

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ชมพูนุช พิภพลาภอนันต์. 2537. เพอร์เวพอเรชันของของผสมน้ำ – บิวทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณรงค์ชัย ประภากรวิริยะ. 2539. การแยกและการทำให้ตัวทำละลายเข้มข้นจากน้ำหมักอะซิโตน -  
บิวทานอลด้วยกระบวนการเพอร์เวพอเรชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา  
วิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลลิตา อัดน โถ. 2543. การประยุกต์ใช้กระบวนการเพอร์เวพอเรชันเพื่อการแยกน้ำออกจากสกัด  
หยาบจากใบชี่เหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิต  
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒิชัย เย็นธงชัย. 2535. การวิเคราะห์สารประกอบคลอริเนเตทไฮโดรคาร์บอนบางชนิดในน้ำโดย  
เทคนิคเฮดสเปส. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- สุจินดา โรจนศักดิ์โสธร. 2531. การพัฒนาเฮดสเปสเทคนิคเพื่อใช้วิเคราะห์สารอินทรีย์กึ่งระเหยบาง  
ตัวในน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.
- สุณี พรรคประพันธ์. 2540. คู่มือการอบรมหลักสูตรเข้มข้นการวิเคราะห์โดยใช้ GC, 2-4 เมษายน 2540  
/ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ ฯ

### ภาษาอังกฤษ

- Baker, R.W., Wijmans, J.G., Athayde, A.L., Daniels, R., Ly, J.H., and Le, H. 1997. The  
effect of concentration polarization on the separation of volatile organic compounds  
from water by pervaporation. Journal of Membrane Science 137 : 159-172.
- Baker, R.W. 2000. Membrane Technology and Applications. New York: McGraw-Hill.

- Basu, B. 1994. Removal of volatile organic compounds by air stripping. Master's thesis, Asian Institute of Technology.
- Blume, I., Wijmans, J.G., and Baker, R.W. 1990. The separation of dissolved organics from water by pervaporation. Journal of Membrane Science 49 : 253-286.
- Card, T.R. 1998. Fundamentals : Chemistry and characteristics of odor and VOCs. In H. J. Rafson (ed.), Odor and VOCs Control Handbook. New York: McGraw-Hill.
- Castillo, L.P. 1993. Separation of trichloroethylene from water by sweeping - air pervaporation. Master's thesis, Asian Institute of Technology.
- Cox, G., and Baker, R.W. 1998. Pervaporation for the treatment of small volume VOC-contaminated waste water streams. Industrial Wastewater 6 : 35.
- Das, A., Abou-Nemeh, I., Chandra, S., and Sirkar, K.K. 1998. Membrane-moderated stripping process for removing VOCs from water in a composite hollow fiber module. Journal of Membrane Science 148 : 257-271.
- Dutta, B.K., and Sikdar, S.K. 1999. Separation of volatile organic compounds from aqueous solutions by pervaporation using S-B-S block copolymer membranes. Environmental Science and Technology 33 : 1709-1716.
- Fleming, H.L. 1992. Consider membrane pervaporation. Chemical Engineering Progress 88 : 46-52.
- Freger, V., Korin, E., Wisniak, J., and Korngold, E. 2000. Measurement of sorption in hydrophilic pervaporation: sorption modes and consistency of the data. Journal of Membrane Science 164 : 251-256.
- Gorgényi, M., Dewulf, J., and Langenhove, H.V. 2002. Temperature dependence of Henry's law constant in an extended temperature range. Chemosphere 48 : 757-762.
- Hong, S.-U. 1995. Prediction of polymer/solvent diffusion behavior using free-volume theory. Industrial & Engineering Chemistry Research 34 : 2536-2544.
- Hoshi, M., Saitoh, T., Yoshioka, C., Higuchi, A., and Nakagawa, T. 1999. Pervaporation separation of 1,1,2-trichloroethane-water mixture through crosslinked acrylate copolymer composite membranes. Journal of Applied Polymer Science 74 : 983-994.

- Huang, R.Y.M., and Rhim, J.M. 1991. Separation characteristics of pervaporation membrane separation processes. In R.Y.M. Huang (ed.), Pervaporation membrane separation processes. 111-180. Amsterdam : Elsevier.
- Jonquière, A., Clément, R., Lochon, P., Néel, J., Dresch, M., and Chrétien, B. 2002. Industrial state-of-the-art of pervaporation and vapor permeation in the western countries. Journal of Membrane Science 206 : 87-117.
- Kim, J., Joung, K.C., Yoo, K.P., and Bae, S.Y. 1998. Measurement and correlation of vapor sorption equilibria of polymer solutions. Fluid Phase Equilibria 150-151 : 679-686.
- Lipnizki, F., Hausmanns, S., Ten, P.K., Field, R.W., and Laufenberg, G. 1999. Organophilic pervaporation: prospects and performance. Chemical Engineering Journal 73 : 113-129.
- Lipnizki, F., and Field, R.W. 2001. Integration of vacuum and sweep gas pervaporation to recover organic compounds from wastewater. Separation and Purification Technology 22-23 : 347-360.
- Lipnizki, F., and Trägårdh, G. 2001. Modeling of pervaporation : models to analyze and predict the mass transport in pervaporation. Separation and Purification Technology 30 : 49-125.
- Louvar, J.F., and Louvar, B.D. 1998. Health and environmental : fundamentals with applications. New York : Prentice-Hall.
- Mishima, S., and Nakagawa, T. 2000. Sorption and diffusion of volatile organic compounds in fluoroalkyl methacrylate-grafted PDMS membrane. Journal of Applied Polymer Science 75 : 773-783.
- Nijhuis, H.H., Mulder, M.H.V., and Smolders, C.A. 1988. Selection of electrometric membranes for the removal of volatile organic components from water. In R. Bakish (ed.) Proceedings of Third International Conference on Pervaporation Processes in the Chemical Industry, : 239-251. Nancy, France.
- Nijhuis, H.H., Mulder, M.H.V., and Smolders, C.A. 1991. Removal of trace organics from aqueous solutions. Effect of membrane thickness. Journal of Membrane Science 61 : 99-111.

- Oh, H.-K., Song, K.-H., Lee, K.-R. and Rim., K.-R. 2001. Prediction of sorption and flux of solvent through PDMS. Polymer 42 : 6305-6312.
- Oishi, T., and Prausnitz, J.M. 1978. Estimation of solvent activities in polymer solutions using a group-contribution method. Industrial & Engineering Chemistry, Process Design and Development 3 : 333-339.
- Oliveira, T.A.C., Cocchini, U., Scarpello, J.T., and Livingston, A.G. 2001. Pervaporation mass transfer with liquid flow in the transition regime. Journal of Membrane Science 183 : 119-133.
- Periera, C.C., Habert, A.C., Nobrega, R., and Borges, C.P. 1998. New insights in the removal diluted volatile organic compounds from dilute aqueous solution by pervaporation process. Journal of Membrane Science 138 : 227-235.
- Perry, R.H., and Green, D.W., ed. 1997. Perry's chemical engineers' handbook. – 7th ed. New York : McGraw-Hill.
- Psaume, R., Aptel, Ph., Aurelle, Y., Mora, J.C., and Bersillon, J.L. 1988. Pervaporation : Importance of concentration polarization in the extraction of trace organics from water. Journal of Membrane Science 36 : 373-384.
- Reid, R.C., Prausnitz, J.M., and Poling, B.E. 1988. The properties of gases and liquids. New York : McGraw-Hill.
- Schnabel, S., Moulin, P., Nguyen, Q.T., Roizard, D., and Aptel, P. 1998. Removal of volatile organics components (VOCs) from water by pervaporation : Separation improvement by Dean vortices. Journal of Membrane Science 142 : 129-141.
- Urkiaga, A., Bolano, N., and De Las Fuentes, L. 2002. Removal of micropollutants in aqueous stream of organophilic pervaporation. Desalination 149 : 55-60.
- Vrentas, J.S., and Vrentas, C.M. 1991. Solvent self-diffusion in crosslinked polymers. Journal of Applied Polymer Science 42 : 1931-1937.
- Wijmans, J.G., and Baker, R.W. 1993. A simple predictive treatment of the permeation process in pervaporation. Journal of Membrane Science 79 : 101-113.
- Wijmans, J.G., and Baker, R.W. 1995. The solution-diffusion model : a review. Journal of Membrane Science 107 : 1-21.



- Wijmans, J.G., Athayde, A.L., Daniels, R., Ly, J.H., Kamaruddin, H.D., and Pinnau, I. 1996. The role of boundary layers in the removal of volatile organic compounds from water by pervaporation. Journal of Membrane Science 109 : 135-146.
- Win, T. 1998. Removal of trichloroethylene by pervaporation. Master's thesis, Asian Institute of Technology.
- World Health Organization. 1985. Trichloroethylene. Environmental Health Criteria 50.
- World Health Organization . 1986. Toluene. Environmental Health Criteria 52.
- Yaws, C.L. 1999. Chemical properties handbook : physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals. New York: McGraw-Hill.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของไตรกลอโรเอทรีนและโทลูอีน

ตาราง ก.1 คุณสมบัติของ TCE และ โทลูอีน

คุณสมบัติ		TCE	Toluene	Ref.				
สัญลักษณ์ทางเคมี		$C_2HCl_3$	$C_7H_8$					
CAS-No		79-01-6	108-88-3					
มวลโมเลกุล		131.4	92.4					
สี		ใส ไม่มีสี	ใส ไม่มีสี					
กลิ่น		ค่อนข้างหอม	คล้ายเบนซีน					
จุดเดือด ( $^{\circ}C$ )		86.7	110.6	[1]				
จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}C$ )		-73.0	-95.0	[1]				
ความหนืด (ที่ $25^{\circ}C$ ; Cp)		0.58	0.60	[3/4]				
ความสามารถการละลายน้ำ (ที่ $25^{\circ}C$ ; มก./ล.)		1100	542	[2]				
ความหนาแน่น (กรัม/มล.) ที่ $25^{\circ}C$		1.458	0.865	[2]				
จาก modified Rackett Equation	ค่าคงที่	A	0.50416	0.29999	[2]			
$density = AB \exp -(1-T/T_c)$						B	0.26952	0.27108
						n	0.28571	0.29889
						$T_c$	571.0	591.8
ความดันไอ (มม.ปรอท) ที่ $25^{\circ}C$		75	30	[3]				
จาก Antoine Equation	ค่าคงที่	A	6.518	6.954	[3]			
$\ln p = A - \frac{B}{T+C}$						B	1018.6	1344.8
						C	192.7	219.48
ค่าคงที่เฮนรี่ (ม.)	อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ )	25	909.35	710.29	[3]			
		40	1517.7	970.0	[4]			
		50	2127.7	1353.2	[4]			
		60	2797.5	1779.7	[4]			
		70	3473.7	2220.8	[4]			
ความสามารถในการแพร่ในน้ำ (ตร.ซม./วินาที)		$9.1 \times 10^{-6}$	$8.6 \times 10^{-6}$	[3]				
ความสามารถในการแพร่ในอากาศ (ตร.ซม./วินาที)		0.079	0.087	[3]				
ค่าลอการิทึมสัมประสิทธิ์ octanal/water ( $\log K_{ow}$ )		2.29	2.69	[3]				

ตาราง ก.2 สภาพความเป็นพิษและข้อมูลด้านความปลอดภัยของ TCE และ โทลูอิน

	TCE	Toluene	Ref.
สภาพความเป็นพิษ			
Carcinogenicity	Carcinogenic	non-carcinogenic	
LD50 (Oral mouse)	2,400 - 4,920 mg/kg	5,000 mg/kg	[5/6]
LC50 (4 hrs.)	8,450 ppm	4,000 ppm	[5/6]
Hazard Identification	SF : $1.7 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$	RFC : $2 \text{ mg}/\text{m}^3$	[7]
ข้อมูลด้านความปลอดภัย			
Threshold limit value (TLV ; ppm)	50	100	[2]
Time weighted average (TWA ; ppm)	100	100	[2]

- [1] Perry , 1997
- [2] Yaws , 1999
- [3] Card , 1998
- [4] Gorgényi และคณะ, 2002
- [5] WHO , 1986
- [6] WHO , 1985
- [7] Louvar และ Louvar, 1998

**ภาคผนวก ข**

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแบบเฮดสเปส

ข. หลักการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแบบเฮดสเปซ (สุณี พรศประพันธ์, 2540)

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแบบเฮดสเปซ (Gas Chromatography Headspace Technique) เป็นวิธีการวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยแยกสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ง่ายออกจากสารประเภทอื่นในสารตัวอย่าง เทคนิคนี้นิยมใช้กันมากเนื่องจากใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยและประหยัดค่าใช้จ่าย วิธีในการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยบรรจุสารตัวอย่างลงในขวดที่ปิดสนิทด้วยเซปตัม (septum) และฝาอลูมิเนียม ดังรูป ข.1 สารตัวอย่างอาจเป็นของแข็งหรือของเหลว หลังจากนั้นทำให้ขวดร้อนขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ โดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ เมื่อสารตัวอย่างกลายเป็นไอจนเกิดภาวะสมดุลขึ้น ระหว่างไอกับของเหลวหรือไอกับของแข็ง หลังจากเกิดสมดุลให้ฉีดตัวอย่างที่เป็นไอเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ด้วย gas-tight syringe

เทคนิคเฮดสเปซนี้เป็นวิธีการศึกษาไอที่อยู่ใต้อุณหภูมิสมดุลกับสารตัวอย่าง การกระจายตัวของสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่สภาวะสมดุลจะถูกควบคุมโดยค่าคงที่ค่าหนึ่ง คือ สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (distribution coefficient ;  $K_D$ )

$$K_D = C_l / C_g \quad 3.1$$

เมื่อ  $C_l$  คือ ความเข้มข้นของสารในของเหลว

$C_g$  คือ ความเข้มข้นของสารในไอ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในสารตัวอย่างเริ่มต้น ;  $C_l^0$  กับในไอที่สภาวะสมดุล ;  $C_g$  เป็นแบบแปรผันตรง ดังสมการ 3.2

$$C_l^0 = C_g \left( K_D + \frac{V_G}{V_L} \right) \quad 3.2$$

โดย  $V_G/V_L$  คือ อัตราส่วนของปริมาตรของไอต่อของเหลว

$C_l^0$  คือ ค่าความเข้มข้นที่เตรียมขึ้น

$C_g$  คือ ค่าที่สามารถหาได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

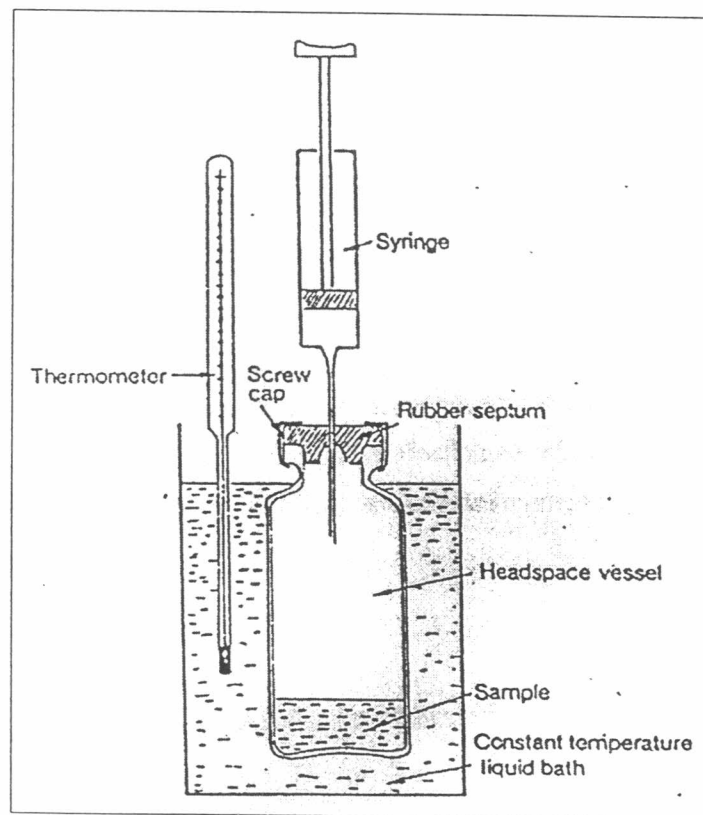
สภาพไวในการวิเคราะห์ (sensitivity ;  $S$ ) ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจาย ค่าการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดในการตรวจวิเคราะห์สาร (detector response factor ;  $f$ ) ปริมาณของสมดุลไอที่เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (injector volume ;  $V_g$ ) และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของไอต่อของเหลว ;  $V_G/V_L$  ดังสมการ

$$S = \frac{f \times V_g}{K_D + [V_g/V_l]} \quad 3.3$$

การเพิ่ม sensitivity ของการวิเคราะห์ทำได้โดย

- 1) เพิ่มอุณหภูมิ
- 2) เพิ่มปริมาณของสมมูลไอที่เข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี
- 3) เพิ่มปริมาณของสารตัวอย่างให้มากขึ้น
- 4) เลือกเครื่องตรวจที่เหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์
- 5) การเติมเกลือ (Salting out effect)

การวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้นิยมใช้กับการวิเคราะห์สารในเลือด ปัสสาวะ อาหาร เช่น การหาปริมาณเอทานอลในเลือด เป็นต้น และวิธีวิเคราะห์นี้เหมาะสมกับตัวอย่างที่มีสารเจือปนมาก นอกจากนี้แล้วทำให้สามารถวิเคราะห์สารที่มีปริมาณในระดับน้อยมาก เช่น ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำในระดับหนึ่งในพันล้านส่วน (พีพีบี) เป็นต้น



รูปที่ ข.1 เครื่องอั่งน้ำควบคุมอุณหภูมิและควบคุมบรรจุตัวอย่างสำหรับเทคนิคเฮดสเปส



ภาคผนวก ค

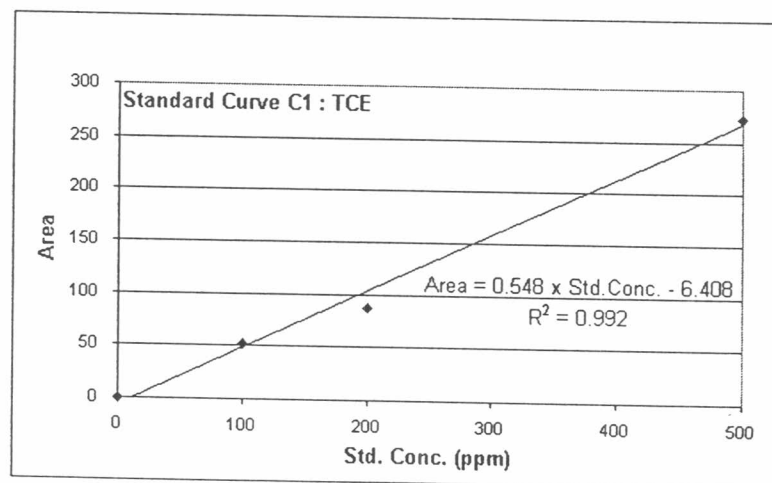
กราฟมาตรฐาน

### ค. กราฟมาตรฐาน

ตาราง ค.1 ค่าพื้นที่ใช้กราฟจากสารละลายมาตรฐานสำหรับการทดลองสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

กราฟมาตรฐาน	พื้นที่ใต้กราฟ				พารามิเตอร์		
	ความเข้มข้นมาตรฐาน (ppm)				a	b	r <sup>2</sup>
	0	100	200	500			
C1	0	52.108	87.451	272.951	0.548	-6.408	0.992
C2	0	52.614	87.100	256.508	0.512	-4.610	0.991
C3	0	34.747	65.119	249.553	0.510	-14.633	0.979
C4	0	44.913	96.193	261.803	0.529	-5.058	0.998
C5	0	34.363	76.255	245.233	0.501	-11.228	0.990
C6	0	50.630	96.626	289.184	0.501	-11.228	0.990
C7	0	47.687	91.077	298.185	0.605	-11.744	0.990
C8	0	47.672	94.146	255.534	0.514	-3.366	0.999
C9	0	45.171	93.950	258.736	0.522	-4.970	0.998
C10	0	51.789	97.651	276.493	0.555	-4.615	0.997

พื้นที่ใต้กราฟ = ค่าคงที่ (a) × ความเข้มข้นมาตรฐาน + ค่าคงที่ (b)



รูป ค.1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐาน C1 ของสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

กราฟ มาตรฐาน	พื้นที่ใต้กราฟ				พารามิเตอร์		
	ความเข้มข้นมาตรฐาน (พีพีเอ็ม)				a	b	r <sup>2</sup>
	0	100	200	500			
C1	0	44.956	86.741	254.442	0.513	-6.090	0.996
C2	0	44.227	84.491	257.677	0.521	-7.516	0.994
C3	0	40.943	75.790	226.047	0.455	-5.333	0.995
C4	0	41.732	77.545	223.479	0.449	-4.126	0.997
C5	0	44.340	87.780	263.589	0.533	-7.705	0.995
C6	0	45.454	84.815	254.924	0.514	-6.461	0.995
C7	0	42.185	86.581	249.953	0.505	-6.416	0.997
C8	0	38.703	80.707	235.479	0.477	-6.668	0.996
C9	0	38.634	74.454	225.748	0.456	-6.521	0.994
C10	0	40.519	76.669	227.408	0.458	-5.523	0.995
C11	0	45.521	81.365	244.400	0.491	-5.419	0.995
C12	0	43.895	88.879	243.523	0.490	-4.022	0.999
C13	0	41.715	80.070	221.684	0.445	-3.181	0.998

ตาราง ก.2 ค่าพื้นที่ใต้กราฟจากสารละลายมาตรฐานสำหรับการทดลองสารละลายโทลูอิน

ภาคผนวก ง  
โครมาโทแกรมจากการทดลอง

ง.1 ข้อมูลและโครมาโทแกรมจากโปรแกรม UNICAM ProGC ของตัวอย่างสารละลายไตร-คลอโรเอทิลีนจากการทดลองเพอร์เวเพอร์ชันที่เวลา 0 นาที สภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 40 °C และอัตราการไหลของสารป้อน 8.4 ล./ชม.

Online Channel 1                      Run Number : 13                      13:41 Thu Sep 25 2003  
Run Type : Unknown

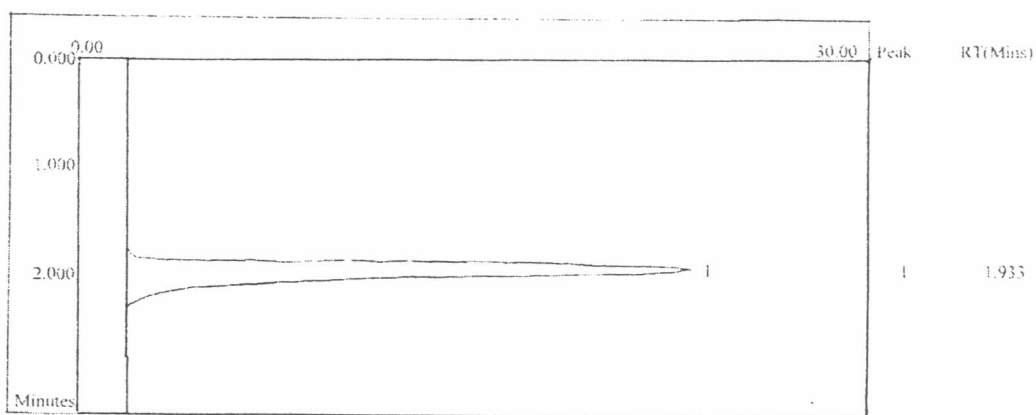
<u>File Description</u>	<u>Date</u>	<u>Name</u>
Sample Strip :	13:14 Thu Sep 25 2003	C:\PROGC\SYSTEM\TCEPV.STR
Method:	12:18 Thu Sep 25 2003	C:\PROGC\Method\FIDTCE
Calib File:	12:50 Thu Sep 25 2003	C:\PROGC\Method\FIDTCE
	13:14 Thu Sep 25 2003	C:\PROGC\RAWDATA\TCE01.171
	13:14 Thu Sep 25 2003	C:\PROGC\RESULTS\RTCE01.171

Model : Manual                      Response Factors : Replace

Sample Name :

Scale : 1.0000000                      Sample Amount : 0.2000000

Comment :



Peak	Name	Type	RT(Mins)	Area	Height	Base	ppm
1	TCE	BB	1.933	231.859	22.63	1.977	

ข.2 ข้อมูลและโครมาโทแกรมจากโปรแกรม UNICAM ProGC ของตัวอย่างสารละลายโทลูอินจากการทดลองเพอร์เวเพอร์ชันที่เวลา 90 นาที สภาวะการทดลอง : อุณหภูมิ 40 °C และอัตราการไหลของสารป้อน 25.1 ล./ชม.

Online Channel 1                      Run Number : 16                      13:39 Tue Jun 3 2003  
Run Type : Unknown

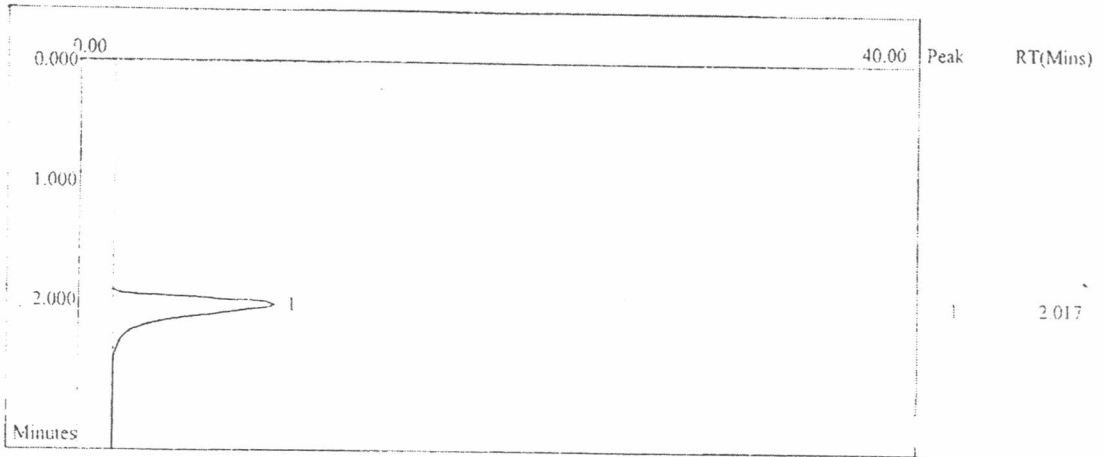
<u>File Description</u>	<u>Date</u>	<u>Name</u>
Sample Strip :	13:24 Tue Jun 3 2003	C:\PROGC\SYSTEM\TOPV.STR
Method:	12:06 Tue Jun 3 2003	C:\PROGC\Method\FIDTO
Calib File:	13:44 Tue Jun 3 2003	C:\PROGC\Method\FIDTJ
	13:24 Tue Jun 3 2003	C:\PROGC\RAWDATA\TO01.139
	13:24 Tue Jun 3 2003	C:\PROGC\RESULTS\RTO01.139

Model : Manual                      Response Factors : Replace

Sample Name :

Scale : 1.0000000                      Sample Amount : 0.2000000

Comment :



Peak	Name	Type	RT(Mins)	Area	Height	Base	ppm
1	TO	BB	2.017	87.041	8.164	1.714	

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองการดูดซับสารละลายไตรคลอโรเอทิลีนและโทลูอิน

จ.1 ตารางผลการทดลองการดูดซึมสารละลายไตรโคลอโรเอทธิลีนในยางซิลิโคน

อุณหภูมิของสารละลาย 40 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9801	0.981	0	0
50	0.9735	0.9822	32.525	49.168
250	0.9729	0.9983	185.868	229.313
500	0.9692	1.0015	350.693	417.142

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.122	0	119.26
0.894	10.003	
2.611	25.736	
3.333	39.352	

กราฟมาตรฐานสารละลายไตรโคลอโรเอทธิลีน : C9

อุณหภูมิของสารละลาย 50 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9843	0.986	0	0
50	0.9787	0.9911	23.597	46.205
250	0.9988	1.0318	166.011	221.011
500	0.9964	1.0369	318.928	392.510

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.213	0	146.10
1.267	13.470	
3.304	31.532	
4.065	42.054	

กราฟมาตรฐานสารละลายไตรโคลอโรเอทธิลีน : C9



จ.1 (ต่อ) ตารางผลการทดลองการดูดซึมสารละลายไตรกลอโรเอทธิลีนในยางซิลิโคน

อุณหภูมิของสารละลาย 60 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9835	0.9872	0	0
50	0.9638	0.9798	20.718	48.587
250	0.9755	1.0162	153.644	224.455
500	0.9795	1.0355	268.630	366.090

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.376	0	225.43
1.660	16.798	
4.172	41.261	
5.717	55.819	

กราฟมาตรฐานสารละลายไตรกลอโรเอทธิลีน : C10

อุณหภูมิของสารละลาย 70 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9729	0.9777	0	0
50	0.9789	0.9970	15.925	46.046
250	0.9892	1.0399	139.371	223.805
500	0.9973	1.0571	231.311	341.042

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.493	0	290.18
1.849	17.838	
5.125	48.070	
5.996	61.603	

กราฟมาตรฐานสารละลายไตรกลอโรเอทธิลีน : C10

จ.2 ตารางผลการทดลองการดูดซึมสารละลายโทลูอีนในยางซิลิโคน

อุณหภูมิของสารละลาย 40 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9801	0.9813	0	0
50	0.9782	0.99	34.935	52.436
250	0.9734	1.0054	185.708	230.422
500	0.9641	0.9994	442.424	496.166

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.122	0	82.03
1.206	10.380	
3.287	25.947	
3.661	31.325	

กราฟมาตรฐานสารละลายโทลูอีน : C12

อุณหภูมิของสารละลาย 50 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9843	0.9864	0	0
50	1.0067	1.0258	23.575	46.311
250	0.9991	1.0504	179.504	248.452
500	0.9802	1.0407	369.454	449.542

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.213	0	139.38
1.897	12.989	
5.135	38.074	
6.172	44.507	

กราฟมาตรฐานสารละลายโทลูอีน : C12

จ.2 (ต่อ) ตารางผลการทดลองการดูดซึมสารละลายโทลูอินในยางซิลิโคน

อุณหภูมิของสารละลาย 60 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9835	0.9872	0	0
50	0.9712	0.9991	16.582	41.511
250	0.9720	1.0449	145.512	216.584
500	0.9732	1.0521	356.401	445.480

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.376	0	157.15
2.873	14.587	
7.500	39.258	
8.107	48.731	

กราฟมาตรฐานสารละลายโทลูอิน : C13

อุณหภูมิของสารละลาย 70 องศาเซลเซียส

Set Concentration (ppm)	Silicone weight (g)		Concentration (ppm)	
	Dry	Wet	Equilibrium	Blank
0	0.9729	0.9777	0	0
50	0.9709	1.0112	20.205	62.110
250	0.9706	1.0450	126.790	205.239
500	0.9737	1.0471	287.244	388.770

% Sorption	Conc. in Silicone (mg/cm <sup>3</sup> )	Solubility
0.493	0	220.10
4.151	24.117	
7.665	43.247	
7.538	55.732	

กราฟมาตรฐานสารละลายโทลูอิน : C13

## ภาคผนวก ฉ

ผลการทดลองเพอร์เวแพอเรชันสารละลายไตรกลีเซอไรด์ วิตามินอี และโทลูอีน

ฉ.1 ผลการทดลองเพอร์เวเอเรชั่นสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	1	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{im}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	3.3	0	461.783	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	40	30	417.004	90.30	439.01	4.74	1.55	1.30	1204.43	5712
Calibration curve	C1	60	384.706	83.31	400.64	3.42	1.22	1.02	951.97	3256
% Removal	66.01	90	332.137	71.92	357.78	5.57	2.27	1.91	1735.10	9660
Total flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	13.03	120	295.084	63.90	313.25	3.92	1.81	1.52	1396.89	5481
TCE flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	4.04	180	218.826	47.39	255.06	4.04	2.32	1.94	1765.45	7129
Water flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	8.98	240	156.945	33.99	186.17	3.28	2.59	2.18	1962.75	6431

Run	2	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{im}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	8.4	0	461.301	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	40	30	410.494	88.99	435.40	5.38	1.77	1.49	1063.09	5720
Calibration curve	C2	60	358.260	77.66	383.78	5.53	2.08	1.74	1240.02	6860
% Removal	84.55	90	318.409	69.02	337.94	4.22	1.79	1.50	1074.40	4534
Total flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	16.82	120	264.256	57.29	290.49	5.73	2.88	2.42	1698.51	9741
TCE flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	5.17	180	143.693	31.15	197.89	6.38	4.87	4.08	2775.71	17720
Water flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	11.64	240	71.270	15.45	103.28	3.83	5.69	4.78	3194.86	12252

ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมเออร์ชั้นสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	3
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C2
% Removal	85.21
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	19.77
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.08
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	14.89

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i$ ( $\times 10^9$ m <sup>2</sup> /sec)	$D_i$ ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	449.791	100.00	-	-	-	-	-	-
30	404.313	89.89	426.65	4.82	1.60	1.35	769.72	3707
60	345.366	76.78	374.07	6.24	2.40	2.01	1137.96	7104
90	284.463	63.24	313.93	6.45	2.98	2.49	1401.01	9036
120	244.348	54.32	263.90	4.25	2.31	1.94	1097.79	4664
180	121.629	27.04	175.91	6.50	5.54	4.64	2519.19	16370
240	66.507	14.79	91.31	2.92	4.75	3.98	2180.08	6363

Run	4
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C3
% Removal	77.45
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	16.25
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.17
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	10.98

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i$ ( $\times 10^9$ m <sup>2</sup> /sec)	$D_i$ ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	513.071	100.00	-	-	-	-	-	-
30	432.603	84.32	471.69	8.52	2.63	2.21	1648.25	14046
60	353.647	68.93	391.80	8.36	3.13	2.63	1947.17	16282
90	263.938	51.44	306.61	9.50	4.67	3.91	2827.23	26860
120	192.819	37.58	226.52	7.53	5.05	4.24	3033.97	22851
180	130.849	25.50	159.84	3.28	3.02	2.53	1873.39	6147
240	115.713	22.55	123.13	0.80	0.92	0.77	594.01	476

ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	5
Feed flow rate (l/hr)	25.1
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C4
% Removal	82.99
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	18.40
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.81
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	12.59

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	527.627	100.00	-	-	-	-	-	-
30	406.458	77.04	464.41	12.83	4.08	3.42	2197.69	28201
60	294.904	55.89	347.70	11.81	5.10	4.27	2702.64	31929
90	196.161	37.18	242.19	10.46	6.63	5.56	3434.79	35919
120	137.757	26.11	165.24	6.19	5.69	4.77	2977.76	18418
180	94.070	17.83	114.53	2.31	2.95	2.47	1606.92	3717
240	89.743	17.01	91.89	0.23	0.35	0.29	198.37	45

Run	6
Feed flow rate (l/hr)	3.3
Feed temperature (°C)	50
Calibration curve	C1
% Removal	69.86
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	15.05
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.19
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	9.86

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	559.971	100.00	-	-	-	-	-	-
30	504.166	90.03	531.58	5.91	1.58	1.13	1128.73	6671
60	439.727	78.53	471.21	6.82	2.07	1.49	1470.41	10035
90	383.335	68.46	410.89	5.97	2.08	1.49	1475.76	8813
120	333.476	59.55	357.83	5.28	2.11	1.52	1498.31	7911
180	235.786	42.11	281.81	5.17	2.65	1.90	1863.90	9642
240	168.755	30.14	200.41	3.55	2.56	1.83	1798.54	6384

ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมเออร์เมมเบรนสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	7
Feed flow rate (l/hr)	8.4
Feed temperature (°C)	50
Calibration curve	C5
% Removal	80.97
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	16.41
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.96
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	10.45

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	554.815	100.00	-	-	-	-	-	-
30	457.597	82.48	504.65	10.30	2.95	2.11	1955.55	20134
60	351.395	63.34	402.16	11.25	4.10	2.94	2680.85	30152
90	250.047	45.07	297.85	10.73	5.36	3.85	3454.51	37078
120	183.627	33.10	215.13	7.03	4.85	3.48	3134.69	22050
180	143.925	25.94	162.97	2.10	1.84	1.32	1236.76	2600
240	105.591	19.03	123.77	2.03	2.36	1.69	1572.40	3192

Run	8
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	50
Calibration curve	C5
% Removal	91.87
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	21.85
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.65
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	15.20

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	545.939	100.00	-	-	-	-	-	-
30	443.206	81.18	492.79	10.88	1454.99	15830	1454.99	15830
60	352.311	64.53	396.02	9.63	1601.98	15421	1601.98	15421
90	305.771	56.01	328.49	4.93	988.93	4874	988.93	4874
120	232.443	42.58	267.43	7.77	1913.94	14863	1913.94	14863
180	126.000	23.08	173.82	5.64	2137.40	12047	2137.40	12047
240	44.365	8.13	78.21	4.32	3643.63	15750	3643.63	15750



ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมเออร์เมมเบรนสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	9	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	19.5	0	533.385	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature (°C)	50	30	384.714	72.13	455.01	15.74	5.08	3.65	2902.91	45706
Calibration curve	C5	60	265.936	49.86	321.68	12.58	5.80	4.16	3280.82	41270
% Removal	88.91	90	185.899	34.85	223.53	8.48	5.63	4.04	3181.59	26968
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	18.23	120	119.282	22.36	150.14	7.06	7.10	5.09	3942.96	27818
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.29	180	91.007	17.06	104.51	1.50	2.04	1.47	1202.15	1800
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	11.94	240	59.162	11.09	73.95	1.69	3.30	2.37	1913.57	3227

Run	10	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	25.1	0	512.345	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature (°C)	50	30	384.637	75.07	445.44	13.52	4.35	3.12	1501.21	20304
Calibration curve	C5	60	237.368	46.33	305.10	15.60	7.48	5.37	2527.70	39423
% Removal	87.81	90	128.735	25.13	177.55	11.50	9.63	6.91	3204.40	36866
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	26.22	120	95.653	18.67	111.38	3.50	4.52	3.24	1555.67	5450
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.97	180	74.723	14.58	84.76	1.11	1.87	1.34	646.67	717
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	20.26	240	62.454	12.19	68.41	0.65	1.35	0.97	469.70	305

ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวเมชันสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	11	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	3.3	0	458.640	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	60	30	412.490	89.94	435.16	4.89	1.57	0.70	492.50	2407
Calibration curve	C6	60	351.348	76.61	381.10	6.48	2.39	1.06	745.08	4825
% Removal	74.09	90	294.783	64.27	322.24	5.99	2.62	1.16	815.25	4884
Total flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	27.35	120	256.180	55.86	275.03	4.09	2.09	0.93	651.89	2665
TCE flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	4.81	180	165.841	36.16	207.75	4.78	3.25	1.44	1009.88	4831
Water flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	22.84	240	118.815	25.91	141.02	2.49	2.48	1.10	774.45	1928

Run	12	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	8.4	0	469.463	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	60	30	400.166	85.24	433.89	7.34	2.38	1.06	851.33	6248
Calibration curve	C6	60	338.315	72.06	368.38	6.55	2.51	1.11	895.05	5863
% Removal	87.83	90	284.834	60.67	310.81	5.66	2.57	1.14	917.30	5195
Total flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	25.37	120	231.508	49.31	257.25	5.65	3.10	1.38	1105.12	6241
TCE flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	5.47	180	123.375	26.28	171.81	5.73	4.76	2.11	1677.79	9607
Water flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	19.90	240	57.131	12.17	86.04	3.51	5.86	2.60	2052.44	7199

ณ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวเอเรชั่นสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	13
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C6
% Removal	90.73
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	28.80
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.41
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	23.39

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{im}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
0	449.791	100.00	-	-	-	-	-	-
30	362.307	80.55	404.47	9.26	3.23	1.43	980.98	9089
60	292.838	65.11	326.34	7.36	3.18	1.41	965.53	7104
90	252.821	56.21	272.34	4.24	2.19	0.97	666.49	2825
120	182.033	40.47	215.49	7.50	4.95	2.20	1490.07	11171
180	100.050	22.24	136.98	4.34	4.60	2.04	1357.53	5893
240	41.715	9.27	66.68	3.09	6.88	3.05	1984.32	6130

Run	14
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C3
% Removal	92.32
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	35.91
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.93
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	29.98

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{im}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
0	483.956	100.00	-	-	-	-	-	-
30	345.768	71.45	411.00	14.63	5.04	2.24	1189.46	17407
60	229.091	47.34	283.44	12.36	6.20	2.75	1456.41	17996
90	177.415	36.66	202.15	5.47	3.82	1.69	904.46	4950
120	96.099	19.86	132.63	8.61	9.35	4.15	2169.42	18682
180	51.460	10.63	71.47	2.36	4.68	2.08	1105.04	2612
240	37.175	7.68	43.93	0.76	2.41	1.07	575.32	435

ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	15	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	25.1	0	569.301	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature (°C)	60	30	356.780	62.67	454.79	22.51	7.09	3.15	2049.38	46125
Calibration curve	C7	60	223.633	39.28	285.04	14.10	7.10	3.15	2048.85	28890
% Removal	93.78	90	143.001	25.12	180.32	8.54	6.79	3.01	1961.46	16749
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	31.26	120	99.838	17.54	120.13	4.57	5.43	2.41	1576.16	7205
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	7.08	180	57.206	10.05	76.55	2.26	4.18	1.85	1221.50	2757
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	24.18	240	35.510	6.24	45.50	1.15	3.57	1.58	1045.95	1202

Run	16	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	3.3	0	460.140	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature (°C)	70	30	395.124	85.87	426.81	6.89	2.26	0.78	616.76	4247
Calibration curve	C2	60	331.373	72.02	362.31	6.75	2.61	0.90	712.43	4810
% Removal	88.51	90	286.527	62.27	308.41	4.75	2.16	0.74	588.79	2796
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	31.60	120	224.923	48.88	254.48	6.52	3.61	1.24	980.23	6395
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.40	180	124.714	27.10	169.92	5.31	4.41	1.52	1194.07	6336
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	26.20	240	52.860	11.49	83.71	3.80	6.46	2.23	1738.11	6613

จ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	17
Feed flow rate (l/hr)	8.4
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C7
% Removal	95.12
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	37.59
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.98
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	31.62

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>im</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec <sup>-1</sup> )	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	473.901	100.00	-	-	-	-	-	-
30	356.007	75.12	412.15	12.49	4.26	1.47	959.68	11982
60	256.213	54.06	303.38	10.57	4.91	1.69	1103.66	11664
90	181.088	38.21	216.48	7.96	5.18	1.79	1164.43	9264
120	120.255	25.38	148.60	6.44	6.13	2.11	1373.68	8850
180	74.704	15.76	95.68	2.41	3.54	1.22	798.80	1927
240	23.125	4.88	43.99	2.73	8.86	3.05	1967.52	5374

Run	18
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C6
% Removal	93.14
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	43.05
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.80
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	37.25

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>im</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	469.463	100.00	-	-	-	-	-	-
30	368.480	78.49	416.94	10.69	3.60	1.24	689.68	7376
60	285.951	60.91	325.47	8.74	3.77	1.30	722.09	6311
90	213.050	45.38	247.71	7.72	4.38	1.51	838.11	6471
120	146.193	31.14	177.53	7.08	5.62	1.94	1072.56	7594
180	76.745	16.35	107.76	3.68	4.80	1.65	917.74	3375
240	32.215	6.86	51.30	2.36	6.49	2.24	1236.22	2915

ฉ.1 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวแพอร์ชั้นสารละลายไตรคลอโรเอทิลีน

Run	19
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C8
% Removal	94.88
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	41.74
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	7.32
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	34.43

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>lm</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	581.562	100.00	-	-	-	-	-	-
30	430.510	74.03	502.26	16.00	4.48	1.54	926.56	14822
60	287.574	49.45	354.25	15.14	6.03	2.08	1243.23	18819
90	177.056	30.44	227.87	11.70	7.28	2.51	1494.56	17493
120	113.974	19.60	143.21	6.68	6.60	2.27	1357.46	9069
180	71.422	12.28	91.05	2.25	3.47	1.20	720.16	1623
240	29.767	5.12	47.59	2.21	6.56	2.26	1348.64	2975

Run	20
Feed flow rate (l/hr)	25.1
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C8
% Removal	97.99
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	38.73
TCE flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.00
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	32.73

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>lm</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	461.480	100.00	-	-	-	-	-	-
30	332.912	72.14	393.70	13.62	4.87	1.68	1058.33	14410
60	233.334	50.56	280.18	10.55	5.31	1.83	1151.92	12148
90	154.431	33.46	191.18	8.36	6.18	2.13	1337.76	11179
120	79.522	17.23	112.86	7.93	10.05	3.46	2151.44	17068
180	28.407	6.16	49.66	2.71	7.75	2.67	1668.48	4516
240	9.264	2.01	17.08	1.01	8.45	2.91	1816.20	1841

ผ.2 ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายโทลูอีน

Run	21
Feed flow rate (l/hr)	3.3
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C1
% Removal	59.91
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	14.94
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	4.24
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	10.70

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>im</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	533.816	100.00	-	-	-	-	-	-
30	475.508	89.08	504.10	6.18	1.83	2.23	1146.15	7078
60	433.451	81.20	454.15	4.45	1.45	1.76	917.66	4087
90	404.591	75.79	418.86	3.06	1.06	1.29	682.80	2087
120	364.235	68.23	384.06	4.27	1.66	2.02	1041.37	4451
180	291.311	54.57	326.42	3.86	1.77	2.16	1107.08	4275
240	213.997	40.09	250.67	4.09	2.51	3.07	1528.55	6258

Run	22
Feed flow rate (l/hr)	8.4
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C11
% Removal	69.56
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	16.47
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	4.91
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	11.56

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>im</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	532.587	100.00	-	-	-	-	-	-
30	461.200	86.60	496.04	7.56	2.30	2.81	1320.56	9984
60	408.152	76.64	434.14	5.62	1.93	2.36	1121.30	6299
90	349.600	65.64	378.12	6.20	2.50	3.05	1421.12	8812
120	300.424	56.41	324.39	5.21	2.44	2.98	1391.31	7246
180	225.349	42.31	261.09	3.98	2.31	2.82	1319.62	5246
240	162.136	30.44	192.01	3.35	2.69	3.27	1511.00	5058

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวพรูเรชันสารละลายโทลูอีน

Run	23
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C9
% Removal	78.83
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	21.03
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.37
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	11.56

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	513.429	100.00	-	-	-	-	-	-
30	421.887	82.17	466.16	9.69	3.15	3.83	1329.50	12889
60	358.098	69.75	389.12	6.76	2.59	3.16	1109.95	7498
90	301.004	58.63	328.72	6.05	2.76	3.37	1176.07	7111
120	250.081	48.71	274.76	5.39	2.97	3.62	1255.07	6769
180	166.269	32.38	205.33	4.44	3.30	4.02	1382.14	6134
240	108.683	21.17	135.44	3.05	3.46	4.21	1439.82	4390

Run	24
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C8
% Removal	83.69
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	21.33
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.30
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	16.04

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	477.436	100.00	-	-	-	-	-	-
30	358.858	75.16	415.33	12.56	4.73	5.77	1888.16	23711
60	268.315	56.20	311.40	9.59	4.85	5.91	1923.18	18441
90	211.182	44.23	238.61	6.05	3.92	4.78	1583.85	9583
120	164.509	34.46	186.87	4.94	4.11	5.02	1652.18	8167
180	119.078	24.94	140.57	2.41	2.56	3.12	1069.01	2572
240	77.861	16.31	97.01	2.18	3.45	4.21	1405.38	3067



ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายโทลูอีน

Run	25
Feed flow rate (l/hr)	25.1
Feed temperature (°C)	40
Calibration curve	C5
% Removal	87.18
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	21.51
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.37
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	16.14

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	464.231	100.00	-	-	-	-	-	-
30	333.064	71.75	395.02	13.89	5.60	6.83	2181.62	30305
60	243.658	52.49	286.04	9.47	5.26	6.42	2053.91	19447
90	177.706	38.28	208.95	6.98	5.35	6.52	2074.24	14488
120	122.428	26.37	148.35	5.85	6.50	7.93	2448.84	14336
180	86.613	18.66	103.49	1.90	2.76	3.36	1137.28	2157
240	59.533	12.82	72.23	1.43	3.01	3.67	1232.12	1767

Run	26
Feed flow rate (l/hr)	3.3
Feed temperature (°C)	50
Calibration curve	C6
% Removal	67.46
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	21.77
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	4.78
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	16.99

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	534.484	100.00	-	-	-	-	-	-
30	471.286	88.18	502.22	6.69	1.92	1.31	785.34	5256
60	425.023	79.52	447.76	4.90	1.57	1.07	644.85	3159
90	382.342	71.53	403.31	4.52	1.61	1.10	660.56	2986
120	338.828	63.39	360.15	4.61	1.84	1.26	754.17	3475
180	251.190	47.00	292.83	4.64	2.30	1.58	934.13	4335
240	173.901	32.54	210.18	4.09	2.86	1.96	1147.87	4698

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวเอเรชั่นสารละลายโทลูอิน

Run	27	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	8.4	0	497.521	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	50	30	409.087	82.23	451.86	9.37	3.10	2.12	1635.22	15315
Calibration curve	C11	60	361.324	72.62	384.71	5.06	1.92	1.31	1037.41	5247
% Removal	77.23	90	301.004	60.50	330.25	6.39	2.89	1.97	1526.36	9751
Total flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	17.79	120	263.994	53.06	282.09	3.92	2.03	1.39	1096.41	4297
Toluene flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	5.10	180	184.021	36.99	221.61	4.23	2.85	1.95	1508.04	6386
Water flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	12.69	240	113.283	22.77	145.80	3.75	3.94	2.70	2027.57	7595

Run	28	Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i (\times 10^9 \text{ m}^2/\text{sec})$	$D_i (\times 10^{11} \text{ m}^2/\text{sec})$	Selectivity	PSI
Feed flow rate (l/hr)	14.3	0	462.432	100.00	-	-	-	-	-	-
Feed temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	50	30	347.355	75.11	402.15	12.19	4.52	3.09	1551.05	18903
Calibration curve	C9	60	268.923	58.15	306.47	8.31	4.02	2.75	1387.36	11524
% Removal	84.23	90	224.124	48.47	245.84	4.74	2.81	1.92	987.91	4687
Total flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	24.73	120	187.919	40.64	205.49	3.83	2.72	1.86	955.24	3663
Toluene flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	5.17	180	132.306	28.61	158.49	2.94	2.70	1.85	951.26	2801
Water flux ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )	19.57	240	72.938	15.77	99.69	3.14	4.75	3.25	1614.55	5076

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายโทลูอีน

Run	29
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	50
Calibration curve	C10
% Removal	89.42
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	22.70
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.17
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	19.57

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i$ ( $\times 10^9$ m <sup>2</sup> /sec)	$D_i$ ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	494.552	100.00	-	-	-	-	-	-
30	338.087	68.36	411.37	16.57	6.21	4.25	2396.60	39712
60	251.901	50.94	292.88	9.13	4.72	3.23	1854.47	16927
90	191.924	38.81	220.55	6.35	4.34	2.97	1713.87	10886
120	152.315	30.80	171.36	4.19	3.65	2.50	1456.91	6111
180	94.355	19.08	121.03	3.07	3.80	2.60	1509.28	4632
240	52.347	10.58	71.30	2.22	4.76	3.26	1856.94	4131

Run	30
Feed flow rate (l/hr)	25.1
Feed temperature (°C)	50
Calibration curve	C4
% Removal	93.86
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	18.76
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.04
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	12.72

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_{lm}$ (ppm)	Org. Flux	$P_i$ ( $\times 10^9$ m <sup>2</sup> /sec)	$D_i$ ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	485.200	100.00	-	-	-	-	-	-
30	311.755	64.25	392.10	18.37	7.58	5.19	3687.07	67726
60	206.316	42.52	255.42	11.17	7.10	4.86	3441.46	38429
90	149.541	30.82	176.41	6.01	5.39	3.69	2683.31	16134
120	101.463	20.91	123.95	5.09	6.70	4.59	3234.12	16467
180	59.703	12.30	78.75	2.21	4.91	3.36	2210.98	4889
240	29.815	6.14	43.04	1.58	7.03	4.81	2895.12	4582

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมเอชันสารละลายโทลูอีน

Run	31
Feed flow rate (l/hr)	3.3
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C3
% Removal	71.31
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	29.06
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	4.48
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	24.58

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	473.951	100.00	-	-	-	-	-	-
30	403.321	85.10	437.69	7.48	2.43	1.55	696.20	5208
60	352.462	74.37	377.32	5.39	2.03	1.29	581.57	3132
90	306.862	64.75	329.14	4.83	2.08	1.33	597.81	2887
120	267.872	56.52	286.93	4.13	2.04	1.30	586.36	2421
180	195.735	41.30	229.92	3.82	2.37	1.51	676.97	2586
240	135.995	28.69	164.06	3.16	2.76	1.76	785.78	2486

Run	32
Feed flow rate (l/hr)	8.4
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C8
% Removal	81.29
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	29.04
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.40
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	23.64

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	500.656	100.00	-	-	-	-	-	-
30	401.433	80.18	449.22	10.51	3.36	2.14	990.65	10410
60	345.439	69.00	372.74	5.93	2.26	1.44	673.81	3996
90	297.310	59.38	320.77	5.10	2.26	1.44	673.04	3431
120	247.511	49.44	271.65	5.27	2.78	1.77	822.37	4337
180	151.073	30.17	195.34	5.11	3.78	2.41	1107.44	5655
240	93.681	18.71	120.10	3.04	3.66	2.33	1072.04	3258

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวพอร์เรชั่นสารละลายโทลูอิน

Run	33
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C2
% Removal	87.50
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	29.75
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.71
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	24.04

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>lm</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	491.74	100.00	-	-	-	-	-	-
30	371.07	75.46	428.58	12.78	4.33	2.75	1242.02	15873
60	271.32	55.17	318.59	10.56	4.84	3.08	1381.18	14590
90	208.08	42.31	238.30	6.70	4.07	2.59	1170.82	7841
120	167.34	34.03	186.97	4.31	3.32	2.11	961.37	4148
180	85.04	17.29	121.58	4.36	5.57	3.54	1493.49	6509
240	61.49	12.50	72.63	1.25	2.52	1.60	715.45	892

Run	34
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C7
% Removal	93.46
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	36.57
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.43
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	30.14

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>lm</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	518.619	100.00	-	-	-	-	-	-
30	339.227	65.41	422.60	19.00	6.57	4.18	1493.50	28374
60	256.608	49.48	296.00	8.75	4.26	2.71	982.16	8594
90	180.123	34.73	216.11	8.10	5.45	3.47	1245.45	10088
120	143.634	27.70	161.19	3.86	3.43	2.18	796.68	3079
180	52.738	10.17	90.72	4.81	7.88	5.01	1763.21	8487
240	33.900	6.54	42.63	1.00	3.35	2.13	777.78	776

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เวเอเรชันสารละลายโทลูอิน

Run	35
Feed flow rate (l/hr)	25.1
Feed temperature (°C)	60
Calibration curve	C4
% Removal	96.65
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	44.81
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.84
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	37.97

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_m$ (ppm)	Org. Flux	$P_i$ ( $\times 10^9$ m <sup>2</sup> /sec)	$D_i$ ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	449.791	533.588	100.00	-	-	-	-	-
30	404.313	338.203	63.38	428.50	20.69	7.01	4.46	1273.52
60	345.366	215.336	40.36	272.16	13.01	6.95	4.42	1261.10
90	284.463	158.430	29.69	185.43	6.03	4.66	2.97	857.38
120	244.348	76.610	14.36	112.61	8.67	11.53	7.34	2030.07
180	121.629	27.672	5.19	48.06	2.59	7.91	5.03	1422.71
240	66.507	17.853	3.35	22.40	0.52	3.30	2.10	612.32

Run	36
Feed flow rate (l/hr)	3.3
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C3
% Removal	80.54
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	46.92
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	4.95
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	41.97

Time (min)	Conc. (ppm)	$C/C_0$	$\Delta C_m$ (ppm)	Org. Flux	$P_i$ ( $\times 10^9$ m <sup>2</sup> /sec)	$D_i$ ( $\times 10^{11}$ m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	463.856	100.00	-	-	-	-	-	-
30	376.408	81.15	418.61	9.26	3.12	1.41	527.83	4888
60	303.532	65.44	338.66	7.72	3.22	1.45	543.77	4197
90	259.089	55.86	280.72	4.71	2.36	1.06	400.09	1883
120	203.025	43.77	229.92	5.94	3.65	1.64	616.26	3659
180	147.778	31.86	173.94	2.93	2.36	1.06	401.39	1174
240	90.284	19.46	116.68	3.04	3.69	1.66	622.75	1896

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายโทลูอิน

Run	37
Feed flow rate (l/hr)	8.4
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C1
% Removal	89.86
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	50.71
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	5.73
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	44.98

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>lm</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	480.813	100.00	-	-	-	-	-	-
30	339.220	70.55	405.91	15.00	5.25	2.37	822.47	12333
60	248.952	51.78	291.76	9.56	4.65	2.09	729.58	6975
90	208.981	43.46	228.38	4.23	2.61	1.17	412.75	1747
120	130.816	27.21	166.86	8.28	7.12	3.21	1104.83	9146
180	71.328	14.83	98.08	3.15	4.56	2.05	715.27	2253
240	48.762	10.14	59.33	1.19	2.84	1.28	448.57	536

Run	38
Feed flow rate (l/hr)	14.3
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C2
% Removal	92.53
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	58.83
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.18
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	52.65

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>lm</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	503.451	100.00	-	-	-	-	-	-
30	317.623	63.09	403.43	19.68	6.96	3.13	927.70	18257
60	231.058	45.89	272.05	9.17	4.77	2.15	640.96	5876
90	166.816	33.13	197.20	6.80	4.89	2.20	656.29	4465
120	125.460	24.92	145.16	4.38	4.26	1.92	573.99	2514
180	52.627	10.45	83.84	3.86	6.56	2.95	875.20	3375
240	37.628	7.47	44.71	0.79	2.49	1.12	337.98	268

ฉ.2 (ต่อ) ผลการทดลองเพอร์เมอเรนซ์สารละลายโทลูอีน

Run	39
Feed flow rate (l/hr)	19.5
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C1
% Removal	95.89
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	46.54
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.71
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	39.83

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	527.743	100.00	-	-	-	-	-	-
30	341.395	64.69	427.83	19.74	6.62	2.98	1159.69	22886
60	237.163	44.94	286.12	11.04	5.51	2.48	970.09	10708
90	149.041	28.24	189.70	9.33	7.09	3.19	1237.14	11546
120	92.753	17.58	118.68	5.96	7.25	3.26	1263.23	7530
180	51.766	9.81	70.28	2.17	4.39	1.98	776.72	1686
240	21.672	4.11	34.56	1.59	6.64	2.99	1159.70	1848

Run	40
Feed flow rate (l/hr)	25.1
Feed temperature (°C)	70
Calibration curve	C4
% Removal	97.02
Total flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	58.70
Toluene flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	6.44
Water flux (g/m <sup>2</sup> -hr)	52.26

Time (min)	Conc. (ppm)	C/C <sub>0</sub>	Δ C <sub>m</sub> (ppm)	Org. Flux	P <sub>i</sub> (×10 <sup>9</sup> m <sup>2</sup> /sec)	D <sub>i</sub> (×10 <sup>11</sup> m <sup>2</sup> /sec)	Selectivity	PSI
0	500.491	100.00	-	-	-	-	-	-
30	294.753	58.89	388.59	21.79	8.03	3.62	1074.49	23412
60	197.075	39.38	242.65	10.34	6.07	2.73	817.11	8453
90	108.714	21.72	148.54	9.36	9.07	4.08	1207.60	11300
120	59.847	11.96	81.86	5.18	9.11	4.10	1211.89	6272
180	27.107	5.42	41.34	1.73	5.97	2.69	804.01	1394
240	14.893	2.98	20.39	0.65	4.49	2.02	607.94	393



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

### ข.1 การทดลองการดูดซึมสารละลายอินทรีย์ในยางซิลิโคน

ข้อมูลจากการทดลองดูดซึมสารละลายโทลูอีน (แสดงในภาคผนวก จ.2) สำหรับสารละลายโทลูอีน 50 ppm ที่อุณหภูมิ 40° C คุณสมบัติของโทลูอีนแสดงในภาคผนวก ก ข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณมีดังนี้

- ปริมาตรของสารละลายอินทรีย์ = 0.5 ลิตร
- ความหนาแน่นของยางซิลิโคนตัวอย่าง = 1.179 กรัม/ลบ.ซม.

#### 1) ค่าร้อยละการดูดซึม (% Sorption)

$$\begin{aligned} \% \text{ Sorption} &= \left( \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{wet}} \right) \times 100 && (4.1) \\ &= \frac{(0.9900 - 0.9782)}{0.9782} \times 100 \\ &= 1.206 \% \end{aligned}$$

#### 2) ปริมาตรยางซิลิโคนที่สภาวะสมดุลการละลาย

$$\begin{aligned} &= \text{ปริมาตรยางซิลิโคน} + \text{ปริมาตรโทลูอีนที่ดูดซึม} + \text{ปริมาตรน้ำที่ดูดซึม} \\ &= \frac{0.9782}{1.179} + \frac{(52.436 - 34.935) \times 0.5 \times 10^{-3}}{0.8503} \\ &\quad + \frac{[(0.9900 - 0.9782) - (52.436 - 34.935) \times 0.5 \times 10^{-3}]}{0.9922} \\ &= 0.843 \text{ ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

#### 3) ความเข้มข้นโทลูอีนในท่อยางซิลิโคน (Conc. in Silicone ; mg/cm<sup>3</sup>)

$$\begin{aligned} &= \frac{(52.436 - 34.935) \times 0.5}{0.843} \\ &= 10.380 \text{ มก./ลบ. ซม.} \end{aligned}$$

## ข.2 การทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน

ข้อมูลจากการทดลองที่ 21 กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันแยกสารละลายโทลูอิน ที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 40 °C และ 3.3 ล./ชม. ตามลำดับ แสดงในภาคผนวก จ.2 และคุณสมบัติของโทลูอินแสดงในภาคผนวก ก ข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณมีดังนี้

- ปริมาตรของสารป้อน = 2 ลิตร
- พื้นที่ผิวจำเพาะของเยื่อแผ่น = 0.0377 ตร.ม.
- ความดันด้านเพอร์มิเอท = 0.034 ม.
- เวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง = 0.5 ชม.
- ความหนาแน่นของโทลูอิน ที่ 40 °C = 0.8503 กรัม/มล.
- ค่าคงที่เฮนรีของสารละลายโทลูอิน 40°C = 970 ม.
- ความสามารถในการละลาย ที่ 40 °C = 82.03
- ปริมาตรของสารละลายที่ลดลง = 2.37 มล.

### 1) ค่าร้อยละการแยก (% Removal)

$$\begin{aligned} \% \text{ Removal} &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 && (4.5) \\ &= \left( \frac{533.816 - 213.997}{533.816} \right) \times 100 \\ &= 59.91 \% \end{aligned}$$

### 2) ปริมาตรโทลูอินที่ลดลงในสารป้อน

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{533.816 - 213.997}{1000} \times 2 \right) / 0.8503 \\ &= 0.75 \text{ มล.} \end{aligned}$$

### 3) ปริมาณน้ำที่ลดลงในสารป้อน

$$\begin{aligned} &= 2.37 - 0.75 \text{ มล.} \\ &= 1.61 \text{ มล.} \end{aligned}$$

## 4) ฟลักซ์ของโทลูอิน

$$\begin{aligned}
 J &= \frac{W}{A \times t} & (4.6) \\
 &= \frac{(533.816 - 475.508) \times 2}{0.0377 \times 0.5 \times 1000} \\
 &= 6.18 \text{ กรัม/ตร.ม. ชม.}
 \end{aligned}$$

สำหรับตัวที่เก็บที่เวลา 180 และ 240 เวลาที่เก็บตัวอย่างเท่ากับ 1 ชม.

5) ความเข้มข้นเฉลี่ยเชิงลอการิทึม ( $\Delta C_{lm}$ ; ppm)

$$\begin{aligned}
 \Delta C_{lm} &= \frac{C_n - C_{n+1}}{\ln(C_n / C_{n+1})} & (4.4) \\
 &= \frac{533.816 - 475.508}{\ln(533.816 / 475.508)} \\
 &= 504.10 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

## 6) ปริมาตรของเพอร์มิเอท

$$\begin{aligned}
 &= \text{ปริมาตรของโทลูอินที่ลดลง} + \text{ปริมาตรน้ำที่ลดลง (0.5 ชม.)} \\
 &= \frac{(533.816 - 475.508) \times 2}{0.8503 \times 1000} + \frac{1.61 \times 0.5}{4} \\
 &= 0.34 \text{ มล.}
 \end{aligned}$$

## 7) ความเข้มข้นของเพอร์มิเอท

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(533.816 - 475.508) \times 2 \times 1000}{0.34} \\
 &= 3.44 \times 10^5 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

## 8) เศษส่วนเชิงโมลของโทลูอินในสารป้อน

$$\begin{aligned}
 &= \frac{504.10 \times 2}{1000 \times 92.40} \bigg/ \frac{2000}{18 \times 0.9922} \\
 &= 9.90 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

9) เศษส่วนเชิงโมลของโทลูอินในเฟอรัมเอท ( $x_i$ )

$$= \frac{3.44 \times 10^5 \times 0.34}{92.40 \times 1000 \times 1000} \left/ \left( \frac{1.61 \times 0.9922 \times 0.5}{4 \times 18} + \frac{3.44 \times 10^5 \times 0.34}{92.40 \times 1000 \times 1000} \right) \right.$$

$$= 0.102$$

10) ความสามารถในการซึมผ่าน (ตร.ม./วินาที)

$$P_i = \frac{J_i \times \ell}{(C_0 - x_i p_i^{sat} / H_i)} \quad (4.7)$$

$$= \frac{6.18 \times 0.5 \times 10^{-3}}{(504.1 - 0.102 \times 0.034 / 970) \times 10^7 \times 3600}$$

$$= 1.83 \times 10^{-9} \text{ ตร.ม./วินาที}$$

11) ความสามารถในการแพร่ผ่าน (ตร.ม./วินาที)

$$D_i = P_i / S_i \quad (4.8)$$

$$= \frac{1.83 \times 10^{-9}}{82.03}$$

$$= 2.23 \times 10^{-11} \text{ ตร.ม./วินาที}$$

12) ความเข้มข้นเชิงปริมาตรในสารป้อน (% vol.)

$$= \frac{504.10}{0.8503 \times 10^6} \times 100$$

$$= 5.93 \times 10^{-2} \% \text{ โดยปริมาตร}$$

13) ความเข้มข้นเชิงปริมาตรในเฟอรัมเอท (% vol.)

$$= \frac{3.44 \times 10^5}{0.8503 \times 10^6} \times 100$$

$$= 40.5 \% \text{ โดยปริมาตร}$$

14) ค่าการเลือก (selectivity ;  $\alpha$ )

$$\begin{aligned} \text{Selectivity ; } \alpha_i &= \frac{(C_{i_r}/C_{i_f})}{(C_{i_n}/C_{i_o})} & (2.44) \\ &= \left( \frac{100 - 5.93 \times 10^{-2}}{5.93 \times 10^{-2}} \right) \bigg/ \left( \frac{100 - 40.5}{40.5} \right) \\ &= 1123.56 \end{aligned}$$

15) ค่าดัชนีการแยกของกระบวนการเพอร์เวปอเรชัน (PSI , Pervaporation Separation Index)

$$\begin{aligned} \text{PSI} &= J \times \alpha & (2.46) \\ &= 1123.56 \times 6.18 \\ &= 6943 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ซ

การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทำการวิจัย

ช. การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทำการวิจัย

การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทำการวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Sigma Plot 2000 ควบคู่กับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS 10.05 ได้ความสัมพันธ์ของตัวแปรดังนี้

สารอินทรีย์	ตัวแปรอิสระ : x, y	ตัวแปรตาม : z	สมการความสัมพันธ์	R	R <sup>2</sup>
ไตรคลอโรเอทิลีน	x : อุณหภูมิของสารป้อน (เคลวิน)	ฟลักซ์ของสารอินทรีย์ (กรัม/ตร.ม.-ชม.)	$z = -143 + 0.873x + 0.343y - 0.0013x^2 - 0.0162y^2$	0.793	0.628
	y : ความเร็วของสารป้อน (ชม./วินาที)	ความสามารถของการเลือก	$z = -69745 + 460.04x + 105.65y - 0.7429x^2 - 4.3919y^2$	0.740	0.548
โทลูอิน	x : อุณหภูมิของสารป้อน (เคลวิน)	ฟลักซ์ของสารอินทรีย์ (กรัม/ตร.ม.-ชม.)	$z = 15.2 - 0.099x + 0.374y + 0.0002x^2 - 0.0187y^2$	0.951	0.904
	y : ความเร็วของสารป้อน (ชม./วินาที)	ความสามารถของการเลือก	$z = -119789 - 761.41x + 35.684y - 1.199x^2 + 4.774y^2$	0.829	0.687



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนฤเทพ เล็กศิริไล เกิดวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2521 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543 จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2546