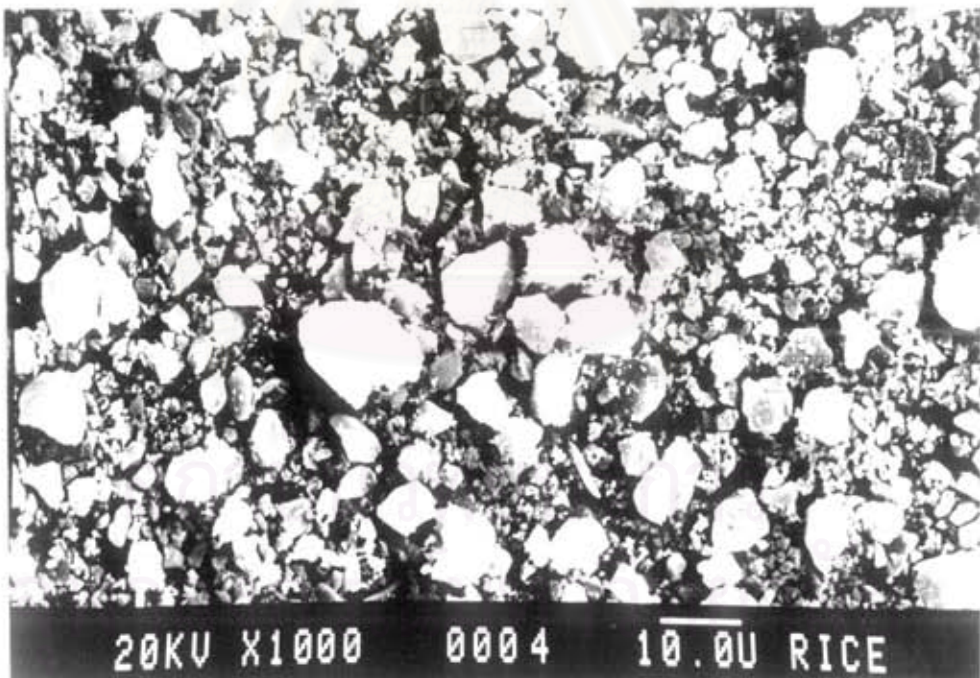


ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

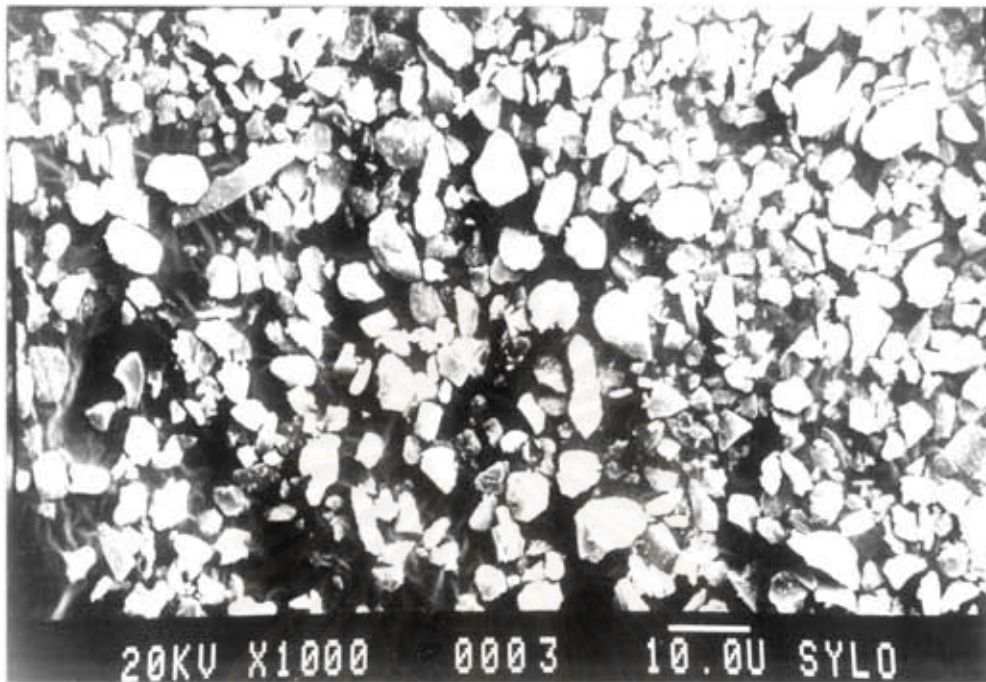
4.1 สมบัติของซิลิกา

4.1.1 ลักษณะของอนุภาคซิลิกาจากแกลบและซิลิกาที่ใช้ในทางการค้า (Sylo-1)

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าทั้งอนุภาคของซิลิกาจากแกลบและ Sylo-1 มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องมาจากการบด แต่ซิลิกาจากแกลบค่อนข้างจะมีอนุภาคนขนาดเล็กอยู่มากกว่า



รูปที่ 4.1 ลักษณะอนุภาคของซิลิกาจากแกลบจากเครื่อง SEM (กำลังขยาย 1000 เท่า)



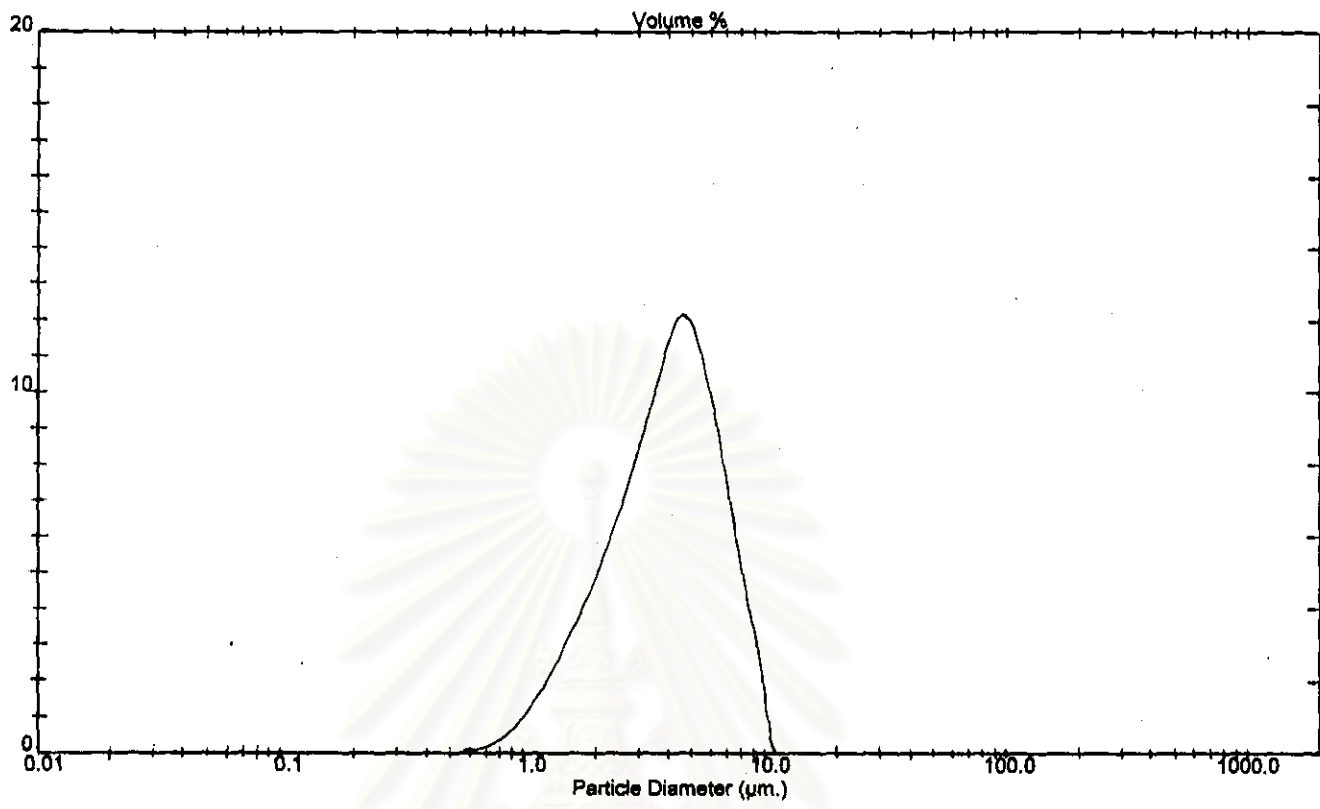
รูปที่ 4.2 ลักษณะอนุภาคของ Sylo-1 จากเครื่อง SEM (กำลังขยาย 1000 เท่า)

4.1.2 สมบัติของซิลิกาจากแกลบและ Sylo-1

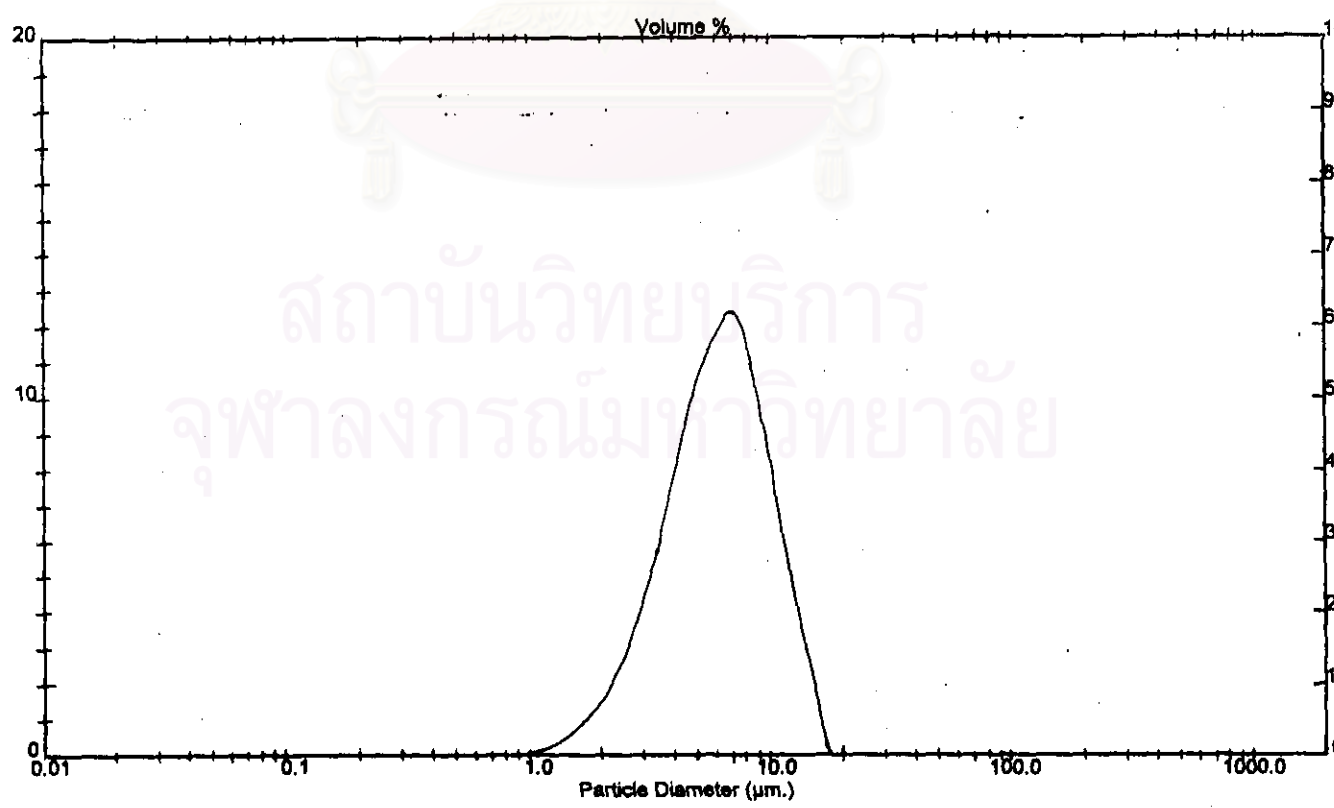
ตารางที่ 4.1 สมบัติของซิลิกาจากแกลบและ Sylo-1

สมบัติ	ซิลิกาจากแกลบ	Sylo-1
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ไมครอน)	4.27	6.61
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม./กรัม)	131.35 ± 2.34	511.97 ± 4.70
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัม/ลบ.ซม.)	0.677	0.319

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าซิลิกาจากแกลบจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่า Sylo-1 แต่ซิลิกาจากแกลบมีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นรูพรุนน้อยกว่า Sylo-1 เป็นผลให้ซิลิกาจากแกลบมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรสูงกว่า Sylo-1



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของซิลิกาจากแกลบ



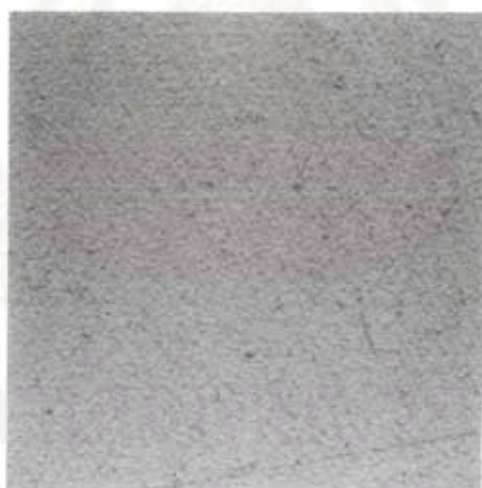
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของ Sylo-1

จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่ากราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของซิลิกาทั้งสองชนิดมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ซิลิกาจากแกลบค่อนข้างจะมีการกระจายขนาดอนุภาคไปทางอนุภาคขนาดเล็กมากกว่า

4.2 สมบัติของฟิล์ม LDPE

4.2.1 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาในฟิล์ม LDPE

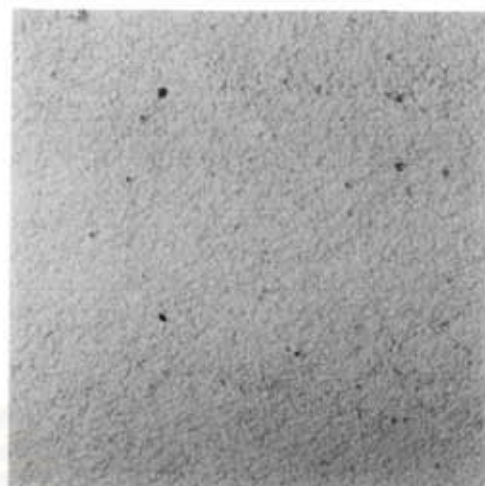
จากรูปที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าความขรุขระของผิวฟิล์ม LDPE จะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณซิลิกาที่ใช้เพิ่มขึ้น และฟิล์มที่เติม Sylo-1 จะมีความขรุขระมากกว่าฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบ เนื่องจาก Sylo-1 มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำกว่า และมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าซิลิกาจากแกลบ



รูปที่ 4.5 ฟิล์ม LDPE ที่ไม่ได้เติมซิลิกา (กำลังขยาย 16.5 เท่า)



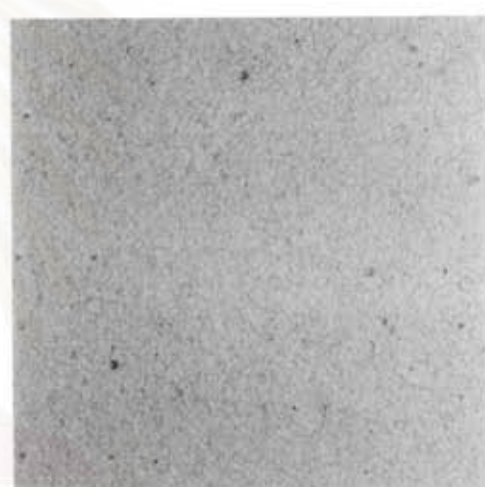
LDPE + 300 ppm ซิลิกาจากนกลบ



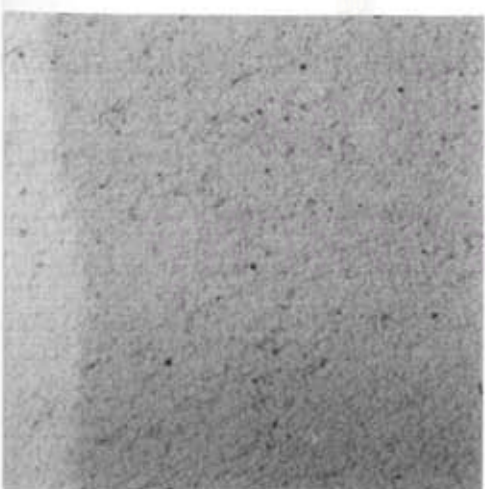
LDPE + 300 ppm Sylo-1



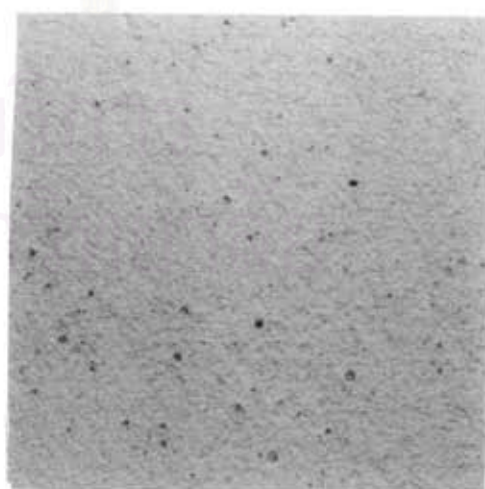
LDPE + 500 ppm ซิลิกาจากนกลบ



LDPE + 500 ppm Sylo-1

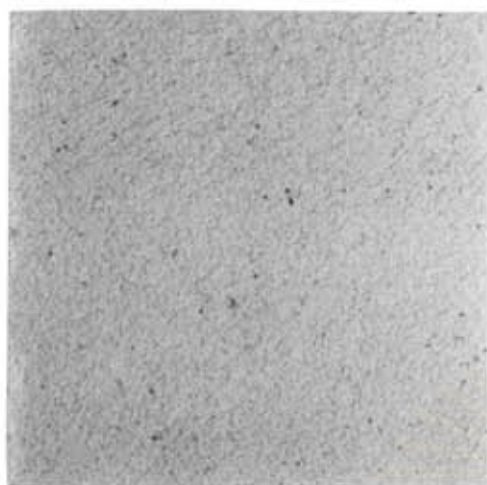


LDPE + 1000 ppm ซิลิกาจากนกลบ

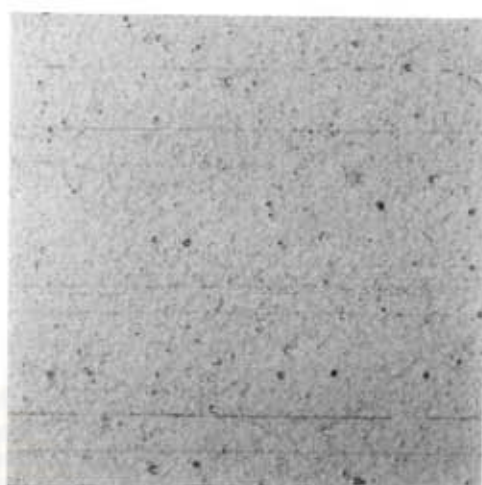


LDPE + 1000 ppm Sylo-1

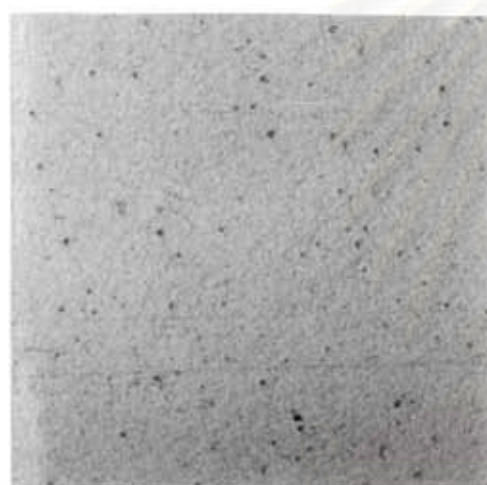
รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาในฟิล์ม LDPE (กำลังขยาย 16.5 เท่า)



LDPE + 1500 ppm ซิลิกาจากแกลบ



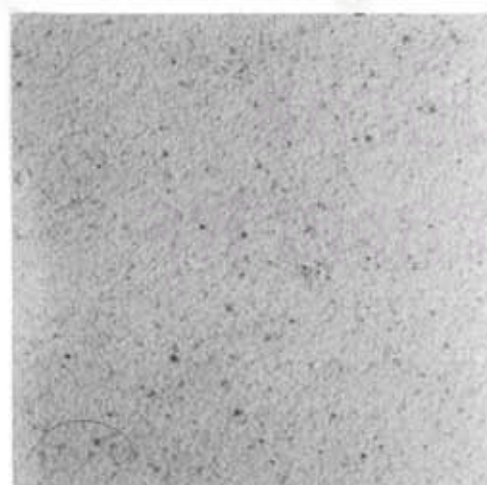
LDPE + 1500 ppm Sylo-1



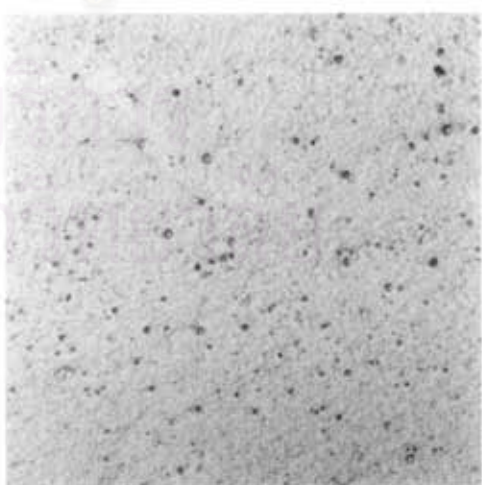
LDPE + 2000 ppm ซิลิกาจากแกลบ



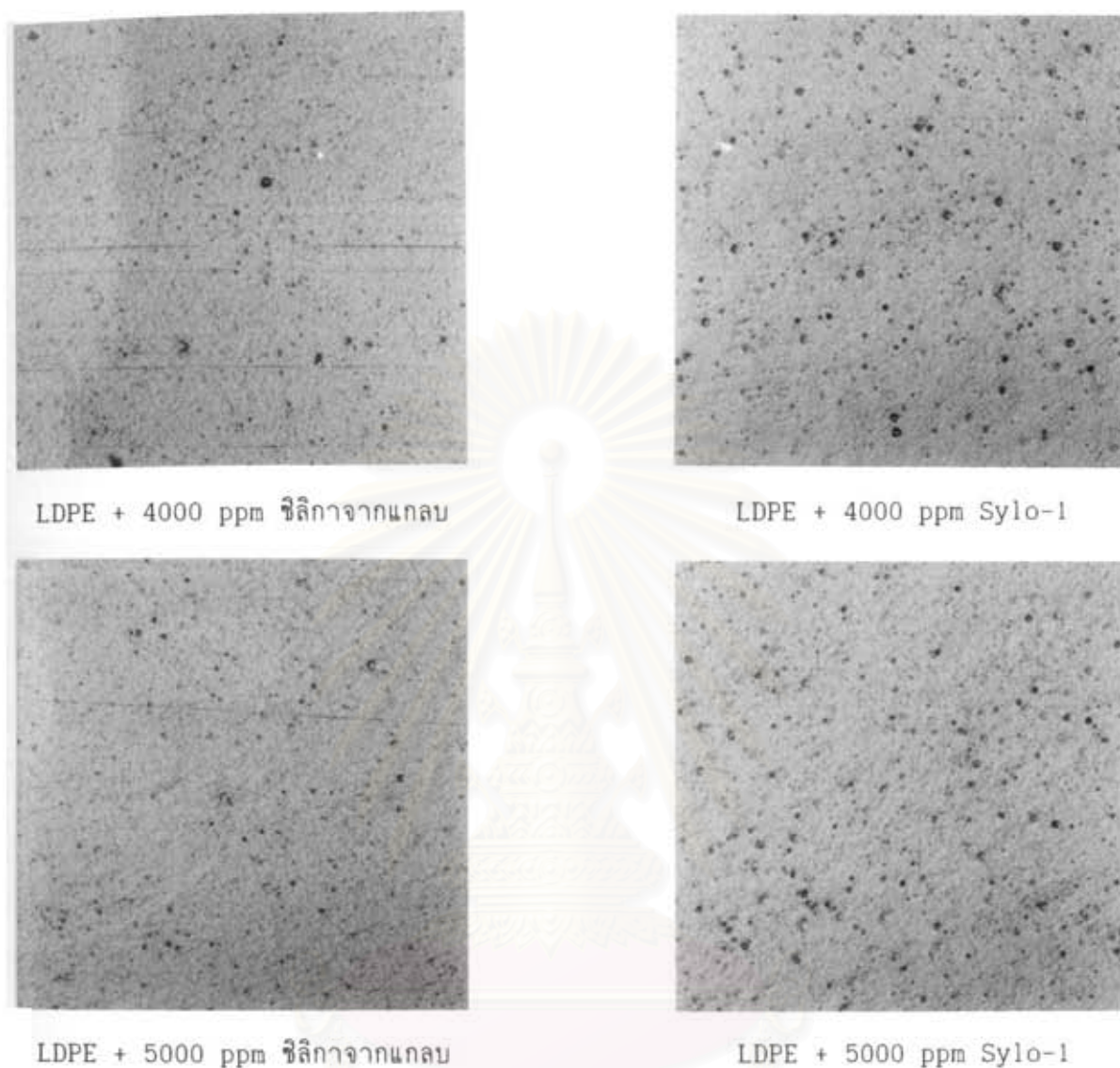
LDPE + 2000 ppm Sylo-1



LDPE + 3000 ppm ซิลิกาจากแกลบ



LDPE + 3000 ppm Sylo-1



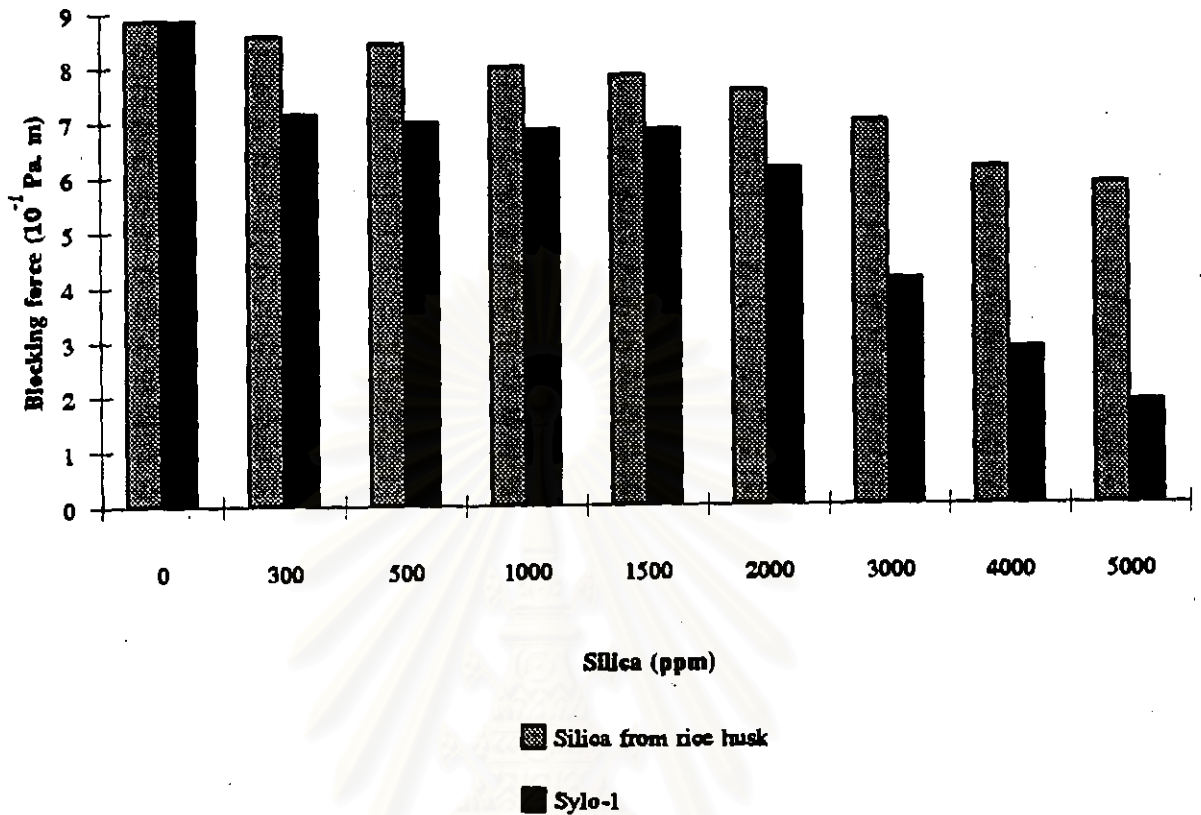
รูปที่ 4.6 (ต่อ)

4.2.2 การติดกันของฟิล์ม

การติดกันของฟิล์ม LDPE จะลดลงเมื่อปริมาณของซิลิกาที่ใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากซิลิกาจะทำให้ผิวฟิล์มขรุขระขึ้น เป็นการลดพื้นที่ผิวสัมผัสของฟิล์ม จึงทำให้การติดกันของฟิล์มลดลง และฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบจะมีค่าการติดกันของฟิล์มสูงกว่าฟิล์มที่เติม Sylo-1 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เนื่องจากการเติมซิลิกาจากแกลบทำให้ผิวฟิล์มขรุขระน้อยกว่าการเติม Sylo-1

ตารางที่ 4.2 การติดกันของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแหล่งเปรียบเทียบกับ
ฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

ปริมาณซิลิกา (ppm)	การติดกันของฟิล์ม (10^{-1} Pa.m)			
	ซิลิกาจากแหล่ง		Sylo-1	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0	8.86	0.329	8.86	0.329
300	8.57	0.465	7.14	1.191
500	8.43	0.717	7.00	1.079
1000	8.00	0.658	6.86	0.465
1500	7.86	0.285	6.86	0.570
2000	7.57	0.855	6.14	0.551
3000	7.00	0.717	4.14	0.285
4000	6.15	0.290	2.86	0.465
5000	5.86	0.551	1.86	0.551



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการติดกันของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบกับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

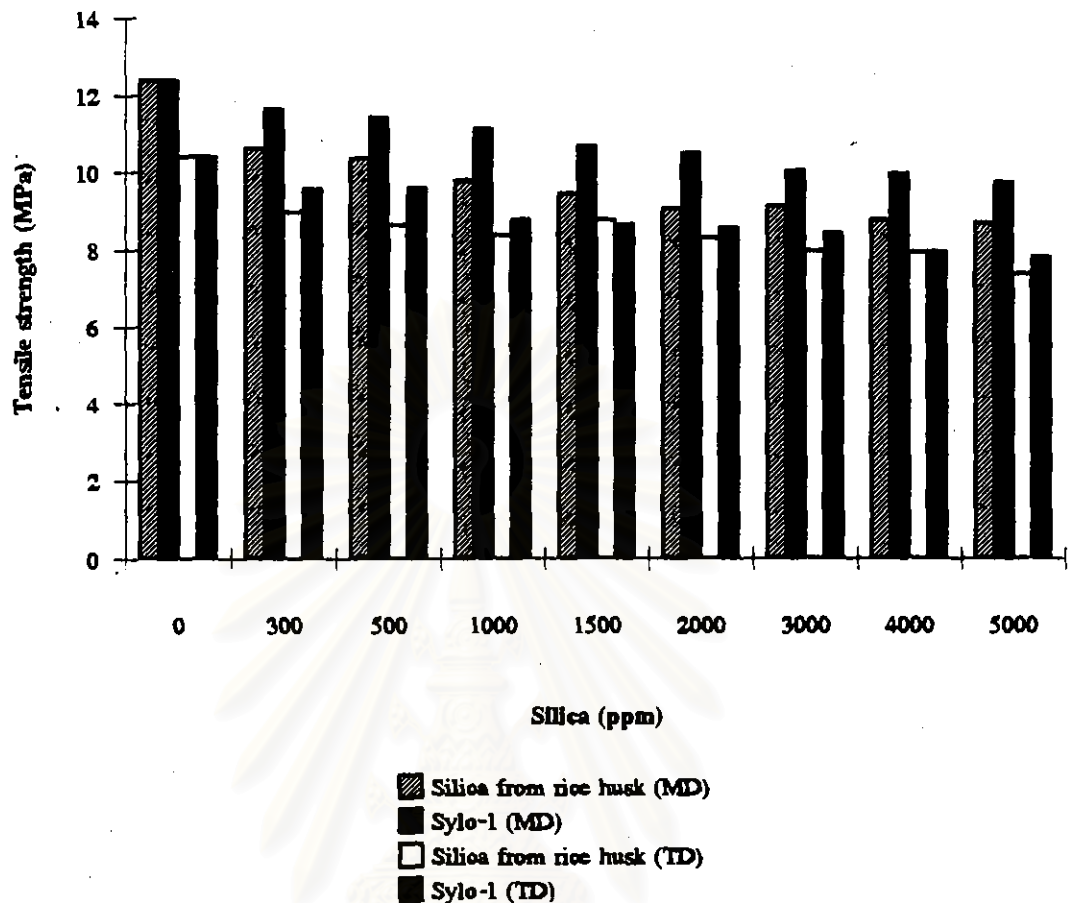
4.2.3 ความทนแรงดึง

ทั้งฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบและฟิล์มที่เติม Sylo-1 จะมีความทนแรงดึงในแนว MD สูงกว่าในแนว ID ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เนื่องจากกระบวนการเป่าฟิล์ม ฟิล์มจะถูกดึงในแนว MD ทำให้สายโซ่โพลิเมอร์ถูกยืดตัวออกตามแนวการดึง แนว MD จึงมีการเรียงตัวของโพลิเมอร์ดีกว่าแนว ID ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มในแนว MD สูงกว่าแนว ID เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบกับฟิล์มที่เติม Sylo-1 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่า ฟิล์มที่เติม Sylo-1 มีความทนแรงดึงสูงกว่าฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบ เนื่องจากการที่ Sylo-1 มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีรูพรุนมากกว่า ทำให้สามารถยึดเกาะกับเนื้อพอลิเมอร์ได้ดีกว่าซิลิกาจากแกลบ และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาที่ใช้ ความทนแรงดึงของฟิล์มจะลดลง เนื่องจากแต่ละ

อนุภาคของซิลิกาที่กระจายอยู่ในฟิล์มจะเป็นเสมือนจุดบกพร่องที่อยู่ในฟิล์ม ถ้าเติมซิลิกาปริมาณมาก จะทำให้จุดบกพร่องของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น ความทนแรงดึงจึงลดลง

ตารางที่ 4.3 ความทนแรงดึงของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแคลสเปรียบเทียบกับ ฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

ปริมาณซิลิกา (ppm)	ความทนแรงดึง (MPa)							
	ซิลิกาจากแคลส				Sylo-1			
	MD		TD		MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0	12.39	0.170	10.40	0.310	12.39	0.170	10.40	0.310
300	10.59	0.340	8.971	0.215	11.63	0.230	9.549	0.312
500	10.35	0.320	8.633	0.326	11.41	0.370	9.571	0.414
1000	9.749	0.260	8.353	0.146	11.08	0.160	8.745	0.351
1500	9.410	0.328	8.736	0.416	10.63	0.230	8.613	0.253
2000	9.005	0.125	8.277	0.137	10.44	0.250	8.522	0.231
3000	9.088	0.079	7.929	0.328	9.984	0.228	8.383	0.370
4000	8.732	0.179	7.894	0.093	9.923	0.333	7.915	0.387
5000	8.650	0.248	7.341	0.215	9.701	0.273	7.788	0.148



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความทนแรงดึงของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบกับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1 ทั้งในแนว MD และแนว TD

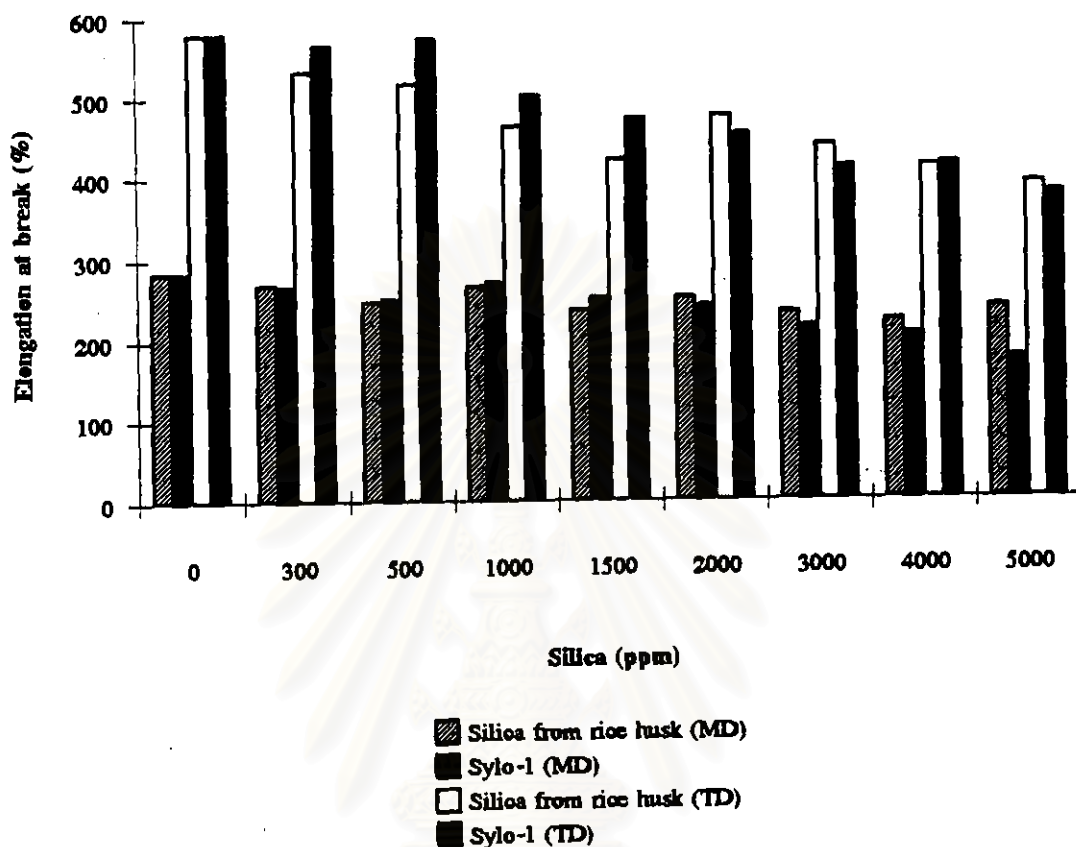
4.2.4 การปิดออกที่จุดขาด

การปิดออกที่จุดขาดของฟิล์ม LDPE ในแนว ID สูงกว่าแนว MD เนื่องจากแนว MD ถูกดึงบิดในกระบวนการเป่าฟิล์มมาบ้างแล้ว และพบว่าแนว ID มีการปิดออกที่จุดขาดจะลดลง เมื่อปริมาณซิลิกาที่ใช้เพิ่มขึ้น ทั้งในฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบและฟิล์มที่เติม Sylo-1 เนื่องจากการปิดออกที่จุดขาดนี้จะวัดได้จากตัวพอลิเมอร์ เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเนื้อพอลิเมอร์จึงมีน้อยลง ทำให้การปิดออกที่จุดขาดลดลง เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบกับฟิล์มที่เติม Sylo-1 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่า ฟิล์มที่เติม Sylo-1 จะมีการปิดออกที่จุดขาดสูงกว่าฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบ เนื่องจาก Sylo-1 บิดเกาะกับเนื้อพอลิเมอร์ได้ดีกว่า จึงทำให้เนื้อพอลิเมอร์ปิดออกได้มาก จนกว่าจะถึงจุดที่ฟิล์มขาดเนื่องจากการแยกออกของอนุภาคซิลิกา กับเนื้อพอลิเมอร์ แต่ซิลิกาจากแกลบ

บีดเกาะกับเนื้อพอลิเมอร์ได้ไม่ดีเท่า Sylo-1 จึงทำให้เกิดการขาดเร็วกว่า ทั้ง ๆ ที่เนื้อพอลิเมอร์ยังบีดออกได้ไม่มาก

ตารางที่ 4.4 การบีดออกที่จุดขาดของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

ปริมาณซิลิกา (ppm)	การบีดออกที่จุดขาด (%)							
	ซิลิกาจากแกลบ				Sylo-1			
	MD		TD		MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0	282.80	26.90	577.40	46.80	282.80	26.90	577.40	46.80
300	268.00	24.80	531.20	27.70	266.30	21.50	563.80	26.00
500	246.90	30.90	516.00	24.20	250.20	26.00	572.60	20.50
1000	264.90	39.90	462.50	29.80	270.40	23.00	500.40	25.00
1500	235.10	19.90	421.60	40.80	250.80	38.50	471.50	52.50
2000	250.60	33.00	474.60	45.00	240.10	26.40	451.90	16.80
3000	231.10	27.70	438.40	38.60	214.60	19.70	410.90	26.10
4000	221.00	22.60	410.50	31.20	204.00	9.50	414.40	23.90
5000	236.30	33.50	388.60	42.50	173.90	10.90	377.90	38.60



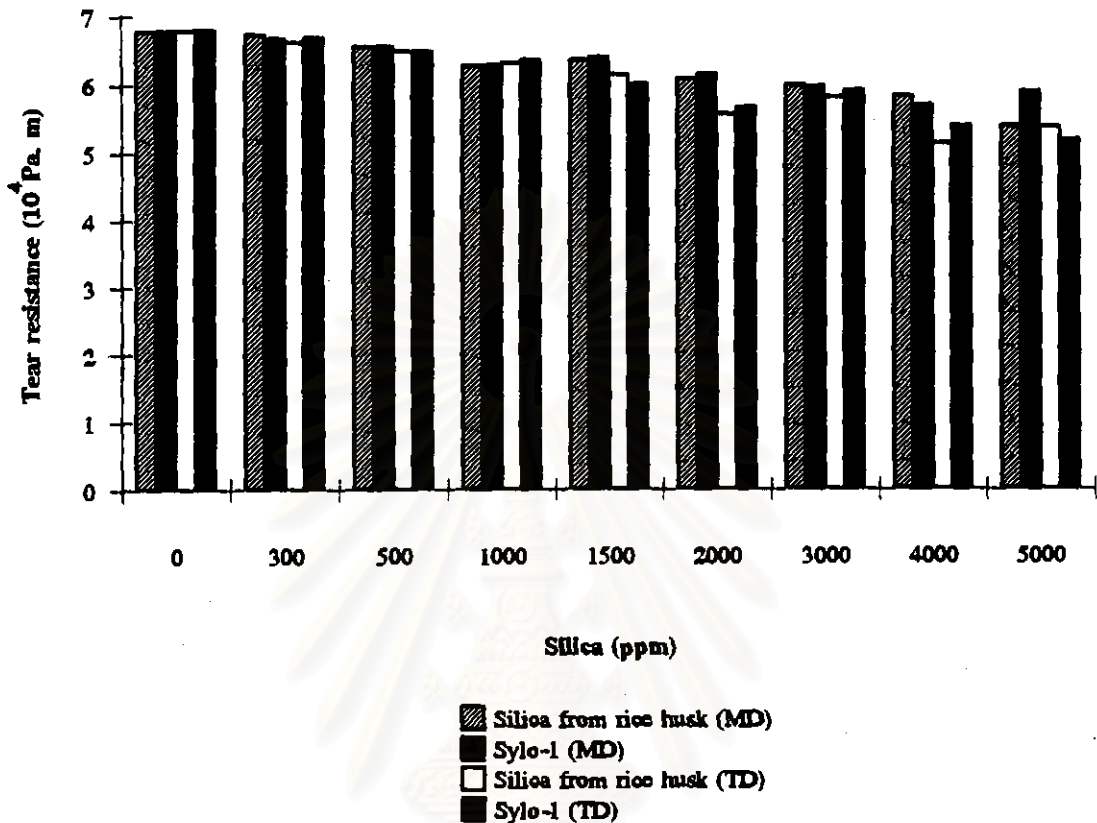
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการยืดออกที่จุดขาดของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบ กับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1 ทั้งในแนว MD และแนว ID

4.2.5 ความต้านทานการฉีกขาด

เมื่อปริมาณซิลิกาที่ใช้เพิ่มขึ้น ความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์ม LDPE จะลดลงเล็กน้อยทั้งฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบ และฟิล์มที่เติม Sylo-1 เนื่องจากซิลิกาจะทำให้เกิดจุดบกพร่องในฟิล์มมากขึ้น ความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์มในแนว MD สูงกว่าในแนว ID เล็กน้อย เป็นผลจากแนว MD มีการเรียงตัวของโมเลกุลดีกว่า จึงมีความแข็งแรงกว่าแนว ID ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และการที่ Sylo-1 ยึดเกาะกับเนื้อพอลิเมอร์ได้ดีกว่าซิลิกาจากแกลบ มีผลให้ความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์มที่เติม Sylo-1 สูงกว่าฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบเล็กน้อย

ตารางที่ 4.5 ความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

ปริมาณซิลิกา (ppm)	ความต้านทานการฉีกขาด (10^4 Pa.m)							
	ซิลิกาจากแกลบ				Sylo-1			
	MD		TD		MD		TD	
	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD	ค่าเฉลี่ย	SD
0	6.78	0.067	6.79	0.052	6.78	0.067	6.79	0.052
300	6.73	0.128	6.62	0.059	6.67	0.045	6.69	0.057
500	6.56	0.028	6.50	0.069	6.57	0.050	6.49	0.046
1000	6.28	0.035	6.33	0.065	6.29	0.041	6.37	0.048
1500	6.38	0.035	6.16	0.071	6.42	0.031	6.03	0.010
2000	6.10	0.053	5.58	0.060	6.16	0.039	5.68	0.072
3000	6.01	0.051	5.83	0.076	5.99	0.028	5.93	0.075
4000	5.85	0.034	5.15	0.091	5.72	0.060	5.42	0.064
5000	5.42	0.091	5.41	0.057	5.93	0.080	5.22	0.055



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกา จากแกลบกับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1 ทั้งในแนว MD และแนว TD

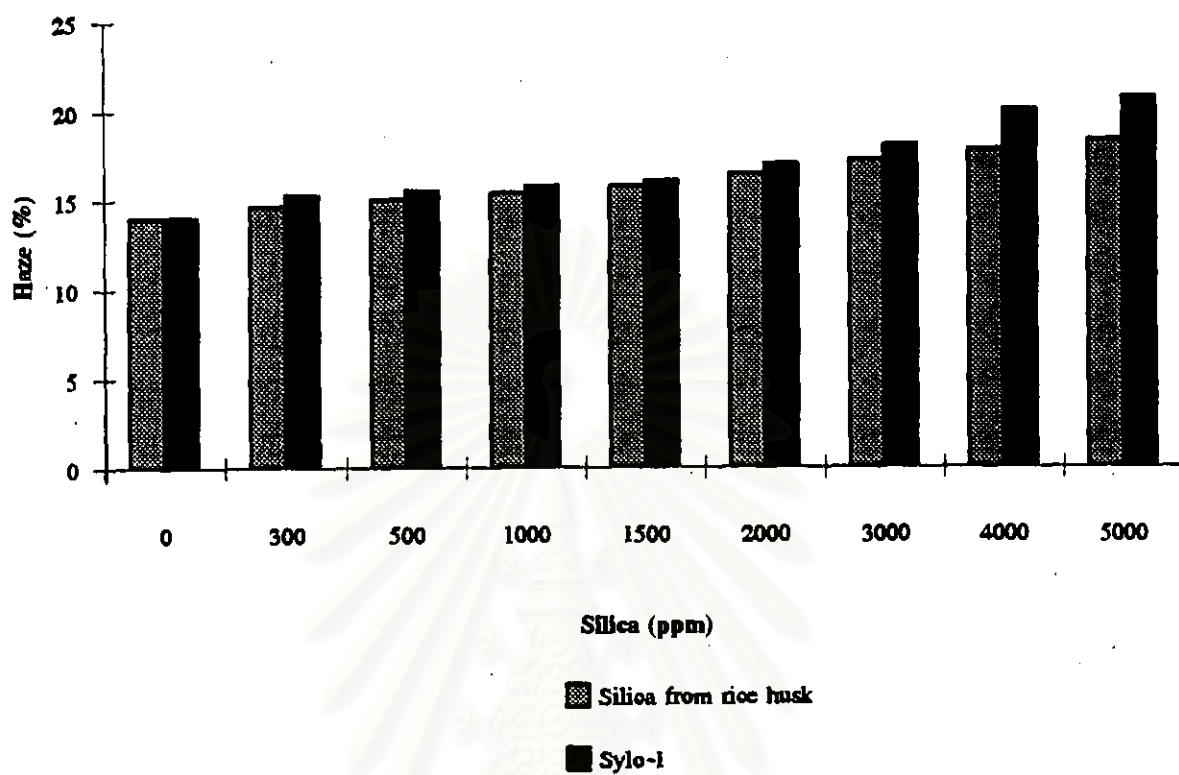
4.2.6 ความฝ้า

ฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1 จะมีความฝ้าสูงกว่าฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เนื่องจาก Sylo-1 มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำกว่าและมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า จึงทำให้แสงที่ส่องผ่านฟิล์ม ตกกระทบอนุภาคซิลิกาที่กระจายอยู่ในฟิล์ม เกิดการกระเจิงของแสงมากกว่าซิลิกาจากแกลบ และแนวโน้มความฝ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซิลิกาที่ใช้เพิ่มขึ้น ทั้งในฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบและฟิล์มที่เติม Sylo-1 ด้วยเหตุผลเดียวกันคือ ถ้าอนุภาคซิลิกากระจายอยู่ในฟิล์มมาก โอกาสที่จะเกิดการกระเจิงของแสงที่ส่องผ่านฟิล์มก็มากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.6 ความฝ้าและความเงามันของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบเปรียบเทียบกับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

ปริมาณซิลิกา (ppm)	ความฝ้า (%)		ความเงามัน (%)	
	ซิลิกาจากแกลบ	Sylo-1	ซิลิกาจากแกลบ	Sylo-1
0	14.03	14.03	65.27	65.27
300	14.63	15.27	63.43	63.20
500	15.03	15.50	62.80	62.33
1000	15.37	15.77	62.30	62.00
1500	15.73	16.03	62.03	61.97
2000	16.37	16.93	60.83	60.87
3000	17.17	18.00	59.57	60.37
4000	17.70	19.93	59.20	58.73
5000	18.23	20.63	56.83	56.17

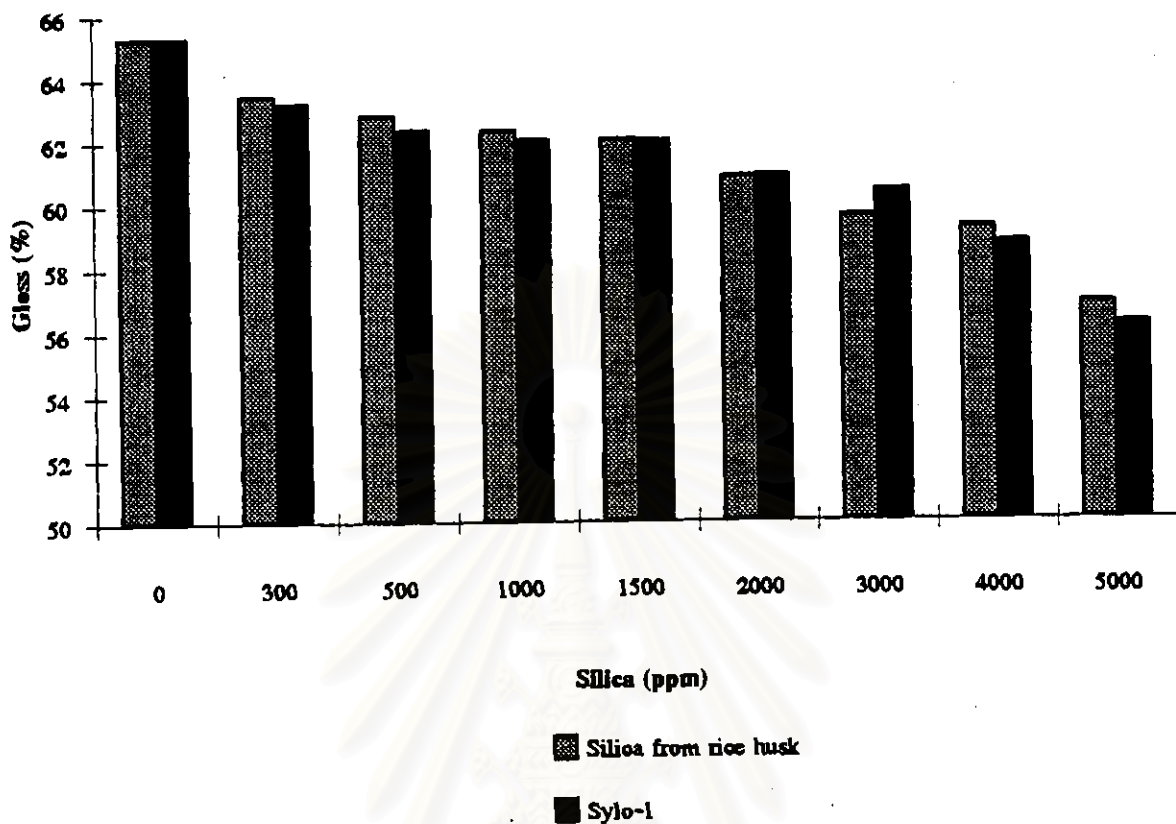
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความฝ้าของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบ กับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

4.2.7 ความเงามัน

ฟิล์มที่มีผิวขรุขระมากกว่า นั่นคือฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1 จะมีความเงามันต่ำกว่าฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และเมื่อปริมาณซิลิกาที่ใช้มากขึ้น ความเงามันของฟิล์มจะลดลง ทั้งฟิล์มที่เติมซิลิกาจากแกลบและฟิล์มที่เติม Sylo-1 เนื่องจากฟิล์มที่มีผิวขรุขระจะสะท้อนแสงได้ไม่สม่ำเสมอ เกิดการเบี่ยงเบนของแสง ทำให้มุมตกกระทบไม่เท่ากับมุมสะท้อน จึงมีความเงามันน้อยกว่าฟิล์มที่มีผิวเรียบ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเงาของฟิล์ม LDPE ที่เติมซิลิกาจากแกลบ กับฟิล์ม LDPE ที่เติม Sylo-1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย