

# รายการอ้างอิง

- [1] Ralph T. Yang. *Gas Separation by Adsorption Processes*. Boston: Butterworths, 1987.
- [2] Douglas M. Ruthven. *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. New York: Wiley, 1984.
- [3] Yau Nam I. Chan, Frank B. Hill, and Yiu Wah Wong. 1981. Equilibrium theory of a pressure swing adsorption process. *Chem. Eng. Sci.* 36: 243-251.
- [4] G. F. Fernandez and C. N. Kenney. 1983. Modelling of the pressure swing air separation process. *Chem. Eng. Sci.* 38: 827-834.
- [5] Kent S. Knaebel and Frank B. Hill. 1985. Pressure swing adsorption: Development of an equilibrium theory for gas separations. *Chem. Eng. Sci.* 40: 2351-2360.
- [6] S. Farooq and D. M. Ruthven. 1990. A comparison of linear driving force and pore diffusion models for a pressure swing adsorption bulk separation process. *Chem. Eng. Sci.* 45: 107-115.
- [7] John C. Kayser and Kent S. Knaebel. 1986. Pressure swing adsorption: Experimental study and equilibrium theory. *Chem. Eng. Sci.* 41: 2931-2938.
- [8] N. F. Kirkby and C. N. Kenney. The role of process steps in pressure swing adsorption cycles. *In Proc. 2<sup>nd</sup> Eng. Found. Conf. on Fund. of Adsorption*. pp 319-327, 1987.
- [9] J. L. Liow and C. N. Kenney. 1990. The backfill cycle of pressure swing adsorption process. *AIChE J.* 36: 53-65.

- [10] R. V. Jasra, N. V. Choudary, and S. G. T. Bhat. 1991. Separation of gases by pressure swing adsorption. *Sep. Sci. Tech.* 26: 885-930.
- [11] Roušar Ivo and Ditl Pavel. 1993. Pressure swing adsorption: Analytical solution for optimum purge. *Chem. Eng. Sci.* 48: 723-734.
- [12] M. J. Matz and K. S. Knaebel. 1988. Pressure swing adsorption-effects of incomplete purge. *AIChE J.* 34: 1486-1492.
- [13] M. Suzuki. *Adsorption Engineering*. Kodansha, 1990.
- [14] Martyn S. Ray. 1986. Pressure swing adsorption: A review of uk patent literature. *Sep. Sci. Tech.* 24: 1-38.
- [15] S. Sircar and W. C. Kratz. 1989. Oxygen production by pressure swing adsorption. *Sep. Sci. Tech.* 24: 429-440.
- [16] Alkis Constantinides. *Applied Numerical Methods with Personal Computers*. Singapore: McGraw-Hill, 1988.
- [17] Owen T. Hanna and Orville C. Sandall. *Computational Methods in Chemical Engineering*. Prentice-Hall, 1995.
- [18] C. W. Gear. *Numerical Initial Value Problems in Ordinary Differential Equations*. Prentice-Hall, 1971.
- [19] C. Chou and W. C. Huang. 1994. Simulation of a four-bed pressure swing adsorption process for oxygen enrichment. *Ind. Eng. Chem. Res.* 33: 1250-1258.
- [20] S. J. Doong and R. T. Yang. 1998. The role of pressure drop in pressure swing adsorption. *AIChE Symp. Ser.* 84: 145-154.

## ภาคผนวก ก

# ผลการจำลองที่สภาวะต่างๆ

### ก.1 กรณีที่ใช้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ในการชะล้างมากเกินไปและคงที่

ตารางที่ ก.1: ตารางแสดงผลการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ และค่าเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงสัดส่วนการแยกกลับมาของแก๊สผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ในการชะล้างมากเกินไปพอละคงที่

$P_L$ (kPa)	$P_P$ (kPa)	$P_H$ (kPa)	$P_D$ (kPa)	$Q_H$ ( STP L/min)	$Q_L$ ( STP L/min)	$y_p$	$R_p$	$I_R$ (%)
100	100	250	100	0.20	4.75	0.9927	-0.5153	-341.81
	150			1.85		0.9928	-0.4004	-1425.83
	175			2.80		0.9930	-0.4111	-1416.26
	200			4.08		0.9928	-0.4314	-1528.48
	250			8.00		0.9927	-0.5217	-1827.48
100	100	250	150	3.20	4.75	0.9928	-0.1548	-612.58
	150			5.50		0.9927	-0.1087	-459.93
	175			6.62		0.9927	-0.1178	-490.07
	200			7.45		0.9927	-0.1339	-543.48
	250			9.28		0.9928	-0.1960	-749.01
100	100	250	175	4.52	4.75	0.9927	-0.0896	-396.69
	150			6.80		0.9927	-0.0571	-289.22
	175			7.90		0.9928	-0.0653	-316.23
	200			8.83		0.9928	-0.0769	-354.64
	250			10.7		0.9930	-0.1351	-547.20
100	100	250	200	5.69	4.75	0.9928	-0.0542	-279.47
	150			8.10		0.9929	-0.0286	-194.86
	175			9.18		0.9928	-0.0338	-212.00
	200			10.06		0.9928	-0.0468	-254.83

มีต่อหน้าถัดไป

ต่อจากหน้าก่อนหน้า

$P_L$ (kPa)	$P_P$ (kPa)	$P_H$ (kPa)	$P_D$ (kPa)	$Q_H$ ( STP L/min)	$Q_L$ ( STP L/min)	$y_p$	$R_p$	$I_R$ (%)
100	250	250	200	11.95	4.75	0.9929	-0.0951	-414.90
100	100	250	250	7.85	4.75	0.9929	0.0302	0.00
	150			0.9928		0.0646	113.76	
	175			0.9927		0.0646	113.91	
	200			0.9930		0.0551	82.45	
	250			0.9929		0.0233	-22.76	

## ก.2 กรณีที่ใช้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ในการชะล้างพอเพียง

ตารางที่ ก.2: ตารางแสดงผลการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์ และค่าเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงสัดส่วนการแยกกลับมาของแก๊สผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ในการชะล้างพอเพียง

$P_L$ (kPa)	$P_P$ (kPa)	$P_H$ (kPa)	$P_D$ (kPa)	$Q_H$ ( STP L/min)	$Q_L$ ( STP L/min)	$y_p$	$R_p$	$I_R$ (%)
100	100	250	100	0.20	4.75	0.9927	-0.5153	-341.81
	150			1.85		0.9930	0.1196	-43.88
	175			2.80		0.9930	0.1322	-37.96
	200			4.08		0.9928	0.1547	-27.41
	250			8.00		0.9929	0.1351	-36.60
100	100	250	150	3.20	3.80	0.9930	0.1546	-27.45
	150			5.50		0.9932	0.2720	27.64
	175			6.62		0.9929	0.2937	37.82
	200			7.45		0.9929	0.3331	56.31
	250			9.28		0.993	0.3329	56.21
100	100	250	175	4.52	3.70	0.9930	0.2013	-5.54
	150			6.80		0.9934	0.3031	42.23
	175			7.90		0.9928	0.3203	50.31
	200			8.83		0.9929	0.355	66.59
	250			10.7		0.9928	0.3548	66.49
100	100	250	200	5.69	3.60	0.9932	0.2204	3.43
	150			8.10		0.9931	0.3096	45.28
	175			9.18		0.9927	0.3293	54.53
	200			10.06		0.9931	0.3520	65.18
	250			11.95		0.9929	0.3518	65.09
100	100	250	250	7.85	3.50	0.9931	0.2131	0.00

มีต่อหน้าถัดไป

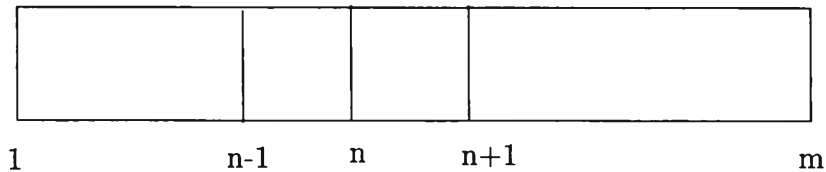
ต่อจากหน้าก่อนหน้า								
$P_L$ (kPa)	$P_P$ (kPa)	$P_H$ (kPa)	$P_D$ (kPa)	$Q_H$ ( STP L/min)	$Q_L$ ( STP L/min)	$y_p$	$R_p$	$I_R$ (%)
	150			10.28	3.20	0.9930	0.2845	33.51
	175			11.13	2.90	0.9931	0.3162	48.38
	200			12.21	2.80	0.9930	0.3222	51.18
	250			14.12	2.50	0.9928	0.3186	49.51

## ภาคผนวก ข

# ตัวอย่างการคำนวณ

### ข.1 การแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยให้เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ

พิจารณาหอดูดซับความยาว  $L$  ดังรูปที่ ข.1 เมื่อแบ่งหอดูดซับเป็นส่วนย่อย  $m-1$  ส่วน ดังนั้น



รูปที่ ข.1: รูปแสดงการแบ่งหอดูดซับเป็นส่วนย่อย  $m-1$  ส่วน

ที่ตำแหน่ง  $i$  ใดๆ จะประกอบด้วยสมการที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งสามารถประมาณค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_i = \frac{X_i - X_{i-1}}{\Delta z} \quad (\text{ข.1})$$

และอนุพันธ์อันดับสอง

$$\left. \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \right|_i = \frac{X_{i+1} - X_n + X_{i-1}}{(\Delta z)^2} \quad (\text{ข.2})$$

ดังนั้นจะได้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ  $2m$  สมการ

### ข.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจน

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สออกซิเจนและไนโตรเจนคำนวณจากสมการ

$$D_{ON} = 0.0018583 \frac{\sqrt{T^3 \left( \frac{1}{M_O} + \frac{1}{M_N} \right)}}{P \sigma_{ON}^2 \Omega_{D,ON}} \quad (\text{ข.3})$$

$$\begin{aligned}
\sigma_O &= 3.433 \text{ \AA} \\
\sigma_N &= 3.681 \text{ \AA} \\
\sigma_{ON} &= (3.433+3.681)/2 \\
&= 3.557 \text{ \AA} \\
\epsilon_O/k &= 113 \text{ K} \\
\epsilon_N/k &= 91.5 \text{ K} \\
\epsilon_{ON}/k &= \sqrt{(113)(91.5)} \\
&= 110.315 \text{ K} \\
\text{ที่ } T &= 297 \text{ K} \\
\Omega_{D,ON} &= 0.977 \\
D_m &= 0.0018583 \frac{\sqrt{(297)^3 \left(\frac{1}{32} + \frac{1}{28}\right)}}{P(3.557)^2(0.977)} \\
D_{ON}P &= 0.19911 \text{ cm}^2\text{atm/s} \\
D_{ON}P &= 1.9911 \text{ m}^2\text{Pa/s}
\end{aligned}$$

เหตุที่มีได้แทนค่าความดัน ( $P$ ) ในการคำนวณข้างต้นเนื่องจาก ในระหว่างการดำเนินการกระบวนการดูดซับแบบความดันสลับ ความดันภายในหอดูดซับจะเปลี่ยนไปตามขั้นตอนการดำเนินการ

### ข.3 การคำนวณค่าร้อยละของการปรับปรุงของสัดส่วนการแยกกลับมาของแก๊สผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned}
\text{กำหนดให้ } P_P &= 200 \text{ kPa} \\
P_D &= 200 \text{ kPa} \\
Q_H &= 10.06 \text{ STP L/min} \\
Q_L &= 2.90 \text{ STP L/min}
\end{aligned}$$

ซึ่งจะได้ค่าสัดส่วนการแยกกลับมาของแก๊สผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ ( $R_p$ ) เท่ากับ 0.352 สัดส่วนการแยกกลับมาของแก๊สผลิตภัณฑ์ของกระบวนการพื้นฐาน ( $R_{po}$ ) เท่ากับ 0.2131

$$\begin{aligned}
I_R &= \frac{R_p - R_{po}}{R_{po}} \times 100 \\
&= \frac{0.352 - 0.2131}{0.2131} \times 100 \\
&= 65.18 \%
\end{aligned}$$

# ประวัติผู้เขียน

นายจิตตะเสน จรุงวัฒน์เลาหะ เกิดเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2515 จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจาก ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2537 เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2537

