

รายการอ้างอิง

1. เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตรี. เทคโนโลยีของยาง (Rubber Technology). ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
2. Thiangchanya, A. 1988. Epoxidized Natural Rubber. Songklanakar J. Sci. and Technol. 10 : 2227–2234.
3. Gan, S.N. and Hamid, Z.A. 1997. Partial Conversion of Epoxy Groups to Dials in Epoxidized Natural Rubber. Polymer 38: 1953–1956.
4. Nakason, C., Sinumsai, W., Kaesaman, A. and Klinpituksa, P. 2001. Preparation Thermal and Flow Properties of Epoxidized Natural Rubber. Songklanakar J. Sci. and Technol. : 415–424.
5. Cheremisinoff, N.P. Elastomer technology handbook. : CRC Press, 1993.
6. Bhowmick, A.K. and Stephens, H.L.. Handbook of elastomer: New developments and technology. New York: Marcel Dekker., 1988.
7. ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. 2534. การอิพอกซิเดชันยางและการวิเคราะห์. ว. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6: 147–153.
8. Barlow, F.W. Rubber compounding: Principles, materials and techniques. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1993.
9. Robert, A.D. Natural rubber science and technology. London: Oxford University Press, 1988.
10. Blacley, D.C. Polymer lattice: Science and technology. 2nd ed. vol.2. Types of Lattices. New York: Chapman & Hall, 1997.
11. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ระบบการคงรูปของยาง (Vulcanization system). หาดใหญ่: งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยยาง หาดใหญ่, 2536.
12. Baker, C.S.L., Gelling, I.R. and Newell, R. 1985. Epoxidized Natural Rubber. Rubb. Chem. Tech. : 67–85.
13. Davies, C.K.L., Wolfe, S.V., Gelling, I.R. and Thomas, A.G. 1983. Strain Crystallization in Random copolymers Produced by Epoxidation of *cis*-1,4-Polyisoprene. Polymer : 107–113.
14. Gelling, I.R. 1987. Epoxidized Natural Rubber. NR Technology. : 21–29.
15. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแห้ง. หาดใหญ่: งานอุตสาหกรรมยาง ศูนย์วิจัยยาง หาดใหญ่, 2536.

16. Katz, H.S. and Milewski, J.V. Handbook of fillers for plastics. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.
17. โอบเอื้อ อัมวิทยา. ผลของขนาดอนุภาคและปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไนซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
18. Ng, S.C. and Gan, L.H. 1986. Reaction of Natural Rubber Latex with Performic Acid. Eur. Polym. J. : 573–576.
19. Poh, B.T. and Tan, B.K. 1991. Mooney Scorch Time of Epoxidized Natural Rubber. J. Appl. Polym. Sci. : 1407–1416.
20. Nakason, C., Sinumsai, W., Kaesaman, A. and Klinpituksa, P. 2003. Cure and Physical Properties of Natural Rubber and Epoxidized Natural Rubber Compounds Using Various Types of Accelerators. Songklanakarin J. Sci. and Technol. : 63–73.
21. จริญญา เยาว์แสง. ความต้านทานน้ำมันและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
22. Akiba, M. and Hashim, A.S. 1997. Vulcanization and Crosslinking in Elastomer. Prog. Polym. Sci. : 475–521.
23. Sadequl, A.M., Ishiaku, U.S. and Poh, B.T. 1999. Cure Index and Activation Energy of ENR 25 Compared with SMR L in Various Vulcanization Systems. Eur. Polym. J. : 711–719.
24. Ismail, H., Rozman H.D., Jaffri, R.M. and Mohd, Z.A. 1997. Oil Palm Wood Flour Reinforced Epoxidized Natural Rubber composites: The Effect of Filler Content and Size. Eur. Polym. J. : 1627–1632.
25. Lee, C.H. and Poh, B.T. 1985. Temperature of Mooney Scorch Time of Rubber Compounds. J. Appl. Polym. Sci. : 71–81.
26. Fetterman, M.Q. 1986. Precipitated Silica—Coming of Age. Rubber World. : 38–42.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 สูตรการเตรียมยาง ENR

สารเคมี	สูตร						
	1	2	3	4	5	6	7
Latex 20% DRC (g)	380	380	380	380	380	380	380
Terric16A-16 (g)	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(M)	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75	0.75	0.75
กรดฟอร์มิก (M)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25	0.50	1.00

1. วิธีการคำนวณการเติมกรดฟอร์มิกที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติฟอกซีไคซีในงานวิจัย

การหาปริมาณการเติมกรดฟอร์มิกที่ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20%DRC (น้ำยางชั้น 60%DRC เจือจางให้เป็นน้ำยางชั้น 20%DRC ด้วยการเติมน้ำกลั่น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางชั้น 60%DRC ปริมาณ 250 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 กรัม มีเนื้อยางแห้ง 150 กรัม) การคำนวณแสดงดังนี้

โมลาร์กรดฟอร์มิก : โมลาร์หน่วยไอโซพรีนของยางธรรมชาติ เป็น 1.00 : 1.00

หน่วยไอโซพรีน (C_5H_8) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 68 กรัม / โมล

$$\begin{aligned} \text{หาจำนวนโมลของหน่วยไอโซพรีน} &= \text{น้ำหนักยางแห้ง} / \text{มวลโมเลกุล} \\ &= 150 \text{ กรัม} / 68 \text{ กรัม} / \text{โมล} \\ &= 2.206 \text{ โมล} \end{aligned}$$

1 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้กรดฟอร์มิก 1.00 โมล

ถ้า 2.206 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้กรดฟอร์มิก $(1.00 \times 2.206)/1$ โมล
= 2.206 โมล

กรดฟอร์มิก 2.206 โมล คิดเป็น $(46 \text{ กรัม} \times 2.206 \text{ โมล})/1$ โมล
= 101.47 กรัม

2. วิธีการคำนวณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติอพอกซีโคชในงานวิจัย

การหาปริมาณการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดฟอร์มิกในน้ำยางชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 20%DRC (น้ำยางชั้น 60%DRC เจือจางให้เป็นน้ำยางชั้น 20%DRC ด้วยการเติมน้ำกลั่น ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางชั้น 60%DRC ปริมาณ 250 กรัม เติมน้ำกลั่น 500 กรัม มีเนื้อยางแห้ง 150 กรัม) การคำนวณแสดงดังนี้

โมลาร์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ : โมลาร์หน่วยไอโซพรีนของยางธรรมชาติ เป็น 0.75 : 1.00
หน่วยไอโซพรีน (C_5H_8) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 68 กรัม / โมล

$$\begin{aligned} \text{หาจำนวนโมลของหน่วยไอโซพรีน} &= \text{น้ำหนักยางแห้ง} / \text{มวลโมเลกุล} \\ &= 150 \text{ กรัม} / 68 \text{ กรัม} / \text{โมล} \\ &= 2.206 \text{ โมล} \end{aligned}$$

1 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	0.75	โมล
ถ้า 2.206 โมลของหน่วยไอโซพรีนใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	$(0.75 \times 2.206)/1$	โมล
	= 1.655	โมล
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1.655 โมล คิดเป็น	$(34 \text{ กรัม} \times 1.655 \text{ โมล})/1$	โมล
	= 56.27	กรัม
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 กรัม คิดเป็น	100	กรัม
ถ้าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 56.27 กรัม คิดเป็น	$(56.27 \times 100)/50$	กรัม
	= 112.54	กรัม

ภาคผนวก ข.

1. ผลการทดสอบเวลาสตอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq)

ตารางที่ ข-1 ผลเวลาสตอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ในการทดลองครั้งที่ 1

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
NR (CV)	14.78	25.28	13.08	63.32
NR (semi-EV)	9.50	14.78	11.52	63.39
NR (EV)	7.89	14.94	9.81	62.43

ตารางที่ ข-2 ผลเวลาสตอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ในการทดลองครั้งที่ 2

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
NR (CV)	14.83	25.33	13.30	64.51
NR (semi-EV)	9.33	14.28	11.89	63.25
NR (EV)	6.44	13.28	9.74	61.46

ตารางที่ ข-3 ผลเวลาสคอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ในการทดลองครั้งที่ 3

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
NR (CV)	14.22	25.17	13.82	65.03
NR (semi-EV)	9.43	14.28	11.69	63.10
NR (EV)	6.89	13.89	11.67	58.56

2. ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึง

2.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง NR (CV)

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง NR (CV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	24.33	963.0	2.145	20.05	642.4	3.015
2	25.49	681.5	2.995	20.71	617.6	3.383
3	23.41	803.7	2.174	20.62	615.4	2.658
4	23.58	985.2	1.656	18.89	599.3	2.950
5	26.82	929.6	2.118	19.43	614.9	3.125
Mean	24.73	872.6	2.218	19.94	617.9	3.026

ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (CV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	27.41	867.2	2.061	18.17	622.4	2.830
2	25.62	824.8	2.088	20.02	725.3	2.490
3	27.30	839.2	2.014	19.85	621.6	2.631
4	28.15	788.7	2.309	18.60	643.9	2.520
5	26.67	815.3	2.206	19.53	678.3	2.398
Mean	27.03	827.0	2.136	19.23	658.3	2.574

ตารางที่ ข-6 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (CV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	25.95	920.0	2.031	23.73	850.7	1.645
2	25.60	857.6	3.253	21.68	678.7	2.812
3	26.23	910.0	2.780	23.25	703.3	2.666
4	25.77	807.2	2.098	23.26	720.7	2.310
5	26.75	895.0	1.934	21.93	806.0	2.226
Mean	26.06	878.0	2.419	22.77	751.9	2.332

2.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV)

ตารางที่ ข-7 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	26.61	792.6	2.167	21.78	736.4	2.829
2	27.37	933.3	2.008	21.41	774.1	3.107
3	25.81	811.1	2.582	23.73	872.0	2.724
4	27.02	1074.1	2.026	22.58	985.2	2.73
5	26.26	902.7	2.047	22.65	927.2	2.631
Mean	26.61	902.8	2.166	22.43	853.0	2.817

ตารางที่ ข-8 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	23.80	696.4	3.196	25.19	940.8	2.343
2	24.90	896.0	2.455	24.74	799.2	3.168
3	22.63	992.0	2.289	24.14	885.3	2.614
4	24.06	1024.0	2.025	25.48	839.3	2.894
5	23.25	851.1	2.482	24.25	832.7	2.987
Mean	23.73	891.9	2.489	24.76	859.5	2.801

ตารางที่ ข-9 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	25.89	825.7	2.561	23.15	988.8	2.851
2	27.11	901.6	2.554	24.47	878.0	3.411
3	26.62	776.8	2.639	23.59	980.0	3.120
4	26.49	961.3	2.615	24.29	815.3	2.919
5	26.87	807.1	2.648	23.75	846.9	2.716
Mean	26.60	854.5	2.594	23.85	901.8	3.003

2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (EV)

ตารางที่ ข-10 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	15.92	752.2	2.100	14.21	794.7	2.379
2	14.54	807.7	2.095	16.37	804.0	2.396
3	13.75	841.1	2.269	17.20	813.1	2.335
4	16.23	944.8	2.127	15.47	846.7	2.212
5	14.98	869.2	2.145	17.52	790.5	2.530
Mean	15.08	843.0	2.147	16.15	809.8	2.370

ตารางที่ ข-11 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	19.01	915.0	2.072	18.53	880.9	1.662
2	20.34	870.2	1.806	19.38	823.2	2.141
3	19.12	903.2	1.816	18.68	829.3	2.146
4	20.01	774.0	2.064	18.26	868.4	2.035
5	20.81	812.6	2.081	18.22	881.2	1.892
Mean	19.86	855.0	1.968	18.61	856.6	1.975

ตารางที่ ข-12 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง NR (EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	20.96	807.7	2.220	15.18	773.3	2.492
2	18.45	831.3	2.070	15.99	815.1	2.425
3	19.75	886.0	1.981	16.39	872.9	2.095
4	19.28	813.1	2.307	16.68	747.3	2.693
5	18.77	860.2	2.233	15.69	806.0	2.395
Mean	19.44	839.7	2.162	15.99	814.9	2.420

3. ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาด

3.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (CV)

ตารางที่ ข-13 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (CV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	64.89	274.2	33.62	64.70	224.1	34.23
2	62.37	224.4	32.15	66.80	202.4	34.61
3	61.99	265.8	31.79	66.03	199.0	35.12
4	63.98	283.5	32.68	65.27	190.7	33.58
5	62.11	260.7	32.64	64.92	198.9	34.90
Mean	63.07	261.7	32.58	65.54	203.0	34.49

ตารางที่ ข-14 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (CV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	67.90	232.9	34.82	69.58	203.7	37.32
2	68.89	230.9	35.51	71.53	205.6	38.68
3	70.00	242.7	36.27	68.66	200.7	37.39
4	71.83	268.1	37.81	68.28	208.0	37.56
5	69.92	241.2	35.49	70.39	204.3	37.49
Mean	69.71	243.2	35.98	69.69	204.5	37.69

ตารางที่ ข-15 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (CV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	67.06	245.3	35.30	73.62	222.4	39.37
2	68.55	251.3	35.70	70.76	226.0	37.64
3	69.22	257.8	36.71	72.29	227.4	39.07
4	65.84	263.5	35.42	70.50	220.6	38.78
5	66.83	265.4	36.60	72.90	234.3	39.85
Mean	67.50	256.7	35.95	72.01	226.1	38.94

3.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV)

ตารางที่ ข-16 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	63.02	288.3	33.70	63.10	217.0	36.21
2	67.63	246.0	35.79	62.79	212.7	36.40
3	64.24	247.2	33.99	64.24	219.7	37.54
4	66.34	255.7	34.73	61.38	207.9	36.36
5	65.26	253.2	34.92	61.22	212.2	36.29
Mean	65.30	258.1	34.63	62.55	213.9	36.56

ตารางที่ ข-17 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกษาคของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	63.48	276.7	34.31	68.47	216.4	36.81
2	65.42	249.0	34.99	66.95	224.0	35.80
3	64.96	241.7	34.01	68.47	219.4	36.42
4	61.30	247.5	33.76	68.28	226.2	36.32
5	62.07	243.5	33.01	65.99	214.2	34.92
Mean	63.45	251.7	34.02	67.63	220.0	36.05

ตารางที่ ข-18 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกษาคของชั้นทดสอบยาง NR (semi-EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	77.67	289.3	35.24	68.13	209.9	36.24
2	73.05	265.9	34.85	70.73	229.4	38.33
3	75.42	271.8	33.87	72.24	223.4	37.95
4	75.23	287.5	33.58	70.19	225.4	37.95
5	76.41	281.1	33.98	68.89	214.8	37.04
Mean	75.56	279.1	34.30	70.04	220.6	37.50

3.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (EV)

ตารางที่ ข-19 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	49.51	197.9	24.62	48.26	178.1	27.11
2	50.70	201.3	25.40	49.63	179.1	27.42
3	50.16	199.0	25.26	48.56	172.6	26.68
4	50.77	190.4	25.59	49.97	175.0	27.01
5	48.75	183.4	24.79	48.96	179.9	26.23
Mean	49.98	194.9	25.13	49.08	176.9	26.89

ตารางที่ ข-20 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	51.84	220.2	26.80	53.67	205.9	29.33
2	52.28	217.0	27.83	52.19	251.2	28.52
3	51.57	204.5	26.18	51.23	196.8	27.69
4	51.04	206.6	25.74	51.27	193.3	27.56
5	51.34	212.7	26.60	52.49	195.0	28.23
Mean	51.61	212.2	26.63	52.17	201.2	28.27

ตารางที่ ข-21 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง NR (EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	49.25	204.9	26.48	48.90	195.9	26.87
2	48.79	225.9	26.52	48.22	194.1	26.35
3	47.57	202.9	25.44	47.11	189.1	25.60
4	46.92	197.4	24.83	48.71	198.3	26.19
5	46.54	183.9	24.49	48.89	199.5	26.51
Mean	47.81	203.0	25.55	48.37	195.4	26.30

4. ผลการทดสอบการคืนตัว

ตารางที่ ข-22 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ครั้งที่ 1

Sample / Sample No.	C_B (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	39.86	39.45	40.42	39.86
NR (semi-EV)	34.56	32.19	32.99	32.99
NR (EV)	15.03	15.09	14.53	15.03

ตารางที่ ข-23 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	C _B (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	39.80	40.32	35.88	39.80
NR (semi-EV)	33.44	30.43	34.30	33.44
NR (EV)	16.73	17.73	16.05	16.73

ตารางที่ ข-24 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	C _B (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	38.53	40.43	39.78	39.78
NR (semi-EV)	33.17	32.01	33.28	33.17
NR (EV)	15.71	15.43	14.61	15.43

5. ผลทดสอบความต้านทานน้ำมัน

5.1 ผลทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติโดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1

ตารางที่ ข-25 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	150.69	150.57	135.06	145.44
NR (semi-EV)	138.71	136.62	129.02	134.78
NR (EV)	131.13	121.73	121.06	124.64

ตารางที่ ข-26 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	145.19	141.39	142.18	142.92
NR (semi-EV)	134.36	132.72	132.57	133.22
NR (EV)	130.00	124.06	129.46	127.84

ตารางที่ ข-27 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	144.07	144.39	144.87	144.44
NR (semi-EV)	135.42	135.18	134.96	135.19
NR (EV)	125.86	124.99	125.41	125.42

5.2 ผลทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติโดยใช้น้ำมัน IRM 903

ตารางที่ ข-28 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	396.28	369.74	378.31	381.44
NR (semi-EV)	368.66	373.41	379.77	373.95
NR (EV)	263.75	272.25	275.92	270.64

ตารางที่ ข-29 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	380.07	381.23	382.17	381.16
NR (semi-EV)	365.91	370.87	376.78	371.19
NR (EV)	282.76	281.25	275.64	279.88

ตารางที่ ข-30 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
NR (CV)	373.41	380.63	377.44	377.16
NR (semi-EV)	369.75	370.69	373.55	371.33
NR (EV)	275.77	276.89	272.73	275.13

ภาคผนวก ก

1. ผลการทดสอบเวลาสคอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq)

ตารางที่ ก-1 ผลเวลาสคอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติอพอกซีไคซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ในการทดลองครั้งที่ 1

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
ENR (CV)	8.72	19.94	14.64	77.29
ENR (semi-EV)	3.61	9.67	13.90	69.69
ENR (EV)	2.72	7.78	10.63	62.95

ตารางที่ ก-2 ผลเวลาสคอร์ช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติอพอกซีไคซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ในการทดลองครั้งที่ 2

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
ENR (CV)	9.94	22.56	15.01	76.55
ENR (semi-EV)	3.28	9.89	14.05	70.29
ENR (EV)	2.78	7.11	11.00	63.25

ตารางที่ ค-3 ผลเวลาสคอรัช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ในการทดลองครั้งที่ 3

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
ENR (CV)	9.67	20.11	14.57	76.25
ENR (semi-EV)	3.11	9.94	13.01	70.18
ENR (EV)	3.33	7.44	10.92	62.79

2. ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึง

2.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (CV)

ตารางที่ ค-4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (CV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	22.76	571.4	3.234	20.22	695.3	2.382
2	23.69	711.1	2.918	20.67	624.0	2.817
3	21.03	608.9	2.975	20.43	622.7	2.904
4	21.16	859.3	2.714	19.88	602.9	2.304
5	20.87	918.5	2.865	19.67	709.3	2.172
Mean	21.90	733.8	2.941	20.17	650.8	2.516

ตารางที่ ค-5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (CV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	21.61	879.6	2.115	19.64	725.0	3.018
2	20.93	763.1	2.332	20.60	716.0	2.445
3	22.21	808.7	2.931	19.68	705.0	2.621
4	21.98	677.2	2.646	20.46	666.2	2.754
5	21.35	783.6	2.455	19.83	692.0	2.267
Mean	21.62	782.4	2.496	20.04	700.8	2.621

ตารางที่ ค-6 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (CV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	20.75	805.0	2.191	17.37	643.3	2.783
2	21.07	865.0	2.552	19.91	685.8	2.460
3	22.15	837.0	2.881	18.14	624.2	2.641
4	21.59	734.0	2.626	18.20	679.0	2.814
5	22.62	763.0	2.860	17.59	634.2	2.515
Mean	21.64	800.8	2.622	18.24	653.3	2.643

2.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR (semi-EV)

ตารางที่ ค-7 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR (semi-EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
	1	23.84	733.3	2.708	23.77	868.0
2	25.12	951.9	2.654	23.31	1022.0	3.056
3	24.95	851.9	2.849	22.99	848.0	2.766
4	24.38	918.5	2.716	23.55	820.0	2.826
5	22.17	979.3	2.482	22.93	823.0	2.582
Mean	24.09	887.0	2.682	23.31	876.2	2.755

ตารางที่ ค-8 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชิ้นทดสอบยาง ENR (semi-EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
	1	25.38	960.0	2.132	24.65	867.2
2	24.55	867.3	2.774	22.23	733.8	2.379
3	24.97	840.8	2.172	22.73	888.8	2.467
4	24.15	803.1	2.814	23.08	701.2	2.428
5	24.29	920.7	2.334	22.40	887.0	2.571
Mean	24.67	878.38	2.445	23.02	815.6	2.432

ตารางที่ ค-9 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (semi-EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	22.99	830.0	2.440	19.86	783.0	2.599
2	21.48	893.5	2.694	19.11	683.4	2.749
3	21.09	854.2	2.754	20.67	789.6	2.924
4	22.40	851.1	2.754	19.24	637.5	2.746
5	21.96	840.4	2.412	19.52	771.1	2.675
Mean	21.98	853.8	2.611	19.68	732.9	2.739

2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (EV)

ตารางที่ ค-10 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	15.66	690.9	1.705	15.60	754.1	2.434
2	14.98	836.0	1.734	15.16	783.7	1.961
3	15.19	786.7	1.811	15.29	848.9	2.007
4	13.66	866.5	1.753	16.17	716.8	1.795
5	14.31	915.1	1.897	15.76	954.1	1.638
Mean	14.76	819.0	1.780	15.60	811.5	1.967

ตารางที่ ค-11 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	15.73	696.9	1.861	15.68	788.3	1.852
2	14.06	934.8	1.807	13.43	807.3	1.877
3	14.46	704.4	1.726	14.90	807.5	1.861
4	14.60	887.7	1.785	15.95	784.5	1.889
5	14.83	816.7	1.819	13.78	782.0	2.038
Mean	14.74	808.1	1.800	14.75	793.9	1.903

ตารางที่ ค-12 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	15.65	781.9	1.777	13.02	803.0	1.856
2	15.41	809.6	1.540	14.93	786.0	1.829
3	14.23	768.1	1.657	14.53	770.1	1.752
4	15.23	840.6	1.705	15.75	804.7	1.932
5	14.78	754.6	1.543	14.67	713.7	1.978
Mean	15.06	809.2	1.644	14.58	722.5	1.870

3. ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาด

3.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของหินทดสอบยาง ENR (CV)

ตารางที่ ค-13 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของหินทดสอบยาง ENR (CV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	69.73	227.9	25.13	69.20	258.7	26.68
2	70.31	223.2	23.89	70.95	271.7	26.37
3	71.56	238.1	24.25	67.29	215.7	27.63
4	70.51	221.0	23.70	69.73	219.2	26.39
5	69.76	224.5	24.71	69.50	234.2	27.63
Mean	70.37	226.9	24.34	69.33	239.9	26.94

ตารางที่ ค-14 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของหินทดสอบยาง ENR (CV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	81.29	249.6	27.89	84.34	219.1	29.01
2	79.04	272.7	29.04	84.88	220.6	30.50
3	79.57	238.6	26.29	80.53	214.9	28.74
4	80.15	242.7	26.00	81.14	221.7	29.80
5	80.36	260.0	28.25	82.86	231.4	30.52
Mean	80.08	252.72	27.49	82.75	221.5	29.71

ตารางที่ ค-15 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (CV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	95.83	252.3	27.32	68.59	204.6	28.19
2	91.48	259.1	26.97	70.15	211.1	27.23
3	91.02	261.0	25.92	67.56	209.7	29.70
4	92.43	253.0	27.48	68.51	201.9	27.31
5	93.09	254.5	27.05	70.23	203.6	29.27
Mean	92.77	256.0	26.95	69.01	206.2	29.34

3.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (semi-EV)

ตารางที่ ค-16 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (semi-EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	73.02	298.8	38.13	75.72	236.1	38.86
2	73.55	262.8	36.59	74.62	230.9	38.31
3	73.78	226.5	37.26	76.68	255.9	39.15
4	72.86	241.1	37.17	76.41	255.6	38.54
5	72.77	262.2	37.70	75.20	238.2	38.96
Mean	73.20	258.3	37.37	75.73	243.3	38.76

ตารางที่ ค-17 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกษาคของชั้นทดสอบยาง ENR (semi-EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	72.78	242.5	38.11	76.14	236.7	41.05
2	75.45	243.0	39.71	78.93	235.2	40.27
3	75.04	255.1	39.08	77.94	248.2	41.58
4	72.29	265.2	39.65	79.46	251.6	41.93
5	76.64	259.5	40.55	77.23	242.0	41.72
Mean	74.44	253.1	39.42	77.94	242.7	41.71

ตารางที่ ค-18 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกษาคของชั้นทดสอบยาง ENR (semi-EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	72.08	256.2	36.34	75.06	224.3	38.85
2	71.84	243.4	37.05	76.33	238.7	40.98
3	68.93	238.4	36.29	74.01	236.7	39.82
4	72.28	261.3	36.46	73.51	233.4	39.39
5	72.75	243.7	36.37	73.20	224.2	39.60
Mean	71.58	248.6	36.50	74.42	231.5	39.73

3.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (EV)

ตารางที่ ค-19 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (EV) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	49.36	225.7	37.29	43.98	219.9	39.13
2	49.06	210.1	38.70	42.04	230.7	39.84
3	51.38	227.4	37.08	42.69	250.5	38.51
4	48.29	219.6	38.49	42.19	267.5	39.13
5	51.12	225.1	38.32	42.48	252.3	39.40
Mean	49.84	221.6	37.98	42.68	244.1	39.20

ตารางที่ ค-20 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (EV) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	50.20	250.4	40.24	55.22	231.6	42.16
2	52.57	254.7	38.94	55.81	237.7	42.04
3	48.64	228.1	39.59	53.75	221.6	39.99
4	48.10	222.7	39.68	55.43	228.8	40.64
5	51.42	246.9	39.18	56.15	241.2	41.45
Mean	50.19	240.6	39.53	55.27	232.2	41.26

ตารางที่ ค-21 ผลการทดสอบสมบัติด้านการรื้อกษาของชั้นทดสอบยาง ENR (EV) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Unaged			Aged		
	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	40.37	229.7	39.63	45.13	225.0	40.28
2	39.33	214.2	37.35	44.82	196.4	41.35
3	39.65	200.7	38.93	46.13	215.6	41.56
4	41.58	209.2	38.01	44.98	207.4	40.43
5	40.13	219.9	39.76	45.60	221.9	40.94
Mean	40.21	214.7	38.74	45.34	213.3	40.91

4. ผลการทดสอบการคืนตัว

ตารางที่ ค-22 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ครั้งที่ 1

Sample / Sample No.	C_B (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	48.03	53.47	53.77	53.47
ENR (semi-EV)	49.35	45.42	52.30	49.35
ENR (EV)	17.67	16.56	16.34	16.56

ตารางที่ ค-23 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติอีพอกซีไคซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV ครั้งที่ 2

Sample / Sample No.	C_B (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	49.84	50.61	50.31	50.31
ENR (semi-EV)	48.74	49.78	50.18	49.78
ENR (EV)	19.71	19.33	18.68	19.24

ตารางที่ ค-24 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติอพอกซีไคซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์แบบ
CV semi-EV และ EV ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	C _B (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	51.53	51.18	52.96	51.53
ENR (semi-EV)	49.68	48.96	49.93	49.68
ENR (EV)	19.13	18.09	18.52	18.52

5. ผลทดสอบความต้านทานน้ำมัน

5.1 ผลทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอพอกซีไคซ์โดยใช้น้ำมัน ASTM oil
No. 1

ตารางที่ ค-25 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอพอกซีไคซ์ที่มีระบบ
วัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	26.12	25.92	26.00	26.01
ENR (semi-EV)	24.94	24.57	24.94	24.82
ENR (EV)	19.60	19.50	20.00	19.70

ตารางที่ ค-26 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอพอกซีไคซ์ที่มีระบบ
วัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	26.97	27.13	26.92	27.00
ENR (semi-EV)	26.28	23.27	24.52	24.69
ENR (EV)	19.93	20.57	19.78	20.09

ตารางที่ ค-27 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่มีระบบ
วัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	26.88	27.03	26.93	26.95
ENR (semi-EV)	25.19	24.81	24.49	24.83
ENR (EV)	19.43	19.37	20.05	19.62

5.2 ผลทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์โดยใช้น้ำมัน IRM 903

ตารางที่ ค-28 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่มีระบบ
วัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	185.97	183.23	183.81	184.34
ENR (semi-EV)	173.21	166.53	160.52	166.75
ENR (EV)	156.76	157.67	156.81	157.08

ตารางที่ ค-29 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีไคซ์ที่มีระบบ
วัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	189.24	191.27	181.13	187.21
ENR (semi-EV)	169.60	169.69	175.72	171.67
ENR (EV)	156.22	161.19	159.26	158.89

ตารางที่ ค-30 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอิพอกซีโคซ์ที่มีระบบ
วัลคาไนซ์แบบ CV semi-EV และ EV โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (CV)	183.03	189.17	185.93	186.04
ENR (semi-EV)	169.49	165.64	169.56	168.23
ENR (EV)	157.29	157.38	159.34	158.00

ภาคผนวก ง

1. ผลการทดสอบเวลาสคอรัช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq)

ตารางที่ ง-1 ผลเวลาสคอรัช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติพอกซีโคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ในการทดลองครั้งที่ 1

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
ENR (N330)	2.21	9.42	11.89	113.19
ENR (Hi-sil 255)	4.75	27.25	27.87	124.34
ENR (CaCO ₃)	2.83	11.00	12.19	94.01

ตารางที่ ง-2 ผลเวลาสคอรัช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติพอกซีโคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ในการทดลองครั้งที่ 2

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
ENR (N330)	2.25	9.79	12.49	114.53
ENR (Hi-sil 255)	5.00	26.83	30.17	120.77
ENR (CaCO ₃)	2.72	10.61	12.04	94.46

ตารางที่ ง-3 ผลเวลาสคอรัช (t_{s2}) เวลาการคงรูป (t_{90}) แรงบิดต่ำสุดและแรงบิดสูงสุด (min. and max. torq) ของยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ในการทดลองครั้งที่ 3

sample	t_{s2} (min)	t_{90} (min)	min. torq (in.lbs.)	max. torq (in.lbs.)
ENR (N330)	2.25	9.83	12.26	113.41
ENR (Hi-sil 255)	4.92	25.92	29.73	124.86
ENR (CaCO ₃)	2.78	9.94	11.37	95.50

2. ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึง

2.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (N330)

ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของชั้นทดสอบยาง ENR (N330) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	23.72	559.9	14.99
2	24.22	535.0	16.77
3	24.67	618.3	14.81
4	24.29	573.3	14.45
5	24.60	534.0	12.77
Mean	24.30	564.1	14.76

ตารางที่ ๕-5 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (N330) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	24.34	578.0	11.81
2	24.59	589.3	13.18
3	24.27	630.7	12.83
4	24.55	575.4	11.85
5	24.24	517.0	13.20
Mean	24.40	578.1	12.57

ตารางที่ ๕-6 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (N330) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	25.45	529.3	13.28
2	24.33	511.0	12.84
3	25.11	515.0	11.33
4	24.18	660.8	12.65
5	24.76	522.0	12.86
Mean	24.77	547.6	12.59

2.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255)

ตารางที่ ง-7 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	21.44	707.4	3.316
2	21.73	780.0	2.750
3	22.03	701.3	3.168
4	19.36	613.7	3.525
5	21.25	703.0	3.159
Mean	21.16	701.1	3.184

ตารางที่ ง-8 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	20.94	622.2	3.652
2	21.22	727.1	3.112
3	20.03	679.1	3.345
4	19.43	597.7	3.691
5	20.74	606.0	3.670
Mean	20.47	646.4	3.476

ตารางที่ ง-9 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	22.52	595.2	3.331
2	22.18	627.1	3.416
3	23.51	745.8	3.881
4	24.27	640.9	3.956
5	20.55	624.9	3.661
Mean	22.61	646.8	3.649

2.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (CaCO₃)

ตารางที่ ง-10 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (CaCO₃) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	17.79	853.7	2.164
2	16.87	898.0	1.884
3	18.15	813.0	2.421
4	18.41	926.4	2.520
5	18.12	853.3	2.272
Mean	17.87	868.9	2.252

ตารางที่ ง-11 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (CaCO₃) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	17.98	764.0	2.865
2	18.61	714.7	3.167
3	17.35	699.0	3.096
4	17.58	731.4	2.935
5	17.20	780.6	2.616
Mean	17.74	737.9	2.936

ตารางที่ ง-12 ผลการทดสอบสมบัติด้านการดึงของหินทดสอบยาง ENR (CaCO₃) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Stress at Max. Load (MPa)	% Strain at Max. Load (%)	Stress at 300% modulus (MPa)
1	17.05	844.0	2.339
2	17.22	798.9	2.571
3	18.13	782.9	2.861
4	17.75	793.0	2.607
5	16.37	834.7	2.344
Mean	17.30	810.7	2.544

3. ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกขาด

3.1 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกขาดของหินทดสอบยาง ENR (N330)

ตารางที่ ง-13 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกขาดของหินทดสอบยาง ENR (N330) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	63.93	286.0	67.52
2	62.07	277.7	66.87
3	59.24	267.7	66.24
4	61.23	291.4	66.48
5	65.26	279.3	67.03
Mean	62.35	280.4	66.83

ตารางที่ ง-14 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกขาดของหินทดสอบยาง ENR (N330) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	66.26	284.1	65.71
2	64.09	279.9	67.86
3	62.56	282.5	66.62
4	62.64	291.2	67.73
5	61.92	285.7	67.24
Mean	63.49	284.7	67.03

ตารางที่ ง-15 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของฉันทดสอบยาง ENR (N330) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	64.01	288.4	66.28
2	61.60	284.7	69.00
3	68.04	291.4	65.59
4	64.82	289.9	66.95
5	61.21	291.5	67.54
Mean	63.94	289.2	67.07

3.2 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของฉันทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255)

ตารางที่ ง-16 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของฉันทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	62.76	236.6	58.76
2	60.89	232.1	57.85
3	64.02	214.9	55.30
4	62.56	221.1	58.97
5	61.57	232.1	57.79
Mean	62.36	227.4	57.73

ตารางที่ ง-17 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกษาคของชั้นทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	63.02	241.2	55.47
2	66.95	238.2	57.54
3	67.03	227.2	62.59
4	65.67	228.9	61.87
5	62.29	231.6	57.21
Mean	64.99	233.4	58.94

ตารางที่ ง-18 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิกษาคของชั้นทดสอบยาง ENR (Hi-sil 255) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	61.92	232.4	59.37
2	59.90	236.8	58.89
3	59.94	243.9	59.06
4	60.59	234.4	59.11
5	61.16	237.8	60.24
Mean	60.70	237.1	59.33

3.3 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (CaCO₃)

ตารางที่ ง-19 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (CaCO₃) ครั้งที่ 1

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	54.28	140.3	32.31
2	54.59	137.5	32.49
3	56.53	140.3	32.68
4	62.45	148.2	33.22
5	62.45	145.4	32.52
Mean	58.06	142.3	32.64

ตารางที่ ง-20 ผลการทดสอบสมบัติด้านการฉีกขาดของชั้นทดสอบยาง ENR (CaCO₃) ครั้งที่ 2

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	58.06	141.6	32.44
2	56.34	133.1	31.13
3	61.15	140.0	32.35
4	64.51	144.7	33.25
5	61.99	136.3	31.47
Mean	60.41	139.1	32.13

ตารางที่ ง-21 ผลการทดสอบสมบัติด้านการนิยทของชั้นทดสอบยาง ENR (CaCO₃) ครั้งที่ 3

Specimen Number	Max. Load (N)	Ext. at Max. Load (mm.)	Max. Strength (N/mm.)
1	67.06	144.0	34.93
2	65.77	133.3	33.05
3	70.46	142.4	34.04
4	67.52	136.7	32.00
5	71.91	146.9	34.08
Mean	68.54	140.7	33.62

4. ผลทดสอบความแข็ง

ตารางที่ ง-22 ผลการทดสอบความแข็งของยางธรรมชาติพอกซีโคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต

Sample / Sample No.	ความแข็ง			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
ENR (N330)	71.5	71.0	70.5	71.0
ENR (Hi-sil 255)	70.9	69.1	69.6	69.6
ENR (CaCO ₃)	48.1	48.9	48.5	48.5

5. ผลทดสอบการคืนตัว

ตารางที่ ง-23 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	C _B (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	45.71	46.41	46.97	46.41
ENR (Hi-sil 255)	46.69	52.91	50.82	50.82
ENR (CaCO ₃)	62.78	62.58	63.49	62.78

ตารางที่ ง-24 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	C _B (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	45.68	46.80	46.38	46.38
ENR (Hi-sil 255)	50.95	52.80	48.43	50.90
ENR (CaCO ₃)	60.59	63.38	59.09	60.59

ตารางที่ ง-25 ผลการทดสอบการคืนตัวของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	C _B (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	47.53	47.56	47.88	47.56
ENR (Hi-sil 255)	50.59	49.38	52.62	50.59
ENR (CaCO ₃)	61.64	59.74	62.08	61.64

6. ผลทดสอบความต้านทานน้ำมัน

6.1 ผลทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีโคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1

ตารางที่ ง-26 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีโคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	13.61	14.10	12.99	13.61
ENR (Hi-sil 255)	14.21	14.57	13.68	14.21
ENR (CaCO ₃)	22.76	22.97	25.66	23.80

ตารางที่ ง-27 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติพอกซีโคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	13.20	12.43	13.63	13.20
ENR (Hi-sil 255)	14.51	13.41	14.45	14.45
ENR (CaCO ₃)	20.74	22.14	23.02	21.97

ตารางที่ ง-28 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้น้ำมัน ASTM oil No. 1 ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	13.29	14.38	13.73	13.73
ENR (Hi-sil 255)	13.86	15.49	14.91	14.91
ENR (CaCO ₃)	19.87	20.51	19.73	20.04

6.2 ผลทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนตโดยใช้น้ำมัน IRM 903

ตารางที่ ง-29 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 1

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	124.05	123.90	125.81	124.05
ENR (Hi-sil 255)	143.77	145.22	151.48	145.22
ENR (CaCO ₃)	147.02	164.81	156.00	155.94

ตารางที่ ง-30 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 2

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	123.84	122.41	120.47	122.41
ENR (Hi-sil 255)	156.79	155.38	152.24	155.38
ENR (CaCO ₃)	155.33	150.64	149.87	151.95

ตารางที่ ง-31 ผลการทดสอบความต้านทานน้ำมันของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติมคาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยใช้น้ำมัน IRM 903 ครั้งที่ 3

Sample Sample No.	Change in Volume (%)			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	125.65	125.14	125.69	125.14
ENR (Hi-sil 255)	137.91	147.21	142.48	142.48
ENR (CaCO ₃)	152.28	151.05	150.14	151.05

7. ผลทดสอบความต้านทานการสึกหรอ

ตารางที่ ง-32 ผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอของยางธรรมชาติอิพอกซีไคซ์ที่ใส่สารตัวเติม คาร์บอนแบล็ก ซิลิกา และ แคลเซียมคาร์บอเนต

Sample Sample No.	ปริมาตรที่หายไป/1,000 รอบ			
	1	2	3	Median
ENR (N330)	0.18	0.21	0.21	0.21
ENR (Hi-sil 255)	0.41	0.48	0.57	0.48
ENR (CaCO ₃)	1.72	1.76	1.72	1.72

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว จิราพรรณ ภาระบุญ เกิดเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2543

เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จการศึกษาในเดือนตุลาคม ปีการศึกษา 2547