

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง LDPE และ LLDPE ในการผลิตฟิล์ม

4.1.1 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ LLDPE

4.1.1.1 อุณหภูมิการหลอมเหลวและความเข้ากันได้ของ LDPE และ LLDPE

จากการทดสอบอุณหภูมิการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง เมื่อให้ความร้อนกับ LDPE และ LLDPE ครั้งแรก (first heating) และครั้งที่สอง (second heating) จะมีอุณหภูมิการหลอมเหลวเท่าเดิม และปรากฏอยู่เพียงพีคเดียว แต่สารตัวอย่างที่ได้จากการผสมระหว่าง LDPE กับ LLDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะมีอุณหภูมิการหลอมเหลวของ second heating ปรากฏอยู่สองพีค ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้นจึงเลือก first heating ในการบอกค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของสารตัวอย่าง จากการทดลองอุณหภูมิการหลอมเหลวของสารตัวอย่างจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของ LDPE เพิ่มขึ้น พีคของการผสมที่ปรากฏอยู่ 2 พีค คือ พีค A เป็นพีคที่แสดงถึงอุณหภูมิการหลอมเหลวของ LDPE ส่วนพีค B แสดงถึงอุณหภูมิการหลอมเหลวของ LLDPE แสดงว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ LLDPE สามารถผสมเข้ากันได้ดีซึ่งเป็นไปตามที่ Datta และ Birley (1983) ได้เคยศึกษาไว้ ทั้งนี้เพราะใน 1 เม็ดของสารตัวอย่าง แต่ละอัตราส่วนสามารถเห็นทั้งพีคของ LDPE และ LLDPE ควบคู่กันไปตลอด ดังแสดงในรูปที่ 4.2

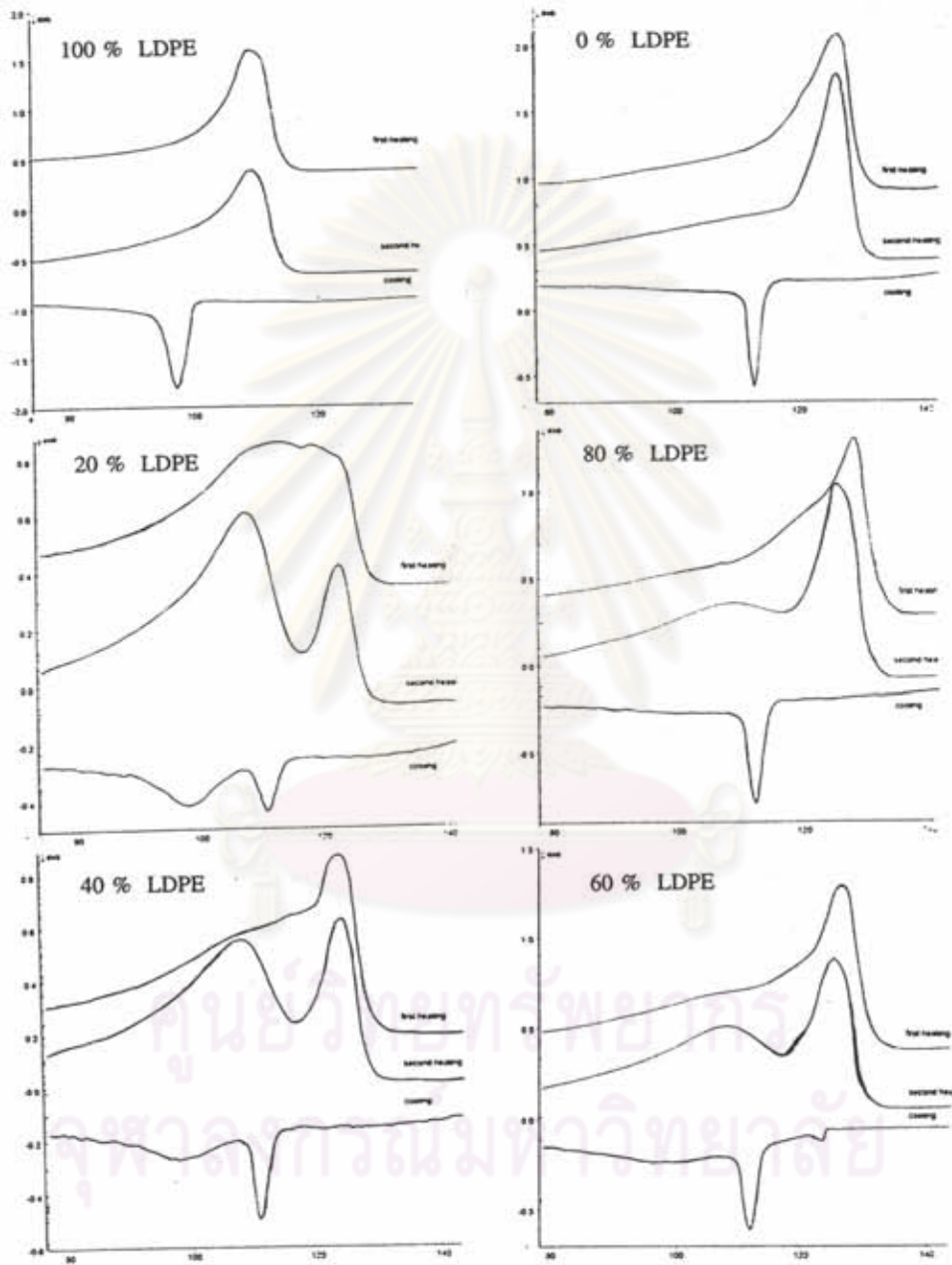
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิการหลอมเหลว ที่ได้จาก first heating ของสารตัวอย่าง

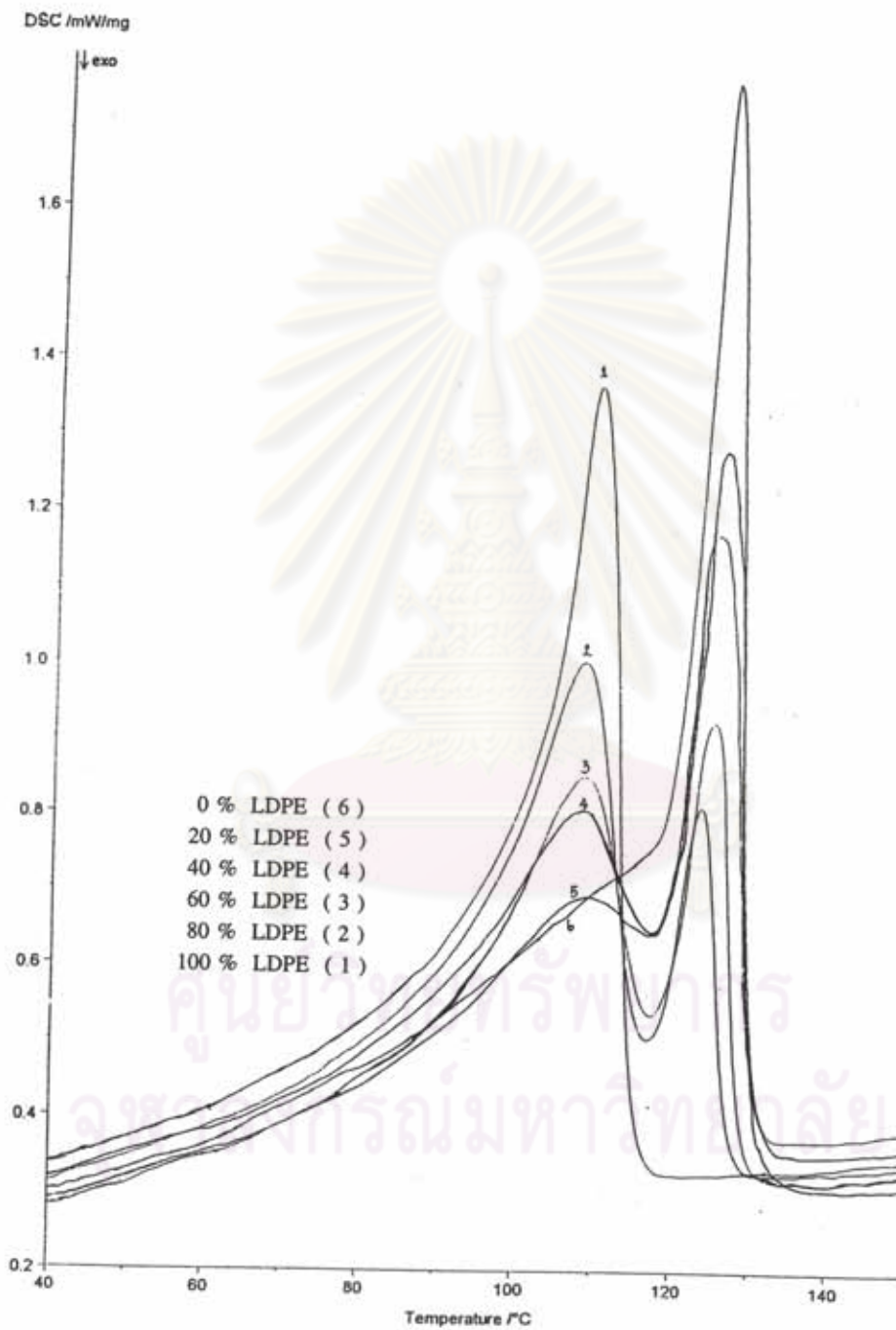
ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	อุณหภูมิการหลอมเหลว (°C) (first heating)
0 % LDPE	125.8
20 % LDPE	125.4
40 % LDPE	126.5
60 % LDPE	124.2
80 % LDPE	112.3
100 % LDPE	109.6

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิการหลอมเหลว ที่ได้จาก second heating ของสารตัวอย่าง

ส่วนผสมของสาร ตัวอย่าง	อุณหภูมิการหลอมเหลว(°C)	
	second heating	
	พีค A	พีค B
0 % LDPE	109.6	-
20 % LDPE	107.9	123.1
40 % LDPE	108.1	124.6
60 % LDPE	108.3	125.4
80 % LDPE	108.8	125.4
100 % LDPE	-	125.8



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงลักษณะของ first heating , cooling และ second heating ของสารตัวอย่างที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ LLDPE ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

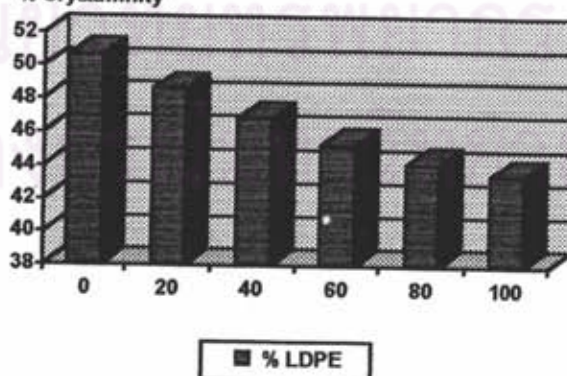
4.1.1.2 ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์

เปอร์เซ็นต์ผลึกของพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 สามารถคำนวณได้จากความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว การที่ LDPE มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกมาก เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลค่อนข้างเป็นเส้นตรง มีแต่กิ่งก้านสาขาชนิดสั้น จำนวนไม่มาก จึงมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลค่อนข้างเป็นระเบียบมาก ในขณะที่ LDPE มีกิ่งก้านสาขาจำนวนมากทั้งชนิดสั้นและยาวปะปนกันไป การจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลจึงมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าทำให้มีความเป็นผลึกต่ำกว่า ดังนั้น ในการผสม LDPE กับ LLDPE ซึ่งมีลักษณะเข้ากันได้ดีนั้น ของผสมที่ได้จึงมีเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกลดลงตามเปอร์เซ็นต์ LDPE

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ผลึกของสารตัวอย่าง

ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	ความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว (heat of fusion ; J/g)	% ผลึก
0 % LDPE	144.4	50.68
20 % LDPE	138.6	48.63
40 % LDPE	133.6	46.88
60 % LDPE	129.0	45.26
80 % LDPE	125.9	44.18
100 % LDPE	123.9	43.47

% Crystallinity



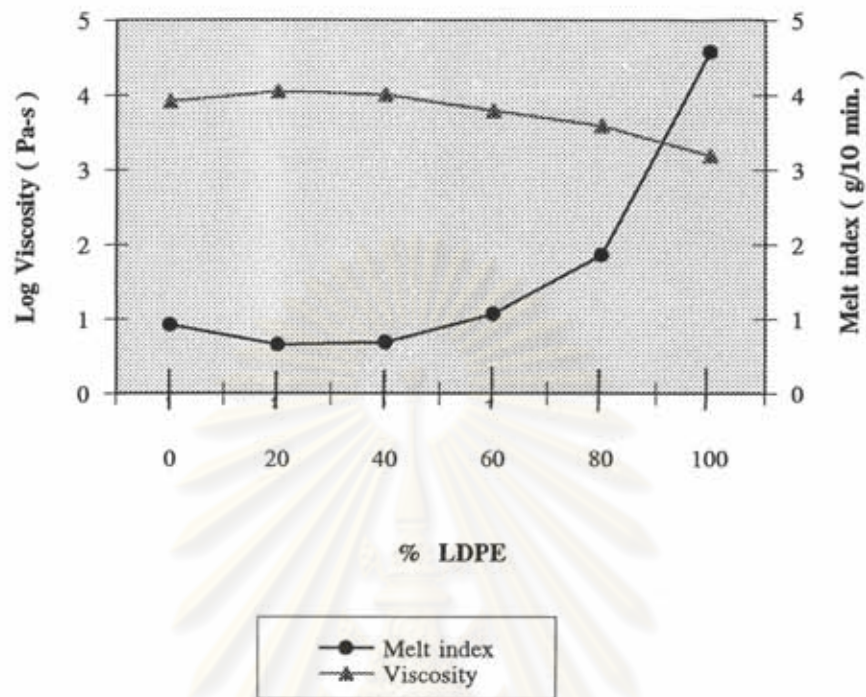
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % ผลึก กับเปอร์เซ็นต์ LDPE

4.1.1.3 ธรรมชาติการไหล ความหนาแน่นขณะหลอมเหลว และความหนืด

ธรรมชาติการไหลและความหนืด เป็นค่าที่ใช้บอกให้ทราบว่าพอลิเมอร์มีการไหลได้ง่ายหรือยาก LDPE มีธรรมชาติการไหลสูงที่สุดและมีค่าความหนืดต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.4 การผสม LDPE กับ LLDPE ค่าธรรมชาติการไหลจะเพิ่มขึ้นขณะที่ค่าความหนืดลดลงตามเปอร์เซ็นต์ LDPE เนื่องจาก LDPE มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง มีกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก จึงมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ ทำให้มีความเป็นผลึกต่ำกว่า LLDPE จึงสามารถไหลได้ง่ายกว่า ขณะที่ LLDPE มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลแคบ การเรียงตัวของโมเลกุลค่อนข้างเป็นระเบียบและมีความเป็นผลึกมากกว่า จึงสามารถไหลได้ยากกว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์ LDPE เพิ่มขึ้นจึงทำให้การเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบน้อยลง ค่าความหนืดจึงต่ำลงและธรรมชาติการไหลสูงขึ้น จากการทดลองพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการผสมโดยเครื่องอัดรีด ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะแข็งขึ้น ดังนั้น จึงมีผลทำให้ที่ 80 % LDPE ค่าธรรมชาติการไหลลดต่ำลงมากขณะที่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ LDPE เช่นเดียวกันกับที่ 20 % และ 40 % LDPE ค่าธรรมชาติการไหลจึงต่ำกว่าและความหนืดสูงกว่า LLDPE

ตารางที่ 4.4 ธรรมชาติการไหล ความหนาแน่นขณะหลอมเหลว และความหนืดของสารตัวอย่าง

ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	ธรรมชาติการไหล (กรัม/ 10 นาที)	ความหนาแน่นขณะหลอมเหลว (กรัม/ลบ.ซม.)	ความหนืด ($\eta \times 10^3$ Pa-s)	Log η (Pa-s)
0 % LDPE	0.919	0.727	8.350	3.922
20 % LDPE	0.656	0.706	11.24	4.051
40 % LDPE	0.688	0.669	10.21	4.009
60 % LDPE	1.073	0.686	6.728	3.797
80 % LDPE	1.863	0.700	3.974	3.599
100 % LDPE	4.580	0.705	1.536	3.186

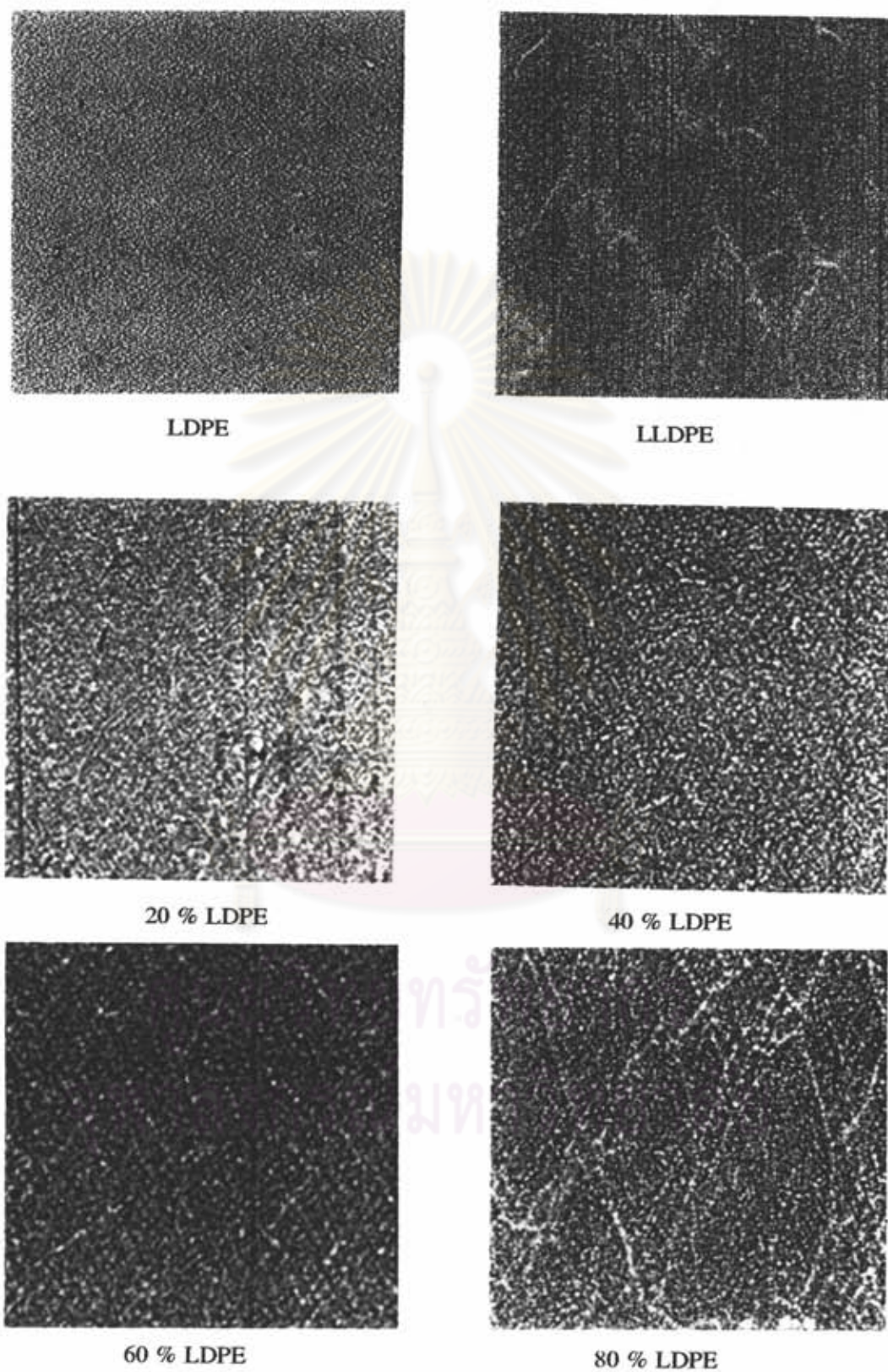


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างครรชนีการไหลและความหนืดกับ เปอร์เซ็นต์ LDPE

4.1.2 การศึกษาสมบัติของฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ LLDPE

4.1.2.1 ลักษณะของผิวฟิล์ม

LLDPE มีความหนืดขณะหลอมเหลวสูงกว่า LDPE เมื่อเป่าฟิล์มด้วยเครื่องเป่าฟิล์มที่ออกแบบสำหรับ LDPE จึงเกิดความดันที่ช่องคายมาก ทำให้เกิดลายหนังไก่บนผิวฟิล์มมากตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ลักษณะของลายหนังไก่บนผิวฟิล์มจึงเกิดมากที่สุดกับฟิล์ม LLDPE และไม่เกิดขึ้นเลยกับฟิล์ม LDPE แนวโน้มการเกิดลายหนังไก่จะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ LDPE เพิ่มขึ้น



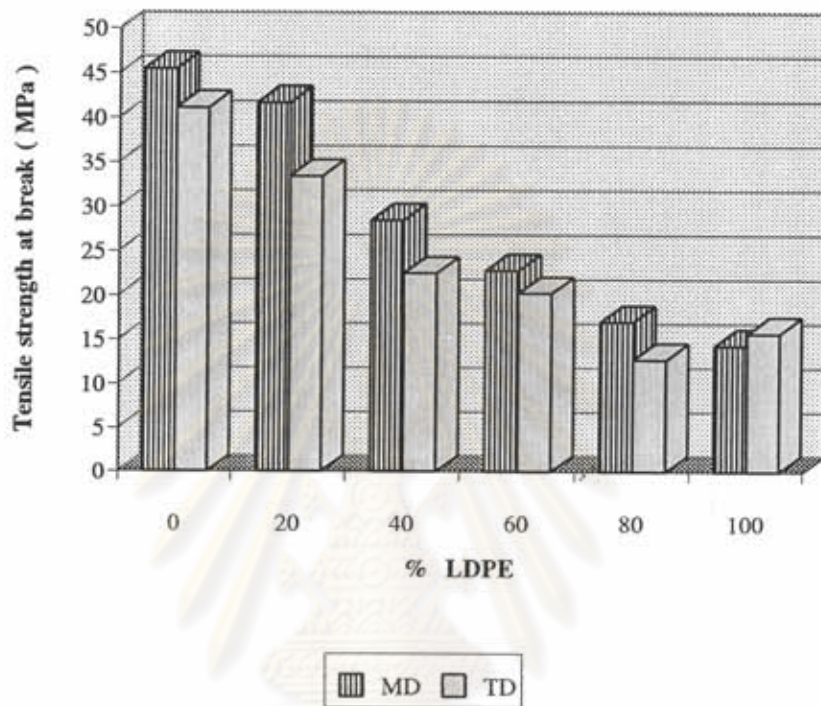
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของผิวฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ LLDPE (กำลังขยาย 16.5 เท่า)

4.1.2.2 ความทนต่อแรงดึง

LDPE มีความทนต่อแรงดึงต่ำที่สุดทั้งสองแนว ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แนวโน้มความทนต่อแรงดึงจะมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ LDPE เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความทนต่อแรงดึงยังขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตฟิล์มอีกด้วย ถ้าฟิล์มมีอัตราส่วนการดึง (DDR) สูง และอัตราการแบ่ง (BUR) ต่ำ แสดงว่าในกระบวนการผลิตนั้นฟิล์มถูกดึง (cold drawing) มาก ทำให้สายโซ่โมเลกุลที่เชื่อมต่อกันระหว่างโครงสร้างโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นแผ่น (lamella) ซึ่งขดอยู่ถูกยืดตัวออกในลักษณะที่ดึง (tie chain) ตามแนวการดึง ฟิล์มจึงมีการเรียงตัวดีในแนว MD ทำให้ความทนต่อแรงดึงในแนว MD สูง การที่ 20 % LDPE มีความทนต่อแรงดึงในแนว MD ใกล้เคียงกับ LLDPE มาก จึงเป็นผลมาจาก DDR และ BUR เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.5 ความทนต่อแรงดึง

ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	ความทนต่อแรงดึง (MPa)			
	MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0 % LDPE	45.44	0.453	41.08	0.029
20 % LDPE	41.69	0.106	33.41	0.060
40 % LDPE	28.47	0.389	22.50	0.200
60 % LDPE	22.82	0.315	20.25	0.135
80 % LDPE	17.02	0.047	12.75	0.022
100 % LDPE	14.35	0.022	15.71	0.048



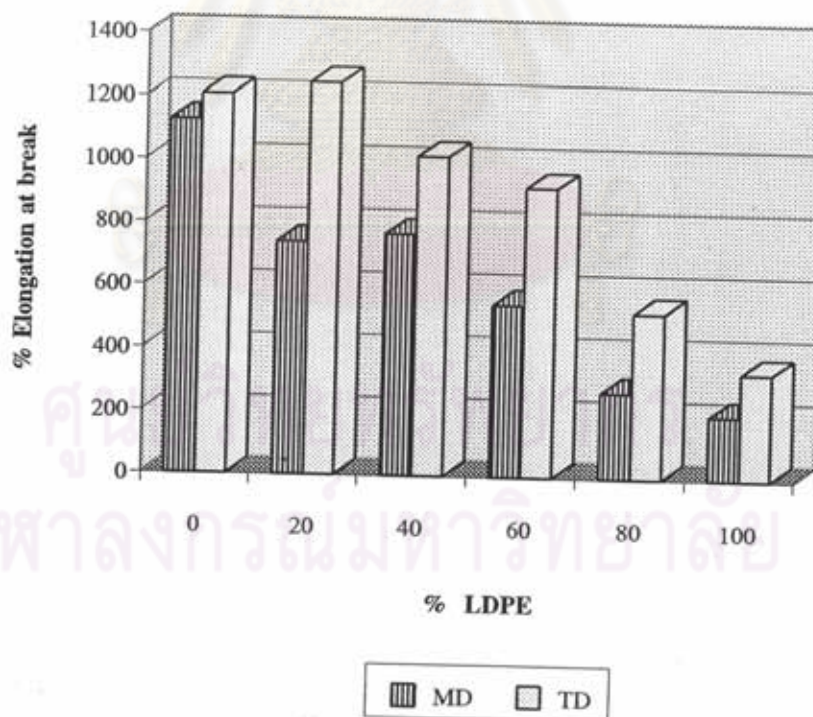
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนต่อแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์ LDPE

4.1.2.3 การยึดออกที่จุดขาด

เปอร์เซ็นต์การยึดออกที่จุดขาดของฟิล์มขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของโมเลกุล ฟิล์มที่มีการเรียงตัวดี จะมีความเหนียว ความแข็งแรง และขาดได้ยากเมื่อถูกแรงดึง จึงมีการยึดออกที่จุดขาดสูง ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การยึดออกที่จุดขาดของฟิล์ม LLDPE จึงมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 สำหรับ LDPE จะมีค่าต่ำที่สุด แนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยึดออกที่จุดขาดจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ LDPE เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ DDR และ BUR อีก ถ้าฟิล์มถูกดึงมากจะมีการเรียงตัวกันดีในทิศทางที่ถูกดึง แต่มีการยึดตัวในทิศทางนั้นได้น้อย ดังนั้นแนว MD จึงมีเปอร์เซ็นต์การยึดออกที่จุดขาดต่ำกว่าแนว TD เปอร์เซ็นต์การยึดออกที่จุดขาดในแนว TD ที่ 20 % LDPE สูงกว่า LLDPE

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การยืดออกที่จุดขาด

ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	% การยืดออกที่จุดขาด			
	MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0 % LDPE	1126	101.8	1027	17.70
20 % LDPE	741.3	28.48	1246	39.69
40 % LDPE	768.8	68.84	1018	83.58
60 % LDPE	548.6	95.35	922.1	65.53
80 % LDPE	272.9	39.32	528.3	79.57
100 % LDPE	202.8	31.69	399.9	17.16



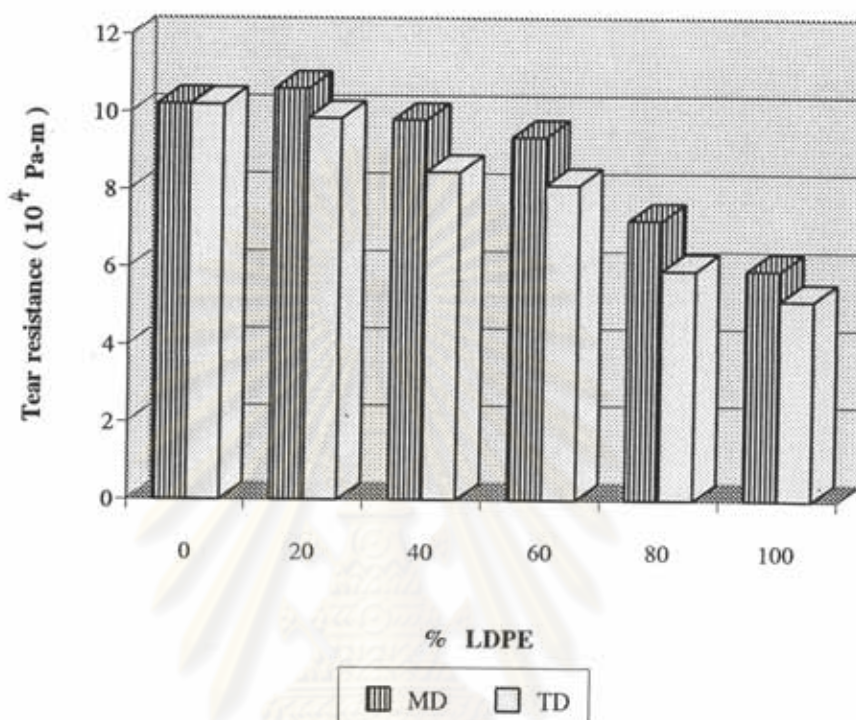
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดออกที่จุดขาดกับเปอร์เซ็นต์ LDPE

4.1.2.4 ความต้านทานต่อการฉีกขาด

ความต้านทานต่อการฉีกขาดทั้งแนว MD และ TD มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ LDPE ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 สำหรับ LDPE จะมีความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำที่สุดทั้งสองแนว นอกจากนี้ความต้านทานต่อการฉีกขาดยังขึ้นอยู่กับ DDR และ BUR อีกด้วย จากผลต่างของความต้านทานต่อการฉีกขาดของฟิล์มในแนว MD และ TD ที่มีอัตราการผลิตเท่ากัน แต่ DDR และ BUR ต่างกัน พบว่าผลต่างของ $100\% < 60\% < 80\%$ LDPE ตามลำดับ ในขณะที่ DDR ของ $100\% > 60\% > 80\%$ LDPE ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากฟิล์มที่มี DDR มาก และ BUR น้อย ในกระบวนการผลิตจะถูกดึงมาก ทำให้โมเลกุลมีลักษณะเป็น tie chain มาก ลักษณะนี้ฟิล์มจะมีการเรียงตัวในแนว MD มากขึ้น ทำให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดในแนว TD มากขึ้นตามไปด้วย ฟิล์มจึงมีผลต่างระหว่างแนว MD และ TD น้อย สำหรับฟิล์ม 20 % LDPE มี DDR มากกว่า แต่มี BUR น้อยกว่า จึงมีความต้านทานต่อการฉีกขาดในแนว MD มากกว่าที่ LLDPE

ตารางที่ 4.7 ความต้านทานต่อการฉีกขาด

ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	ความต้านทานต่อการฉีกขาด (10^4 Pa-m)			
	MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0 % LDPE	10.21	0.291	10.20	0.533
20 % LDPE	10.60	0.361	9.843	0.524
40 % LDPE	9.805	0.202	8.467	0.429
60 % LDPE	9.372	0.325	8.139	0.853
80 % LDPE	7.225	0.144	5.925	0.586
100 % LDPE	5.947	0.840	5.171	0.722



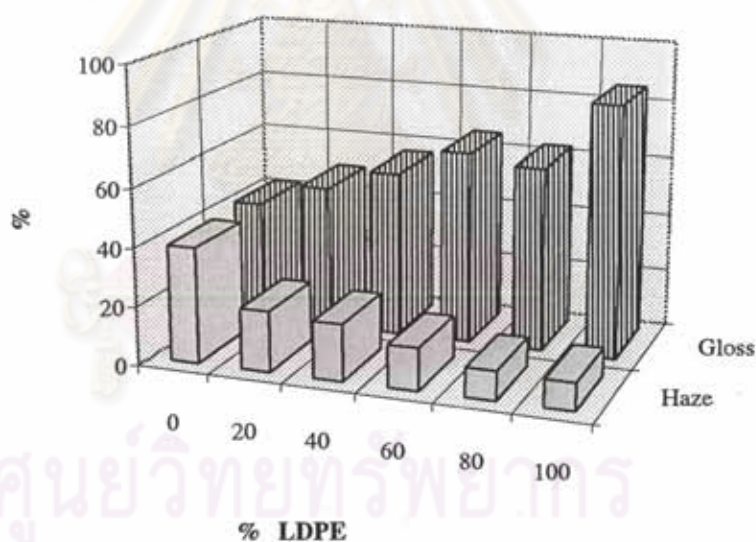
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อการฉีกขาด กับเปอร์เซ็นต์ LDPE

4.1.2.5 ความฉีก

พอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกมากขึ้น จะยอมให้แสงผ่านได้น้อยลง ทำให้ความใสมากขึ้น จากการทดลองได้นำพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของ LDPE และ LLDPE ซึ่งมีความเป็นผลึกลดลงตามเปอร์เซ็นต์ LDPE ไปเป่าฟิล์ม ผลที่ได้คือความใสมากที่สุด แสดงในรูปที่ 4.9 นั่นคือ ฟิล์ม LDPE มีความใสมากที่สุด แนวโน้มความใสมากที่สุด ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ LDPE เพิ่มขึ้น หรือลดลงตามการลดลงของเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกของพอลิเมอร์ ฟิล์ม 20 % LDPE มีค่าความใสมากที่สุดประมาณครึ่งหนึ่งของ LLDPE และมีค่าใกล้เคียงกับ 40 % LDPE

ตารางที่ 4.8 ความฝ้าและความเงามัน

ส่วนผสมของสารตัวอย่าง	% ความฝ้า	% ความเงามัน
0 % LDPE	39.70	41.70
20 % LDPE	20.80	49.47
40 % LDPE	19.37	56.70
60 % LDPE	14.43	65.73
80 % LDPE	9.970	62.97
100 % LDPE	9.500	85.73



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความฝ้า และ ความเงามันกับเปอร์เซ็นต์ LDPE

4.1.2.6 ความเงามัน

ความเงามันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการสะท้อนแสงของวัสดุ ถ้าวัสดุมีผิวเรียบจะสามารถสะท้อนแสงได้ดี เพราะมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ส่งผลให้วัสดุมีค่าความเงามันสูง แต่ถ้าวัสดุที่ทดสอบมีผิวขรุขระ จะทำให้การสะท้อนกลับของแสงลดน้อยลง

เพราะลำแสงบางส่วนเกิดการเบี่ยงเบนไปจากมุมสะท้อน ลักษณะนี้จะทำให้วัสดุมีค่าความเงามันต่ำ พลาสติก LDPE มีค่าความเงามันมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เพราะมีผิวเรียบและไม่ปรากฏลายหน้าไม้บนผิวพลาสติก ค่าความเงามันจะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ LDPE เป็นผลมาจากการลดลงของลายหน้าไม้บนผิวพลาสติก

4.2 การศึกษาสารเติมแต่งชนิด PPA และ antiblocking-agent เพื่อปรับปรุงสมบัติของฟิล์ม

4.2.1 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเติมแต่งกับ LDPE และ LLDPE

4.2.1.1 การกระจายตัวของสาร masterbatch ที่ผสมสาร PPA

จากการผสมสาร masterbatch ที่ผสมสาร PPA ด้วยเครื่องผสมแบบสกรูคู่ชนิดหมุนสวนทางกันนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ของผสมที่ได้มีการกระจายตัวดีและทั่วถึงโดยมีการกระจายตัวดีทั้งแบบ dispersion และ distribution



รูปที่ 4.10 ลักษณะการกระจายตัวของสาร masterbatch ที่ผสมสาร PPA (กำลังขยาย 165 เท่า)

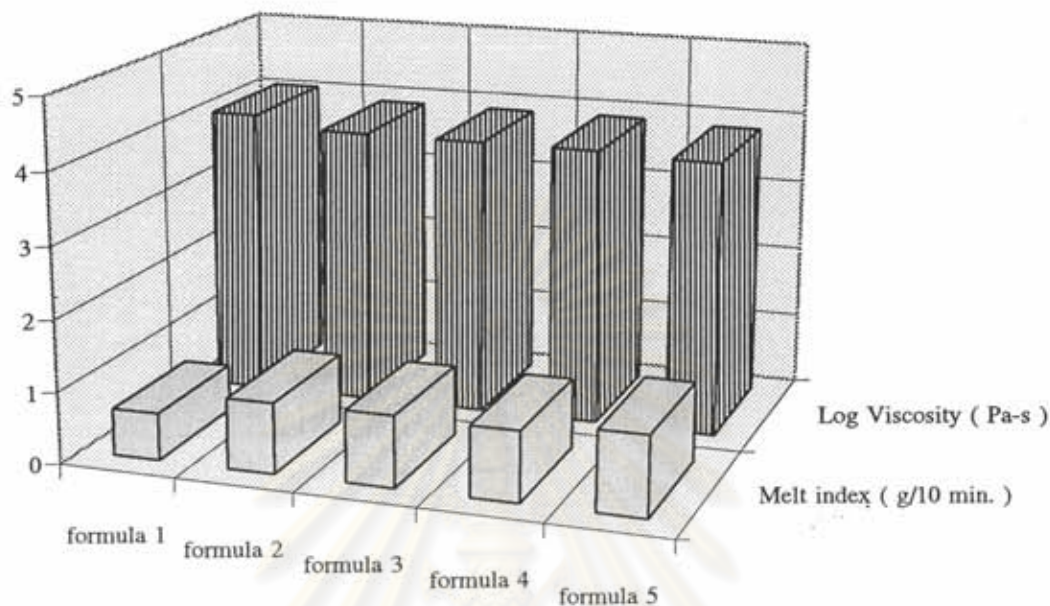
4.2.1.2 ธรรมชาติการไหล ความหนาแน่นและความหนืด

การผสมสารเติมแต่ง กับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ LLDPE ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีธรรมชาติการไหลเพิ่มขึ้นขณะที่ความหนืดลดลง จากการทดลองได้ผสมสารเติมแต่งในสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ในขณะที่ผสมความดันและพลังงานที่ใช้มี

ค่าลดลงดังแสดงในภาคผนวก ก ทั้งนี้เป็นเพราะสาร PPA ส่วนหนึ่งจะเข้าไปเคลือบอยู่กับช่องคายของเครื่องผสม ทำหน้าที่หล่อลื่นระหว่างพอลิเมอร์กับผิวคาย อีกส่วนหนึ่งจะผสมกับเนื้อพอลิเมอร์ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความหนืดลดลงและสามารถไหลได้ง่ายขึ้น เมื่อถูกอัดรีดออกจากเครื่องอัดรีด จึงไม่เกิดแรงดันและการเสียดสีกับช่องคายมากเหมือนกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง(สูตรที่ 1) เม็ดของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงมีลักษณะเรียบและใส ขณะที่พอลิเมอร์ผสมในสูตรที่ 1 จะมีลักษณะขรุขระ แข็งและบุนกว่า สำหรับการผสม antiblocking-agent จะทำให้พอลิเมอร์มีความหนืดลดต่ำลงและครรชนีการไหลเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับสาร PPA

ตารางที่ 4.9 ครรชนีการไหล ความหนาแน่นขณะหลอมเหลว และความหนืด

ชนิดของสาร ตัวอย่าง	ครรชนีการไหล (กรัม/ 10 นาที)	ความหนาแน่น ขณะหลอมเหลว (กรัม/ลบ.ซม.)	ความหนืด ($\eta \times 10^3$ Pa-s)	log η (Pa-s)
สูตรที่ 1	0.6558	0.706	11.2	4.049
สูตรที่ 2	0.9813	0.721	7.80	3.892
สูตรที่ 3	0.9920	0.719	7.66	3.884
สูตรที่ 4	0.9771	0.709	7.62	3.882
สูตรที่ 5	1.11	0.713	6.89	3.838



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างครรชนีการไหล และความหนืดของพอลิเมอร์ผสมที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง

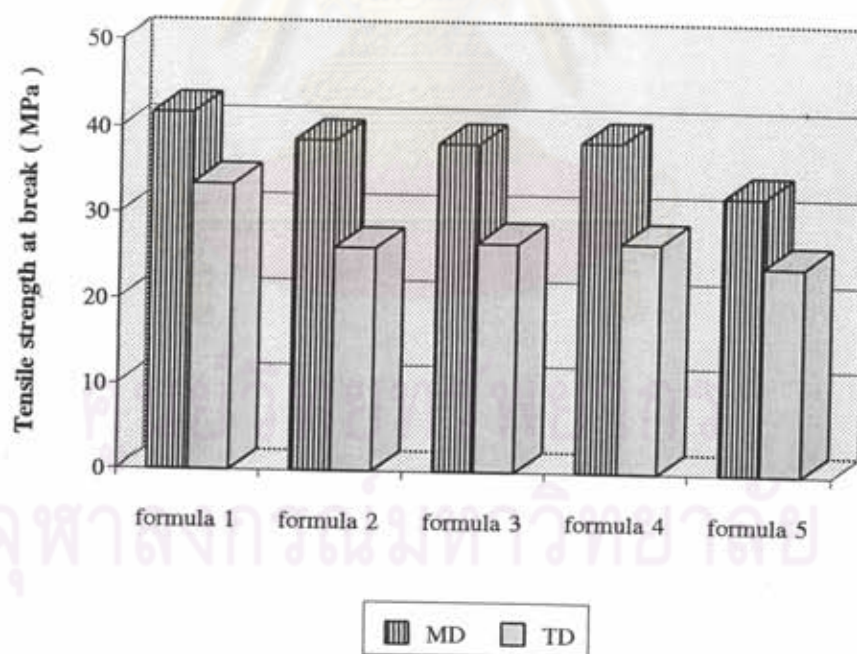
4.2.2 การทดสอบสมบัติของฟิล์มของพอลิเมอร์ผสมระหว่างสารเติมแต่งกับ LDPE และ LLDPE

4.2.2.1 ความทนต่อแรงดึง

ความทนต่อแรงดึงของฟิล์มที่ใส่สาร PPA มีค่าต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งดังแสดงในรูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของสาร PPA ต่างกันแทบจะไม่มีผลต่อความทนต่อแรงดึง การที่ DDR สูง และ BUR ต่ำ ทำให้โมเลกุลมีการเรียงตัวในแนว MD มาก ฟิล์มที่ได้จึงมีความแข็งแรงในแนว MD มากกว่าแนว TD สำหรับฟิล์มที่ใส่ antiblocking-agent จะมีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งมากทั้งสองแนว

ตารางที่ 4.10 ความทนต่อแรงดึง

ชนิดของสารตัวอย่าง	ความทนต่อแรงดึง (MPa)			
	MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
สูตรที่ 1	41.69	1.057	33.41	0.060
สูตรที่ 2	38.63	1.833	26.11	0.142
สูตรที่ 3	38.33	3.490	26.75	0.148
สูตรที่ 4	38.61	2.498	26.88	0.122
สูตรที่ 5	32.43	1.787	24.36	0.182



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความทนต่อแรงดึงระหว่างฟิล์มที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง

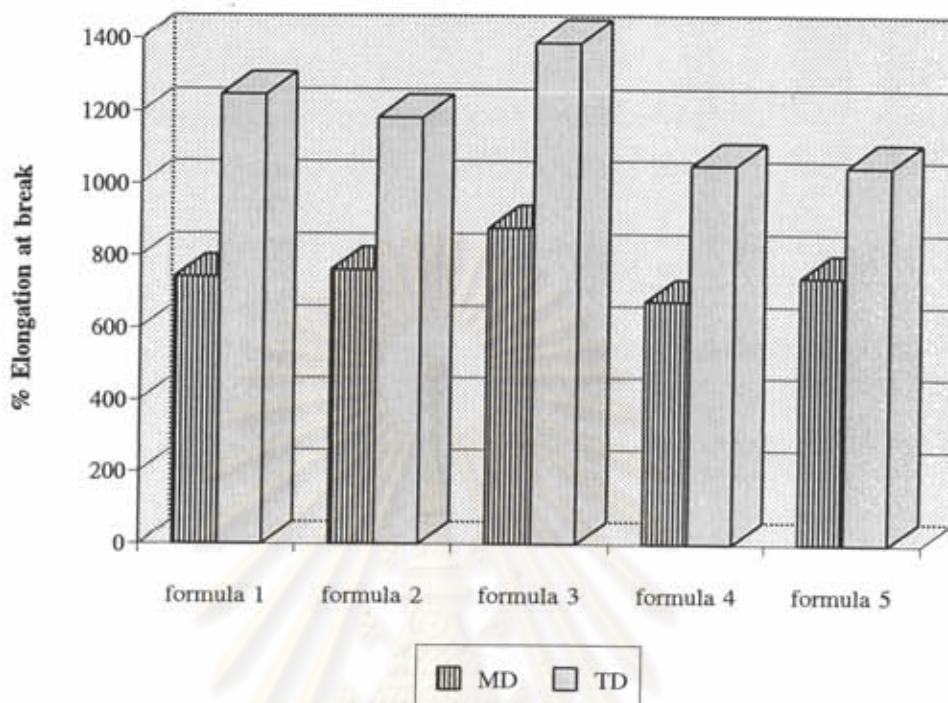
4.2.2.2 การยึดออกที่จุดขาด

ฟิล์มที่มีการเรียงตัวดีในทิศทางหนึ่งจะมีการยึดออกที่จุดขาดน้อย แต่จะมีการยึดออกที่จุดขาดในอีกทิศทางหนึ่งมาก เนื่องจากการเรียงตัวในแนว MD มากกว่าแนว TD ทำให้การยึดออกที่จุดขาดในแนว TD มากกว่าแนว MD ดังแสดงในรูปที่ 4.13 การใส่ PPA ความเข้มข้น 1000 ppm จะมีการยึดออกที่จุดขาดทั้งสองแนวมากที่สุด แต่ที่ความเข้มข้นอื่นและการใส่ antiblocking-agent จะมีผลทำให้การยึดที่จุดขาดลดลงในแนว TD สำหรับแนว MD แทนจะไม่มีผล

ตารางที่ 4.11 การยึดออกที่จุดขาด

ชนิดของสารตัวอย่าง	การยึดออกที่จุดขาด (%)			
	MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
สูตรที่ 1	741.3	28.48	1246	39.69
สูตรที่ 2	762.4	21.33	1183	31.80
สูตรที่ 3	877.5	75.01	1389	40.05
สูตรที่ 4	674.4	42.49	1051	21.47
สูตรที่ 5	741.5	23.14	1048	32.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



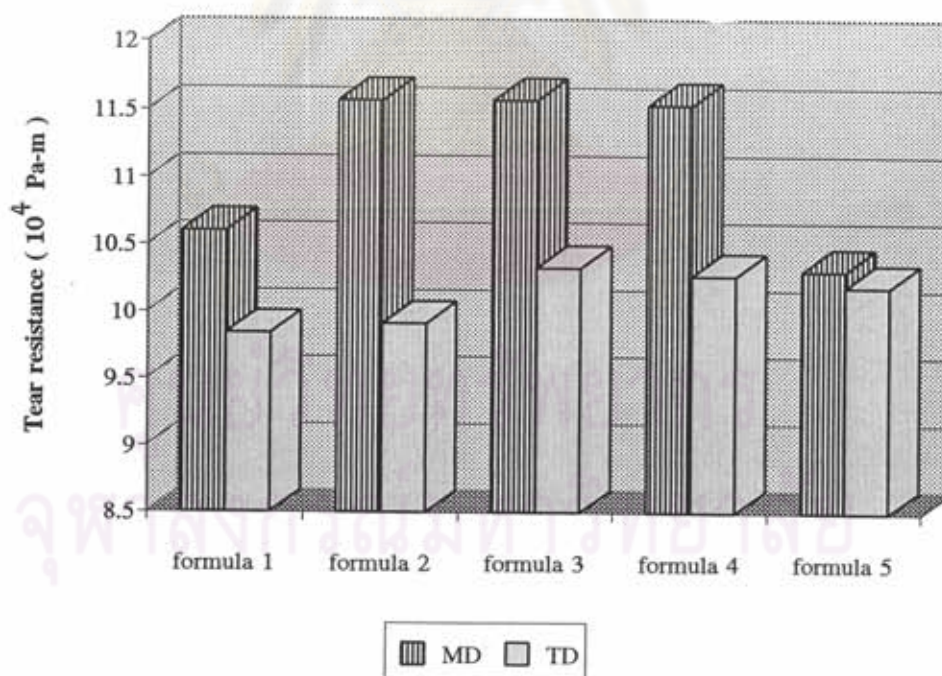
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์มที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง

4.2.2.3 ความต้านทานต่อการฉีกขาด

ความต้านทานต่อการฉีกขาดของฟิล์มที่ใส่สาร PPA 1000 และ 1500 ppm มีค่ามากกว่าฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งทั้งสองแนว ดังแสดงในรูปที่ 4.14 แต่ความต้านทานต่อการฉีกขาดในแนว MD มากกว่า แนว TD เป็นผลมาจากการเรียงตัวของโมเลกุล อันเนื่องมาจาก DDR สูง และ BUR ต่ำ สำหรับฟิล์มที่ใส่ antiblocking-agent ความต้านทานต่อการฉีกขาดทั้งสองแนวมีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง

ตารางที่ 4.12 ความต้านทานต่อการฉีกขาด

ชนิดของสารตัวอย่าง	ความต้านทานต่อการฉีกขาด (10^4 Pa-m)			
	MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
สูตรที่ 1	10.60	0.361	9.843	0.524
สูตรที่ 2	11.57	0.120	9.915	1.089
สูตรที่ 3	11.57	0.122	10.33	0.715
สูตรที่ 4	11.54	0.112	10.27	0.746
สูตรที่ 5	10.31	0.250	10.19	0.367



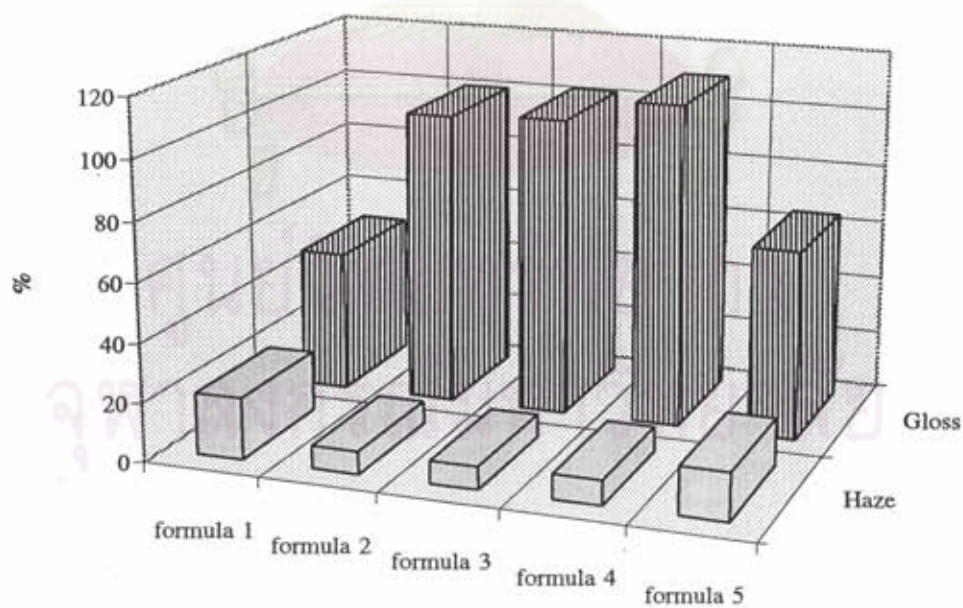
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต้านทานต่อการฉีกขาดของฟิล์มที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง

4.2.2.4 ความฝ้า

ฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งจะมีความฝ้ามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.15 รองลงมาคือ ฟิล์มที่ใส่สาร antiblocking-agent สำหรับฟิล์มที่ใส่สาร PPA แต่ละความเข้มข้นจะมีความฝ้าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.13 ความฝ้าและความเงามัน

ชนิดของสารตัวอย่าง	% ความฝ้า	% ความเงามัน
สูตรที่ 1	20.8	48.4
สูตรที่ 2	7.70	100.3
สูตรที่ 3	7.73	102.0
สูตรที่ 4	8.37	110.0
สูตรที่ 5	16.1	64.47



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความฝ้าและความเงามันของฟิล์มที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง

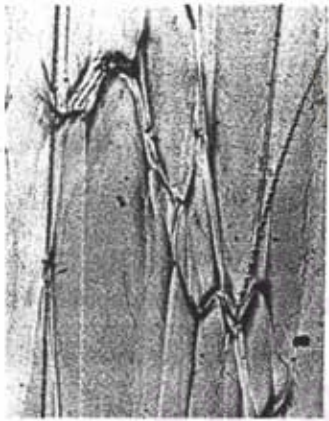
4.2.2.5 ความเงามัน

ความเงามันจะขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวฟิล์ม ฟิล์มที่มีลายหนังไก่มากขึ้นจะมีความเงามันน้อยลง ดังนั้น จากรูปที่ 4.15 ฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่งจึงมีความเงามันน้อยที่สุด แต่เมื่อใส่สาร PPA จึงมีค่าความเงามันมากที่สุด โดยมีค่าประมาณสองเท่าของฟิล์มที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง ค่าความเงามันจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร PPA สำหรับฟิล์มที่ใส่ antiblocking-agent จะมีค่าความเงามันเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

4.2.2.6 ลักษณะของลายหนังไก่บนผิวฟิล์มที่ใส่สาร PPA

เนื่องจากสาร PPA ทำหน้าที่เคลือบหุ้มภายในขณะเป่าฟิล์ม ทำให้ฟิล์มที่ได้มีลายหนังไก่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.16 สามารถเรียงลำดับความมากน้อยของลายหนังไก่ได้ดังนี้ คือ

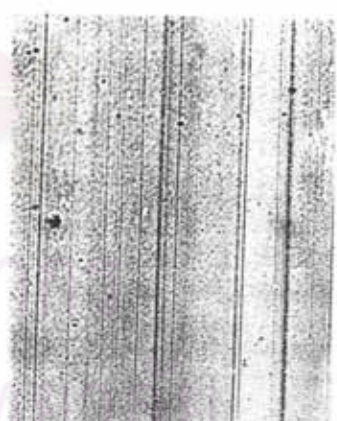
ฟิล์มที่ไม่ใส่สารเติมแต่ง > ฟิล์ม 500 ppm > ฟิล์ม 1000 ppm > ฟิล์ม 1500 ppm



สูตร 2



สูตร 3



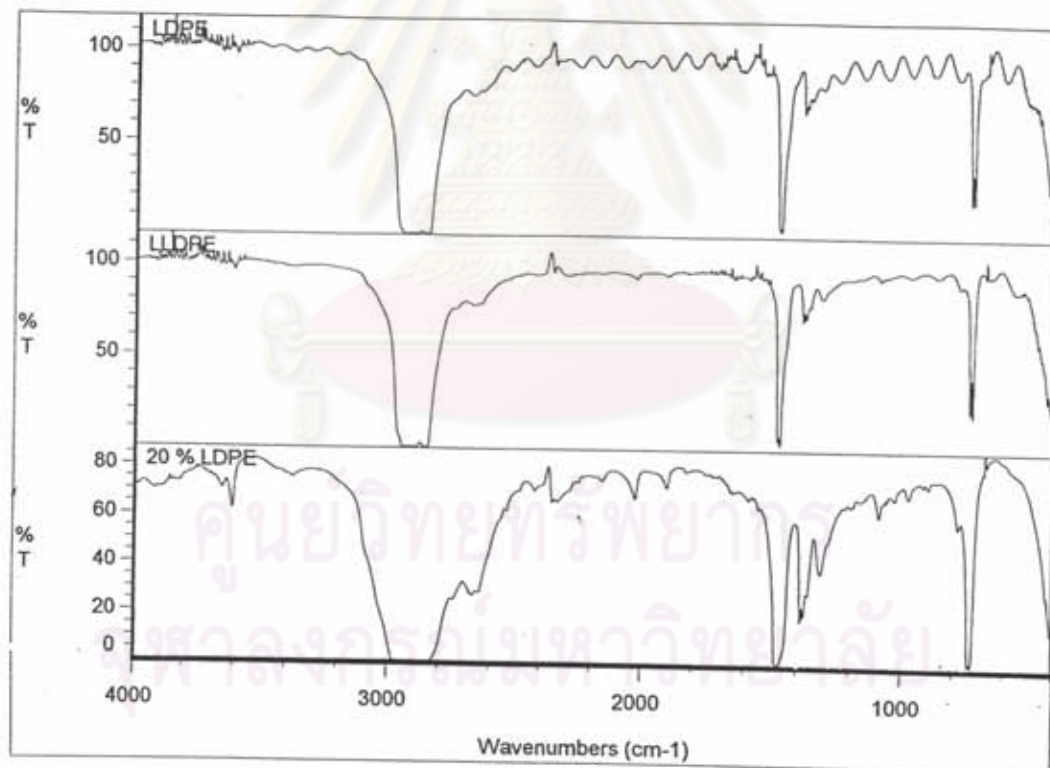
สูตร 4

รูปที่ 4.16 ลักษณะของลายหนังไก่บนผิวฟิล์มที่ใส่สาร PPA

4.2.3 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

4.2.3.1 LDPE LLDPE และ 20 % LDPE

สเปกตรัมของ LDPE และ LLDPE จะมีลักษณะคล้ายกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ทั้งนี้เพราะเป็นพอลิเอทิลีนเหมือนกัน สเปกตรัมของ C—H stretching จะปรากฏในช่วงเลขคลื่นประมาณ 2840 - 2945 cm^{-1} สเปกตรัมของ C—H bending จะปรากฏที่เลขคลื่น 1465 cm^{-1} สเปกตรัมของ CH_3 จะปรากฏที่เลขคลื่น 1377 cm^{-1} และสเปกตรัมของ $-(\text{CH}_2)_n-$ ($n > 4$) จะปรากฏที่เลขคลื่น 730 cm^{-1} ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 อินฟราเรดสเปกตรัมของ LDPE LLDPE และ 20 % LDPE

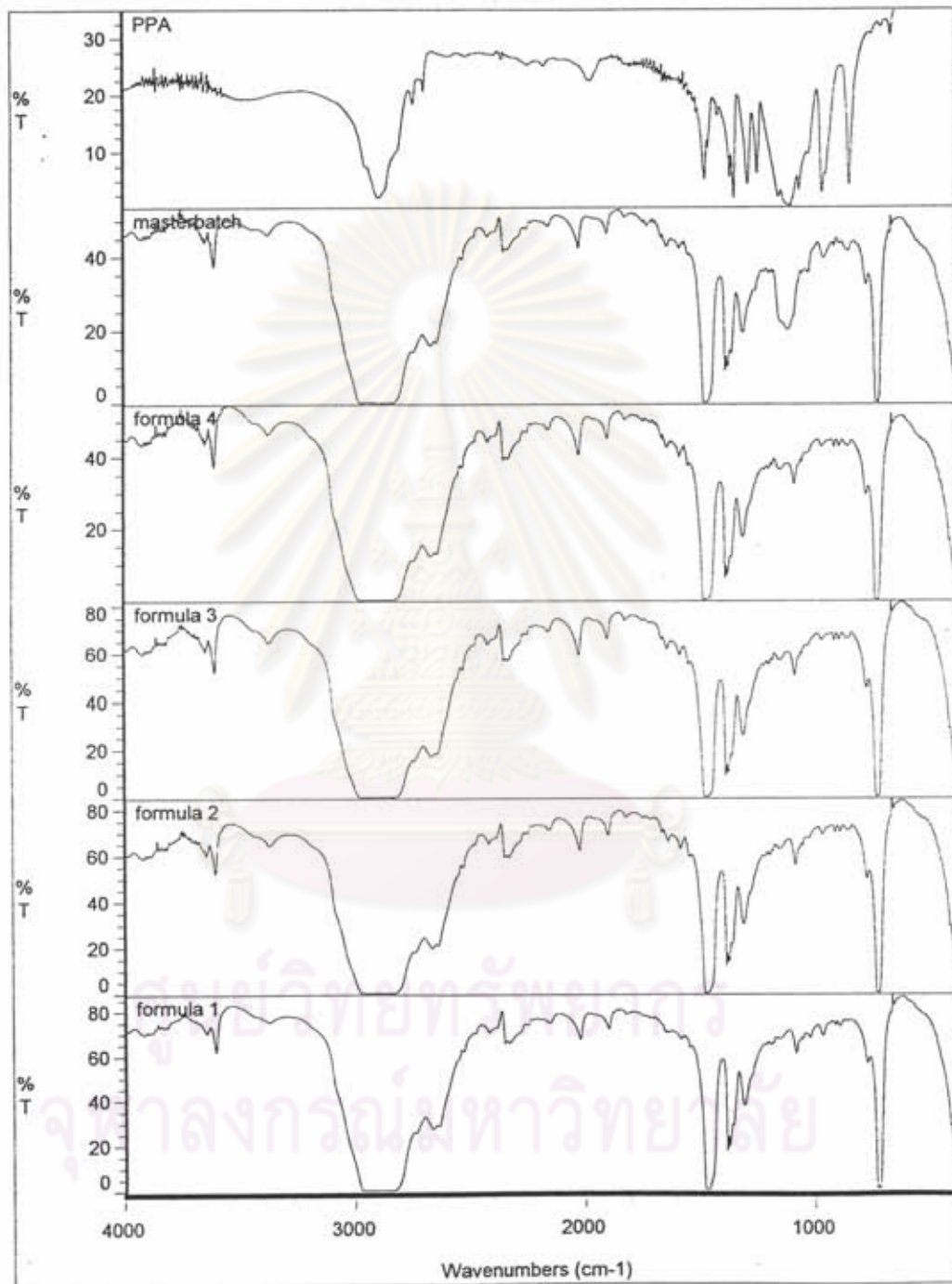
4.2.3.2 สาร PPA

สเปกตรัมของสาร PPA จะปรากฏที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยสเปกตรัมของ CF_3 จะปรากฏที่เลขคลื่น 842.6 cm^{-1} สเปกตรัมของ CF_2 จะปรากฏที่เลขคลื่น 1242 cm^{-1} และ สเปกตรัมของ CF จะปรากฏที่เลขคลื่น 960.1 cm^{-1} และ 1099 cm^{-1} เนื่องจากสเปกตรัมของฟลูออรีนปรากฏค่อนข้างเข้มมาก (strong peak) ทำให้สเปกตรัมของ C—H stretching ของสาร PPA ที่เลขคลื่น 2884.6 cm^{-1} มีความเข้มน้อยมาก (weak peak) เมื่อเปรียบเทียบกับ C—H stretching ของ LDPE และ LLDPE

สำหรับสเปกตรัมของสาร masterbatch จะปรากฏที่ CF_2 ที่เลขคลื่น 1099 cm^{-1} มีลักษณะค่อนข้าง broad สำหรับช่วงเลขคลื่นประมาณ $840-1040 \text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ CF_3 และ CF ซึ่งปรากฏสเปกตรัมที่มีขนาดเล็กมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฟิล์มที่เตรียมขึ้นจากการหลอม masterbatch นั้น หนาเกินไปจึงปรากฏสเปกตรัมที่แยกออกจากกันไม่ชัดเจน

ฟิล์มที่มีความเข้มข้นของสาร PPA 500 ,1000 และ 1500 ppm จะปรากฏสเปกตรัมของ CF_3 และ CF ที่มีลักษณะค่อนข้าง sharp ในช่วงเลขคลื่นประมาณ $840 - 1040 \text{ cm}^{-1}$ แสดงว่า สาร PPA ส่วนหนึ่งเคลือบอยู่กับห้วคยทำให้ลายหนังไ้ลดน้อยลงมาก แต่อีกส่วนหนึ่งยังคงติดมากับผิวฟิล์ม

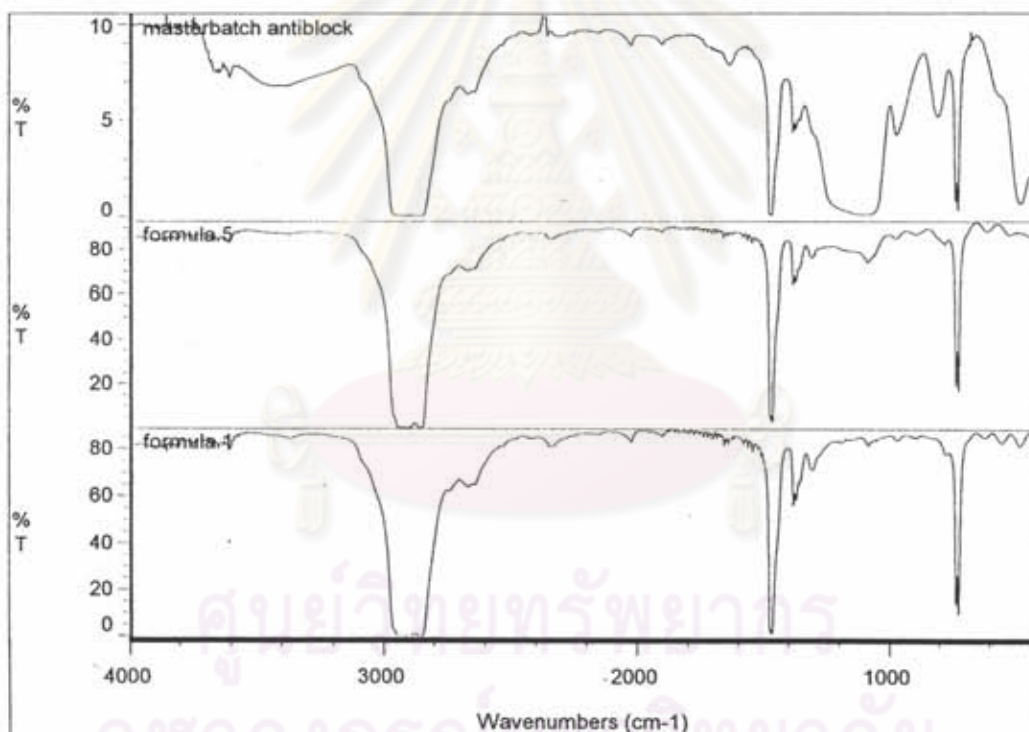
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสาร PPA , masterbatch ที่ผสมสาร PPA และ สาร PPA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กับ 20 % LDPE

4.2.3.3 antiblocking - agent

antiblocking-agent ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทซิลิกอนที่อยู่ในรูปของ masterbatch จะปรากฏสเปกตรัมที่เลขคลื่น 1092 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.19 เมื่อเจือจางลงให้มีความเข้มข้น 5 % ของสาร masterbatch และผลิตเป็นฟิล์ม จะปรากฏสเปกตรัมของซิลิกอนที่ตำแหน่งเดิมแต่มีขนาดเล็กลง ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 อินฟราเรดสเปกตรัมแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสาร antiblocking-agent , masterbatch ที่ใส่ antiblocking-agent และ 20 % LDPE