

รายการอ้างอิง

1. นุชนาฏ ญ ระนอง. การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยาง. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2542.
2. นิศาชล ชินพันธ์. เปรียบเทียบการปรับสภาพผิวซิลิกาชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยาง. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
3. ปรีชา ป້องภัย. การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย : ปัตตานี. 2534.
4. พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. 2528.
5. พลชิต บัวแก้ว. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางแห้ง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2542.
6. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียางสังเคราะห์. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร เทคโนโลยียางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2542.
7. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียาง (ยางสังเคราะห์) เรื่องการออกสูตรยางและกระบวนการผลิต. เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียางธรรมชาติ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2541.
8. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตรี. เทคโนโลยียาง. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. 2537.
9. สถาบันวิจัยยาง. การทดสอบมาตรฐานยางแท่ง เอส ที อาร์ กรุงเทพมหานคร. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
10. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 749-2351. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2531.
11. ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ. ยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.
12. A. D. Roberts. Natural Rubber Science and Technology. Brickendonbury : Oxford University Press. 1988.
13. An American National Standard. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic. Annual book of ASTM Standard. 08.91 (1991): 159-171.

14. B. Jurkoska, Y. A. Olkhov, B. Jurkowsi, O. M. Olkhova. Study of Butadiene Rubber Mastication and Mixing with Carbon black. J. of Applied Polymer Science Vol.71. 1999 : pp. 729-737.
15. Bunpot. A Study of Structures-Properties of Rubber Vulcanisates by Dynamic Mechanical Analyzer. Master Thesis. Polymer Science Mahidol University.1994.
16. BST Elastomer Co., LTD. Quality Report BR 01. Cert. NO. QA/99-00302. 1999.
17. C. M. Blow and C. Hepburn. Rubber Technology and Manufacture. 2 nd. Edition. The Plastic and Rubber Institute. 1982.
18. C. M. Van Turnhout. Rubber Chemicals. Dordrech : R.Reidel. 1973.
19. Fred W. Barlow. Rubber Compounding : Principles, Materials and Techniques. 2 nd Edition : NewYork. Dekker. 1993.
20. G. M Bristow. Effect of Mixing Procedure on Properties of Natural Rubber Blends with Polybutadiene. NR Technology Vol.49. part 1. 1978 : pp.1-5.
21. Harold E. Treler and Michael C. H. Lee. Effect of Types of Carbon Black and Cure Conditions a Dynamic Mechanical Properties of Elastomers. Research Publication GMR-4908. 1985.
22. H. Cochrane and C. S. Lin. The Influence of Fumed Silica Properties on the Processing Curing and Reinforcement Properties of Silica Rubber. Rubber Chemistry and Technology Vol. 66. 1993 : pp. 48-60.
23. H. J. Stern. Rubber : Natural and Synthetic. 2 nd Edition (n.p.) : Palmerton Publishing Co.Inc. 1967.
24. International Organization for Standard. International Standard ISO 6907-1994. 2 nd Edition : Switzerland. 1994.
25. J. E. Mark, B. Erman and F. R. Eirich. Science and Technology of Rubber. 2 nd. Edition : Sandiago. Academic Press. 1994.
26. John Andrew, Brydson. Rubber Chemistry. 1 st Edition. London : Applied Science. 1978.
27. L. Batemen. The Chemistry and Physical of Rubber – like Substance. (n.p.) : The Natural Rubber Research Association. 1963.

28. Maurice Moton. Rubber Tecnology. 2 nd Edition. Ohio : Institute of Polymer Science The University of Arkon 1973.
29. Mark L. Kravich and Jack L. koenig. FTIR Analysis of Silica-Filled Natural Rubber. Rubber Chemistry and Technology Vol.71. 1998 : pp. 300-309.
30. Meng – Jiao Wang. Effect of Polymer-Filler and Filler-Filler Interactions on Dynamic Properties of Filled Vulcanizates. Rubber Chemistry and Technology Vol.71. 1998 : pp. 520-589.
31. M. P. Wagner. Reinforcing Silicas and Silicates. Rubber Chemistry and Technology Vol. 49. 1976: pp. 703-774.
32. N. Sombatsompop. Dynamic Mechanical Properties of Ground Flexible Polyurethane Foam Particles and Carbon black-Filled Rubber Vulcanisates. Polym.-Plast. Technol. Eng Vol. 37. 1998 : pp. 1-18.
33. Peter J. Haines. Thermal Methods of Analysis: Principle Applications and problems. First Edition : (n.p.) 1995.
34. PPG Siam Silica Co., Ltd. Quality and Analysis Certificated Hi-sil 255. Lot No.E-27-99. 1999.
35. R. F. Grossman. The Mixing of Rubber.1 st Edition. London : Chapman & Hall. 1997.
36. Siegfried Wolff and Meng-Jiao Wang, Filler-Elastomer interactions. Part IV. The Effect of The Surface Energies of Fillers on Elastomer Reinforcement. Rubber Chemistry and Technology Vol. 65. 1992 : pp. 329-342.
37. Sudarsan Maiti, S. K. De, and Anolk. Bhowmick. Quantitative Estimation of Filler Distribution in Immiscible Rubber Blends by Mechanical Dumping Studies. Rubber Chemistry and Technology Vol. 65. 1992. pp. 293-302.
38. Valeporn thmmathadanukul, John H. O'Haver, Jeffarey H. Harwell, Somchai Osuwan, Nuchanat na-ranong, Wlter H. Waddell, Comparison of rubber reinforcement Using Various surface Modified precipitated Silicas. J. of Applied Polymer Science Vol.59. 1996 : pp. 1741-1750.
39. Walter H. Waddel and Larry R. Evans. Use of Nonblack Fillers in Tires Compounds. Rubber Chemistry and Technology Vol. 69. 1996. pp. 377-423.
40. W. Hess, P. C. Vegvari, and R. A. Swor, Carbon black in NR/BR Blends for Truck Tires. Rubber Chemistry and Technology Vol. 58. 1985 : pp. 350 –382.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การคำนวณปริมาณของยางผสมสารเคมี

การคำนวณปริมาณของยางผสมสารเคมีไม่ให้เกิดความจุของเครื่องบดผสมแบบปิด ซึ่งสามารถจุยางได้ 3500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้านำยางมาผสมมากเกินไปจะทำให้การบดผสมไม่มีประสิทธิภาพ คือ สารเคมีต่าง ๆ ที่ทำการบดผสมจะเข้ากับยางได้ไม่ทั่วถึง และใช้พลังงานในการบดผสมมาก

ถ้าให้

(phr)_i เป็นน้ำหนักขององค์ประกอบในสูตรยาง

s_i เป็นความถ่วงจำเพาะขององค์ประกอบในสูตรยาง

V_B เป็นปริมาตรยางผสม

จะได้ความถ่วงจำเพาะยางผสม ดังนี้

$$\begin{aligned} s_1 &= \sum (\text{phr})_i / V_B \\ &= \sum (\text{phr})_i / \sum ((\text{phr})_i / s_i) \end{aligned}$$

สำหรับการผสมในเครื่องผสมแบบปิดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ไม่ใช่ใช้ปริมาตรของยางผสมเท่ากับความจุของห้องผสมของเครื่อง แต่ใช้ค่าความจุที่เรียกว่า Fill Factor (F)

$$F = V_B / V_C$$

โดย

V_B เป็นปริมาตรของยางผสม

V_C เป็นปริมาตรของห้องผสม

ดังนั้นน้ำหนักของยางผสมสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} Q &= \text{ปริมาตร} \times \text{ถ.พ.} \\ &= F \times V_C \times s_1 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

องค์ประกอบ	phr	ถ.พ.	ปริมาตร	น้ำหนัก
ยางธรรมชาติ	60	0.92	65.22	911.14
ยางพอลิวิทาไดอิน	40	0.90	44.44	607.43
ซิลิกา	30	1.95	15.39	455.57
PEG	2	1.09	1.84	30.37
Paraffinic Oil	3	0.98	3.06	45.56
Zinc oxide	4	5.57	0.72	60.74
Stearic acid	2	0.85	2.35	30.37
Wing Stay L	4	1.09	3.67	60.74
MBTS	0.8	1.54	0.52	12.15
TMTD	1	1.42	0.70	15.19
กำมะถัน	0.8	2.10	0.38	12.15
รวม	147.60		138.29	2241.41

ดังนั้นความถ่วงจำเพาะของยางผสม (s) มีค่าเท่ากับ $147.60 / 138.29 = 1.067$

ถ้า $F = 0.6$

$$V_c = 3500$$

จะได้ขนาดของยางผสมดังนี้

$$Q = 0.6 \times 3500 \times 1.067$$

$$= 2241.38 \text{ กรัม}$$

จะได้ Multiplying factor (M.F.) คือ

$$M.F. = Q / \text{phr}$$

$$= 2241.38 / 147.60$$

$$= 15.185$$

จากนี้ ต้องนำค่า M.F. มาคูณ phr จะได้น้ำหนักของยางและสารเคมี ตามสูตร คือ

$$\text{น้ำหนักขององค์ประกอบ} = M.F. \times \text{phr ของแต่ละองค์ประกอบ}$$

ตาราง ก.1 น้ำหนักของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม).						
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7
ยางธรรมชาติ	1200	960	720	600	480	240	0
ยางพอลิวิทาไดอิน	0	240	480	600	720	960	1200
Zinc oxide	60	60	60	60	60	60	60
Stearic acid	24	24	24	24	24	24	24
Wing Stay L	24	24	24	24	24	24	24
CBS	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4
กำมะถัน	30	30	30	30	30	30	30
รวม	1352.4	1352.4	1352.4	1352.4	1352.4	1352.4	1352.4

ตาราง ก.2 น้ำหนักของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร ในส่วนที่ 2

วัตถุดิบ	อัตราส่วน (phr)	น้ำหนัก (กรัม)			
		สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10	สูตร 11
ยางธรรมชาติ	100	1794.24	1529.25	1463.72	1422.97
ยางพอลิวิทาไดอิน	0	0	0	0	0
ซิลิกา	0,30,40,50	0	458.78	585.49	711.49
PEG	0,2,2,2	0	30.59	29.27	28.46
Paraffinic Oil	0,3,4,5	0	45.88	58.55	42.69
Zinc oxide	4	71.77	61.17	58.55	56.92
Stearic acid	2	35.88	30.59	29.27	28.46
Wing Stay L	4	71.77	61.17	58.55	59.92
MBTS	0.8	14.35	12.23	11.71	11.38
TMTD	1	17.94	15.29	14.64	14.23
กำมะถัน	0.8	14.35	12.23	11.71	11.38
รวม		2020.32	2257.18	2321.45	2384.9

ตาราง ก.3 น้ำหนักของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร ในส่วนที่ 2 (ต่อ)

วัตถุดิบ	อัตราส่วน (phr)	น้ำหนัก (กรัม)			
		สูตร 12	สูตร 13	สูตร 14	สูตร 15
ยางธรรมชาติ	80	1429.49	1219.11	1167.04	1119.24
ยางพอลิবিဘာထိုခိး	20	357.37	304.78	291.76	279.81
ซิลิกา	0,30,40,50	0	457.17	583.52	699.52
PEG	0,2,2,2	0	30.48	29.18	27.98
Paraffinic Oil	0,3,4,5	0	45.72	58.35	69.95
Zinc oxide	4	71.47	60.96	58.35	55.96
Stearic acid	2	35.74	30.48	29.18	27.98
Wing Stay L	4	71.47	60.96	58.35	55.96
MBTS	0.8	14.29	12.19	11.67	11.19
TMTD	1	17.87	15.24	14.59	13.99
กำมะถัน	0.8	14.29	12.19	11.67	11.19
รวม		2012.01	2249.27	2313.66	2372.78

ตาราง ก.4 น้ำหนักของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร ในส่วนที่ 2 (ต่อ)

วัตถุดิบ	อัตราส่วน (phr)	น้ำหนัก (กรัม)			
		สูตร 16	สูตร 17	สูตร 18	สูตร 19
ยางธรรมชาติ	70	1248.24	1064.86	1019.45	977.76
ยางพอลิবিဘာထိုခိး	30	534.96	456.37	436.91	419.04
ซิลิกา	0,30,40,50	0	456.37	582.54	698.40
PEG	0,2,2,2	0	30.42	29.13	27.94
Paraffinic Oil	0,3,4,5	0	45.64	58.25	69.84
Zinc oxide	4	71.33	60.85	58.25	55.87
Stearic acid	2	35.66	30.42	29.13	27.94
Wing Stay L	4	71.33	60.85	58.25	55.87
MBTS	0.8	14.27	12.17	11.65	11.17
TMTD	1	17.83	15.21	14.56	13.97
กำมะถัน	0.8	14.27	12.17	11.65	11.17
รวม		2007.88	2245.33	2309.79	2368.97

ตาราง ก.5 น้ำหนักของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร ในส่วนที่ 2 (ต่อ)

วัตถุดิบ	อัตราส่วน (phr)	น้ำหนัก (กรัม)			
		สูตร 20	สูตร 21	สูตร 22	สูตร 23
ยางธรรมชาติ	40	1067.73	911.14	872.36	836.74
ยางพอลิবিဘာထိုအိၣ်	60	711.82	607.43	581.57	557.82
ซิลิกา	0,30,40,50	0	455.57	581.57	697.28
PEG	0,2,2,2	0	30.37	29.08	27.89
Paraffinic Oil	0,3,4,5	0	45.56	58.16	69.73
Zinc oxide	4	71.18	60.74	58.16	55.78
Stearic acid	2	35.59	30.37	29.08	27.89
Wing Stay L	4	71.18	60.74	58.16	55.78
MBTS	0.8	14.24	12.15	11.63	11.16
TMTD	1	17.80	15.19	14.54	13.95
กำมะถัน	0.8	14.24	12.15	11.63	11.16
รวม		2003.78	2241.41	2305.93	2365.17

ตาราง ก.6 น้ำหนักของวัตถุดิบต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร ในส่วนที่ 2 (ต่อ)

วัตถุดิบ	อัตราส่วน (phr)	น้ำหนัก (กรัม)			
		สูตร 24	สูตร 25	สูตร 26	สูตร 27
ยางธรรมชาติ	0	0	0	0	0
ยางพอลิবিဘာထိုအိၣ်	100	1757.96	1502.82	1439.48	1400.06
ซิลิกา	0,30,40,50	0	450.85	575.79	700.03
PEG	0,2,2,2	0	30.06	28.79	28.00
Paraffinic Oil	0,3,4,5	0	45.08	57.58	42.00
Zinc oxide	4	70.32	60.11	57.58	56.00
Stearic acid	2	35.16	30.06	28.79	28.00
Wing Stay L	4	70.32	60.11	57.58	56.00
MBTS	0.8	14.06	12.02	11.52	11.20
TMTD	1	17.58	15.03	14.39	14.00
กำมะถัน	0.8	14.06	12.02	14.52	11.20
รวม		1979.46	2218.16	2283.02	2346.50

ภาคผนวก ข
การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางคงรูป

1. ความต้านทานแรงดึง [1,3,11]

การทดสอบยางโดยการดึงให้ยืดออก เป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายและนิยมใช้กันมาก เพราะผลที่ได้สามารถบอกถึงสมบัติเชิงกลพื้นฐานของยาง เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความเหนียว ความเปราะ และลักษณะการแตกหัก หรือฉีกขาดของยาง

ชิ้นงานที่จะนำทดสอบเป็นชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปให้เป็นแผ่น (sheet curve) มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นยางที่ได้มาตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม (compress air sample cutter) ให้เป็นรูปดัมเบลล์ (dumbbell) โดยจะตัดชิ้นงานทางด้านแนวเครื่อง คือ ตัดชิ้นงานให้ตั้งตามแนวที่ยางถูกบดออกมา จากนั้นนำมาทดสอบหาสมบัติความต้านทานแรงดึง โดยใช้ Load cell ขนาด 500 นิวตัน โดยมีเลเซอร์เป็นอุปกรณ์วัดความยืดของยาง ชุดเครื่องดึงต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อบันทึกผลการทดสอบ และสามารถพิมพ์ผลการทดสอบลงบนเครื่องพิมพ์ได้

ก่อนทำการทดสอบชิ้นงานจะวัดความหนา โดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่สามารถวัดได้ละเอียด ± 0.005 มิลลิเมตร จากนั้นนำชิ้นงานมายึดจับด้วยหัวจับ (grip) เมื่อเริ่มทดสอบหัวจับด้านบนจะเลื่อนขึ้น ขณะที่หัวจับด้านล่างอยู่กับที่แรงที่ใช้ดึงชิ้นงานตลอดระยะยืดออกจะถูกบันทึกไว้ จนยางถูกยืดจนขาด

ความเค้นดึง (tensile stress) หมายถึง แรงดึงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เดิมของชิ้นทดสอบ

$$S = F/A$$

โดย S เป็นความเค้นดึง (Mpa หรือ N/mm^2)

F เป็นแรงดึง (N, นิวตัน)

A เป็นพื้นที่หน้าตัดเดิม (mm^2 , ตร.มม.)

โมดูลัส (modulus) หมายถึง ความเค้นดึงที่ความยืดที่กำหนด

เช่น โมดูลัส 300 % คือ ความเค้นที่ความยืด 300 %

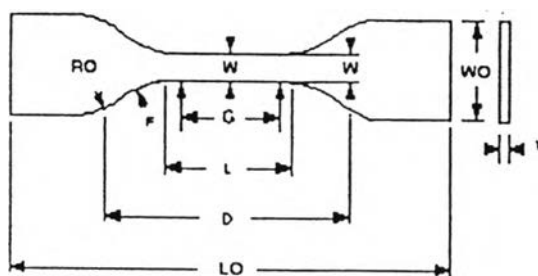
$$\text{โมดูลัส 300 \%} = F_m/A$$

เมื่อ F_m เป็นแรงดึงที่ทำให้ยางยืดออก 300 % (N)

ความยืดเมื่อขาดหรือความยืดสูงสุด (elongation at break) หมายถึง ส่วนยืดขาด หรือ ส่วนยืดสูงสุด

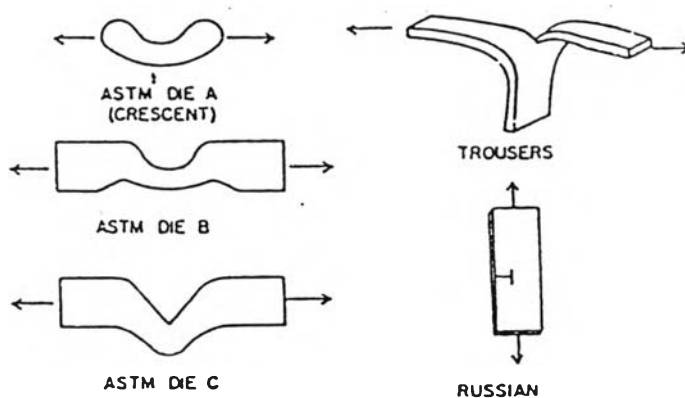
$$EB = [(L_u - L_0)/L_0] \times 100$$

เมื่อ	EB	เป็นความยืด (%)
	L_u	เป็นความยาวระหว่างขีดบนขึ้นทดสอบ (มม.)
	L_0	เป็นความยาวระหว่างขีดเดิม (มม.)



รูปที่ ข.1 ลักษณะขึ้นทดสอบความยาวแบบดัลเบล

2. ความต้านทานต่อการฉีกขาด [8]



รูปที่ ข.2 ขึ้นทดสอบหาความต้านทานต่อการฉีกขาดแบบต่าง ๆ [8]

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีหลายรูปแบบ ดังรูปที่ ข.2 ส่วนแบบที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ แบบ ASTM die c เรียกว่า แบบ "angle"

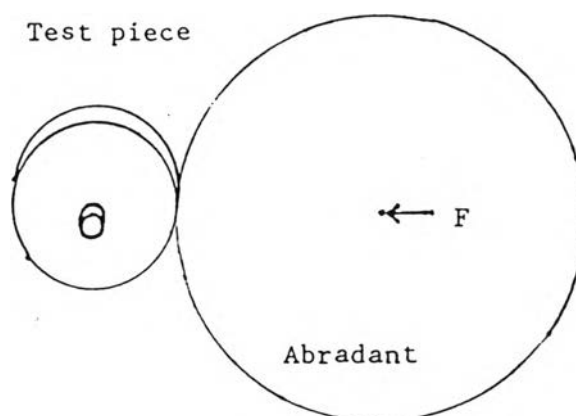
ผลของการทดสอบจะขึ้นกับแบบของชิ้นทดสอบที่ใช้ อัตราเร็วของการดึงให้ฉีกขาด และ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ

ยางที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูง โมดูลัสต่ำและมีความยาวที่ยืดออกสูง มักมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงด้วย

3. ความต้านทานต่อการสึกหรอ [1,8]

ค่าความต้านทานต่อการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความแข็งเพิ่มขึ้น การใช้คาร์บอนแบล็กซึ่งเป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรงจะ ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อการสึกหรอให้เพิ่มมากขึ้น

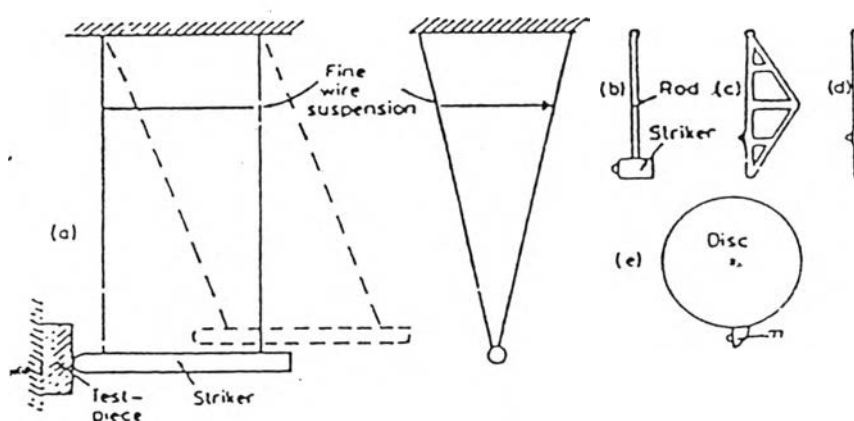
เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอตามมาตรฐานมีหลายชนิด เช่น Akron abrasion, Du pont Abrader, Dunlop Abrader, NBS Abrader, DIN abrader สำหรับ Akron abrasion ดังรูปที่ ข.3 ซึ่งชิ้นทดสอบจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตร หนา 1.3 เซนติเมตร น้ำหนัก 36 กรัม การทดสอบจะให้ชิ้นยางทดสอบขัดถูกับล้อหินขัด (abrasive wheel) ซึ่งกดติดกับชิ้นยางทดสอบ และกำหนดระบบของจำนวนรอบที่ต้องใช้ในการทดสอบครั้งหนึ่ง ๆ หากค่าปริมาตรของชิ้นทดสอบตัวอย่างที่หายไปต่อการขัด 1000 รอบ



รูปที่ ข.3 ชิ้นทดสอบและลักษณะการทดสอบ ความต้านทานต่อการสึกหรอสำหรับ เครื่อง Akron abrader [1]

4. การกระดอน (Resilience) [1,8]

การทดสอบการกระดอนของยางนั้น ยางจะได้รับพลังงานจากการชนหรือกระทบของวัตถุที่แกว่งเข้ามาชนในแนวโค้ง และขึ้นขึ้นทดสอบจะปล่อยพลังงานที่ได้รับ เพื่อคืนกลับรูปเดิมหลังจากที่เสียรูปไปเนื่องจากถูกชน ดังนั้นการกระดอน คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้คืนรูปต่อพลังงานที่ใช้ทำให้เสียรูป นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ สำหรับการกระดอนของยางธรรมชาติจะมีค่าประมาณ 60 – 80 % สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดการกระดอนมีหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ ข.4 ส่วนแบบที่ใช้ในการทดลองคือ แบบ (e) ตาม ISO 4662 โดยใช้เครื่อง Wallace Dunlop Tripsometer



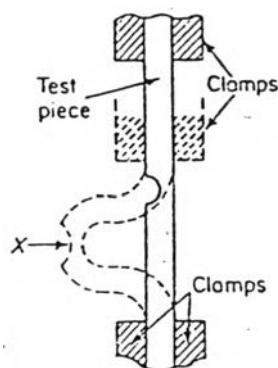
รูปที่ ข.4 เครื่องทดสอบการกระดอน [8]

- (a) Lupke pendulum (b) Schob pendulum (c) Dunlop pendulum
(b) (d) Goodyear – Healey pendulum (e) Tripsometer

5. การทดสอบการหักงอของยาง (flex cracking) [1,8]

การทดสอบนี้เป็นการวัดความต้านทานต่อการเกิดรอยแตก เนื่องจากการหักงอ เนื่องจากผลของความเค้น หรือ ความเครียด ติดต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่ง การทดสอบสมบัติที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ยางรถยนต์ สายพาน และพื้นรองเท้า การทดสอบแบบนี้มีข้อเสียคือ การควบคุมองศาของการหักงอได้ยาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากค่าโมดูลัสของยางต่างกัน และเนื่องจากอายุการล้าตัวของยางวงไวต่อขนาดของแรงที่กระทำ จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลผลการทดลองได้ เครื่องที่นิยมใช้กันแพร่หลาย คือ “De mattia” ซึ่งขึ้นทดสอบจะลักษณะดังรูปที่ ข.5 ในการทดสอบขึ้นทดสอบจะถูกจับยึดด้วยที่จับ 2 ด้าน ในแนวตั้ง ขณะทดสอบ ขึ้นยางจะถูก

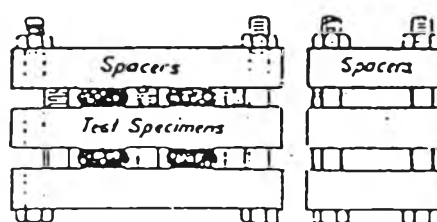
ยึดให้ตรงเต็มที่และพันงอสลัดกันไป ด้วยอัตราเร็ว 300 รอบต่อนาที ในระหว่างการทดสอบให้หยุดเครื่องมือเป็นระยะเพื่อสังเกตรอยแตกที่อาจเกิดขึ้น



รูปที่ ข.5 ลักษณะเครื่องมือทดสอบแบบ De mattia

6. การยุบตัว (Compression set) [1,9]

เป็นการวัดความสามารถของยางที่จะคงสมบัติความเป็นอีลาสติกภายใต้ความเค้นกด (compression stress) เป็นเวลานาน ๆ ภายใต้ความหนาที่ถูกกดคงที่ ซึ่งจะกดขึ้นทดสอบลง 25 % ของความหนาเดิม เครื่องทดสอบประกอบด้วยแผ่นเหล็ก 2 แผ่นหรือมากกว่า ตามรูปที่ ข.6 โดยขึ้นทดสอบที่วัดความหนาเรียบร้อยแล้วจะถูกกดอยู่ระหว่างแผ่นเหล็ก 2 แผ่น จนได้ความหนาตามต้องการซึ่งจะมีท่อนเหล็กที่มีความหนาประมาณ 25 % ของความหนาของการกดภายใต้อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด เมื่อการทดสอบสิ้นสุดลงให้นำขึ้นทดสอบออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที หลังจากนั้นวัดความหนาของขึ้นทดสอบอีกครั้ง แล้วนำไปคำนวณหาค่าการยุบตัวต่อไป



รูปที่ ข.6 เครื่องทดสอบการยุบตัวโดย method B [8]

7. ความแข็ง

การทดสอบความแข็งโดยใช้ Shore durometer มีหลายชนิดให้เลือกใช้ตามประเภทของวัสดุ เช่น shore A ใช้กับยางที่นิ่ม shore B ใช้กับยางที่แข็งและพลาสติก

ข้อควรระวังสำหรับการทดสอบความแข็ง คือ ความหนาของชิ้นงานต้องหนามากกว่า 6 มิลลิเมตร แต่ถ้าความหนาของชิ้นงานไม่ถึง 6 มิลลิเมตร ต้องนำชิ้นงานมาซ้อนกันให้ได้ความหนาตามที่ต้องการ ซึ่งอาจให้ผลที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานด้วยกัน

8. การบ่มเร่งด้วยความร้อน (Heat aging) [8]

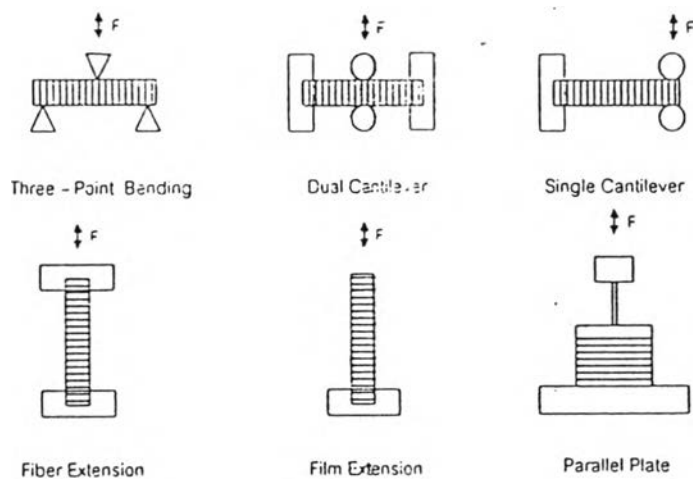
ยางส่วนใหญ่จะเสื่อมคุณภาพระหว่างการเก็บหรือระหว่างการใช้ สาเหตุของการเสื่อมสภาพมีหลายแบบ ซึ่งการทดสอบโดยการบ่มเร่งสามารถทำนายอายุการใช้งานของยางได้ สิ่งที่ทำให้ยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ โอโซน แสงแดด และของเหลวต่าง ๆ เช่น น้ำมัน ตัวทำละลาย

การบ่มเร่งโดยใช้ความร้อนเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด คือ การเปรียบเทียบสมบัติค่าความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง ก่อนและหลังได้รับความร้อนจากอากาศภายในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 1 องศาเซลเซียส 22 ± 2 ชั่วโมง ตัวกลางที่ให้ความร้อนภายในตู้อบจะเป็นอากาศร้อนซึ่งหมุนเวียนอยู่ภายใน ที่ความดันบรรยากาศ การให้ความร้อนต้องสม่ำเสมอทั่วถึง โดยชิ้นทดสอบจะถูกแขวนในแนวตั้งโดยไม่สัมผัสกับตู้อบหรือสัมผัสกันเองเลย

9. การทดสอบโดยวิธี DMA (Dynamic mechanical analysis) [33]

DMA เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล เช่น โมดูลัส และ $\tan \delta$ เป็นฟังก์ชันของ อุณหภูมิ, เวลา, ความถี่, ความเค้น หรือการประกอบกันของตัวแปรเหล่านี้ $\tan \delta$ เป็นตัวบ่งชี้ที่ไวต่อการเคลื่อนที่ทุกชนิดของโมเลกุลซึ่งเกิดขึ้นในวัสดุแม้แต่ในภาวะของแข็ง และเป็นตัววิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวัดปริมาณของการเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุล (degree of crosslink), สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์, ส่วนประกอบของพอลิเมอร์ผสมบล็อกโคพอลิเมอร์ และยังใช้บอกปริมาณของการบ่ม (extent of curing) ในเทอร์โมเซตเรซินได้อีกด้วย

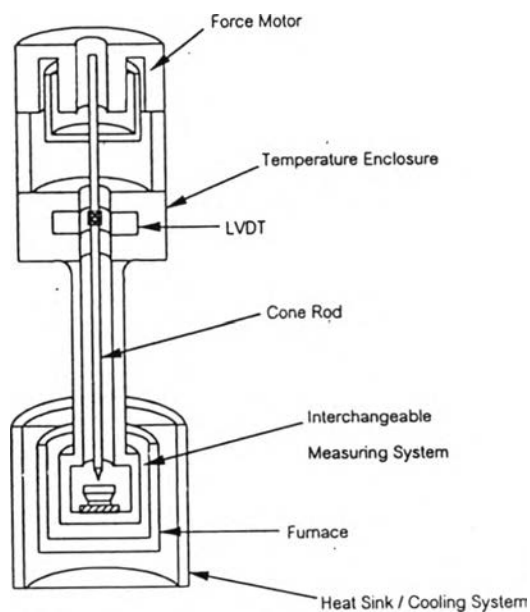
9.1 ขีดความสามารถระบบในการวัดค่าของ DMA 7



รูปที่ ข.7 ภาพการทดสอบด้วยเครื่อง DMA รูปแบบต่าง ๆ [27]

9.2 หลักการ Dynamic mechanical properties

คือ สมบัติเชิงกลของวัสดุขณะที่อยู่ภายใต้แรงที่เป็นคาบ (periodic force) เมื่อให้แรงที่เป็นคาบกระทำต่อวัสดุที่มีความยืดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ ความเครียดจะเกิดในเฟสเดียวกับความเค้น ถ้าวัสดุนั้นมีความหนืดอย่างสมบูรณ์ วัสดุนั้นจะตอบสนองต่อแรง โดยความเครียดจะเกิดตามหลังเฟสของความเค้นเป็นมุม 90° แต่ถ้าวัสดุนั้นเป็น viscoelastic ความเครียดจะเกิดตามหลังเฟสของความเค้นเป็นมุม โดยที่ $0^\circ < \delta < 90^\circ$



รูปที่ ข.8 ภาพแสดงภาคตัดขวางของ DMA 7

ตัวอย่างของการใช้งาน

DMA สามารถให้ข้อมูลต่าง ๆ ยกตัวอย่าง เช่น Storage modulus/Loss modulus, $\tan \delta$, การเปลี่ยนสถานะต่ออุณหภูมิ (thermal transition), ความเสถียรต่อรูปร่างเดิม (thermal transition), Multiphase characterization, สัณฐานวิทยาของผลึก (crystallite morphology), สมบัติในการรับแรงกระแทก (impact performance), สมบัติต่อการใช้งานเป็นเวลานาน (longtime behavior), ผลของพลาสติกไซเซอร์

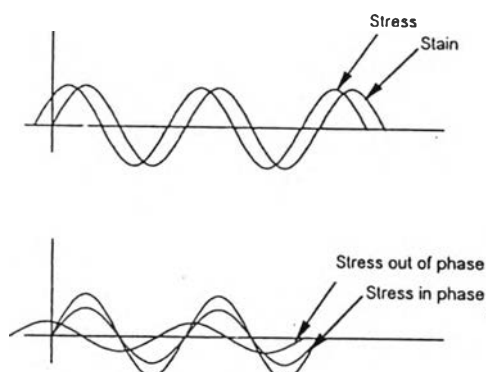
$$\text{สมการ } E' = E' + I$$

โดยที่ E' = อัตราส่วนของแอมพลิจูด (amplitude) ของความเค้นต่อความเครียดที่มีเฟสตรงกัน

E'' = อัตราส่วนของแอมพลิจูด ของความเค้นต่อความเครียดที่มีเฟสต่างกัน 90°

Loss tangent ($\tan \delta$) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่สูญเสียไปต่อพลังงานที่เก็บไว้ในกรอบ

$$\tan \delta = E'' / E'$$

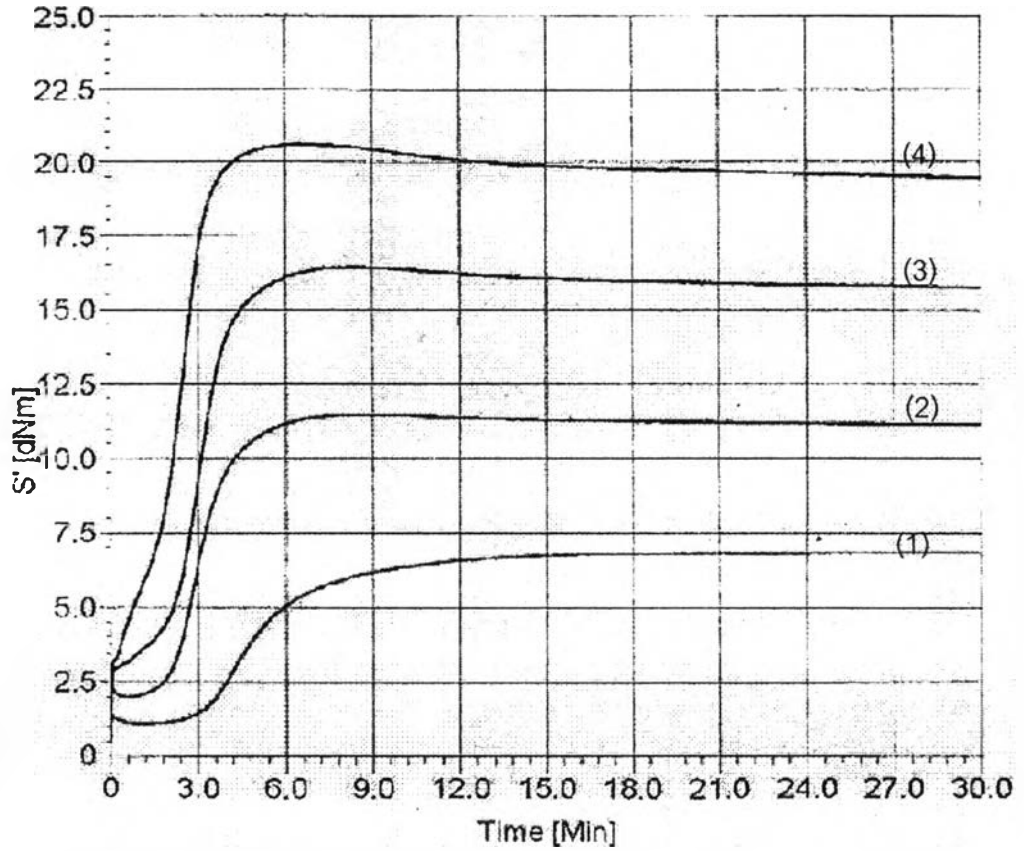


รูปที่ ข.9 กราฟแสดงเฟสที่ต่างกันระหว่างความเค้นต่อความเครียดของ viscoelastic material

การทำงานของเครื่อง Force motor จะส่งแรงภาระสถิต (static load) และภาระพลวัต (dynamic load) กระทำต่อวัสดุที่นำมาทดสอบ โดยภาระสถิตเป็นสิ่งที่จำเป็นในการที่จะรักษาการสัมผัสกันของ probe กับวัสดุ ในขณะที่ภาระพลวัตทำให้เกิดการตอบสนองของแอมพลิจูดและเฟสของวัสดุนั้น การเปลี่ยนแปลงการขจัดเชิงพลวัต (dynamic displacement) ของวัสดุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการขจัดของ probe และ LVDT จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับคลื่นไซน์ของแรงที่กระทำต่อวัสดุ แอมพลิจูดของ LVDT จะสัมพันธ์กับค่า storage modulus ส่วนค่า phase lag จะสัมพันธ์กับค่า E'' / E'

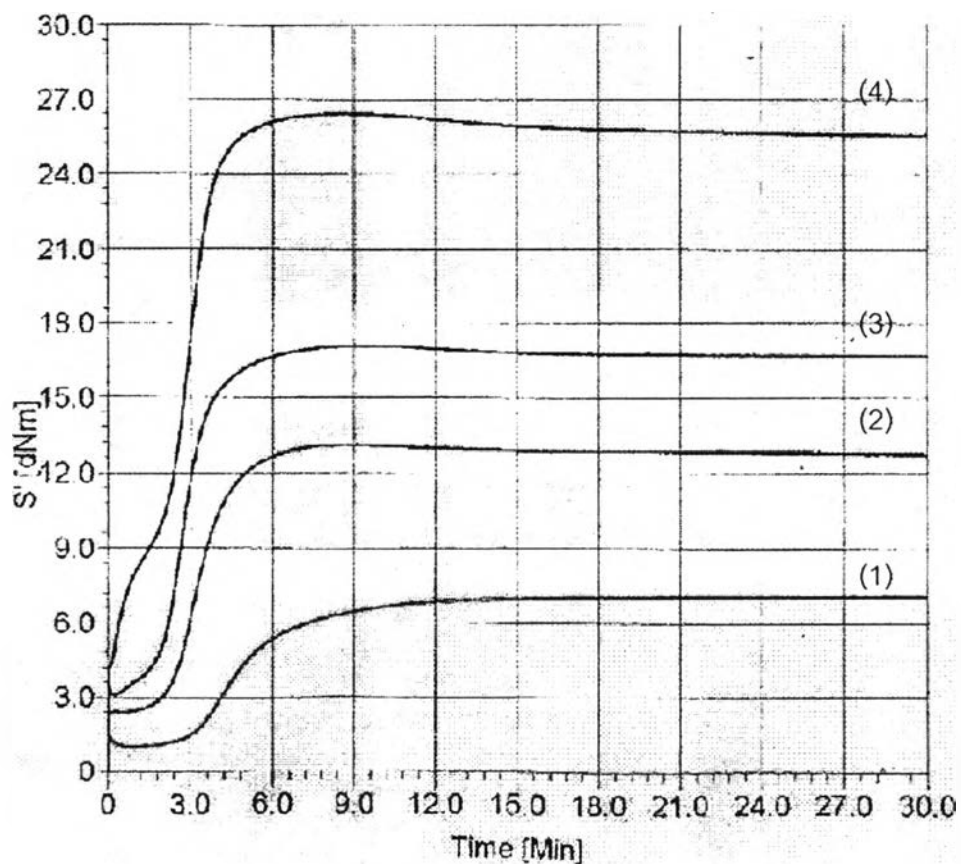
ภาคผนวก ค

กราฟการคงรูปยางผสม



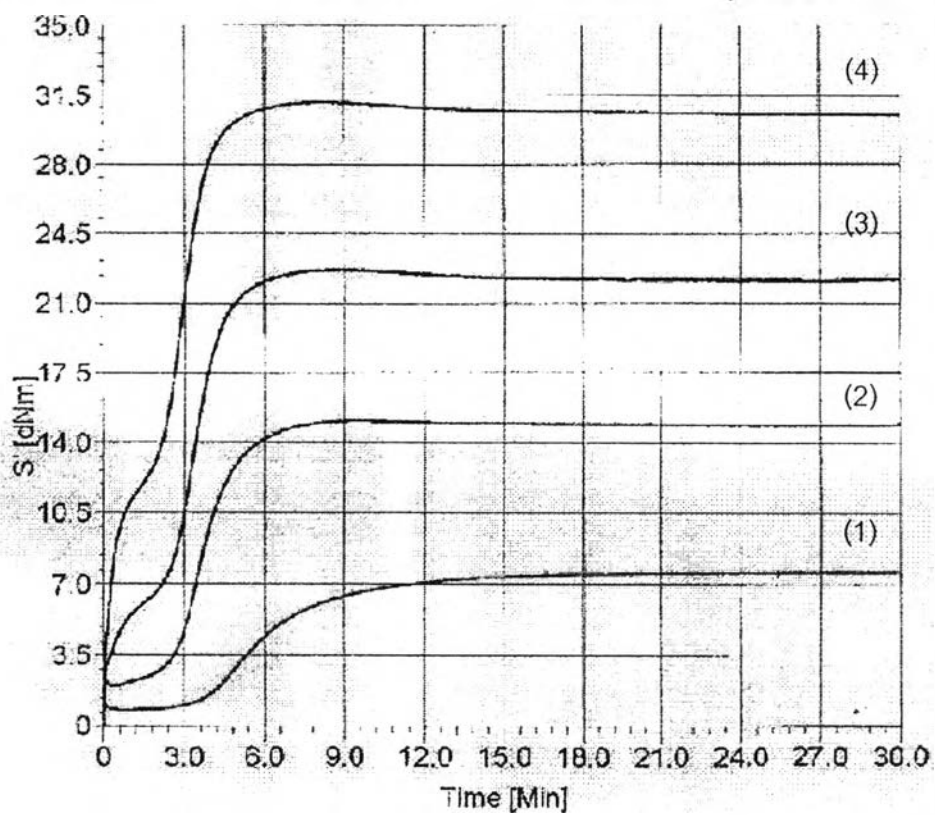
- (1) ปริมาณซีลีกา 0 phr — (2) ปริมาณซีลีกา 30 phr
— (3) ปริมาณซีลีกา 40 phr — (4) ปริมาณซีลีกา 50 phr

รูปที่ ค.1 กราฟการคงรูปยางธรรมชาติเติมซีลีกา



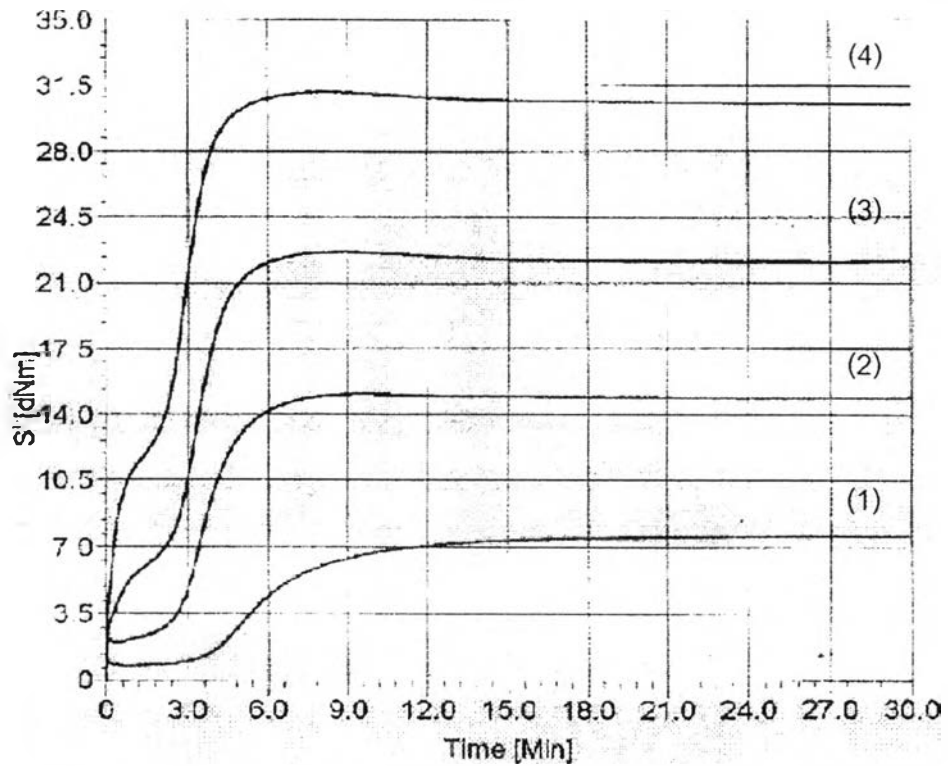
— (1) ปริมาณซีลีกา 0 phr — (2) ปริมาณซีลีกา 30 phr
 — (3) ปริมาณซีลีกา 40 phr — (4) ปริมาณซีลีกา 50 phr

รูปที่ ค.2 กราฟการคงรูปยางผสมระหว่างยางธรรมชาติผสมยางพอลิบิวทาไดอีน
 (NR:BR) 80 : 20 เต็มซีลีกา



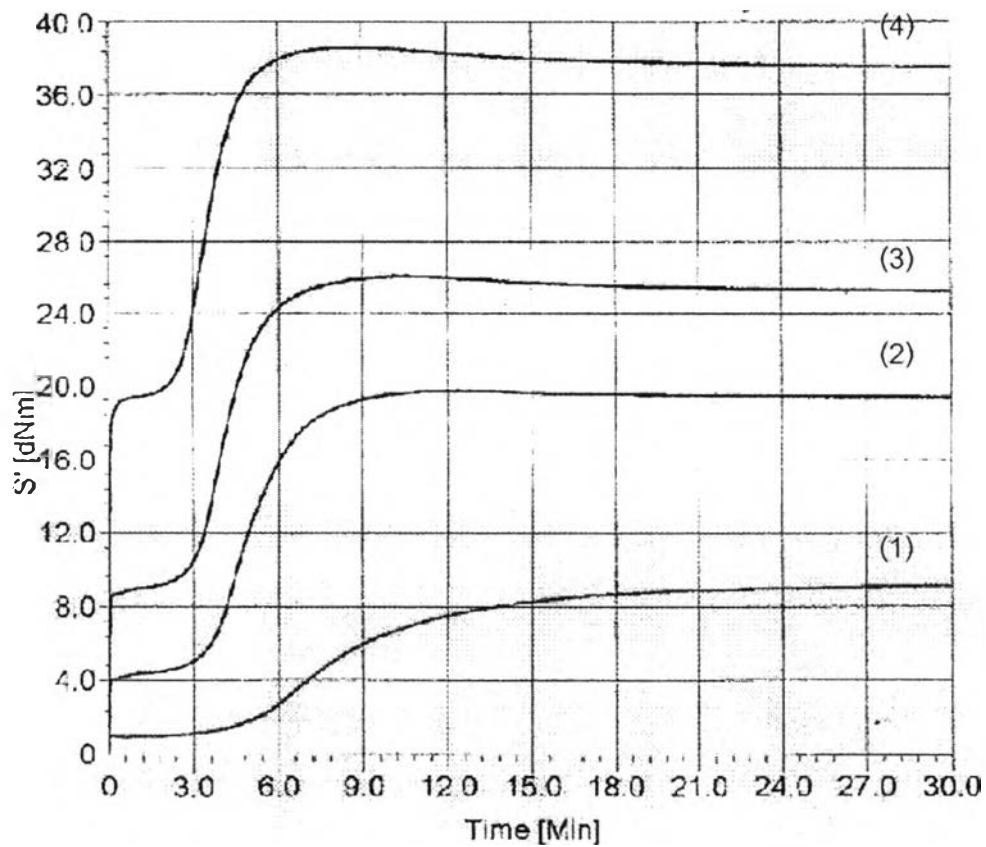
— (1) ปริมาณซิลิกา 0 phr — (2) ปริมาณซิลิกา 30 phr
 — (3) ปริมาณซิลิกา 40 phr — (4) ปริมาณซิลิกา 50 phr

รูปที่ ค.3 กราฟการคงรูปยางผสมระหว่างยางธรรมชาติผสมยางพอลิบิวทาไดอิน
 (NR:BR) 70 : 30 เต็มซิลิกา



_____ (1) ปริมาณซีลีกา 0 phr _____ (2) ปริมาณซีลีกา 30 phr
 _____ (3) ปริมาณซีลีกา 40 phr _____ (4) ปริมาณซีลีกา 50 phr

รูปที่ ค.4 กราฟการคงรูปยางผสมระหว่างยางธรรมชาติผสมยางพอลิบิวทาไดอิน
(NR:BR) 60 : 40 เต็มซีลีกา



— (1) ปริมาณซิลิกา 0 phr — (2) ปริมาณซิลิกา 30 phr
 — (3) ปริมาณซิลิกา 40 phr — (3) ปริมาณซิลิกา 50 phr

รูปที่ ค.5 กราฟการคงรูปยางพอลิบิวทาไดอินเต็มซิลิกา



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวทิวาวรรณ วียา เกิดวันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดน่าน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2540 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541