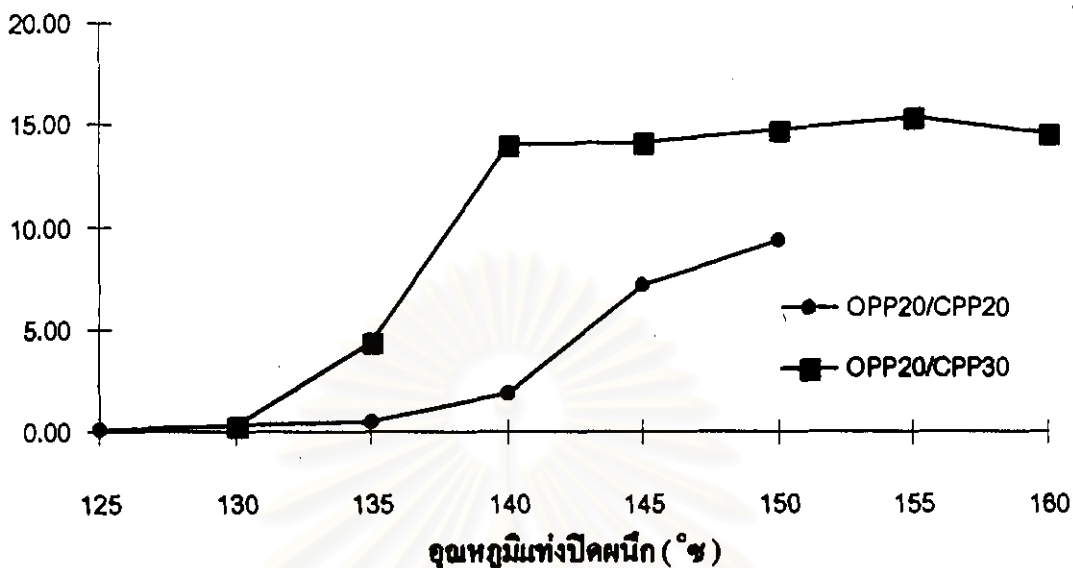
ความแข็งแรงของรอยฉนวน  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.22 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา สารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/CPP ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

### ความแข็งแรงของรอยฉนวน

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.23 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาสารปิดฉนวนของฟิล์ม OPP/OPP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

จากกราฟรูปที่ 4.22 และ 4.23 จะเห็นว่าฟิล์มที่มีสารปิดฉนวนหนา (CPP30) จะมีค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดฉนวนบาง (CPP20) อย่างมาก ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับฟิล์ม OPP/PE ในแง่ที่การมีสารปิดฉนวนจะทำให้มีจำนวนสายโซ่โมเลกุลที่จะเกิดพันธะได้มาก จึงมีค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนสูง แต่ฟิล์ม OPP/OPP ทั้งสองนี้มีความหนาแตกต่างกันมากถึง 10 ไมโครเมตร ซึ่งจะไม่เหมือนกับ OPP/PE ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุหลักไปสู่ชั้นสารปิดฉนวนน่าจะมีผลจากความหนารวมทั้งหมดของฟิล์มเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย คือ ถ้าหากฟิล์มหนา อัตราการถ่ายเทความร้อนจะช้า แต่ในการทดลองนี้ใช้ส่วนที่เป็นสารปิดฉนวนบางมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า ส่วนที่เป็นสารปิดฉนวนหนาน้อยคือ CPP20 มีจุดหลอมเหลว 147 °C ในขณะที่ CPP30 มีจุดหลอมเหลว 140 °C ซึ่งจะเป็นการกำจัดตัวแปรในด้านความหนารวมที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุหลักไปสู่ชั้นสารปิดฉนวน จึงทำให้ฟิล์ม OPP20/OPP30 ซึ่งมีความหนาของสารปิดฉนวนสูงนี้ยังคงมีค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนสูงกว่าฟิล์ม OPP20/OPP20 ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ถ้าหากต้องการให้ฟิล์มมีค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนสูงจึงควรเลือกฟิล์มที่มีสารปิดฉนวนชั้นเล็กน้อยและมีจุดหลอมเหลวของสารปิดฉนวนต่ำ เมื่อพิจารณารูปแบบของการขาดประกอบ ฟิล์ม OPP20/OPP20 จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดฉนวนที่อุณหภูมิแท่งปิดฉนวน 150 °C เนื่องจากที่อุณหภูมินี้มีการเปลี่ยนรูปแบบของการขาดและรูปแบบของการขาดของฟิล์ม OPP20/OPP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที อุณหภูมิที่ 145 และ 160 °C จะมีรูปแบบของการขาดเป็นแบบฟิล์มขาด ซึ่งเป็นรูปแบบที่แตกต่างไปจากอุณหภูมิอื่น ๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากตัวฟิล์มเอง กล่าวคือ ฟิล์มที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นฟิล์มที่มีการพิมพ์ถวดลายลงไป โดยในส่วนที่นำไปปิดฉนวนจะเป็นส่วนที่มีการพิมพ์สี แต่ในบางจุดของฟิล์มที่ใกล้ส่วนที่นำไปปิดฉนวน จะมีส่วนที่ไม่ได้พิมพ์สี ในบางครั้งการปิดฉนวนอาจเล็ดเข้าไปในส่วนที่ไม่มีสีนี้เข้า



จึงทำให้จุดนี้มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าปกติ เนื่องจากความร้อนสามารถถ่ายเทเข้าสู่ชั้นสารปิดผนึกได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านชั้นติก่อน รอยผนึกที่มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าปกตินี้อาจสูงกว่าความแข็งแรงของฟิล์ม จึงทำให้เกิดการขาดที่ตัวฟิล์มได้

#### 4.4 ปัจจัยทางความหนาของวัสดุหลักที่มีผลต่อรอยผนึก

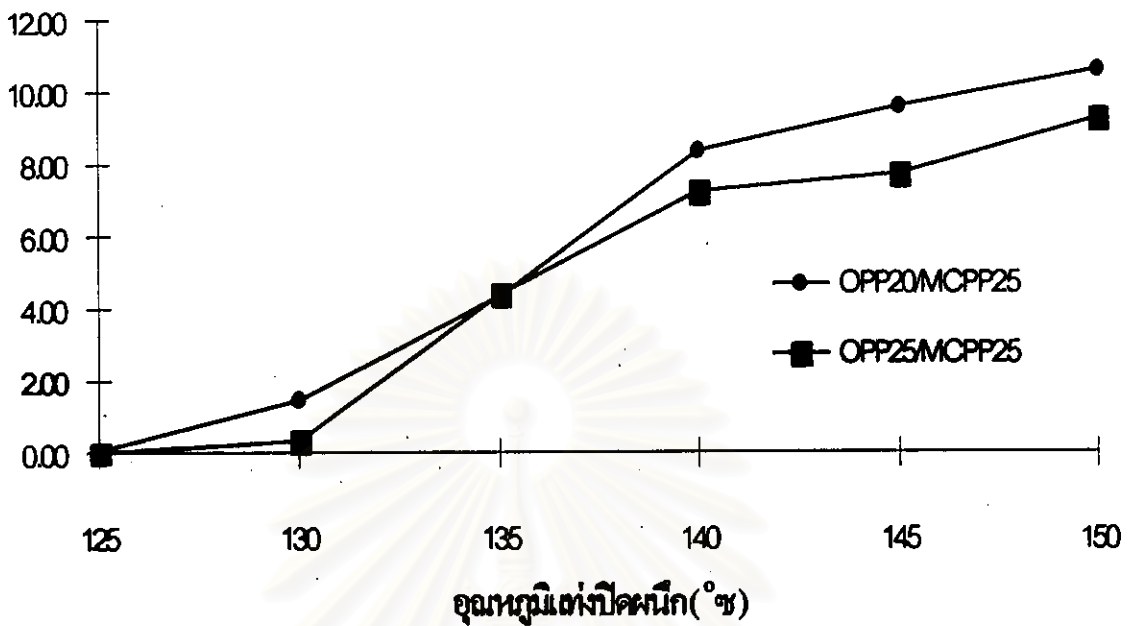
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่ออุณหภูมิในการปิดผนึกเปลี่ยนแปลงไป โดยให้ความดันและเวลาในการปิดผนึกคงที่ของฟิล์ม OPP/MCPP ที่มีความหนาของวัสดุหลักแตกต่างกัน แสดงได้ดังตารางที่ 4.10 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.24 และ 4.25

ตารางที่ 4.10 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาวัสดุหลักของฟิล์ม OPP/MCPP

อุณหภูมิ (°C)	ภาวะการปิดผนึกที่ 1.0 บาร์ และ 0.3 วินาที				ภาวะการปิดผนึกที่ 1.5 บาร์ และ 0.5 วินาที			
	OPP20/MCPP25		OPP25/MCPP25		OPP20/MCPP25		OPP25/MCPP25	
	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF	SS	MOF
125	0.09	P	0.03	P	0.15	P	0.04	P
130	1.45	P	0.35	P	2.15	P	1.07	P
135	4.36	D	4.38	P	6.54	P	6.72	P
140	8.35	D	7.18	D	8.96	D	7.51	D
145	9.53	D	7.67	D	8.96	D	8.91	D
150	10.52	D	9.21	D	10.90	D	9.67	D

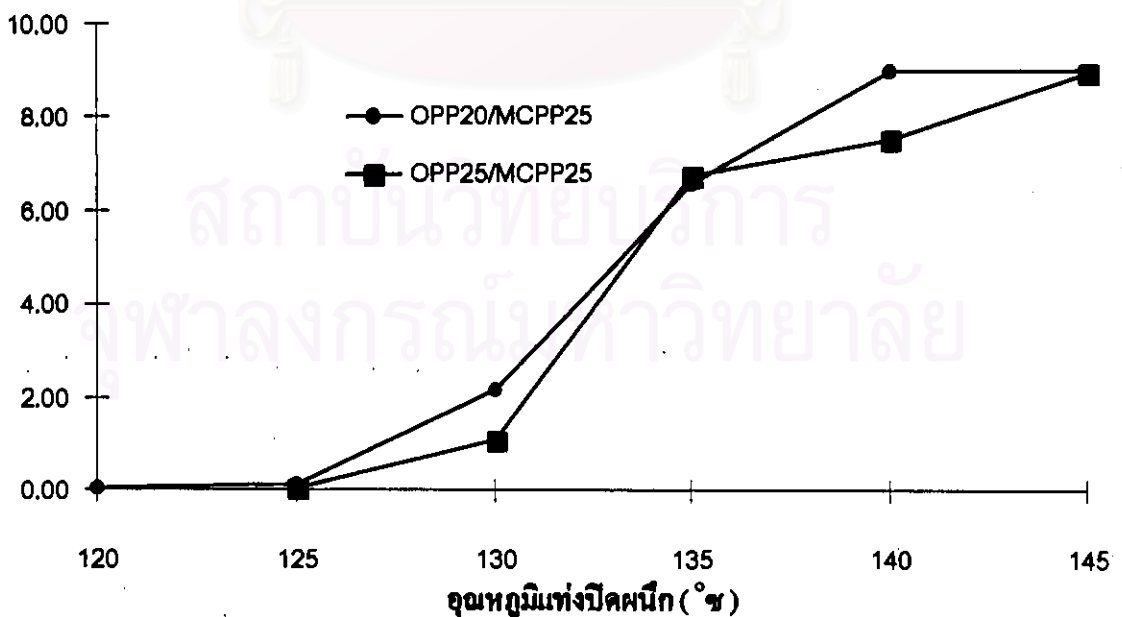
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความแข็งแรงของรอยศลัก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยศลัก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา  
วัสดุหลักของฟิล์ม OPP/MCPP ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

ความแข็งแรงของรอยศลัก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.25 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยศลัก เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนา  
วัสดุหลักของฟิล์ม OPP/MCPP ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 จะเห็นว่าฟิล์มที่มีวัสดุหลักบาง (OPP20) จะมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกสูงกว่าฟิล์มที่มีวัสดุหลักหนา (OPP25) ซึ่งสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึก คือการที่มีวัสดุหลักหนาจะมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่ชั้นสารปิดผนึกได้ช้าลงและอาจเกิดสูญเสียน้ำร้อนไปในระหว่างการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากระบบการปิดผนึกเป็นระบบเปิด จากรูปแบบของการขาดทำให้คาดคะเนได้ว่าอุณหภูมิแห่งปิดผนึกที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP/MCPP ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิที่ MCPP เกิดการหลอมเหลวได้นั้นคืออุณหภูมิแห่งปิดผนึกที่ 140 °ซ (จุดหลอมเหลวของ MCPP ประมาณ 136 ถึง 138 °ซ) และจากกราฟทั้งสองจะเห็นว่าในช่วงอุณหภูมิของแห่งปิดผนึกที่เข้าใกล้จุดที่ทำให้สารปิดผนึกหลอมเหลวได้นั้นเส้นกราฟทั้งสองจะมาคั่นกันพอดีที่อุณหภูมิประมาณ 135 °ซ ซึ่งเมื่อดูค่าความแข็งแรงของรอยฉีกจากรางแล้ว ที่อุณหภูมินี้ฟิล์มทั้งสองจะมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกไม่ต่างกันมากนัก เหมือนกับความหนาของวัสดุหลัก ไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยฉีกเลย ที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึกของฟิล์ม OPP/PP ที่ว่า ในช่วงอุณหภูมิที่เข้าใกล้จะถึงจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก ปริมาณความร้อนในช่วงนี้จะถูกส่งไปสะสมยังส่วนผลึกของสารปิดผนึกเพื่อให้ส่วนผลึกได้รับความร้อนเต็มที่ พร้อมทั้งจะขยายตัวและเคลื่อนตัวออกจากกันหรือเกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ขึ้น แต่เนื่องจากฟิล์มทั้งสองมีความหนาของสารปิดผนึกเท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้มีสาเหตุที่จะเกิดการขยายตัวและสร้างพันธะได้เท่ากัน ทำให้มีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกเท่ากัน

#### 4.5 วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยฉีก

##### 4.5.1 OPP20/PE25/LLDPE25

เป็นฟิล์มที่ได้ศึกษามาแล้วจากปัจจัยทางเครื่องที่มีผลต่อรอยฉีก ซึ่งจะได้อายุที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกคือ ที่อุณหภูมิ 130 °ซ เวลา 0.5 วินาที และความดัน 1.5 บาร์ (ความดันอาจเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความแข็งแรงของรอยฉีกไม่ขึ้นอยู่กับความดันมากนัก แต่ส่วนมากมักจะใช้ความดันต่ำเพื่อป้องกันการเกิดรอยฉีกบิดเบี้ยว) ในกรณีที่ต้องการอัตราการผลิตที่สูงขึ้นจะต้องใช้เวลาในการปิดผนึกน้อยลง แต่ต้องเพิ่มอุณหภูมิในการปิดผนึกให้สูงขึ้น คือ ถ้าใช้อุณหภูมิ 135 °ซ จะใช้เวลา 0.4 วินาที แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 140 °ซ จะใช้เวลา 0.3 วินาที เมื่อนำภาวะที่เหมาะสมค่าหนึ่งคือที่เวลา 0.5 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ มาทดสอบความทนต่อการลอกและความแข็งแรงของรอยฉีกขณะร้อน เพื่อดูความสอดคล้องกับการทดสอบความแข็งแรงของรอยฉีก จะได้ค่าดังตารางที่ 4.11 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.26 และ 4.27

ตารางที่ 4.11 การทดสอบรอยฉีกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

อุณหภูมิ (°ซ)	PS (นิวตัน/10มม.) ในระยะทางการลอก					HT (มม.)	Strograph		Instron	
	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.		SS	MOF	SS	MOF
120	0.09	0.06	0.09	0.12	0.16	300	0.56	P	0.83	P
125	0.22	0.194	0.32	0.39	0.42	228	2.26	P	1.92	P
130	0.79	0.439	0.54	0.69	0.93	53	9.46	D	12.44	D
135	4.46	3.68	6.06	5.32		28	10.62	D	12.48	D
140	10.74	7.29				23	11.00	D	13.33	D
145	12.71					22	14.13	D	14.23	D

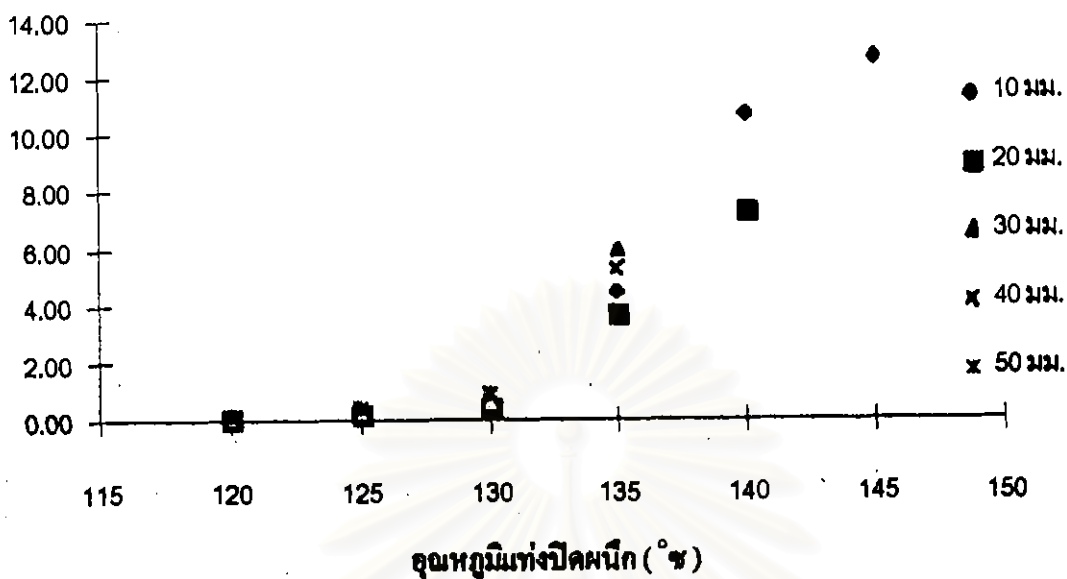
- หมายเหตุ
- SS = ความแข็งแรงของรอยฉีก (seal strength) มีหน่วยเป็นนิวตัน/15 มม.
  - MOF = รูปแบบของการขาด (mode of failure)
  - P = การลอก (peel)
  - D = การแยกประกบ (delamination)
  - F = ฟิล์มขาด (film break)
  - PS = ความทนต่อการลอก (peel strength)
  - HT = ระยะรอยแยกของการปิดผนึกขณะร้อน (hot tack distance)

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 130 °ซ เป็นช่วงอุณหภูมิที่ฟิล์มมีรอยฉีกที่มีความสมบูรณ์ ซึ่งจะดูได้จากระยะทางการดึงลอกเพิ่มขึ้น แต่ค่าความทนต่อการลอกในแต่ละจุดจะมีค่าใกล้เคียงกัน และจากรูปที่ 4.27 ก็จะเห็นได้เช่นเดียวกันว่าที่ อุณหภูมิ 130 °ซ จะเป็นจุดแรกที่ฟิล์มมีระยะรอยแยกออกจากกันน้อยที่สุด ดังนั้นอุณหภูมิ 130 °ซ จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม โคอีโธวาระที่ เวลา 0.5 วินาที ความดัน 1.5 บาร์

จากการทดสอบทั้งสองจะเห็นว่าให้ผลสอดคล้องกับการทดสอบความแข็งแรงของรอยฉีกคือได้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่ 130 °ซ ในภาวะการปิดผนึกที่เวลา 0.5 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ การทดสอบความแข็งแรงของรอยฉีกที่ผ่านมาจะใช้เครื่อง Strograph หากเปลี่ยนมาใช้เครื่อง Instron ในการทดสอบก็จะให้ผลสอดคล้องเหมือนกับการใช้เครื่อง Strograph เช่นเดียวกัน คือในภาวะการปิดผนึกที่เวลา 0.5 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ จะได้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่ 130 °ซ เหมือนกัน ซึ่งจะดูผลการทดลองได้จากตารางที่ 4.11 และค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.28 จากรูปจะเห็นว่าค่าความแข็งแรงของรอยฉีกของเครื่อง Instron จะสูงกว่าเครื่อง Strograph เล็กน้อย แต่จะได้แนวโน้มความแข็งแรงของรอยฉีกเหมือนกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนเครื่องมือการทดสอบจะไม่มีผลต่อภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก

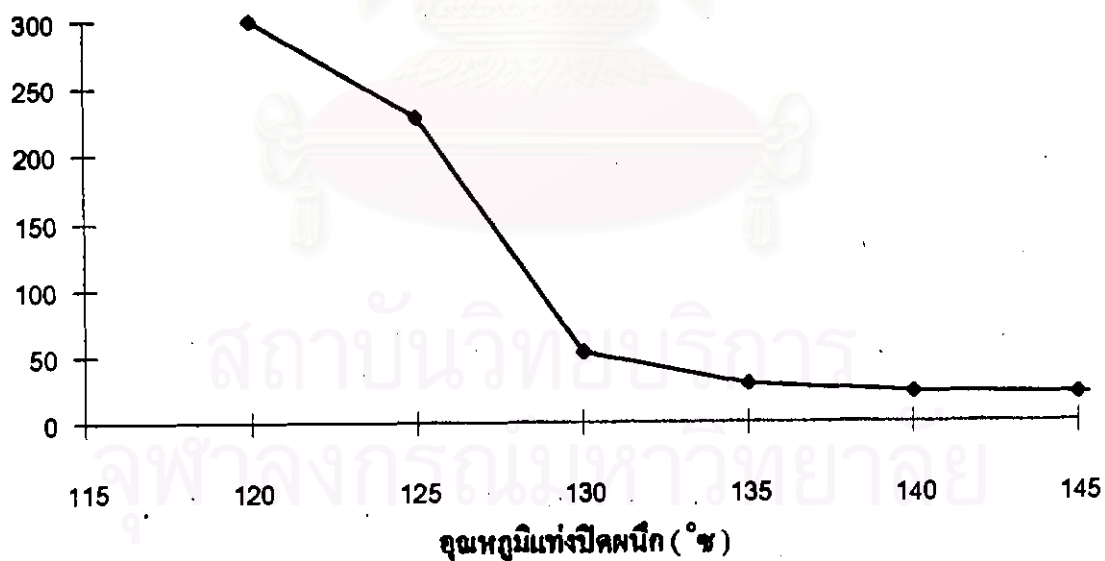
### ความทนต่อการลอก

(นิ้วตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.26 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

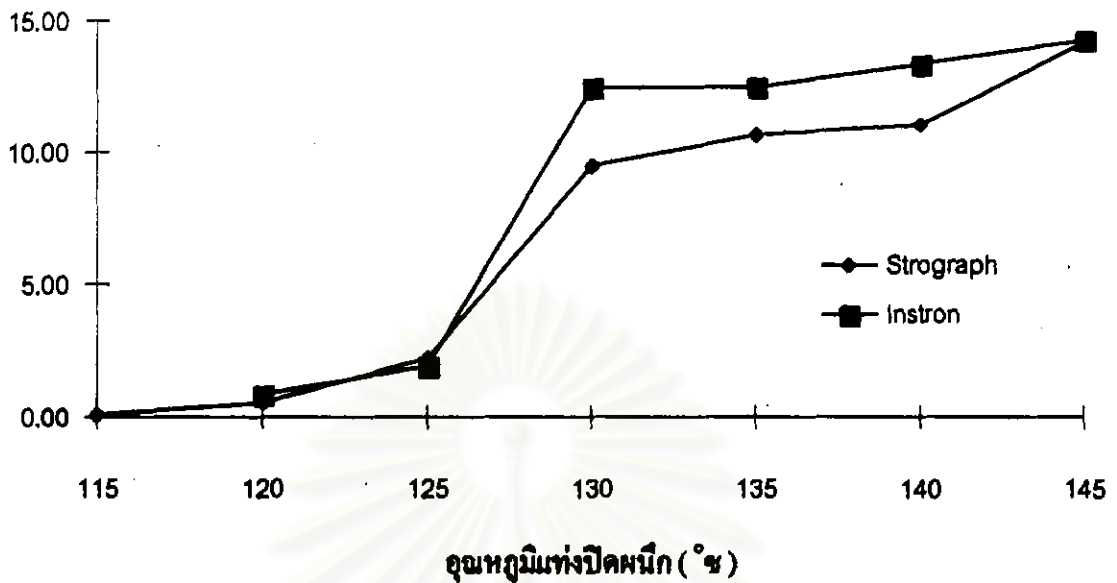
### ระแวงของรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.27 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที

### ความแข็งแรงของรอยฉีก

(นิวตัน/15 มม.)



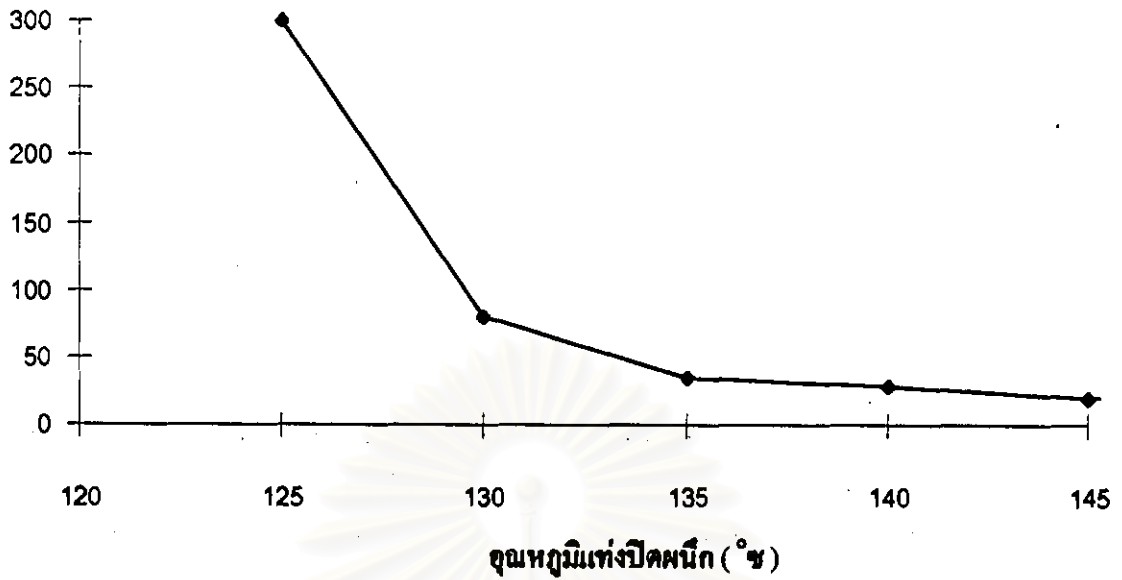
รูปที่ 4.28 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีกเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปัดฉีกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่อง Stograph กับ Instron

เมื่อนำภาวะการปัดฉีกที่เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ มาทดสอบเพื่อดูความสอดคล้องว่าจะได้อุณหภูมิการปัดฉีกที่เหมาะสมที่ 135 °ซ เหมือนกับการทดสอบจากปัจจัยทางเครื่องหรือไม่ โดยในการทดสอบนี้จะวัดค่าความแข็งแรงของรอยฉีกขณะร้อนและความแข็งแรงของรอยฉีกที่มีการเปลี่ยนอัตราเร็วในการทดสอบจาก 100 มม./นาที มาเป็น 250 มม./นาที จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12 และนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30

ตารางที่ 4.12 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีกทั้งในขณะที่สารปัดฉีกยังร้อนหรือเย็นแล้ว เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปัดฉีกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.5 บาร์

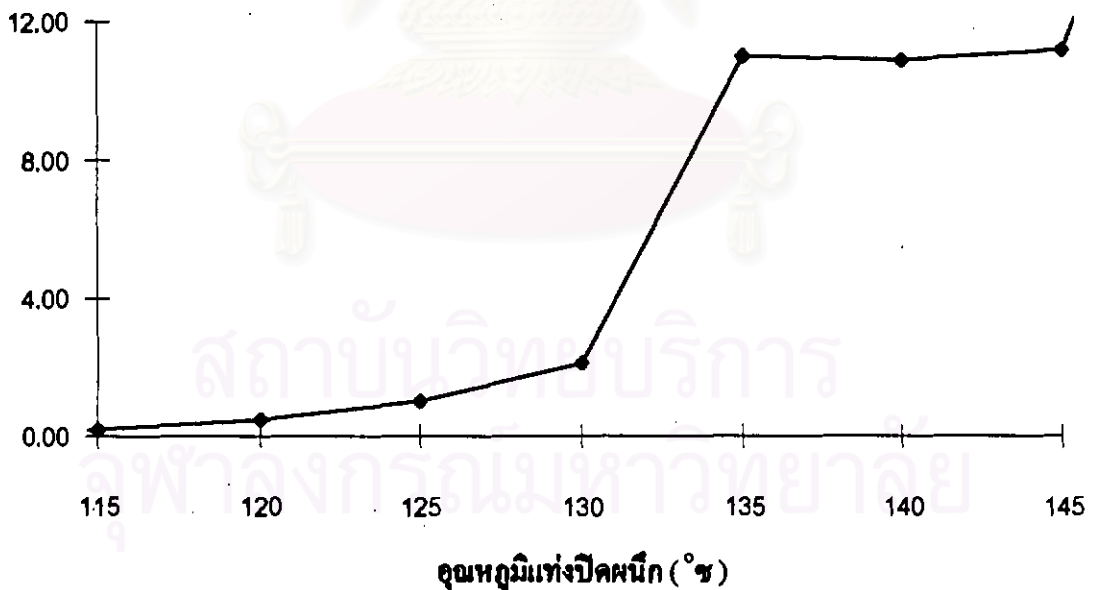
อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะรอยแตกของการปัดฉีกขณะร้อน (มม.)	อัตราเร็วการทดสอบ 250 มม./นาที	
		ความแข็งแรงของรอยฉีก	รูปแบบของการขาด
120		0.48	P
125	300	0.99	P
130	81	2.12	P
135	34	10.21	D
140	28	10.88	D
145	19	11.20	D

ระยะรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.29 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

ความแข็งแรงของรอยผนึก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.30 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE25/LLDPE25 ที่ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที โดยใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 250 มม./นาที

จากรูปที่ 4.29 การทดสอบความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน จะเห็นว่าอุณหภูมิในการปิดผนึกที่ 135 °ซ จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก เนื่องจากเป็นอุณหภูมิจุดแรกที่ฟิล์มมีระยะรอยแยกออกจากกันของฟิล์มน้อยที่สุดหรือมีค่าเริ่มคงที่ และจากรูปที่ 4.30 เป็นการทดสอบหาความแข็งแรงของรอยผนึกโดยเปลี่ยนอัตราเร็วจากเดิม ซึ่งเห็นว่าจะได้ผลสอดคล้องกับการทดสอบที่อัตราเร็ว 100 มม./นาทิจึงที่ภาวะการปิดผนึกที่ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที จะได้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่ 135 °ซ

#### 4.5.2 OPP/PE

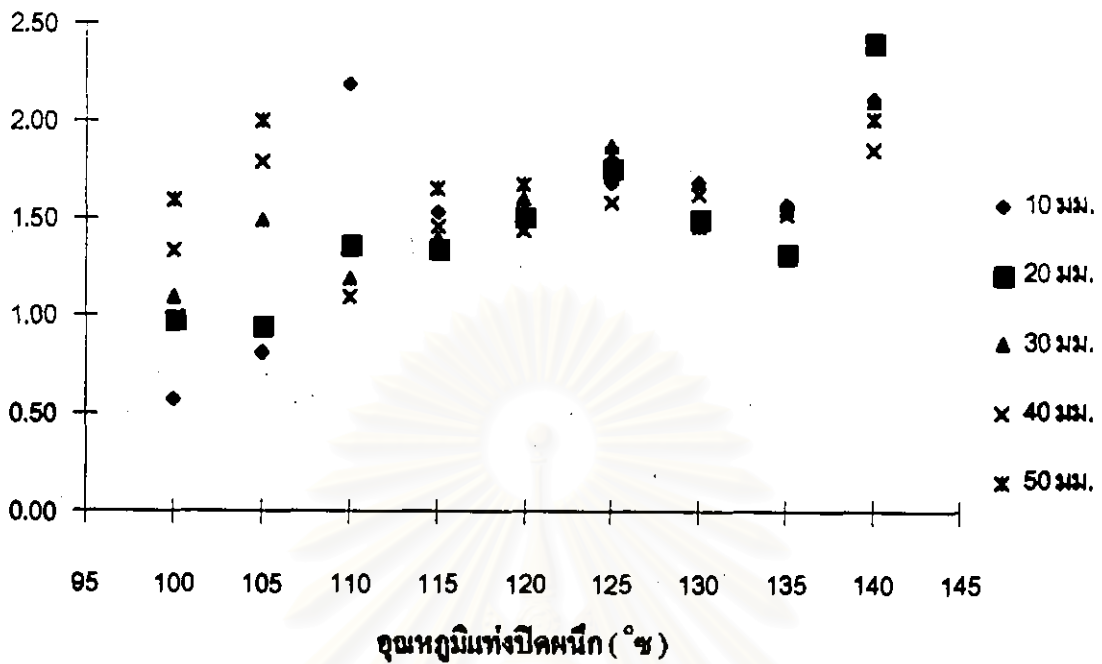
จากการศึกษาปัจจัยทางเครื่องที่ผ่านมา ในรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าฟิล์ม OPP20/PE28 สามารถปิดผนึกได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างคือ ที่อุณหภูมิ 105 ถึง 120 °ซ (ที่อุณหภูมิ 125 °ซ จะเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินความจำเป็นต่อการปิดผนึก) และจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิตั้งแต่ 115 °ซ ขึ้นไป ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจะสูงกว่าค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่อุณหภูมิ 110 °ซ ดังมาอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อดูเวลาที่เหมาะสมอาจอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.8 วินาที แต่เมื่อดูรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าที่เวลา 0.8 วินาที จะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าที่ 0.3 วินาที ในทุก ๆ ช่วงของความดัน ดังนั้นจะใช้ภาวะที่เวลา 0.8 วินาที และความดัน 1.5 ทดสอบค่าความทนต่อการลอก ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน และความแข็งแรงของรอยผนึกอีกครั้ง จะได้ค่าดังตารางที่ 4.13 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.31 ถึง 4.33

ตารางที่ 4.13 การทดสอบรอยผนึกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PE28 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที

อุณหภูมิ (°ซ)	PS (นิวตัน/10มม.) ในระยะทางการลอก					HT (มม.)	SS	MOF
	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.			
95							0.24	P
100	0.57	0.98	1.09	1.33	1.59	300	1.99	P
105	0.81	0.95	1.49	1.80	2.00	245	4.62	D
110	2.19	1.37	1.18	1.09	1.34	151	5.35	D
115	1.53	1.34	1.40	1.45	1.65	132	5.78	D
120	1.54	1.51	1.61	1.44	1.68	121	6.04	D
125	1.69	1.76	1.88	1.58	1.83	120	5.79	D
130	1.68	1.50	1.48	1.63	1.46	113	6.18	D
135	1.58	1.32	1.55	1.52	1.29	105	6.25	D
140	2.11	2.41	2.10	1.86	2.01	102	6.64	D

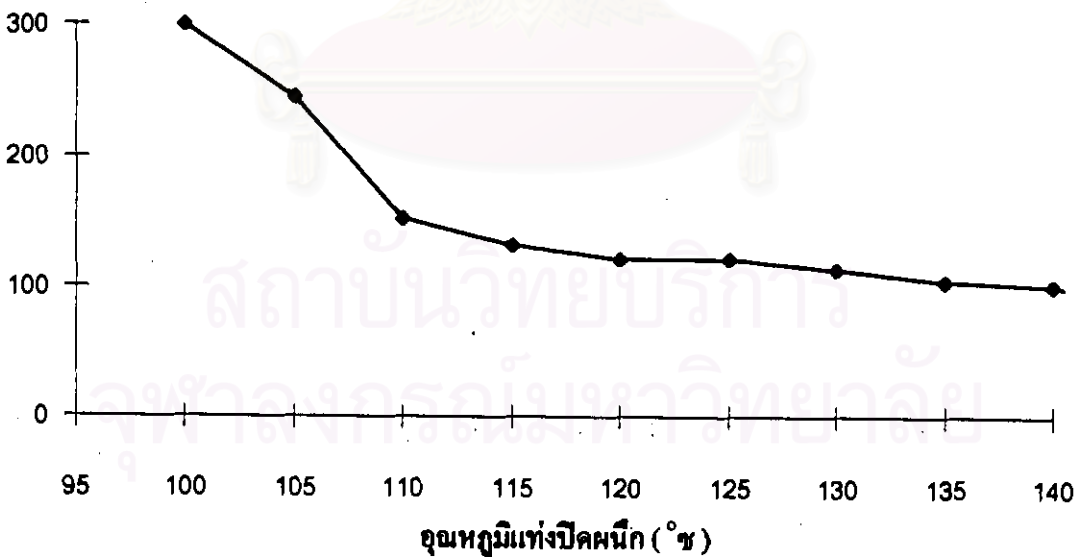


ความทนต่อการตก  
(นิวตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.31 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการตก เมื่อเปลี่ยนแปลงอนุหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที

ระขระรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



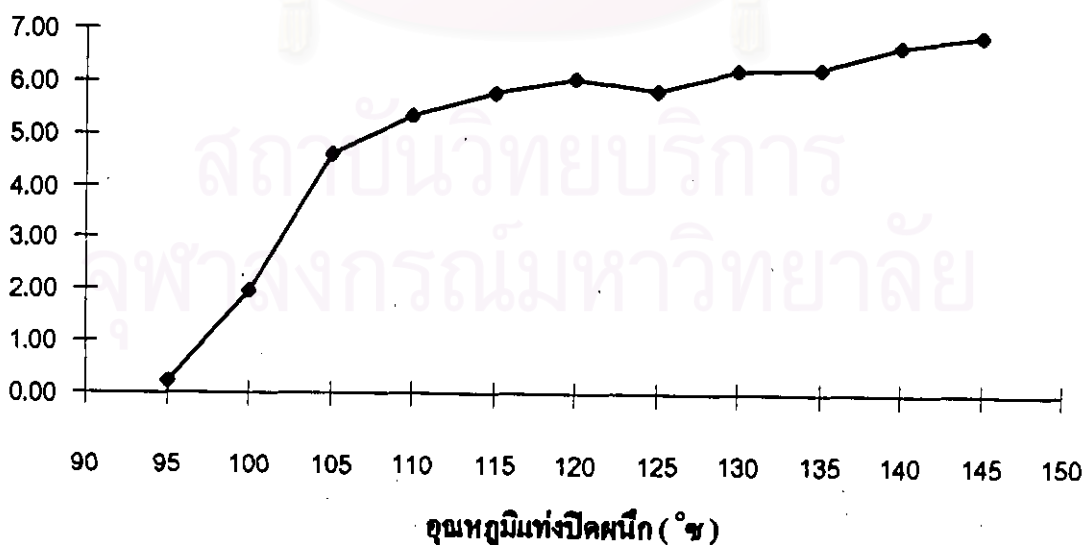
รูปที่ 4.32 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอนุหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นว่าช่วงอุณหภูมิ 115 ถึง 135 °ซ รอยฉีกจะมีความสมบูรณ์ คือในระหว่างทางที่ดึงลอกเพิ่มขึ้นจะได้ค่าความทนต่อการลอกใกล้เคียงกัน อุณหภูมิต่ำสุดที่มีรอยฉีกสมบูรณ์คือที่ อุณหภูมิ 115 °ซ ดังนั้นจึงเลือกเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดฉีก โดยจะดูจากค่าความแข็งแรงของรอยฉีกขณะร้อนในรูปที่ 4.32 ประกอบด้วย ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับค่าความทนต่อการลอก คือที่ อุณหภูมิ 115 °ซ จะมีความเหมาะสมต่อการปิดฉีก เนื่องจากที่อุณหภูมินี้มีรอยแตกของรอยฉีกขณะร้อนน้อยหรือจนเกือบคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อนำภาวะที่เวลา 0.8 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ มาทำการปิดฉีกเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมอีกครั้ง จะได้แนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยฉีกดังรูปที่ 4.33 ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 105 °ซ จะเป็นจุดที่มีความชันของกราฟสูงและเป็นจุดเปลี่ยนรูปแบบของการขาด แต่จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 105 และ 110 °ซ นี้มีค่าความทนต่อการลอกและความแข็งแรงของรอยฉีกขณะร้อนต่ำ และจากรูปที่ 4.33 นี้ยังมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 115 °ซ อีกด้วย ดังนั้นถ้าดูจากค่าการทดสอบต่าง ๆ ประกอบกัน จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 115 °ซ จะเหมาะต่อการปิดฉีกฟิล์ม OPP/PE ที่เวลาในการปิดฉีก 0.8 วินาที ความดัน 1.5 บาร์

เมื่อเปลี่ยนความหนาของสารปิดฉีกเป็น PE30 แนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยฉีกจะมีลักษณะเหมือนกับ PE28 ซึ่งจะดูได้จากรูปที่ 4.18 ที่ผ่านมา คือเมื่ออุณหภูมิการปิดฉีกเพิ่มขึ้น ลักษณะกราฟค่าความแข็งแรงของรอยฉีกทั้งสองจะมีความคล้ายคลึงกันคือ จะมีความชันของกราฟขึ้น 2 จุด คือ ที่อุณหภูมิ 105 กับ ที่ 115 °ซ เหมือนกัน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าเมื่อความหนาของสารปิดฉีกเพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดฉีก โดยที่สารปิดฉีกจะต้องมีจุดหลอมเหลวเท่ากัน

#### ความแข็งแรงของรอยฉีก

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.33 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉีก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดฉีกของฟิล์ม OPP20/PE28 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.8 วินาที

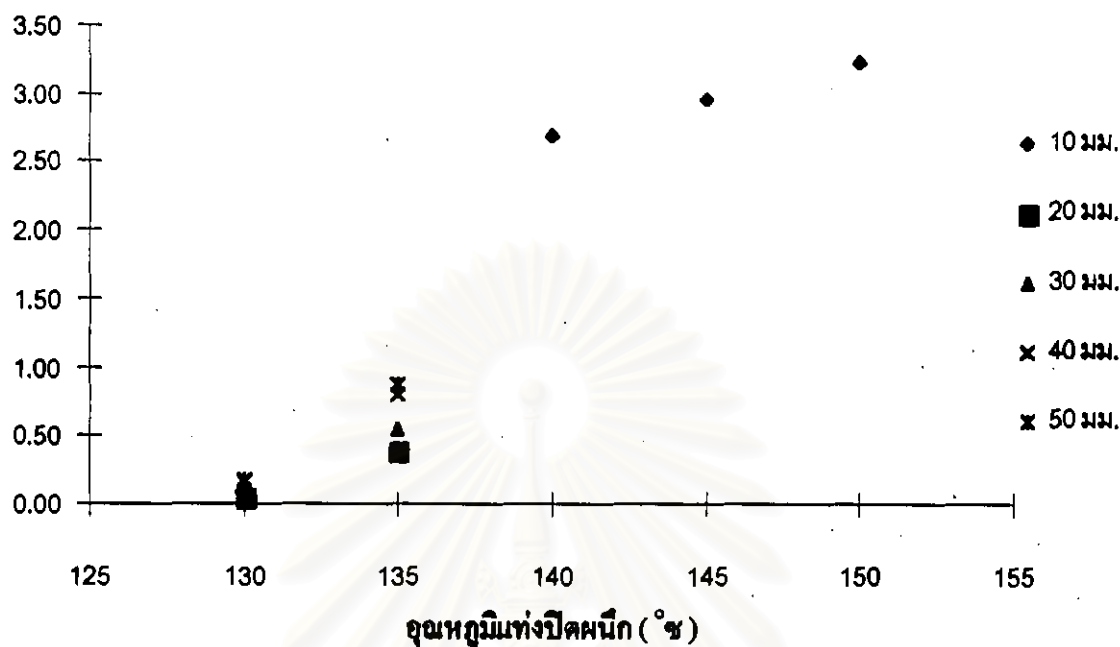
## 4.5.3 OPP/PP

ฟิล์ม OPP/PP จะมี PP เป็นสารปิดผนึกที่มีจุดหลอมเหลว 144 °ซ ซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวก่อนข้างสูง จากการศึกษาปัจจัยทางเครื่องและทางความหนาของสารปิดผนึก จะเห็นว่าฟิล์ม OPP/PP นี้ เกิดการหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิแท่งปิดผนึก 150 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมินี้จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด แต่ที่อุณหภูมินี้ไม่สามารถใช้ปิดผนึกฟิล์มได้ เนื่องจาก OPP ที่เป็นวัสดุหลักมักจะเริ่มเกิดการงอหรือข่นได้ที่อุณหภูมิ 145 °ซ ดังนั้นภาวะการปิดผนึกที่เหมาะสมสำหรับฟิล์มจึงเลือกที่อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.5 บาร์ เมื่อนำภาวะนี้ไปทดลองหาค่าความทนต่อการลอกและความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน จะได้ค่าดังตารางที่ 4.14 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ ดังรูปที่ 4.34 และ 4.35 สำหรับ OPP20/PP25 และค่าในตารางที่ 4.15 รูปที่ 4.36 และ 4.37 สำหรับ OPP20/PP30 เมื่อพิจารณาความทนต่อการลอกของฟิล์มทั้งสอง ในรูปที่ 4.34 และ 4.36 จะเห็นว่าฟิล์ม OPP/PP จะมีความสมบูรณ์ของรอยผนึกได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำ ในช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้นฟิล์มจะมีความสมบูรณ์ของรอยผนึกน้อย ซึ่งดูได้จากค่าความทนต่อการลอกจะมีค่าในช่วงกว้าง เมื่อระยะทางการดึงลอกเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนในรูปที่ 4.35 และ 4.37 นี้ จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ เป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนที่เหมาะสมสำหรับฟิล์ม OPP/PP

ตารางที่ 4.14 การทดสอบรอยผนึกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PP25 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

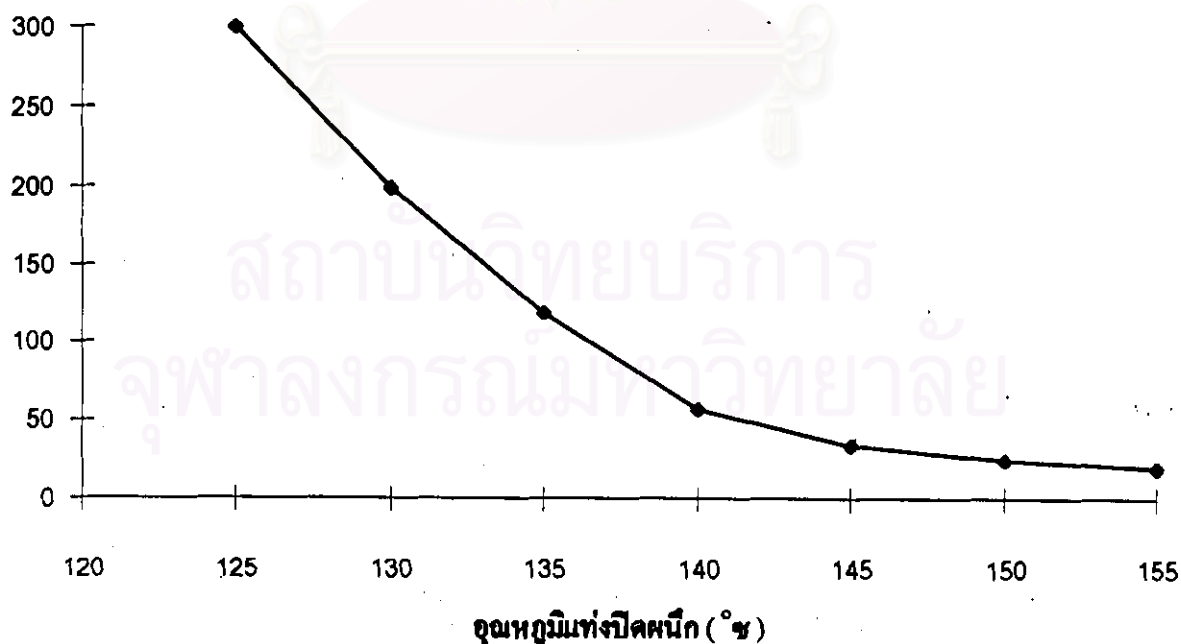
อุณหภูมิ (°ซ)	ความทนต่อการลอก (นิวตัน/10มม.) ในระยะทางการลอก					ระยะรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มม.)
	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.	
125						300
130	0.04	0.04	0.08	0.16	0.18	198
135	0.41	0.381	0.55	0.81	0.87	119
140	2.69					57
145	2.95					34
150	3.22					25
155						19

ความทนต่อการลอก  
(นิ้วตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.34 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PP25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

ระยะรอยแยกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



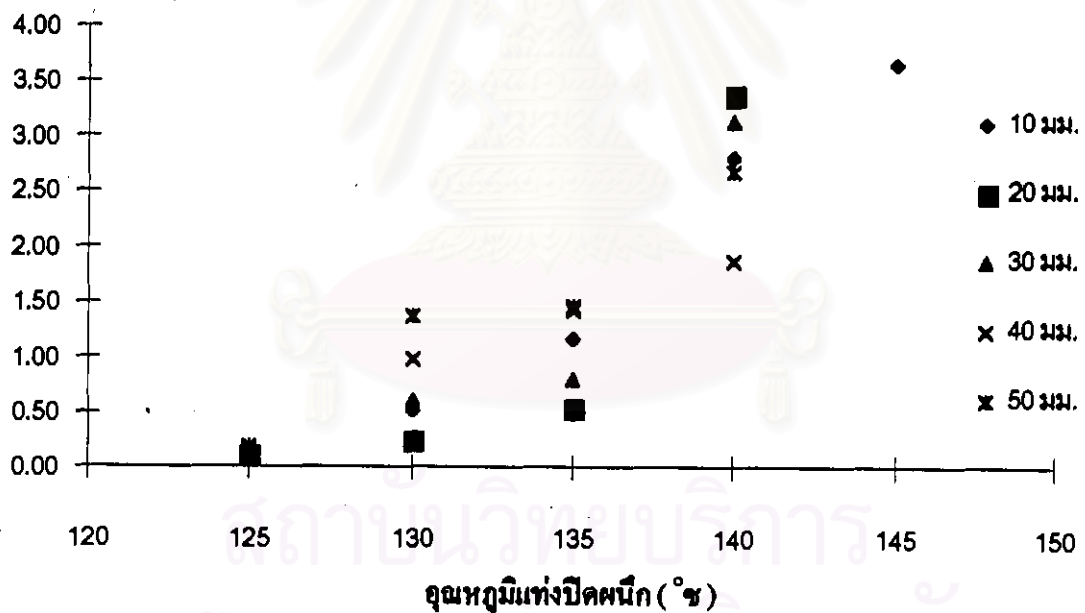
รูปที่ 4.35 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PP25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

ตารางที่ 4.15 การทดสอบรอยฉีกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/PP30 ความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

อุณหภูมิ (°C)	ความทนต่อการลอก (นิวตัน/10 มม.) ในระยะทางการลอก					ระยะรอยแยกของการปิดผนึกขณะร้อน (มม.)
	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.	
120						300
125	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	205
130	0.52	0.25	0.60	0.97	1.36	61
135	1.15	0.53	0.78	1.42	1.45	20
140	2.80	3.37	3.13	1.86	2.67	8
145	3.65					

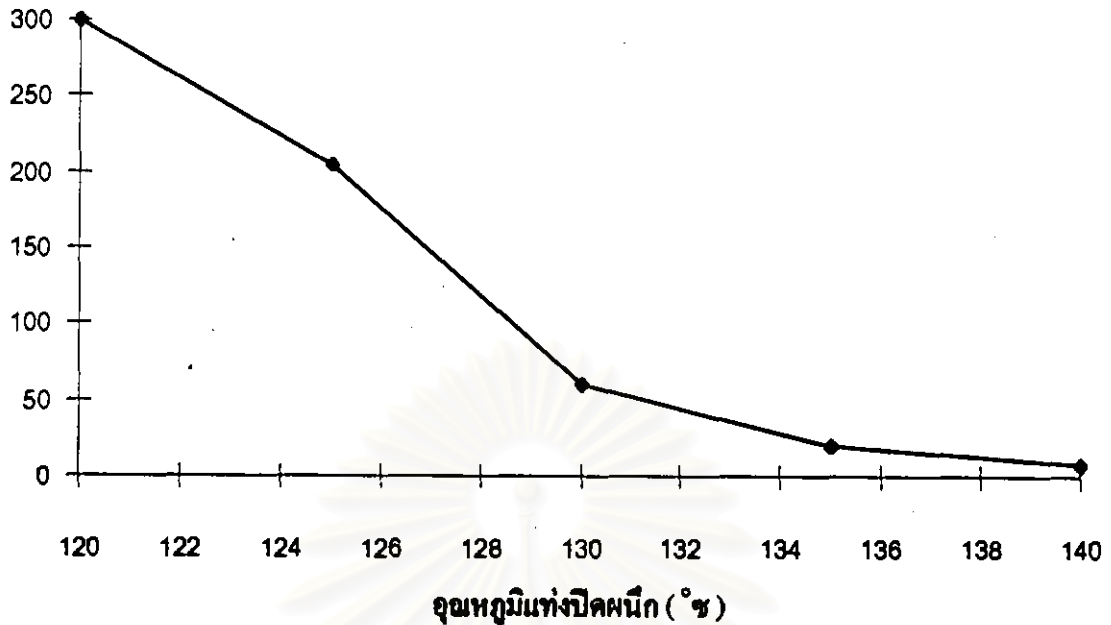
ความทนต่อการลอก

(นิวตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.36 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

ระขระวอชแษกชองการปัดคณีกชณะร้อน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.37 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยคณีกชณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปัดคณีกของฟิล์ม OPP20/PP30 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

#### 4.5.4 OPP/ CPP

ฟิล์ม OPP20/ CPP30 จะมีสารปัดคณีกคือ CPP30 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 140 °ซ การเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปัดคณีกฟิล์ม OPP20/ CPP30 ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารปัดคณีกเกิดการหลอมเหลวได้ จากการศึกษาปัจจัยทางเครื่องที่ผ่านมาจะเห็นว่าฟิล์ม OPP20/ CPP30 สามารถปัดคณีกได้ที่อุณหภูมิแท่งปัดคณีก 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที และความดัน 1.0 บาร์ แสดงว่าการให้เวลา 0.4 วินาที นี้เพียงพอที่จะทำให้ความร้อนเกิดการถ่ายเทจากแท่งปัดคณีกไปสู่ผิวสัมผัสของสารปัดคณีกได้ และเกิดการหลอมเหลวของสารปัดคณีกขึ้น ดังนั้นจะนำภาวะนี้คือที่เวลา 0.4 วินาที และความดัน 1.0 บาร์ มาปัดคณีก เพื่อทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยคณีก ความทนต่อการลอกที่จะบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของรอยคณีก และความแข็งแรงของรอยคณีกชณะร้อนอีกครั้ง จะได้ผลการทดลองดังในตารางที่ 4.16 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.38 ถึง 4.40

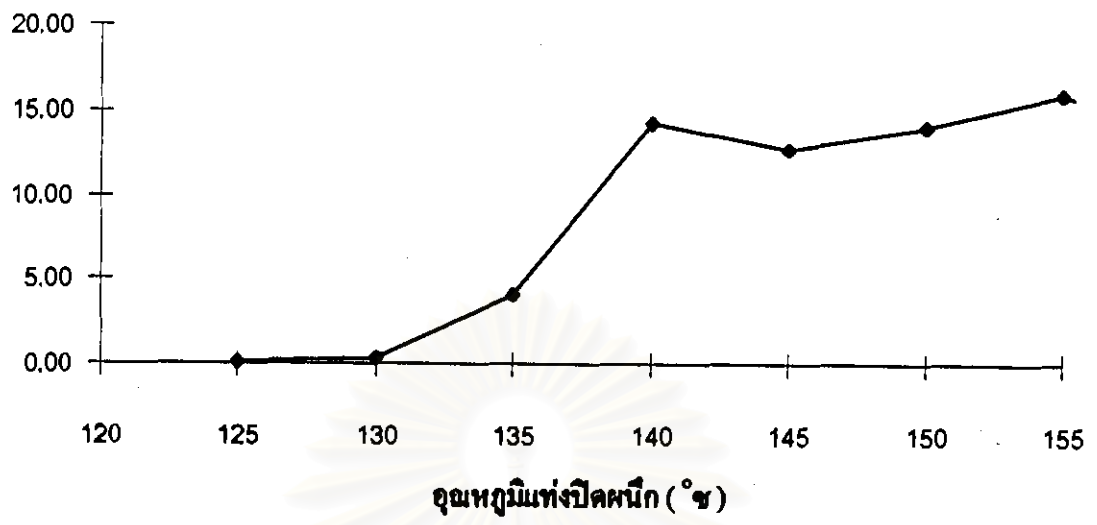
ตารางที่ 4.16 การทดสอบรอยฉีกที่อุณหภูมิต่างๆ ของฟิล์ม OPP20/ CPP30 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

อุณหภูมิ (°ซ)	OPP20/ CPP30		PS (นิวตัน/10มม.) ในระยะทางการลอก					HT (มม.)
	SS	MOF	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.	
125	0.06	P						
130	0.33	P	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	262
135	4.05	P	1.1	0.5	0.7	2.1	3.2	112
140	14.29	D	5.8	5.6	5.5	6.5	4.8	57
145	12.70	F	4.7					29
150	14.00	D	4.5					18
155	15.91	D	5.3					15

- หมายเหตุ
- SS = ความแข็งแรงของรอยฉีก (seal strength) มีหน่วยเป็น นิวตัน/15มม.
  - MOF = รูปแบบของการขาด (mode of failure)
  - P = การลอก (peel)
  - D = การแยกประกบ (delamination)
  - F = ฟิล์มขาด (film break)
  - PS = ความทนต่อการลอก (peel strength)
  - HT = ระยะรอยแยกของการปิดผนึกขณะร้อน (hot tack distance)

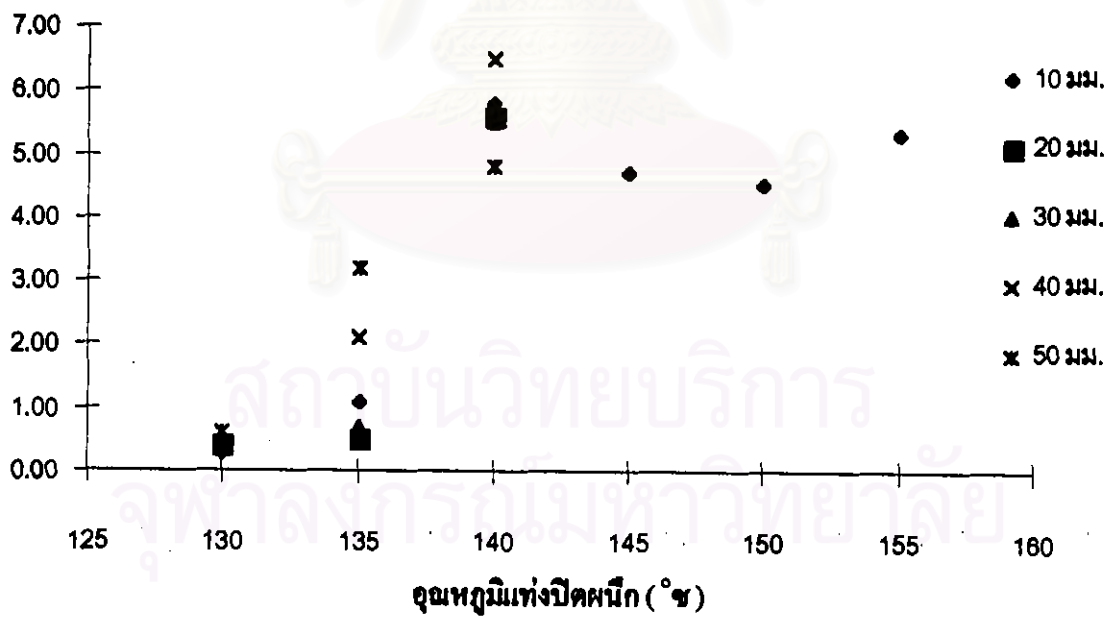
จากรูปที่ 4.38 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ CPP30 ยังคงเป็น ที่อุณหภูมิ 140 °ซ เพราะที่จุดนี้จะมีการเปลี่ยนรูปแบบของการขาดและเป็นอุณหภูมิจุดแรกที่มีค่า ความแข็งแรงของรอยฉีกค่อนข้างคงที่ เมื่อมาดูความสมบูรณ์ของรอยฉีกจากค่าความทนต่อการลอก ในรูปที่ 4.39 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ นี้จะมีค่าความทนต่อการลอกใกล้เคียงกัน เมื่อระยะทาง การดึงลอกเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมินี้จึงเหมาะสมต่อการปิดผนึกเช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาจากค่า ความทนต่อการลอก และในรูปที่ 4.40 แสดงค่าความแข็งแรงของรอยฉีกขณะร้อน จากรูปอุณหภูมิที่ เหมาะสมต่อการปิดผนึกและมีค่าความแข็งแรงของรอยฉีกขณะร้อนสูงน่าจะอยู่ที่อุณหภูมิ 145 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมินี้จะมีรอยแยกของการปิดผนึกค่อนข้างน้อยหรือเกือบคงที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมินี้จะทำให้ฟิล์มที่เป็นวัสดุหลักจะเกิดการหดตัวอย่างมาก จึงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งเมื่อมาดูค่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ แล้วก็จะเห็นว่าเป็นค่าที่ใช้ได้ มีรอยแยกของการปิดผนึกไม่สูงมากนัก ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.0 บาร์ เหมาะต่อการปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ CPP30

**ความแข็งแรงของรอยฉนิก**  
(นิวตัน/15 มม.)



**รูปที่ 4.38** แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนิก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปัดฉนิกของฟิล์ม OPP20/ CPP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

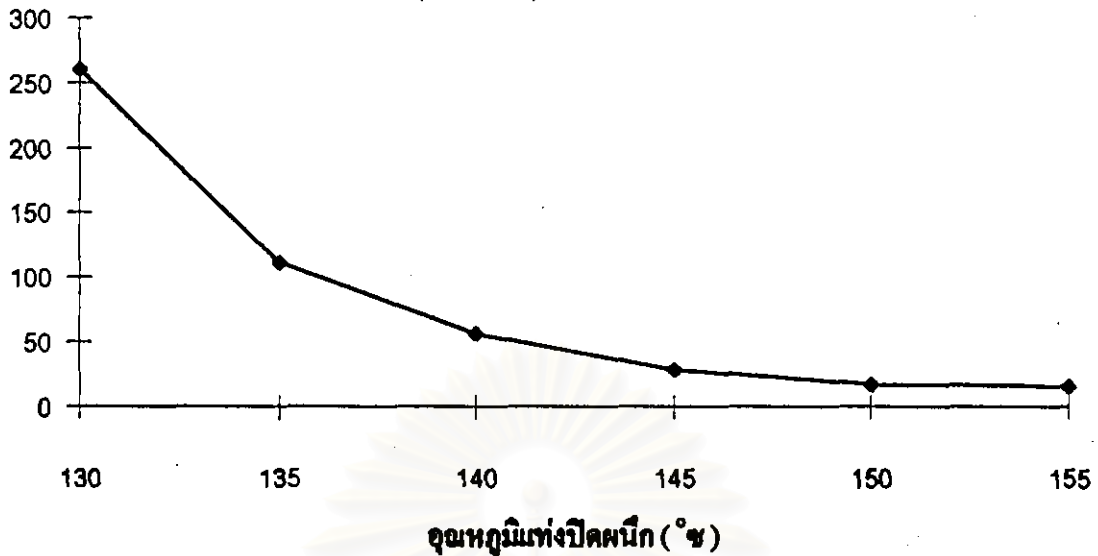
**ความทนต่อการลอก**  
(นิวตัน/10 มม.)



**รูปที่ 4.39** แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปัดฉนิกของฟิล์ม OPP20/ CPP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที



ระยะรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.40 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/ CPP30 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

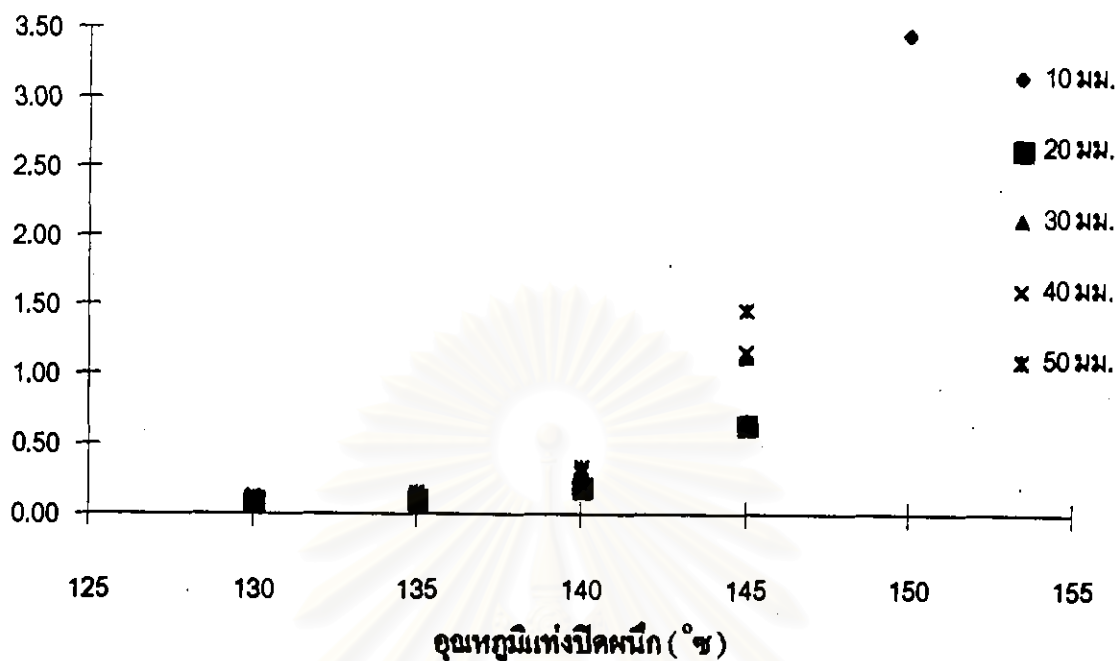
ส่วนฟิล์ม OPP20/ CPP20 จะมี CPP20 เป็นสารปิดผนึกและมีจุดหลอมเหลว 147 °ซ (เป็นจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง) เมื่อดูจากการศึกษาปัจจัยทางความหนาของสารปิดผนึก ฟิล์ม OPP20/ CPP20 นี้จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่อุณหภูมิแท่งปิดผนึก 150 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปปิดผนึกฟิล์ม เนื่องจากที่อุณหภูมิ 145 °ซ ฟิล์มจะเริ่มเกิดการหดตัวและจะหดตัวอย่างมากเมื่อถึงอุณหภูมิ 150 °ซ ดังนั้นจะนำภาวะที่เหมาะสมต่อฟิล์ม OPP20/ CPP30 คือที่ เวลา 0.4 วินาที ความดัน 1.0 บาร์ มาปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ CPP20 เพื่อดูค่าความทนต่อการลอกและความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 4.17 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.41 ถึง 4.42

ตารางที่ 4.17 การทดสอบรอยผนึกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/ CPP20 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

อุณหภูมิ (°ซ)	ความทนต่อการลอก (นิวตัน/10 มม.) ในระยะทางการลอก					ระยะรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มม.)
	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.	
130	0.09	0.09	0.10	0.13	0.11	300
135	0.10	0.107	0.11	0.12	0.16	257
140	0.19	0.195	0.31	0.30	0.33	223
145	0.67	0.646	1.14	1.16	1.48	193
150	3.48					144

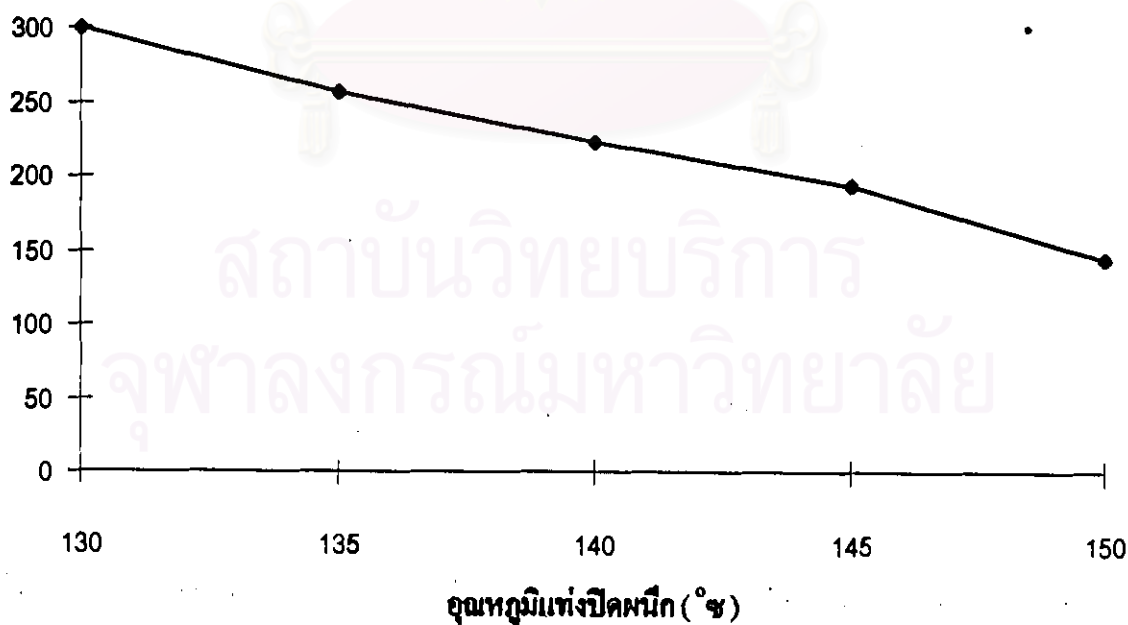
### ความทนต่อการลอก

(นิ้วตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.41 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/CPP20 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

### ระยะรอยแตกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.42 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/CPP20 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.4 วินาที

จากรูปที่ 4.41 จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 145 °ซ ที่สามารถนำไปปิดผนึกฟิล์ม OPP20/ CPP20 ได้คือที่ อุณหภูมิ 140 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมินี้จะให้รอยผนึกที่มีความสมบูรณ์และเมื่อดูค่าความแข็งแรงของรอยผนึกจากรูปที่ 4.22 และ 4.23 ก็จะทำให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ จะเป็นจุดที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงที่สุด โดยที่ฟิล์มไม่เกิดการหดตัวหรืออ่อน แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนในรูปที่ 4.42 จะเห็นว่าฟิล์ม OPP20/ CPP20 จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนต่ำมาก เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น รอยแยกของการปิดผนึกจะมีค่าลดลงน้อยมาก ดังนั้นฟิล์มชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานกับเครื่องขึ้นรูป-บรรจุ-ปิดผนึกในแนวตั้ง (vertical form-fill-seal)

#### 4.5.5 OPP/MCPP

ฟิล์ม OPP20/MCPP25 จะมีสารปิดผนึกคือ MCPP25 ซึ่งมีจุดหลอมเหลว 138 °ซ จากการศึกษายิงจ็องทางเครื่องที่ผ่านมาจะเห็นว่าฟิล์ม OPP20/MCPP25 สามารถปิดผนึกได้ที่อุณหภูมิแท่งปิดผนึก 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที และความดัน 1.0 บาร์ ดังนั้นจะนำภาวะนี้คือที่ เวลา 0.3 วินาที และความดัน 1.0 บาร์ มาปิดผนึกฟิล์ม เพื่อทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยผนึก ความทนต่อการลอกที่จะบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของรอยผนึก และความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนอีกครั้ง จะได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.18 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.43 ถึง 4.45

ตารางที่ 4.18 การทดสอบรอยผนึกที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

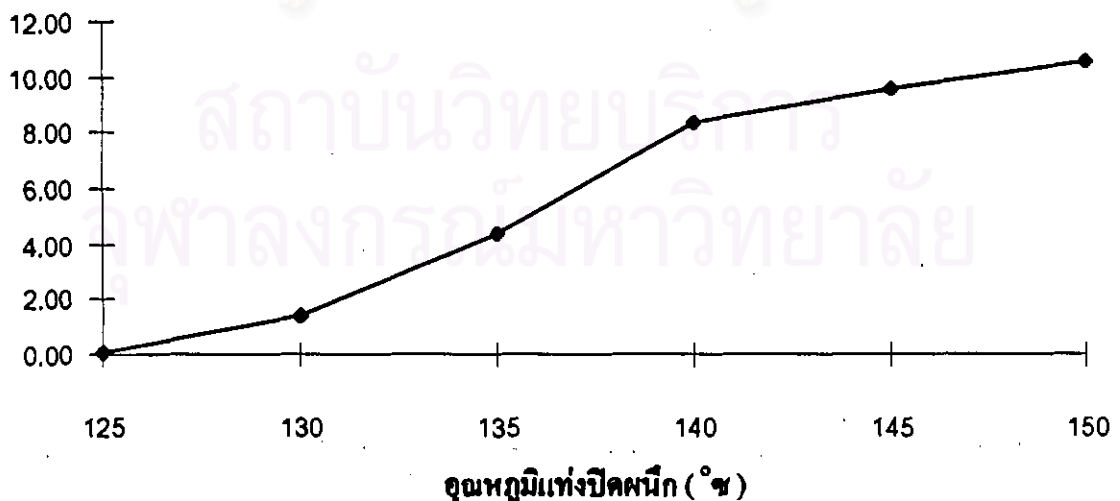
อุณหภูมิ (°ซ)	OPP20/MCPP25		PS (นิวตัน/10 มม.) ในระยะทางการลอก					HT (มม.)
	SS	MOF	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.	
125	0.09	P						300
130	1.45	P						148
135	4.36	D	0.28	0.13	0.19	0.31	0.55	51
140	8.35	D	5.60	9.031	6.92	3.44	1.70	35
145	9.53	D	6.96	6.142	3.30	2.49	1.96	26
150	10.52	D	4.05	1.53	1.48	1.63	1.63	24

หมายเหตุ SS = ความแข็งแรงของรอยผนึก (seal strength) มีหน่วยเป็นนิวตัน/15 มม.  
 MOF = รูปแบบของการขาด (mode of failure)  
 P = การลอก (peel)  
 D = การแยกประกบ (delamination)  
 F = ฟิล์มขาด (film break)  
 PS = ความทนต่อการลอก (peel strength)  
 HT = ระยะรอยแยกของการปิดผนึกขณะร้อน (hot tack distance)

เมื่อพิจารณาในรูปที่ 4.43 ถึง 4.45 จะเห็นว่าแต่ละรูปให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกแตกต่างกันคือ ในรูปที่ 4.43 ฟิล์มจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบของการขาดที่อุณหภูมิ 135 °ซ ดังนั้นที่อุณหภูมินี้ น่าจะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่ยังไม่ถึงจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึก แต่ที่สามารถเกิดพันธะที่แข็งแรงกว่าความแข็งแรงของการประกบจนสามารถมีรูปแบบของการขาดเป็นแบบแยกประกบได้นั้น อาจเนื่องมาจากอุณหภูมินี้จะเป็นอุณหภูมิที่พอเหมาะที่จะให้โมเลกุลของสารปิดผนึกเกิดการเคลื่อนที่ได้บ้าง และสามารถเคลื่อนที่ไปยังผิวสัมผัสระหว่างสารปิดผนึก จนเกิดการเกี่ยวพันระหว่างโมเลกุลขึ้นและเกิดพันธะได้ในที่สุด แต่พันธะนี้ยังไม่แข็งแรงสูงสุด เนื่องจากเป็นพันธะที่ไม่ได้เกิดจากโมเลกุลทั้งหมดของสารปิดผนึก แต่จะเป็นโมเลกุลเพียงบางส่วนที่เกิดการเคลื่อนที่ได้เท่านั้น ซึ่งจะดูได้จากค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่อุณหภูมินี้จะมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ มาก และจากลักษณะกราฟจะมีอุณหภูมิจุดแรกที่ให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงและค่อนข้างคงที่อยู่ที่อุณหภูมิ 140 °ซ ดังนั้นจากกราฟรูปนี้ในแง่ความแข็งแรงของรอยผนึกแล้วอุณหภูมิ 140 °ซ น่าจะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก ในรูปที่ 4.44 ฟิล์ม OPP20/MCPP25 จะมีความสมบูรณ์ของรอยผนึกที่อุณหภูมิ 135 °ซ เพียงจุดเดียวเท่านั้น ที่อุณหภูมิสูงจะมีความสมบูรณ์ของรอยผนึกต่ำ ดังนั้นในแง่ของความสมบูรณ์ของรอยผนึกแล้วน่าจะเลือกที่อุณหภูมิ 135 °ซ เป็นอุณหภูมิในการปิดผนึกฟิล์ม ส่วนในรูปที่ 4.45 เมื่อพิจารณาจากค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน จะเห็นว่าอุณหภูมิต่างๆที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกอาจอยู่ได้ในช่วง 135 ถึง 140 °ซ ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนดีขึ้นก็ตาม (มีรอยแยกของการปิดผนึกลดลง) แต่ที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานหรืออาจทำให้ฟิล์มเกิดการหดตัวได้ ดังนั้นหากที่อุณหภูมิต่ำให้ค่าความแข็งแรงไม่แตกต่างจากอุณหภูมิสูงมากนักมักจะเลือกที่อุณหภูมิต่ำไว้ก่อนจึงจะเหมาะสม

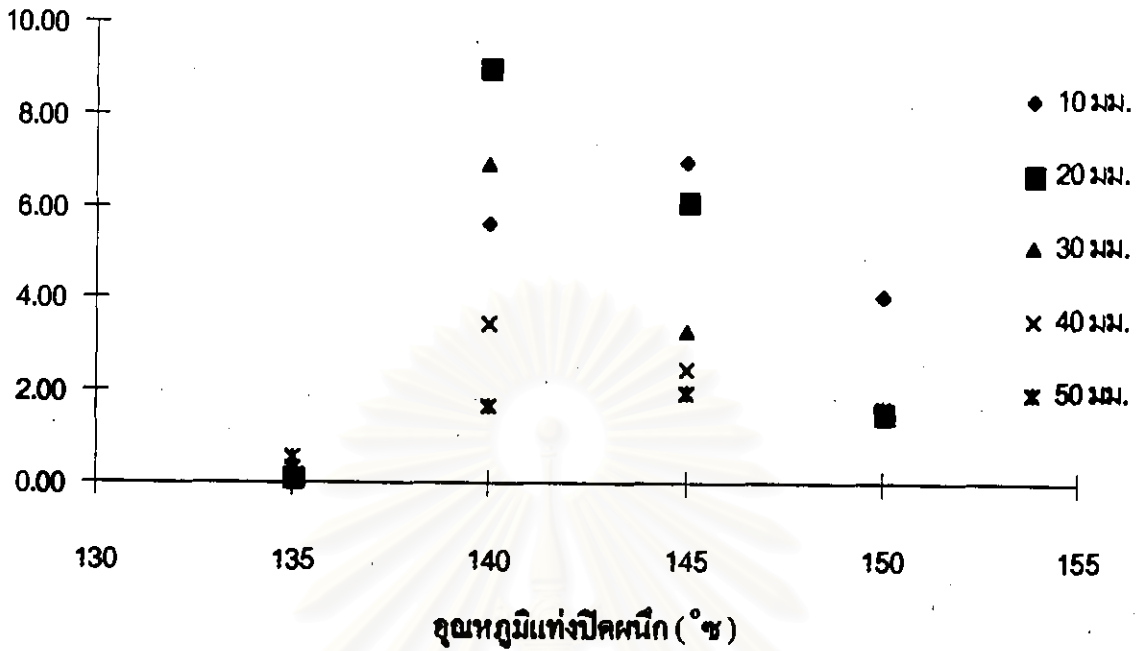
#### ความแข็งแรงของรอยผนึก

(นิวตัน/15 มม.)



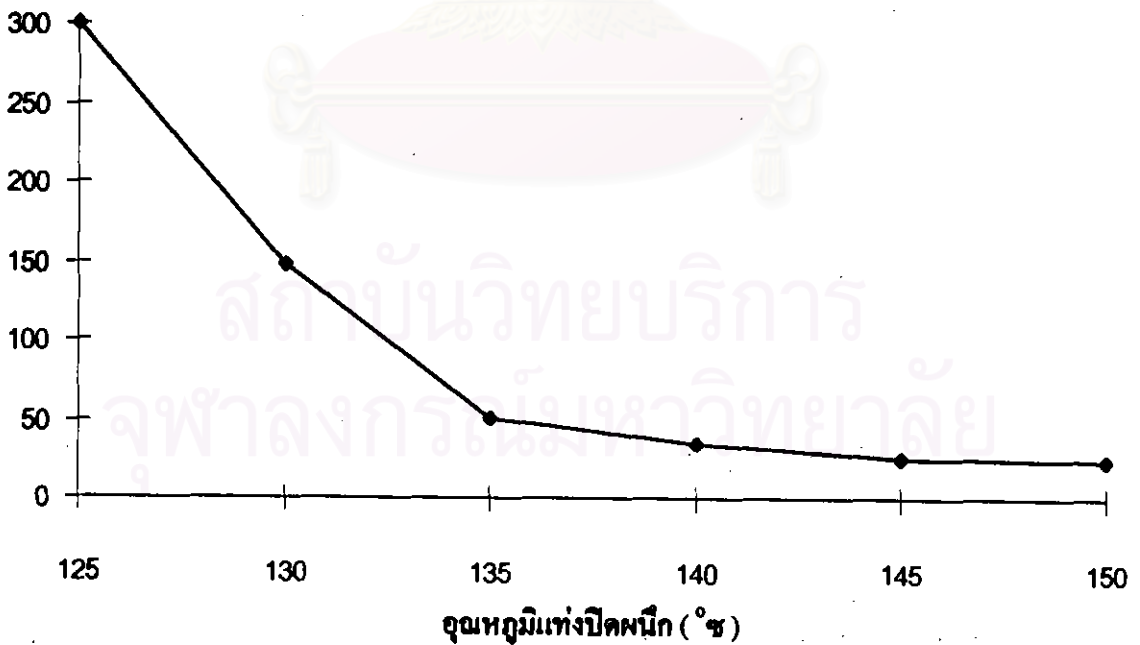
รูปที่ 4.43 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

**ความทนต่อการดก**  
(นิวตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.44 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการดก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

**ระชระรอนนขกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)**



รูปที่ 4.45 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

จากการทดสอบที่ผ่านมาจะมีการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 135 ถึง 140 °ซ หากจะเลือกที่อุณหภูมิ 135 °ซ เป็นอุณหภูมิในการปิดผนึกก็จะเกิดปัญหาในด้านค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่แตกต่างจากอุณหภูมิ 140 °ซ มาก อาจแก้ไขได้โดยจากการศึกษาปัจจัยทางอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อรอยผนึก พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการปิดผนึกจะแปรผกผันกัน ดังนั้นหากจะปิดผนึกที่อุณหภูมิ 135 °ซ อาจต้องเพิ่มเวลาในการปิดผนึกขึ้น เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูง ดังนั้นจะทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของรอยผนึกที่อุณหภูมิ 135 °ซ และ 140 °ซ เปรียบเทียบกัน โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดผนึก และให้ความดันคงที่จะได้ค่าดังตารางที่ 4.19 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.46

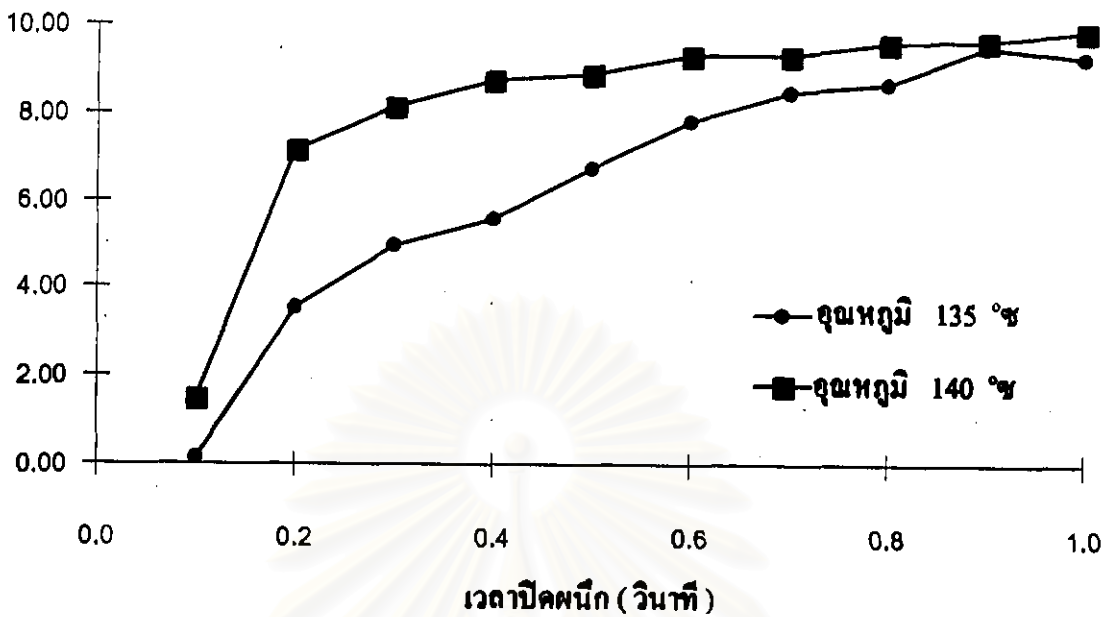
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของรอยผนึกระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดผนึกของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ 135 °ซ		อุณหภูมิ 140 °ซ	
	ความแข็งแรงของรอยผนึก	รูปแบบของการขาด	ความแข็งแรงของรอยผนึก	รูปแบบของการขาด
0.1	0.12	P	1.50	P
0.2	3.56	P	7.17	D
0.3	4.96	P	8.13	D
0.4	5.58	D	8.76	D
0.5	6.71	D	8.87	D
0.6	7.83	D	9.31	D
0.7	8.46	D	9.31	D
0.8	8.65	D	9.56	D
0.9	9.47	D	9.63	D
1.0	9.28	D	9.87	D

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ความแข็งแรงของรอยฉนวน

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.46 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °C โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดฉนวนของฟิล์ม OPP20/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์

จากรูปที่ 4.46 จะเห็นว่าเมื่อปิดฉนวนที่อุณหภูมิ 140 °C จะใช้เวลาในการปิดฉนวนที่ 0.3 วันก็ แต่เมื่อปิดฉนวนที่อุณหภูมิ 135 °C จะต้องใช้เวลาดูสูงขึ้นถึง 0.9 วันก็ ซึ่งเป็นเวลาที่อุณหภูมิการปิดฉนวน มีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 135 °C สามารถใช้ในการปิดฉนวน ฟิล์มได้ เมื่อให้เวลาในการปิดฉนวนสูง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากจุดหลอมเหลวของสารปิดฉนวนจากการวัดโดยใช้เครื่อง DSC จะได้จุดหลอมเหลวของ MCPP25 138 °C แต่การที่สามารถปิดฉนวนทำได้ที่อุณหภูมิ 135 °C ได้ โดษที่ความแข็งแรงของรอยฉนวนสูงขึ้นตามเวลาที่ผ่านไปนั้น อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิ 135 °C นี้จะทำให้โมเลกุลบางส่วนของสารปิดฉนวนเกิดการเคลื่อน ไปยังผิวสัมผัสได้และเกิดการเกาะพันเป็นพันธะขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปโมเลกุลก็จะเกิดการเคลื่อนที่ไปยังผิวสัมผัสได้มากขึ้น และเกิดเป็นพันธะได้มากขึ้น แต่ การเกิดพันธะที่อุณหภูมิ 135 °C จะเกิดจากโมเลกุลเพียงบางส่วนของสารปิดฉนวนเท่านั้น ยังไม่รวมถึง โมเลกุลในส่วนที่เป็นผลึก เนื่องจากที่อุณหภูมิ 135 °C ยังไม่ถึงจุดหลอมเหลวของสารปิดฉนวน ซึ่งจะ สังเกตได้จากค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนในรูปที่ 4.46 ค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนที่อุณหภูมิ 135 °C จะมีค่าใกล้เคียงค่าความแข็งแรงของรอยฉนวนที่ 140 °C เท่านั้น แต่จะมีค่าไม่ถึงที่อุณหภูมิ 140 °C อย่างไรก็ตาม การปิดฉนวนที่อุณหภูมิ 135 °C นี้ จะใช้เวลาในการปิดฉนวนสูง ซึ่งไม่เป็นที่นิยมในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากจะทำให้อัตราเร็วในการผลิตต่ำ ดังนั้นหากต้องการอัตราการผลิตสูงจะปิดฉนวนที่อุณหภูมิ 140 °C

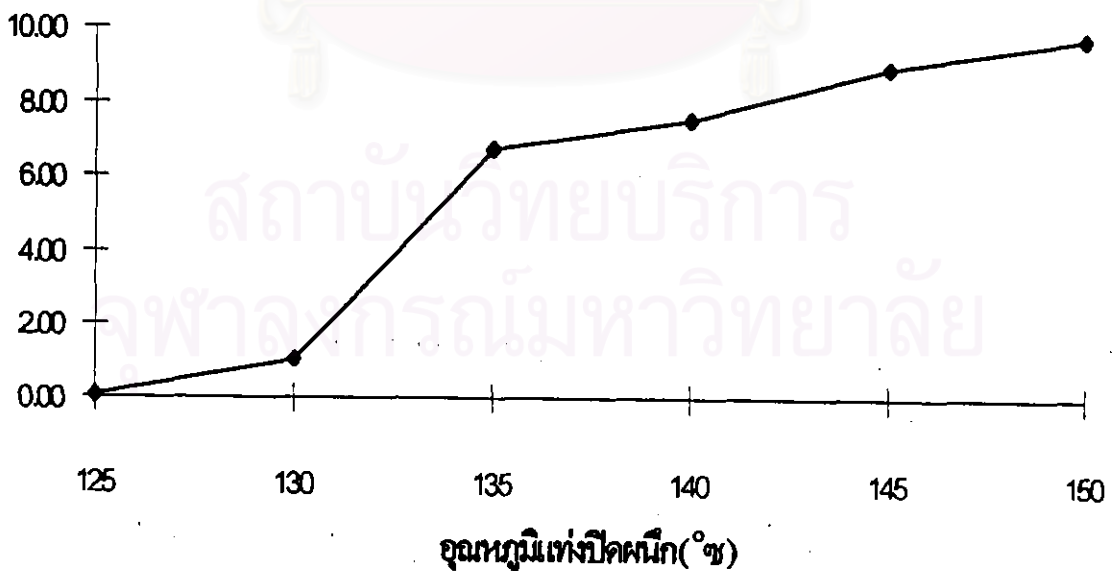
เมื่อศึกษาอิทธิพลความหนาวัสดุหลักที่มีต่อภาวะที่เหมาะสมของการปิดผนึกโดยใช้ฟิล์มที่มีวัสดุหลักหนาขึ้นคือ OPP25/MCPP25 จะได้ค่าดังตารางที่ 4.20 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.47 ถึง 4.49

ตารางที่ 4.20 การทดสอบหาภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25

อุณหภูมิ (°ซ)	ที่ 1.5 บาร์ 0.5 วินาที		เวลา (วินาที)	ที่ 140 °ซ 1.5 บาร์		ความดัน (บาร์)	ที่ 140 °ซ 0.3 วินาที	
	SS	MOF		SS	MOF		SS	MOF
125	0.04	P	0.1	3.13	P	0.5	5.68	D
130	1.07	P	0.2	6.53	P	1.0	5.34	D
135	6.72	P	0.3	7.99	D	1.5	7.05	D
140	7.51	D	0.4	6.67	D	2.0	6.04	D
145	8.91	D	0.5	7.63	D	2.5	5.42	D
150	9.67	D	0.6	8.34	D	3.0	7.03	D
			0.7	8.96	D	3.5	5.89	D
			0.8	9.06	D			
			0.9	9.02	D			
			1.0	9.00	D			

ความแข็งแรงของรอยผนึก

(นิวตัน/15 มม.)

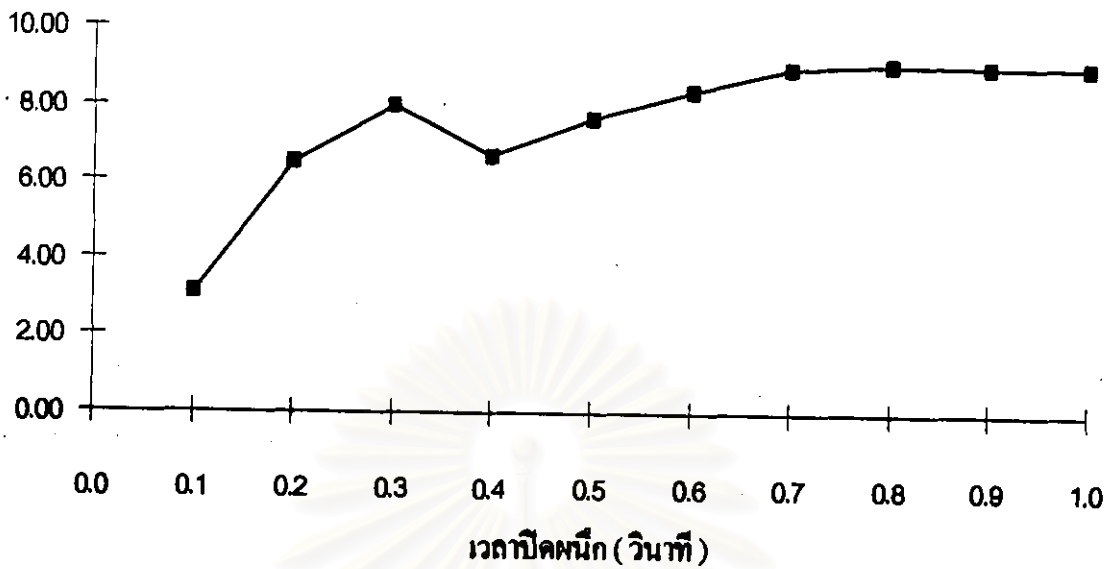


รูปที่ 4.47 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.5 บาร์ เวลา 0.5 วินาที



### ความแข็งแรงของรอยฉนวน

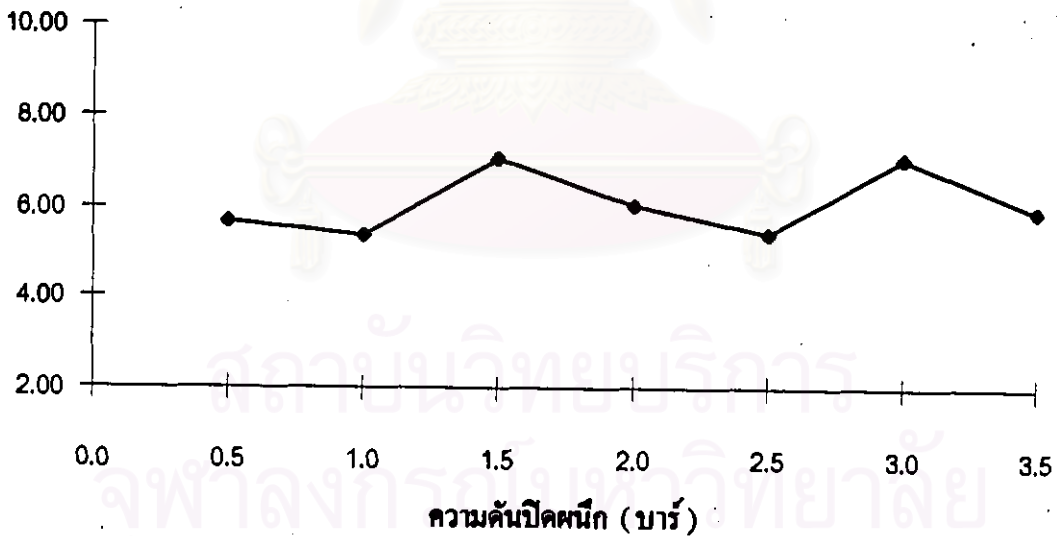
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.48 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาการปิดฉนวนของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะอุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.5 บาร์

### ความแข็งแรงของรอยฉนวน

(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.49 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงความดันการปิดฉนวนของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะอุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที

จากรูปที่ 4.47 จะเห็นว่าอุณหภูมิ 140 °ซ มีความเหมาะสมต่อการปิดฉนวนด้วยความร้อน เนื่องจากจะเป็นจุดที่เปลี่ยนรูปแบบของการขาดและอยู่ในช่วงที่มีความชื้นของกราฟคงที่ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมินี้ไปปิดฉนวน โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดฉนวนจะได้ดังรูปที่ 4.48 ซึ่งจะได้ค่าเวลาที่เหมาะสมที่ 0.3 วินาที จากนั้นจึงนำอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมนี้ไปปิดฉนวน แต่เปลี่ยนความดันในการปิดฉนวน

จะได้ดังรูปที่ 4.49 ซึ่งจะเห็นว่า ความดันมีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยร่อนน้อยกว่าเช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมา การเปลี่ยนความหนาของวัสดุหลักเป็น OPP25 ยังคงให้ภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกเหมือนกับ OPP20 ซึ่งจะได้อุณหภูมิ 140 °ซ ความดัน 1.0 บาร์ และเวลา 0.3 วินาที เมื่อนำภาวะนี้ไปปิดผนึกอีกครั้งเพื่อดูค่าความแข็งแรงของรอยร่อน ความทนต่อการลอก และความแข็งแรงของรอยร่อนจะได้อ้างอิงตารางที่ 4.21 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟ จะได้ดังรูปที่ 4.50 ถึง 4.52

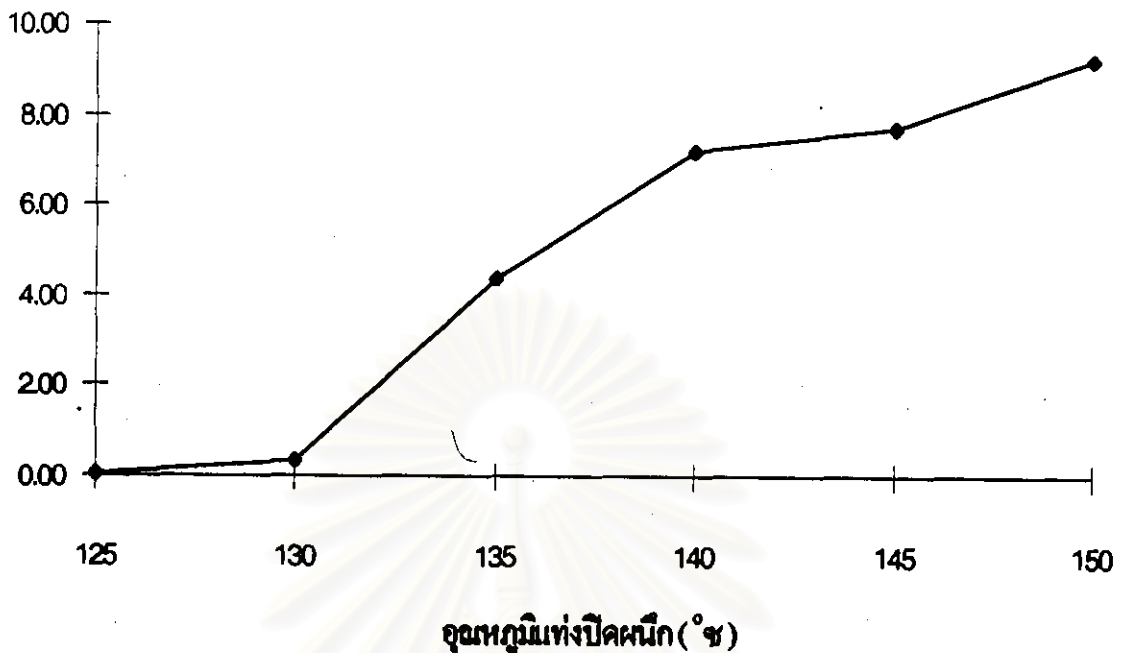
ตารางที่ 4.21 การทดสอบรอยร่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

อุณหภูมิ (°ซ)	OPP25/MCPP25		ความทนต่อการลอก (นิวตัน/10มม.) ในระยะทางการลอก					HT (มม.)
	SS	MOF	10 มม.	20 มม.	30 มม.	40 มม.	50 มม.	
125	0.03	P						
130	0.35	P						300
135	4.38	P	0.10	0.10	0.00	0.10	0.10	146
140	7.18	D	0.60	0.1	0.40	0.40	1.20	41
145	7.67	D	3.50	1.3	2.00	3.90	6.40	35
150	9.21	D	4.40	1.5	1.90	2.50	3.90	25
155								23

จากรูปที่ 4.50 จะได้ลักษณะกราฟคล้ายกับของ OPP20/MCPP25 ซึ่งจะได้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่ 140 °ซ เนื่องจากเป็นจุดที่เปลี่ยนรูปแบบของการขาดและเป็นจุดแรกในกราฟที่มีความชันคงที่ แต่ฟิล์ม OPP25/MCPP25 นี้จะแตกต่างจากฟิล์ม OPP20/MCPP25 ตรงที่ อุณหภูมิ 135 °ซ ยังคงมีรูปแบบของการขาดเป็นแบบลอก (ของ OPP20/MCPP25 เป็นแบบแยกประกบ) ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากค่าความแข็งแรงของการประกบ ซึ่งจะเห็นว่าฟิล์ม OPP25/MCPP25 มีค่าความแข็งแรงของการประกบสูงกว่าฟิล์ม OPP20/MCPP25 ในรูปที่ 4.51 จะเห็นว่าแนวโน้มค่าความทนต่อการลอกจะเหมือนกับ OPP20/MCPP25 คือที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความทนต่อการลอกจะลดลงหรือมีความสมบูรณ์ของรอยร่อนลดลงนั่นเอง แต่ฟิล์ม OPP25/MCPP25 จะมีความสมบูรณ์ของรอยร่อนในช่วงอุณหภูมิ 135 ถึง 140 °ซ ซึ่งจะแตกต่างจากฟิล์ม OPP20/MCPP25 ซึ่งมีค่าความทนต่อการลอกเฉพาะที่อุณหภูมิ 135 °ซ เท่านั้น ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากความหนาของวัสดุหลัก คือ วัสดุหลักหนา (OPP25) จะมีการถ่ายเทความร้อนจากแท่งปิดผนึก ไปยังสารปิดผนึกได้ช้ากว่าวัสดุหลักบาง (OPP20) จึงทำให้โมเลกุลของสารปิดผนึกของวัสดุหลักหนามีเวลาในการขยายตัว และเกิดการเกี่ยวพันกับโมเลกุลของสารปิดผนึกตรงกันข้ามอย่างค่อเป็นค่อไป จึงทำให้มีความสมบูรณ์กว่าวัสดุหลักบาง ดังนั้นสำหรับฟิล์ม OPP25/MCPP25 จะเลือกอุณหภูมิ 140 °ซ เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก ซึ่งจะมีความสอดคล้องเหมือนกับการทดสอบจากการวัดค่าความแข็งแรงของรอยร่อน

### ความแข็งแรงของรอยฉนวน

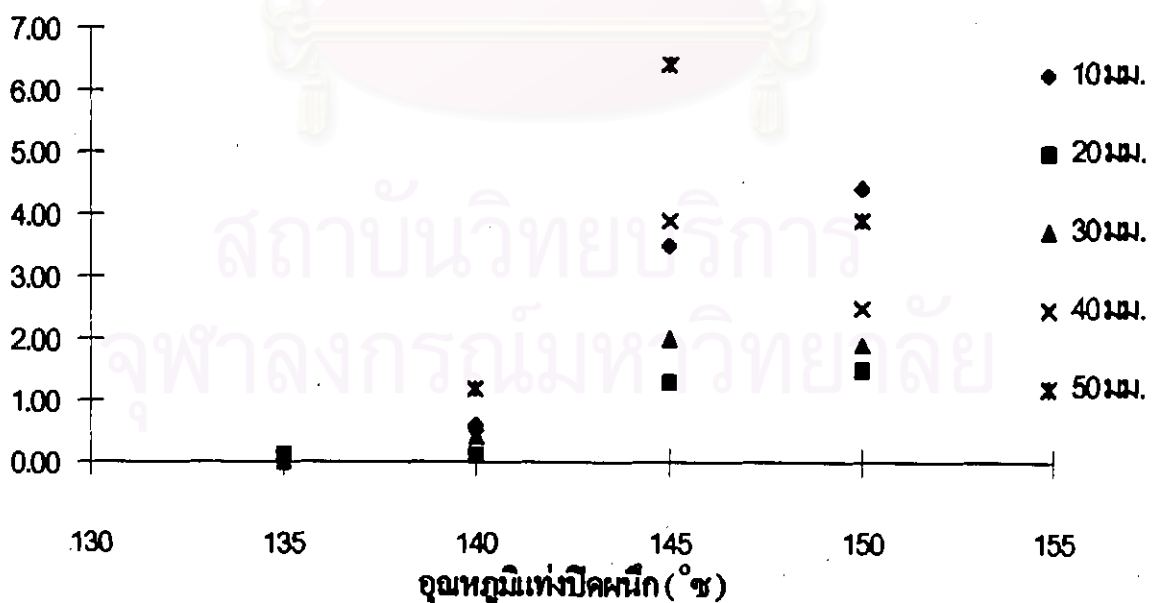
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยฉนวน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การปิดฉนวนของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

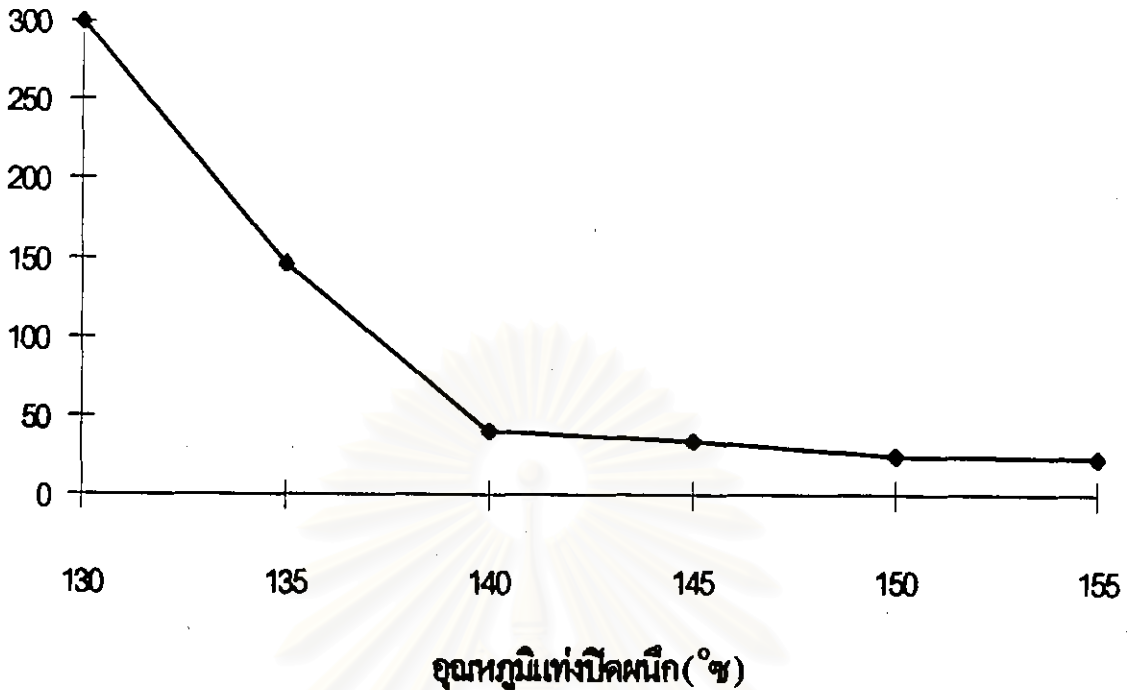
### ความทนต่อการลอก

(นิวตัน/10 มม.)



รูปที่ 4.51 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความทนต่อการลอก เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดฉนวน ของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

ระบะรอยนอกของการปิดผนึกขณะร้อน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.52 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการปิดผนึกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ภาวะความดัน 1.0 บาร์ เวลา 0.3 วินาที

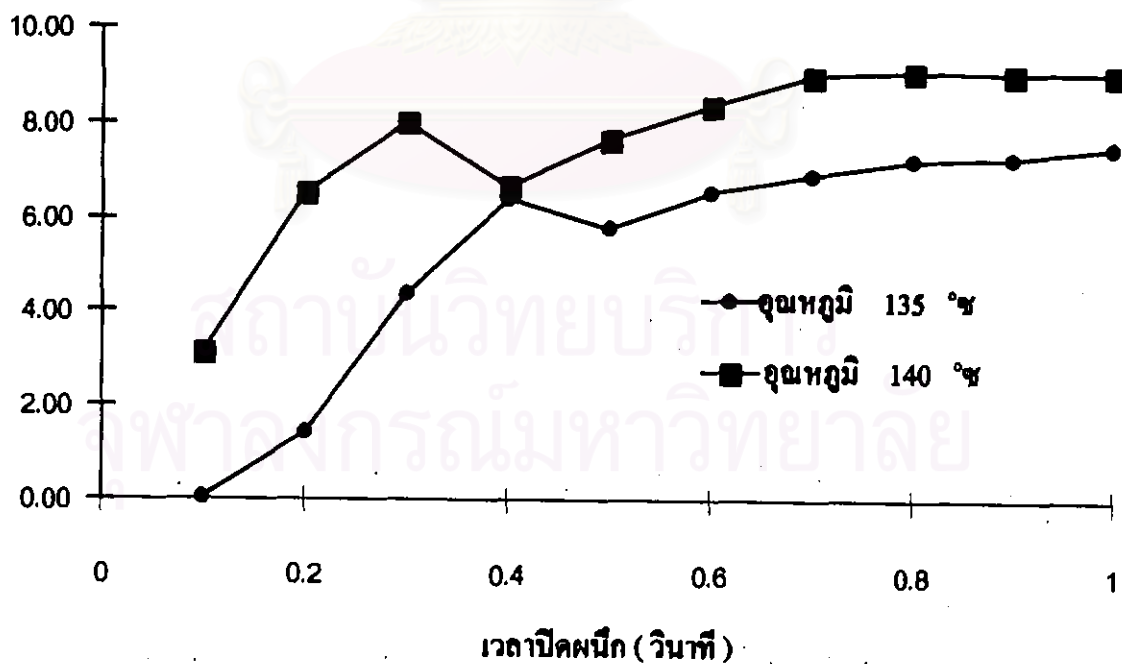
และเมื่อดูจากค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนในรูปที่ 4.52 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกด้วยความร้อน เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนสูง แต่จากรูปจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 135 °ซ จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนแตกต่างจากฟิล์ม OPP20/MCPP25 คือจะมีค่าต่ำกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าที่อุณหภูมิ 135 °ซ นี้ฟิล์ม OPP25/MCPP25 ซึ่งเป็นฟิล์มที่มีวัสดุหักหนาขึ้นจะทำให้การส่งผ่านความร้อนไปยังสารปิดผนึกได้น้อยลงและมีผลทำให้การเกิดพันธะได้น้อยลงด้วย

จากการทดสอบที่ผ่านมาจะเห็นว่าฟิล์ม OPP25/MCPP25 จะมีภาวะที่เหมาะสมต่อการปิดผนึกที่อุณหภูมิ 140 °ซ เวลา 0.3 วินาที ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 135 °ซ จะให้ความสมบูรณ์ของรอยผนึกดีกว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ เล็กน้อย แต่ที่อุณหภูมิ 135 °ซ จะมีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกและค่าความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อนต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเมื่อดูจากการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของรอยผนึกในตารางที่ 4.22 และเมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.53 แล้วจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 140 °ซ มีค่าความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าที่อุณหภูมิ 135 °ซ ทุก ๆ ช่วงเวลา

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของรอยฉีกระหว่างอุณหภูมิ 135 °ซ กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดฉีกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ 135 °ซ		อุณหภูมิ 140 °ซ	
	ความแข็งแรงของรอยฉีก	รูปแบบของการขาด	ความแข็งแรงของรอยฉีก	รูปแบบของการขาด
0.1	0.03	P	3.13	P
0.2	1.43	P	6.53	P
0.3	4.40	P	7.99	D
0.4	6.39	P	6.67	D
0.5	5.78	P	7.63	D
0.6	6.54	D	8.34	D
0.7	6.87	D	8.96	D
0.8	7.17	D	9.06	D
0.9	7.22	D	9.02	D
1.0	7.45	D	9.00	D

ความแข็งแรงของรอยฉีก  
(นิวตัน/15 มม.)



รูปที่ 4.53 เปรียบเทียบแนวโน้มค่าความแข็งแรงของรอยฉีกระหว่างอุณหภูมิ 135 กับ 140 °ซ โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการปิดฉีกของฟิล์ม OPP25/MCPP25 ที่ความดัน 1.5 บาร์