

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 สมบัติของซิลิกาจากแกลบ

จากการเผาแกลบที่ทำปฏิกิริยากับกรดจะได้ซิลิกาที่มีลักษณะขาวรีเหมือนลักษณะของแกลบแต่มีขนาดเล็กสีขาว และปริมาณซิลิกาที่ได้นี้คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 20 ± 2 % ของแกลบเริ่มต้น หลังจากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของซิลิกาจากแกลบและซิลิกาเกรดการค้า (Hi-sil 255)

สมบัติ	ซิลิกาจากแกลบ				(Hi-sil 255)
	ครั้ง			ค่าเฉลี่ย	
	1	2	3		
<u>ข้อมูลทางกายภาพ</u>					
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.43	0.44	0.38	0.41 ± 0.03	0.240 ± 0.025
ความเป็นกรด – เบส	8.85	9.64	9.14	9.30 ± 0.39	6.8 ± 0.4
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)				27.1	170 ± 15
<u>องค์ประกอบทางเคมี</u>					
ซิลิกา (SiO ₂) %	95.00	96.93	95.93	95.95 ± 0.96	> 88

จากตารางที่ 4.1 ซิลิกาที่ผลิตได้จากแกลบ มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรสูงกว่าซิลิกาเกรดการค้า มีความเป็นเบสสูงกว่าซิลิกาเกรดการค้าซึ่งสมบัตินี้จะมีส่วนเกี่ยวข้องในการศึกษาลักษณะการคงรูปของยาง และพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาจากแกลบมีค่าต่ำกว่าซิลิกาเกรดการค้ามาก สำหรับองค์ประกอบทางเคมีซิลิกาที่ได้จากแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าซิลิกาเกรดการค้ามาก

4.2 ลักษณะการคงรูปของยาง

จากการทดสอบลักษณะการคงรูปของยางด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแก้ว (ODR) ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ซึ่งแสดงถึงความหนืดของยางคอมพาวด์ของยางที่ยังไม่คงรูป ก็คือความสามารถในการไหลของยางคอมพาวด์ พบว่า ยางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณ 50 phr มีค่าแรงบิดต่ำสุดมากกว่ายางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบที่ 50 phr ส่วนยางที่เสริมแรงด้วยเขม่าดำและซิลิกาจากแกลบจะมีค่าแรงบิดต่ำสุดสูงขึ้นเมื่อลดปริมาณของซิลิกาจากแกลบลง

ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) แสดงถึงความแข็งของยางคอมพาวด์ที่ได้คงรูปแล้ว พบว่า ยางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบที่ 50 phr มีค่าน้อยกว่าที่เสริมแรงด้วยซิลิกาเกรดการค้าที่ปริมาณ 50 phr

ค่า $M_H - M_L$ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอันตรกิริยาของยาง พบว่า ซิลิกาซึ่งมีความเป็นขั้วสูงก็จะมีอันตรกิริยาสูงกว่าเขม่าดำดังค่าที่ได้จากสูตรที่ใส่สารเสริมแรงคือ ซิลิกาเกรดการค้าเปรียบเทียบกับเขม่าดำที่ปริมาณ 50 phr มีค่า 24.48 , 13.56 ตามลำดับ แต่ค่าของสูตรที่เสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบมีค่าน้อยกว่าสูตรที่เสริมแรงด้วยเขม่าดำน่าจะมาจากความเป็นกรด-ด่างของซิลิกาจากแกลบที่มีค่าความเป็นเบสสูง

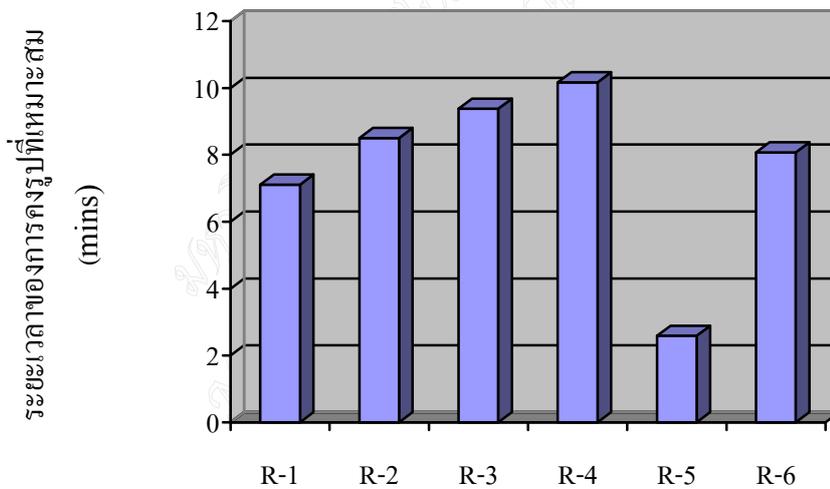
ค่า t_{2} คือระยะเวลาที่ยางคอมพาวด์เริ่มสุก พบว่าสูตรที่ใช้เขม่าดำที่ 50 phr มีค่ามากที่สุดและสูตรที่ใช้ซิลิกาเกรดการค้าที่ 50 phr มีค่าน้อยที่สุด

ค่า t_{90} คือค่าระยะเวลาของการคงรูปที่เหมาะสม พบว่า สูตรที่ใช้ซิลิกาเกรดการค้าจะมีค่าระยะเวลาของการคงรูปที่สูงกว่าสูตรที่ใช้ซิลิกาจากแกลบเป็นสารเสริมแรง เนื่องจากความเป็นกรดของซิลิกาเกรดการค้าจะหน่วงปฏิกิริยาการคงรูป แต่ถ้าซิลิกาจากแกลบมีค่าความเป็นเบสสูงจึงเร่งอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปให้เกิดเร็วขึ้นด้วย ดังรูป 4.1

สารเสริมแรงซิลิกาจากแกลบช่วยให้อายุในการคงรูปสั้นลง เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาจากแกลบระยะเวลาที่จะสั้นลงอีกแตกต่างจากซิลิกาเกรดการค้าที่ใช้ระยะเวลาในการคงรูปที่นานกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาเกรดการค้าระยะเวลาในการคงรูปก็จะนานขึ้นอีก เมื่อเปรียบเทียบซิลิกาทั้งสองชนิดต่อความหนืดและความแข็ง ปรากฏว่าซิลิกาจากแกลบมีค่าความแข็งที่สูงกว่าซิลิกาเกรดการค้า แต่เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกา ซิลิกาจากแกลบกลับมีค่าลดลงแตกต่างจากซิลิกาเกรดการค้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของซิลิกาจากแกลบมีลักษณะที่ใหญ่และผิวขรุขระต่างจากซิลิกาเกรดการค้าที่มีลักษณะที่เล็กกว่าและผิวไม่ขรุขระ และอนุภาคมีผลให้เมื่อใช้ปริมาณซิลิกาที่มากความแข็งของยางจะลดลง เนื่องจากซิลิกาจะไปจับตัวรวมกันไม่กระจายในยางอย่างสม่ำเสมอ ส่วนสูตรที่ใช้ซิลิกาจากแกลบและเขม่าดำเป็นสารเสริมแรงร่วมกันจะมีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมากนักแต่คุณสมบัติดีกว่าการเติมซิลิกาเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.2 ผลของปริมาณสารเสริมแรงในการศึกษาลักษณะของการคงรูป

ตัวอย่าง	สารเสริมแรง			T _s 2 (mins)	t _c 90 (mins)	M _L (dN.m)	M _H (dN.m)	M _H - M _L (dN.m)
	งวมำดำ (phr)	ซีลิกาจาก แคลบ (phr)	Hi-Sil255 (phr)					
R-1	-	50.00	-	2.07	7.11	0.71	12.26	11.55
R-2	25.00	25.00	-	3.46	8.50	10.33	68.00	57.67
R-3	37.50	12.50	-	3.54	9.38	11.07	68.75	57.68
R-4	43.75	6.25	-	3.96	10.17	13.01	68.37	55.36
R-5	50.00	-	-	4.00	10.41	2.59	16.15	13.56
R-6	-	-	50.00	0.04	21.41	8.07	32.55	24.48



รูปที่ 4.1 ค่าระยะเวลาของการคงรูปที่เหมาะสมของสารประกอบยาง

4.3 ทดสอบสมบัติของยางคงรูป

4.3.1 ความต้านทานต่อแรงดึง

จากผลการทดสอบ 6 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง สรุปได้ว่าสูตรที่ใช้สารเสริมแรงเขม่าดำมากที่สุดจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อแรงดึงได้ดีที่สุด แต่สูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงน้อยที่สุด เมื่อนำไปบ่มเร่งแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติต้านทานต่อแรงดึงอีกครั้ง สูตรที่ใช้สารเสริมแรงซิลิกาเกรดการค้าจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อแรงดึงได้ดีที่สุด แต่สูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงน้อยที่สุดเช่นเดิมดังตารางที่ 4.3

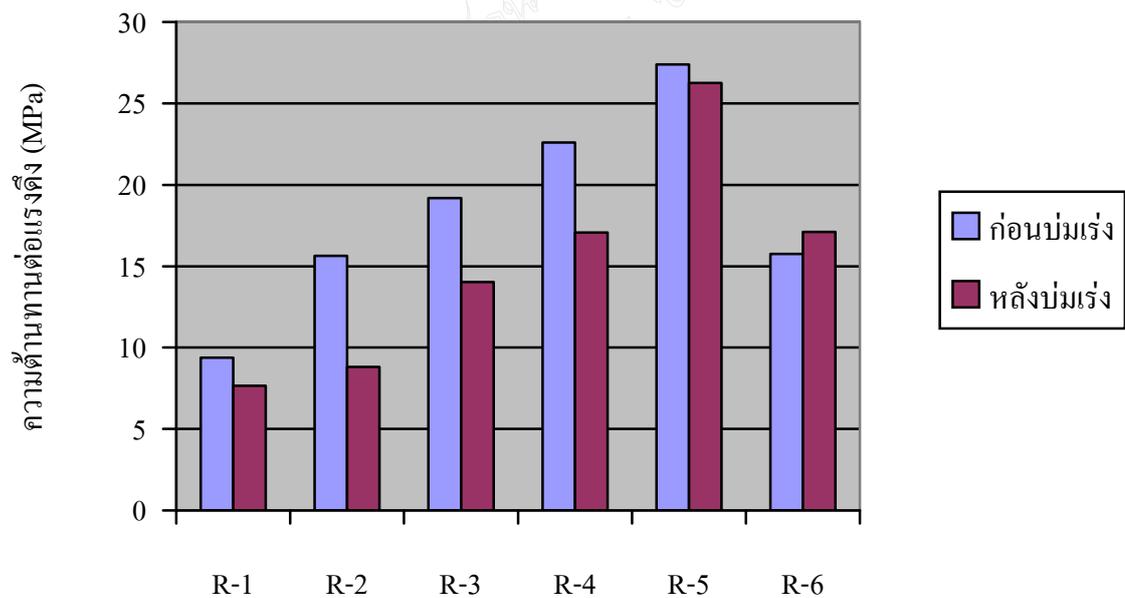
ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของสูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงจะมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดได้ดีที่สุด แต่สูตรที่เขม่าดำมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดน้อยที่สุด เมื่อนำไปบ่มเร่งแล้วนำมาทดสอบค่าการยืดตัว ณ จุดขาดอีกครั้ง สูตรที่ใช้สารเสริมแรงซิลิกาเกรดการค้าจะมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดได้ดีที่สุด แต่สูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดน้อยที่สุดเช่นเดิมดังตารางที่ 4.4

คุณสมบัติด้านมอดูลัส 100% และ 300% เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน คือของสูตรที่ใช้สารเสริมแรงเขม่าดำมากที่สุดจะมีคุณสมบัติด้าน มอดูลัส ได้ดีที่สุด แต่สูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงคุณสมบัติด้าน มอดูลัสจะน้อยที่สุด เมื่อนำไปบ่มเร่งแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติ มอดูลัส เป็นไปในรูปแบบเดียวกันอีกครั้ง สูตรที่มีสารเสริมแรงเขม่าดำมากที่สุดจะมีคุณสมบัติจะมีคุณสมบัติ มอดูลัส ได้ดีที่สุด แต่สูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรงมีค่า มอดูลัสน้อยที่สุดเช่นเดิมดังตารางที่ 4.5

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของยางคงรูปอธิบายได้ว่า เนื่องจากสารเสริมแรงคือองค์ประกอบเพื่อให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เพิ่มความหนืดของยางคอมพาวด์และปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ทำให้เมื่อเราเติมสารเสริมแรงจะส่งผลให้ค่ามอดูลัส และความแข็งเพิ่มขึ้น แต่การยืดตัว ณ จุดขาดลดลง ตรงตามหลักการ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางในแต่ละสูตร

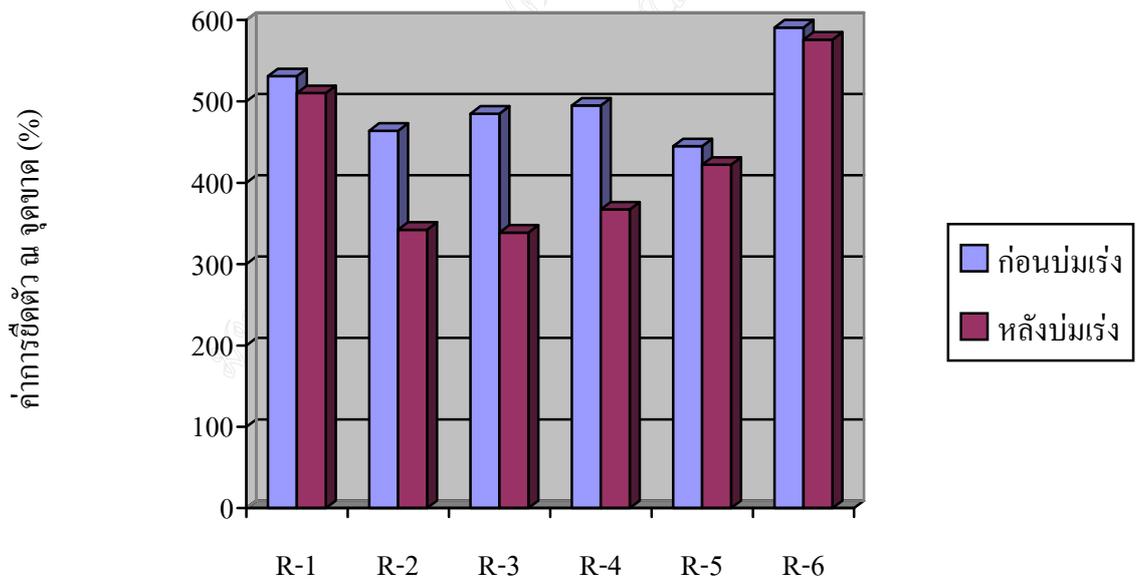
ตัวอย่าง	ความต้านทานต่อแรงดึง (MPa)	
	ค่าเฉลี่ยก่อนบ่มแรง	ค่าเฉลี่ยหลังบ่มแรง
R-1	9.38± 0.27	7.65± 1.65
R-2	15.63 ± 0.86	8.81 ± 2.42
R-3	19.18 ± 0.84	14.03 ± 2.80
R-4	22.60 ± 1.04	17.07 ± 2.49
R-5	27.39± 0.92	26.25± 0.76
R-6	15.75± 1.02	17.11±1.18



รูปที่ 4.2 ความต้านทานต่อแรงดึงของสารประกอบยาง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าการยึดตัว ณ จุดขาดของยางในแต่ละสูตร

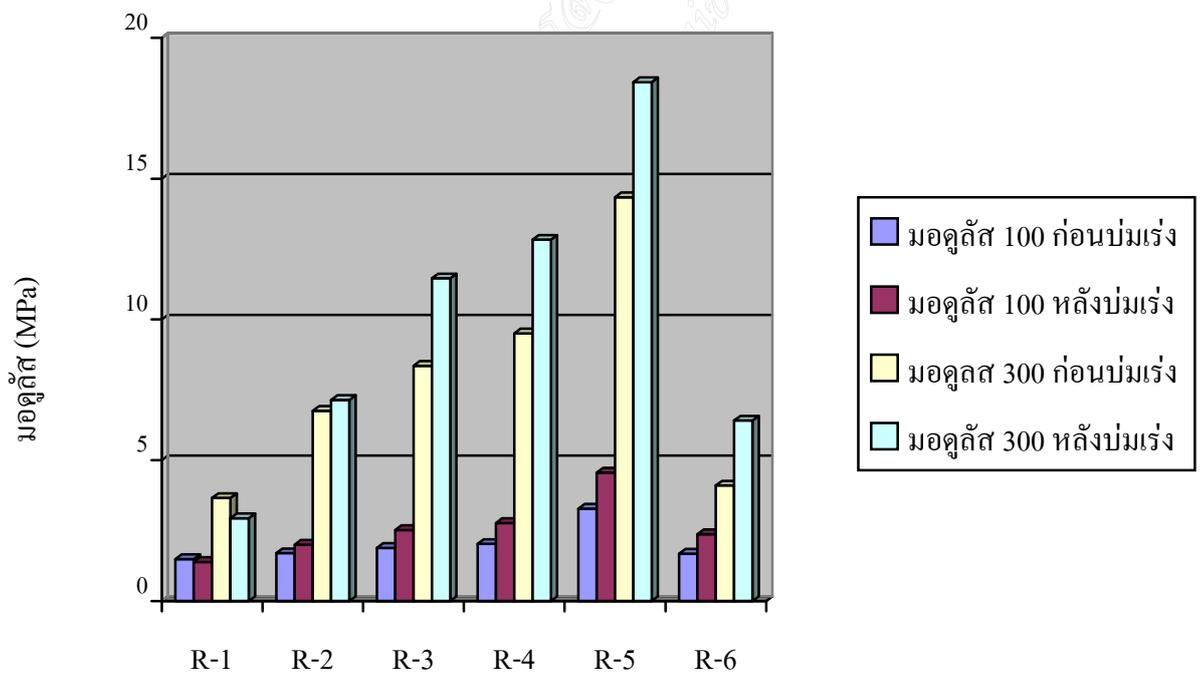
ตัวอย่าง	ค่าการยึดตัว ณ จุดขาด (%)	
	ค่าเฉลี่ยก่อนบ่มเร่ง	ค่าเฉลี่ยหลังบ่มเร่ง
R-1	531.11± 30.24	510.29± 27.08
R-2	463.89 ± 58.76	342.32 ± 51.49
R-3	485.00 ± 59.03	338.82 ± 39.98
R-4	495.03 ± 53.40	367.23 ± 42.87
R-5	444.85± 34.87	422.15± 26.20
R-6	590.81± 91.20	575.98± 88.90



รูปที่ 4.3 ค่าการยึดตัว ณ จุดขาดของสารประกอบยาง

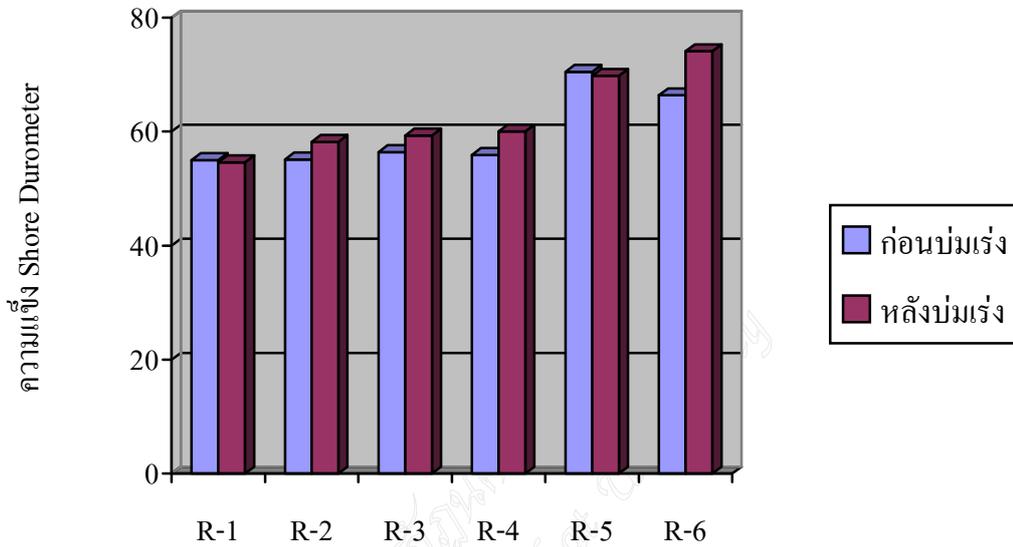
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสของยางในแต่ละสูตร

ตัวอย่าง	โมดูลัส 100% (MPa)		โมดูลัส 300% (MPa)	
	ค่าเฉลี่ยก่อนบ่มแรง	ค่าเฉลี่ยหลังบ่มแรง	ค่าเฉลี่ยก่อนบ่มแรง	ค่าเฉลี่ยหลังบ่มแรง
R-1	1.49± 0.04	1.39± 0.06	3.66± 0.12	2.94± 0.19
R-2	1.70 ± 0.06	2.00 ± 0.14	6.76 ± 1.54	7.14 ± 0.63
R-3	1.89 ± 0.16	2.52 ± 0.38	8.35 ± 1.69	11.46 ± 1.26
R-4	2.03 ± 0.09	2.77 ± 0.20	9.51 ± 0.34	12.83 ± 0.74
R-5	3.28± 0.11	4.56± 0.27	14.34± 0.63	18.43± 0.95
R-6	1.68± 0.61	2.37± 0.74	4.1± 1.53	6.41± 2.89



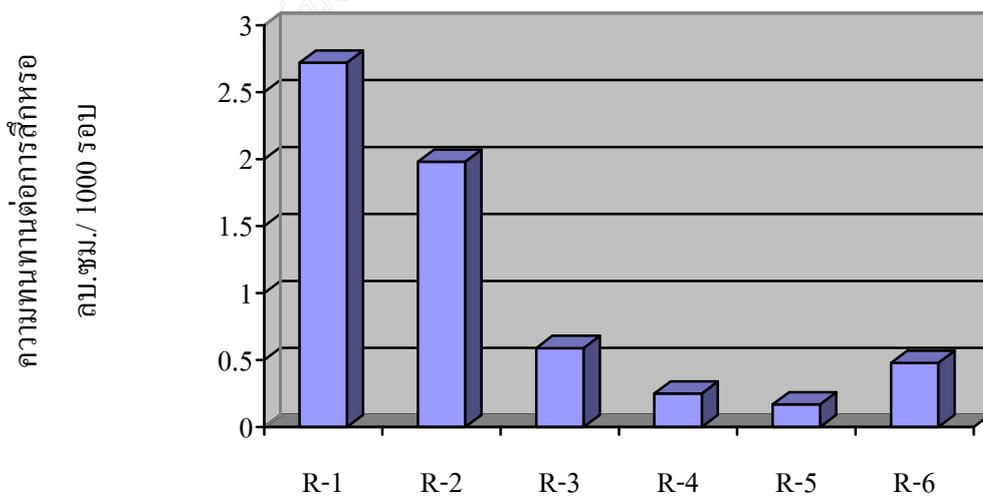
รูปที่ 4.4 ค่าโมดูลัสของสารประกอบยาง

4.3.2 ความแข็ง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า R-6 มีความแข็งมากที่สุดเนื่องจากโมเลกุลของซิลิกาเกิดการค้ำสามารถรวมตัวกับสารประกอบยาง ได้ดีกว่าซิลิกาจากแคลบ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 ความแข็งของสารประกอบยาง

4.3.3 ความทนทานต่อการสึกหรอ จากผลการทดลองพบว่า R-1 มีค่ามากที่สุดแสดงว่าสึกหล่อได้ดีที่สุด ส่วน R-6 ทนทานต่อการสึกหรอได้ดีที่สุด



รูปที่ 4.6 ความทนทานต่อการสึกหรอของสารประกอบยาง