

## รายการอ้างอิง

1. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตรี. เทคโนโลยีของยาง (Rubber technology). ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2544.
2. กัญญารัตน์ ทรัพย์วิเชียร, พนมสวรรค์ บุญทอง และเพ็ญประภา ธนาทอบกิจ. Epoxidized natural rubber. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์สาขาพอลิเมอร์และสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2532.
3. Thiangchanya, A.. Epoxidized natural rubber. Songklanakarinn Journal Science and Technology (1990) : 2227-2234.
4. Brydson, J.A.. Rubber chemistry. Essex England : Applied science publishers ,1978.
5. Roberts, A.D.. Natural rubber science and technology. Oxford university press , 1988.
6. Eng, A.H., Tangpakdee, J., Kawahara, S. and Tanaka Y.. Distribution and origin of abnormal group in natural rubber. J.Nat.Rubb.Res. (1997) : 11-20.
7. Gorton, A.D.T. and Pendle T.D.. Properties and processability. J.Nat.Rubb.Res. (1986) : 122.
8. Cockbain, E.G. and Philplott, M.W.. The chemistry and physics of rubber like substance. London : Maclaren ,1963.
9. Gorton, A.D.T. and Pendle, T.D.. The mechanical stability of natural rubber lattices. Rubb.Chem.technol 51(1978) : 122.
10. Archer, B.L., Bernard, D.,Cockbain, E.G., Dickenson, P.B. and McMullen, A.I.. The chemistry and physics of rubber like substance. Maclaren London , 1967.
11. Blackley, D.C.. High polymer lattices. London : Maclaren , 1976.
12. Gelling, I.R.. Epoxidized 1,4-polyisoprene rubber. GB Pat 2113692 , 1982.
13. Gelling, I.R. and Porter, M.. Chapter 10 – Chemical modification of natural rubber in natural rubber science and technology. Roberts, A.D.Ed. : Oxford Science Publications, 1988.
14. Brown, R.P.. Physical testing of rubber. United Kingdom , 1979.
15. Gelling, I.R.. Modification of natural rubber latex with peracetic acid. Rubber Chemistry and Technology 58(1984) : 86-96

16. David R.Burfield, Kooi-Ling Lim and Kia-Sang Law. Epoxidation of natural rubber lattices : methods of preparation and properties of modified rubbers. J.App.Polym.Sci. 29(1984) : 1661-1673
17. Nakason, C., Sainumsai, W., Kaesaman, A. and Klinpituksa, P.. Preparation, thermal and flow properties of epoxidized natural rubber. Songklanakarinn Journal Science and Technology (2001) : 415-424
18. ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. การอ็อกซิเดชันยางและการวิเคราะห์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6(2534) : 147-153.
19. Bac, Terlemezyan and Mihailav. Epoxidation of natural rubber in latex in the presence of reducing agent. J.App.Polym.Sci. 50(1993) : 845-849.
20. Chen, S.F., Nambiar, J. and Ng, C.S.. Rubber research. Rubber Research Institute of Malaysia , 1985.
21. Davies, C.K.L. and Wolfe, S.V.. Strain crystallization in random copolymers produced by epoxidation of cis 1,4-polyisoprene. Polymer 24(1983) : 107-113.
22. Gelling, I.R. and Morrison, N.J.. Sulfur vulcanization and oxidative aging of epoxidized natural rubber. Rubb.Chem.Tech. 58(1984) : 243-257.
23. Nasir, M., Poh, B.T. and Ng, P.S.. The effect of  $\gamma$ -Mercaptopropyltrimethoxysilane coupling agent on  $t_{90}$ , tensile strength and tear strength of silica-filled ENR vulcanisates. Eur.Polym.J. 25(1989) : 267-273.
24. Poh, B.T. and Tan, B.K.. Mooney scorch time of epoxidized natural rubber. J.App.Polym.Sci. 42(1991) : 1407-1416.
25. Poh, B.T., Kwok C.P. and Lim, G.H.. Reversion of epoxidized natural rubber. Eur.Polym.J. 31(1995) : 223-226.
26. Nasir, M. and Choe, C.H.. Cure characteristics and mechanical properties of carbon black filled styrene-butadiene rubber and epoxidized natural rubber blends. Eur.Polym.J. 25(1989) : 355-359.
27. Poh, B.T. and Tang, W.L.. Concentration effect of stearic acid and scorch behavior of epoxidized natural rubber. J.App.Polym.Sci. (1995) : 537-542.
28. Hanafi, Ismail, Suzaimah, S.. Styrene-butadiene rubber/epoxidized natural rubber blends : the effect of vulcanization system on blends properties. Polym.-Plast.Technol.Eng. (2000) : 817-827.

29. Poh, B.T. and Kwok, G.K.. Tensile property of epoxidized natural rubber/natural rubber blends. Polym.-Plast.Technol.Eng. (2000) : 151-161.
30. พิมพ์จิต ตามพวรรณ และ วัชรินทร์ รุกขไชยศิริกุล. สเปกโทรสโกปีของสารอินทรีย์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , 2541.
31. Mourice, M.. Rubber technology. Litton Education Publishing , 1973.
32. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียาง (Rubber technology). ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ , 2541.
33. Fred W. Barlow. Rubber compounding principles, materials and techniques. United States of America , 1993.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### 1. วิธีการคำนวณการเติมกรดฟอร์มิคที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติอพอกซีไดซีในงานวิจัย

การหาปริมาณการเติมกรดฟอร์มิคที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20 %DRC (น้ำยางชั้น 60% DRC เจือจางให้เป็นน้ำยางชั้น 20% DRC ด้วยการเติมน้ำกลั่น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางชั้น 60 %DRC ปริมาณ 166.67 กรัม เติมน้ำ 333.33 กรัม มีเนื้อยางแห้ง 100 กรัม) การคำนวณแสดงดังนี้

โมลาร์กรดฟอร์มิค : โมลาร์หน่วยไอโซพรีนของยางธรรมชาติ = 0.75:1.00

หน่วยไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 68 กรัม/โมล

หาจำนวนโมลของหน่วยไอโซพรีน = น้ำหนักยางแห้ง / มวลโมเลกุล

$$= 100 \text{ กรัม} / 68 \text{ กรัม/โมล}$$

$$= 1.471 \text{ โมล}$$

1 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้กรดฟอร์มิค 0.75 โมล

ถ้า 1.471 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้กรดฟอร์มิค  $(0.75 \times 1.471)/1$  โมล

$$= 1.1033 \text{ โมล}$$

กรดฟอร์มิค 1.1033 โมล คิดเป็น  $(46 \text{ กรัม} \times 1.1033 \text{ โมล}) / 1$  โมล

$$= 50.75 \text{ กรัม}$$

### 2. วิธีการคำนวณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติอพอกซีไดซีในงานวิจัย

การหาปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดฟอร์มิคในน้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20 %DRC (น้ำยางชั้น 60% DRC เจือจางให้เป็นน้ำยางชั้น 20% DRC ด้วยการเติมน้ำกลั่น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางชั้น 60 %DRC ปริมาณ 166.67 กรัม เติมน้ำ 333.33 กรัม มีเนื้อยางแห้ง 100 กรัม) การคำนวณแสดงดังนี้

โมลาร์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ : โมลาร์หน่วยไอโซพรีนของยางธรรมชาติ = 0.75:1.00

หน่วยไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 68 กรัม/โมล

หาจำนวนโมลของหน่วยไอโซพรีน = น้ำหนักยางแห้ง / มวลโมเลกุล

$$= 100 \text{ กรัม} / 68 \text{ กรัม/โมล}$$

$$= 1.471 \text{ โมล}$$

1 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.75 โมล

ถ้า 1.471 ไมลของหน่วยไอโซพรีนใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์  $(0.751 \cdot 471) / 1$  ไมล  
 $= 1.1033$  ไมล

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.1033 ไมล คิดเป็น  $(34 \text{ กรัม} \times 1.1033 \text{ ไมล}) / 1$  ไมล  
 $= 37.51$  กรัม

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 กรัม คิดเป็น 100 กรัม

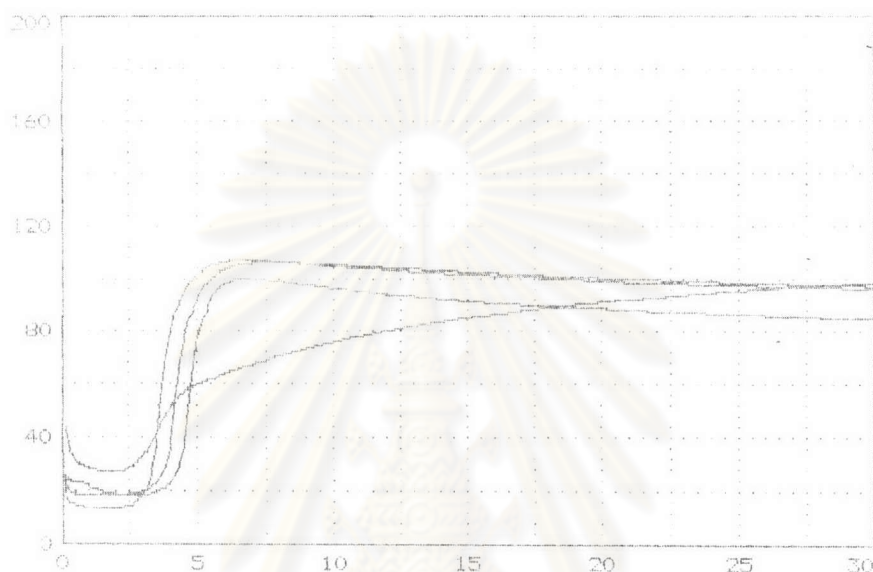
ถ้าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 37.51 กรัม คิดเป็น  $(37.51 \times 100) / 50$  กรัม  
 $= 75.02$  กรัม



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

1. ผลการทดสอบเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR ทดสอบที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในการทดลองครั้งที่ 1

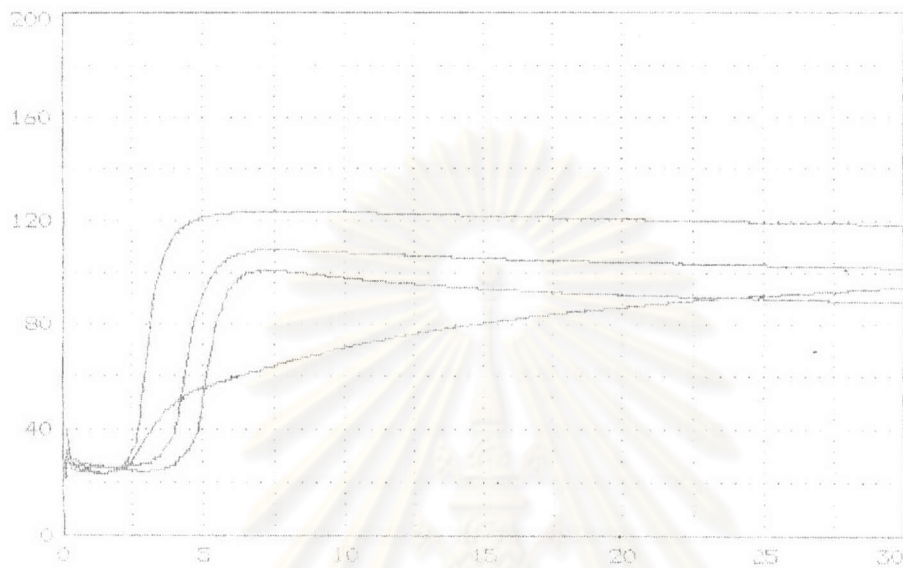


รูปที่ ข-1 กราฟรีโอมิเตอร์ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR

- ตารางที่ ข-1 ผลเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR

sample	$t_{s1}$ (min)	$t_{90}$ (min)	min torq (in.lbs.)	max torq (in.lbs.)
ENR 20	3.71	5.54	18.36	100.03
ENR 45	2.96	5.42	18.06	106.43
ENR 65	2.71	4.75	13.60	107.17
NBR	2.63	20.42	26.98	98.40

2. ผลการทดสอบเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในการทดลองครั้งที่ 2



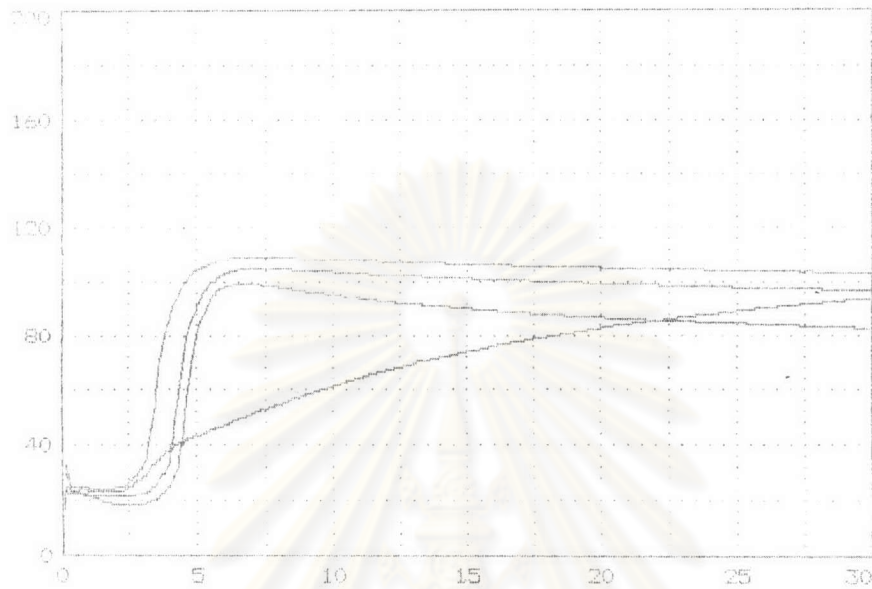
รูปที่ ข-2 กราฟรีโอมิเตอร์ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR

ตารางที่ ข-2 ผลเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR

sample	$t_{s1}$ (min)	$t_{90}$ (min)	min torq (in.lbs.)	max torq (in.lbs.)
ENR 20	3.83	6.00	24.30	100.85
ENR 45	2.96	5.54	25.64	108.80
ENR 65	2.08	4.08	23.34	123.59
NBR	2.25	20.67	23.48	94.39



3. ผลการทดสอบเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในการทดลองครั้งที่ 3

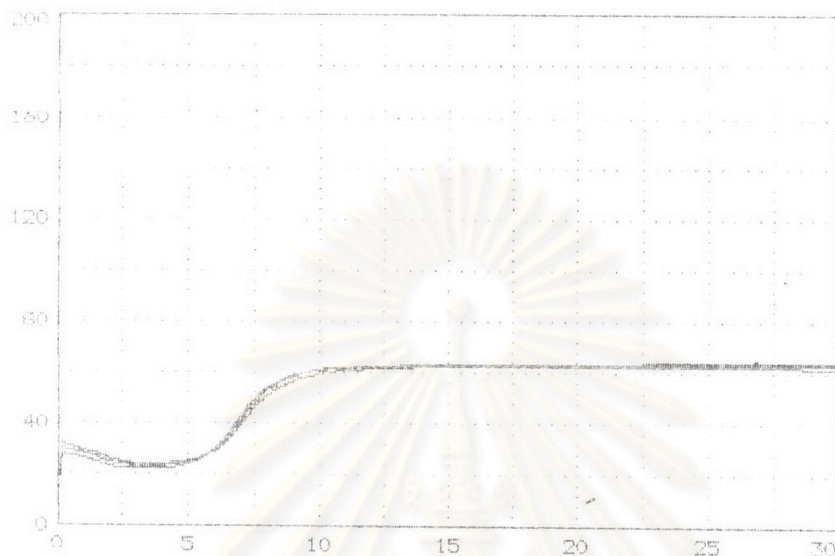


รูปที่ ข-3 กราฟรีโอมิเตอร์ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR

ตารางที่ ข-3 ผลเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR

sample	$t_{s1}$ (min)	$t_{90}$ (min)	min torq (in.lbs.)	max torq (in.lbs.)
ENR 20	3.46	5.46	18.13	99.22
ENR 45	3.13	5.33	21.18	104.86
ENR 65	2.50	4.71	24.08	108.80
NBR	2.50	23.00	22.82	93.87

4. ผลการทดสอบเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง STR 5L ทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ในการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3



รูปที่ ข-4 กราฟปริโอมิเตอร์ของยาง STR 5L

ตารางที่ ข-4 ผลเวลาสคอรัช ( $t_{s1}$ ) , เวลาการคงรูป ( $t_{90}$ ) , แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยาง STR 5L

order of STR 5L	$t_{s1}$ (min)	$t_{90}$ (min)	min torq (in.lbs.)	max torq (in.lbs.)
1	4.79	9.08	22.00	62.50
2	4.96	9.46	23.34	63.39
3	5.08	10.50	24.08	63.91

## ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติความต้านทานน้ำมันของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65, NBR และ STR 5L ในการทดลองครั้งที่ 1

### 1. ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบความแข็งของยาง

sample	hardness (unaged)						Hardness (aged)					
	1	2	3	4	5	M	1	2	3	4	5	M
ENR 20	62.9	62.2	63.6	63.9	63.8	63.6	67.3	65.4	67.9	66.6	67.3	67.3
ENR 45	66.2	64.3	65.7	65.8	65.9	65.8	71.3	70.1	70.0	70.8	71.0	70.8
ENR 65	67.8	65.8	66.6	65.8	66.4	66.4	72.1	70.8	72.0	72.8	73.1	72.1
NBR	66.8	66.0	68.2	67.4	67.6	67.4	69.6	68.4	68.9	69.9	68.9	69.6
STR 5L	46.7	45.8	46.1	44.0	45.2	45.8	53.0	54.5	54.1	51.5	54.5	54.1

### 2. ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึง

2.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 20

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 20

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	29.12	675.0	0.3616	28.21	588.8	0.3335
2	31.69	718.4	0.3974	27.20	562.3	0.3444
3	30.08	718.0	0.3754	25.34	612.0	0.3193
4	30.05	698.0	0.3696	26.59	1414.0	0.3302
5	29.27	668.4	0.3688	27.01	1402.0	0.3241
6	30.39	720.0	0.3738	26.45	585.0	0.3238
Mean	30.10	699.6	0.3744	26.80	860.6	0.3292

## 2.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR 45

## ตารางที่ ค-3 ผลการทดสอบด้านสมบัติการดึงของหินทดสอบยาง ENR 45

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	28.53	609.1	0.3971	21.68	410.3	0.2615
2	30.05	618.3	0.4274	16.47	339.4	0.2194
3	26.67	548.0	0.3905	15.29	323.4	0.1954
4	26.33	587.4	0.3808	17.05	349.7	0.2128
5	30.12	622.9	0.4265	11.81	269.7	0.1595
6	29.46	661.7	0.4349	20.03	378.7	0.2608
Mean	28.53	607.9	0.4095	17.05	345.2	0.2182

## 2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR 65

## ตารางที่ ค-4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR 65

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	27.20	588.0	0.3264	19.00	323.0	0.2463
2	27.74	532.6	0.3379	15.90	316.6	0.2060
3	2.95	549.7	0.3144	17.38	347.4	0.2263
4	24.60	494.7	0.3129	17.83	360.0	0.2321
5	27.70	570.3	0.3540	18.03	342.9	0.2326
6	24.86	492.6	0.3088	14.73	314.3	0.1960
Mean	26.17	538.0	0.3257	17.15	334.0	0.2232

## 2.4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง NBR

ตารางที่ ค-5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง NBR

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	20.50	677.6	0.2435	23.51	662.9	0.3160
2	19.98	710.9	0.2494	19.74	524.4	0.2784
3	21.67	633.6	0.2848	23.72	650.7	0.3231
4	21.46	724.4	0.2614	20.68	582.2	0.2904
5	19.25	622.2	0.2495	25.10	667.6	0.3464
6	20.49	590.4	0.2619	22.22	611.6	0.3026
Mean	20.56	659.9	0.2584	22.50	616.6	0.3089

## 2.5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง STR 5L

ตารางที่ ค-6 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบ ยางSTR 5L

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	18.06	677.7	0.2124	22.72	708.0	0.2876
2	18.75	797.3	0.2273	19.73	1570.0	0.2486
3	16.56	790.0	0.1978	19.75	669.3	0.2489
4	16.75	750.9	0.2030	19.33	629.3	0.2546
5	17.58	750.9	0.2120	19.82	614.7	0.2608
6	18.50	795.0	0.2254	21.37	708.0	0.2693
Mean	17.70	760.3	0.2130	20.45	816.6	0.2616

### 3. ผลการทดสอบการคืนตัวของยาง

ตารางที่ ค-7 ผลการทดสอบการคืนตัวของยาง

Sample Sample No.	C <sub>B</sub> (%)			
	1	2	3	Median
ENR 20	49.68	48.80	51.38	49.68
ENR 45	50.95	52.80	48.43	50.90
ENR 65	54.78	59.04	50.63	54.78
NBR	63.28	72.95	65.93	65.93
STR 5L	67.39	71.38	72.22	71.38

### 4. ผลการทดสอบความต้านทานโอโซน

ตารางที่ ค-8 ผลการทดสอบความต้านทานโอโซนของยาง

ตัวอย่าง	เลขหมายตัวอย่าง	ผลการทดลอง
ENR 20	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
ENR 45	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
ENR 65	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
NBR	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
STR 5L	1	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.
	2	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.
	3	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.

## 5. ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมัน

5.1 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน ASTM OIL NO.1

ตารางที่ ค-9 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน ASTM OIL NO.1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Mean
ENR 20	+0.2375	+0.2343	+0.2389	+0.2369
ENR 45	+0.0729	+0.0702	+0.0755	+0.0729
ENR 65	+0.0505	+0.0478	+0.0460	+0.0481
NBR	+0.0136	+0.0180	+0.0188	+0.0168
STR 5L	--	--	--	--

5.2 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน IRM 903

ตารางที่ ค-10 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน IRM 903

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Mean
A-4	+2.0206	+1.9713	+2.0294	+2.0071
B-8	+0.6859	+0.5633	+0.6925	+0.6484
C-12	+0.5071	+0.4981	+0.5016	+0.5005
NBR	+0.1408	+0.1355	+0.1473	+0.1412
NR	--	--	--	--

หมายเหตุ : -- คือ ชิ้นตัวอย่างละลายในน้ำมันจึงไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปลี่ยนไปของชิ้นตัวอย่างได้

## ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติความต้านทานน้ำมันของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65, NBR และ STR 5L ในการทดลองครั้งที่ 2

### 1. ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบความแข็งของยาง

sample	hardness (unaged)						Hardness (aged)					
	1	2	3	4	5	M	1	2	3	4	5	M
ENR 20	61.4	59.6	61.8	60.9	61.0	61.0	65.8	64.1	65.1	65.6	66.3	65.6
ENR 45	65.8	65.3	66.5	66.5	64.5	65.3	73.2	72.2	72.9	73.3	72.2	72.9
ENR 65	70.7	69.1	71.0	71.0	70.3	70.3	75.5	74.6	74.3	74.7	74.7	74.7
NBR	63.8	63.4	64.2	64.2	64.8	64.2	69.8	68.6	69.2	69.2	69.2	69.2
STR 5L	47.0	45.2	44.5	44.0	44.0	44.5	53.4	55.0	54.5	54.5	54.7	54.7

### 2. ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึง

#### 2.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 20

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 20

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	33.92	692.0	0.4518	32.15	643.4	0.3974
2	33.65	722.0	0.4483	29.86	668.6	0.3834
3	33.73	702.9	0.4534	29.37	565.0	0.3771
4	33.20	888.0	0.4402	29.23	597.7	0.3789
5	32.40	731.4	0.4355	28.92	588.6	0.3661
6	33.30	741.7	0.4435	30.62	628.0	0.3950
Mean	33.27	746.3	0.4452	30.03	615.2	0.3830



## 2.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 45

ตารางที่ ง-3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 45

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	31.92	572.6	0.4520	28.19	452.8	0.4093
2	31.74	601.0	0.4590	28.58	461.7	0.4201
3	31.99	598.9	0.4415	25.80	428.6	0.3963
4	27.98	548.0	0.3929	23.26	425.3	0.3545
5	32.75	603.4	0.4735	25.97	459.4	0.3895
6	31.90	598.9	0.4403	26.71	445.7	0.3959
Mean	31.38	587.1	0.4432	26.42	445.6	0.3943

## 2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 65

ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 65

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	26.27	414.4	0.3294	20.47	302.9	0.2739
2	20.23	362.3	0.2561	22.88	316.6	0.308
3	25.37	401.1	0.3288	18.08	261.0	0.236
4	22.11	354.3	0.2853	19.35	260.0	0.2520
5	29.08	467.9	0.3716	18.16	267.4	0.2365
6	24.73	398.4	0.3131	16.05	246.9	0.2061
Mean	24.63	400.0	0.3140	19.17	275.8	0.2520

## 2.4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง NBR

ตารางที่ ง-5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง NBR

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	25.19	653.6	0.3416	22.15	647.1	0.3389
2	24.22	668.0	0.3371	24.69	518.5	0.3585
3	22.71	645.3	0.2998	25.93	651.6	0.3734
4	24.52	782.0	0.3414	24.62	637.3	0.3664
5	22.83	659.0	0.341	25.97	646.4	0.3849
6	23.80	660.0	0.3228	23.96	626.7	0.3421
Mean	23.88	678.0	0.3245	24.55	621.3	0.3607

## 2.5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง STR 5L

ตารางที่ ง-6 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง STR 5L

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	19.94	794.0	0.2333	22.10	764.6	0.2785
2	18.41	846.7	0.2275	21.81	740.6	0.2748
3	20.04	750.9	0.2393	21.44	669.7	0.2856
4	19.62	763.0	0.2355	23.33	718.7	0.2940
5	17.77	750.7	0.2208	19.42	653.7	0.2448
6	20.02	711.0	0.2439	21.09	691.0	0.2670
Mean	19.30	769.4	0.2334	21.53	706.4	0.2741

### 3. ผลการทดสอบการคืนตัว

ตารางที่ ง-7 ผลการทดสอบการคืนตัวของยาง

Sample Sample No.	C <sub>B</sub> (%)			
	1	2	3	Median
ENR 20	46.71	47.41	47.97	47.41
ENR 45	46.69	52.91	50.82	50.82
ENR 65	52.66	53.22	49.35	52.66
NBR	63.64	64.65	64.97	64.65
STR 5L	73.37	74.01	74.38	74.01

### 4. ผลการทดสอบไอโซนความต้านทานไอโซน

ตารางที่ ง-8 ผลการทดสอบความต้านทานไอโซนของยาง

ตัวอย่าง	เลขหมายตัวอย่าง	ผลการทดลอง
ENR 20	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
ENR 45	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
ENR 65	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
NBR	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
STR 5L	1	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.
	2	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.
	3	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.

## 5. ทดสอบความต้านทานน้ำมัน

5.1 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน ASTM OIL NO.1

ตารางที่ ง-9 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน ASTM OIL NO.1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Mean
ENR 20	+0.2194	+0.2268	+0.2298	+0.2253
ENR 45	+0.0719	+0.0738	+0.0864	+0.0774
ENR 65	+0.0475	+0.0428	+0.0404	+0.0436
NBR	+0.0110	+0.0149	+0.0146	+0.0135
STR 5L	--	--	--	--

5.2 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน IRM 903

ตารางที่ ง-10 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน IRM 903

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Mean
ENR 20	+1.9577	+1.9652	+1.9089	+1.9439
ENR 45	+0.7061	+0.7171	+0.7220	+0.7151
ENR 65	+0.4131	+0.4105	+0.3639	+0.3985
NBR	+0.1315	+0.1372	+0.1082	+0.1256
STR 5L	--	--	--	--

หมายเหตุ : -- คือ ชิ้นตัวอย่างละลายในน้ำมันจึงไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักวัด

เปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปลี่ยนไปของชิ้นตัวอย่างได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติความต้านทานน้ำมันของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65, NBR และ STR 5L ในการทดลองครั้งที่ 3

### 1. ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางที่ จ-1 ผลการทดสอบความแข็งของยาง

sample	hardness (unaged)						Hardness (aged)					
	1	2	3	4	5	M	1	2	3	4	5	M
ENR 20	54.6	54.1	55.0	55.4	54.6	54.6	58.1	60.1	59.6	60.7	61.2	60.1
ENR 45	61.2	61.4	61.3	59.6	60.4	61.2	66.1	66.8	66.5	66.8	67.5	66.8
ENR 65	60.2	59.9	60.4	60.0	61.6	60.2	67.2	65.7	66.5	67.6	67.4	67.2
NBR	56.8	56.8	56.1	57.7	57.3	56.8	63.2	68.5	66.7	65.6	65.9	65.9
STR 5L	46.4	46.1	48.1	46.3	47.8	46.4	53.6	55.4	54.0	51.4	51.5	53.6

### 2. ผลการทดสอบด้านการดึง

2.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 20

ตารางที่ จ-2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 20

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	31.15	738.3	0.3738	25.34	545.1	0.3133
2	30.51	722.7	0.3863	26.04	578.7	0.3219
3	30.45	649.0	0.3709	23.01	534.9	0.2928
4	30.09	639.0	0.3756	25.83	500.0	0.3193
5	29.58	617.9	0.3709	26.90	562.3	0.3390
6	31.34	786.7	0.3666	26.72	550.9	0.3335
Mean	30.57	692.2	0.3740	25.64	545.3	0.3199

## 2.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 45

ตารางที่ จ-3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 45

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	31.01	590.4	0.4186	23.08	341.7	0.2950
2	30.11	597.7	0.4101	21.04	328.0	0.2714
3	28.92	574.7	0.3748	19.55	322.0	0.2534
4	32.57	642.3	0.4280	14.71	270.7	0.1933
5	29.86	604.6	0.4156	22.71	378.7	0.2998
6	27.84	614.0	0.3491	18.53	322.3	0.2368
Mean	30.05	603.9	0.3994	19.94	327.2	0.2583

## 2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 65

ตารางที่ จ-3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR 65

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	24.12	481.1	0.3169	19.00	334.0	0.2656
2	24.20	459.0	0.3194	22.62	409.1	0.3271
3	29.28	540.0	0.3918	20.84	356.0	0.3039
4	26.75	492.0	0.3564	22.55	383.0	0.3329
5	27.85	508.8	0.3610	21.65	878.8	0.3208
6	28.05	502.0	0.3754	17.15	756.4	0.2542
Mean	26.71	497.2	0.3535	20.64	519.6	0.3008

## 2.4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NBR

ตารางที่ จ-5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NBR

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	23.73	586.7	0.3161	25.06	1318.0	0.3143
2	22.12	630.0	0.2973	26.07	560.9	0.3316
3	24.14	584.4	0.3173	26.81	597.0	0.3265
4	24.47	670.2	0.3230	2.14	588.0	0.3246
5	22.25	619.6	0.2950	19.47	509.0	0.2525
6	25.28	664.9	0.3338	26.28	637.7	0.3185
Mean	23.67	625.9	0.3137	24.99	578.5	0.3108

## 2.5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง STR 5L

ตารางที่ จ-6 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง STR 5L

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Load at Max. Load (KN)
1	19.26	870.0	0.2426	20.62	737.1	0.2363
2	19.69	770.0	0.2386	22.14	740.0	0.2578
3	19.08	861.3	0.2393	20.10	731.4	0.2304
4	19.07	760.0	0.2358	21.61	794.3	0.2529
5	17.72	728.9	0.2201	22.27	724.0	0.2646
6	18.17	808.0	0.2290	21.31	702.9	0.2480
Mean	18.83	799.7	0.2342	21.34	738.3	0.2483

### 3. ผลการทดสอบการคืนตัว

ตารางที่ จ-7 ผลการทดสอบการคืนตัวของยาง

Sample Sample No.	C <sub>B</sub> (%)			
	1	2	3	Median
ENR 20	49.53	47.56	47.88	47.88
ENR 45	50.59	49.38	52.62	50.59
ENR 65	55.19	55.81	55.75	55.75
NBR	61.61	60.92	61.63	61.61
STR 5L	68.06	69.52	68.34	68.34

### 4. ผลการทดสอบความต้านทานโอโซน (Ozone Test)

ตารางที่ จ-8 ผลการทดสอบความต้านทานโอโซนของยาง

ตัวอย่าง	เลขหมายตัวอย่าง	ผลการทดลอง
ENR 20	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
ENR 45	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
ENR 65	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
NBR	1	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	2	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
	3	C-4 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตก 1-3 มม.
STR 5L	1	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.
	2	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.
	3	C-5 เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วนความยาวรอยแตกมากกว่า 3 มม.



## 5. ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมัน

5.1 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน ASTM OIL NO.1

ตารางที่ จ-9 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน ASTM OIL NO.1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Mean
ENR 20	+0.2723	+0.2660	+0.2742	+0.2708
ENR 45	+0.0758	+0.0675	+0.0704	+0.0712
ENR 65	+0.0484	+0.0485	+0.0510	+0.0493
NBR	+0.0123	+0.0148	+0.0158	+0.0143
STR 5L	--	--	--	--

5.2 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน IRM 903

ตารางที่ จ-10 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางโดยใช้น้ำมัน IRM 903

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Mean
ENR 20	+1.9818	+1.9785	+1.9641	+1.9748
ENR 45	+0.6839	+0.7024	+0.6392	+0.6752
ENR 65	+0.4776	+0.4691	+0.4698	+0.4772
NBR	+0.1484	+0.1444	+0.1447	+0.1460
STR 5L	--	--	--	--

หมายเหตุ : -- คือ ชิ้นตัวอย่างละลายในน้ำมันจึงไม่สามารถนำมาชั่งน้ำหนักวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปลี่ยนไปของชิ้นตัวอย่างได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว จริญญา เยาว์แสง เกิดเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2522 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ พอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ) ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2544



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย