รายการอ้างอิง

1. ธราศัย แสงภักดี.การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งจากน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
2. ชาญวิทย์ พูนศรีไชยสิทธิ์.การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนความหนาแน่นต่ำชนิดแข็งสำหรับทำกระดานโต้คลื่น วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
3. Gunter O., Abele L., Avar G.,et al. Polyurethane Handbook. 2nd Edition. New York: Hanser,1994.
4. George W. The ici polyurethanes book. 2nd Edition.Netherland,1990.
5. MPOB's staff and InterMed Sdn. Bhd. Palm-based polyols and polyurethanes. MPOB Technology. 24 (2002): 9.
6. Chian K. s. and Gan L. H. Development of a Rigid Polyurethane Foam from Palm oil Journal of Applied Polymer Science. 68 (1997): 509-515
7. Zhang X. D.et al. Role of Silicone Surfactant in Flexible Polyurethane Foam. Journal of Colloid and Interface Science. 215 (1999): 270-279
8. Andrew, G., Ivan, J. and Zoran, P. Rigid Polyurethane Foams Base on Soybean Oil. Journal of Applied Polymer Science. 77 (2000): 467-473
9. Maznee, T. N., Norin, Ooi, Salmian and Gan. Effects of Additives on Palm-Based Polyurethane Foams. Journal of Oil Palm Research. 13 (2001): 7-15
10. Yan, H. H., et al. Rigid Polyurethane Foam Prepared from a Rape Seed Oil Base Polyol. Journal of Applied Polymer Science. 84 (2002): 591-597
11. Jian F. J., et al. Structures and physical properties of rigid polyurethane foam prepared with rosin-based polyol. Journal of Applied Polymer Science. 84 (2002): 598-604
12. Badril K. H., Ahmad S. H. and Zakaria S. Production of a High-Functionality RBD Palm Kernel Oil-Based Polyester Polyol. Journal of Applied Polymer Science. 81 (2001): 384–389
13. Eid A. Preparation of Water-Soluble Polyurethane Surfactants. Journal of Applied Polymer Science. 68 (1998):1531–1536

14. Bharadwaj, V., Somani, K. and Kansara, S. The effect of chain length of polyethylene glycol on properties of castor oil based polyurethane elastomer. Journal of Macromolecule Science, pure and Applied Chemistry. 39 (2002): 155-127.

15. Hamid, Y., Mohammas, R. M. Synthesis and properties of isocyanate curable millable polyurethane elastomer based on castor oil as renewable resource polyol. European polymer Journal. 40 (2004): 1233-1238.

16. Shari, N. Z. K., Ooi, T. L. and Salimaiah, A. Effect of triethanolamine on the properties of palm-based flexile polyurethane foam. Journal of Oil Palm Research. 16 (2004): 66-71.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมโฟมพอลียูรีเทน

ก1. การคำนวณปริมาณ modified MDI ที่อัตราส่วน NCO:OH = 1:1

การคำนวณปริมาณ modified MDI เมื่อใช้สารประกอบไฮดรอกซิลหลายชนิด โดยใช้ค่า Equivalent weight (Eqw) ของสารประกอบไฮดรอกซิล ปริมาณสารที่ใช้ และ Eqw ของ modified MDI ดังนี้

1. นำสารประกอบไฮดรอกซิลคำนวณค่า Eqw และ No. Eqw

จากสูตร $$\text{Equivalent weight} = \frac{56.1 \times 1{,}000}{\text{OHV}}$$

$$\text{No. Eqw} = \frac{\text{ปริมาณที่ใช้}}{\text{Equivalent weight}}$$

2. คำนวณค่า No. Eqw รวมของสารประกอบไฮดรอกซิล

3. คำนวณปริมาณ modified MDI ที่ใช้

จากสูตร ค่าไอโซไซยาเนต (isocyanate value) $$= \frac{4200}{\text{Equivalent weight}}$$

เนื่องจากค่าไอโซไซยาเนตของ modified MDI = 19 เปอร์เซ็นต์

$$\therefore \text{Equivalent weight ของ modified MDI} = \frac{4200}{19} = 221$$

ปริมาณ modified MDI ที่ใช้ = Eqw ของ modified MDI x No.Eqw รวมของสารประกอบไฮดรอกซิล

ตัวอย่างการคำนวณโฟมสูตร P0

สูตร P0	ปริมาณที่ใช้	Eqw	No.Eqw (ปริมาณที่ใช้ / Eqw)
สารเติมแต่ง	15	35	0.4286
พอลิออลทางการค้า	85	1020	0.0833
		ค่า No.Eqw รวม	0.5119

∴ ปริมาณ modified MDI ที่ใช้ = 221 x 0.5119 = 113 ที่อัตราส่วน NCO:CH = 1:1

ตารางแสดงการคำนวณปริมาณ modified MDI ที่อัตราส่วน NCO:OH = 1:1

ลำดับ	ส่วนประกอบ / ชื่อสูตร	สารผสมพอลิออล (A*) (ส่วน)			เชนเอกซ์เทนเดอร์ (pbwของA*)			modified MDI (pbwของA*)
		พอลิออลทางการค้า	ปาล์มพอ-ลิออล-M	สารเติมแต่ง	MEG	MPG	1,4-BD	
1	P0	100	-	17.65	-	-	-	113
2	P20	80	20	17.65	-	-	-	122
3	P40	60	40	17.65	-	-	-	130
4	P60	40	60	17.65	-	-	-	138
5	P80	20	80	17.65	-	-	-	146
6	P100	-	100	17.65	-	-	-	154
7	P40-EG5	60	40	17.65	5	-	-	165
8	P40-EG10	60	40	17.65	10	-	-	200
9	P40-EG15	60	40	17.65	15	-	-	236
10	P40-PG5	60	40	17.65	-	5	-	159
11	P40-PG10	60	40	17.65	-	10	-	188
12	P40-PG15	60	40	17.65	-	15	-	217
13	P40-BD5	60	40	17.65	-	-	5	154
14	P40-BD10	60	40	17.65	-	-	10	179
15	P40-BD15	60	40	17.65	-	-	15	203

หมายเหตุ

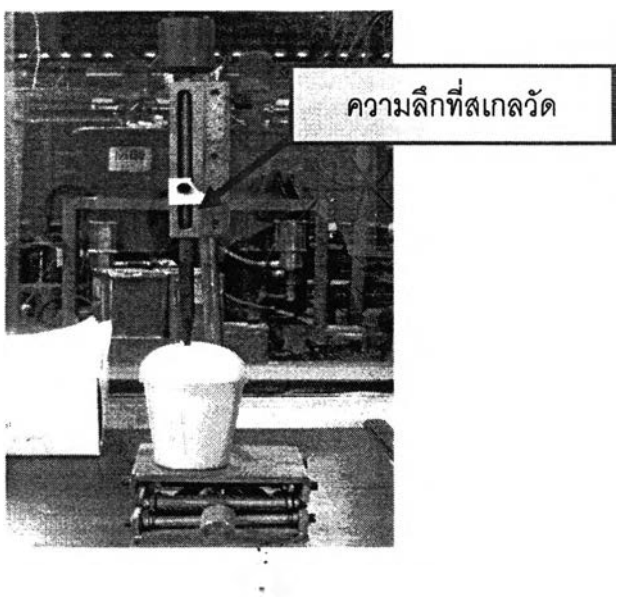
* A หมายถึงสารผสมพอลิออล ที่ผสมพอลิออลทางการค้า ปาล์มพอลิออล-M และสารเติมแต่ง

ก2. การหาอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุล

การหาอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุล โดยวิธีการหาค่าความทะลุเนื้อพอลิยูรีเทน (penetration) ด้วยเครื่องวัดความทะลุ ซึ่งเป็นการสังเกตความลึกในการจมลงไปในเนื้อโฟมที่เวลา 90 วินาที เพื่อหาอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุลมีรายละเอียดดังนี้

- นำของผสมเทลงในแก้วพลาสติกขนาด 185 มล. จากข้อที่ 2 วางไว้ที่เครื่องวัดความทะลุ

- ที่เวลา 90 วินาทีปรับให้ปลายเข็มสัมผัสที่หน้าผิวพียูพอดีและล็อคพร้อมอ่านค่าที่สเกลวัด (ความลึก 1) จากนั้นปล่อยเข็มลงมาทันทีที่เวลา 100 วินาที ให้ล็อคเข็ม พร้อมอ่านค่าที่สเกลวัด (ความลึก 2)



เครื่องวัดความทะลุ

โดย ค่าความทะลุ = ความลึก 1 - ความลึก 2

- อัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุล คือ ที่ค่าความทะลุที่น้อยที่สุด ปรับปริมาณไอโซไซยาเนตให้ได้อัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุล

ตารางแสดงการหาอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุลของโฟมสูตร P0 P20 P40 และ P60

ลำดับ	ชื่อสูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก		ค่าความทะลุ (มม.)
		สารผสมพอลิออล	ไอโซไซยาเนต	
1	P0	100	113	15.0
		100	115	17.0
		100	110	18.0
2	P20	100	121	16.0
		100	123	18.0
		100	118	20.0
3	P40	100	127	9.5
		100	129	5.2
		100	132	11.0
4	P60	100	135	16.0
		100	137	12.0
		100	140	20.0

ตารางแสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุลของโฟมสูตร P0 P20 P40 และ P60

ลำดับ	ชื่อสูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	
		สารผสมพอลิออล	ไอโซไซยาเนต
1	P0	100	113
2	P20	100	121
3	P40	100	129
4	P60	100	137

ตารางแสดงการหาอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุลของโฟมสูตร P40 ที่ชนิด และปริมาณเซนเอกซ์เทนเดอร์ต่างๆ

ลำดับ	ชื่อสูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก		ค่าความทะลุ (มม.)
		สารผสมพอลิออล	ไอโซไซยาเนต	
1	P40-EG5	100	154	7.3
		100	158	9.1
		100	152	15.0
2	P40-EG10	100	190	10.0
		100	181	9.3
		100	180	11.5
3	P40-EG15	100	182	17.1
		100	205	10.6
		100	210	14.5
4	P40-PG5	100	151	22.3
		100	155	19.9
		100	160	24.3
5	P40-PG10*	100	170	13.0
		100	174	16.4
		100	167	18.0
6	P40-PG15*	100	193	19.0
		100	195	22.0
		100	190	24.2
7	P40-BD5	100	160	6.2
		100	155	10.1
		100	163	8.2
8	P40-BD10	100	168	8.8
		100	172	10.5
		100	166	10.2
9	P40-BD15	100	174	8.2
		100	182	11.5
		100	170	11.9

หมายเหตุ

ค่าความทะลุของ P40-PG10* และP40-PG15* หาค่าความทะลุเนื้อพอลิยูรีเทน (penetration) เป็นที่เวลา 120 วินาที เนื่องจากเซนเอกซ์เทนเดอร์ชนิดนี้ทำให้โฟมพอลิยูรีเทนคงรูปช้า

ตารางแสดงอัตราส่วนของสารเคมีที่เกิดปฏิกิริยาสมดุลของโฟมสูตร P40 ที่ชนิด และปริมาณเซน-เอกซ์เทนเดอร์ต่างๆ

ลำดับ	ชื่อสูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	
		สารผสมพอลิออล	ไอโซไซยาเนต
1	P40-EG5	100	154
2	P40-EG10	100	181
3	P40-EG15	100	205
4	P40-PG5	100	155
5	P40-PG10*	100	170
6	P40-PG15*	100	193
7	P40-BD5	100	160
8	P40-BD10	100	168
9	P40-BD15	100	174

<u>หมายเหตุ</u>

ค่าความทะลุของ P40-PG10* และP40-PG15* หาค่าความทะลุเนื้อพอลิยูรีเทน (penetration) เป็นที่เวลา 120 วินาที เนื่องจากเซนเอกซ์เทนเดอร์ชนิดนี้ทำให้โฟมพอลิยูรีเทนคงรูปช้า

ก3. ตารางแสดงเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของโฟมพอลิยูริเทน

ลำดับ	ชื่อสูตร	Cream Time (วินาที)	Pinch Time (วินาที)
1	P0	22.5	67.5
2	P20	30	97.5
3	P40	32.5	97.5
4	P60	42.5	152.5
5	P40-EG5	45	127.5
6	P40-EG10	42.5	285
7	P40-EG15	39.5	105
8	P40-PG5	60	132.5
9	P40-PG10	32.5	315
10	P40-PG15	42.5	105
11	P40-BD5	65	142.5
12	P40-BD10	32.5	300
13	P40-BD15	46	105

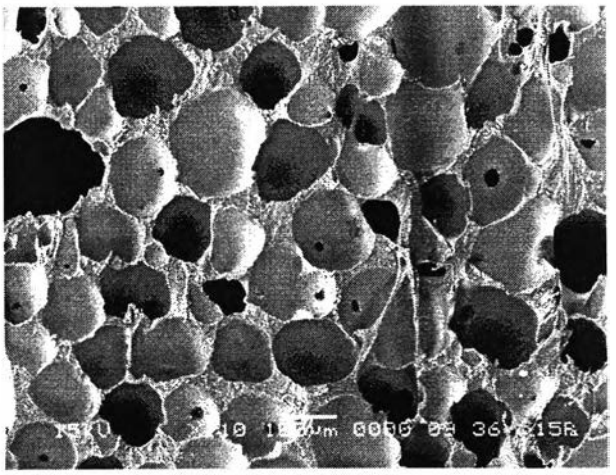
ภาคผนวก ข

สมบัติทางกายภาพของโฟมสูตรต่างๆ

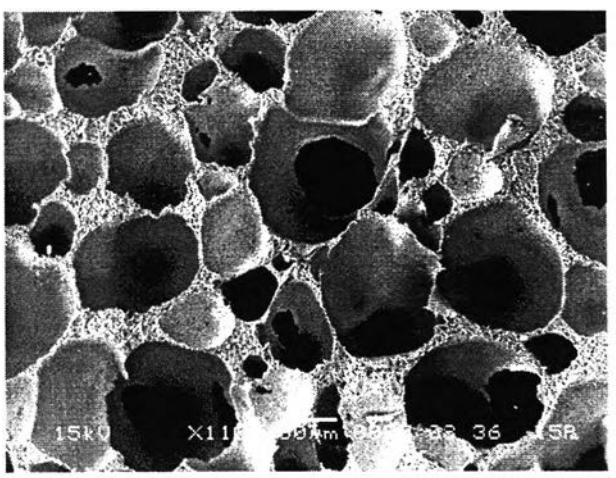
ชื่อสูตร	ความแข็ง (Shore A)	ความต้านแรงดึง (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	ยังส์มอดุลัส (MPa)	การสูญเสียจากการขัดถู (mm^3)	เปอร์เซ็นต์ Compression Set
P0	56.67	2.92	388.09	3.72	427.27	41.81
P20	52.67	1.15	133.05	3.37	197.31	39.23
P40	60.00	2.38	201.22	5.58	283.78	25.45
P40-EG5	85.00	3.15	99.60	13.88	221.37	22.22
P40-EG10	90.00	2.38	135.75	7.78	284.93	18.05
P40-EG15	95.00	3.09	208.54	6.19	318.93	23.26
P40-PG5	70.00	3.55	91.31	18.81	243.01	27.60
P40-PG10	75.00	3.66	185.65	11.13	221.15	13.09
P40-PG15	72.50	4.01	223.49	7.47	239.60	31.77
P40-BD5	65.00	3.32	59.89	22.58	157.87	21.66
P40-BD10	70.00	3.12	135.21	12.31	155.66	16.01
P40-BD15	67.50	3.61	218.57	7.32	169.14	35.13

ภาคผนวก ค

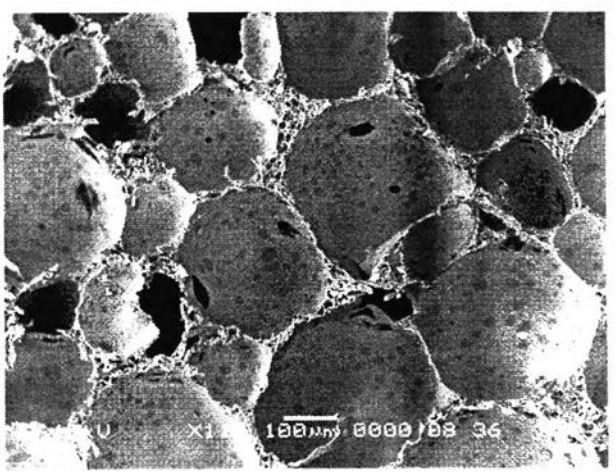
การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค SEM



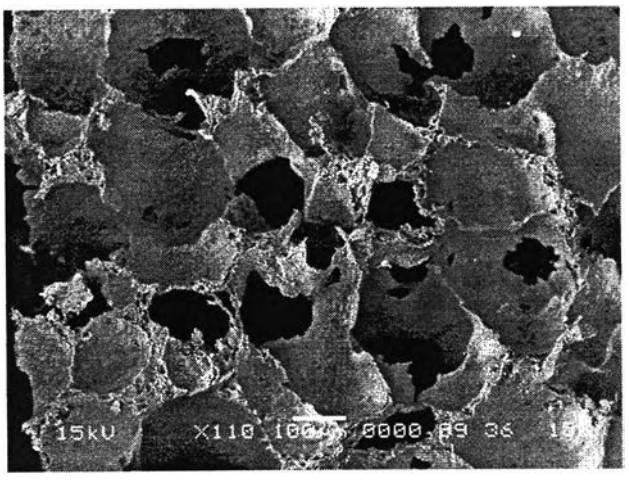
P0



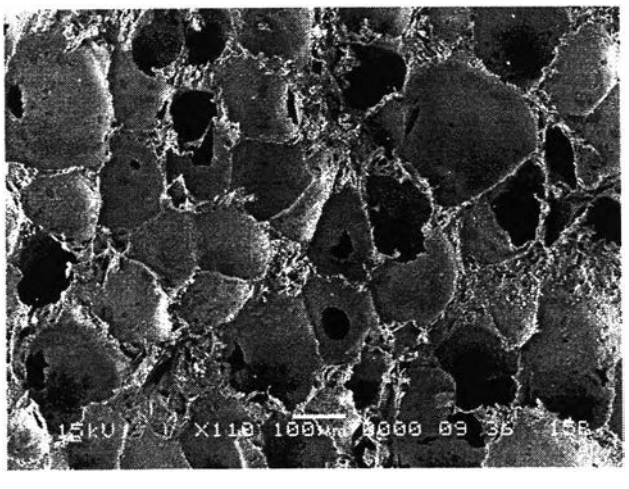
P20



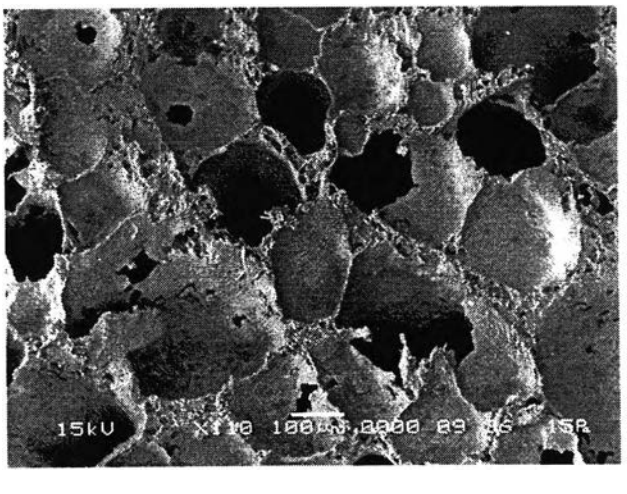
P40



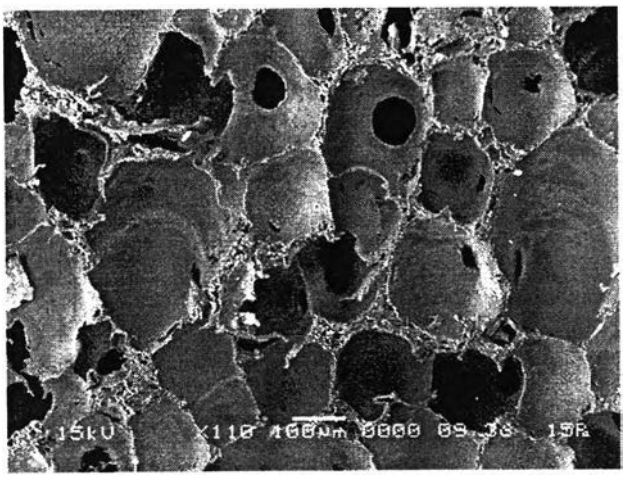
P40-EG5



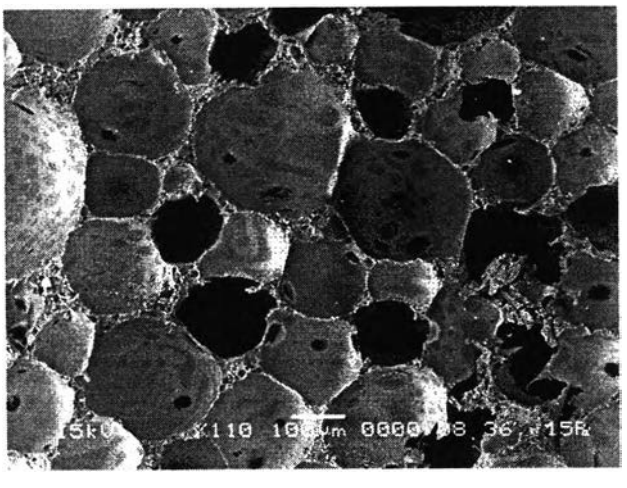
P40-EG10



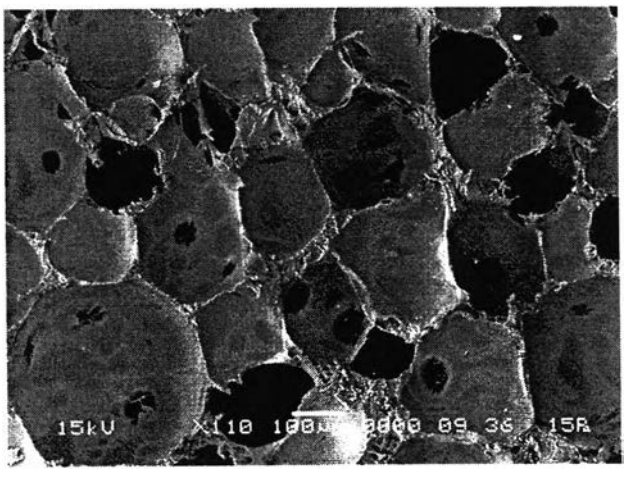
P40-EG15



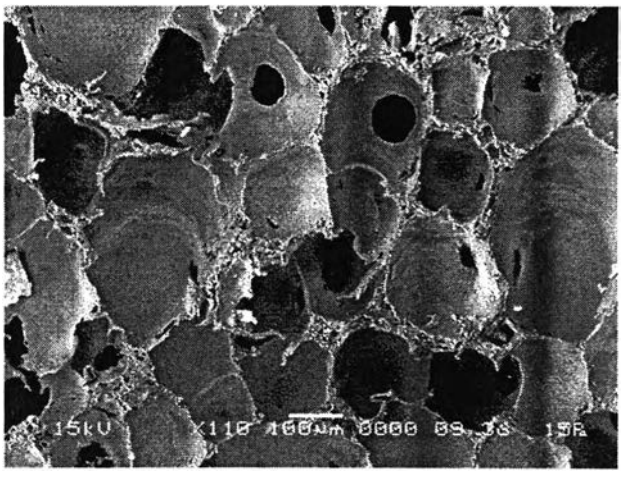
P40-PG5



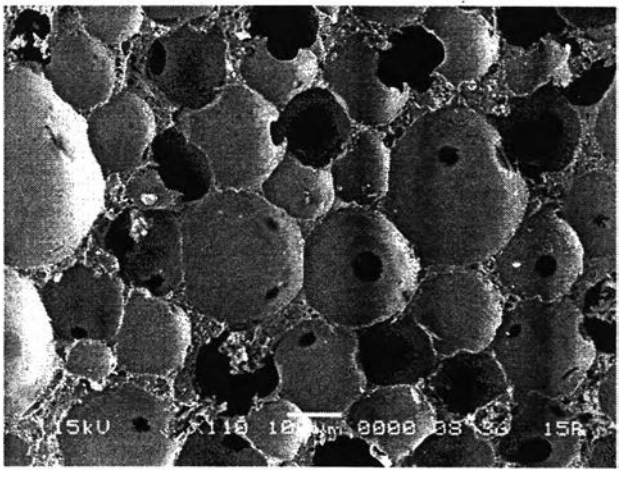
P40-PG10



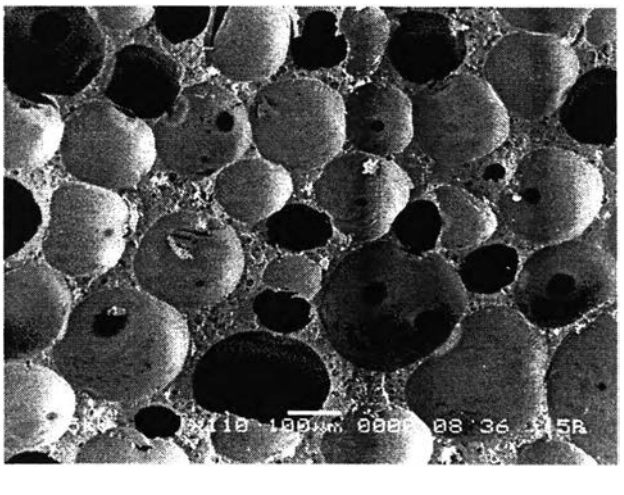
P40-PG15



P40-BD5



P40-BD10



P40-BD15

ตารางแสดงผลสรุปที่ได้จากภาพถ่าย SEM

ลำดับ	ชื่อสูตร	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	รูปร่างของเซลล์	% เซลล์เปิด	ปริมาณ * หน้าต่าง
1	P40	100 = 37% 150 = 16% 200 = 25% 300 = 3% 350 = 19%	ทรงกลม	41	+++
2	P40 - EG5	100 = 57% 150 = 24% 200 = 10% 250 = 7% 300 = 2%	ทรงรี = 86% ทรงเหลี่ยม = 14%	45	+++
3	P40 - EG10	100 = 31% 150 = 41% 200 = 25% 250 = 3%	ทรงรี = 25% ทรงเหลี่ยม = 75%	56	+++
4	P40 - EG15	100 = 14% 150 = 42% 200 = 24% 250 = 14% 300 = 3% 350 = 3%	ทรงรี = 24% ทรงเหลี่ยม = 76%	45	+++
5	P40 - PG5	100 = 13% 150 = 56% 200 = 19% 250 = 6% 300 = 6%	ทรงกลม = 69% ทรงเหลี่ยม = 31%	59	++

* +++ = มาก ++ = ปานกลาง + = น้อย

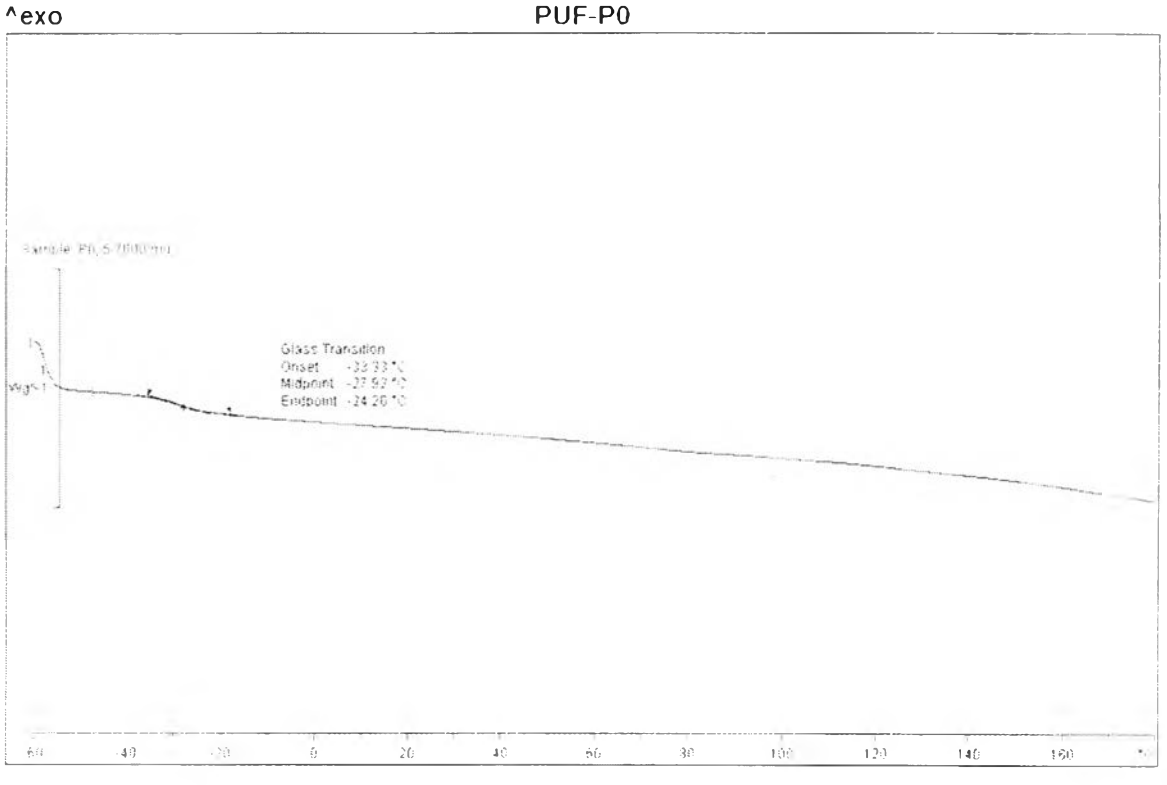
ลำดับ	ชื่อสูตร	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	รูปร่างของเซลล์	% เซลล์เปิด	ปริมาณ * หน้าต่าง
6	P40 - PG10	100 = 27%	ทรงกลม = 86%	54	+++
		150 = 40%	ทรงเหลี่ยม = 14%		
		200 = 19%			
		250 = 18%			
		300 = 3%			
		350 = 3%			
7	P40 - PG15	100 = 21%	ทรงกลม = 62%	59	+++
		150 = 34%	ทรงเหลี่ยม = 38%		
		200 = 21%			
		250 = 14%			
		300 = 7%			
		350 = 3%			
8	P40 - BD5	100 = 53%	ทรงกลม	44	+++
		150 = 11%			
		200 = 8%			
		250 = 22%			
		300 = 6%			
9	P40 - BD10	100 = 36%	ทรงกลม	58	++
		150 = 44%			
		200 = 11%			
		250 = 3%			
		300 = 3%			
		350 = 3%			
10	P40 - BD15	100 = 32%	ทรงกลม	54	++
		150 = 41%			
		200 = 13%			
		250 = 11%			
		300 = 3%			

* +++ = มาก ++ = ปานกลาง + = น้อย

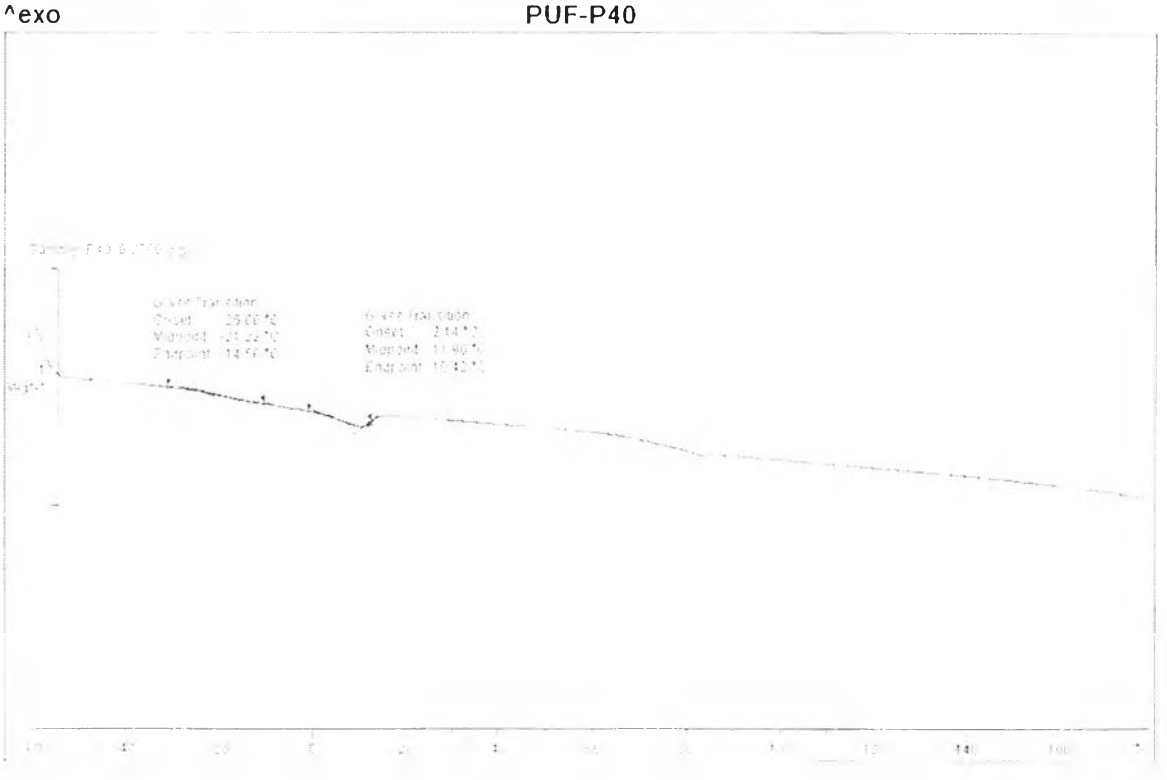
ภาคผนวก ง

การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

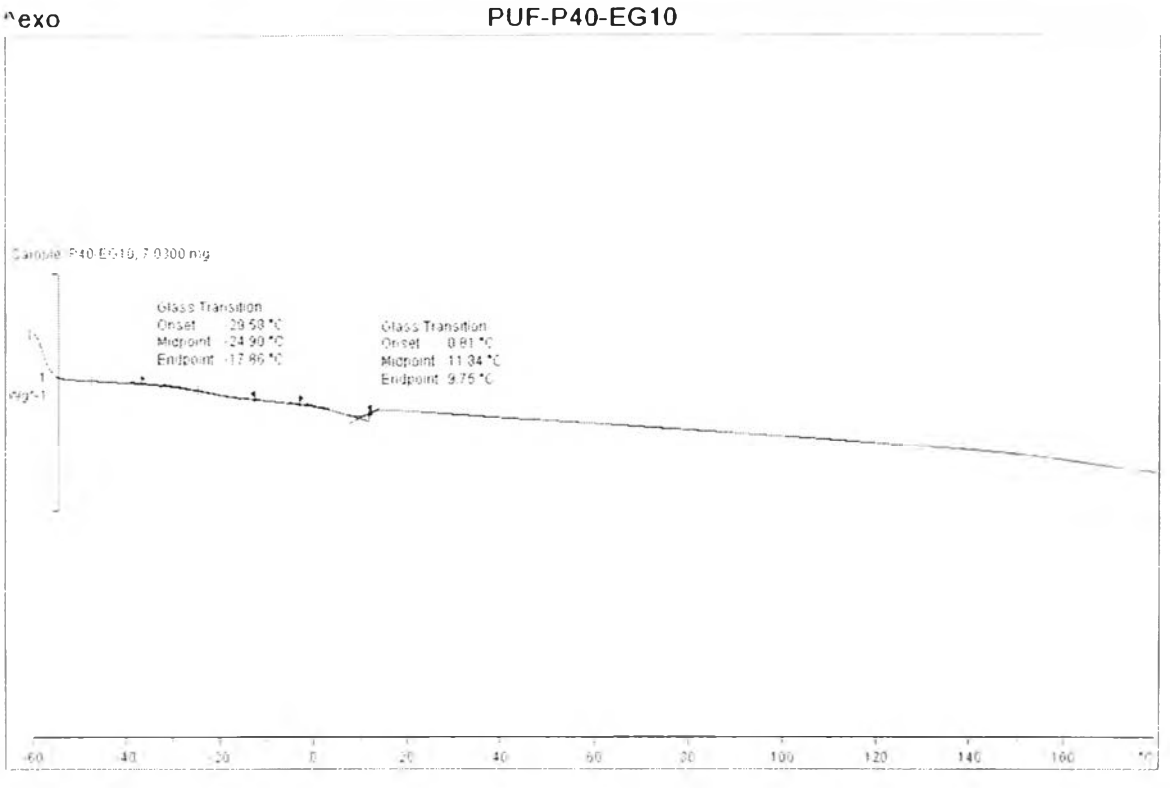
โฟมสูตร P0



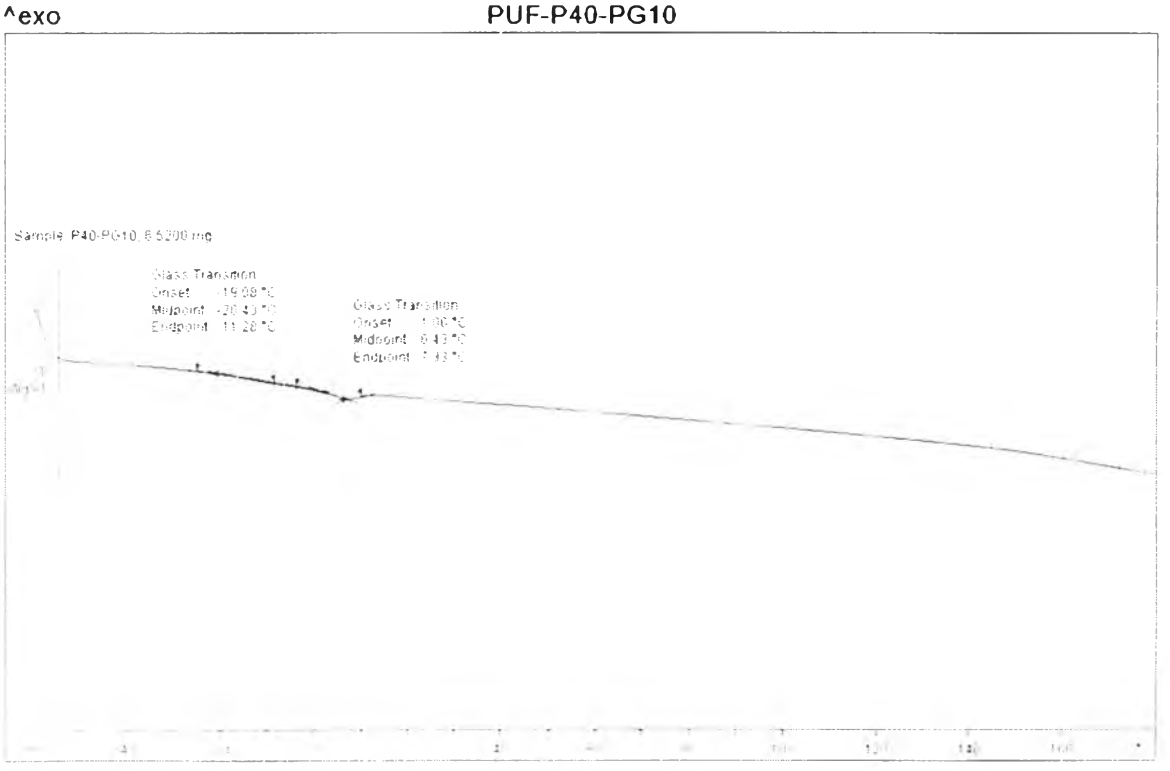
โฟมสูตร P40



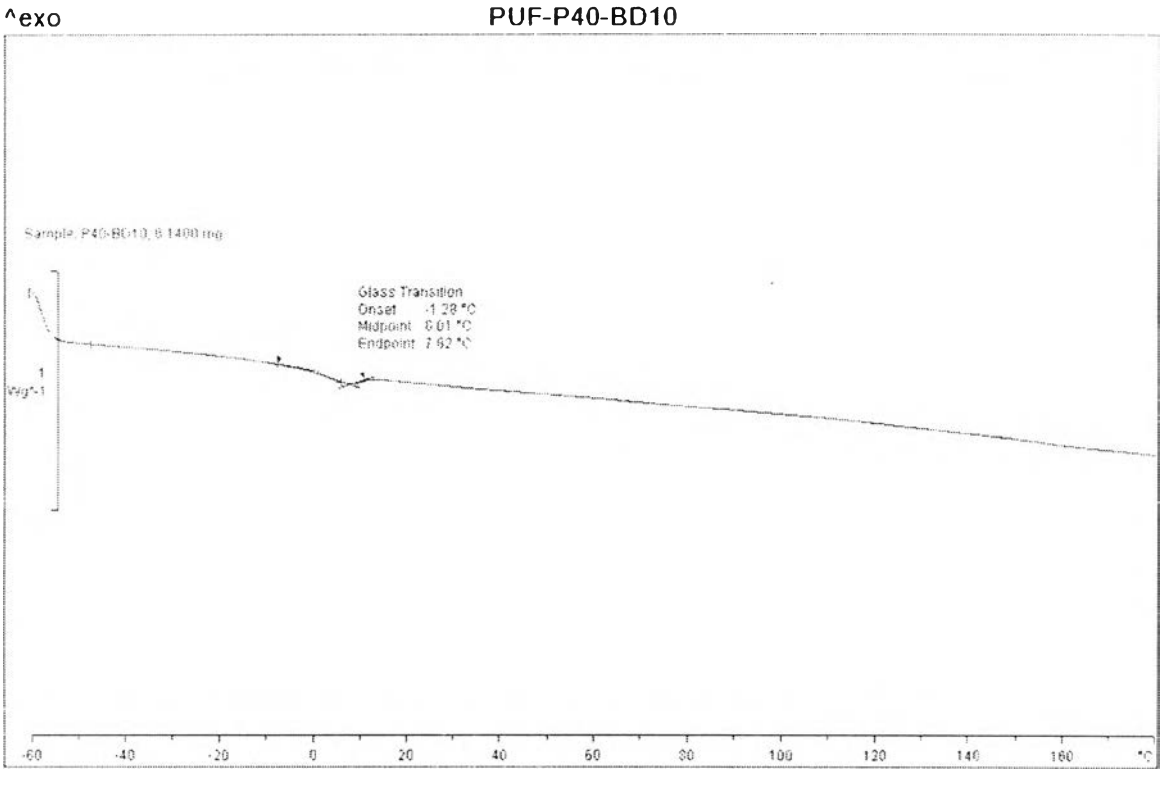
โฟมสูตร P40-EG10



โฟมสูตร P40-PG10



โฟมสูตร P40-BD10



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนครินทร์สกุล ศรีศักดิ์สรชาติ เกิดเมื่อวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2546 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นในปีการศึกษา 2547 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายของปีการศึกษา 2548 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย