



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุน
ขนาดมีโซ

โดย ศศินันท์ ทองมาก และคณะ

พฤษภาคม 2555

สัญญาเลขที่ RDG5450084

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุน
ขนาดมีโซ

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1.ศศินันท์ ทองมาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2.กฤติดา พูลเพิ่ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

3.อลิตา หนูแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ชุดโครงการ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช(2)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ
(ภาษาอังกฤษ) Preparation of mixed matrix membrane from natural rubber latex and
mesoporous silicas

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล นางสาวศศินันท์ ทองมาก

หน่วยงาน สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ที่อยู่ 109 ม.2 ต.ถ้ำใหญ่ อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช

โทรศัพท์ 075-411144 โทรสาร 075-411745 E-mail sasinan_10@hotmail.com

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย

- 1.นางสาวกุลธิดา พูลเพิ่ม
- 2.นางสาวอลิศา หนูแก้ว
- 3.นางสาวสุนัฏา แวสุวรรณ

งบประมาณทั้งโครงการ 149,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2554 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2555

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการนำก๊าซชนิดต่างๆมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น ดังนั้นการแยกก๊าซจึงมีความจำเป็นมากขึ้น ซึ่งการใช้เยื่อแผ่นเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้แยกก๊าซได้ โดยไม่ต้องใช้สารเคมีในการแยกและสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ซึ่งปัจจุบันเยื่อแผ่นที่ใช้ในการแยกก๊าซนั้นทำมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น Polysulfone และ Matrimid ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นพอลิเมอร์เนื้อแน่นทำให้ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ที่ละน้อยจึงต้องมีการเติมวัสดุต่างๆเช่น คาร์บอนนาโนทิวบ์ ซีโอไลต์ และมีโซพอร์สซิลิกาเข้าไปผสมกับพอลิเมอร์ก่อนที่จะนำไปเตรียมเป็นเยื่อแผ่นซึ่งการเติมวัสดุเหล่านี้ช่วยให้ก๊าซสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้นโดยไม่ลดประสิทธิภาพในการแยกก๊าซของเยื่อแผ่น (Andrio *et al*, 2000)

แต่พอลิเมอร์สังเคราะห์มีราคาแพงจึงมีแนวคิดที่จะนำยางธรรมชาติมาใช้ทดแทน เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ทั่วไป และสามารถนำมาเตรียมเป็นเยื่อแผ่น

เพื่อใช้ในการแยกก๊าซได้ง่ายแต่มีข้อเสียคือ ก๊าซจะซึมผ่านเยื่อแผ่นที่ละน้อย (ปิยะธร, 2000) ดังนั้นในการทำโครงการนี้จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ก๊าซซึมผ่านได้มากขึ้น โดยการเติมซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซลงในน้ำยางธรรมชาติก่อนนำไปเตรียมเป็นเยื่อแผ่น

วัตถุประสงค์

1. เตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกา SBA-15 เพื่อใช้ในการแยกก๊าซ
2. ทดสอบสมบัติการซึมผ่านของก๊าซเพื่อใช้ในการคำนวณค่าการแยกก๊าซ วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของเมมเบรนที่เตรียมได้

ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ (mesoporous silica) และนำไปใช้เป็นสารร่วมในการเตรียมเมมเบรนแยกก๊าซจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ (mesoporous silica) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Pluronic P123 และ F127) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Sodium dodecyl sulfate: SDS) และสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cetyl trimethyl ammonium bromide: CTAB) เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์ โดยมีแหล่งให้ซิลิกา คือ tetraethyl orthosilicate (TEOS) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ วิเคราะห์โครงสร้างและขนาดรูพรุนของ ซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกลดลงรูพรุนของซิลิกาและความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวของรูพรุนจะเพิ่มขึ้น และซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 เป็นแม่แบบจะมีรูพรุนที่ใหญ่กว่าใช้ F127, CTAB, และ SDS เป็นแม่แบบตามลำดับ จากนั้นนำซิลิกาที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับน้ำยางธรรมชาติเพื่อรีดเป็นเยื่อแผ่นโดยมีการแปรปริมาณของซิลิกาเป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 phr แล้วทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษาพบว่า ค่าการซึมผ่านก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาและขนาดรูพรุนของซิลิกา

สรุปผลการวิจัย

ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซได้มีส่วนช่วยให้ก๊าซสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นยางธรรมชาติได้ดีขึ้น โดยซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะช่วยให้ก๊าซสามารถซึมผ่านได้มากขึ้นและเมื่อปริมาณของซิลิกาในเยื่อแผ่นมากขึ้นการซึมผ่านก็จะเร็วขึ้นไปด้วย

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดสอบโดยการขึ้นรูปเมมเบรนเป็นรูปแบบอื่นๆบ้างเช่นเป็นท่อกลวงหรือแบบสไปรัล

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1.การนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ (mesoporous silica) และนำไปใช้เป็นสารร่วมในการเตรียมเมมเบรนแยกก๊าซจากน้ำอย่างธรรมชาติ ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ (mesoporous silica) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Pluronic P123 และ F127) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Sodium dodecyl sulfate: SDS) และสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cethyl trimethyl ammonium bromide: CTAB) เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์ โดยมีแหล่งให้ซิลิกา คือ tetraethyl orthosilicate (TEOS) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ วิเคราะห์โครงสร้างและขนาดรูพรุนของ ซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกลดลงรูพรุนของซิลิกาและความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวของรูพรุนจะเพิ่มขึ้น และซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 เป็นแม่แบบจะมีรูพรุนที่ใหญ่กว่าใช้ F127, CTAB, และ SDS เป็นแม่แบบตามลำดับ จากนั้นนำซิลิกาที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับน้ำยางธรรมชาติเพื่อรีดเป็นเยื่อแผ่นโดยมีการแปรปริมาณของซิลิกาเป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 phr แล้วทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษาพบว่า ค่าการซึมผ่านก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาและขนาดรูพรุนของซิลิกา

Abstract

This work aimed to synthesize mesoporous silica mixed with natural rubber latex for enhancing gas permeation performance of natural rubber latex membranes. The mesoporous was synthesized using nonionic surfactants (Pluronic P123 and F127), anionic surfactants (Sodium dodecyl sulfate:SDS) and cationic surfactants (Cetyl trimethyl ammonium bromide:CTAB) as templates. Tetraethyl orthosilicate (TEOS) was used as silica source. Various concentration of hydrochloric acid for the synthesis. Silica structures and silica morphologies were characterized by x-ray diffraction (XRD), nitrogen adsorption analysis and scanning electron microscopy (SEM). It was found that pore size and structural ordering of mesoporous silica were increased when concentration of HCl decreased and pore size of the mesoporous silica was synthesized using P123 as templates were larger than using F127, CTAB and SDS, respectively. Then the mesoporous silica was mixed with natural rubber latex to form mixed-matrix membranes. Quantities of the mesoporous silica were varied 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 phr. Oxygen and carbon dioxide permeations were characterized by gas permeable tester. The results showed that gas permeation increased when quantity and pore size of mesoporous silica increased.

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการนำก๊าซชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น ดังนั้นการแยกก๊าซจึงมีความจำเป็นมากขึ้น ซึ่งการใช้เยื่อแผ่นเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้แยกก๊าซได้ โดยไม่ต้องใช้สารเคมีในการแยกและสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ซึ่งปัจจุบันเยื่อแผ่นที่ใช้ในการแยกก๊าซนั้นทำมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น Polysulfone และ Matrimid ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นพอลิเมอร์เนื้อแน่นทำให้ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ที่ละน้อยจึงต้องมีการเติมวัสดุต่างๆ เช่น คาร์บอนนาโนทิวบ์ ซีโอไลต์ และมีโซพอร์สซิติกลงไปผสมกับพอลิเมอร์ก่อนที่จะนำไปเตรียมเป็นเยื่อแผ่น ซึ่งการเติมวัสดุเหล่านี้ช่วยให้ก๊าซสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้นโดยไม่ลดประสิทธิภาพในการแยกก๊าซของเยื่อแผ่น (Andrio *et al*, 2000)

แต่พอลิเมอร์สังเคราะห์มีราคาแพงจึงมีแนวคิดที่จะนำยางธรรมชาติมาใช้ทดแทน เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ทั่วไป และสามารถนำมาเตรียมเป็นเยื่อแผ่นเพื่อใช้ในการแยกก๊าซได้ง่ายแต่มีข้อเสียคือ ก๊าซจะซึมผ่านเยื่อแผ่นที่ละน้อย (ปิยะธร, 2000) ดังนั้นในการทำโครงการนี้จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ก๊าซซึมผ่านได้มากขึ้นโดยการเติมซิติลที่มีรูพรุนขนาดมีโซลงในน้ำยางธรรมชาติก่อนนำไปเตรียมเป็นเยื่อแผ่น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิติล SBA-15 เพื่อใช้ในการแยกก๊าซ

2. ทฤษฎี

2.1 เมมเบรน

เมมเบรนหรือเยื่อเลือกผ่าน (Synthetic membrane) เป็นเยื่อบางที่ผลิตขึ้นโดยเลียนแบบเยื่อหุ้มเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะถูกนำไปใช้งานด้านการกรองสารหรือแยกสาร ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่ากระบวนการแยกแบบอื่นๆ คือ สามารถแยกตามขนาดอนุภาคของสารได้ และใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแยกด้วยความร้อน เยื่อบางสังเคราะห์ ส่วนใหญ่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส (Cellulose) และพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ส่วนเยื่อบางสังเคราะห์ที่ผลิตจากวัสดุอนินทรีย์ เช่น เซรามิกส์ โลหะ แก้ว เป็นต้น

2.2 นํ้ายางข้น (Concentrated Latex)

นํ้ายางข้น คือ นํ้ายางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) ไม่ต่ำกว่า 60% การผลิตสามารถทำได้ 4 วิธี คือ (1) วิธีระเหยด้วยนํ้า (evaporation) (2) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) (3) วิธีปั่นแยก (centrifuging) และ (4) วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตนํ้ายางข้นในประเทศไทย ผลิตจากการนํานํ้ายางสด มาผ่านกระบวนการเซนตริฟิวจ์ โดยการปั่นแยกเอาส่วนของนํ้าออกให้เหลือปริมาณของเนื้อยางสูงขึ้น

2.3 ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ

ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ คือ ซิลิกาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร (ระบบ IUPAC) สังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในปี 1992 โดยบริษัท Mobile Oil ซึ่งได้ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีประจุบวก (cationic surfactant) คือ cetyltrimethyl ammonium bromide $[\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{N}^+(\text{CH}_3)_3] \text{Br}^-$, CTAB) เป็นแม่แบบ (Kresge *et al.*, 1992)

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Andrio *et al.* (2000) ศึกษาถึงสมบัติการยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ของเมมเบรนที่เตรียมจากยางธรรมชาติผสมกับเซลลูโลสที่สัดส่วนของเซลลูโลสต่างๆ กัน รวมถึงผลของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อการซึมผ่านของก๊าซ ซึ่งก๊าซที่ใช้ในการศึกษาคือก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเมมเบรนที่เตรียมจากนํ้ายางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะยอมให้ก๊าซทั้งสามชนิดซึมผ่านได้มากกว่าเมมเบรนที่เตรียมจากยางธรรมชาติผสมกับเซลลูโลส นอกจากนี้ยังพบว่ากราฟที่นำเสนอผลของความดันขาเข้าต่อการยอมให้ก๊าซซึมผ่านจะมีลักษณะหงายขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก๊าซจะสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น

Johnson *et al.* (1999) ศึกษาถึงสมบัติการยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ของเมมเบรนที่เตรียมจากยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติผสมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยก๊าซที่ใช้ในการทดสอบการซึมผ่านคือ ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจน ได้ทำการคำนวณค่าการแยกก๊าซออกซิเจนออกจากก๊าซไนโตรเจนของเมมเบรน และศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่อสภาพการซึมผ่านของก๊าซ พบว่าเมมเบรนที่เตรียมจากยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวจะยอมให้ก๊าซทั้งสองชนิดซึมผ่านได้มากที่สุด แต่ เมมเบรนที่เตรียมจากยางธรรมชาติผสมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ที่อัตราส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์โดยโมล มีประสิทธิภาพในการแยกก๊าซออกจากกันได้มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มขึ้น ก๊าซทั้งสองชนิดจะซึมผ่านได้น้อยลง ในขณะที่ประสิทธิภาพในการแยกก๊าซจะเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ก๊าซสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น

Koros *et al.* (2003) ในเอกสารนี้กล่าวถึงเมมเบรนเชิงประกอบ ที่ใช้ในการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซผสม เช่น การแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากก๊าซมีเทน ในกระบวนการทำก๊าซมีเทนให้บริสุทธิ์ โดยเมมเบรนนั้นทำมาจากพอลิเมอร์ มีความหนาประมาณ 1,000 Angstroms ถึง 0.005 inch และมีการเติมคาร์บอนซึ่งเป็นสารช่วยในการแยกลงในเนื้อของเมมเบรน โดยขนาดอนุภาคของคาร์บอนที่เติมลงไปนั้นอยู่ที่ประมาณ 0.5 ถึง 5.0 micron ซึ่งอัตราส่วนของอนุภาคคาร์บอนที่เติมลงไปต่อเมมเบรนจะอยู่ที่ประมาณ 20-50% โดยปริมาตร

Marand *et al.* (2006) ในเอกสารนี้กล่าวถึงเยื่อเมมเบรนที่เตรียมจากสารผสมระหว่าง zeolites กับพอลิเมอร์ เช่น polyimides โดยเมมเบรนนี้จะมีรูพรุนเพื่อให้ก๊าซซึมผ่านแต่จะมีบางบริเวณของเมมเบรนที่ไม่มี รูพรุนหรือมีรูพรุนขนาดเล็กซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกันระหว่าง functional groups ของ zeolites กับ functional groups ของ polyimides ด้วยพันธะ hydrogen, ionic, or covalent bonding ซึ่งเมมเบรนนี้จะทำการ cast โดยกระบวนการ ISAM

Reis *et al.* (2000) ศึกษาถึงสมบัติการยอมให้ก๊าซซึมผ่านได้ของเมมเบรนที่เตรียมจากยางธรรมชาติที่มีการเติมสารช่วยในการคงรูปผสมกับเซลล์โลสที่อัตราส่วนต่างๆ รวมทั้งผลของความดันต่อการซึมผ่านของก๊าซ ซึ่งก๊าซที่ใช้ในการศึกษาคือก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าเมมเบรนที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีการเติมสารช่วยในการคงรูปจะยอมให้ก๊าซทั้งสามชนิดซึมผ่านได้มากกว่าเมมเบรนที่ไม่มีการเติมสารช่วยในการคงรูป และปริมาณเซลล์โลสที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ก๊าซซึมผ่านได้น้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สภาพการแพร่ได้ของก๊าซชนิดต่างๆ กับความดันจะมีค่าความชันเพิ่มขึ้นเมื่อความดันต่ำลง ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในปริมาตรเสรี

3.วิธีการทดลอง

3.1 ยางและสารเคมี

1. น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex, HA) โดยมีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC) ในน้ำยางอยู่ในช่วง 61 – 62% และเก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย 0.7% ผลิตโดย บริษัท นาบอนรับเบอร์ จำกัด
2. กำมะถัน (Sulphur) ลักษณะเป็นผงสีเหลือง เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ยาง
3. ซิงออกไซด์ (Zinc Oxide) ลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโดยบริษัท ยูนิไทย จำกัด ใช้เป็นสารกระตุ้นในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง
4. วัลทามอล (Vultamon) ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล เป็นสารที่ช่วยในการกระจายตัวของสารเคมีในการเตรียมดินสเปอร์ชั้นสาร
5. เบนโทไนท์ (Bentonite) ลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนๆ เป็นสารที่ช่วยในการกระจายตัวของสารเคมีในการเตรียมดินสเปอร์ชั้นสาร
6. เทอร์ริก 16 เอ 29 (Terric 16A29) ลักษณะเป็นเกร็ดสีขาวใช้เป็นสารรักษาความเสถียรในน้ำยาง ประเภทไม่มีประจุ (non-ionic)
7. ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาริเมต (Zinc diethyldithiocarbamate, ZDEC) ใช้ในรูป 50% dispersion มีลักษณะเป็นผงสีขาวครีมใช้เป็นสารตัวเร่งหลัก ในปฏิกิริยาวัลคาไนซ์
8. สบู่ออเรต (Laurate) ใช้ในรูป 20% solution เตรียมได้จาก Lauric acid ทำปฏิกิริยากับ Potassium hydroxide โดยจะทำหน้าที่เป็นสารรักษาความเสถียร
9. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ของออกซิเอทิลีนและออกซิโพรพิลีนชนิดที่มีชื่อทางการค้าว่า Pluronics P123 และ F127 ของบริษัท ALDRICH
10. สารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุลบ คือ sodium dodecyl sulfate (SDS, Assay > 98%) ของบริษัท Fluka
11. สารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุบวก (Cetyl trimethyl ammonium bromide, CTAB) ของบริษัท Fluka
12. เตตระเอทิลออร์โธซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate) (TEOS, Assay $\geq$ 99.0%) จำหน่ายโดยบริษัท Fluka

13. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate; Na_2SO_4 , A.R.) จำหน่ายโดยบริษัท Univar Na_2SO_4 ช่วย
ให้ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้มีการจัดเรียงตัวของรูพรุนที่สม่ำเสมอกว่าที่ไม่มีการเติมเกลืออนินทรีย์

14. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl , A.R., 37%) ของบริษัท Lab-Scan ทำหน้าที่
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซิลิกา

15. เอทานอล (Ethanol) จำหน่ายโดยบริษัท BDH Laboratory ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วม

3.2 อุปกรณ์

1. หม้อบดสารเคมี (Ball mill) เป็นเครื่องมือที่ใช้บดสารเคมีให้อยู่ในรูป dispersion เป็น
สถานะที่ทำจากเซรามิกมีความจุ 2 ลิตรหรือเหล็กกล้าไร้สนิมก็ได้ ข้อสำคัญต้องไม่มีผลต่อสารเคมี
หรือทำปฏิกิริยากับสารเคมี ภายในภาชนะใส่ลูกแก้ว กรวด หรือลูกที่ทำจากกระเบื้องเคลือบ เพื่อให้
เครื่องบดสารมีประสิทธิภาพที่ดี และมีอัตราเร็วรอบ 43 รอบ/นาที

2. ตู้อบแห้ง (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert UE500 ใช้ระบบอากาศร้อนหมุนเวียน ทำหน้าที่
ในการอบซิลิกา และเชื้อแผ่น

3. Hot plate Stirrer ใช้กวนสารในการเตรียมซิลิกา

4. ถ้วยเซรามิกทนความร้อน (Crucible) ใช้บรรจุซิลิกาเพื่อนำไปเผา

5. ขวดเพฟลอน ใช้บรรจุสารละลายในการสังเคราะห์ซิลิกา

6. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Electronic Balance) เป็นเครื่องชั่งสารความละเอียดถึง
ทศนิยม 4 ตำแหน่งในหน่วยกรัม ใช้ในการชั่งสารเคมีสำหรับสังเคราะห์ซิลิกา

7. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล 2 ตำแหน่ง เป็นเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดหยาดคือ เป็นเครื่องชั่งสาร
ความละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่งในหน่วยกรัม ใช้ในการชั่งสารเคมีสำหรับผสมน้ำยาง เพื่อนำไป
บดด้วยเครื่องบอลมิล และใช้ชั่งสารเคมีเพื่อผสมในน้ำยาง

8. เตาเผาอุณหภูมิสูง ใช้สำหรับเผาซิลิกา เพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิวออก

9. เครื่องกวนน้ำยาง ความเร็วรอบคงที่ มีใบพัดกวนหลายแบบเพื่อใช้ในการกวนผสมซิลิกา
กับน้ำยาง

10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy) รุ่น JSM-
5200LV ของ JEOL ในการวิเคราะห์โครงสร้างภายนอกของซิลิกา SBA-15

11. เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction) ใช้เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ รุ่น D8discover
ของ Bruker ในการวิเคราะห์โครงสร้างของซิลิกาที่มีรูพรุน โดยใช้ $\text{CuK}\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดรังสี
เอ็กซ์

12. เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (N_2 adsorption analysis) ใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุน รุ่น SA3100 ของ Coulter ในการวิเคราะห์ค่าพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของซิลิกา

13. เครื่องตรวจสอบสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ (Permeation tester) ใช้เครื่องตรวจสอบสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ รุ่น Illinois 8000 ในการวัดสภาพการซึมผ่านของก๊าซผ่านแผ่นเมมเบรน

14. กระจกแผ่นเรียบ เป็นกระจกใสแผ่นเรียบ ขนาดกว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร มีวิธีการใช้คือ นำน้ำยางที่เตรียมได้ มาเทราดเพื่อทำการขึ้นรูปตัวอย่างเยื่อแผ่น สำหรับนำไปใช้ในการทดสอบสมบัติต่างๆ

15. แท่งเหล็ก เพื่อจำกัดความหนาของเยื่อแผ่นทำจากโลหะไร้สนิม วิธีใช้งานคือ หลังจากเทน้ำยางลงบนแผ่นกระจกที่เตรียมไว้ แล้วจึงใช้แท่งเหล็กนี้วางลงบนกระจก และลากแท่งเหล็กเกลี่ยน้ำยางบนกระจกให้ได้ความหนาสม่ำเสมอ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 สังเคราะห์ซิลิกาโดยใช้ P123, F127, SDS, CTAB เป็นแม่แบบโดยศึกษาความเข้มข้นของกรด HCl

1. ผสมสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด (P123, F127, SDS และ CTAB) 3 กรัม เติม Na_2SO_4 2.3 กรัม แล้วนำไปละลายในน้ำ 13 กรัม และกรด HCl 30 กรัม โดยมีการแปรความเข้มข้นเป็น 0.5, 1.0, 1.5, และ 2.0 M

2. เติมเอทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำต่อเอทานอลเป็น 1:4:0 กวนสารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน

3. เติมแหล่งให้ซิลิกา Tetraethyl orthosilicate (TEOS) โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ สารลดแรงตึงผิว/TEOS = 1/4 กวนสารละลายเป็นเวลา 15 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. นำสารละลายที่ได้ใส่ขวดเทฟลอน อบที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำขวดเทฟลอนมาวางไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

5. กรองซิลิกาที่ได้แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. นำไปเผาเพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิวออกด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยา โครงสร้างและขนาดรูพรุน

3.3.2 การเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ

1. ผสมน้ำยางและสารเคมีแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยแปรปริมาณซิลิกาและบ่มไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 สูตรการเตรียมน้ำยางเพื่อใช้ในการเตรียมเยื่อแผ่น

Ingredient	Quantity (phr)
น้ำยางข้น 60% DRC	100
20% K-laurate	0.4
10% Terric 16A29	0.5
50% Sulphur	0.5
50% ZDEC	1
50% ZnO	1
10% mesoporous silica	0, 0.5, 1, 1.5, 2

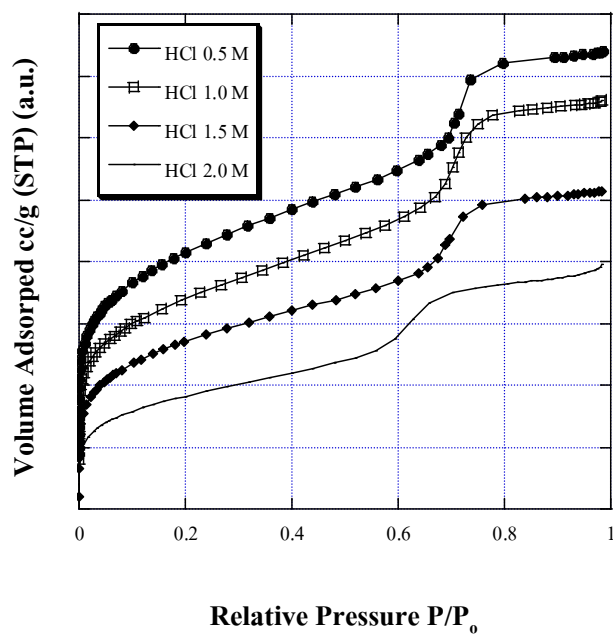
2. นำน้ำยางที่ผสมสารเคมีที่ได้มาเทบนแผ่นกระจกใสแผ่นเรียบขนาด 15×23 cm แล้วใช้ใบมีดรีดแผ่นเกลี่ยน้ำยางบนแผ่นกระจกให้ได้ความหนาสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งแผ่น
3. นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำเยื่อแผ่นที่อบเสร็จมาพักไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปเตรียมผิวด้วยกระบวนการคลอรีนชัน แล้วนำไปเตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบสมบัติการซึมผ่านของก๊าซ

4.ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

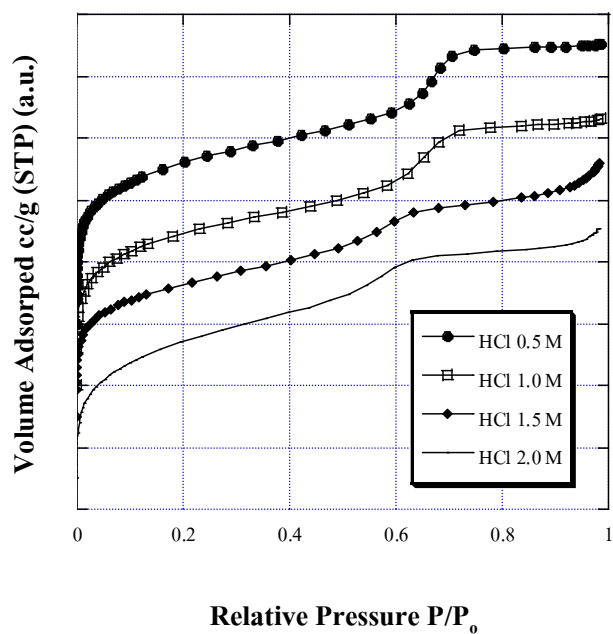
4.1 ผลการวิเคราะห์ซิลิกาโดยใช้สารลดแรงตึงผิว P123, F127, SDS, CTAB เป็นแม่แบบโดยศึกษาความความเข้มข้นของกรด HCl ที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดรูพรุนด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว (Surface area analyzer)

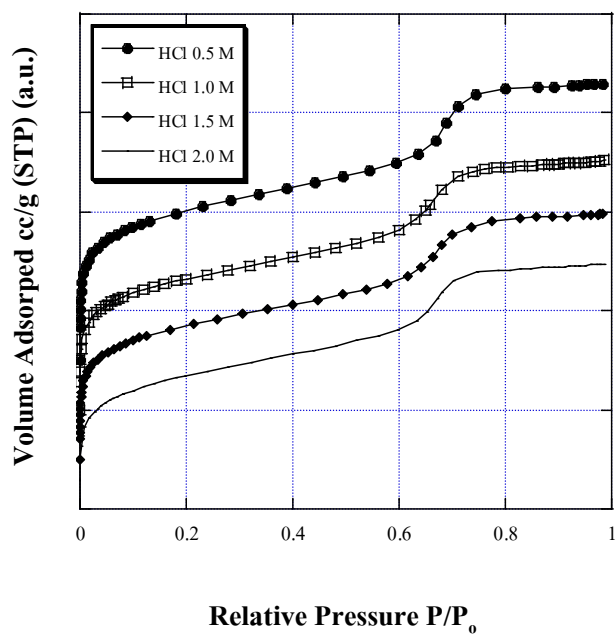
ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวพบว่ากราฟ Adsorption isotherm ของซิลิกาที่สังเคราะห์ทุกตัวอย่างมีลักษณะเป็นกราฟ Adsorption isotherm ชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ แสดงดังภาพที่ 4.1-4.4 และเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นขนาดรูพรุนของซิลิกาจะลดลง เนื่องจากกรดไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซิลิกา เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซิลิกาก็จะเกิดเร็วขึ้น ซึ่งซิลิกาก็สามารถที่จะไปจับกับสารลดแรงตึงผิวได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้สารลดแรงตึงผิวมีเวลาในการรวมตัวเกิดเป็นไมเซลล์น้อย ไมเซลล์ที่ได้จึงมีขนาดเล็กซึ่งทำให้รูพรุนของซิลิกามีขนาดเล็กตามไปด้วยดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.5 นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 จะมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ F127, CTAB และ SDS ตามลำดับ เนื่องจาก P123 และ F127 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีขั้วและมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า CTAB และ SDS มาก ทำให้เมื่อฟอร์มตัวเป็นไมเซลล์จึงมีขนาดใหญ่และรูพรุนก็มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วย P123 จะมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า F127 ถึงแม้ว่า F127 จะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า P123 แต่รูพรุนของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะมีขนาดเล็กกว่า เนื่องจากโมเลกุลของ F127 มีขนาดโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำที่ยาวกว่า P123 จึงเกิดความเกาะกะ สารลดแรงตึงผิวจึงเข้ามารวมตัวเป็นไมเซลล์ขนาดใหญ่ได้ยาก ส่วน P123 มีขนาดโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำสั้นกว่า ทำให้สารลดแรงตึงผิวสามารถเข้ามารวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ใหญ่กว่าได้ง่าย ส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วย CTAB เป็นแม่แบบมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่า SDS เนื่องจาก CTAB มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า SDS เมื่อฟอร์มตัวเป็นไมเซลล์จึงสามารถเกิดไมเซลล์ที่ใหญ่กว่า



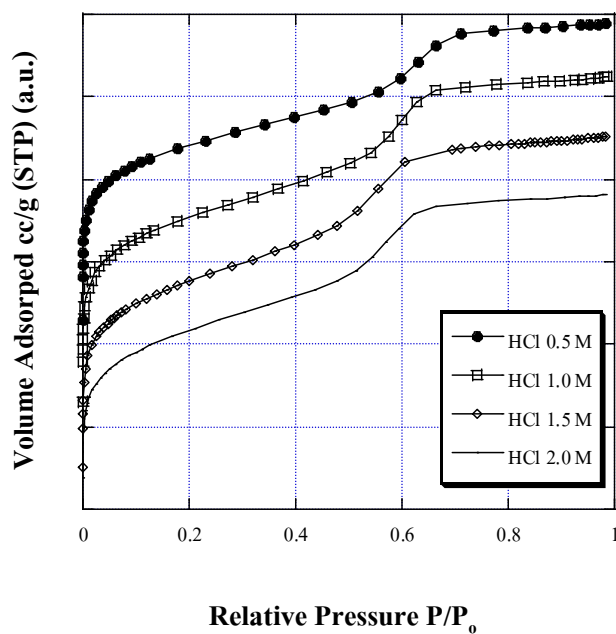
ภาพที่ 4.1 Adsorption isotherm ของซิติกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด P123 เป็นแม่แบบโดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M



ภาพที่ 4.2 Adsorption isotherm ของซิติกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด F127 เป็นแม่แบบโดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M



ภาพที่ 4.3 Adsorption isotherm ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB เป็นแม่แบบโดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

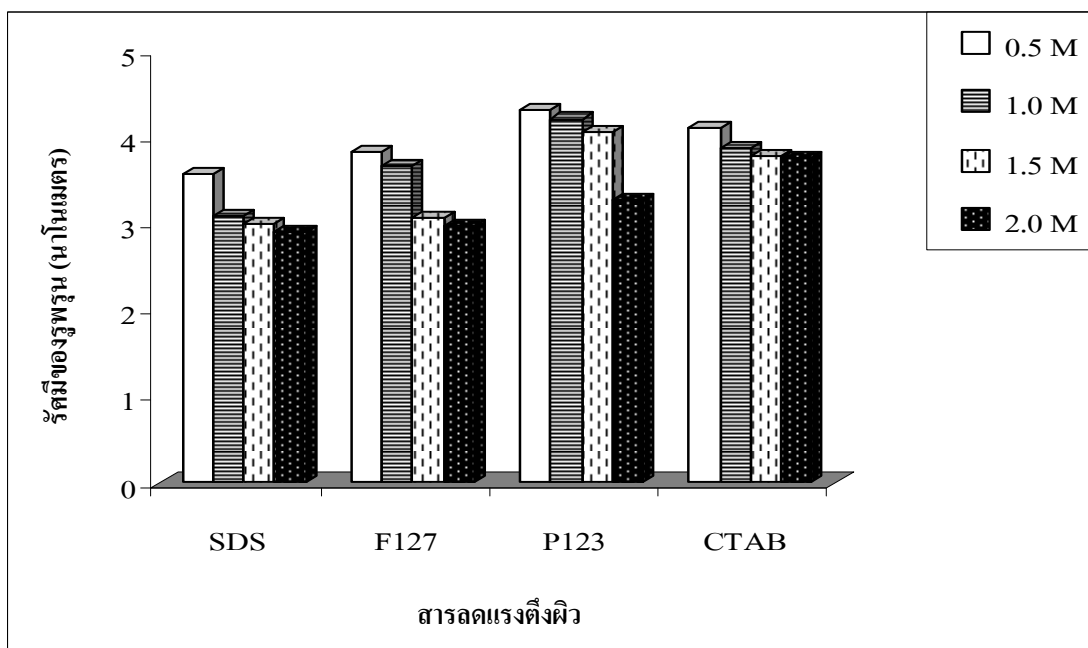


ภาพที่ 4.4 Adsorption isotherm ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS เป็นแม่แบบโดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ผิวที่มีรูพรุนและปริมาตรรูพรุนต่างๆของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบซึ่งแปรความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

Kide of surfatant	Concentration of HCl (M)	A^a (m ² /g)	V_{micro}^b (cm ³ /g)	V_{meso}^c (cm ³ /g)	V_{pore}^d (cm ³ /g)	$(P/P_0)_{step}^e$	r_p^f (nm)
SDS	0.5	912	14.45	0.47	0.55	0.69	3.59
	1.0	600	13.23	0.52	0.60	0.64	3.09
	1.5	867	16.21	0.52	0.62	0.63	3.00
	2.0	650	18.77	0.48	0.59	0.62	2.90
P 123	0.5	811	13.04	0.87	0.99	0.75	4.33
	1.0	974	13.50	0.77	0.89	0.74	4.22
	1.5	806	15.86	0.64	0.76	0.73	4.07
	2	745	18.69	0.48	0.59	0.66	3.27
F 127	0.5	770	18.70	0.57	0.70	0.71	3.84
	1.0	937	18.21	0.54	0.66	0.70	3.67
	1.5	816	16.98	0.49	0.59	0.64	3.06
	2.0	827	17.83	0.55	0.67	0.63	2.98
CTAB	0.5	909	15.06	0.73	0.86	0.73	4.12
	1.0	945	16.78	0.64	0.77	0.72	3.88
	1.5	920	15.68	0.65	0.77	0.71	3.79
	2.0	988	15.12	0.73	0.86	0.71	3.77

หมายเหตุ ^aค่าพื้นที่ผิว ^bปริมาตรรูพรุนขนาดไมโคร ^cปริมาตรรูพรุนขนาดมีโซ ^dปริมาตรรูพรุนรวม ^eจุดหักเหที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความชันในกราฟไอโซเทอร์ม ^fค่ารัศมีรูพรุนของซิลิกา

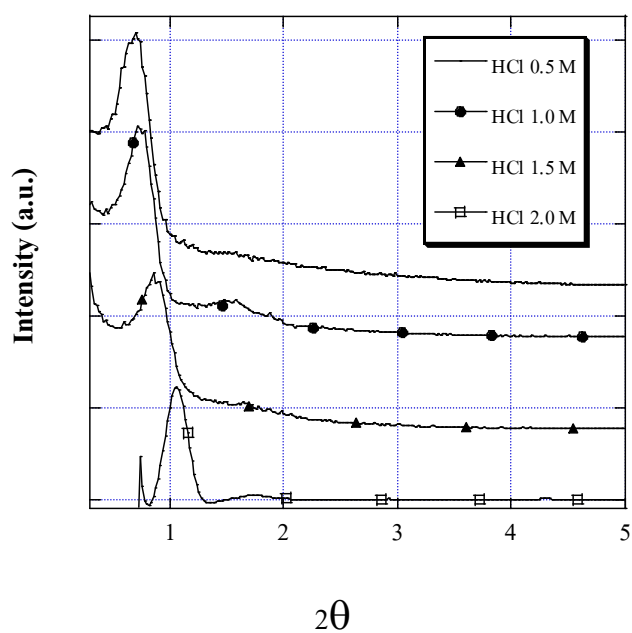


ภาพที่ 4.5 รัศมีของรูพรุนของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิว SDS, P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

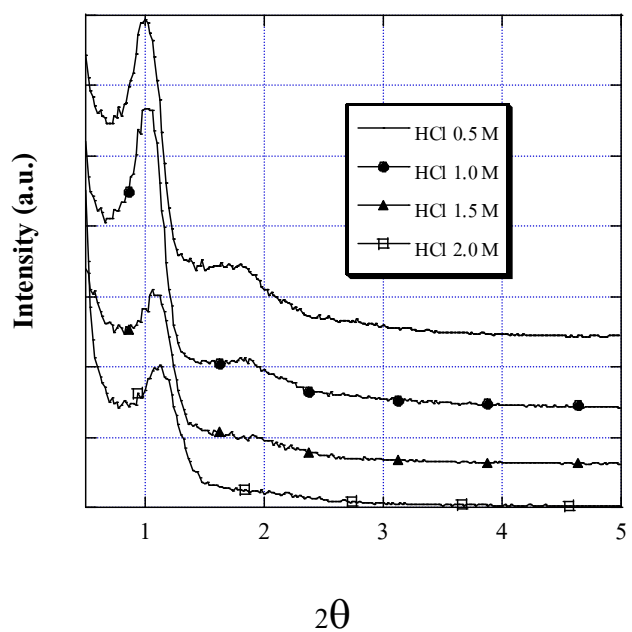
4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD)

ลักษณะของฟิสิกส์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความเป็นระเบียบของรูพรุนซิลิกาด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) แสดงดังภาพที่ 4.6-4.9 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้น ฟิสิกส์ลักษณะแคบและต่ำลง ซึ่งแสดงว่าการจัดเรียงตัวของรูพรุนของซิลิกามีความเป็นระเบียบน้อยลง เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกทำให้ซิลิกาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เร็วขึ้น สารลดแรงตึงผิวจึงมีเวลาในการจัดเรียงตัวเป็นไมเซลล์น้อยลง จึงทำให้ไมเซลล์ที่ได้มีขนาดและระยะห่างไมเซลล์ไม่เท่ากัน ทำให้รูพรุนของซิลิกาที่ได้มีขนาดรูพรุนและระยะห่างระหว่างรูพรุนไม่เท่ากัน ความเป็นระเบียบของโครงสร้างรูพรุนจึงลดลง ส่วนที่ความเข้มข้นกรดต่ำ ฟิสิกส์ลักษณะแคบและสูงชัน ซึ่งแสดงว่าการจัดเรียงตัวของรูพรุนของซิลิกามีความสม่ำเสมอและมีความเป็นระเบียบมากขึ้น เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกทำให้ซิลิกาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ช้าลง สารลดแรงตึงผิวจึงมีเวลาในการจัดเรียงตัวเป็นไมเซลล์มากขึ้นจึงทำให้ไมเซลล์ที่ได้มีขนาดเท่าๆกัน รูพรุนของซิลิกาที่ได้จึงมีความสม่ำเสมอและเป็นระเบียบมากกว่าที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกมากขึ้น

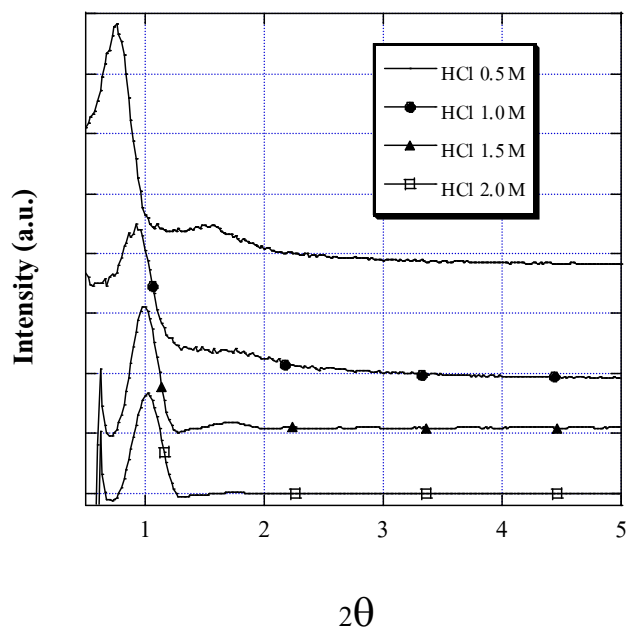
จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.10 พบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างรูพรุน (ค่า d) จะลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับขนาดรูพรุนของซิลิกา ยิ่งรูพรุนมีขนาดใหญ่ระยะห่างระหว่างรูพรุนก็จะมากตามไปด้วย



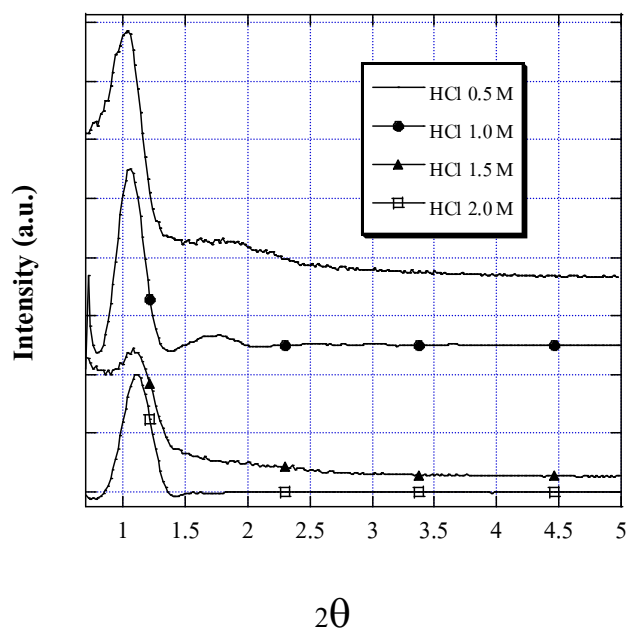
ภาพที่ 4.6 พิก XRD ของซัลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด P123 เป็นแม่แบบโดย
แปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M



ภาพที่ 4.7 พิก XRD ของซัลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด F127 เป็นแม่แบบโดย
แปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M



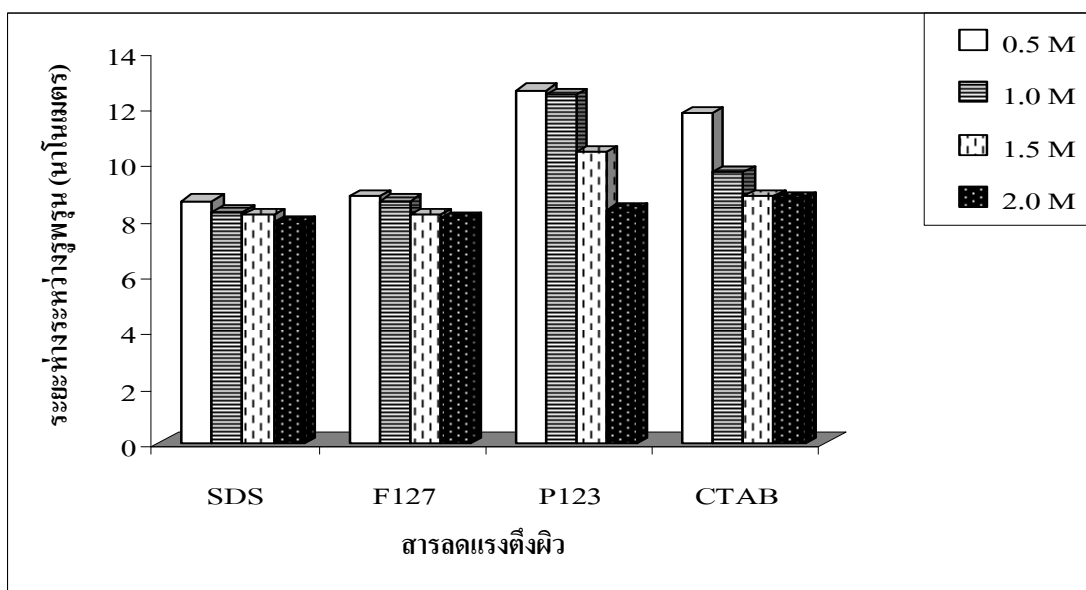
ภาพที่ 4.8 พิก XRD ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด CTAB เป็นแม่แบบ โดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M



ภาพที่ 4.9 พิก XRD ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS เป็นแม่แบบ โดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

ตารางที่ 4.2 ค่า d_{100} และค่า r_p ของซิลิกาที่สังเคราะห์ที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด SDS, P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบซึ่งแปรความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

ชนิดสารลดแรงตึงผิว	ความเข้มข้นกรด HCl (M)	รัศมีของรูพรุน, r_p (nm)	ระยะห่างระหว่างรูพรุน, d_{100} (nm)
SDS	0.5	3.59	8.65
	1.0	3.09	8.25
	1.5	3.00	8.17
	2.0	2.90	7.88
P 123	0.5	4.33	12.61
	1.0	4.22	12.42
	1.5	4.07	10.38
	2.0	3.27	8.32
F 127	0.5	3.84	8.82
	1.0	3.67	8.65
	1.5	3.06	8.17
	2.0	2.98	8.02
CTAB	0.5	4.12	11.76
	1.0	3.88	9.70
	1.5	3.79	8.82
	2.0	3.77	8.74

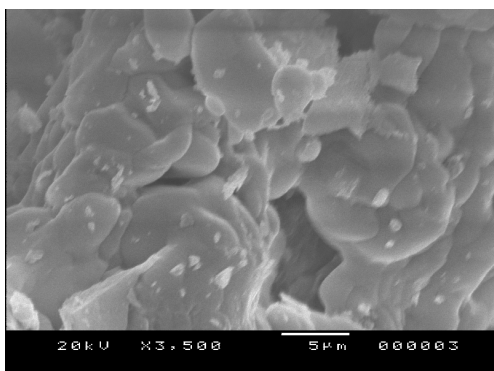


ภาพที่ 4.10 ระยะห่างระหว่างรูพรุนของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิว SDS, P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

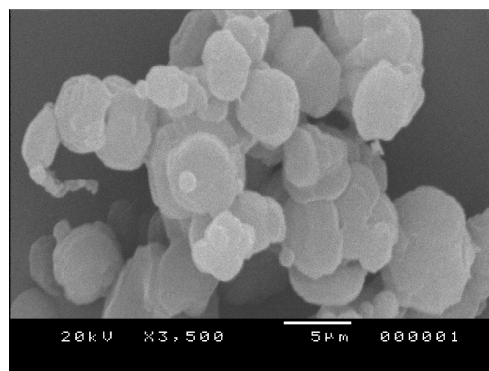
4.1.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM)

สัณฐานวิทยาของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิว P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบจะให้ผลที่คล้ายคลึงกัน แสดงดังภาพที่ 4.11 - 4.13 พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 M ซิลิกาที่ได้จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน เนื่องจากมีความเข้มข้นของกรดต่ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดช้า ซิลิกาที่ได้จึงมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน แต่เมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้นเป็น 1.0, 1.5 และ 2.0 M พบว่าซิลิกามีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีผิวเกลี้ยงมากขึ้น เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกไปทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เร็วขึ้น ทำให้ซิลิกามีเวลาในการฟอร์มตัวเป็นทรงกลมมากขึ้น ซิลิกาที่ได้จึงมีรูปร่างที่เป็นทรงกลม

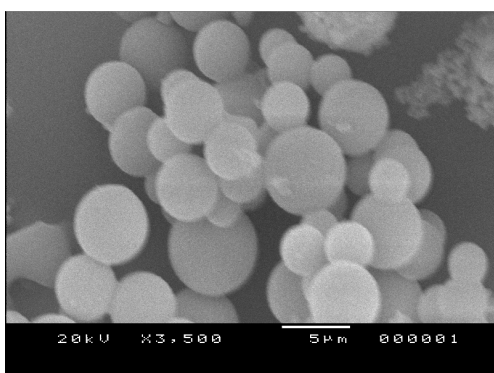
สัณฐานวิทยาของซิลิกาที่ใช้ SDS เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M แสดงดังภาพที่ 4.14 พบว่าซิลิกามีรูปร่างที่ไม่แน่นอนเป็นผลึกติดกันและผิวไม่เกลี้ยงทั้งสี่ความเข้มข้น เนื่องจาก SDS ไปหน่วงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้ช้าลง ทำให้ซิลิกายังไม่ทันฟอร์มตัวเป็นทรงกลม



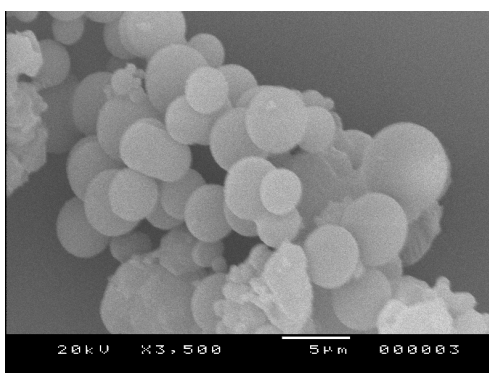
(A)



(B)

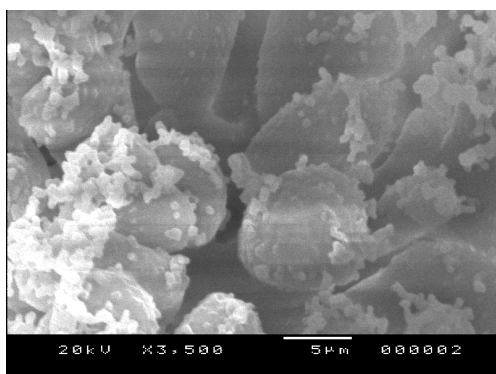


(C)

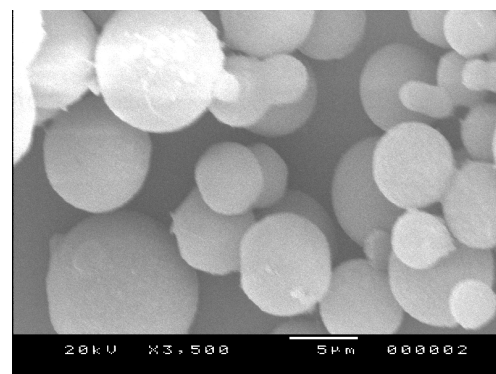


(D)

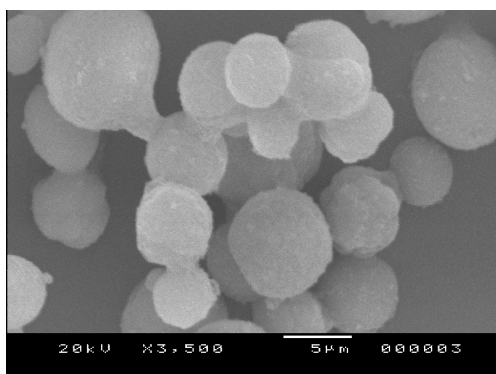
ภาพที่ 4.11 สัณฐานวิทยาของซิลิกาที่ใช้ Pluronic P123 เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (A)0.5, (B)1.0, (C)1.5 และ (D)2.0 M



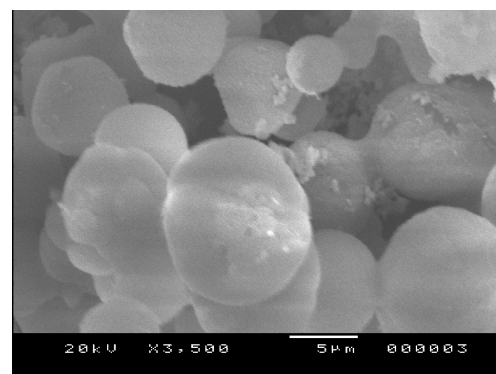
(A)



(B)

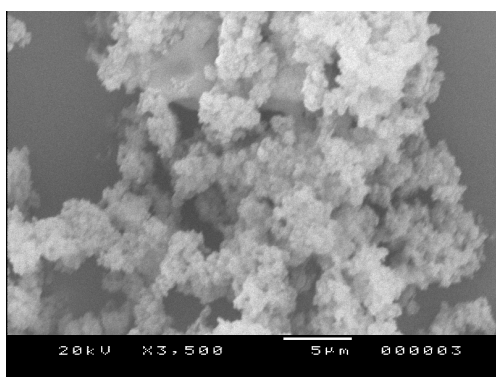


(C)

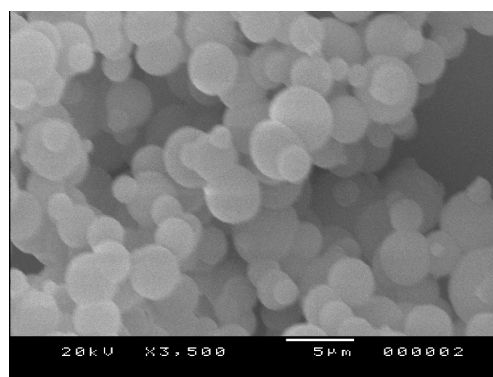


(D)

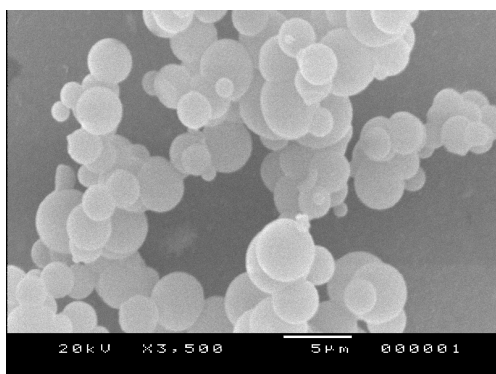
ภาพที่ 4.12 ตัณฐานวิทยาของซิลิกาที่ใช้ Pluronic F 127 เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (A)0.5, (B)1.0, (C)1.5 และ (D)2.0 M



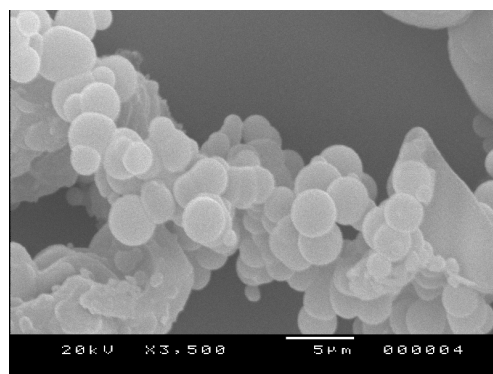
(A)



(B)

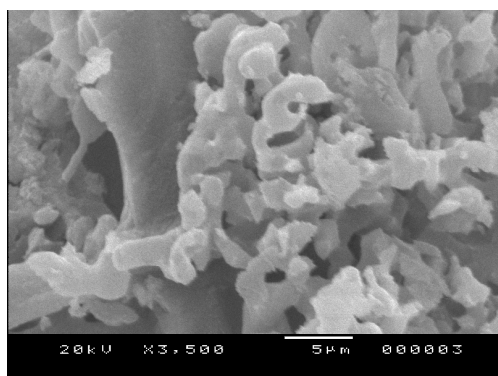


(C)

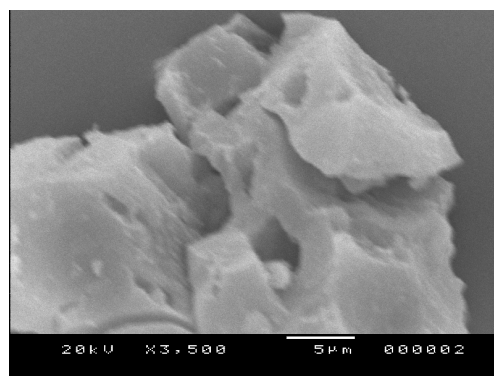


(D)

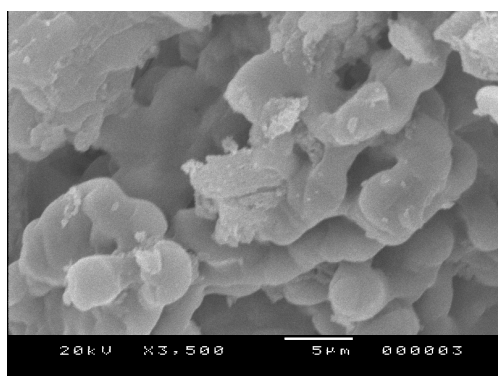
ภาพที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของซิลิกาที่ใช้ Cethyl trimethyl ammonium bromide, CTAB เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (A)0.5, (B)1.0, (C)1.5 และ (D)2.0 M



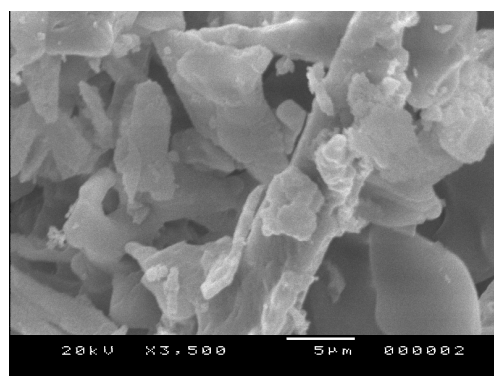
(A)



(B)



(C)



(D)

ภาพที่ 4.14 ตัณฐานวิทยาของซิติกาที่ใช้ Sodium dodecyl sulfate, SDS เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (A)0.5, (B)1.0, (C)1.5 และ (D)2.0 M

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่สังเคราะห์ได้

การทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งพื้นฐานวิทยาของเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยมีการผสมซิลิกาที่สังเคราะห์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ P123, F127, SDS และ CTAB และแปรความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเป็น 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 M และทำการแปรปริมาณซิลิกาเป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 phr ได้ผลดังนี้

4.2.1 ผลการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งค่าการแยกก๊าซออกซิเจนออกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดไมโคร โดยที่ใช้สารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน 4 ชนิด คือ P123, F127, SDS และ CTAB และแปรความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M ซึ่งมีการแปรปริมาณซิลิกาเป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 phr แสดงตารางที่ 4.3-4.6 และภาพที่ 4.15-4.22 พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเยื่อแผ่นมีรูพรุนเพิ่มขึ้นจากในส่วนที่เป็นรูพรุนของซิลิกาและส่วนที่เป็นรูพรุนที่เกิดจากรอยต่อระหว่างฟิล์มยางกับซิลิกา และเมื่อขนาดรูพรุนของซิลิกาเพิ่มขึ้นก๊าซทั้งสองชนิดสามารถซึมผ่านได้เร็วขึ้น

ผลการทดสอบสมบัติการแยกก๊าซออกซิเจนออกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงตารางที่ 4.3-4.6 และภาพที่ 4.23-4.26 พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการแยกก๊าซมีค่าลดลง และเยื่อแผ่นที่ผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะมีค่าการแยกก๊าซน้อยกว่าขนาดเล็ก เพราะซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะสามารถทำให้ก๊าซทั้งสองชนิดซึมผ่านออกมาได้ ส่วนซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดเล็กก๊าซออกซิเจนจะสามารถซึมผ่านออกมาได้ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะสามารถซึมผ่านออกมาได้ทีละน้อยและยังกักอยู่ในรูพรุน เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าก๊าซออกซิเจนจึงทำให้ซึมผ่านน้อยกว่า

ตารางที่ 4.3 การซึมผ่านและการแยกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่น
ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซโดยใช้ Pluronic P123
เป็นแม่แบบ

ความเข้มข้น กรดไฮโดร คลอริก (M)	ปริมาณซิลิกา (phr)	การซึมผ่านของ ก๊าซออกซิเจน (barrer)	การซึมผ่านของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (barrer)	ค่าการแยกก๊าซ ออกซิเจนกับ คาร์บอนไดออกไซด์
0.0	0.0	0.96	0.17	5.65
0.5	0.5	1.95	0.39	5.00
	1.0	2.00	0.41	4.88
	1.5	2.54	0.53	4.79
	2.0	2.56	0.56	4.57
1.0	0.5	1.75	0.36	4.86
	1.0	1.80	0.37	4.86
	1.5	2.37	0.49	4.84
	2.0	2.42	0.52	4.65
1.5	0.5	1.65	0.33	5.00
	1.0	1.71	0.35	4.89
	1.5	2.24	0.46	4.87
	2.0	2.32	0.49	4.73
2.0	0.5	1.50	0.30	5.00
	1.0	1.57	0.32	4.91
	1.5	2.10	0.43	4.88
	2.0	2.21	0.46	4.80

ตารางที่ 4.4 การซึมผ่านและการแยกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่น
ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซโดยใช้ Pluronic F127
เป็นแม่แบบ

ความเข้มข้น กรดไฮโดร คลอริก (M)	ปริมาณซิลิกา (phr)	การซึมผ่านของ ก๊าซออกซิเจน (barrer)	การซึมผ่านของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (barrer)	ค่าการแยกก๊าซ ออกซิเจนกับ คาร์บอนไดออกไซด์
0.0	0.0	0.96	0.17	5.65
0.5	0.5	1.86	0.39	4.77
	1.0	1.95	0.4	4.88
	1.5	2.50	0.52	4.81
	2.0	2.52	0.55	4.58
1.0	0.5	1.79	0.36	4.97
	1.0	1.85	0.38	4.87
	1.5	2.41	0.5	4.82
	2.0	2.46	0.53	4.64
1.5	0.5	1.65	0.35	4.71
	1.0	1.76	0.36	4.89
	1.5	2.28	0.47	4.85
	2.0	2.35	0.50	4.70
2.0	0.5	1.62	0.33	4.91
	1.0	1.74	0.34	5.12
	1.5	2.26	0.45	5.02
	2.0	2.33	0.48	4.85

ตารางที่ 4.5 การซึมผ่านและการแยกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่น
ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซโดยใช้ Cethyl
trimethyl ammonium bromide, CTAB เป็นแม่แบบ

ความเข้มข้น กรดไฮโดร คลอริก (M)	ปริมาณซิลิกา (phr)	การซึมผ่านของ ก๊าซออกซิเจน (barrer)	การซึมผ่านของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (barrer)	ค่าการแยกก๊าซ ออกซิเจนกับ คาร์บอนไดออกไซด์
0.0	0.0	0.96	0.17	5.65
0.5	0.5	1.30	0.26	5.00
	1.0	1.34	0.27	4.96
	1.5	1.88	0.38	4.95
	2.0	2.01	0.41	4.90
1.0	0.5	1.21	0.24	5.04
	1.0	1.25	0.25	5.00
	1.5	1.80	0.36	5.00
	2.0	1.93	0.39	4.95
1.5	0.5	1.10	0.22	5.00
	1.0	1.15	0.23	5.00
	1.5	1.71	0.34	5.03
	2.0	1.86	0.37	5.03
2.0	0.5	1.00	0.19	5.26
	1.0	1.06	0.21	5.05
	1.5	1.63	0.32	5.09
	2.0	1.78	0.35	5.09

ตารางที่ 4.6 การซึมผ่านและการแยกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่น
ที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซโดยใช้ Sodium
dodecyl sulfate, SDS เป็นแม่แบบ

ความเข้มข้น กรดไฮโดร คลอริก (M)	ปริมาณซิลิกา (phr)	การซึมผ่านของ ก๊าซออกซิเจน (barrer)	การซึมผ่านของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (barrer)	ค่าการแยกก๊าซ ออกซิเจนกับ คาร์บอนไดออกไซด์
0.0	0.0	0.96	0.17	5.65
0.5	0.5	1.29	0.25	5.16
	1.0	1.32	0.26	5.08
	1.5	1.88	0.27	6.96
	2.0	2.03	0.43	4.72
1.0	0.5	1.18	0.23	5.13
	1.0	1.20	0.24	5.00
	1.5	1.75	0.35	5.00
	2.0	1.89	0.38	4.97
1.5	0.5	1.06	0.21	5.05
	1.0	1.11	0.22	5.05
	1.5	1.66	0.33	5.03
	2.0	1.82	0.36	5.06
2.0	0.5	1.00	0.19	5.26
	1.0	1.02	0.20	5.10
	1.5	1.59	0.31	5.13
	2.0	1.74	0.34	5.12

5.สรุปผลการทดลอง

5.1 กราฟ Adsorption isotherms ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ทุกตัวอย่างเป็นกราฟ Adsorption isotherm ชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ

5.2 เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนของซิลิกา ระยะห่างระหว่างรูพรุนและความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวของรูพรุนจะลดลง

5.3 ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 เป็นแม่แบบจะมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดและตามมาด้วย F127, CTAB, และ SDS ตามลำดับ

5.4 ลักษณะวิทยาโครงสร้างของซิลิกา ที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิดแปร ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น มีผลให้ซิลิกา มีลักษณะเป็นทรงกลมและมีผิวเกลี้ยงมากขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมากขึ้นจนถึงที่ความเข้มข้น 2.0 M ซิลิกาที่ใช้สารลดแรงตึงผิว P123 และ F127 เป็นแม่แบบยังคงมีรูปร่างเป็นทรงกลมอยู่แต่บริเวณพื้นผิวของซิลิกาจะมีความขรุขระเพิ่มขึ้นและซิลิกาที่ใช้ CTAB เป็นแม่แบบเริ่มมีการผิดรูปไปจากเดิม แต่ในส่วนที่ใช้ SDS เป็นแม่แบบ ซิลิกาที่สังเคราะห์ได้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนเป็นผลึกติดกันและผิวไม่เกลี้ยงทั้ง 4 ความเข้มข้น

5.5 สมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ เมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้นก๊าซทั้งสองชนิดสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้น และพบว่าก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

5.6 สมบัติการแยกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ เมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้นค่าการแยกก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นมีค่าลดลง ตามปริมาณของซิลิกาที่เติมลงไป และพบว่าเยื่อแผ่นที่ผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะมีค่าการแยกก๊าซน้อยกว่าเยื่อแผ่นที่มีขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

- กัมลาวัณย์ เทียวทั่ว. 2545. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยไดนามิกซ์วัลคาไนเซชันของพอลิโพรไพลีนกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี.
- กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.pcd.go.th>
- ชนิดพร นาคกุล. 2552. ความเป็นไปได้ของการเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา
- บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัยและปรีชา ป้องภัย. 2538. เทคโนโลยีน้ำยางข้น. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. ปัตตานี
- ปิยะธร ไตลังคะ. 2543. สภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2541. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ
- วรารุณี พุทธิให้. 2546. เยื่อบางสังเคราะห์(Synthetic membrane). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://doc.clib.psu.ac.th>.
- วิสาภา ภูจินดา. 2549. สารลดแรงตึงผิว. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.chemtrack.org/>
- อัศนี ชลมาตร. 2543. สภาพให้น้ำซึมได้ของเยื่อแผ่นยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Andrio, A., Compan, V., Reis-Nunes, R.C., Lopez, M.L. and Riande, E. 2000. Influence of cellulose reinforcers on gas transport through natural rubber. *Journal of Membrane Science* 178, 65-74.
- Brunauer, S. 1945. *The Adsorption of Gases and Vapors*. Vol. I. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Brunauer, S., Emmett, P.H. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the European Chemical Society* 60, 309-319.
- Chaibundit, C., Ricardo, N.M.P.S., Costa, F.de M.L.L., Yeates, S.G. and Booth, C. 2007. Micellization and gelation of mixed copolymers P123 and F127 in aqueous solution. *Langmuir* 23, 9229-9236.



การเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ

PREPARATION OF MIXED-MATRIX MEMBRANE FROM NATURAL RUBBER

LATEX AND MESOPOROUS SILICA



ศศินันท์ ทองมาก, กุลธิดา พูลเพิ่ม และอลิตา หนูแก้ว
(ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.))

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ (mesoporous silica) และนำไปใช้เป็นสารร่วมในการเตรียมเมมเบรนแยกก๊าซจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ (mesoporous silica) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Pluronic P123 และ F127) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Sodium dodecyl sulfate: SDS) และสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cethyl trimethyl ammonium bromide: CTAB) เป็นแม่แบบในการสังเคราะห์ โดยมีแหล่งให้ซิลิกา คือ tetraethyl orthosilicate (TEOS) นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสังเคราะห์ วิเคราะห์โครงสร้างและขนาดรูพรุนของ ซิลิกาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิว พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกลดลงรูพรุนของซิลิกาและความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวของรูพรุนจะเพิ่มขึ้น และซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 เป็นแม่แบบจะมีรูพรุนที่ใหญ่กว่าใช้ F127, CTAB, และ SDS เป็นแม่แบบตามลำดับ จากนั้นนำซิลิกาที่สังเคราะห์ได้มาผสมกับน้ำยางธรรมชาติเพื่อรีดเป็นเยื่อแผ่นโดยมีการแปรปริมาณของซิลิกาเป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 phr แล้วทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการศึกษาพบว่า ค่าการซึมผ่านก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาและขนาดรูพรุนของซิลิกา

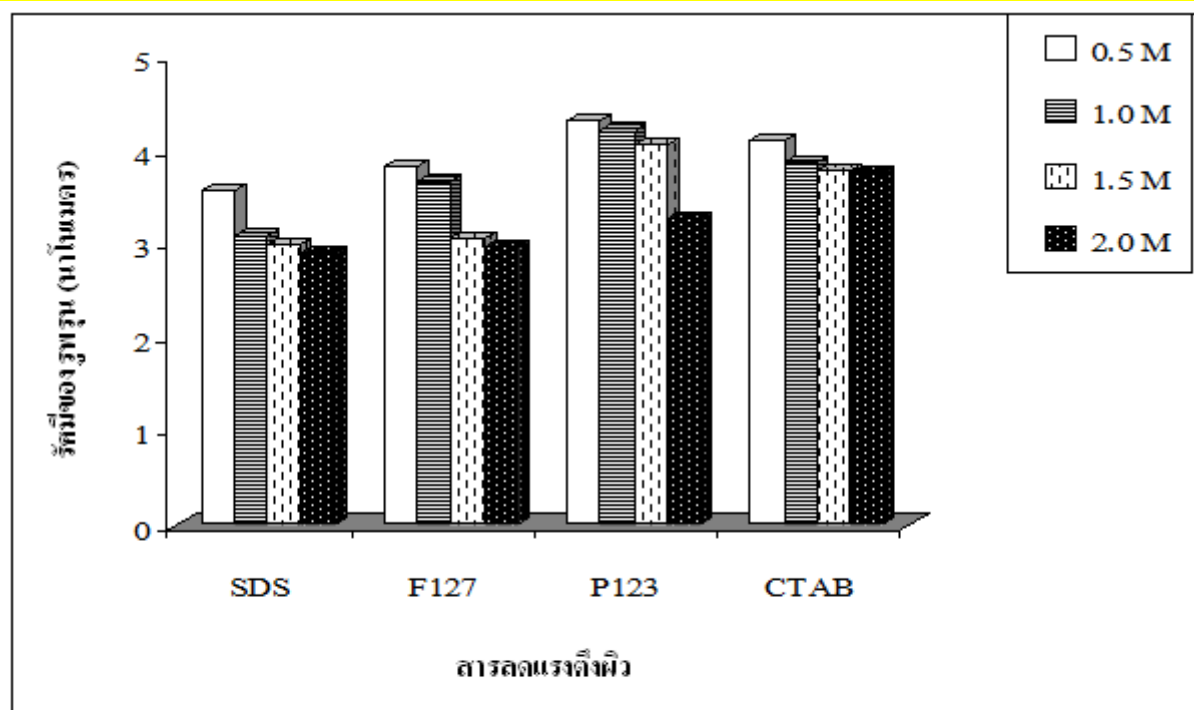
บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำก๊าซชนิดต่างๆมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น ดังนั้นการแยกก๊าซจึงมีความจำเป็นมากขึ้น ซึ่งการใช้เยื่อแผ่นเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้แยกก๊าซได้ โดยไม่ต้องใช้สารเคมีในการแยกและสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ซึ่งปัจจุบันเยื่อแผ่นที่ใช้ในการแยกก๊าซนั้นทำมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น Polysulfone และ Matrimid ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นพอลิเมอร์เนื้อแน่นทำให้ก๊าซสามารถซึมผ่านได้ทีละน้อยจึงต้องมีการเติมวัสดุต่างๆเช่น คาร์บอนนาโนทิวบ์ ซีโอไลต์ และมีโซพอร์ซิลิกาเข้าไปผสมกับพอลิเมอร์ก่อนที่จะนำไปเตรียมเป็นเยื่อแผ่นซึ่งการเติมวัสดุเหล่านี้ช่วยให้ก๊าซสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้นโดยไม่ลดประสิทธิภาพในการแยกก๊าซของเยื่อแผ่น (Andrio et al, 2000)

แต่พอลิเมอร์สังเคราะห์มีราคาแพงจึงมีแนวคิดที่จะนำยางธรรมชาติมาใช้ทดแทน เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ทั่วไป และสามารถนำมาเตรียมเป็นเยื่อแผ่นเพื่อใช้ในการแยกก๊าซได้ง่ายแต่มีข้อเสียคือ ก๊าซจะซึมผ่านเยื่อแผ่นทีละน้อย (ปิยะธร, 2000) ดังนั้นในการทำโครงงานนี้จึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ก๊าซซึมผ่านได้มากขึ้น โดยการเติมซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซลงในน้ำยางธรรมชาติก่อนนำไปเตรียมเป็นเยื่อแผ่น

ผลการทดลอง

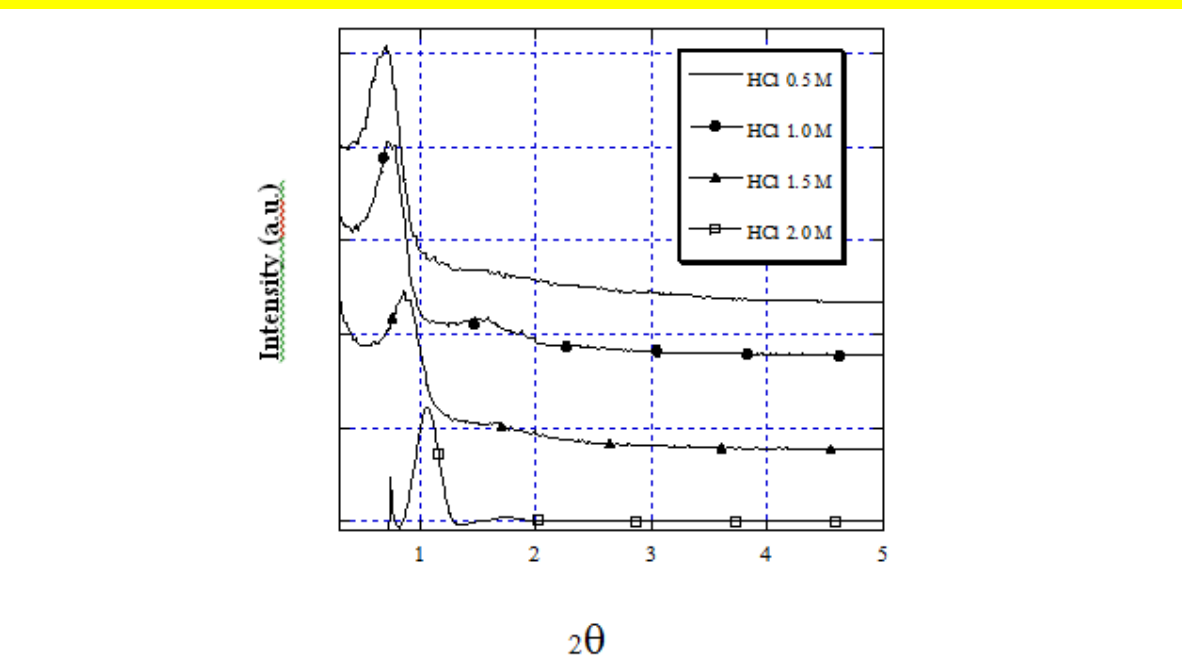
ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวพบว่ากราฟ Adsorption isotherm ของซิลิกาที่สังเคราะห์ทุกตัวอย่างมีลักษณะเป็นกราฟ Adsorption isotherm ชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ และเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นขนาดรูพรุนของซิลิกาจะลดลง เนื่องจากกรดไปเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซิลิกา เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของซิลิกาก็จะเกิดเร็วขึ้น ซึ่งซิลิกาก็สามารถที่จะไปจับกับสารลดแรงตึงผิวได้เร็วขึ้นด้วย ทำให้สารลดแรงตึงผิวมีเวลาในการรวมตัวเกิดเป็นไมเซลล์น้อย ไมเซลล์ที่ได้จึงมีขนาดเล็กซึ่งทำให้รูพรุนของซิลิกามีขนาดเล็กตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเข้มข้นเดียวกัน ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 จะมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ F127, CTAB และ SDS ตามลำดับ เนื่องจาก P123 และ F127 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีขั้วและมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า CTAB และ SDS มาก ทำให้เมื่อฟอร์มตัวเป็นไมเซลล์จึงมีขนาดใหญ่และรูพรุนก็มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วย P123 จะมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า F127 ถึงแม้ว่า F127 จะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า P123 แต่รูพรุนของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้จะมีขนาดเล็กกว่า เนื่องจากโมเลกุลของ F127 มีขนาดโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำที่ยาวกว่า P123 จึงเกิดความเกาะกัน สารลดแรงตึงผิวจึงเข้ามารวมตัวเป็นไมเซลล์ขนาดใหญ่ได้ยาก ส่วน P123 มีขนาดโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำสั้นกว่า ทำให้สารลดแรงตึงผิวสามารถเข้ามารวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ใหญ่กว่าได้ง่าย ส่วนซิลิกาที่สังเคราะห์ด้วย CTAB เป็นแม่แบบมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่า SDS เนื่องจาก CTAB มีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่า SDS เมื่อฟอร์มตัวเป็นไมเซลล์จึงสามารถเกิดไมเซลล์ที่ใหญ่กว่า



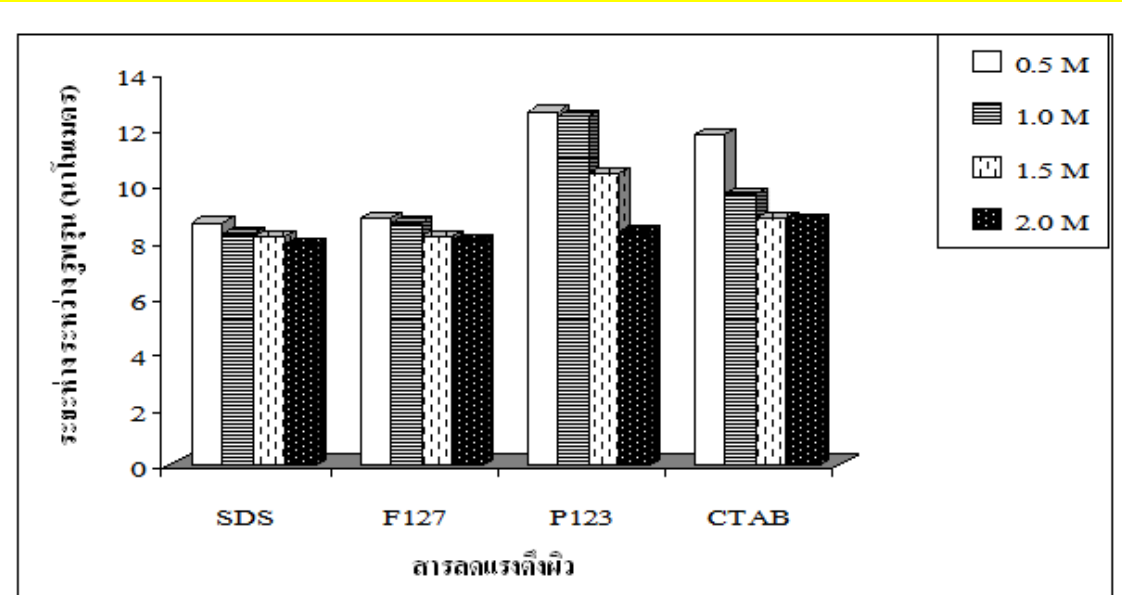
ภาพที่ 4.5 รัศมีรูพรุนของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิว SDS, P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

ลักษณะของพีคที่ได้จากการวิเคราะห์ความเป็นระเบียบของรูพรุนซิลิกาดูด้วยเครื่อง X-ray diffraction (XRD) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้น พีคมีลักษณะแคบและต่ำลง ซึ่งแสดงว่าการจัดเรียงตัวของรูพรุนของซิลิกามีความเป็นระเบียบน้อยลง เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกทำให้ซิลิกาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้เร็วขึ้น สารลดแรงตึงผิวจึงมีเวลาในการจัดเรียงตัวเป็นไมเซลล์น้อยลง จึงทำให้ไมเซลล์ที่ได้มีขนาดและระยะห่างไมเซลล์ไม่เท่ากัน ทำให้รูพรุนของซิลิกาที่ได้มีขนาดรูพรุนและระยะห่างระหว่างรูพรุนไม่เท่ากัน ความเป็นระเบียบของโครงสร้างรูพรุนจึงลดลง ส่วนที่ความเข้มข้นกรดต่ำ พีคมีลักษณะแคบและสูงชัน ซึ่งแสดงว่าการจัดเรียงตัวของรูพรุนของซิลิกามีความสม่ำเสมอและมีความเป็นระเบียบมากขึ้น เนื่องจากกรด



ภาพที่ 4.6 พีค XRD ของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิด P123 เป็นแม่แบบโดยแปรความเข้มข้นกรดที่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M



ภาพที่ 4.10 ระยะห่างระหว่างรูพรุนของซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้สารลดแรงตึงผิว SDS, P123, F127 และ CTAB เป็นแม่แบบที่ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 M

ไฮโดรคลอริกทำให้ซิลิกาเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ช้าลง สารลดแรงตึงผิวจึงมีเวลาในการจัดเรียงตัวเป็นไมเซลล์มากขึ้นจึงทำให้ไมเซลล์ที่ได้มีขนาดเท่าๆกัน รูพรุนของซิลิกาที่ได้จึงมีความสม่ำเสมอและเป็นระเบียบมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเข้มข้นกรดเพิ่มขึ้น ระยะห่างระหว่างรูพรุน (ค่า d) จะลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับขนาดรูพรุนของซิลิกา ยิ่งรูพรุนมีขนาดใหญ่ ระยะห่างระหว่างรูพรุนก็จะมากตามไปด้วย

ผลการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งค่าการแยกก๊าซออกซิเจนออกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสม

กับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ ซึ่งมีการแปรปริมาณซิลิกาเป็น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 phr พบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเยื่อแผ่นมีรูพรุนเพิ่มขึ้นจากในส่วนที่เป็นรูพรุนของซิลิกาและส่วนที่เป็นรูพรุนที่เกิดจากรอยต่อระหว่างฟิล์มยางกับซิลิกา และเมื่อขนาดรูพรุนของซิลิกาเพิ่มขึ้นก๊าซทั้งสองชนิดสามารถซึมผ่านได้เร็วขึ้น ส่วนการแยกก๊าซออกซิเจนออกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นพบว่าเมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการแยกก๊าซมีค่าลดลง และเยื่อแผ่นที่ผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะมีค่าการแยกก๊าซน้อยกว่าขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.3 การซึมผ่านและการแยกของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซโดยใช้ Pluronic P123 เป็นแม่แบบ				
ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (M)	ปริมาณซิลิกา (phr)	การซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (barrer)	การซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (barrer)	ค่าการแยกก๊าซออกซิเจนกับคาร์บอนไดออกไซด์
0.0	0.0	0.96	0.17	5.65
	0.5	1.95	0.39	5.00
	1.0	2.00	0.41	4.88
	1.5	2.54	0.53	4.79
0.5	2.0	2.56	0.56	4.57
	0.5	1.75	0.36	4.86
	1.0	1.80	0.37	4.86
	1.5	2.37	0.49	4.84
1.0	2.0	2.42	0.52	4.65
	0.5	1.65	0.33	5.00
	1.0	1.71	0.35	4.89
	1.5	2.24	0.46	4.87
1.5	2.0	2.32	0.49	4.73
	0.5	1.50	0.30	5.00
	1.0	1.57	0.32	4.91
	1.5	2.10	0.43	4.88
2.0	2.0	2.21	0.46	4.80

สรุปผลการทดลอง

กราฟ Adsorption isotherms ของซิลิกาที่สังเคราะห์ได้ทุกตัวอย่างเป็นกราฟ Adsorption isotherm ชนิดที่ 4 ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดมีโซ เมื่อความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนของซิลิกา ระยะห่างระหว่างรูพรุนและความเป็นระเบียบในการจัดเรียงตัวของรูพรุนจะลดลง ซิลิกาที่สังเคราะห์โดยใช้ P123 เป็นแม่แบบจะมีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดและตามมาด้วย F127, CTAB, และ SDS สมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดมีโซ เมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้นก๊าซทั้งสองชนิดสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วขึ้น และพบว่าก๊าซออกซิเจนสามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เร็วกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้นค่าการแยกก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ของเยื่อแผ่นมีค่าลดลง ตามปริมาณของซิลิกาที่เติมลงไป และพบว่าเยื่อแผ่นที่ผสมกับซิลิกาที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะมีค่าการแยกก๊าซน้อยกว่าเยื่อแผ่นที่มีขนาดเล็ก

เอกสารอ้างอิง

ปิยะธร ไคลังคะ. 2543. สภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัศณี ชลมาตร์. 2543. สภาพให้น้ำซึมได้ของเยื่อแผ่นยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Andrio, A., Compan, V., Reis-Nunes, R.C., Lopez, M.L. and Riande, E. 2000. Influence of cellulose reinforcers on gas transport through natural rubber. Journal of Membrane Science 178, 65-74.

Brunauer, S. 1945. The Adsorption of Gases and Vapors. Vol. I. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Brunauer, S., Emmett, P.H. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the European Chemical Society 60, 309-319.

Chaibundit, C., Ricardo, N.M.P.S., Costa, F.de M.L.L., Yeates, S.G. and Booth, C. 2007. Micellization and gelation of mixed copolymers P123 and F127 in aqueous solution. Langmuir 23, 9229-9236.