

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ping, Z.H., Nguyen, Q.T. and Chen, S.M. States of water in different hydrophilic polymer-DSC and FTIR studies. *Polymer.*, 2001, 42, 8461-8467.
- [2] Devi, D.A., Smitha, B. and Sridhar, S. Pervaporation separation of dimethylformamide/water mixtures through poly(vinyl alcohol)/poly(acrylic acid) blend membranes. *Sep. Purif. Technol.*, 2006, 51, 104-111.
- [3] Nam, S.Y. and Dorgan, J.R. Non-equilibrium nanoblends via forced assembly for pervaporation separation of benzene from cyclohexane: UNIFAQ-FV group contribution calculations. *J. Membrane. Sci.*, 2007, 306, 186-195.
- [4] Kittur, A.A., Kulkarni, S.S. and Aralaguppi, M.I. Preparation and characterization of novel pervaporation membranes for the separation of water-isopropanol mixtures using chitosan and NaY zeolite. *J. Membrane. Sci.*, 2005, 247, 75-86.
- [5] Mohammadi, T., Aroujalian, A. and Bakhshi, A. Pervaporation of dilute alcoholic mixtures using PDMS membrane. *Chem. Eng. Sci.*, 2005, 60, 1875-1880.
- [6] Mandal, S. and Pangarkar, V.G. Separation of methanol-benzene and methanol-toluene mixture by pervaporation: effects of thermodynamics and structural phenomenon. *J. Membrane. Sci.*, 2002, 201, 175-190.
- [7] Ruckenstein, E. and Park, J.S. The separation of water-ethanol mixtures by pervaporation through hydrophilic-hydrophobic composite membranes. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1990, 40, 213-220.
- [8] รัตนา จิระรัตนานนท์. กระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2541.
- [9] Kim, D.S., Park, H.B., Rhim, J.W., Lee, Y.M., (2004). Preparation and characterization of crosslinked PVA/SiO<sub>2</sub> hybrid membranes containing sulfonic acid groups for direct methanol fuel cell applications. **Journal of Membrane Science** 240, 37-48.
- [10] Guan, H.M., Chung T.S., Huang, Z., Chng, M.L., Kulprathipanja, S., (2006). Poly(vinyl alcohol) multilayer mixed matrix membranes for the dehydration of ethanol–water mixture. **Journal of Membrane Science** 268, 113-122.

- [11] Devi, D.A., Smitha, B., Sridhar, S., (2006). Pervaporation separation of dimethylformamide/water mixtures through poly(vinyl alcohol)/poly(acrylic acid) blend membranes. **Separation and Purification Technology** 51, 104-111.
- [12] Oliveira, P.C., Oliveira, A.M., Garcia, A., Barboza, J.C.S., Zavaglia, C.A.C., Santos, A. M., (2005). Modification of natural rubber: a study by  $^1\text{H}$  NMR to assess the degree of graftization of polyDMAEMA or polyMMA onto rubber particles under latex form in the presence of a redox couple initiator. **European Polymer Journal** 41, 1883-1892.
- [13] Arayaprane, W., Prasassarakich, P., Rempel, G. L., (2002). Synthesis of graft copolymer from natural rubber using cumene hydroperoxide redox initiator. **Journal of Applied Polymer Science** 83, 2993-3001.
- [14] Arayaprane, W., Prasassarakich, P., Rempel, G. L., (2003). Process variables and their effects on grafting reaction of styrene and methyl methacrylate onto natural rubber. **Journal of Applied Polymer Science** 89, 63-74.
- [15] Petit, J.M., Zhu, X.X., (1996).  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR study on local dynamics of poly(vinyl alcohol) in aqueous solutions. **Macromolecules** 29, 2075-2081.
- [16] Li, H., Zhang, Y. M., Xue, M. Z., Liu, Y. G., (2005). Amphiphilic block copolymers of polyvinyl alcohol and polystyrene and their surface properties. **Polymer Journal** 37(11), 841–846.
- [17] Abd El-Kader, K.M., Orabi, A.S., (2002). Spectroscopic behavior of poly(vinyl alcohol) films with different molecular weights. **Polymer Testing** 21, 591–595.
- [18] Ricci, G., Leone, G., Boglia, A., Boccia, A.C., Zetta, L., (2009). Cis-1,4-alt-3,4 polyisoprene: synthesis and characterization. **Macromolecules** 42, 9263–9267.
- [19] Katsuraya, K., Hatannaka, K., Matsuzaki, K., Amiya, S., (2001). Assignment of finely resolved  $^{13}\text{C}$  NMR spectra of poly(vinyl alcohol). **Polymer** 42, 9855-9858.
- [20] Bohorquez, S. J., Asua, J.M., (2008). Poly(vinyl alcohol) grafting in miniemulsion polymerization. **Macromolecules** 41, 8597-8602.
- [21] Silfredo, J., Bohorquez and Jose, M. Poly(vinyl alcohol) Grafting in Miniemulsion Polymerization. **Macromolecules**, 2008, 41, 8597-8602.
- [22] Semenova, S.I., Ohya, H. and Soontarapa, K. Hydrophilic membranes for pervaporation: An analytical review. **Desalination**, 1997, 110, 251-286.

- [23] Kusumocahyo, S.P., Sano, K. and Sudoh, M. Water permselectivity in the pervaporation of acetic acid-water mixture using crosslinked poly(vinyl alcohol) membranes. Sep. Purif. Technol., 2000, 18, 141-150.
- [24] Lee, K.R., Teng, M.Y. and Lee, H.H. Dehydration of ethanol/water mixtures by pervaporation with composite membranes of polyacrylic acid and plasma-treated polycarbonate. J. Membrane. Sci., 2000, 164, 13-23.
- [25] Algezawi, N., Sanli, O. and Aras L. Separation of acetic acid-water mixtures through acrylonitrile grafted poly(vinyl alcohol) membranes by pervaporation. Chem. Eng. Process., 2005, 44, 51-58.
- [26] Zhang, L., Yu, P. and Luo, Y. Separation of caprolactam-water system by pervaporation through crosslinked PVA membranes. Sep. Purif. Technol., 2006, 52, 77-83.

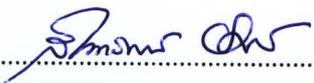
## 6. แผนดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินงาน 25 เดือน (ตุลาคม 2550 – ตุลาคม 2552)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
วิเคราะห์กราฟด์ โพลิเมอร์ของยาง ชาติกับ PVA	√	√	√	√	√	√																			
ขยมเชื้อเลือก- ของ NR-g-PVA GP ต่างกัน						√	√	√	√	√															
ษาคุณสมบัติ ื่อเลือกผ่านที่ ระห้ขึ้น											√	√	√	√	√	√									

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินงาน 25 เดือน (ตุลาคม 2550 – ตุลาคม 2552)																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
สร้างชุด รณפורเว- ชัน	√	√	√	√	√																					
ทดสอบ สิทธิภาพการ น้ำและอัตราการ ของน้ำที่เกิดขึ้น กระบวนการ แพรเชชันเมื่อ เลือกผ่านที่ ระห้ขึ้น																√	√	√	√	√	√					
ปและจัดทำ าน																							√	√	√	√

ตาราง output

Output		ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ท่านระบุสาเหตุและการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ PVA	100%	
2. เตรียมเยื่อเลือกผ่านของ NR-g-PVA ที่มี %GP ต่างกัน	100%	
3. ศึกษาคุณสมบัติของเยื่อเลือกผ่านที่สังเคราะห์ขึ้น	100%	
4. จัดสร้างชุดอุปกรณ์เพอร์แวกอเรชัน	100%	
5. ทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำและอัตราการผ่านของน้ำที่เกิดขึ้นของกระบวนการเพอร์แวกอเรชันเมื่อใช้เยื่อเลือกผ่านที่สังเคราะห์ขึ้น	100%	
6. สรุปและจัดทำรายงาน	100%	

ลงนาม .....  .....

(หัวหน้าโครงการ)

วันที่ ..... 31 มี.ค. 53 .....

## ตอบข้อเสนอแนะ/ข้อคิดเห็นต่อร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยขนาดกลาง

เรื่อง “เยื่อเลือกผ่านจากพอลิเมอร์ผสมของพอลิอะคริลิกแอซิดกับกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สำหรับใช้แยกน้ำจากของผสมของน้ำกับเอทานอลโดยกระบวนการเพอร์แวกพอร์ชัน”

(สัญญาเลขที่ RDG5050104)

### 1. คุณภาพรายงาน

1.1 Abstract กับบทคัดย่อควรมีความสัมพันธ์กัน เช่น ในส่วนของเงื่อนไขการเตรียมมีใน Abstract แต่ไม่มีในบทคัดย่อ ในส่วน Abstract ไม่ควรมีเหตุผล ควรเป็นการสรุป ดังนั้นควรเรียบเรียงใหม่ให้เป็นการสรุปไม่ใช่การอ้างเหตุผล

ตอบ ได้แก้ไขส่วนของบทคัดย่อ และ Abstract ดังนี้

#### บทคัดย่อ

ทำการสังเคราะห์เยื่อเลือกผ่านยางธรรมชาติดัดแปลงจากยางธรรมชาติที่กราฟต์กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับพอลิอะคริลิกแอซิด (NR-g-PVA/PAA) ศึกษาผลของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (KPS) และปริมาณ PVA ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การกราฟต์ (Grafting Percentage; %GP) ของการสังเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟต์กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (NR-g-PVA) พบว่า %GP ไม่เปลี่ยนแปลงตามการเพิ่มขึ้นของ KPS แต่ %GP เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการเติม PVA และศึกษาคุณสมบัติของ NR-g-PVA ลาเท็กซ์ด้วยเทคนิค Dynamic Light Scattering พบว่าขนาดอนุภาค NR-g-PVA เพิ่มขึ้นตามปริมาณ %GP ที่เพิ่มขึ้น ทำการเตรียมเยื่อเลือกผ่านจากยางธรรมชาติที่กราฟต์กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับพอลิอะคริลิกแอซิด (NR-g-PVA/PAA) และศึกษาพฤติกรรมการบวมตัว พบว่าค่าการบวมตัว (degree of swelling) จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำในสารละลายผสมของน้ำกับเอทานอลและปริมาณของพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในเยื่อเลือกผ่านที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำเยื่อเลือกผ่านไปใช้สำหรับแยกสารละลายผสมของน้ำกับเอทานอลด้วยกระบวนการเพอร์แวกพอร์ชัน พบว่าในสารละลายป้อนที่มีปริมาณน้ำน้อยเยื่อเลือกผ่านจะบวมตัวน้อย การเพิ่มปริมาณ PAA ในเยื่อเลือกผ่านจึงส่งผลให้เพอมีเอทฟลักซ์และประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้น แต่เมื่อสารละลายป้อนมีปริมาณน้ำมาก เยื่อเลือกผ่านเกิดการบวมตัวมาก การเพิ่มปริมาณ PAA ในเยื่อเลือกผ่านจึงส่งผลให้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการแยกลดลง โดยค่าประสิทธิภาพการแยกมีค่าสูงสุด 99.58 vol.% ที่ปริมาณ PAA 25 wt.% เมื่อปริมาณน้ำในสารละลายป้อน 5 vol.% ณ อุณหภูมิ 30 °C นอกจากนี้ศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลายป้อน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมิส่งผลให้เพอมีเอทฟลักซ์เพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการแยกลดลง

## ABSTRACT

The membranes were prepared from the blend of NR-g-PVA and PAA. For grafting of PVA on NR, the grafting percentage (%GP) of PVA was found to increase almost linearly with the amount of added PVA but did not change as increased initiator concentration. The particle size measurement of NR-g-PVA by dynamic light scattering (DLS) showed a larger particle diameter compared to that of bared NR in which the particle size of NR-g-PVA increased with the %GP of PVA. For NR-g-PVA/PAA membranes, the degree of swelling increased with increasing of water concentration and PAA content in the membranes. The pervaporation dehydration of ethanol-water mixtures using NR-g-PVA/PAA membranes was performed. At low feed water content where the membrane swelling was less, increasing the amount of PAA in the membranes would enhance significantly the permeate flux and separation factor. Nevertheless at higher feed water content, the membranes were in the state of excessive swelling. Giving the enhancement of permeate flux but decrease of separation factor as increased PAA content. The highest separation factor can be achieved at 25 wt.% PAA content and 5 vol.% of feed water content with feed temperature at 30 °C. Furthermore, increasing feed temperature was found to enhance the permeate flux but deteriorating the separation factor.

1.2 ในบทความที่ยังมองไม่เห็นงานของปริมาณความเข้มข้น PAA ที่เหมาะสมกับผลการทดลอง ฟลักซ์และประสิทธิภาพการแยกของระบบที่เหมาะสม และ % อย่างชัดเจน

ตอบ ได้แก้ไขลงในส่วนของบทความแล้ว โดยเชื่อถือผ่านผสม NR-g-PVA/PAA สามารถใช้แยกน้ำออกจากสารละลายผสมของน้ำกับเอทานอลโดยกระบวนการเพอร์เวพรेशनที่ปริมาณ PAA 25 wt.% ในสารละลายป้อนที่มีความเข้มข้นของน้ำ 5 vol.% ณ อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งมีประสิทธิภาพการแยกสูงถึง 99.62 vol.%

1.3 รูปที่ 22, 24 และ 26 แกน Y ระบุเป็น Separation Factor ซึ่งไม่น่าจะหมายถึงประสิทธิภาพในการแยกเนื่องจาก Factor เป็นปัจจัย ส่วนประสิทธิภาพต้องเป็น Efficiency

ตอบ ในการระบุประสิทธิภาพการแยกของเชื่อถือผ่าน โดยทั่วไปนิยมนระบุทั้งในเชิงปริมาณ คือ ค่าฟลักซ์ และเชิงคุณภาพก็คือค่า Separation Factor ซึ่งหาได้จากสูตร

$$\text{Separation Factor, } \alpha_p = \frac{Y_{\text{water}}/Y_{\text{ethanol}}}{X_{\text{water}}/X_{\text{ethanol}}}$$

เมื่อ  $X_{\text{water}}, X_{\text{ethanol}}$  เป็นเศษส่วนโดยปริมาตรของน้ำและเอทานอลของสารป้อน

และ  $Y_{\text{water}}, Y_{\text{ethanol}}$  เป็นเศษส่วนโดยปริมาตรของน้ำและเอทานอลของเพอเมอเทต

ในงานวิจัยทางด้านการแยกโดยเชื่อถือผ่าน คำว่า Separation Factor เป็นคำที่ใช้กันทั่วไปเมื่อต้องการระบุถึงคุณภาพของการแยก

1.4 แนวคิดการทำวิจัยน่าจะเสริมในบรรทัดสุดท้าย หน้าที่ 6 ว่าเพื่อใช้ประโยชน์ในการนำไปใช้ด้านใดบ้าง

**ตอบ** การแยกน้ำออกจากของผสมของน้ำกับเอธานอลโดยเยื่อเลือกผ่าน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำบริสุทธิ์เอธานอล โดยเฉพาะเมื่อต้องการเอธานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงมากกว่า 99% เช่นในการผลิตน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ นอกจากนี้ เยื่อเลือกผ่านสามารถนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการหมักเพื่อผลิตเอธานอลได้อีกด้วยการนำเยื่อเลือกผ่านมาใช้ในการแยกน้ำออกจากกระบวนการหมัก ทำให้ผลผลิตเอธานอลเพิ่มมากขึ้น

## 2. ข้อสังเกต/ข้อเสนอแนะ

2.1 โครงการสามารถแยกได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ยังคงหลักฐานที่จะแสดงว่าเอธานอลที่แยกได้มีความบริสุทธิ์ถึง 99.58 vol.%

**ตอบ** ในงานวิจัยได้ทำการวัดค่าความเข้มข้นของเอธานอลทางด้านเพอมีเอท แล้วทำการคำนวณย้อนกลับเป็นค่าความบริสุทธิ์ของเอธานอลที่ได้ ข้อมูลของความเข้มข้นของเอธานอลที่วัดได้ทางด้านเพอมีเอท และความบริสุทธิ์ของเอธานอลที่ได้จากการคำนวณแสดงในตารางที่ 5 และ 6 จากรายงานฉบับสมบูรณ์ หน้า 28 และ 30

2.2 โครงการควรปรับแก้สิ่งที่ผิด และควรทำซ้ำเพื่อยืนยัน ควรมีข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงความบริสุทธิ์ของเอธานอลที่แยกได้ด้วย

**ตอบ** ได้มีการทดสอบซ้ำในบางปัจจัย พบว่าค่าฟลักซ์ และ Separation Factor มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงความบริสุทธิ์ของเอธานอลที่แยกได้ แสดงในตารางในข้อ 2.1

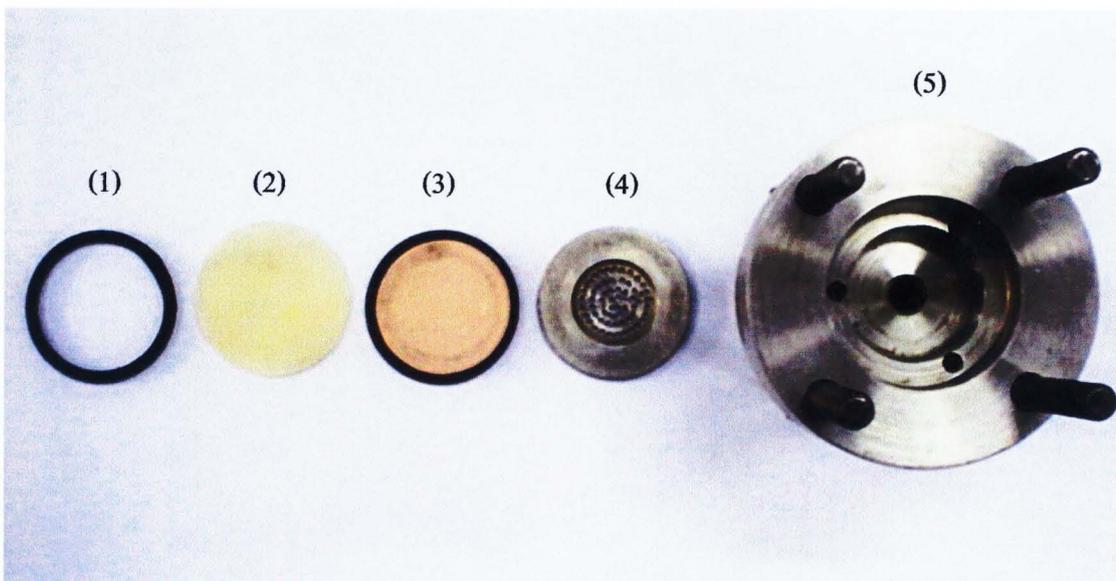
2.3 ถึงแม้ว่าตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ในข้อเสนอโครงการ จะเขียนเพียงแค่ศึกษาปัจจัยพัฒนาในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัยนี้คือต้องตอบ โจทย์ในระดับอุตสาหกรรมได้ ดังนั้น ผลการวิจัยต้องสะท้อนถึงความเป็นไปได้จริงในการขยายสเกลจากห้องปฏิบัติการสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งนักวิจัยอาจจะไม่ต้องทดลองทำ Upscale เอง แต่ต้องรู้แนวทาง ข้อจำกัด ปัญหา และการแก้ปัญหา เมื่อต้อง Upscale และเสนอผลการทำวิจัยที่เป็นไปได้ (หากผลการวิจัยที่เสนอเป็นไปได้ไม่ได้ในทางอุตสาหกรรม เมื่อ Upscale แล้ว ก็ไม่มีประโยชน์อะไร และหากวิธีที่โครงการวิจัยเสนอไม่มีข้อดีเหนือกว่าแนวทางที่มีอยู่ในปัจจุบัน ก็ไม่มีประโยชน์อีกเช่นกัน) ดังนั้นในรายงานฉบับสมบูรณ์ควรระบุการเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมด้วย

**ตอบ** ปัจจุบันได้มีการใช้เยื่อเลือกผ่านในอุตสาหกรรมการผลิตเอธานอล แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก สาเหตุหลักมาจากข้อจำกัดทางด้านปริมาณการผลิต อันเป็นผลมาจากปริมาณของสารที่ถูกแยกต้องแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านแบบแน่น (Dense membrane) ซึ่งแม้ว่าจะมีความบริสุทธิ์สูงแต่ปริมาณการแพร่ผ่านมักจะมีค่าต่ำ เพื่อแก้ไข

ข้อดีดังกล่าวให้สามารถใช้งานได้ในระดับอุตสาหกรรม ด้านหนึ่งต้องพัฒนาวัสดุสำหรับเยื่อเลือกผ่านให้มีปริมาณพอลิเมอร์มากขึ้น โดยที่ยังสามารถรักษาประสิทธิภาพในการแยกได้เหมือนเดิม ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติม Molecular sieve ซึ่งเป็นวัสดุพูนกับเยื่อเลือกผ่านพอลิเมอร์เรียกว่าเยื่อเลือกผ่านแบบเมทริกผสม (Mixed matrix membrane) อีกแนวทางที่ต้องพัฒนาควบคู่กันไปก็คือ การเพิ่มพื้นที่ผิวของเยื่อเลือกผ่านโดยปริมาตรของโมดูลคองที่หรือลดลง การมีพื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณการแยกเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนรูปร่างของเยื่อเลือกผ่านจากแบบแผ่น (Thin film) ไปเป็นแบบท่อกลวง (Hollow fibers) ซึ่งให้พื้นที่ผิวของการแยกเพิ่มมากขึ้นกว่าแบบแผ่น แต่มีปริมาตรน้อยกว่ามาก ส่งผลให้เมื่อนำมาประกอบเป็นโมดูลจะใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า นอกจากนี้การใช้โมดูลมากกว่าหนึ่งตัว และรูปแบบการเชื่อมต่อของโมดูลก็เป็นสิ่งที่ต้องพัฒนาต่อเพื่อการใช้งานได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

2.4 ควรให้รายละเอียดของการสรุปรงานทั้งหมดให้ครบถ้วน เช่น รูปประกอบ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น โดยเฉพาะอุปกรณ์เพอร์เวอเรชัน รูปเยื่อเลือกผ่านที่ได้

ตอบ โครงสร้างและส่วนประกอบในโมดูลแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งบรรจุด้วย O-ring (1) และเยื่อเลือกผ่าน (2) ไว้ในโมดูล โดยวางเยื่อเลือกผ่านบนแผ่นเซรามิก (3) ซึ่งอยู่บนแผ่นสแตนเลสที่เจาะรู (4) ประกอบด้วย O-ring ใส่ไว้รอบนอกแผ่นสแตนเลส เพื่อป้องกันการรั่วซึมและกันแผ่นเซรามิกแตก โมดูล (5) จะแบ่งเป็นสองส่วนด้วยกัน หลังจากใส่เยื่อเลือกผ่านเรียบร้อยแล้ว โมดูลทั้งสองส่วนยึดติดกันด้วยน็อตและ สกรู 4 คู่ ส่วนของโมดูลที่อยู่ด้านบนของเยื่อเลือกผ่านจะมีปริมาตรประมาณ  $100 \text{ cm}^3$  และพื้นที่ของเยื่อเลือกผ่านที่ใช้งานจริงเท่ากับ  $13.86 \text{ cm}^2$



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบภายในโมดูลและเยื่อเลือกผ่าน

2.5 ยังขาดการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อประกอบการพิจารณา Upscale ผู้อุตสาหกรรม และขอให้เพิ่มเติมข้อเสนอแนะ เพื่อให้เกิดการนำผลงานวิจัยไปพัฒนาเพิ่มเติม หรือใช้ประโยชน์

**ตอบ** เป็นการยากที่จะวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากขาดข้อมูลทางด้านต้นทุนของกระบวนการผลิตเยื่อเลือกผ่านในระดับอุตสาหกรรม แต่สามารถสรุปได้คร่าวๆ สำหรับข้อดีและข้อเสียของกระบวนการแยกโดยเยื่อเลือกผ่านเมื่อเปรียบเทียบกับการแยกโดยวิธีการกลั่นแบบเดิม คือ

**ข้อดี**

- ประหยัดพลังงานเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการให้ความร้อนในกระบวนการแยก และเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อน ทำให้เหมาะสำหรับการแยกสารที่เสื่อมสลายโดยความร้อนได้ง่าย
- สามารถแยกสารผสมมีขี้ผึ้งและไม่มีขี้ผึ้งได้ในทุกสัดส่วนการผสม สามารถแยกสารอะซิโโทริก หรือสารผสมที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกันที่แยกโดยการกลั่นไม่ได้ แยกสารปริมาณน้อยๆ ได้ดี หรือใช้สำหรับแยกสารที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงได้ดี

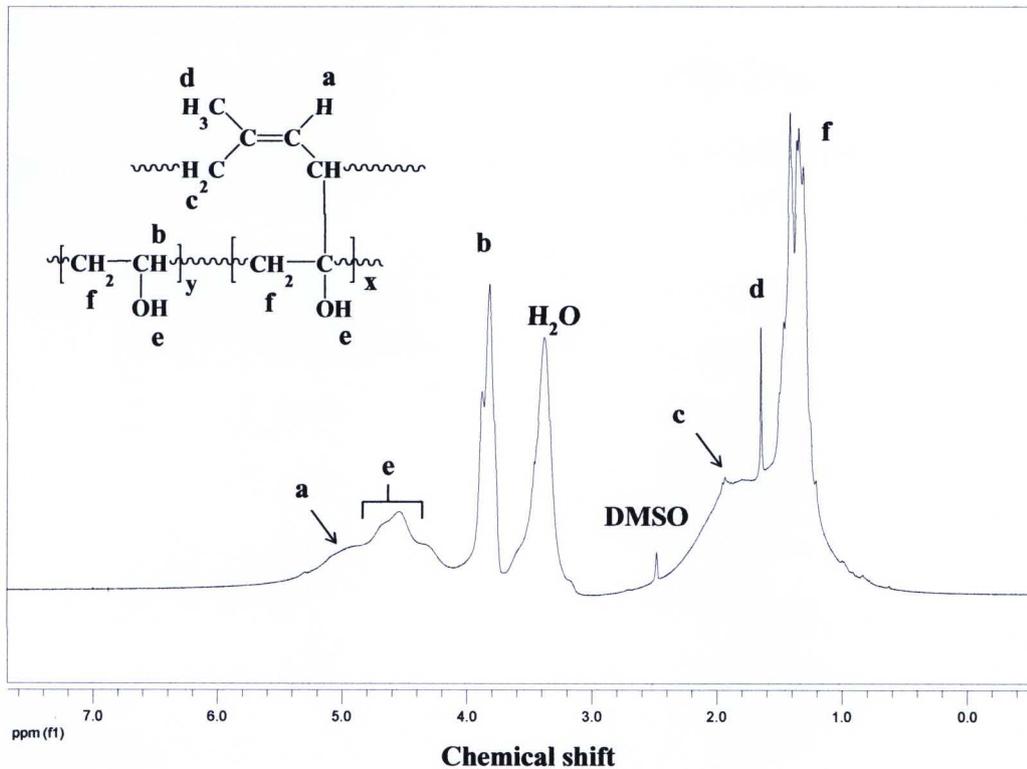
**ข้อเสีย**

- ปริมาณสารที่แยกออกมาจากเยื่อเลือกผ่านมีปริมาณที่น้อยกว่าการแยกโดยการกลั่น จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบโมดูลสำหรับเยื่อเลือกผ่านให้เหมาะสม อีกทั้งอาจต้องเปลี่ยนรูปทรงของเยื่อเลือกผ่านให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น โดยมีปริมาตรลดลง

**ข้อแก้ไขส่วนของผลการทดลองและอภิปราย**

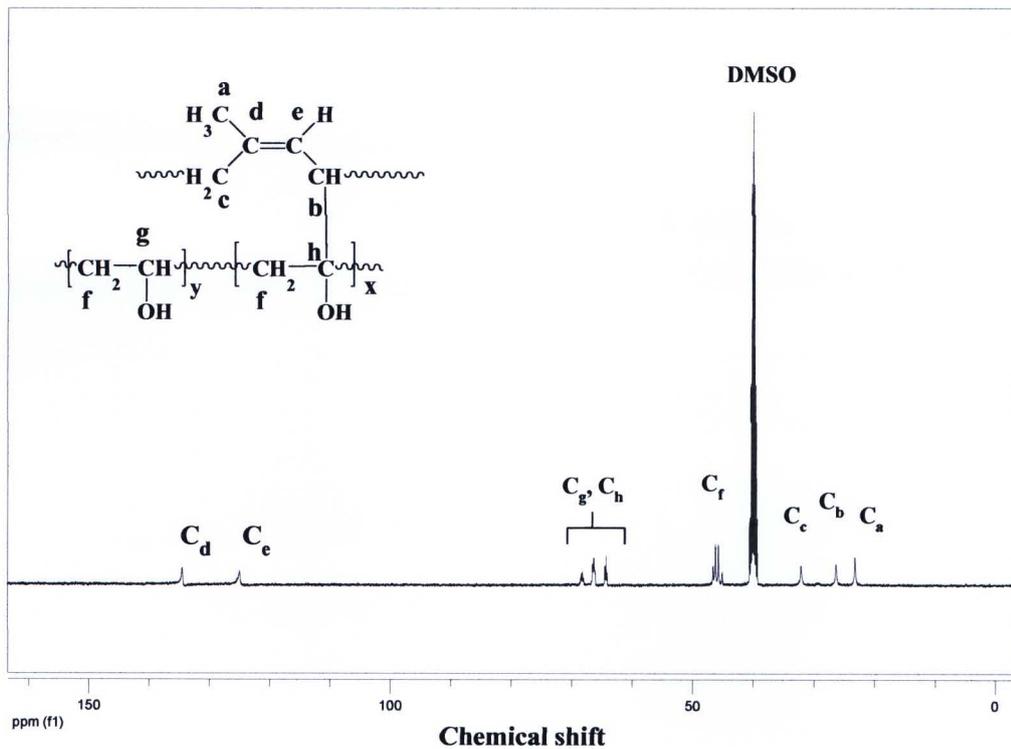
### 1. ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของ NR-g-PVA โดย NMR

ตรวจสอบ NR-g-PVA ทั้ง PVA น้ำหนักโมเลกุล 130,000 และ 13,000 g/mol ด้วย  $^1\text{H-NMR}$  ดังในรูปที่ 6 พบสเปกตรัมของยางธรรมชาติที่ chemical shift ( $\delta$ ) 5.17 และ 1.95 ppm (ตำแหน่ง a และ c) เป็นของ unsaturated methyne proton ( $=\text{CH}-$ ) และ methylene proton ( $-\text{CH}_2-$ ) ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะพีก กว้าง (broad) เนื่องจากยางธรรมชาติละลายในสารละลาย DMSO ได้น้อย และพบ singlet resonance ที่ 1.65 ppm (ตำแหน่ง d) ซึ่งเป็นของ methyl proton ( $-\text{CH}_3$ ) [12-14] และยังพบสเปกตรัมของ PVA ที่  $\delta$  3.81 และ 1.41 ppm (ตำแหน่ง b และ f) เป็นของ methine proton ( $\text{CH}$ ) และ methylene proton ( $-\text{CH}_2-$ ) ตามลำดับ [15, 16] ส่วน hydroxyl proton ( $-\text{OH}$ ) ของ PVA จะมีพีกที่ broad เพียงพีกเดียวที่  $\delta$  4.54 ppm (ตำแหน่ง e) เนื่องจาก 3 พีกเกิด strong overlapping พีกจึงซ้อนกัน (small coupling constant) [17]



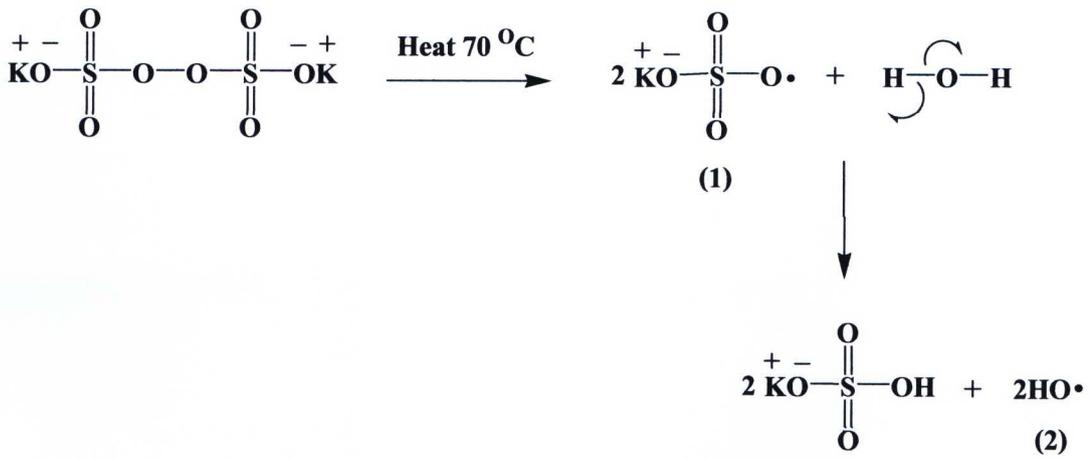
รูปที่ 6.  $^1\text{H-NMR}$  สเปกตรัมของ NR-g-PVA 30 %GP น้ำหนักโมเลกุล 130,000 g/mol ในตัวทำละลาย  $d_6$ -DMSO

รูปที่ 7 แสดง  $^{13}\text{C-NMR}$  ของ NR-g-PVA พบสเปกตรัมของยางธรรมชาติที่  $\delta$  23.18 ppm (ตำแหน่ง a) เป็นคุณลักษณะของ primary C-atom ( $-\text{CH}_3$ ) ที่ 26.32 และ 32.07 ppm (ตำแหน่ง b และ c) เป็นของ secondary C-atom ( $-\text{CH}_2$ ) ส่วนที่ตำแหน่ง  $\delta$  124.96 และ 134.43 ppm (ตำแหน่ง e และ d) เป็นคุณลักษณะของ quaternary C-atom ของ  $\text{C}=\text{C}$  ทั้งที่เกิดพันธะกับ  $-\text{H}$  atom และหมู่  $-\text{CH}_3$  ตามลำดับ [18] ในส่วนของคุณลักษณะของ PVA พบสเปกตรัมที่  $\delta$  ที่ช่วง 45-46 (ตำแหน่ง f) และ 66-68 ppm (ตำแหน่ง g และ h) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของ methylene methine และ quaternary C-atom ของ PVA ตามลำดับ [15, 16] โดยสเปกตรัมทั้งสองตำแหน่งจะแสดงลักษณะพีกที่ซับซ้อนเนื่องจากมี C-atom จำนวนมาก จึงเกิดการซ้อนเหลื่อม (overlap) กัน [19] ซึ่งจากผลของ  $^1\text{H}$  และ  $^{13}\text{C-NMR}$  จึงสามารถยืนยันได้อย่างแน่ชัดว่ามีการกราฟต์ PVA บนยางธรรมชาติ



รูปที่ 7.  $^{13}\text{C-NMR}$  สเปกตรัมของ NR-g-PVA 30 %GP น้ำหนักโมเลกุล 130,000 g/mol ในตัวทำละลาย  $\text{d}_6\text{-DMSO}$

PVA ซึ่งอยู่ในรูปพอลิเมอร์สามารถถูกกราฟต์บนอนุภาคของยางธรรมชาติได้โดยตรง ผ่านปฏิกิริยาฟรีเรดิคัล (free radical reaction) โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (KPS) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  KPS สลายตัว (Decomposition) ให้อนุมูลอิสระซึ่งไม่ค้ำยเสถียร [20] (ดังรูปที่ 8) เมื่อเจอกับอนุภาค NR จึงดึงเอาอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนอะตอมที่ตำแหน่ง methylene ( $-\text{CH}_2$ ) ทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติมีอิเล็กตรอนที่ไม่ได้เกิดพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (ดังรูปที่ 9) ขณะที่การแตกตัวของ KPS ในสารละลาย PVA อนุมูลอิสระจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากพันธะ C-H (methine hydrogen) ของ PVA ออกไป [20] ทำให้สายโซ่ PVA เกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้น (PVA-macroradicals) หลายจุดเช่นกัน (ดังรูปที่ 10) ดังนั้นเมื่อนำ NR ลาเท็กซ์เติมลงในสารละลาย PVA อนุมูลอิสระในส่วนของอนุภาคยางจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระในส่วนของ PVA ทำให้มีการกราฟต์ PVA บน NR (ดังรูปที่ 11) โดย PVA หนึ่งสายโซ่สามารถกราฟต์บนอนุภาคยางได้หลายจุด (ดังรูปที่ 12)

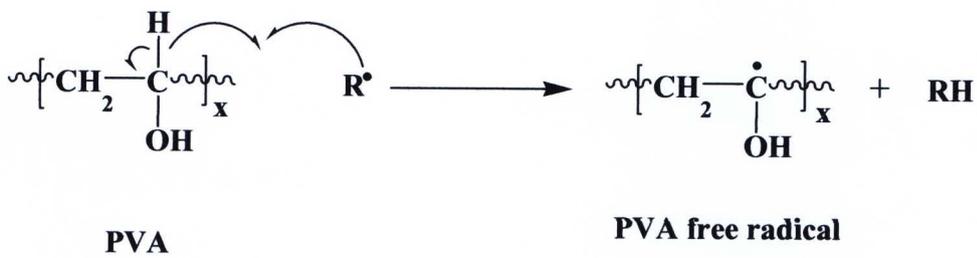


เมื่อผลิตภัณฑ์ (1) สามารถเป็นได้ทั้งฟรีเรดิคัล (free radical) และตัวริเริ่มปฏิกิริยา (initiator)

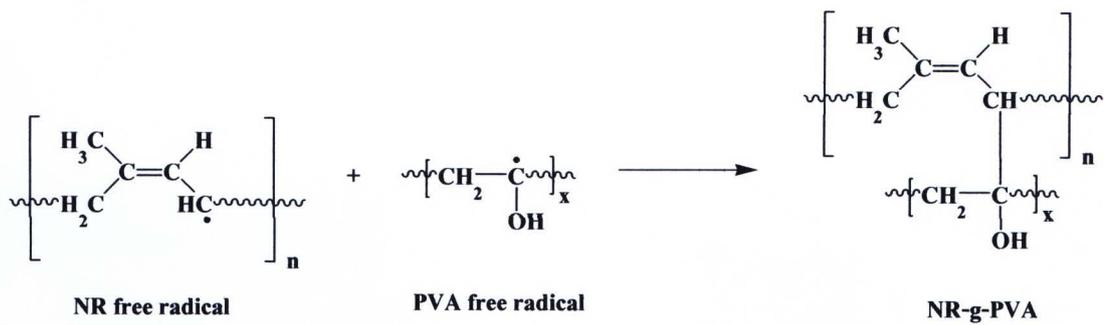
**รูปที่ 8.** การสลายตัวของตัวริเริ่มปฏิกิริยา KPS



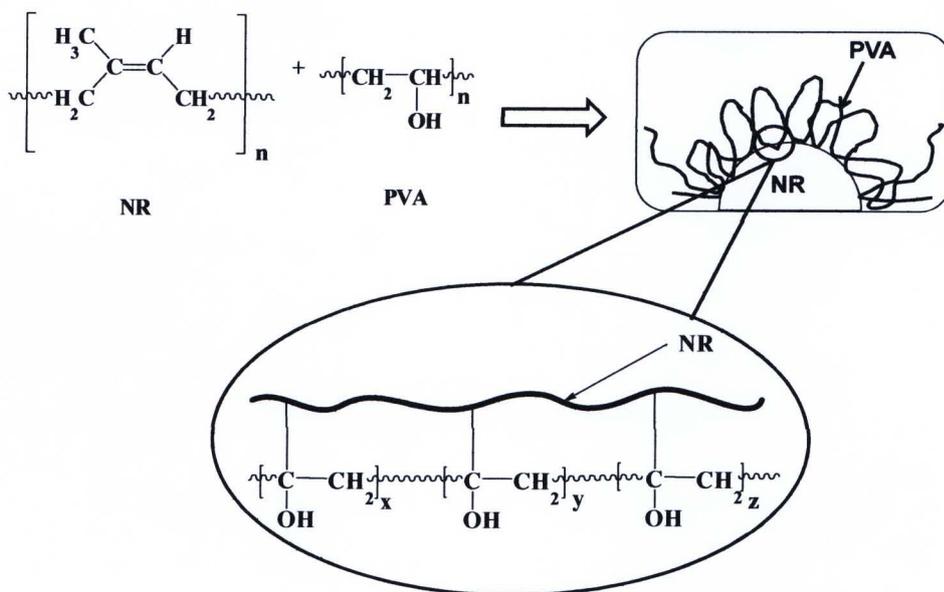
**รูปที่ 9.** การเกิดอนุมูลอิสระของอนุภาคยางธรรมชาติ



**รูปที่ 10.** การเกิดอนุมูลอิสระของ PVA



รูปที่ 11. การเกิดปฏิกิริยาแบบฟรีเรดิคัลของ NR-g-PVA



รูปที่ 12. การกราฟต์ของสายโซ่ PVA บนอนุภาคยางธรรมชาติ

