

รายการอ้างอิง

1. Choudhary, V.R. and Mayadevi, S. Adsorption of Methane, Ethane, Ethylene, and Carbon Dioxide on High Silica Pentasil Zeolites and Zeolite-like Materials Using-Gas Chromatography Pulse Technique. *Sep. Sci. Tech.* 28 (1993) : 2197-2209.
2. National Petrochemical Corp.,Ltd. Introduction to NPC Plant. Thailand, 1991.
3. McCabe, W.L. ; Smith, J.C ; and Harriott, P. *Unit Operations of Chemical Engineering*, 4th ed. Singapore : McGraw-Hill, 1985.
4. Sircar, S. Air Fractionation by Adsorption. *Sep. Sci. Tech.* 23(14,15) (1988) : 2379-2396.
5. Doang, S.J. and Yang, R.T. Bulk separation of multicomponent Gas Mixtures by Pressure Swing Adsorption : Pore/Surface Diffusion and Equilibrium Models. *AIChE J.* 32 (1986) : 397-410.
6. Cen, P. and Yang, R.T. Separation of a Five-component Gas Mixture by Pressure Swing Adsorption. *Sep. Sci. Tech.* 20 (1985) : 725-747.
7. Costa, E. ; Sotelo, J.L. ; Calleja, G. ; and Marron, C. Adsorption of Binary and Ternary Hydrocarbon Gas Mixtures on Activated Carbon : Experimental Determination and Theoretical Prediction of the Ternary Equilibrium Data. *AIChE J.* 27 (1981) : 5-12.
8. Huang, C.C. and Fair, J.R. Study of the Adsorption and Desorption of Multiple Adsorbates in a Fixed Bed. *AIChE J.* 34 (1988) : 1861-1877.
9. Chihara, K.; Suzuki, M. ; and Kawazoe, K. Adsorption Rate on Molecular Sieving Carbon by Chromatography. *AIChE J.* 24 (1978) : 237-246.
10. Gilmer, H.B and Kobayashi, R. The Study of Gas-Solid Equilibrium at High Pressures by

- Gas-Chromatography : Part I. Ethane, Propane, and n-Butane at Essentially Infinite Dilutions in the Methane-Silica Gel System. *AICHE J.* 10 (1964) : 797-803.
11. Gilmer, H.B and Kobayashi, R. The Study of Gas-Solid Equilibrium at High Pressures by Gas-Chromatography : Part II. Generalization of the Theory and Application to the Methane-Propane-Silica Gel System. *AICHE J.* 11 (1965) : 702-705.
 12. Ruthven, D.M. Zeolites as Selective Adsorbents. *Chem. Eng. Progress.* (February, 1988) : 42-50.
 13. Jasra, R.V and Bhat, S.G.T. Review : Adsorption Bulk Separations by Zeolite Molecular Sieves. *Sep. Sci. Tech.* 23 (1988) : 945-989.
 14. Danner, R.P. and Chai, E.C.F. Mixture Adsorption Equilibria of Ethane and Ethylene on 13X Molecular Sieves. *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 17 (1978) : 249-253.
 15. Hyun, S.H and Danner, R.P. Equilibrium Adsorption of Ethane, Ethylene, Isobutane, Carbon Dioxide, and Their Binary Mixtures on 13X Molecular Sieves, *J. Chem. Eng. Data.* 27 (1982a) : 196-200.
 16. Valenzuels, D.P. and Mayers, A.L. Adsorption Equilibrium Data Handbook. New Jersey : Prentice Hall : Englewood Cliffs, 1989. cited in Kaul, B.K. modern version of volumetric Apparatus for Measuring Gas-Solid Equilibrium Data. *Ind. Eng. Chem. Res.* 26 (1987) : 928-933.
 17. Danner, R.P. ; Nicoletti, M.P. ; and Al-Ameeri, R.S. Determination of Gas Mixture Adsorption Equilibrium by the Tracer-Pulse Technique. *Chem. Eng. Sci.* 35 (1980) : 2129-2133.
 18. Hyun, S.H. and Danner, R.P. Determination of Gas Adsorption Equilibria by the concentration- Pulse Technique. *AICHE Sym. Series.* 78 (1982b) : 19-28.
 19. Hyun, S.H. and Danner, R.P. Adsorption Equilibrium Constants and Intraparticle Diffusivities in Molecular Sieves by Tracer-Pulse Chromatography. *AICHE J.* 31 (1985) : 1077-

1085.

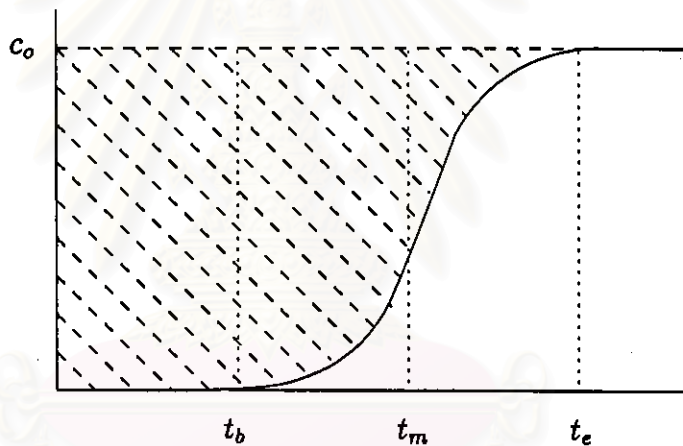
20. Hufton, I.R. and Danner, R.P. Chromatographic Study of Alkanes in Silicalite : Equilibrium Properties, Transport Properties. *AIChE J.* 39 (1993) : 954-974.
21. Hufton, J.R. and Danner, R.P. Gas-Solid Diffusion and Equilibrium Parameters by Tracer Pulse Chromatography. *Chem. Eng. Sci.* 46 (1991) : 2079-2091.
22. Schneider, P. and Smith, J.M. Adsorption Rate Constants From Chromatography. *AIChE J.* 14 (1968) : 762-771.
23. Kershenbaum, L.S. and Kohler, M.A. Adsorption in non-isobaric fixed beds-II. Measurements of rates of Adsorption. *Chem. Eng. Sci.* 39 (1984) : 1423-1426.
24. Farooq, F. ; Rathor, M.N. and Hidajat, K. A. Prediction Model for a Kinetically Controlled Pressure Swing Adsorption Separation Process. *Chem. Eng. Sci.* 48 (1993) : 4129-4141.
25. Foeth, F. ; Bosch, H. ; Sjostand, A; Aly, G.; and Reith, T. Equilibrium Adsorption Data from Breakthrough Curves with Variable Velocity and Pressure. *Sep. Sci. Tech.* 31(1996) : 21-38.
26. Miyabe, K. and Suzuki, M. Estimation of an Adsorption Isotherm by Analyzing a Desorption Curve. *J. Chem. Eng. Japan.* 24 (1991) : 772-777.
27. Farooq, S. and Malek, A. Determination of Equilibrium Isotherms Using Dynamic Column Breakthrough and Constant flow Equilibrium Desorption. *J. Chem. Eng. Data.* 41 (1996) : 25-32.
28. Yang, R.T. *Gas Separation by Adsorption Processes*, London: Butter Worths, 1987.
29. Kondis, E.F. and Dranoff, J.S. Kinetics of Isothermal Sorption of Ethane on 4A Molecular sieve Pellets. *Ind. Eng. Chem. Process. Des. Develop.* 10 (1971) : 108-114.
30. Ruthven, D.M. and Longlin, K.F. The Sorption and Diffusion of n-butane in Linde 5A Molecular sieve. *Chem. Eng. Sci.* 26 (1971) : 1145-1154.

31. Breck, D.W. *Zeolite Molecular Sieves*. New York : John Wiley, 1974.
32. Ruthven, D.M. *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. New York : John Wiley and Sons, 1984.
33. Barrer, R.M. Sorption by zeolites Part I. Equilibria and Energetics. *J. Coll. Interface Sci.* 21 (1966) : 227-259.
34. Barthomeuf, D. *Spectroscopic Investigations of Zeolite Properties. Zeolite Microporous Solids : Synthesis, Structure, and Reactivity*. Natherland. : Klurer Academic Publisher, 1992.
35. Suzuki, M. *Adsorption Engineering Japan* : Kodansha Ltd., 1990.
36. Radrigues, A.E. ; Levan, M.D. ; and Tondeur, D. *Adsorption : Sci. Tech. NATO ASI series.* 158 (1989).
37. Bird, B.R. ; Stewart, W.E. ; and Lightfoot, E.N. *Transport phenomena*. New York : John Wiley and Sons, 1960.
38. Perry, R.H. ; Green, D.W. ; and Maloney, J.O. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 6th ed. : McGraw-Hill Book Company, 1984.
39. Sax, I.N. *Dangerous Properties of Industrial Materials*. Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
40. Chatzopoulos, D. ; Varma, A. ; and Irrine, R.L. Activated Carbon Adsorption and Desorption of Toluene in the Aqueous Phase. *AIChE J.* 39 (1993) : 2027-2041.
41. Petrucci, R.H. *General Chemistry*. London : Collier Macmillan Publishers, 1977.
42. Choudhary, V.R. and Mayadevi, S. Adsorption of Methane, Ethane, Ethylene, and Carbon Dioxide on X, Y, L, and M Zeolites Using a Gas Chromatography Pulse Technique. *Sep. Sci. Tech.* 28 (1993) : 1595-1607.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 ปริมาณการดูดซับ



รูปที่ ก.1: เส้นโค้งไหลผ่านทะเล

ปริมาณการดูดซับ ณ ภาวะสมดุล (q) สำหรับสารป้อนความเข้มข้น c_o สามารถคำนวณได้จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล โดยการคูณมวลสารรอบหอดูดซับ ดังนี้

$$\begin{array}{rcl} \text{จำนวนโมลเข้า} & \text{จำนวนโมลออก} & \text{จำนวนโมลสะสม (M)} \\ Q t_e c_o & - Q (t_e - t_m) c_o & = A_c L (\epsilon c_o + (1 - \epsilon) \rho_s q) \end{array}$$

ดังนั้น

$$M = Q t_m c_o = A_c L (\epsilon c_o + (1 - \epsilon) \rho_s q) \quad (\text{ก.1})$$

โดย t_m คือ เวลาเฉลี่ยที่สารถูกดูดซับอยู่ในหอดูดซับ, M คือ สารถูกดูดซับที่สะสมในหอดูดซับ ซึ่งแทนได้ด้วยพื้นที่แรงงา (A_m) ในรูปที่ ก.1 และสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M = A_m \times N \quad (\text{ก.2})$$

โดย N คือ อัตราการไหลเชิงโมล
 สำหรับการไหลผ่านทะเลหอดูดซับซีโอไลต์ NaX ของแก๊สที่แทนความเข้มข้นร้อยละ 12.35 โดย
 ปริมาตร ณ สภาวะอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

- ความยาวของส่วนบรรจุซีโอไลต์, $L = 8 \text{ cm}$
- พื้นที่หน้าตัดของหอดูดซับ, $A = 0.164 \text{ cm}^2$
- ความพรุนของส่วนบรรจุซีโอไลต์, $\varepsilon = 0.353$
- ความดันของหอดูดซับ, $P_a = 2.648 \text{ atm}$
- อุณหภูมิของระบบ, $T = 323 \text{ }^\circ\text{K}$
- ความหนาแน่นของอนุภาคซีโอไลต์, $\rho_s = 1.251 \text{ g/cm}^3$
- ความเข้มข้นของสารป้อน, $c_o = \frac{P}{RT}$

$$: P = P_a \times y_i = 2.648 \times 0.1235 = 0.327 \text{ atm} = 33.07 \text{ kPa}$$

$$: \text{ความเข้มข้นของโพรเพนในถังแก๊ส} = 99.89 \%$$

$$: R = 82.05 \text{ cm}^3 \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{ }^\circ\text{K} \quad , T = 323 \text{ }^\circ\text{K}$$

ดังนั้น

$$c_o = \left(\frac{0.327}{82.05 \times 323} \right) \times 0.9989 = 1.233 \times 10^{-5} \text{ mol/cm}^3$$

- อัตราการไหลเชิงโมล, $N = \frac{PQ}{RT}$

$$: \text{อัตราการไหลเชิงปริมาตร, } Q = 2.51 \text{ cm}^3/\text{s}$$

ดังนั้น

$$N = \frac{0.327 \times 2.51}{82.05 \times 323} \times 0.9989 = 3.094 \times 10^{-5} \text{ mol/s}$$

- พื้นที่แรงจากการอินทิเกรตพื้นที่บนเส้นโค้งไหลผ่านทะเลที่ได้จากผลการทดลอง, $A_m =$

31.709 s

ดังนั้น

$$M = 31.709 \times 3.094 \times 10^{-5} = 9.811 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

แทนค่าต่างในสมการ ก.1 จะได้

$$q = 0.9179 \text{ mmol/g}$$

ก. 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่สมดุลของแลงเมียร์ สำหรับกรณี พิจารณาปริมาณการดูดซับต่อมวล และต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์

กำหนดให้ A = พื้นที่ผิวต่อมวลของซีโอไลต์ (m^2/g)

- กรณีพิจารณาปริมาณการดูดซับต่อมวลของซีโอไลต์, q [= mmol/g]

จากแบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์

$$\begin{aligned} \frac{q}{q_s} &= \frac{K_L P}{1 + K_L P} \\ \frac{1}{q} &= \frac{1}{q_s} + \frac{1}{K_L \cdot q_s} \left(\frac{1}{P}\right) \\ \frac{1}{P} &= \left(\frac{1}{q} - \frac{1}{q_s}\right) K_L \cdot q_s \end{aligned} \quad (\text{ก.3})$$

- กรณีพิจารณาปริมาณการดูดซับต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์, $\frac{q}{A}$ [= mmol/ m^2]

จากแบบจำลองสมดุลการดูดซับของแลงเมียร์ จะได้

$$\begin{aligned} \frac{q/A}{q_s/A} &= \frac{K_{LA} P}{1 + K_{LA} P} \\ \frac{1}{q/A} &= \frac{1}{q_s/A} + \frac{1}{K_{LA} \cdot q_s/A} \left(\frac{1}{P}\right) \end{aligned} \quad (\text{ก.4})$$

แทนสมการ (ก.3) ใน (ก.4) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{1}{q/A} &= \frac{1}{q_s/A} + \frac{1}{K_{LA} \cdot q_s/A} \left(\frac{1}{q} - \frac{1}{q_s}\right) K_L \cdot q_s \\ \left(\frac{1}{q/A} - \frac{1}{q_s/A}\right) &= \frac{K_L}{K_{LA}} \left(\frac{1}{q/A} - \frac{1}{q_s/A}\right) \\ K_{LA} &= K_L \end{aligned}$$

ก. 3 ปริมาณการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ จากแผนภาพจำลอง การจัดเรียงอะตอมของผลึกซิลิโอสไลต์เป็นแบบระนาบ

ก. 3.1 พื้นที่ภาพฉายของระนาบพื้นผิว ของภาพจำลองการจัดเรียงอะตอมของ ผลึกซิลิโอสไลต์ เป็นแบบระนาบ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่ภาพฉายของอะตอม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึก แสดงได้

ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1: ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่ภาพฉายของอะตอม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของ
ผลึกซิลิโอสไลต์

อะตอม	เส้นผ่านศูนย์กลาง (Å)	พื้นที่ภาพฉาย (Å ²)
Si	0.82	0.5281
Al	1.00	0.7854
O	1.74	2.3779

ซิลิโอสไลต์ NaA

- จำนวนอะตอมในสูตรโมเลกุลของผลึกซิลิโอสไลต์ NaA

$$\text{Si} = 12 \text{ อะตอม}, \quad \text{O}^- = 12 \text{ อะตอม}$$

$$\text{Al} = 12 \text{ อะตอม}, \quad \text{O} = 32 \text{ อะตอม}$$

ดังนั้น พื้นที่ภาพฉายรวมของอะตอมซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึกซิลิโอสไลต์ NaA คำนวณได้
จาก จำนวนอะตอมแต่ละชนิดในสูตรโมเลกุลของผลึก และพื้นที่ภาพฉายของอะตอมชนิดนั้น ซึ่ง
แสดงได้ดังนี้

$$\text{Si} = 12 \times 0.5281 = 6.34 \text{ Å}^2$$

$$\text{Al} = 12 \times 0.7854 = 9.42 \text{ Å}^2$$

$$\text{O}^- = 12 \times 2.3779 = 28.54 \text{ Å}^2$$

$$\text{O} = 32 \times 2.3779 = 76.09 \text{ Å}^2$$

- พื้นที่ภาพฉายรวมของอะตอมซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึกซิลิโอสไลต์ NaA (A_p)

$$A_p = 6.34 + 9.42 + 28.54 + 76.09 = 120.39 \text{ Å}^2 = 1.204 \times 10^{-18} \text{ m}^2$$

ซิลิโอสไลต์ NaX

- จำนวนอะตอมในสูตรโมเลกุลของผลึกซิลิโอสไลต์ NaX

$$\begin{aligned} \text{Si} &= 115 \text{ อะตอม}, & \text{O}^- &= 77 \text{ อะตอม} \\ \text{Al} &= 77 \text{ อะตอม}, & \text{O} &= 307 \text{ อะตอม} \end{aligned}$$

ดังนั้น พื้นที่ภาพฉายรวมของอะตอมซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึกซีโอไลต์ NaX คำนวณได้จาก จำนวนอะตอมแต่ละชนิดในสูตรโมเลกุลของผลึก และพื้นที่ภาพฉายของอะตอมชนิดนั้น ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Si} &= 115 \times 0.5281 = 60.73 \text{ \AA}^2 \\ \text{Al} &= 77 \times 0.7854 = 60.48 \text{ \AA}^2 \\ \text{O}^- &= 77 \times 2.3779 = 183.10 \text{ \AA}^2 \\ \text{O} &= 307 \times 2.3779 = 730.02 \text{ \AA}^2 \end{aligned}$$

- พื้นที่ภาพฉายรวมของอะตอมซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึกซีโอไลต์ NaX (A_p)

$$A_p = 60.73 + 60.48 + 183.10 + 730.02 = 1034.33 \text{ \AA}^2 = 1.034 \times 10^{-17} \text{ m}^2$$

ซีโอไลต์ NaY

- จำนวนอะตอมในสูตรโมเลกุลของผลึกซีโอไลต์ NaY

$$\begin{aligned} \text{Si} &= 144 \text{ อะตอม}, & \text{O}^- &= 48 \text{ อะตอม} \\ \text{Al} &= 48 \text{ อะตอม}, & \text{O} &= 336 \text{ อะตอม} \end{aligned}$$

ดังนั้น พื้นที่ภาพฉายรวมของอะตอมซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึกซีโอไลต์ NaY คำนวณได้จาก จำนวนอะตอมแต่ละชนิดในสูตรโมเลกุลของผลึก และพื้นที่ภาพฉายของอะตอมชนิดนั้น ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Si} &= 144 \times 0.5281 = 76.05 \text{ \AA}^2 \\ \text{Al} &= 48 \times 0.7854 = 37.70 \text{ \AA}^2 \\ \text{O}^- &= 48 \times 2.3779 = 114.14 \text{ \AA}^2 \\ \text{O} &= 336 \times 2.3779 = 798.97 \text{ \AA}^2 \end{aligned}$$

- พื้นที่ภาพฉายรวมของอะตอมซึ่งเป็นองค์ประกอบของผลึกซีโอไลต์ NaY (A_p)

$$A_p = 76.05 + 37.70 + 114.14 + 798.97 = 1026.86 \text{ \AA}^2 = 1.027 \times 10^{-17} \text{ m}^2$$

ก. 3.2 ปริมาณการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์

สำหรับการดูดซับแก๊สมีเทน ณ ตำแหน่งออกซิเจนประจุลบ บนระนาบพื้นผิวของภาพจำลองการจัดเรียงอะตอมของผลึกซีโอไลต์ NaX เป็นแบบระนาบ

- จำนวนโมเลกุลซึ่งถูกดูดซับโดยไม่มีการซ้อนทับกัน = 77 โมเลกุล

- ปริมาณการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์, $q_s = \frac{\text{amount of molecular adsorbed}}{\text{total projected area of model}}$

: พื้นที่ภาพฉายของภาพจำลองของผลึกซีโอไลต์ NaX = $1.034 \times 10^{-17} \text{ m}^2$

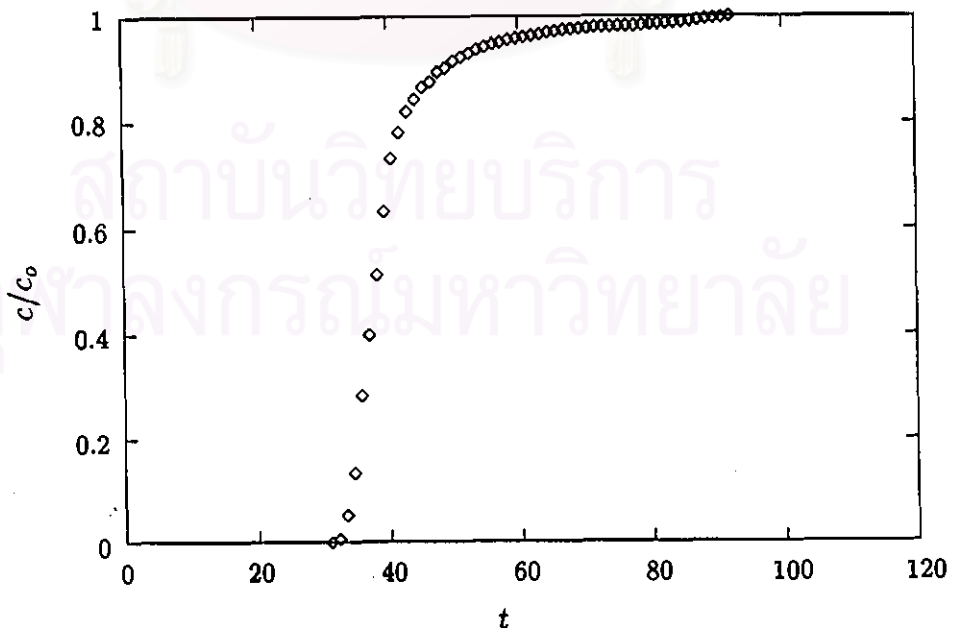
ดังนั้น

$$\begin{aligned} q_s &= \frac{77}{1.034 \times 10^{-17}} \frac{\text{molecule}}{\text{m}^2} \\ &= 7.444 \times 10^{18} \frac{\text{molecule}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1}{6.02 \times 10^{23}} \frac{\text{mmol}}{\text{molecule}} \\ &= 0.0124 \frac{\text{mmol}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

สำหรับการดูดซับโมเลกุลของแก๊สไฮโดรคาร์บอนบนซีโอไลต์กรณีอื่น ปริมาณการดูดซับสูงสุดต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

ก. 4 กราฟการกระจายความเข้มข้นของแก๊สถูกดูดซับ และความยาวของบริเวณถ่ายเทมวลสาร

สำหรับเส้นโค้งการไหลผ่านทะลุหอดูดซับซีโอไลต์ NaY ด้วยความเร็วประมาณ 15 เซนติเมตรต่อวินาที ของแก๊สโพรเพนความเข้มข้นประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ณ สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2: เส้นโค้งการไหลผ่านทะลุหอดูดซับซีโอไลต์ NaY ของแก๊สโพรเพนความเข้มข้นประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ด้วยความเร็วประมาณ 15 เซนติเมตรต่อวินาที ณ สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ณ สัดส่วนความเข้มข้น $c/c_0 = 0.05$

- $L = 8 \text{ cm}$
- $t_b = 30.972 \text{ sec}$
- $t_{0.05} = 33.240 \text{ sec}$

จากสมการที่ 4.5

$$w_{c/c_0} = \frac{L}{t_{c/c_0}}$$

ดังนั้น

$$w_{0.05} = \frac{8}{33.240} = 0.241 \text{ cm/s}$$

จากสมการที่ 4.6

$$S_{c/c_0} = w_{c/c_0} t_b$$

ดังนั้น

$$S_{0.05} = 0.241 \times 30.972 = 7.454 \text{ cm}$$

ณ สัดส่วนความเข้มข้น $c/c_0 = 0.95$

- $L = 8 \text{ cm}$
- $t_b = 30.972 \text{ sec}$
- $t_{0.95} = 56.760 \text{ sec}$

จากสมการที่ 4.5

$$w_{c/c_0} = \frac{L}{t_{c/c_0}}$$

ดังนั้น

$$w_{0.95} = \frac{8}{56.760} = 0.141 \text{ cm/s}$$

จากสมการที่ 4.6

$$S_{c/c_0} = w_{c/c_0} t_b$$

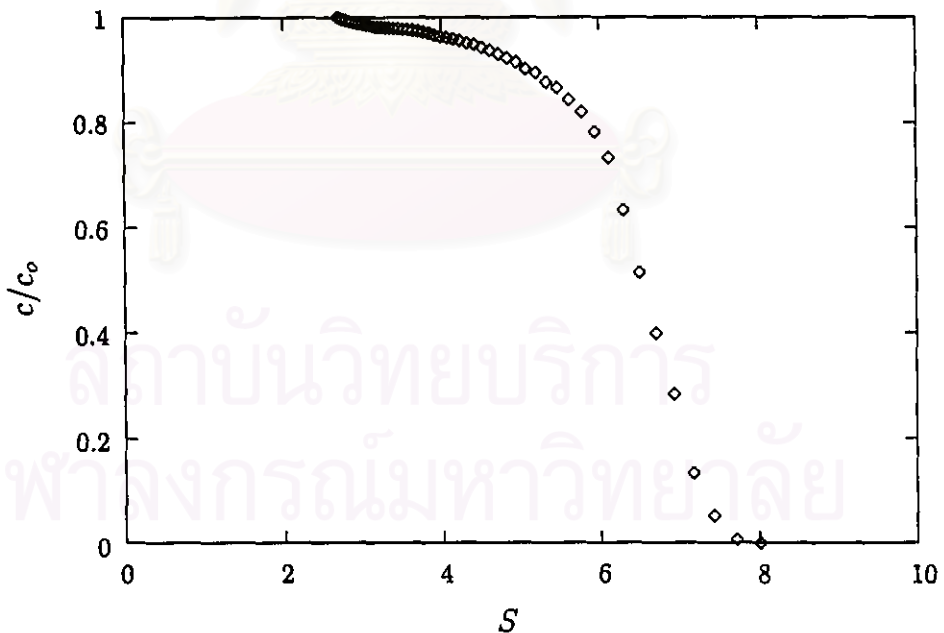
ดังนั้น

$$S_{0.95} = 0.141 \times 30.972 = 4.365 \text{ cm}$$

- ความยาวของบริเวณถ่ายเทมวลสาร (MTZ Length)

$$\begin{aligned} \text{MTZ Length} &= S_{0.05} - S_{0.95} \\ &= 7.454 - 4.365 \\ &= 3.089 \end{aligned}$$

ตำแหน่งตามแนวความยาวของหลอดดูดซับ ณ สัดส่วนความเข้มข้นต่างๆ สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน ดังนั้น กราฟการกระจายความเข้มข้นของแก๊สโพรเพน ภายในหลอดดูดซับซีโอไลต์ NaY ณ สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แสดงได้ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3: กราฟการกระจายความเข้มข้นของแก๊สโพรเพนความเข้มข้นประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ภายในหลอดดูดซับซีโอไลต์ NaY ณ สภาวะอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ก.5 ปริมาณความร้อนของการดูดซับ

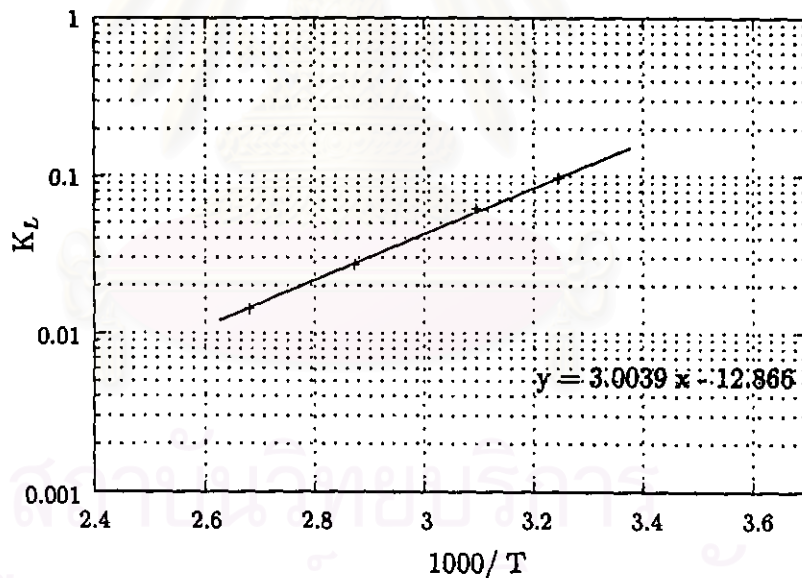
จากสมการของแวนต์ฮอฟฟ์

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

เมื่อปริมาณความร้อนของการดูดซับ (ΔH) คงที่ สมการของแวนต์ฮอฟฟ์สามารถอินทิเกรตได้เป็น

$$\ln K = \ln K_0 + \frac{-\Delta H}{RT}$$

สำหรับการดูดซับแก๊สโพรเพนบนซีโอไลต์ NaX ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $\ln K$ และ $\frac{1}{T}$ ดังรูปที่ ก.4 ปริมาณความร้อนของการดูดซับ สามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟ ดังนี้



รูปที่ ก.4: ค่าคงที่ของแลงเมียร์ สำหรับการดูดซับแก๊สโพรเพนบนซีโอไลต์ NaX

$$\begin{aligned} -\Delta H &= \text{slope} \times R \\ &= 3.0039 \times 8.314 \text{ J/mol} \\ &= 24.97 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง

จากรูป ก.1 พื้นที่แรงจากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล (M) และความเข้มข้นของสารป้อน ซึ่งใช้คำนวณปริมาณการดูดซับโดยสมการ ก.1 แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ข.1: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊สมีเทนบนซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
0.94	0.53	0.92	0.49
1.64	1.02	1.61	0.88
2.18	1.23	2.18	1.15
2.75	1.41	2.76	1.53
3.23	1.81	3.36	1.64
4.14	2.32	3.90	2.12
4.59	2.47	4.64	2.18
		5.35	2.84
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
0.98	0.49	0.95	0.46
1.65	0.88	1.63	0.81
2.19	1.08	2.12	1.06
2.70	1.20	2.73	1.13
3.29	1.68	3.20	1.59
4.16	2.02	4.17	1.89
		4.59	2.24

ตารางที่ ข.2: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊สฮีเทนบนซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.32	5.08	1.23	3.96
2.01	6.70	1.86	5.33
2.58	7.36	2.51	6.37
3.24	8.67	3.16	7.29
3.79	9.64	3.69	8.03
4.44	10.25	4.43	8.79
5.36	11.00	4.87	9.32
		5.28	9.49
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.74	4.03	1.67	2.41
1.88	4.10	1.88	2.62
2.59	5.08	2.56	3.23
3.21	6.24	3.17	3.99
4.10	7.09	4.06	4.59
4.65	7.24	4.53	5.33

ตารางที่ ข.3: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านหลอด และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊ส ไพรเพนบนซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.08	5.25	1.25	3.80
1.95	6.66	2.00	4.72
2.65	8.05	2.69	6.08
3.02	8.62	2.92	6.31
3.79	8.99	3.68	6.52
4.28	9.09	4.27	7.28
4.48	9.38	4.43	7.64
4.85	9.68	4.96	7.84
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.07	2.64	1.04	1.47
1.92	3.94	1.92	2.60
2.61	4.26	2.63	2.85
2.97	5.00	2.96	3.37
3.62	5.93	3.57	3.52
4.41	6.00	4.21	4.00
5.06	6.80	4.57	4.28

ตารางที่ ข.4: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊ส มีเทนบนซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.07	1.14	0.95	0.93
1.63	1.95	1.61	1.46
2.11	2.18	2.08	2.01
2.72	2.99	2.69	2.57
3.87	4.22	3.43	3.23
4.92	4.89	3.61	3.46
5.27	5.13	4.56	4.27
5.57	5.22	5.11	4.52
		5.48	4.68
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
0.97	0.84	0.94	0.74
1.61	1.58	1.59	1.14
2.34	1.88	2.03	1.39
2.97	2.35	2.71	2.33
3.46	3.13	3.24	2.66
4.27	3.4	4.04	2.91
4.80	4.04	4.57	3.22
5.23	4.54	4.89	3.41

ตารางที่ ข.5: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊สฮีเทินบนซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.26	11.46	1.22	9.49
2.00	15.78	1.23	9.81
2.61	18.10	1.38	9.96
3.42	20.20	1.89	11.66
4.07	20.98	1.99	12.48
4.84	22.24	2.05	11.79
5.45	23.26	2.56	14.03
5.73	23.34	2.60	15.18
T, 75 °C		2.73	15.02
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	3.31	16.10
1.19	6.98	3.34	17.34
1.88	9.66	3.44	16.64
2.57	11.41	3.67	18.82
3.23	13.06	3.90	18.92
3.88	15.20	3.94	18.18
4.36	15.84	4.52	19.23
4.82	15.94	4.59	19.39
5.35	16.65	5.07	19.52
		5.45	20.67
T, 100 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.13	3.45	3.74	9.06
1.83	5.31	4.28	9.84
2.44	6.73	4.69	10.18
3.14	7.62		

ตารางที่ ข.6: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะลุ และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊ส ไพรเพนบนซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.14	13.43	1.12	10.56
1.90	17.08	1.96	14.24
2.58	17.11	2.54	14.51
3.06	18.07	2.88	14.72
3.65	19.50	3.64	16.66
3.89	20.15	3.96	17.29
4.43	20.39	4.44	17.76
4.76	20.51	4.54	18.12
5.04	20.73		
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.07	6.31	1.08	4.20
1.88	9.12	1.89	5.41
2.58	9.73	2.53	7.70
2.86	11.97	2.88	8.80
3.50	12.06	3.46	8.90
3.79	12.18	3.78	9.27
4.49	13.53	4.30	10.14
4.59	13.83	4.63	10.39
4.97	14.26		

ตารางที่ ข.7: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊ส มีเทนบนซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
0.96	2.88	0.95	2.04
1.67	4.80	1.63	3.46
2.18	6.22	2.19	5.25
2.74	8.72	2.76	5.51
3.24	9.40	3.29	5.96
4.08	9.56	3.85	7.19
4.39	9.77	5.15	8.88
4.95	11.13		
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
0.95	1.31	0.95	0.89
1.62	2.54	1.58	1.57
2.12	3.03	2.10	1.75
2.90	3.29	2.38	2.13
3.47	4.28	3.19	3.13
3.89	4.76	3.79	3.32
4.48	6.27	4.32	3.71

ตารางที่ ข.8: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านท่อ และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊สฮีเทรนบนซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.07	13.95	1.07	10.47
1.91	20.24	1.88	14.68
2.42	21.29	2.36	16.66
3.11	22.27	3.08	17.78
3.70	23.35	3.73	19.03
4.48	24.07	4.45	20.15
4.80	24.67	4.80	20.36
5.20	24.94	5.01	20.56
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.03	6.62	1.53	5.82
1.82	10.38	1.67	6.35
2.26	10.65	2.40	7.65
3.00	13.12	2.69	8.90
3.53	14.29	3.70	10.84
4.32	15.81	4.37	12.23
4.67	16.26		

ตารางที่ ข.9: พื้นที่จากเส้นโค้งไหลผ่านทะเล และความเข้มข้นของสารป้อน สำหรับการดูดซับแก๊ส ไพรเพนบนซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C		T, 50 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.03	17.91	1.08	13.68
1.95	19.14	1.93	15.45
2.81	21.56	2.77	16.65
3.09	21.76	3.04	18.38
3.76	22.41	3.83	18.84
4.40	22.65	4.40	18.96
4.62	22.98	4.64	19.14
5.24	23.13	5.05	19.54
T, 75 °C		T, 100 °C	
$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)	$c \times 10^5$ (mol/cm ³)	$M \times 10^4$ (mol)
1.03	8.30	1.00	4.80
1.88	12.37	1.83	7.84
2.71	13.62	2.59	8.42
3.03	13.64	3.04	9.63
3.70	13.89	3.59	11.20
4.34	15.56	4.32	11.47
4.72	15.81	4.56	11.92

ภาคผนวก ค

ปริมาณการดูดซับต่อมวลของซีโอไลต์

ข้อมูลสมมูลแสดงปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทน อีเทน และโพรเพน ต่อมวลของซีโอไลต์ ณ สภาวะอุณหภูมิต่างๆ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ค.1: ปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทนต่อมวลของซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
9.33	24.29	0.0450	9.33	25.09	0.0419
16.51	42.52	0.0881	16.51	43.84	0.0754
22.19	56.57	0.1050	22.92	59.43	0.0981
28.97	71.56	0.1199	30.11	75.19	0.1310
34.03	84.05	0.1548	37.44	91.48	0.1382
45.03	107.63	0.1979	43.82	106.14	0.1805
50.00	119.52	0.2100	52.59	126.26	0.1830
			61.25	145.76	0.2415
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
10.40	28.62	0.0409	10.40	29.84	0.0383
17.67	48.35	0.0751	18.30	51.03	0.0680
24.12	64.07	0.0915	24.12	66.64	0.0891
30.11	79.19	0.0998	31.69	85.84	0.0930
37.44	96.45	0.1420	37.44	100.63	0.1339
49.23	121.87	0.1702	51.34	130.91	0.1579
			56.61	144.34	0.1886

ตารางที่ ค.2: ปริมาณการดูดซับแก๊สไอเทนต์ต่อมวลของซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
13.15	34.24	0.4694	13.15	33.54	0.3650
20.17	52.07	0.6172	20.17	50.79	0.4897
27.41	66.98	0.6764	27.41	68.44	0.5842
35.27	84.32	0.7964	35.27	86.19	0.6673
41.16	98.39	0.8850	41.16	100.57	0.7347
50.54	115.43	0.9389	50.54	120.80	0.8023
64.00	139.38	1.0043	56.58	132.83	0.8498
			64.00	144.14	0.8636
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
21.56	51.08	0.3689	21.56	52.68	0.2182
27.24	55.26	0.3754	27.24	59.32	0.2362
34.02	76.26	0.4638	34.02	80.60	0.2905
42.95	94.46	0.5689	42.95	99.93	0.3586
58.79	120.54	0.6442	58.79	128.03	0.4112
69.70	136.98	0.6566	69.70	142.92	0.4779

ตารางที่ ค.3: ปริมาณการดูดซับแก๊สโพรเพนต่อมวลของซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.12	28.06	0.4861	13.07	34.01	0.3498
20.46	50.65	0.6140	21.69	54.62	0.4328
28.51	68.90	0.7412	30.04	73.41	0.5567
32.68	78.47	0.7925	34.44	82.69	0.5764
41.95	98.49	0.8237	41.95	100.30	0.5928
51.18	111.47	0.8312	48.76	116.34	0.6612
56.41	116.86	0.8567	53.42	120.89	0.6947
59.44	123.14	0.8834	61.04	135.53	0.7104
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.76	31.37	0.2423	11.76	32.75	0.1325
21.69	56.46	0.3600	22.60	60.51	0.2342
30.04	76.61	0.3825	31.73	82.58	0.2543
34.44	87.09	0.4539	36.55	93.20	0.3014
43.01	106.23	0.5381	44.58	112.26	0.3127
54.19	129.53	0.5417	53.76	132.52	0.3547
65.17	148.85	0.6129	58.82	143.73	0.3801

ตารางที่ ๓.4: ปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทนต่อมวลของซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
10.52	27.72	0.1023	9.59	25.79	0.0834
16.29	42.40	0.1766	16.29	43.78	0.1301
21.53	54.89	0.1956	21.53	56.61	0.1803
28.37	70.82	0.2694	28.37	73.23	0.2300
42.12	100.68	0.3804	37.44	93.47	0.2890
53.54	127.98	0.4385	40.26	98.37	0.3102
60.02	137.08	0.4596	52.07	124.45	0.3821
66.57	144.97	0.4672	58.82	139.35	0.4037
			65.45	149.49	0.4167
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
10.26	28.33	0.0752	10.26	29.42	0.0651
17.41	47.17	0.1419	17.83	50.01	0.1002
25.91	68.81	0.1665	23.11	63.82	0.1223
33.50	87.18	0.2087	31.36	84.96	0.2075
39.31	101.49	0.2799	38.37	101.90	0.2362
50.27	125.49	0.3013	48.71	126.78	0.2563
57.73	141.06	0.3597	56.28	143.50	0.2830
64.07	153.81	0.4042	62.91	153.72	0.2999

ตารางที่ ค.5: ปริมาณการดูดซับแก๊สไฮเทนต่อมวลของซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
12.35	32.41	1.0733	12.29	32.90	0.8879
20.38	51.31	1.4768	12.35	33.07	0.9179
27.82	67.06	1.6932	13.83	37.01	0.9321
36.43	87.83	1.8868	19.37	50.83	1.0892
43.73	104.26	1.9574	20.38	53.48	1.1665
57.88	124.18	2.0727	20.97	55.03	1.1012
65.11	139.69	2.1660	27.37	68.89	1.3102
72.05	146.92	2.1722	27.82	70.02	1.4182
T, 75 °C			29.13	73.32	1.4025
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	36.11	88.99	1.5017
12.35	34.38	0.6522	36.43	90.54	1.6185
20.38	54.56	0.9015	37.54	92.51	1.5513
27.82	74.46	1.0635	40.05	98.70	1.7558
36.43	93.63	1.2154	42.53	104.81	1.7642
43.73	112.39	1.4138	43.01	105.98	1.6945
51.26	126.32	1.4723	50.44	121.60	1.7912
57.88	139.54	1.4800	51.26	123.58	1.8060
65.11	154.90	1.5439	57.88	136.47	1.8162
			65.11	146.60	1.9226
T, 100 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
12.35	35.44	0.3203	43.73	117.53	0.8364
20.38	57.38	0.4915	51.26	134.51	0.9081
27.82	76.83	0.6228	57.88	147.57	0.9381
36.43	98.68	0.7041			

ตารางที่ ค.6: ปริมาณการดูดซับแก๊สโพรเพนต่อมวลของซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.59	29.54	1.2598	11.59	30.53	0.9895
19.73	49.47	1.5998	20.80	53.48	1.3325
27.40	66.94	1.6002	27.40	69.28	1.3549
33.17	79.47	1.6879	31.67	78.39	1.3731
41.55	94.91	1.8199	41.55	99.33	1.5528
45.18	101.28	1.8801	45.18	107.99	1.6102
53.01	115.44	1.9007	53.01	121.07	1.6532
56.91	123.96	1.9104	56.91	123.96	1.6864
63.38	131.30	1.9301			
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.59	31.39	0.5894	12.16	33.97	0.3911
20.80	55.24	0.8508	21.9	59.32	0.5013
29.95	75.74	0.9045	29.96	79.56	0.7135
33.17	83.87	1.1147	34.76	90.47	0.8164
41.55	102.86	1.1205	42.71	108.89	0.8231
45.18	111.36	1.1302	47.63	118.92	0.8562
55.44	131.93	1.2540	55.44	135.46	0.9321
59.09	134.97	1.2823	60.77	145.91	0.9582
65.56	146.26	1.3207			

ตารางที่ ๓.7: ปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทนต่อมวลของซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
9.70	25.03	0.3280	9.70	25.75	0.2307
17.04	43.46	0.5464	17.04	44.36	0.3909
22.58	56.61	0.7076	23.69	59.77	0.5948
29.47	71.37	0.9937	30.59	75.40	0.6223
34.90	84.34	1.0695	36.71	89.69	0.6714
44.66	106.27	1.0833	43.47	105.05	0.8100
50.14	114.52	1.1057	60.15	140.59	0.9987
57.77	128.87	1.2598			
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
10.29	27.89	0.1459	10.81	29.86	0.0978
17.95	47.67	0.2847	17.95	49.58	0.1734
23.69	62.28	0.3388	24.66	66.14	0.1905
32.68	85.06	0.3645	28.27	74.78	0.2334
40.78	101.81	0.4765	38.57	100.40	0.3442
46.84	114.45	0.5290	46.84	119.43	0.3632
54.50	131.71	0.7007	54.50	136.06	0.4049

ตารางที่ ๘.8: ปริมาณการดูดซับแก๊สไฮโดรเจนต่อมวลของซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.29	27.90	1.6073	11.29	29.16	1.2053
20.50	49.55	2.3297	20.50	51.19	1.6878
26.36	63.00	2.4488	26.36	64.40	1.9133
35.47	81.01	2.5579	35.47	84.78	2.0399
42.90	96.15	2.6806	42.90	101.62	2.1802
51.96	116.47	2.7594	51.96	121.43	2.3060
57.37	124.95	2.8270	57.37	131.04	2.3282
62.82	135.47	2.8559	62.82	136.82	2.3501
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.29	30.30	0.7596	21.15	48.30	0.6650
20.50	53.36	1.1905	21.99	52.56	0.7254
26.36	66.50	1.2187	31.94	75.67	0.8715
35.47	88.17	1.5008	41.74	93.11	1.0146
42.90	103.67	1.6333	56.33	116.70	1.2330
51.96	126.95	1.8051	68.44	138.15	1.4197
57.37	137.14	1.8553			

ตารางที่ ค.9: ปริมาณการดูดซับแก๊สโพรเพนต่อมวลของซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
10.45	26.65	2.0658	11.56	29.48	1.5764
20.85	50.72	2.2031	20.85	52.71	1.7756
28.44	68.58	2.4778	30.51	75.36	1.9105
34.28	80.48	2.4997	34.28	82.85	2.1086
43.70	97.96	2.5712	43.70	104.46	2.1573
51.31	114.46	2.5948	53.86	120.16	2.1684
55.23	120.28	2.6321	58.22	126.79	2.1880
66.67	136.69	2.6462	66.67	138.10	2.2315
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)	c (% V/V)	P (kPa)	q (mmol/g)
11.56	30.09	0.9540	11.56	31.57	0.5492
21.68	55.27	1.4203	21.68	57.57	0.8967
31.73	79.55	1.5598	31.73	81.57	0.9594
35.94	88.97	1.5603	37.95	95.54	1.0975
45.25	108.64	1.5863	45.25	112.97	1.2754
53.38	127.60	1.7758	56.24	135.91	1.3024
58.01	138.54	1.8031	59.95	143.62	1.3531

ภาคผนวก

ปริมาณการดูดซับต่อพื้นที่ผิวของ ซีโอไลต์

ข้อมูลสมมูลแสดงปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทน อีเทน และโพรเพน ต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ ณ สภาวะอุณหภูมิต่างๆ แสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ง.1: ปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
9.33	24.29	0.2071	9.33	25.09	0.1928
16.51	42.52	0.4055	16.51	43.84	0.3470
22.19	56.57	0.4833	22.92	59.43	0.4515
28.97	71.56	0.5519	30.11	75.19	0.6029
34.03	84.05	0.7125	37.44	91.48	0.6361
45.03	107.63	0.9109	43.82	106.14	0.8308
50.00	119.52	0.9665	52.59	126.26	0.8423
			61.25	145.76	1.1115
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
10.40	28.62	0.1882	10.40	29.84	0.1763
17.67	48.35	0.3457	18.30	51.03	0.3130
24.12	64.07	0.4211	24.12	66.64	0.4101
30.11	79.19	0.4593	31.69	85.84	0.4280
37.44	96.45	0.6536	37.44	100.63	0.6163
49.23	121.87	0.7834	51.34	130.91	0.7268
			56.61	144.34	0.8681

ตารางที่ ง.2: ปริมาณการดูดซับแก๊สฮีเทนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
13.15	34.24	2.1605	13.15	33.54	1.6799
20.17	52.07	2.8407	20.17	50.79	2.2539
27.41	66.98	3.1132	27.41	68.44	2.6888
35.27	84.32	3.6655	35.27	86.19	3.0713
41.16	98.39	4.0733	41.16	100.57	3.3815
50.54	115.43	4.3214	50.54	120.80	3.6927
64.00	139.38	4.6224	56.58	132.83	3.9113
			64.00	144.14	3.9748
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
21.56	51.08	1.6979	21.56	52.68	1.0043
27.24	55.26	1.7278	27.24	59.32	1.0871
34.02	76.26	2.1347	34.02	80.60	1.3371
42.95	94.46	2.6184	42.95	99.93	1.6505
58.79	120.54	2.9650	58.79	128.03	1.8926
69.70	136.98	3.0221	69.70	142.92	2.1996

ตารางที่ ง.3: ปริมาณการดูดซับแก๊สโพรเพนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaA

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.12	28.06	2.2373	13.07	34.01	1.6100
20.46	50.65	2.8260	21.69	54.62	1.9920
28.51	68.90	3.4114	30.04	73.41	2.5623
32.68	78.47	3.6476	34.44	82.69	2.6529
41.95	98.49	3.7912	41.95	100.30	2.7284
51.18	111.47	3.8257	48.76	116.34	3.0432
56.41	116.86	3.9430	53.42	120.89	3.1974
59.44	123.14	4.0659	61.04	135.53	3.2697
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.76	31.37	1.1152	11.76	32.75	0.6098
21.69	56.46	1.6569	22.60	60.51	1.0779
30.04	76.61	1.7605	31.73	82.58	1.1704
34.44	87.09	2.0891	36.55	93.20	1.3872
43.01	106.23	2.4767	44.58	112.26	1.4392
54.19	129.53	2.4932	53.76	132.52	1.6325
65.17	148.85	2.8209	58.82	143.73	1.7494

ตารางที่ ง.4: ปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
10.52	27.72	0.2146	9.59	25.79	0.1750
16.29	42.40	0.3705	16.29	43.78	0.2729
21.53	54.89	0.4103	21.53	56.61	0.3782
28.37	70.82	0.5651	28.37	73.23	0.4825
42.12	100.68	0.7980	37.44	93.47	0.6063
53.54	127.98	0.9199	40.26	98.37	0.6507
60.02	137.08	0.9641	52.07	124.45	0.8016
66.57	144.97	0.9801	58.82	139.35	0.8469
			65.45	149.49	0.8741
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
10.26	28.33	0.1578	10.26	29.42	0.1366
17.41	47.17	0.2977	17.83	50.01	0.2102
25.91	68.81	0.3493	23.11	63.82	0.2566
33.50	87.18	0.4378	31.36	84.96	0.4353
39.31	101.49	0.5872	38.37	101.90	0.4955
50.27	125.49	0.6321	48.71	126.78	0.5377
57.73	141.06	0.7546	56.28	143.50	0.5937
64.07	153.81	0.8479	62.91	153.72	0.6291

ตารางที่ ง.5: ปริมาณการดูดซับแก๊สฮีเทนต์ต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
12.35	32.41	2.2516	12.29	32.90	1.8626
20.38	51.31	3.0980	12.35	33.07	1.9256
27.82	67.06	3.5520	13.83	37.01	1.9553
36.43	87.83	3.9581	19.37	50.83	2.2849
43.73	104.26	4.1062	20.38	53.48	2.4471
57.88	124.18	4.3481	20.97	55.03	2.3101
65.11	139.69	4.5438	27.37	68.89	2.7485
72.05	146.92	4.5568	27.82	70.02	2.9751
T, 75 °C			29.13	73.32	2.9421
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	36.11	88.99	3.1502
12.35	34.38	1.3682	36.43	90.54	3.3953
20.38	54.56	1.8912	37.54	92.51	3.2543
27.82	74.46	2.2310	40.05	98.70	3.6833
36.43	93.63	2.5496	42.53	104.81	3.7009
43.73	112.39	2.9659	43.01	105.98	3.5547
51.26	126.32	3.0886	50.44	121.60	3.7576
57.88	139.54	3.1047	51.26	123.58	3.7886
65.11	154.90	3.2388	57.88	136.47	3.8100
			65.11	146.60	4.0332
T, 100 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
12.35	35.44	0.6719	43.73	117.53	1.7546
20.38	57.38	1.0311	51.26	134.51	1.9050
27.82	76.83	1.3065	57.88	147.57	1.9679
36.43	98.68	1.4771			

ตารางที่ ง.6: ปริมาณการดูดซับแก๊สโพรเพนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaX

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.59	29.54	2.6428	11.59	30.53	2.0758
19.73	49.47	3.3560	20.80	53.48	2.7953
27.40	66.94	3.3569	27.40	69.28	2.8423
33.17	79.47	3.5409	31.67	78.39	2.8805
41.55	94.91	3.8178	41.55	99.33	3.2574
45.18	101.28	3.9440	45.18	107.99	3.3779
53.01	115.44	3.9873	53.01	121.07	3.4681
56.91	123.96	4.0076	56.91	123.96	3.5377
63.38	131.30	4.0489			
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.59	31.39	1.2364	12.16	33.97	0.8204
20.80	55.24	1.7848	21.90	59.32	1.0516
29.95	75.74	1.8974	29.96	79.56	1.4968
33.17	83.87	2.3384	34.76	90.47	1.7126
41.55	102.86	2.3506	42.71	108.89	1.7267
45.18	111.36	2.3709	47.63	118.92	1.7961
55.44	131.93	2.6306	55.44	135.46	1.9553
59.09	134.97	2.6900	60.77	145.91	2.0101
65.56	146.26	2.7705			

ตารางที่ ง.7: ปริมาณการดูดซับแก๊สมีเทนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
9.70	25.03	0.4222	9.70	25.75	0.2969
17.04	43.46	0.7033	17.04	44.36	0.5031
22.58	56.61	0.9107	23.69	59.77	0.7656
29.47	71.37	1.2790	30.59	75.40	0.8010
34.90	84.34	1.3765	36.71	89.69	0.8642
44.66	106.27	1.3943	43.47	105.05	1.0425
50.14	114.52	1.4231	60.15	140.59	1.2854
57.77	128.87	1.6215			
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
10.29	27.89	0.1878	10.81	29.86	0.1259
17.95	47.67	0.3664	17.95	49.58	0.2232
23.69	62.28	0.4361	24.66	66.14	0.2452
32.68	85.06	0.4691	28.27	74.78	0.3004
40.78	101.81	0.6133	38.57	100.40	0.4430
46.84	114.45	0.6809	46.84	119.43	0.4675
54.50	131.71	0.9019	54.50	136.06	0.5211

ตารางที่ ๖.8: ปริมาณการดูดซับแก๊สฮีเทนต์ต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.29	27.90	2.0687	11.29	29.16	1.5513
20.50	49.55	2.9985	20.50	51.19	2.1724
26.36	63.00	3.1518	26.36	64.40	2.4626
35.47	81.01	3.2922	35.47	84.78	2.6255
42.90	96.15	3.4502	42.90	101.62	2.8061
51.96	116.47	3.5516	51.96	121.43	2.9680
57.37	124.95	3.6386	57.37	131.04	2.9966
62.82	135.47	3.6758	62.82	136.82	3.0248
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.29	30.30	0.9777	21.15	48.30	0.8559
20.50	53.36	1.5323	21.99	52.56	0.9337
26.36	66.50	1.5686	31.94	75.67	1.1217
35.47	88.17	1.9317	41.74	93.11	1.3059
42.90	103.67	2.1022	56.33	116.70	1.5870
51.96	126.95	2.3233	68.44	138.15	1.8273
57.37	137.14	2.3879			

ตารางที่ ง.9: ปริมาณการดูดซับแก๊สโพรเพนต่อพื้นที่ผิวของซีโอไลต์ NaY

T, 35 °C			T, 50 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
10.45	26.65	2.6589	11.56	29.48	2.0290
20.85	50.72	2.8356	20.85	52.71	2.2854
28.44	68.58	3.1892	30.51	75.36	2.4590
34.28	80.48	3.2173	34.28	82.85	2.7140
43.70	97.96	3.3094	43.70	104.46	2.7766
51.31	114.46	3.3397	53.86	120.16	2.7909
55.23	120.28	3.3878	58.22	126.79	2.8162
66.67	136.69	3.4059	66.67	138.10	2.8721
T, 75 °C			T, 100 °C		
c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)	c (% V/V)	P (kPa)	$q_a \times 10^3$ (mmol/m ²)
11.56	30.09	1.2279	11.56	31.57	0.7069
21.68	55.27	1.8281	21.68	57.57	1.1541
31.73	79.55	2.0076	31.73	81.57	1.2348
35.94	88.97	2.0082	37.95	95.54	1.4126
45.25	108.64	2.0417	45.25	112.97	1.6416
53.38	127.60	2.2856	56.24	135.91	1.6763
58.01	138.54	2.3208	59.95	143.62	1.7416



ประวัติผู้เขียน

นายยงยุทธ แสนสุพรรณ เกิดในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2514 จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขา
วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี
พ.ศ. 2536 และเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย