

## รายการอ้างอิง

1. Huang, Y., R.N. Bird, and O. Heidrich, *A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements*. Resources, Conservation and Recycling, 2007. 52(1): p. 58-73.
2. S. Lee, F.O.A., B.S. Kocher, *Oxidative decoupling of scrap rubber*. U.S. Patent 5,516,952, 1996.
3. Levin, V.Y., S.H. Kim, and A.I. Isayev, *Vulcanization of Ultrasonically Devulcanized SBR Elastomers*. Rubber Chemistry and Technology, 1997. 70(1): p. 120-128.
4. Mo, X., et al., *Activation and deactivation characteristics of sulfonated carbon catalysts*. Journal of Catalysis, 2008. 254(2): p. 332-338.
5. Dijks, I.J., et al., *The catalytic performance of sulphonated cross-linked polystyrene beads in the formation of isobomyl acetate*. Applied Catalysis A: General, 2003. 241(1-2): p. 185-203.
6. W. Neumann, B.D., *Process for surface activation and/or devulcanization of sulfur-vulcanized rubber particles*. U.S. Patent, 20,100,203,601, 2010.
7. B. Saville. Review. Rubber Chem Technol Web site. 2009. Available at: <http://www.thinkpdf.com/ti/tire-vulcanization-book.pdf>. Accessed November 1.
8. Wang, F., et al., *Direct polymerization of sulfonated poly(arylene ether sulfone) random (statistical) copolymers: candidates for new proton exchange membranes*. Journal of Membrane Science, 2002. 197(1-2): p. 231-242.
9. Ballistreri, F.P., G.A. Tomaselli, and R.M. Toscano, *Selective oxidation reactions of diaryl- and dialkyldisulfides to sulfonic acids by CH<sub>3</sub>ReO<sub>3</sub>/hydrogen peroxide*. Tetrahedron Letters, 2009. 50(46): p. 6231-6232.
10. Liu, F., et al., *Efficient and stable solid acid catalysts synthesized from sulfonation of swelling mesoporous polydivinylbenzenes*. Journal of Catalysis, 2010. 271(1): p. 52-58.
11. Schultes, R.E., *Wild Hevea: an untapped source of germ plasm*. Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka, 1977. 54: p. 227-257.
12. Mathew, N.M., *Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology*. 1992, Amsterdam: Elsevier.



13. Wolfe, J.R., *The chemistry of sulfur curing. Part I. Kinetics of vulcanization of an EPDM elastomer accelerated by zinc dimethyldithiocarbamate*. Journal of Applied Polymer Science, 1968. **12**(5): p. 1167-1181.
14. Chen, M., et al., *Comparison and evaluation of the thermooxidative stability of medical natural rubber latex products prepared with a sulfur vulcanization system and a peroxide vulcanization system*. Journal of Applied Polymer Science, 2005. **98**(2): p. 591-597.
15. Lattimer, R.P., et al., *The Mechanism of Phenolic Resin Vulcanization of Unsaturated Elastomers*. Rubber Chemistry and Technology, 1989. **62**(1): p. 107-123.
16. Hofmann, W., *Vulcanization and Vulcanizing Agents*. November 1967: Elsevier Science Ltd.
17. Mark, J.E., Erman, B. and Eirich, F.R., *Science and Technology of Rubber*. 2005, the United States of America: Elsevier Academic
18. Choi, S.-S., *Correlation of crosslink density with pyrolysis pattern of natural rubber vulcanizates with efficient vulcanizing cure system*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1999. **52**(1): p. 105-112.
19. Saville, B. and A.A. Watson, *Structural Characterization of Sulfur-Vulcanized Rubber Networks*. Rubber Chemistry and Technology, 1967. **40**(1): p. 100-148.
20. Morawetz, H., *Macromolecules, an introduction to polymer science*. Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition, 1980. **18**(2): p. 153-154.
21. Elliot, D.J., *Developments with natural rubber in development in rubber technology*, 1979.
22. Micheal, A.W.M.a.A.S., *Pyrolysis of scrap tires*. 1996, chemtech.
23. พรเฉลิมพงศ์, พ. *Oxidation/ปฏิกิริยาออกซิเดชัน*. [cited 2014 4 March]; Available from: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/557/oxidation>.
24. Ballistreri, F.P., G.A. Tomaselli, and R.M. Toscano, *Selective and mild oxidation of thiols to sulfonic acids by hydrogen peroxide catalyzed by methyltrioxorhenium*. Tetrahedron Letters, 2008. **49**(20): p. 3291-3293.
25. พูลโกคา, บ. *แอลกอฮอล์ II : ปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ (Reactions of Alcohols)*. 2552 [cited 2014 4 March]; Available from: [http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course\\_info/2302265/Alcohol-II.pdf](http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302265/Alcohol-II.pdf)
26. Clark, J. *The Mechanism for the esterification reaction*. 2004 [cited 2013 4 March]; Available from: <http://www.chemguide.co.uk/physical/catalysis/esterify.html>.



27. บุญอำนวยวิทยา, ว., จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. 2006, กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
28. Mou, C.-Y. *Kinetics 2*. 2010 [cited 2013 4 March]; Available from: <http://www.ch.ntu.edu.tw/~cymou/catalyst94/chap3-Kinetics-2.pdf>.
29. Suppalakpanya, K., *Biodiesel from crude palm oil by catalytic ozonation with sulfonated vanadia-titania catalyst and amberlyst in Department of Chemical Engineering*. 2007, Prince of Songkla University: Songkla, Thailand. p. 25.
30. AMBERLYST™ *Polymeric Catalysts and Ion Exchange Resins*. 2009 [cited 2013 4 March].
31. Okwu, U.N. and F.E. Okieimen, *Preparation and properties of thioglycollic acid modified epoxidised natural rubber and its blends with natural rubber*. *European Polymer Journal*, 2001. 37(11): p. 2253-2258.
32. Zhang, J., et al., *Oxidation of natural rubber using a sodium tungstate/acetic acid/hydrogen peroxide catalytic system*. *Polymer Degradation and Stability*, 2010. 95(6): p. 1077-1082.
33. Rios, R.R.V.A., et al., *Devulcanization of styrenebutadiene (SBR) waste tire by controlled oxidation*. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2006. 17(3): p. 603-608.
34. Yehia, A.A., et al., *Effect of chemically modified waste rubber powder as a filler in natural rubber vulcanizates*. *Journal of Applied Polymer Science*, 2004. 93(1): p. 30-36.
35. Sharifi, M., J. Schneider, and M. Wark, *Investigation on the optimal oxidation agent for a maximum yield of sulfonic acid groups in MCM-41*. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2012. 151: p. 506-510.
36. Wootthikanokkhan, J. *Polymer Spectroscopy* 2011; Available from: [http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/PPTMTT656PolymerCharact\\_spectroscopy.pdf](http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/PPTMTT656PolymerCharact_spectroscopy.pdf).
37. ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. *Thermogravimetric Analysis (TGA)*. 2010 [cited 2013 12 March]; Available from: [http://www.nanotec.or.th/th/?page\\_id=569](http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569).
38. Sangsrichan, S. *CH 210 – Chromatography*. 2010 [cited 2013 10 March]; Available from: [http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/s\\_sangsrichan/CH210%20Chromatography%202-2553.pdf](http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/s_sangsrichan/CH210%20Chromatography%202-2553.pdf).
39. Baker, C.S.L., I.R. Gelling, and R. Newell, *Epoxidized Natural Rubber*. *Rubber Chemistry and Technology*, 1985. 58(1): p. 67-85.



40. Ng, S.C. and L.H. Gan, *Reaction of natural rubber latex with performic acid*. European Polymer Journal, 1981. 17(10): p. 1073-1077.
41. Hirayama, D. and C. Saron, *Chemical Modifications in Styrene-Butadiene Rubber after Microwave Devulcanization*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012. 51(10): p. 3975-3980.
42. Rooj, S., et al., *New Route for Devulcanization of Natural Rubber and the Properties of Devulcanized Rubber*. Journal of Polymers and the Environment, 2011. 19(2): p. 382-390.
43. Phinyocheep, P., et al., *Chemical degradation of epoxidized natural rubber using periodic acid: Preparation of epoxidized liquid natural rubber*. Journal of Applied Polymer Science, 2005. 95(1): p. 6-15.
44. Shirini, F., M. Abedini, and R. Pourhasan, *N-sulfonic acid poly(4-vinylpyridinium) chloride: A novel polymeric and reusable catalyst for the preparation of xanthenes derivatives*. Dyes and Pigments, 2013. 99(1): p. 250-255.
45. Tian, X., et al., *Sulfonic-acid-functionalized porous benzene phenol polymer and carbon for catalytic esterification of methanol with acetic acid*. Catalysis Today, 2011. 166(1): p. 53-59.
46. Choi, J.-K., Y.-K. Chang, and S. Yeap Hong, *Catalytic oxidation of aldehydes to carboxylic acids with hydrogen peroxide as oxidant*. Tetrahedron Letters, 1988. 29(16): p. 1967-1970.
47. Menon, A.R.R., C.K.S. Pillai, and G.B. Nando, *Thermal degradation characteristics of natural rubber vulcanizates modified with phosphorylated cashew nut shell liquid*. Polymer Degradation and Stability, 1996. 52(3): p. 265-271.
48. Morrison, N.J. and M. Porter, *Temperature Effects on the Stability of Intermediates and Crosslinks in Sulfur Vulcanization*. Rubber Chemistry and Technology, 1984. 57(1): p. 63-85.
49. Jiang, D.D., et al., *TGA/FTIR studies on the thermal degradation of some polymeric sulfonic and phosphonic acids and their sodium salts*. Polymer Degradation and Stability, 1999. 63(3): p. 423-434.
50. De, D., S. Maiti, and B. Adhikari, *Reclaiming of rubber by a renewable resource material (RRM). III. evaluation of properties of NR reclaim*. Journal of Applied Polymer Science, 2000. 75(12): p. 1493-1502.
51. Chou, L.-H., et al., *Effects of partial oxidation of crumb rubber on properties of rubberized mortar*. Composites Part B: Engineering, 2010. 41(8): p. 613-616.



52. James A. Nowak, T.A.Z., Leslie Patrick Mullin., *In situ formation of peracid from organic acid and oxidizing agent*. U.S. Patent 6740763 B1 2004.
53. Schad, J.L., *Decomposition of hydrogen peroxide*. U.S. Patent 2721788 A 1955.



ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับลักษณะสมบัติต่างๆของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนและ  
หลังการออกซิไดซ์

## 1. การคำนวณหาปริมาณซัลเฟอร์ ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter

ปริมาณซัลเฟอร์ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนและหลังการออกซิไดซ์ วิเคราะห์ตาม ASTM D3177 สามารถคำนวณตามสมการ (ก1)

$$\text{ร้อยละของซัลเฟอร์} = \frac{(A - B) \times 13.738}{C} \quad (\text{ก1})$$

เมื่อ	A	คือ น้ำหนัก crucible หลังการเผา (กรัม)
	B	คือ น้ำหนัก crucible เบล่าก่อนเผา (กรัม)
	C	คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

การสูญเสียซัลเฟอร์หลังการออกซิไดซ์ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ สามารถหาจากสมการ (ก2)

$$\text{การสูญเสียซัลเฟอร์ (wt.\%)} = \frac{X - Y}{X} \times 100 \quad (\text{ก2})$$

เมื่อ	X	คือ ปริมาณซัลเฟอร์ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนการออกซิไดซ์ (mmol/g <sub>rubber</sub> )
	Y	คือ ปริมาณซัลเฟอร์ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์ (mmol/g <sub>rubber</sub> )

ตัวอย่าง : ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนการออกซิไดซ์ (VR-4)

น้ำหนัก crucible หลังการเผา	= 20.9540	กรัม
น้ำหนัก crucible เบล่าก่อนการเผา	= 20.0499	กรัม
น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์	= 0.8853	กรัม

$$\text{ร้อยละของซัลเฟอร์} = \frac{(20.9540 - 20.4990) \times 13.738}{0.8853} = 7.06 \text{ wt.}\%$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซัลเฟอร์} &= \frac{7.06 \text{ g}_c}{100 \text{ g}_{\text{rubber}}} \left| \frac{1 \text{ mol}_c}{32 \text{ g}_s} \right| \frac{1000 \text{ mmol}_c}{1 \text{ mol}_s} \\ &= 2.21 \text{ mmol/g}_{\text{rubber}} \end{aligned}$$

๖. ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์ (OVR-4)

น้ำหนัก crucible หลังการเผา	= 20.8840	กรัม
น้ำหนัก crucible เป่าก่อนการเผา	= 20.5922	กรัม
น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์	= 0.8530	กรัม

$$\text{ร้อยละของซัลเฟอร์} = \frac{(20.8840 - 20.5922) \times 13.738}{0.8530} = 4.70 \text{ wt.}\%$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซัลเฟอร์} &= \frac{4.70 \text{ g}_s}{100 \text{ g}_{\text{rubber}}} \left| \frac{1 \text{ mol}_s}{32 \text{ g}_s} \right| \frac{1000 \text{ mmol}_s}{1 \text{ mol}_s} \\ &= 1.47 \text{ mmol/g}_{\text{rubber}} \end{aligned}$$

$$\text{การสูญเสียซัลเฟอร์} = \frac{2.21 - 1.47}{2.21} \times 100 = 33.5 \text{ wt.}\%$$





## 2. การคำนวณหาดีกรีการบวมตัว (swelling degree)

การหาค่าดีกรีการบวมตัวของตัวอย่างหาได้จากการทดสอบการบวมตัวซึ่งวิเคราะห์ตาม ASTM D471. ดีกรีการบวมตัว (Q) คำนวณได้ตามสมการ (ก3) และสามารถคำนวณหาดีกรีการบวมตัวที่ลดลง (%) หลังการออกซิไดซ์ตามสมการ (ก4)

$$\text{ดีกรีการบวมตัว (Q)} = \frac{(M - M_0) \times 100}{M_0} \quad (\text{ก3})$$

เมื่อ M คือ น้ำหนักสารตัวอย่างหลังจากบวมตัว (กรัม)

$M_0$  คือ น้ำหนักสารตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

$$\text{ดีกรีการบวมตัวที่ลดลง (\%)} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100 \quad (\text{ก4})$$

เมื่อ  $Q_1$  คือ ดีกรีการบวมตัวของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนการออกซิไดซ์

$Q_2$  คือ ดีกรีการบวมตัวของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์

ตัวอย่าง : ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนการออกซิไดซ์ (VR-4)

น้ำหนักสารตัวอย่างหลังจากบวมตัว = 0.4024 กรัม

น้ำหนักสารตัวอย่างเริ่มต้น = 0.2000 กรัม

ดีกรีการบวมตัว (Q) = 101.2 %

: ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์ (OVR-4)

น้ำหนักสารตัวอย่างหลังจากบวมตัว = 0.3530 กรัม

น้ำหนักสารตัวอย่างเริ่มต้น = 0.2050 กรัม

ดีกรีการบวมตัว (Q) = 72.2 %

$$\text{ดีกรีการบวมตัวที่ลดลง (\%)} = \frac{101.2 - 72.2}{101.2} \times 100 = 28.7 \%$$



### 3. การคำนวณหาปริมาณโซลและเจล

งานวิจัยนี้หาความคงตัวของตัวอย่างในตัวทำละลายด้วยเทคนิคการหาปริมาณโซลและเจลตามวิธีการใน ASTM D3616 และสามารถคำนวณค่าปริมาณโซลและปริมาณเจลได้จากสมการ (ก5) และ (ก6) ตามลำดับ

$$\text{ปริมาณโซล (\%)} = \frac{(W_o - W_d) \times 100}{W_o} \quad (\text{ก5})$$

$$\text{ปริมาณเจล (\%)} = 100 - \text{ปริมาณโซล (\%)} \quad (\text{ก6})$$

เมื่อ  $W_o$  คือ น้ำหนักสารตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

$W_d$  คือ น้ำหนักสารตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

ตัวอย่าง : ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนการออกซิไดซ์ (VR-4) ตัวทำละลายโทลูอีน

น้ำหนักสารตัวอย่างเริ่มต้น = 0.2000 กรัม

น้ำหนักสารตัวอย่างหลังอบแห้ง = 0.1612 กรัม

$$\text{ปริมาณโซล (\%)} = \frac{(0.2000 - 0.1612) \times 100}{0.2000} = 19.4 \%$$

$$\text{ปริมาณเจล (\%)} = 100 - 19.4 = 80.6 \%$$



#### 4. การคำนวณปริมาณตำแหน่งกรดจากการไทเทรต

งานวิจัยนี้หาปริมาณตำแหน่งกรดของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์ ด้วยวิธีการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสามารถคำนวณได้สมการ (ก7)

$$\text{ปริมาณตำแหน่งกรด (mmol/g)} = \frac{(A \times B)}{C} \quad (\text{ก7})$$

- เมื่อ A คือ ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (โมลาร์)  
 B คือ ปริมาตรของสารละลาย NaOH ที่ใช้ (มิลลิลิตร)  
 C คือ น้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ ( กรัม )

ตัวอย่าง : ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์ (OVR-4)

ข้อมูลที่ได้รับจากการไทเทรตมีดังนี้

ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (A)	= 0.02	โมลาร์
ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (B)	= 5.00	มิลลิลิตร
น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณตำแหน่งกรด (C)	= 0.1	กรัม

ดังนั้นปริมาณตำแหน่งกรดในตัวเร่งปฏิกิริยานี้เท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{acid site amount (mmol/g)} &= \frac{A \times B}{C} \\ &= \frac{0.02 \times 5.00}{0.1} \\ \therefore \text{acid site amount} &= 1.00 \text{ mmol/g} \end{aligned}$$

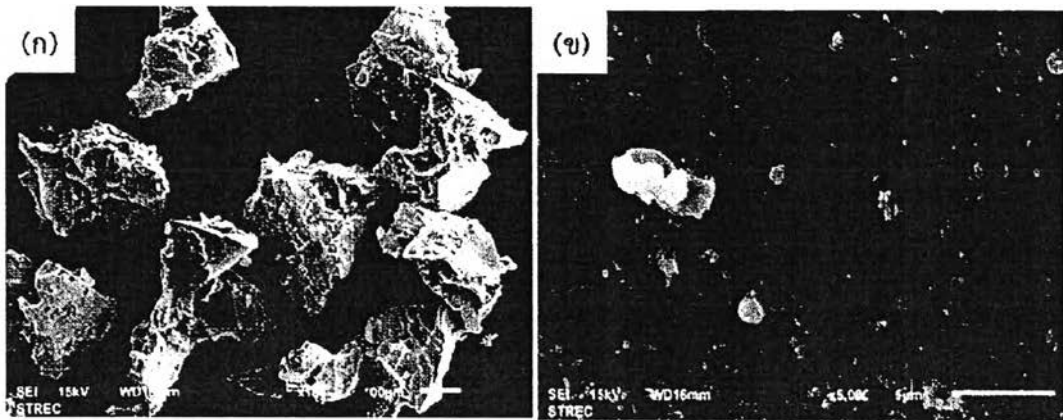
ดังนั้นปริมาณตำแหน่งกรดของ OVR-4 นี้เท่ากับ 1.00 มิลลิโมลต่อกรัม



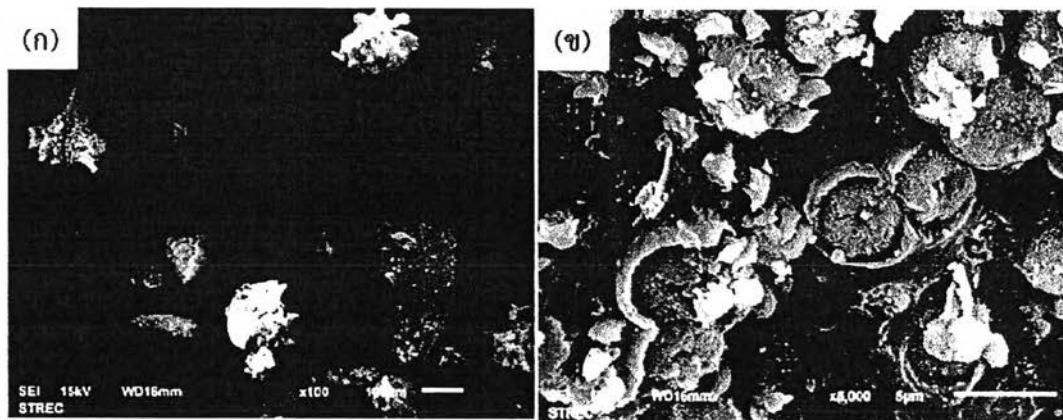
## ภาคผนวก ข

## ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ก่อนและหลังการออกซิไดซ์

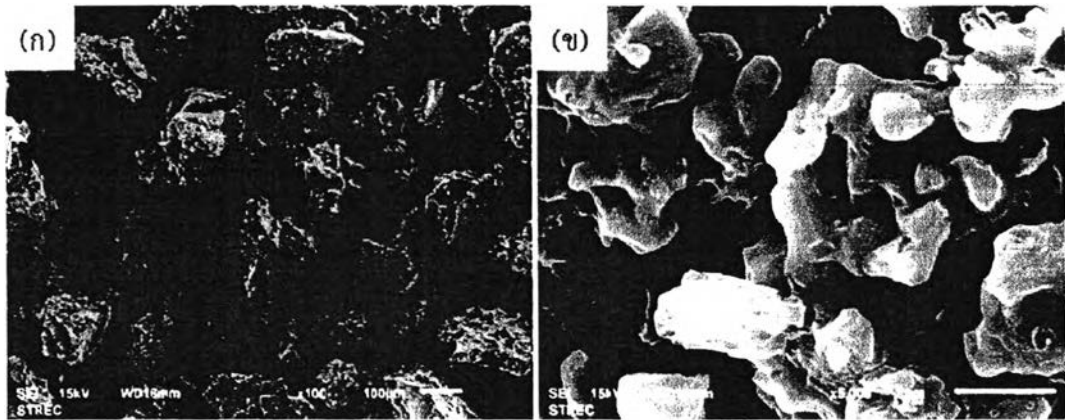
## 1. ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ในสูตรต่างๆ



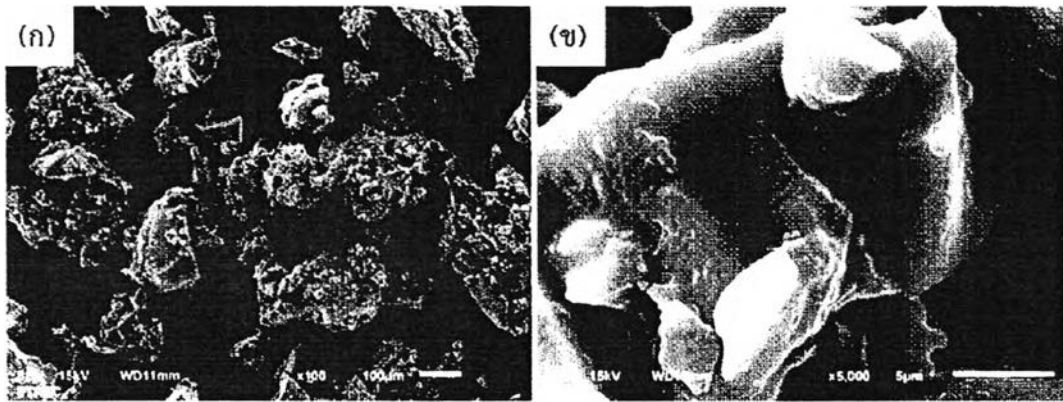
รูปที่ ข.1 ภาพถ่าย SEM ของ VR-1 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



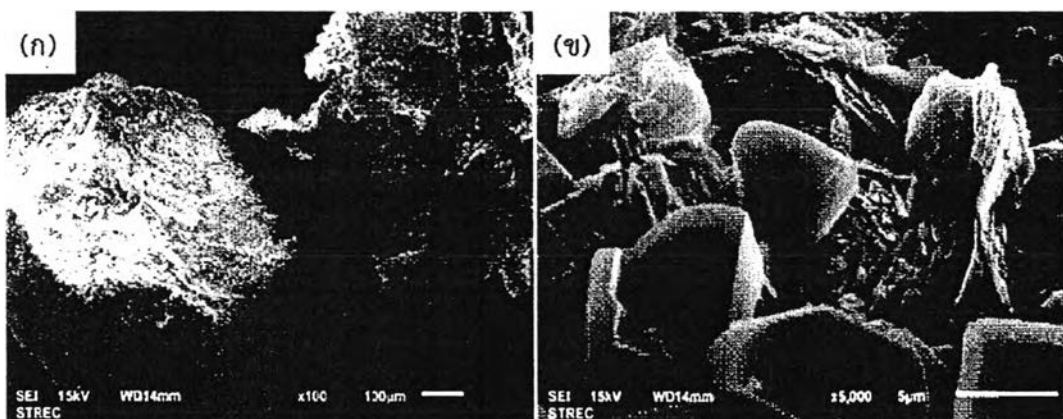
รูปที่ ข.2 ภาพถ่าย SEM ของ VR-2 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ ข.3 ภาพถ่าย SEM ของ VR-3 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



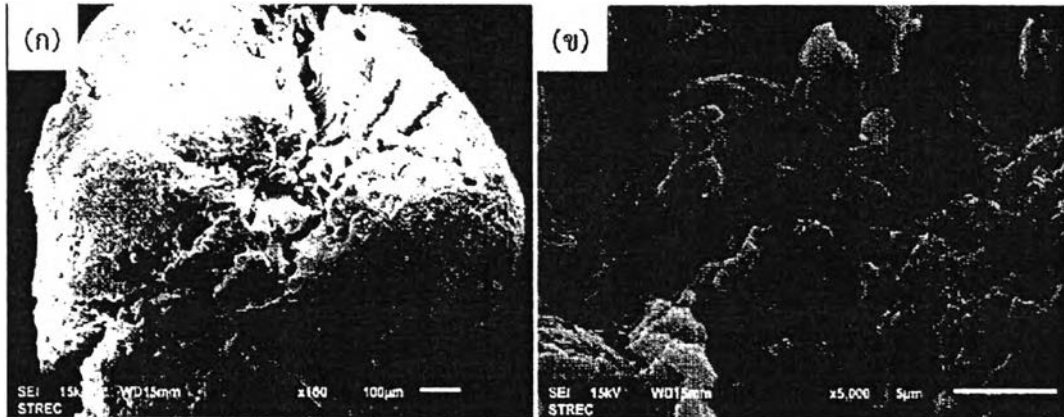
รูปที่ ข.4 ภาพถ่าย SEM ของ VR-4 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



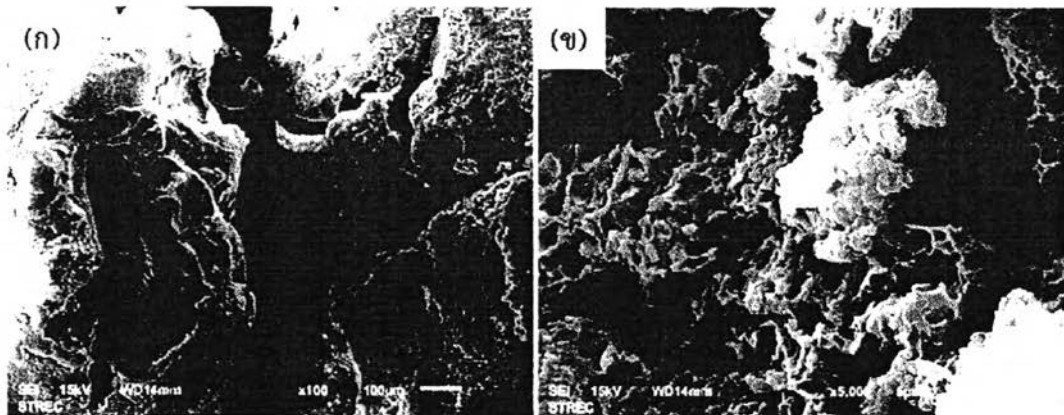
รูปที่ ข.5 ภาพถ่าย SEM ของ VR-5 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



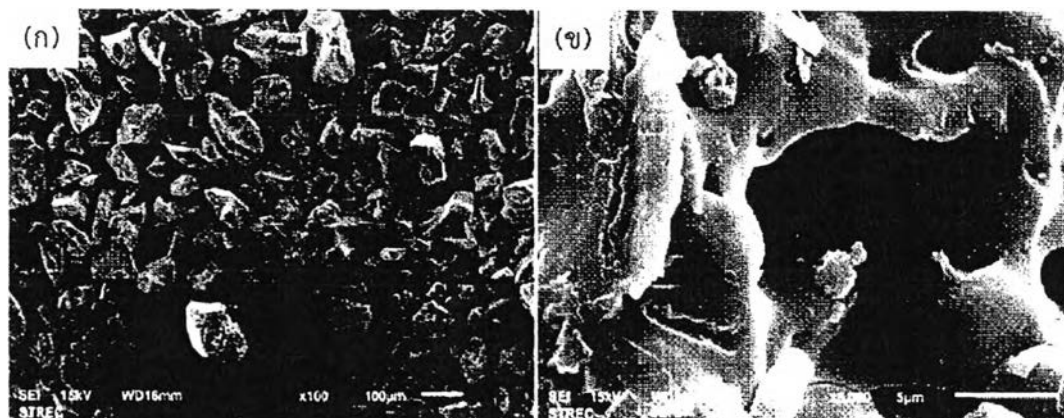
2. ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์หลังการออกซิไดซ์ในสูตรต่างๆ



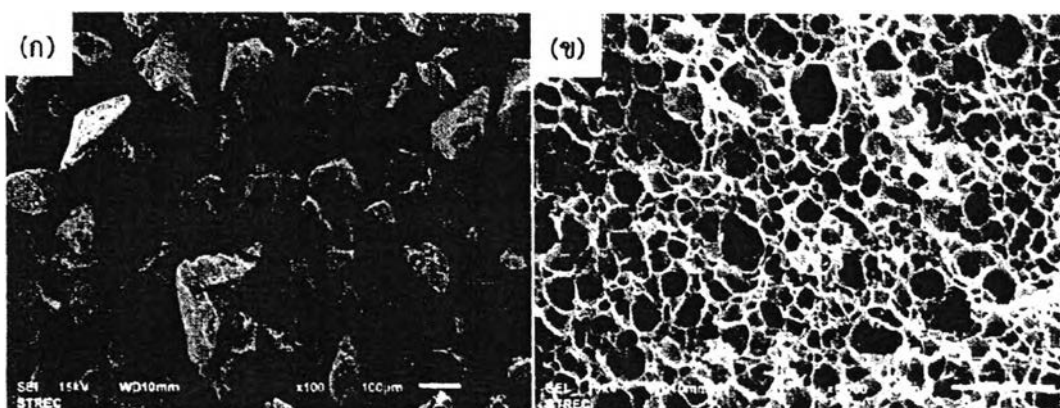
รูปที่ ข.6 ภาพถ่าย SEM ของ OVR-1 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



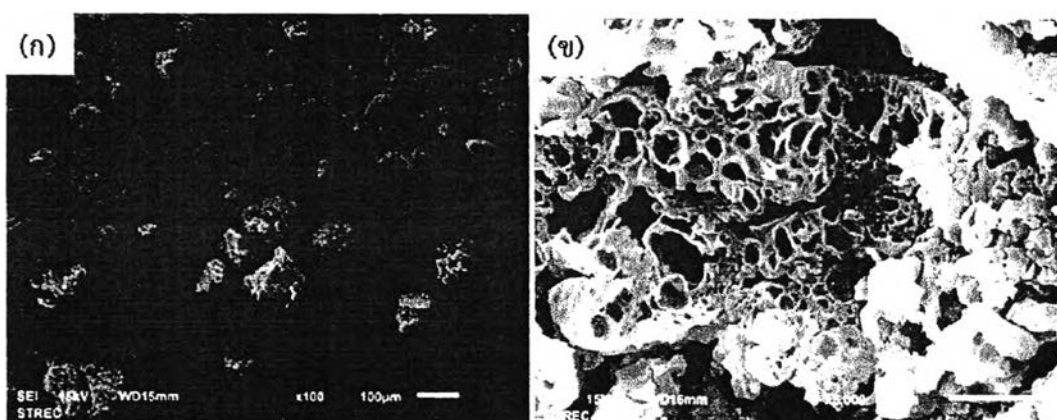
รูปที่ ข.7 ภาพถ่าย SEM ของ OVR-2 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ ข.8 ภาพถ่าย SEM ของ OVR-3 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ ข.9 ภาพถ่าย SEM ของ OVR-4 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ ข.10 ภาพถ่าย SEM ของ OVR-5 (ก) กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) กำลังขยาย 5000 เท่า



**ภาคผนวก ค**  
**การสร้างเส้นโค้งสอบเทียบ**

การสร้างเส้นโค้งสอบเทียบ (calibration curve) สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถสร้างได้จากการนำสารมาตรฐานที่มีความบริสุทธิ์สูงปริมาณต่างๆ มาวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารตัวอย่างกับพื้นที่ใต้กราฟในโครมาโทแกรมโดยเทียบกับสารมาตรฐานภายในคือเมทิลอันเดคาโนเอต (methylundecanoate) ดังตัวอย่างตารางที่ ค. 1

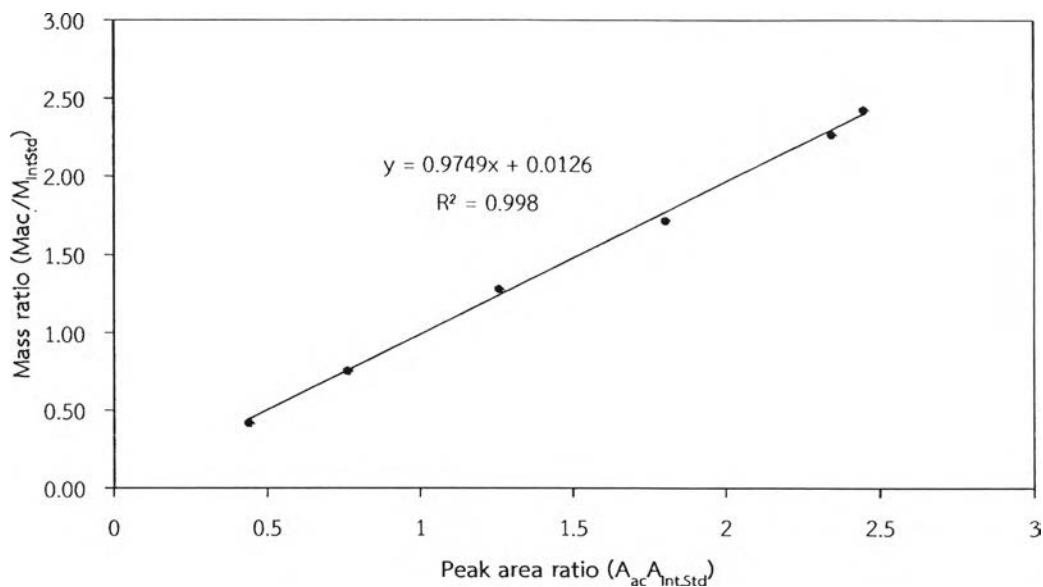
**ตารางที่ ค. 1** อัตราส่วนน้ำหนักและอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดออกทานอิกต่อสารมาตรฐานภายในชนิดเมทิลอันเดคาโนเอต

อัตราส่วนน้ำหนักของกรดออกทานอิก ต่อสารมาตรฐานภายใน	อัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของ กรดออกทานอิกต่อสารมาตรฐานภายใน
0.4222	0.4376
0.7601	0.7603
1.2857	1.2571
1.7190	1.7994
2.2730	2.3411
2.4298	2.4460





เมื่อนำข้อมูลข้างต้นมาเขียนกราฟโดยให้แกน X แสดงอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดออกทานอิกต่อสารมาตรฐานภายในและแกน Y แสดงอัตราส่วนน้ำหนักของกรดออกทานอิกต่อสารมาตรฐานภายใน ได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ ค.1



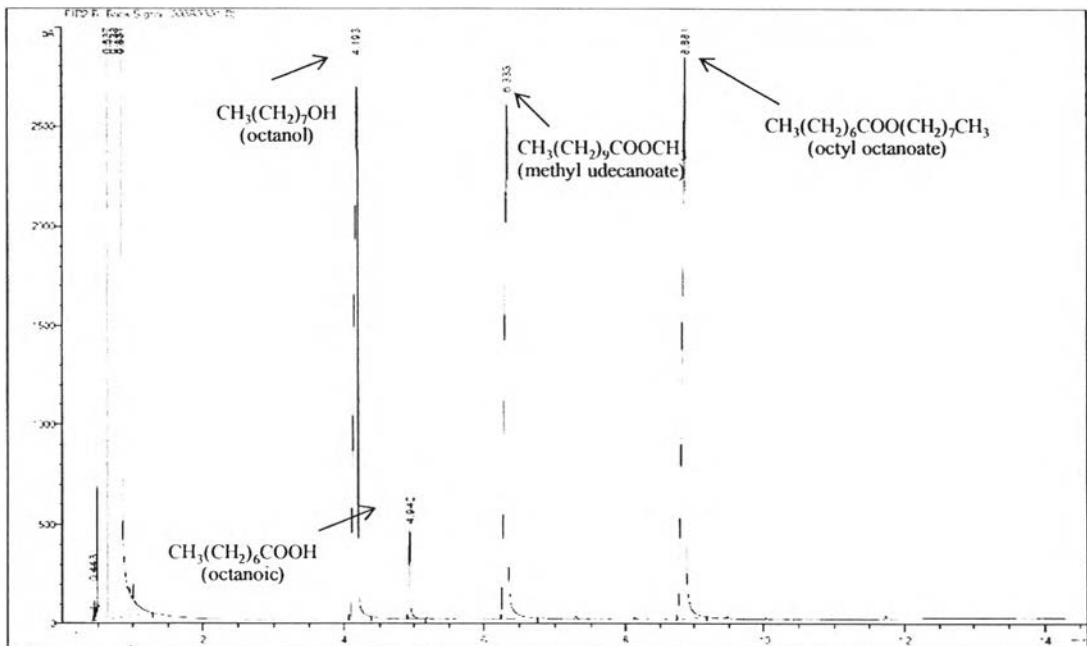
รูปที่ ค.1 เส้นโค้งสอบเทียบของกรดออกทานอิกที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

จากรูปที่ ค.1 พบว่าเส้นโค้งสอบเทียบที่ได้มีค่าอาร์สแควร์มากกว่า 0.9 สรุปได้ว่าเส้นโค้งสอบเทียบนี้มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้คำนวณเชิงปริมาณได้

## ภาคผนวก ง

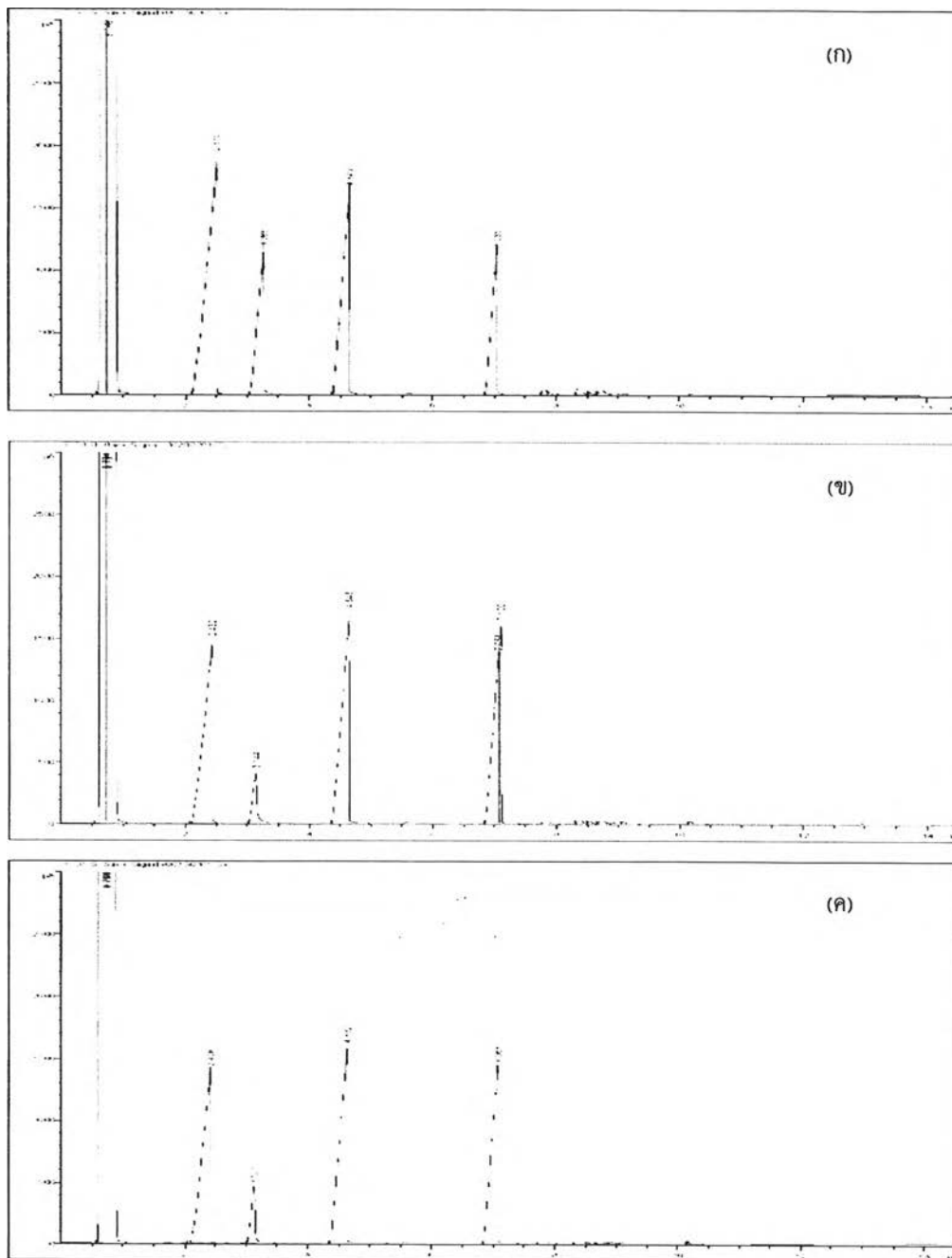
## โครมาโทแกรมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

โครมาโทแกรมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดออกทานอิกกับออกทานอล (ผิดพลาด! ไม่พบแหล่งอ้างอิง) พบพีคหลัก 4 พีคคือที่เวลา 4.193, 4.940 และ 8.881 นาทีซึ่งเป็นพีคของสารตั้งต้นออกทานอล, กรดออกทานอิก และผลิตภัณฑ์เอสเทอร์ (ออกทิลออกทานอเอต) ตามลำดับ โดยมีพีคของสารมาตรฐานภายใน (internal standard) คือ เมทิลอันเดคาโนเอตขึ้นที่เวลา 6.333 นาที

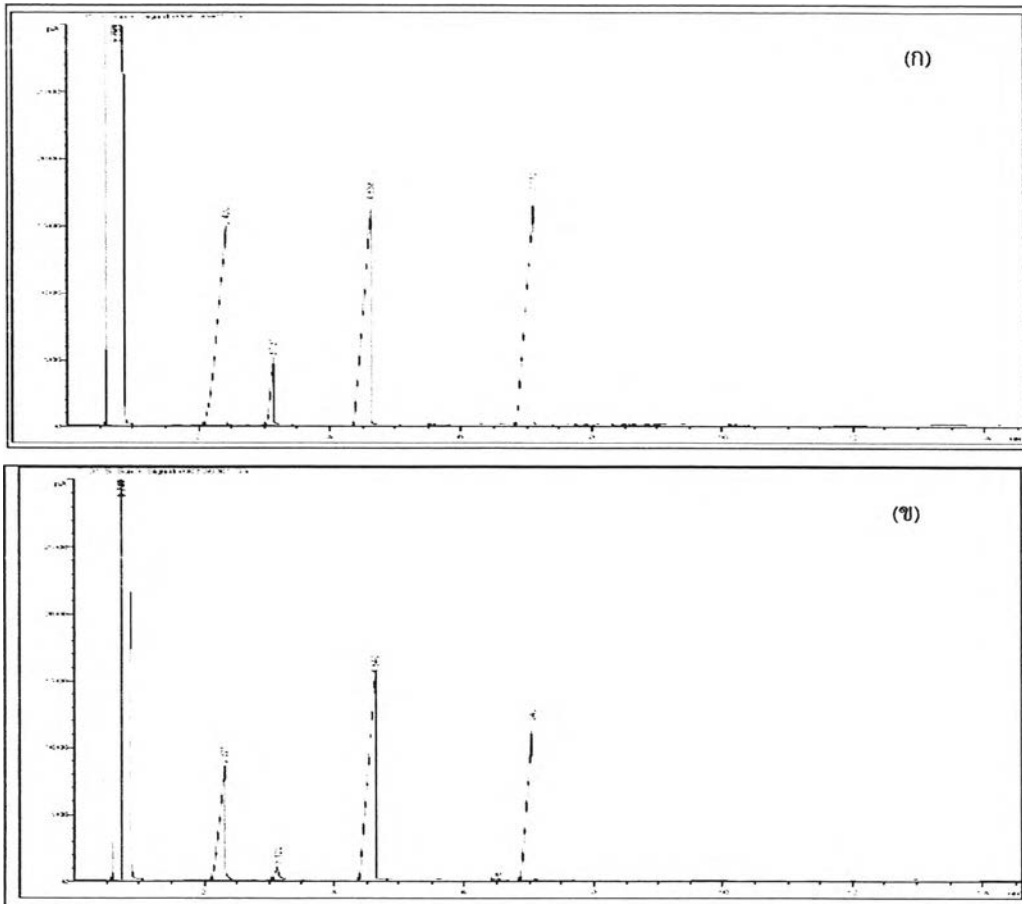


รูปที่ ง.1 โครมาโทแกรมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดออกทานอิกกับออกทานอล

โครมาโทแกรมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดออกทานอิกกับออกทานอล ใช้ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ที่ผ่านการออกซิไดซ์สูตรต่างๆเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ ๓.2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดออกทานอิกกับออกทานอล (ก) OVR-1, (ข) OVR-2 และ (ค) OVR-3 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ ๓.3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดออกทานอิกกับ 1-ออกทานอล (ก) OVR-1, (ข) OVR-2 และ (ค) OVR-3 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

## ภาคผนวก จ

## การคำนวณการเปลี่ยนของกรดออกทานอิกในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

เมื่อได้เส้นโค้งสอบเทียบของกรดออกทานอิกตามภาคผนวก ค แล้วเราสามารถคำนวณปริมาณสารในเอสเทอร์ฟิเคชันได้ โดยตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณสารตั้งต้นกรดออกทานอิกที่เหลือหลังเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดออกทานอิกกับ 1-ออกทานอลจากพื้นที่ใต้กราฟในโครมาโทแกรมแสดงดังนี้

พื้นที่ใต้กราฟของพีคต่างๆ ในโครมาโทแกรมของสารจากเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดออกทานอิกกับออกทานอลในภาวะที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 8 ชั่วโมงในการทดลองครั้งที่ 1 มีดังนี้

ออกทีลออกทานอเอต	= 7237.2475	ตารางหน่วย
กรดออกทานอิก	= 2484.4436	ตารางหน่วย
สารมาตรฐานภายใน	= 8404.2431	ตารางหน่วย

สมการเส้นโค้งสอบเทียบของกรดออกทานอิก คือ

$$y_1 = 0.9749x_1 + 0.0126 \quad (จ1)$$

เมื่อ  $x_1$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของออกทานอิกต่อสารมาตรฐานภายใน

$y_1$  คือ อัตราส่วนของน้ำหนักออกทานอิกต่อสารมาตรฐานภายใน

จากข้อมูลเบื้องต้นได้ว่า

$$x_1 = \frac{2484.4436}{8404.2431} = 0.29561$$

เมื่อแทน  $x_1$  ในสมการเส้นโค้งสอบเทียบของออกทานอิก (จ1) ได้

$$y_1 = 0.30079 \text{ (มิลลิกรัมของออกทานอิกต่อมิลลิกรัมของสารมาตรฐานภายใน)}$$

เพราะฉะนั้น เมื่อใช้ สารมาตรฐานภายในเท่ากับ 2.40 มิลลิกรัมในขวดไวแอล

$$\text{จะมีออกทานอิกเท่ากับ } 0.30079 \times 2.40 = 0.722 \text{ มิลลิกรัม}$$

โดยในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ เตรียมตัวอย่างก่อนวิเคราะห์และเตรียมปฏิกิริยาโดยข้อมูลดังต่อไปนี้

น้ำหนักรวมของสารตั้งต้นในเครื่องปฏิกรณ์ 20.01 กรัม

เก็บตัวอย่างจากปฏิกิริยามา 0.1010 กรัม

เจือจางด้วยฟิรีดินจนน้ำหนักรวม 1.9982 กรัม

นำสารละลายหลังเจือจางไปวิเคราะห์ 0.1231 กรัม



เพราะฉะนั้นในสารละลายผสมระหว่างตัวอย่างกับฟิรีดิน 1.9982 กรัม

เมื่อคิดย้อนกลับไปในเรื่องปฏิกิริยาแล้ว

$$\text{พบว่าจะมีออกทานอิกที่เหลือ} = \frac{0.722 \times 1.9982 \times 20.01}{0.1231 \times 0.1010} = 2.32 \text{ กรัม}$$

เมื่อใช้กรดออกทานอิกเท่ากับ 7.20 กรัม เป็นสารตั้งต้น

$$\text{การเปลี่ยนของกรดออกทานอิกเท่ากับ} = \frac{7.20 - 2.32}{7.20} \times 100 = 67.7\%$$



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรพงษ์ พูลสวัสดิ์ เกิดวันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค ปีการศึกษา 2553 ได้เข้าร่วมเสนอผลงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติในงาน "International Conference on Experimental Mechanics 2013 and Twelfth Asian Conference on Experimental Mechanics" จัดขึ้นที่โรงแรมสวิสโซเทล เลอคองคอร์ด ห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 25-27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ชื่อผลงานที่นำเสนอคือ Preparation of sulfonic acid-containing rubbers from natural rubber vulcanizates และได้เข้าร่วมเสนอผลงานประชุมทางวิชาการระดับชาติในงานการประชุมวิชาการโพลิเมอร์แห่งประเทศไทยครั้งที่ ๔ (The 4th Polymer Conference of Thailand) จัดขึ้นที่โรงแรมปทุมวัน ปริ้นเซส ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 20-21 มีนาคม พ.ศ. 2557 ชื่อผลงานที่นำเสนอคือ Oxidized natural rubber vulcanizate as a heterogeneous catalyst for esterification

