

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 สมบัติของไคโตซานและซีโอไลต์

สมบัติของไคโตซานและซีโอไลต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยไคโตซานที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) และร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิล (% Deacetylation) เท่ากับ 9.5×10^5 ดอลตัน และ 90 ± 5 ตามลำดับ สมบัติของซีโอไลต์ทดสอบด้วยเครื่อง Surface Area Analyzer พบว่ามีขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุน เท่ากับ 2551.6 อังสตรอม, 13.9 ตารางเมตรต่อกรัม และ 0.0137 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติของไคโตซานและซีโอไลต์เอ

สมบัติ	หน่วย	ไคโตซาน (*)	ซีโอไลต์เอ
น้ำหนักโมเลกุล	ดอลตัน	9.5×10^5	
ร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิล	%	90 ± 5	
ขนาดรูพรุน	อังสตรอม (Å)		2551.6
พื้นที่ผิว	m ² /g		13.9
ปริมาตรรูพรุน	cm ³ /g		0.0137

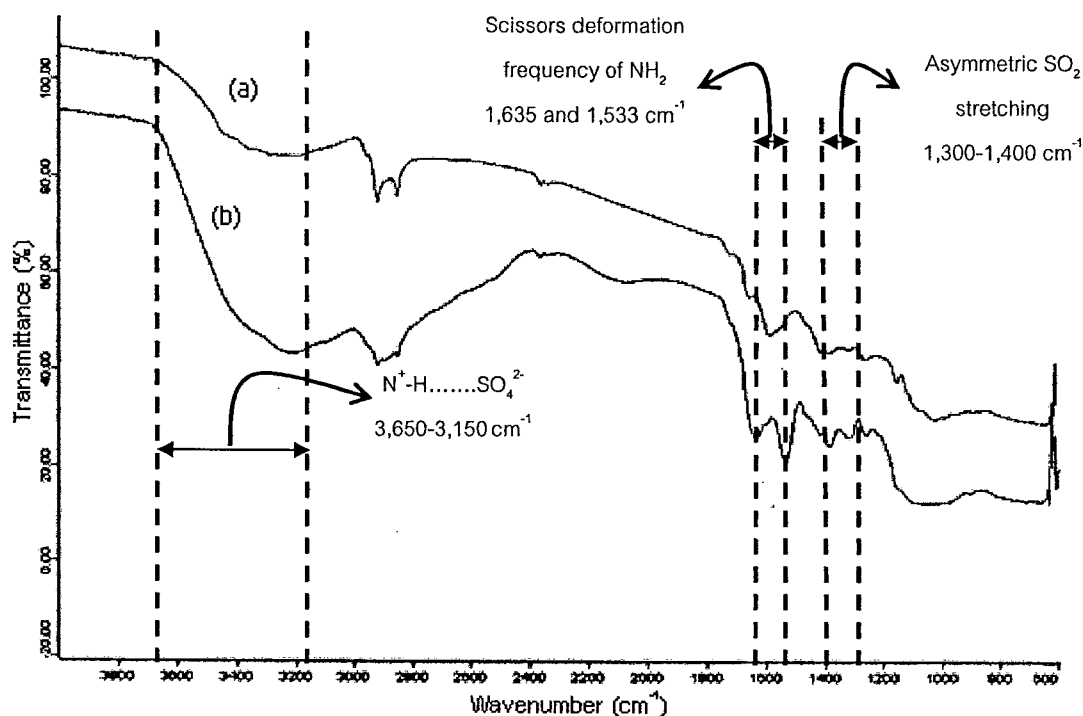
หมายเหตุ * ข้อมูลจากบริษัท Eland Corporation Ltd.

4.2 โครงสร้างทางเคมี

รูปที่ 4.1(a) แสดง FTIR spectrum ของเมมเบรนไคโตซานไม่เชื่อมขวาง โดยปรากฏพีกสำคัญที่แสดงหมู่ฟังก์ชันของไคโตซาน ดังนี้ พีกของหมู่ Amine deformation (NH_2) ที่หมายเลขคลื่น 1592 cm^{-1} พีกของหมู่ C–O–C ใน Membered ring stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ 1074–1076 cm^{-1} พีกของหมู่ C–H stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ 2849–2916 cm^{-1} และพีกของหมู่ O–H และ N–H stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ 3358–3589 cm^{-1}

ผลจากการเชื่อมขวางเมมเบรนด้วยกรดซัลฟิวริกดังแสดงในรูปที่ 4.1(b) พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนี้ เกิดพีกคู่ของหมู่ NH_3^+ ที่หมายเลขคลื่น 1533 และ 1635 cm^{-1} อย่างชัดเจน เนื่องจากหมู่เอมีนในไคโตซานถูก Protonated โดยโปรตอนจากกรดซัลฟิวริก นอกจากนี้ยังเกิดพีกลักษณะกว้างที่ช่วงหมายเลขคลื่นใกล้เคียง 3150 cm^{-1} และเกิดการเลื่อนไปของ C–H

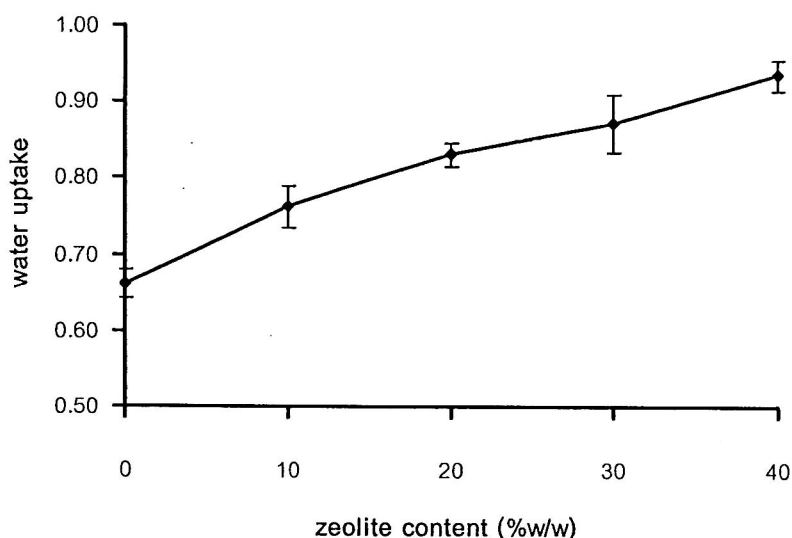
stretching ไปยังหมายเลขคลื่นที่สูงขึ้น เนื่องจากการเกิดพันธะไฮดรอกซิลระหว่างหมู่ NH_3^+ และ SO_4^{2-} รวมทั้งยังมีพีคของหมู่กรดซัลฟอนิก ได้แก่ Asymmetric SO_2 stretching ที่ช่วงหมายเลขคลื่นประมาณ $1300\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ พีคของเกลือกรดซัลฟอนิกที่หมายเลขคลื่นประมาณ 1386 cm^{-1} จึงยืนยันได้ว่ากรดซัลฟริกเข้าไปสร้างพันธะในสายโซ่ของไคโตซาน



รูปที่ 4.1 FTIR spectra ของเมมเบรนไคโตซาน (a) แบบไม่เชื่อมขวาง (b) แบบเชื่อมขวาง

4.3 ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรน

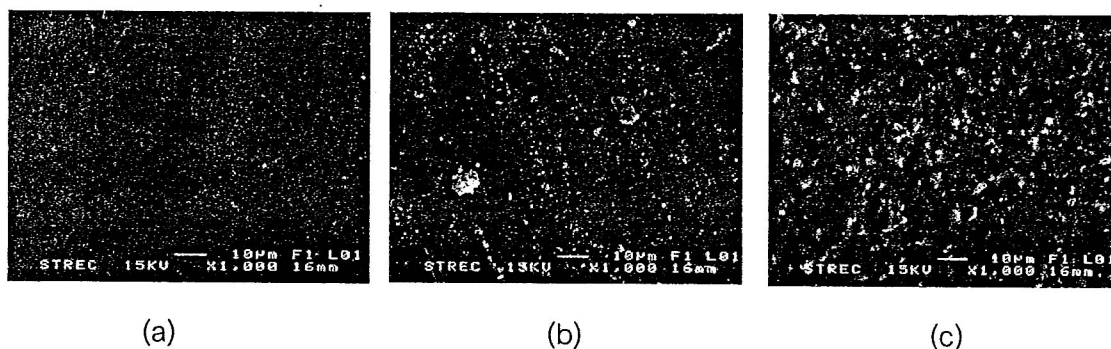
รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง และเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ พบว่าเมื่อเติมซีโอไลต์ลงไปจะทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรนเพิ่มขึ้น ตามปริมาณซีโอไลต์ที่มากขึ้น จาก 0.70 ± 0.02 เป็น 0.94 ± 0.02 เมื่อปริมาณซีโอไลต์ที่เติมเท่ากับ 0 และ 40 โดยน้ำหนักของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ เนื่องจากซีโอไลต์เป็นสารที่มีความเป็นรูพรุนสูง และโครงสร้างของซีโอไลต์แสดงความมีขั้วซึ่งเกิดจากไอออนของโซเดียม (Na^+) ที่เป็น Counter ion ของซีโอไลต์ เป็นผลให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับพื้นผิวของซีโอไลต์ ทำให้ซีโอไลต์สามารถดูดซับโมเลกุลน้ำไว้ภายในรูพรุนได้ดี ทำให้เมมเบรนไคโตซาน-ซีโอไลต์สามารถดูดซับน้ำไว้ในเมมเบรนได้สูงกว่าเมมเบรนไคโตซานที่ไม่ได้ทำการเติมซีโอไลต์



รูปที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับน้ำในเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์

4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยา

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวของเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวางเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์เท่ากับร้อยละ 10 และ 40 โดยน้ำหนักของน้ำหนักไคโตซาน ตามลำดับ พบว่าเมมเบรนเมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวางมีลักษณะพื้นผิวที่เป็นเนื้อแน่นและราบเรียบ ในขณะที่เมมเบรนไคโตซานเชื่อมขวาง-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 10 และ 40 โดยน้ำหนักของน้ำหนักไคโตซาน จะเห็นอนุภาคของแข็งสีขาวซึ่งคาดว่าเป็นอนุภาคซีโอไลต์กระจายอยู่ทั่วผิวน้ำ โดยมีส่วนตำแหน่งจะเห็นอนุภาคของแข็งจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ เนื่องจากขั้นตอนการทำให้ซีโอไลต์กระจายตัวในสารละลายไคโตซานไม่ดี โดยขนาดอนุภาคซีโอไลต์ในเมมเบรนจะใหญ่ขึ้นตามปริมาณซีโอไลต์ที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3(c) การรวมตัวกันของอนุภาคซีโอไลต์ จะส่งผลต่อค่าความสามารถในการทนต่อแรงดึงและสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรนซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

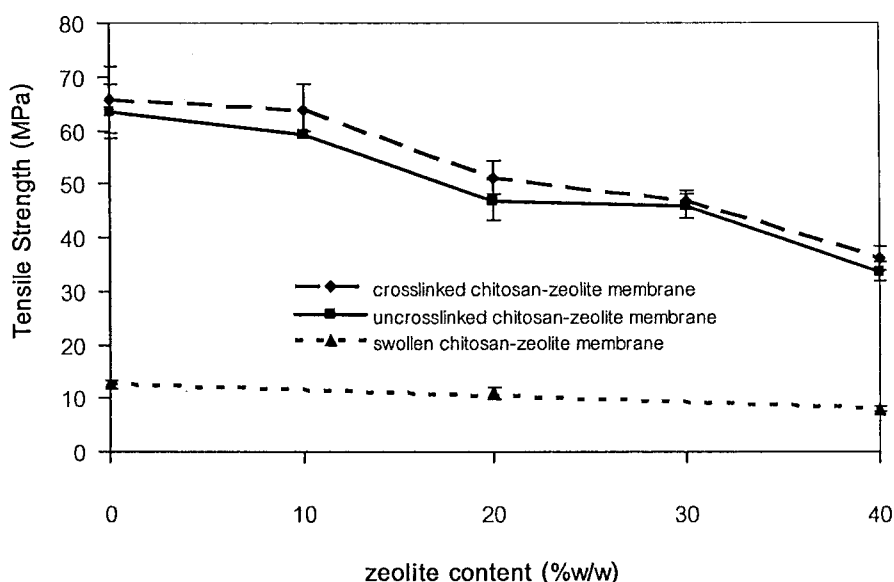


รูปที่ 4.3 ลักษณะพื้นผิวของเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์

(a) 0% zeolite (b) 10% zeolite (c) 20% zeolite

4.5 ความสามารถทนต่อแรงดึง

รูปที่ 4.4 แสดงความสามารถในการทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซาน-ซีโอไลต์ พบว่าเมมเบรนเชื่อมขวางมีค่าความสามารถในการทนต่อแรงดึงสูงกว่าเมมเบรนไม่เชื่อมขวาง เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวในลักษณะที่แนบชิดทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวภายในของสายโซ่พอลิเมอร์เพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการทนต่อแรงดึงจะลดลง เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดรอยแยกที่ผิวสัมผัส (Interfacial void) ระหว่างพื้นผิวของซีโอไลต์และไคโตซาน [8, 9] ดังที่ได้กล่าวในส่วนของลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวของเมมเบรน ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นลดลง จากผลการทดลองในส่วนนี้จะนำไปยืนยันผลของสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรนเชื่อมขวาง ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป และเมื่อศึกษาค่าความสามารถทนแรงดึงของเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์ที่บวมตัวด้วยน้ำ พบว่าความสามารถทนต่อแรงดึงน้อยกว่าเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์มาก เนื่องมาจากโมเลกุลของน้ำเข้าไปทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีปริมาตรอิสระมากขึ้น ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวภายในสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง



รูปที่ 4.4 ความสามารถทนต่อแรงดึงของเมมเบรนไคโตซาน-ซีโอไลต์

4.6 สมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนแห้ง

โดยปกติในการศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรน จะศึกษาในลักษณะใช้เมมเบรนแห้งแยกแก๊สแห้ง แต่ในความเป็นจริงแก๊สจากระบบบ่อแก๊สชีวภาพไม่แห้งซึ่งอาจทำให้สมรรถนะการแยกแตกต่างจากระบบแก๊สแห้ง/เมมเบรนแห้งได้ ในส่วนนี้จะพิจารณาสมรรถนะการ

แยกของระบบแก๊สแห้ง/เมมเบรนแห้งก่อน โดยศึกษากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของแก๊สชีวภาพ

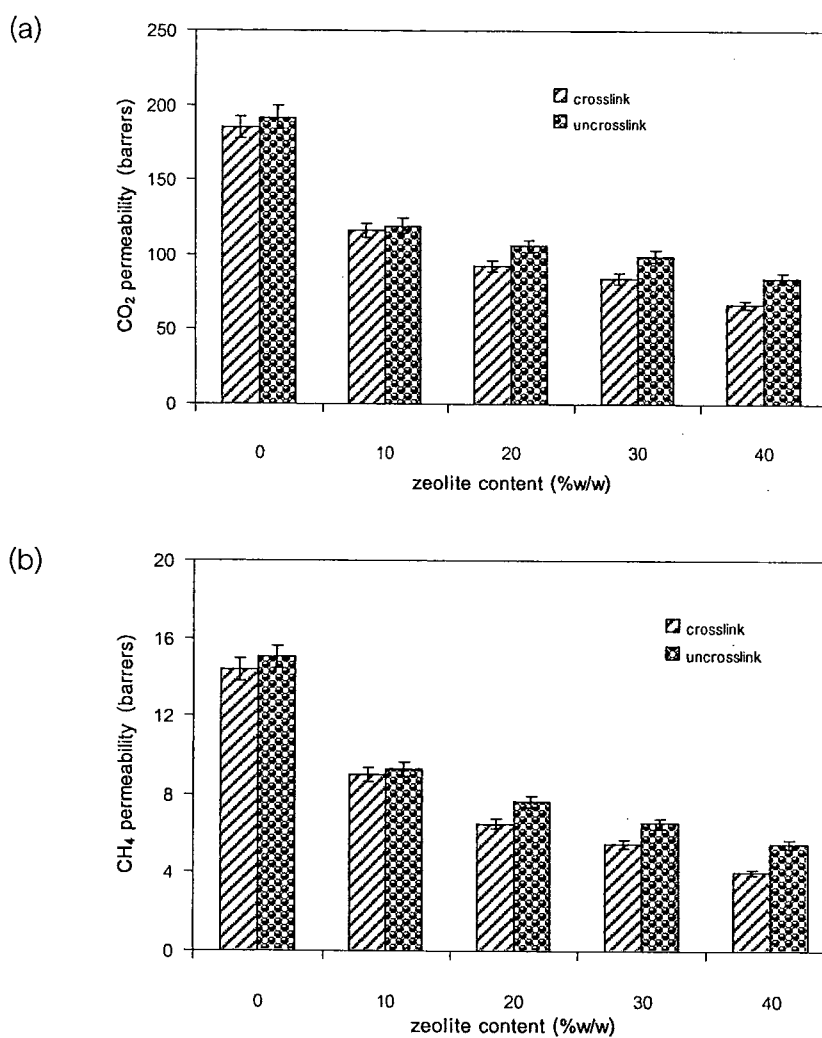
4.6.1 ผลของการเชื่อมขวางเมมเบรน

ผลของการเชื่อมขวางเมมเบรนที่มีต่อสมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ แสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าเมมเบรนเชื่อมขวางให้ค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนต่ำกว่าเมมเบรนไม่เชื่อมขวาง นอกจากนั้นยังพบว่าเมมเบรนไคโตซานชอบให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านได้มากกว่าแก๊สมีเทน ทำให้ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนสูง โดยเมมเบรนเชื่อมขวางแสดงค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนสูงกว่าเมมเบรนไม่เชื่อมขวางที่ทุก ๆ สัดส่วนของซีโอไลต์ในไคโตซาน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เนื่องจากการเชื่อมขวางเมมเบรนจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง จึงเป็นเหตุให้โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้ลดลง ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนผ่านเมมเบรนจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

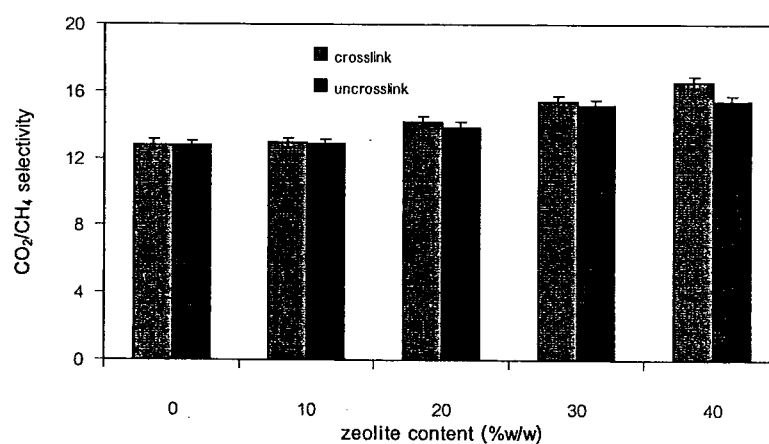
จากผลการทดลองในส่วนนี้ พบว่าเมมเบรนเชื่อมขวางจะให้ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนสูงกว่าเมมเบรนไม่เชื่อมขวาง ทั้งยังมีค่าความสามารถในการทนต่อแรงดึงที่ดีกว่า จึงเลือกศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรนในส่วนต่อไปกับเมมเบรนเชื่อมขวาง

4.6.2 ผลของความดัน

ผลของความดันที่มีต่อสมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนเชื่อมขวางแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เนื่องจากในกระบวนการแยกแก๊สด้วยเมมเบรน มีความดันย่อยของสารเพอร์มิเอตเป็นแรงขับ (Driving force) ดังนั้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้โมเลกุลของแก๊สสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้ง่ายกว่าในกรณีที่ความดันต่ำ จึงเป็นเหตุให้โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้เพิ่มขึ้น ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนของเมมเบรนจึงมีค่าลดลง

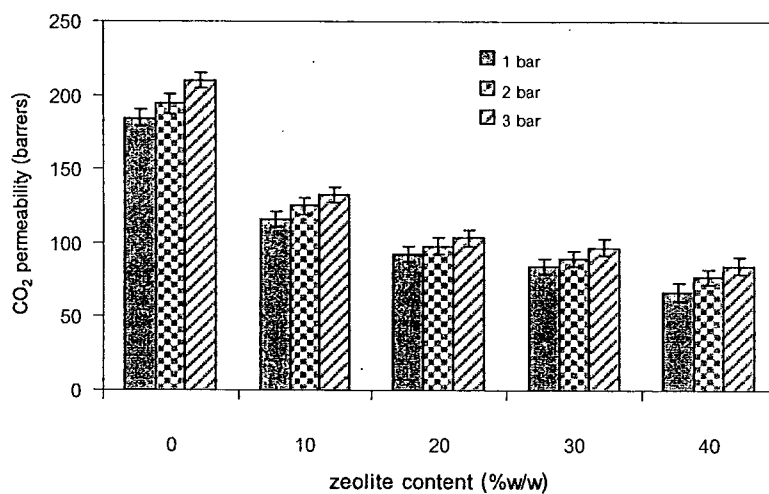


รูปที่ 4.5 ผลของการเชื่อมขวางเมมเบรนต่อค่าการซึมผ่านแก๊สที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ (a) คาร์บอนไดออกไซด์ (b) มีเทน

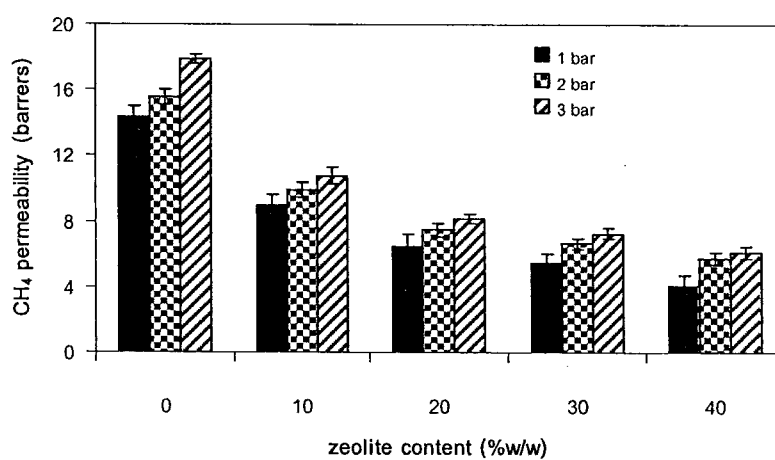


รูปที่ 4.6 ผลของการเชื่อมขวางเมมเบรนต่อค่าการเลือกสรรแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์

(a)

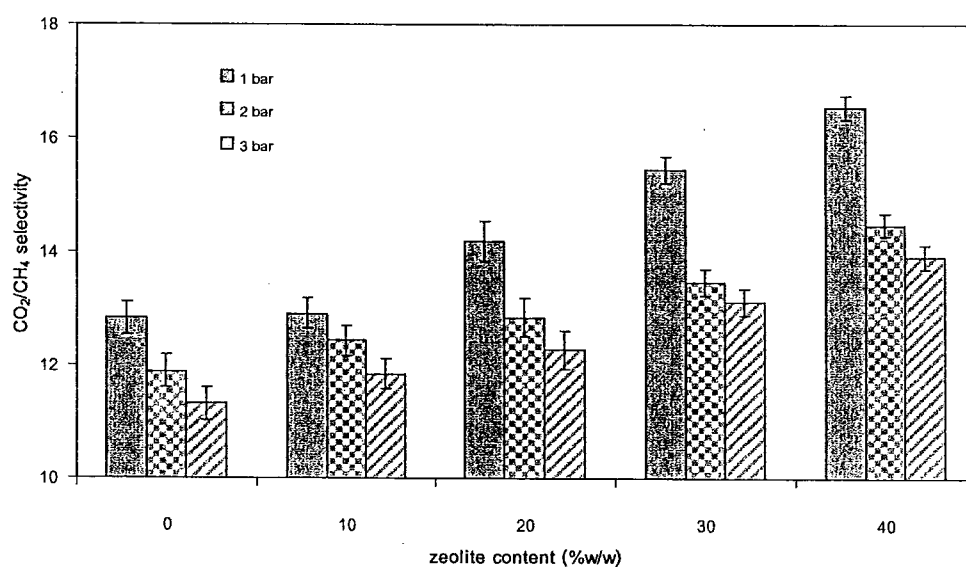


(b)



รูปที่ 4.7 ผลของความดันต่อการซึมผ่านแก๊สที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

(a) คาร์บอนไดออกไซด์ (b) มีเทน



รูปที่ 4.8 ผลของความดันต่อการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ต่อมีเทนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

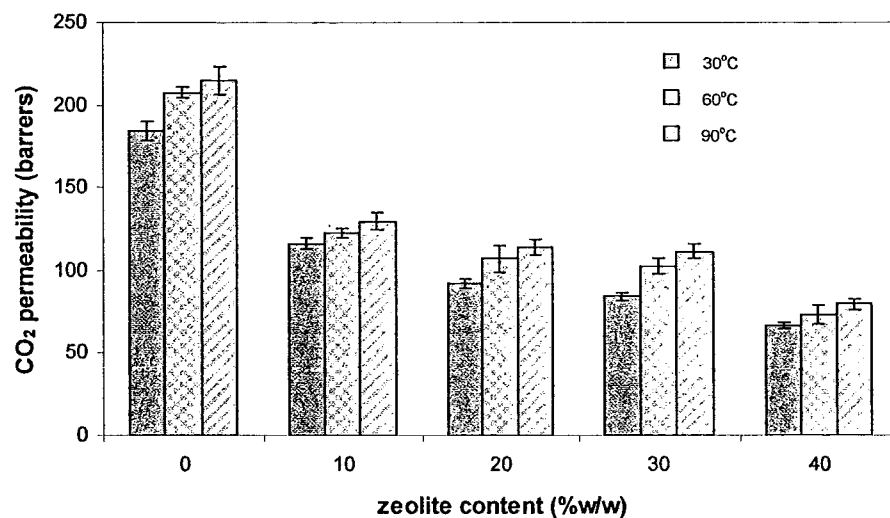
4.6.3 ผลของอุณหภูมิ

เนื่องจากความดันของแก๊สชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนอยู่ที่ 1 บาร์ แต่อุณหภูมิในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไร้ออกซิเจนที่เหมาะสมมีอยู่ 2 ช่วง ช่วงการทำงานของ Mesophilic bacteria ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30–40 องศาเซลเซียส และช่วงการทำงานของ Thermophilic bacteria ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45–55 องศาเซลเซียส ในส่วนนี้จึงได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนเชื่อมขวางแห้ง ที่ความดัน 1 บาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะไปกระตุ้นให้โมเลกุลของแก๊สมีพลังงานภายในเพิ่มขึ้น อีกทั้งสายโซ่พอลิเมอร์จะได้รับพลังงานจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เกิดการเคลื่อนไหวออกจากการเกี่ยวพันกันภายในสายโซ่พอลิเมอร์ (Chain entanglement) ส่งผลให้เกิดปริมาตรหรือช่องว่างระหว่างสายโซ่เพิ่มมากขึ้นเป็นเหตุให้โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนสามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนผ่านเมมเบรนจึงมีค่าลดลง

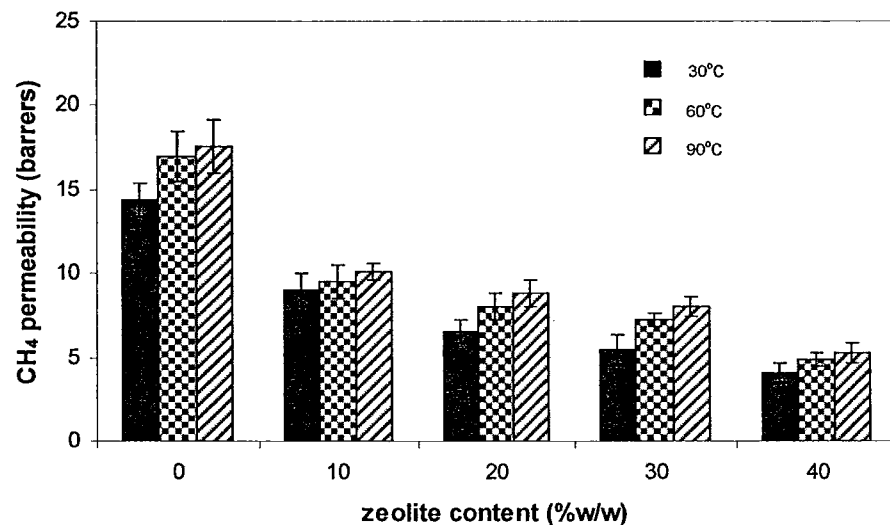
4.6.4 ผลของปริมาณซีโอไลต์

การมีซีโอไลต์ในโคโตซานเมทริกซ์ทำให้ค่าการซึมผ่านแก๊สลดลงซึ่งน่าจะเกิดจากผลของสายโซ่พอลิเมอร์เกิดความแข็งกระด้าง เนื่องจากการมีอนุภาคซีโอไลต์เข้าไปแทรกอยู่ในสายโซ่เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าความไม่อ่อนไหวของสายโซ่พอลิเมอร์ (Polymer chain rigidification) หรือเกิดจากการที่สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ไปบดบังรูพรุนของซีโอไลต์บางส่วน เป็นผลให้รูพรุนของซีโอไลต์เกิดการอุดตัน (Partial pore blockage of zeolite) ตามงานวิจัยของ Chung และคณะ [13] ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการเลือกสรรคู่แก๊ส ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5–4.10 ผลการทดสอบสมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ ขององค์ประกอบแก๊สต่าง ๆ ในแก๊สชีวภาพ (ยกเว้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์) แสดงในรูปที่ 4.11–4.12 พบว่าปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น จะให้ค่าการซึมผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนลดลงจาก 184.7 ± 20.3 , 14.4 ± 2.0 , 980.5 ± 16.8 และ 18.3 ± 0.7 แบเรอร์ เป็น 66.8 ± 6.4 , 4.0 ± 0.6 , 387.5 ± 26.1 และ 7.4 ± 0.6 แบเรอร์ ตามลำดับ แต่ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทน ไฮโดรเจนต่อมีเทน และไนโตรเจนต่อมีเทนเพิ่มขึ้นจาก 12.8 ± 1.6 , 68.1 ± 1.5 และ 1.3 ± 0.1 เป็น 16.5 ± 1.6 , 96.9 ± 1.5 และ 1.9 ± 0.1 ตามลำดับ เมื่อปริมาณของซีโอไลต์เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 40 โดยน้ำหนักของน้ำหนักโคโตซาน

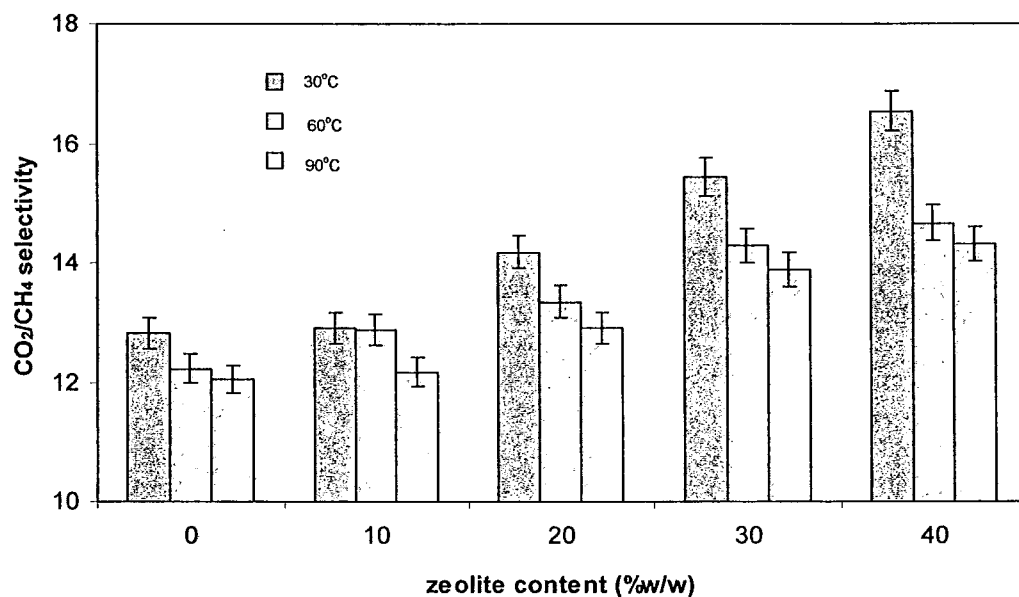
(a)



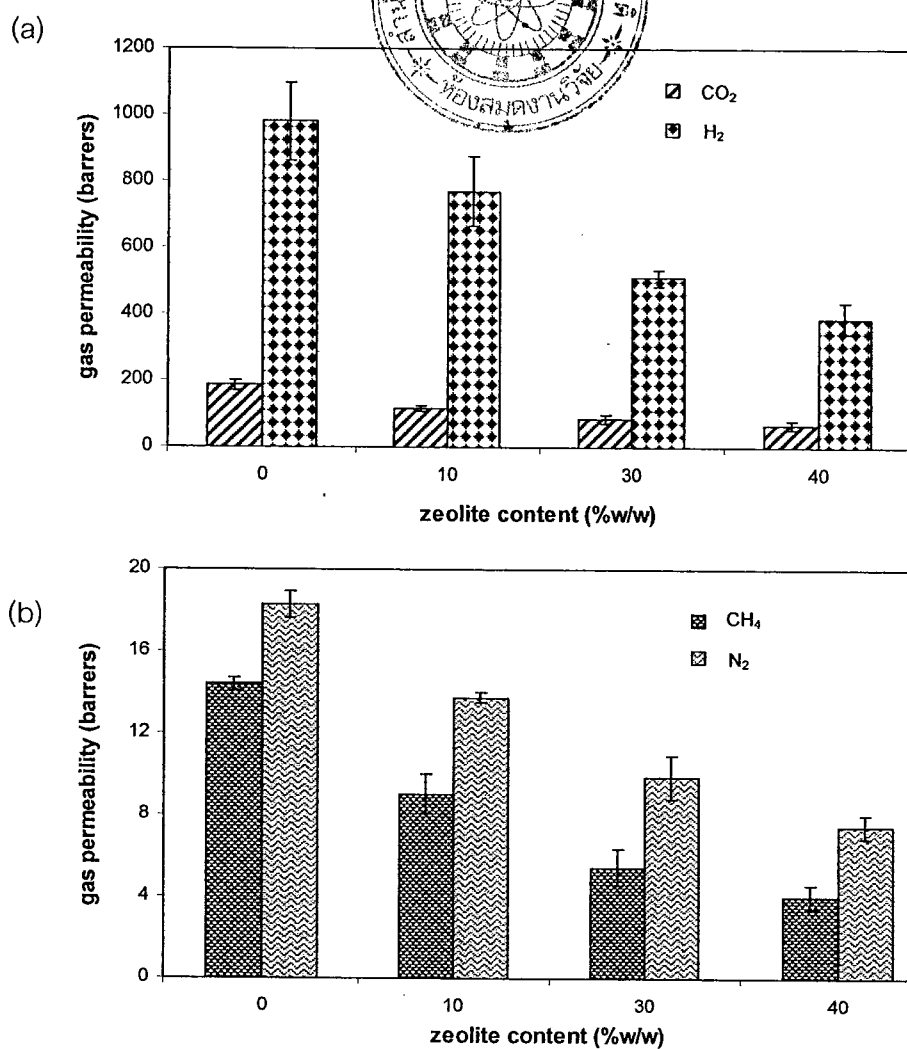
(b)



รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิต่อค่าการซึมผ่านแก๊สที่ความดัน 1 บาร์ (a) คาร์บอนไดออกไซด์ (b) มีเทน



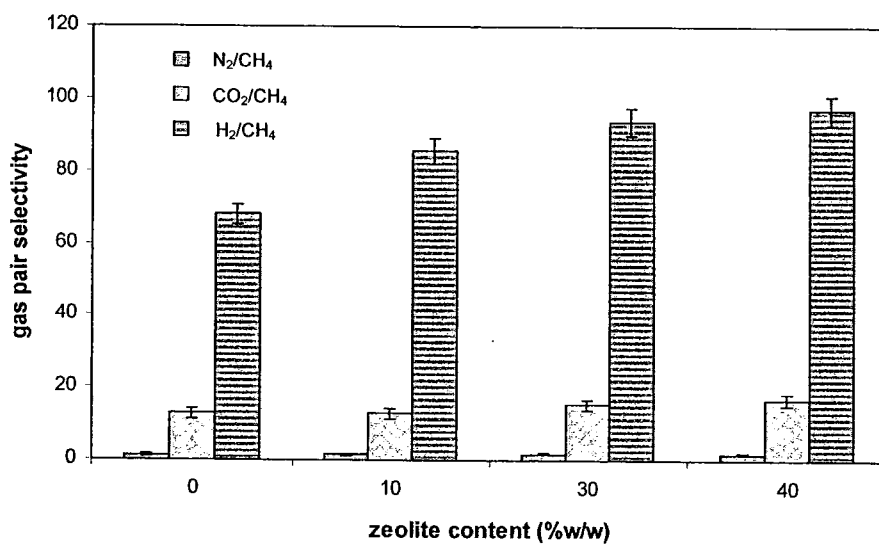
รูปที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิต่อค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทนที่ความดัน 1 บาร์



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อค่าการซึมผ่านแก๊สแห้งผ่านเมมเบรนแห้งที่

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บาร์

(a) คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (b) มีเทนและไนโตรเจน



รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อค่าการเลือกสรรคู่แก๊สแห้งผ่านเมมเบรนแห้งที่

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์

4.7 สมรรถนะการแยกแก๊สจากสภาพจำลองระบบบ่อแก๊สชีวภาพ

เนื่องจากแก๊สจากระบบบ่อแก๊สชีวภาพไม่เป็นแก๊สแห้ง เพื่อให้ผลงานวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ในส่วนนี้จึงได้ศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรนจากสภาพจำลองโดยแบ่งเป็น 3 กรณี คือ

- 1) ศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ
- 2) ศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สเปียกของเมมเบรนแห้ง
- 3) ศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สเปียกของเมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ

4.7.1 สมรรถนะการแยกแก๊สแห้งของเมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ

จากการศึกษาค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรคู่แก๊สแห้งของเมมเบรนเชื่อมขวางบวมตัวด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าค่าการซึมผ่านแก๊สทุกชนิดลดลงเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับในกรณีการแยกแก๊สแห้งด้วยเมมเบรนแห้ง แต่ค่าการซึมผ่านแก๊สทุกชนิดมีค่าสูงกว่าของเมมเบรนแห้ง ซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ [14] ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์ของเมมเบรนที่บวมตัวด้วยน้ำมีความอ่อนตัวและอยู่ห่างกันมากขึ้น โมเลกุลของแก๊สจึงสามารถแพร่ผ่านได้มากขึ้น ในกรณีนี้การมีอนุภาคซีโอไลต์ในเมทริกซ์โพลีเมอร์ไม่ได้ช่วยให้ค่าการเลือกสรรคู่แก๊สดังแสดงในรูปที่ 4.14 ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เหมือนในกรณีการแยกแก๊สแห้งด้วยเมมเบรนแห้งโดยเฉพาะอย่างยิ่งคู่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทน ทั้งนี้อาจเนื่องจากซีโอไลต์ก็สามารถดูดซับน้ำได้เช่นเดียวกับโพลีเมอร์ ทำให้ข้อดีในการเลือกสรรแก๊สของอนุภาคอนินทรีย์ซีโอไลต์ถูกบดบังไป

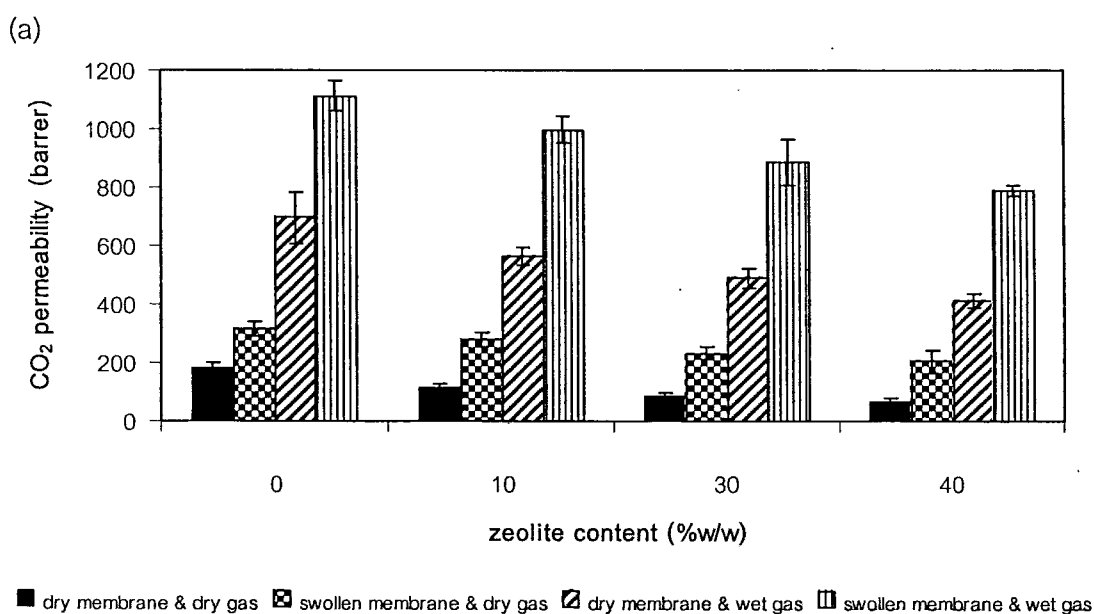
4.7.2 สมรรถนะการแยกแก๊สเปียกของเมมเบรนแห้ง

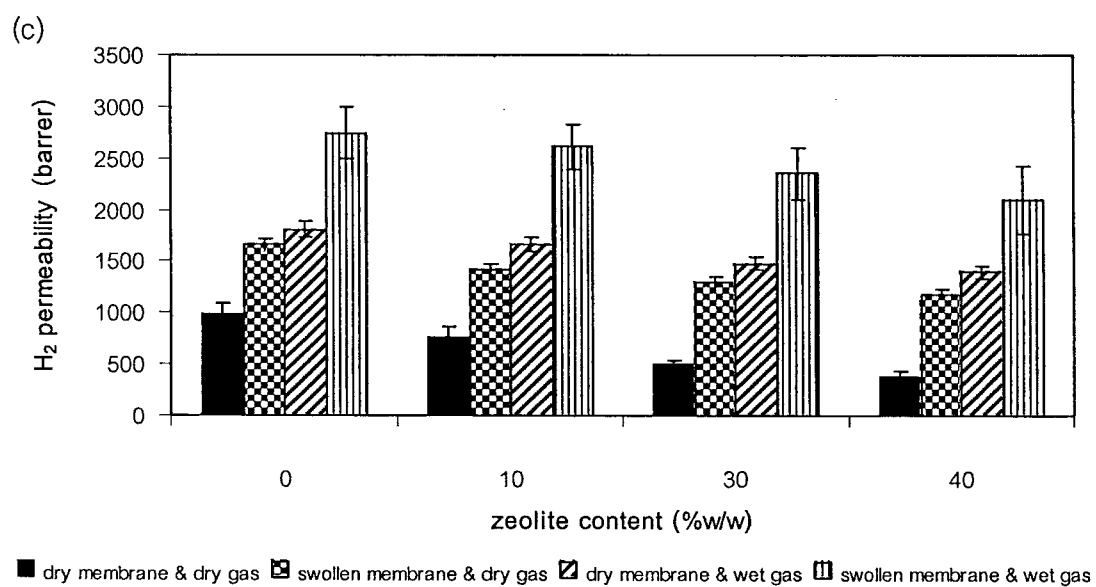
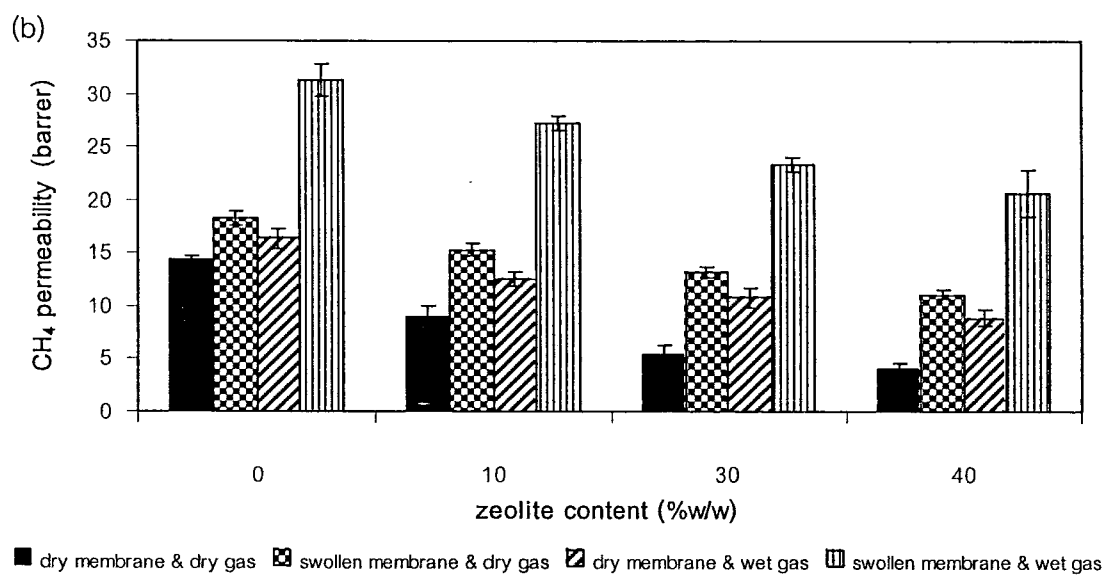
ในการป้อนแก๊สเปียกผ่านเมมเบรนแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อปริมาณของซีโอไลต์เพิ่มขึ้นค่าการซึมผ่านแก๊สทุกชนิดลดลงเช่นเดิม แต่จะเริ่มเห็นความแตกต่างจากในกรณีการแยกแก๊สแห้งด้วยเมมเบรนเปียกในหัวข้อ 4.7.1 โดยแก๊สที่สามารถละลายน้ำได้มากและเมมเบรนชอบให้ผ่านได้มากกว่า คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน จะให้ค่าการซึมผ่านมากขึ้นกว่าใน 2 กรณีก่อนหน้านี้ ต่างจากแก๊สที่สามารถละลายน้ำได้น้อย คือ แก๊สมีเทนและไนโตรเจนจะให้ค่าการซึมผ่านแก๊สน้อยกว่ากรณีการแยกแก๊สแห้งด้วยเมมเบรนเปียก อย่างไรก็ตามยังคงมากกว่ากรณีการแยกแก๊สแห้งด้วยเมมเบรนแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความชื้นที่มากับแก๊สเปียก ทำให้เมมเบรนบวมตัวได้ต่างกัน เนื่องจากการถ่ายโอนมวลน้ำจากแก๊สสู่เมมเบรน โดยปริมาณน้ำที่มากับแก๊สมีเทนและไนโตรเจนซึ่งละลายน้ำได้น้อยไม่มากพอทำให้เมมเบรนบวมได้เท่ากับกรณีทำให้เมมเบรนอิมมิดด้วยน้ำก่อน ผลที่ตามมาคือทำให้

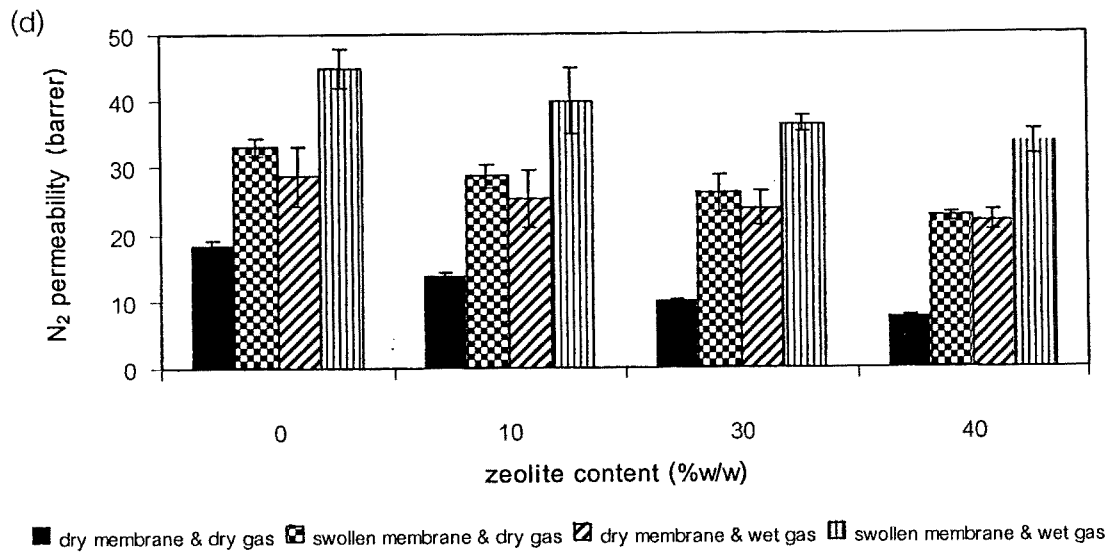
ค่าการเลือกสรรดังแสดงในรูปที่ 4.14 ของแก๊สละลายน้ำได้มากกับแก๊สที่ละลายน้ำได้น้อย (ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทน และไฮโดรเจนต่อมีเทน) สูงขึ้น โดยเฉพาะคู่แก๊สที่มีขนาดโมเลกุลใกล้เคียงกัน คือ ค่าการเลือกสรรแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทน

4.7.3 สมรรถนะการแยกแก๊สเป๊ยกของเมมเบรนบวมตัวด้วยน้ำ

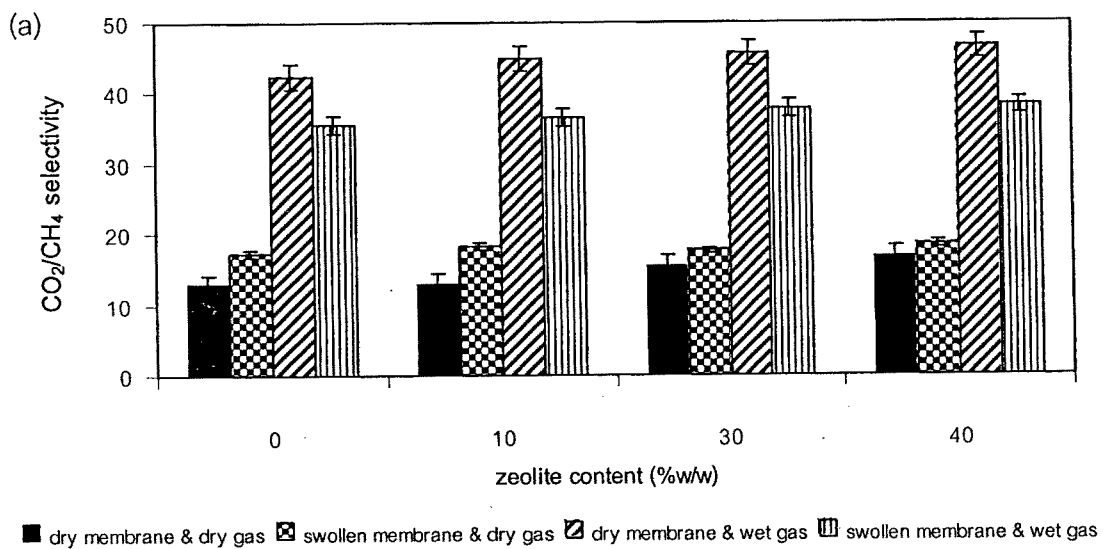
ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรคู่แก๊สเป๊ยกของเมมเบรนเชื่อมขวางบวมตัวด้วยน้ำ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์ แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าค่าการซึมผ่านแก๊สเป๊ยกทุกชนิดลดลงเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้นเช่นเดิม และมีค่าสูงกว่าอีก 3 กรณีที่กล่าวมาแล้ว อธิบายได้ว่าในกรณีนี้ไม่ต้องการถ่ายโอนมวลน้ำข้ามไปมาระหว่างเมมเบรนและแก๊ส เพราะทั้งเมมเบรนและแก๊สได้อิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ทำให้สภาพการบวมตัวของเมมเบรนไม่เปลี่ยนแปลงขณะที่มีแก๊สถ่ายโอนผ่านเมมเบรน โดยค่าการซึมผ่านแก๊สในกรณีนี้ทุกชนิดสูงกว่ากรณีป้อนแก๊สแห้งมาก เนื่องจากว่าเมมเบรนชนิดชอบน้ำยอมชอบให้แก๊สเป๊ยกผ่านได้มากกว่าแก๊สแห้ง เมื่อแก๊สทุกชนิดอยู่ในสภาพเป๊ยกและเมมเบรนบวมตัวเต็มที่สมรรถนะการเลือกสรรแก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จึงด้อยลง

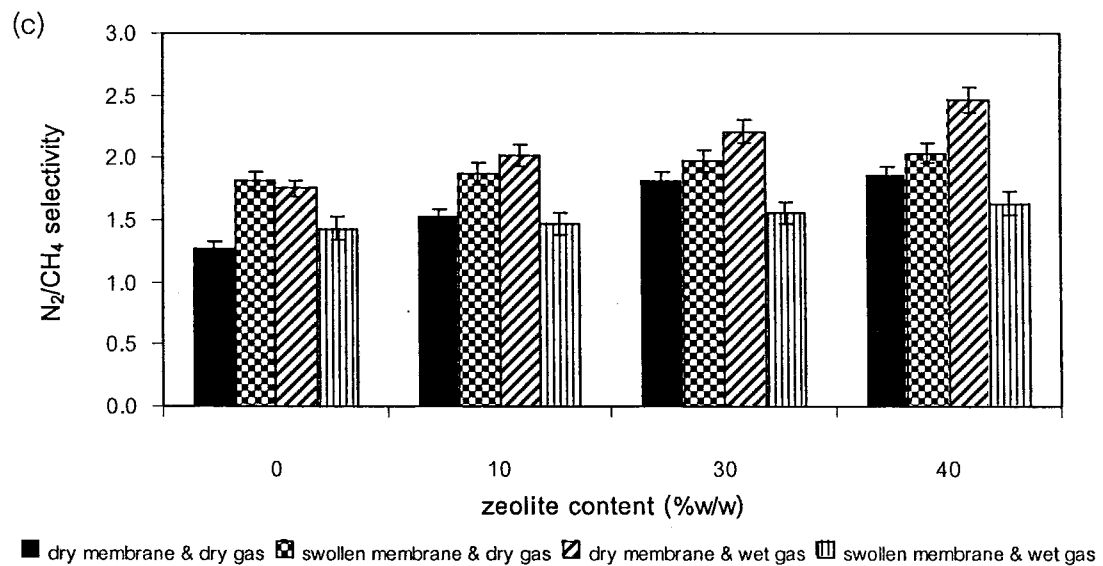
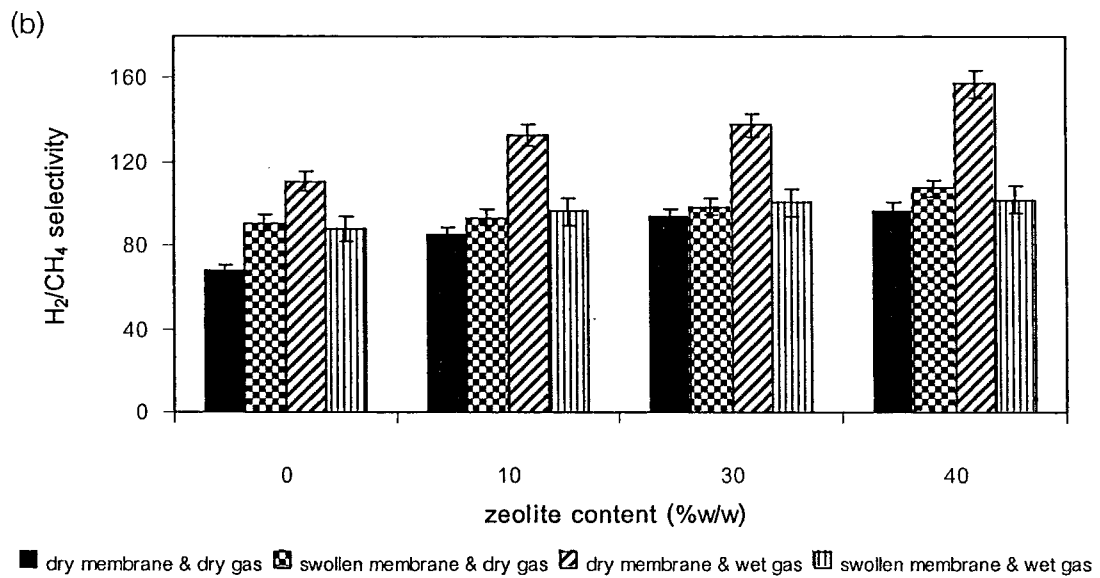






รูปที่ 4.13 ผลของสภาพเมมเบรนและสภาพแก๊สต่อค่าการซึมผ่านแก๊สที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์
(a) คาร์บอนไดออกไซด์ (b) มีเทน (c) ไฮโดรเจน (d) ไนโตรเจน

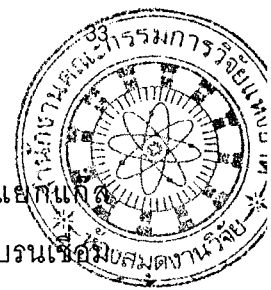




รูปที่ 4.14 ผลของสภาพเมมเบรนและสภาพแก๊สต่อค่าการเลือกสรรคู่แก๊สที่อุณหภูมิ 30

องศาเซลเซียส และความดัน 1 บาร์

(a) คาร์บอนไดออกไซด์ต่อมีเทน (b) ไฮโดรเจนต่อมีเทน (c) ไนโตรเจนต่อมีเทน



4.8 ผลการศึกษาการใช้กระบวนการเมมเบรนกับฟาร์มสุกรกรณีศึกษา

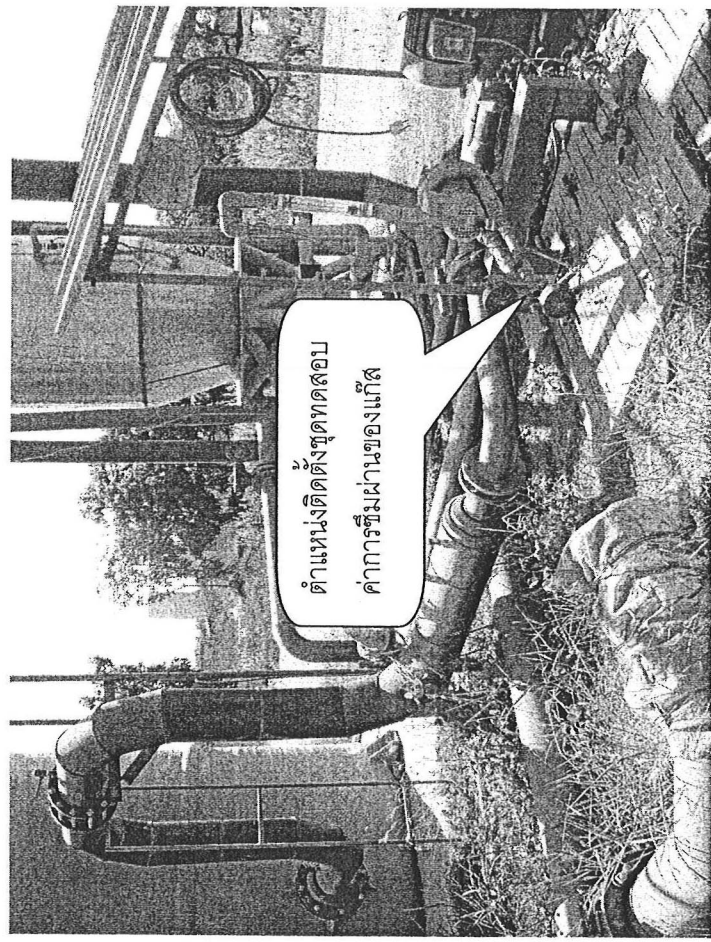
จากหัวข้อข้างต้นสรุปผลการศึกษาสมรรถนะอุทกคติกการใช้เมมเบรนแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สมีเทน ได้ว่าเมมเบรนที่มีศักยภาพมากที่สุดคือเมมเบรนชนิดโพลีเอทิลีน-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของน้ำหนักโพลีเอทิลีน โดยสมรรถนะการแยกที่น่าสนใจ ดังนี้

Parameter	Dry membrane/dry gas		Swollen membrane/wet gas	
	30°C	60°C	30°C	60°C
CO ₂ permeability, barrer	66.8±6.4	272.9±5.6	788.0±17.8	872.1±33.7
CH ₄ permeability, barrer	4.0±0.6	7.8±0.6	20.6±2.2	23.7±1.0
H ₂ permeability, barrer	387.5±26.1	553.0±54.4	2102.1±31.8	2244.6±82.2
N ₂ permeability, barrer	7.4±0.6	11.8±0.9	33.7±0.9	37.4±2.1
CO ₂ /CH ₄ selectivity	16.5±1.6	35.0±1.0	38.2±0.2	36.9±1.7
H ₂ /CH ₄ selectivity	96.9±1.5	93.7±16.1	101.9±0.3	94.9±6.2
N ₂ /CH ₄ selectivity	1.9±0.1	1.8±0.2	1.6±0.1	1.7±0.1

ผลการวิเคราะห์คุณภาพแก๊สด้วยเครื่อง Gas Chromatography จากระบบบ่อก๊าซชีวภาพของฟาร์มสุกรกรณีศึกษา พบว่า ณ ตำแหน่งที่ 1 (รูปที่ 4.15 (ก)) ตำแหน่งที่แก๊สชีวภาพออกมาจากบ่อก๊าซ มีปริมาณแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 55.3±2.2 และ 23.4±0.7 ตามลำดับ และ ณ ตำแหน่งที่ 2 (รูปที่ 4.15 (ข)) ตำแหน่งที่แก๊สชีวภาพผ่านหอกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 55.1±1.6 และ 18.8±1.2 ตามลำดับ แสดงว่าหอกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ฟาร์มใช้มีประสิทธิภาพไม่เกินไปร้อยละ 20 เท่านั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.15 ตำแหน่งตรวจวัด ณ ฟาร์มสุกรกรณีศึกษา

(ก) ตำแหน่งที่แก๊สรั่วไหลออกมาจากบ่อหมัก (ข) ตำแหน่งที่แก๊สรั่วไหลจากท่อที่ติดตั้งเครื่องวัดแก๊ส

จากการศึกษาสมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรน 2 ชนิด คือเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน และเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ณ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบประเด็นต่อไปนี้

- ก) เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าสมรรถนะการแยกแก๊สสูงกว่าเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซานสอดคล้องกับสมรรถนะการแยกอุดมคติ
- ข) ค่าการซึมผ่านแก๊สและค่าการเลือกสรรแก๊สของเมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จากระบบบ่อแก๊สชีวภาพของฟาร์มสุกรกรณีศึกษาสอดคล้องกับสมรรถนะการแยกอุดมคติจากเมมเบรนแห้ง/แก๊สแห้ง
- ค) เมื่อใช้เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน ณ ตำแหน่งที่ 1 ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 23.4 ± 0.7 เป็น 10.5 ± 1.3 และ ณ ตำแหน่งที่ 2 จากร้อยละ 18.8 ± 1.2 เป็น 7.2 ± 2.9
- ง) เมื่อใช้เมมเบรนเชื่อมขวางไคโตซาน-ซีโอไลต์ที่มีปริมาณของซีโอไลต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ณ ตำแหน่งที่ 1 ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 23.4 ± 0.7 เป็น 5.1 ± 0.3 และ ณ ตำแหน่งที่ 2 จากร้อยละ 18.8 ± 1.2 เป็น 3.4 ± 0.5

ตารางที่ 4.2 สมรรถนะการแยกแก๊สของเมมเบรนจากระบบบ่อแก๊สชีวภาพของฟาร์มสุกรกรณีศึกษา

Parameter	Position 1		Position 2	
	0% zeolite	40% zeolite	0% zeolite	40% zeolite
CO ₂ permeability, barrer	249.5±13.5	170.0±13.7	212.5±16.0	151.6±13.4
CH ₄ permeability, barrer	8.7±2.7	5.5±1.3	9.1±0.8	4.7±0.4
CO ₂ /CH ₄ selectivity	28.7±1.4	30.6±1.4	23.4±6.1	32.0±6.1