รายการอ้างอิง

1. Friedl, A., Qureshi, N. and Maddox, I.S. Continuous acetone-butanol-ethanol (ABE) fermentation using immobilized cells of clostridium acetobutyticum in a packed reactor and integration with product removal by pervaporation. Biotechnology and Bioengineering 38 (August 1991): 518-527.

2. Dutta, B.K. and Sikdar, S.K. Separation of azeotropic organic liquid mixture by pervaporation. J.AIChE. 37(1991): 581-588.

3. ปรีชา พหลเทพ. โพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราม-คำแหง, 2535.

4. Narongechai prapakornwiriya. Solvent Separation and Concentration from Acetone-Butanol Fermentation Broth by the Pervaporation Process. Master's Thesis Chulalongkorn University, 1996.

5. Rautenbach, R. and Albrecht, R. Membrane Process. New York: John Wiley & Son Ltd. 1989.

6. Blume, I., Wijmans, J.G. and Baker, R.W. The separation of dissolved organics from water by pervaporation. Journal of Membrane Science. 49(1990): 253-286.

7. Winston Ho, W.S. and Sirkar K.K.. ed. Membrane Handbook. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992.

8. _____ Membrane motivation with pervaporation. Industrial Pervaporation Filtration & Separation (November 1993): 620-622.

9. Chen,M.S.K., Markiewicz, G.S. and Venugopal, K.G. Development of membrane pervaporation TRIM™ process for methanol recovery from CH_3OH/MTBE/C_4 mixture. Membrane Separation in Chemical Engineering AIChE Smposium Series 85(1989): 82-88.

10. Karlsson, H.O.E. and Tragardh, G. Pervaporation ofdilute organic-water mixtures. A literature review on modelling studies and applications to aroma compound recovery. Journal of Membrane Science . 76(1993): 121-146.

11. Sohissel, P. and Orth, R.A. Separation of ethanol-water mixtures by pervaporation through thin composite membranes. Journal of Membrane Science . 17(1984): 109-120.

12. Matsumura, M. and Kataoka, H. Separation of dilute aqueous butanol and acetone solutions by pervaporation through liquid membranes. Biotechnology and Bioengineering 30(November 1987): 887-895.

13. Matsumura, M., Kataoka, H., Sueki, M. and Araki, K. Energy saving effect of pervaporation using oleyl alcohol liquid membrane in butanol purification. Bioprocess Engineering 3(1988): 93-100.

14. Matsumura, M., Takehara, S. and Kataoka, H. Continuous butanol/isopropanol Fermentation in down-flow column reactor coupled with pervaporation using supported liquid membrane. Biotechnology and Bioengineering 39(January 1992): 148-156.

15 Yong Soo Kang, Sang Wook Lee, Un Young Kim and Jyong Sup Shim. Pervaporation of water-ethanol mixtures through crosslinked and surface modified poly(vinyl alconol) membrane. Journal of Membrane Science 51(1990): 215-226.

16. Yoshikawa, M., Yukoshi, T., Sanui, K. and Ogata, N. Selective separation of water-ethanol mixture through synthetic polymer membranes having carboxylic acid as a functional group. Journal of Polymer Science 24(1986): 1585-1597.

17. Cabasso, I. Organic liquid mixtures separation by permsalective polymer membranes. I. Selection and characteristics of dense isotropic membranes employed in the pervaporsation process. Ind.Eng.Chem.Prod.Res.Dev. 22(1983): 313-319.

18. Peter, S., Hese, N. and Stefan, R. Desalination. 19(1976):161.

19. Katz, G.M. and Wydeven, JR.T. Poly(vinyl alcohol) membranes for reverse osmosis. Synthetic Membranes:Desalination 1(1981): 383-398.

20. Mochizuki, A., Sato, Y., Ogawara, H. and Yamashita, S. Pervaporation separation of water/ethanol mixture through polysaccharide membrane. I The effect of salts on the permselectivity of cellulose membrane in pervaporation. Journal of Apply Polymer Science 37(1989): 3357-3374.

21. Blume, I., Wijans, J.G. and Baker, R.W. The separation of dissolved organics from water by pervaporation. Journal of MembraneScience 49(1990): 253-286.

22. Groot, W.J., Baart de la Faille, Donck, P.B., R.G.J.M. van der Lans and K.Ch.A.M. Luyben. Mass transfer in silicone rubber membranes for the recovery of fermentation products by pervaporation and perstraction. Bioseparation 2(1991) :261-277.

23. Boddeker, K.W. Terminology in pervaporation. Journal of MembraneScience 51(1990): 259-272.

24. ชมพูนุท พิภพลาภอนันต์. เพอร์เวเพอเรชันของของผสมน้ำ-บิวทานอล วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

25. Nguyen, T.Q. The influence of operating parameters on the performance of pervaporation processes. Industrial membrane process AIChE symposium series. 82(1986): 1-11.

26. Koros, W.J. Membranes: Learning a lesson from nature. Chemical Engineering Progess (October 1995): 68-81.

27. Kesting, R.E. Synthetic Polymer Membrane. McGraw-Hill Book Company, 1971.

28. Fessenden R.J. & Fessenden J.S. Organic Chemistry . 2nd edition. Boston, Messachusetts: Willard Grant Press,1979.

29. Kwang-Je Kim, Soo-Bok Lee and Neung- Won Han. Effect of the degree of crosslinking on properties of poly(vinyl alcohol) membranes. Polymer Journal 25 (1993): 1295-1302.

ภาคผนวก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

<u>การคำนวณ</u>

1. ดีกรีของการเชื่อมโยงโครงร่างตาข่าย

$$D_c = \frac{H_o - H}{H_o} \times 100 \qquad \text{เปอร์เซ็นต์}$$

$$H = H_o - 2(A_o - A)\frac{V_c}{V_p}$$

H_o = 3.4091 กรัมต่อมิลลิลิตร , V_c = 500 มิลลิลิตร , V_p = 56.06 มิลลิลิตร

H : ความเข้มข้นของหมู่ไฮดรอกซิลของฟิล์มโพลิไวนิลแอลกอฮอล์

A : ความเข้มข้นของกรดไดคาร์บอกซิลิกหลังจากทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย

2. การดูดซึมสารละลายบิวทานอล-น้ำโดยเยื่อแผ่น

2.1 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมสารละลายโดยเยื่อแผ่น

$$D_c = \frac{(W_m - D_m)}{D_m} \times 100 \qquad \text{เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก}$$

W_m : น้ำหนักของเยื่อแผ่นหลังจากแช่สารละลาย

D_m : น้ำหนักของเยื่อแผ่นก่อนแช่สารละลาย

2.2 ความเข้มข้นของบิวทานอลในเยื่อแผ่น

$$x_{Bm} = \frac{F_1 x_{B1} - \left(F_1 - \left(W_m - D_m\right)\right) \times x_{B2}}{D_m}$$ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

F_1 : น้ำหนักของสารละลาย

x_{B1} : ความเข้มข้นของสารละลายก่อนแช่เยื่อแผ่น

x_{B2} : ความเข้มข้นของสารละลายหลังแช่เยื่อแผ่น

2.3 ความเข้มข้นของน้ำในเยื่อแผ่น

$$x_{wm} = D_s - x_{Bm}$$ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.4 สัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำในเยื่อแผ่น

$$S_w = \frac{x_{wm}}{\left(1 - x_B\right)}$$

x_B : ความเข้มข้นของบิวทานอลในสารป้อน

2.5 สัมประสิทธิ์การกระจายของบิวทานอลในเยื่อแผ่น

$$S_B = \frac{x_{Bm}}{x_B}$$

3. เพอร์เวเพอเรชัน

3.1 เพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารละลาย

$$J = \frac{W}{A \times t}$$ กรัม/ตารางเมตร-ชั่วโมง

W : น้ำหนักเพอร์มิเอต

A : พื้นที่ของผิวเยื่อ

t : เวลา

3.2 ฟลักซ์ของบิวทานอล

$$J_B = y_B J$$ กรัม/ตารางเมตร-ชั่วโมง

y_B : ความเข้มข้นของบิวทานอลในเพอร์มิเอต

3.3 ฟลักซ์ของน้ำ

$$J_W = J - J_B$$ กรัม/ตารางเมตร-ชั่วโมง

3.4 ค่าการซึมผ่านเยื่อแผ่นของน้ำ

$$P_w = \frac{J_w \times l}{\left(1 - x_B\right)}$$

3.5 ค่าการซึมผ่านเยื่อแผ่นของบิวทานอล

$$P_B = \frac{J_B \times l}{x_B}$$

3.6 สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ

$$D_w = \frac{P_w}{S_w}$$

3.7 สัมประสิทธิ์การแพร่ของบิวทานอล

$$D_B = \frac{P_B}{S_B}$$

3.8 ค่าการเลือกน้ำ

$$\alpha = \frac{y_w/y_B}{x_w/x_B} = \frac{\left(1-y_B\right)/y_B}{\left(1-x_B\right)/x_B}$$

3.9 ค่าการเลือกบิวทานอล

$$\alpha = \frac{y_B/y_w}{x_B/x_w} = \frac{y_B/\left(1-y_B\right)}{x_B/\left(1-x_B\right)}$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลบางประการของกรดไดคาร์บอกซิลิกที่ใช้เป็นสารเชื่อมโยงในการทดลอง

สารเคมี	จำนวนคาร์บอนอะตอม	สูตรโมเลกุล	K_{a1} ($*10^5$)	K_{a2} ($*10^5$)	pH ที่จุดสะเทินที่ 1	pH ที่จุดสะเทินที่ 2
กรดออกซาลิก	2	HOOCCOOH	5900	6.40	2.71	-
กรดซัคซินิก	4	$(CO_2H)_2(CH_2)_2$	6.89	0.47	4.88	8.80
กรดกลูตาริก	5	$(CO_2H)_2(CH_2)_3$	4.58	0.389	4.88	8.17

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง

1. ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่ายของเยื่อแผ่นกับสารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ (เปอร์เซ็นต์)

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
20	38.32	38.10	37.81
40	44.50	44.01	43.80
50	47.09	46.44	46.32
60	49.99	49.32	49.19

2 ความหนาของเยื่อแผ่น (ไมโครเมตร)

เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (นาที)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
20	236.95	237.80	236.00
40	237.20	239.25	239.55
50	236.70	235.05	233.95
60	234.45	235.60	235.20

3. ดีกรีของการพองตัวของเยื่อแผ่น (เปอร์เซ็นต์) เกิดโครงร่างตาข่ายกับสารเชื่อมโยงต่าง ๆ ที่มีดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่ายต่าง ๆ กัน

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			236.7412
38.10		218.5477	
38.32	212.4791		
43.80			186.0036
44.01		132.8960	
44.50	179.5103		
46.32			168.9659
46.44		164.9702	
47.09	160.3237		
49.19			166.0881
49.32		161.5180	
49.99	158.4505		

4. ดีกรีของการดูดซึมน้ำและบิวทานอลของเยื่อแผ่นที่เกิดโครงร่างตาข่ายกับสารเชื่อมโยงต่าง ๆ ที่ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่ายต่าง ๆ

4.1 ดีกรีของการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)

กรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			228.1155
38.10		208.8356	
38.32	202.6969		
43.80			177.1228
44.01		173.8961	
44.50	170.3519		
46.32			160.4758
46.44		156.6088	
47.09	151.8611		
49.19			157.6605
49.32		153.1178	
49.99	149.9810		

4.2 ดีกรีของการดูดซึมบิวทานอล (เปอร์เซ็นต์)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			8.6357
38.10		9.7121	
38.32	9.7822		
43.80			8.8808
44.01		8.9999	
44.50	9.1584		
46.32			8.4901
46.44		8.3613	
47.09	8.4626		
49.19			8.4276
49.32		8.4032	
49.99	8.4995		

5. สัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำและบิวทานอลในเยื่อแผ่น

5.1 สัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำ

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			8.2951
38.10		7.5940	
38.32	7.3708		
43.80			6.4408
44.01		6.3235	
44.50	6.1946		
46.32			5.8355
46.44		5.6949	
47.09	5.5222		
49.19			5.7331
49.32		5.5678	
49.99	5.4528		

5.2 สัมประสิทธิ์การกระจายของบิวทานอล

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			0.1190
38.10		0.1340	
38.32	0.1349		
43.80			0.1225
44.01		0.1241	
44.50	0.1263		
46.32			0.1171
46.44		0.1153	
47.09	0.1167		
49.19			0.1162
49.32		0.1159	
49.99	0.1172		

6. ความเข้มข้นของบิวทานอลในเพอร์มิเอต (เปอร์เซ็นต์)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			0.7892
38.10		1.0498	
38.32	1.6000		
43.80			0.9335
44.01		1.5510	
44.50	2.1144		
46.32			1.0931
46.44		1.6830	
47.09	2.1674		
49.19			1.1663
49.32		1.8020	
49.99	2.1704		

7. ฟลักซ์ของเพอร์มิเอต (กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			218.0645
38.10		194.1935	
38.32	169.0322		
43.80			180.6452
44.01		158.7097	
44.50	149.1322		
46.32			165.7428
46.44		149.6774	
47.09	140.0000		
49.19			154.8387
49.32		143.2258	
49.99	134.1935		

8. ค่าการซึมผ่านเยื่อแผ่นของน้ำและบิวทานอล

8.1 ค่าการซึมผ่านของน้ำ ($*10^{6}$ ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			1.8566
38.10		1.6616	
38.32	1.4331		
43.80			1.5589
44.01		1.3594	
44.50	1.2583		
46.32			1.3946
46.44		1.2578	
47.09	1.1789		
49.19			1.3088
49.32		1.2050	
49.99	1.1192		

8.2 ค่าการซึมผ่านของบิวทานอล (*10^{9} ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			5.6020
38.10		6.6868	
38.32	8.8391		
43.80			5.5718
44.01		8.1232	
44.50	10.3097		
46.32			5.8463
46.44		8.1670	
47.09	9.9067		
49.19			5.8585
49.32		8.3871	
49.99	9.4085		

9. สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและบิวทานอล

9.1 สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ (*10^{6} ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			0.2238
38.10		0.2188	
38.32	0.1944		
43.80			0.2420
44.01		0.2150	
44.50	0.2031		
46.32			0.2390
46.44		0.2209	
47.09	0.2135		
49.19			0.2283
49.32		0.2164	
49.99	0.2052		

9.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ของบิวทานอล (*10^{6} ตารางเมตรต่อชั่วโมง)

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			0.0471
38.10		0.0499	
38.32	0.0655		
43.80			0.0455
44.01		0.0654	
44.50	0.0816		
46.32			0.0499
46.44		0.0708	
47.09	0.0849		
49.19			0.0504
49.32		0.0724	
49.99	0.0804		

10. ค่าการเลือก

10.1 ค่าการเลือกน้ำ

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			331.4188
38.10		248.4937	
38.32	162.1364		
43.80			279.7807
44.01		167.3419	
44.50	122.0498		
46.32			238.5459
46.44		154.0103	
47.09	199.0008		
49.19			223.4087
49.32		143.4457	
49.99	118.8326		

10.2 ค่าการเลือกบิวทานอล

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			0.0030
38.10		0.0040	
38.32	0.0062		
43.80			0.0036
44.01		0.0060	
44.50	0.0082		
46.32			0.0042
46.44		0.0065	
47.09	0.0084		
49.19			0.0045
49.32		0.0070	
49.99	0.0084		

11. ความเข้มข้นของบิวทานอลในสายรีเทนเทต (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อป้อนสารป้อนผ่านเยื่อแผ่น 1 รอบ

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			72.7863
38.10		72.7539	
38.32	72.7192		
43.80			72.7365
44.01		72.7059	
44.50	72.9618		
46.32			72.7563
46.44		72.6938	
47.09	72.6800		
49.19			72.7020
49.32		72.6851	
49.99	72.6725		

12. เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของบิวทานอลในสายรีเทนเทตเมื่อเปรียบเทียบกับในสายป้อน

ดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่าย (เปอร์เซ็นต์)	สารเชื่อมโยง		
	กรดออกซาลิก	กรดซัคซินิก	กรดกลูตาริก
37.81			0.3949
38.10		0.3502	
38.32	0.3023		
43.80			0.3262
44.01		0.2840	
44.50	0.2646		
46.32			0.3535
46.44		0.2673	
47.09	0.2483		
49.19			0.2786
49.32		0.2554	
49.99	0.2380		

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกมลวรรณ อภิวาณิชย์ เกิดวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2514 ที่อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2534