



### เอกสารอ้างอิง

1. Thailand 's Petrochemical Complex , " Thailand 's Petrochemical Complex Takes Off " , Thailand 's Petrochemical Complex , Bangkok , 1988.
2. Kohl , A.L. and Riesenfeld , F.C. , Gas Purification , Gulf Publishing Company ., Houston , 3rd ed., 1979.
3. Emmert , R.E. and Pigford , R.L. , AIChE J., 8, 171 and 702 , 1962.
4. Astarita , G. , M.Ch.Eng. Thesis , Newark , 1960.
5. Astarita , G. , Marrucci , G and Gioia .F, " The Influence of Carlonation Ratio and Total Amine Concentration on Carbon Dioxide Absorption in Aqueous Monoethanolamine Solutions , " Chem. Eng. Sci., 19, 95, 1964.
6. Danckwerts, P.V., and McNeil , K.M., " The Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Amine Solutions and The Effects of Catalysis , " Trans. Inst. Chem. Engrs . , 45 , T32 , 1967.
7. Sada , E ., Kumazawa , H. and Butt , M.A., " Chemical Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Solutions of Monoethanolamine," AIChE J., 22, 196, 1976.
8. Vanichseni , S., "Modelling and Parameter Estimation in The Absorption of CO<sub>2</sub> in Aqueous MEA Solution in A Pilot-Scale Packed Column ," Ph.D.thesis , University of London , 1977.
9. DeCoursey ,W.J. , " Absorption with Chemical Reaction : Development of A New Relation for the

- Danckwerts Model , " Chem.Eng.Sci., 29, 1867-1872, 1974.
10. Hikita , H., Asai , S., Katsu , Y. and Ikuno , S., "Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Monoethanolamine Solution , " AIChE J., 25, 793, 1979.
  11. Onda , K., Sada , E. and Takenchi , H., J.Chem.Eng. Japan 1 , 62, 1968.
  12. Hatta , S., Technol. Repts., Tohoku Imp. Univ. 10, 119, 1932.
  13. Sherwood, T.K., Pigford , R.L. and Wilke , C.R. , Mass Transfer , McGraw-Hill Book Company , Inc., New York, 1975.
  14. Danckwerts , P.V. , " Unsteady-State Diffusion or Heat-Conduction with Moving Boundary , Trans. Faraday Soc., 46, 701,1950.
  15. Danckwerts , P.V., Gas Liquid Reactions , McGraw-Hill Book Company , Inc., London, 1970.
  16. Van Krevelen , D.W. and Hoftijzer , P.J. , Rec. Trav. Chem., 67, 563, 1948.
  17. Brian , P.L.T. , Hurley , J.F and Hasseltine , E.H., AIChE J., 7, 226, 1961.
  18. Thomas , W.J. , AIChE J., 12, 1051,1966.
  19. Pinsent , B.R.W., Pearson , L., and Roughton , F.J.W., "The Kinetics of Combination of  $\text{CO}_2$  with  $\text{OH}^-$ ," Trans. Faraday Soc., 52 ,1512, 1956.
  20. สาธิต จิตต์จงรัก , " การออกแบบ และสร้างโรงงานต้นแบบผลิตแก๊สสังเคราะห์ , " วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530.
  21. Perry , R.H. , and Chilton , C.H., Chemical Engineers' Handbook , McGraw-Hill Book Company , Inc. , 5th ed., 1973.

22. Otto, F., "Shortcut Designs for Distillation Column," Chem. Eng. 84 , 6 (March 14) , 111-128 , 1977.
23. Yi-Chung Chang , " Potentiometric Titration of Free Amine Carbonate in Carbonated Monoethanolamine Solution , " . Anal. Chem. J., Vol 30 , NO.6 , 1958.
24. Astarita , G., David , W.S. and Attilio , B., Gas Treating with Chemical Solvents , John Wiley and Sons , Inc., 1983.
25. Juusola , J.A., Bacon , D.W. and Downie , J., Can. J. Chem. Eng., 50 , 796, 1972.
26. Foust , A.S., Principles of Unit Operations , John Wiley and Sons , Inc., 2nd ed., 1980.
27. ปิยะสาร ประเสริฐธรรม , หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพมหานคร , 2530.
28. Thomas , W.J. and Furzer , I.A., " Diffusion Measurements of Liquid by the Gouy Method , " Chem. Eng. Sci., 17, 115, 1962.
29. Welty , J.R. , Wilson , R.E. and Wicks , C.E. , Fundamentals of Momentum Heat and Mass Transfer , John Wiley and Sons , Inc., 2nd ed., 1976.
30. Clark , J.K.A. , " Kinetic of Absorption of Carbon Dioxide in Monoethanolamine Solutions at Short Contact Times, " Ind. Eng. Chem. Fundamentals , 3, 239, 1964.
31. Danckwerts , P.V. and Sharma , M.M., " The Absorption of Carbon Dioxide into Solutions of Alkalis and Amines , Chem. Engr., CE 244 , 1966.
32. Boxkes , W and Eming , G . , Chemie-Ing-Techn , 41, 1273, 1969.
33. Sharma , M.M., " Kinetics of Gas Absorption , " Ph.D. Thesis , University of Cambridge , 1964.

34. Hikita, H., Asai, S. and Himukashi, Y., "Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Ammonia Solutions (in Japanese)," Kagaku Kogaku, 35, 1021, 1971.
35. Deshmukh, R.D. and Mather A.E., "A Mathematical Model for Equilibrium Solubility of Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide in Aqueous Alkanolamine Solutions," Chemical Engineering Science, 36, 355-362, 1981.
36. Malpani, S.N. and Donnelly J.K., "Identification of a Packed Absorption Column," The Canadian Journal of Chemical Engineering, 51, 479-483, August, 1973.
37. Chyuan-Chung Chen, and Andrew Ng, "Determine Equilibrium Absorption Rates," Hydrocarbon Processing, 122-126, April 1980.
38. Vivian, J.E. and Behrmann, W.C., "The Effect of Concentration Level on The Gas Phase Absorption Coefficient," AIChE J., 11, 656-661, 1965.
39. Astarita, G. and David, W.S., "Simultaneous Absorption with Reversible Instantaneous Chemical Reaction," Chemical Engineering Science, 37, 667-686, 1982.
40. Buffham, B.A., GiBilano, L.G. and Rathor, M.N., "A Probabilistic Time Delay Description of Flow in Packed Beds," AIChE J., 16, 218-223, 1970.
41. Lee, J.I., Otto, F.D. and Mather, A.E., "Equilibrium Between Carbon Dioxide and Aqueous Monoethanolamine Solutions," J. Appl. Chem. Biotechnol., 26, 541-549, 1976.

42. Lee, J.I., Otto, F.D. and Mather A.E., "The Measurement and Prediction of The Solubility of Mixtures of Carbon Dioxide and Hydrogen Sulphide in a 2.5 N Monoethanolamine Solution," The Canadian Journal of Chemical Engineering, 54,214-219, 1976.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## การคำนวณ

ใช้ข้อมูลของการทดลองครั้งที่ 1 ช่วงชั่วโมงที่ 3-4 เป็นตัวอย่าง

## ก.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลในวัฏภาคของเหลว ( $k_L$ ) และในวัฏภาคแก๊ส ( $k_g$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1.1), (2.1.2) และ (2.1.3)

$$(2.1.1) \quad k_L (\rho_L / \mu_L g)^{1/3} = 0.0051 (G_L / a \mu_L)^{2/3} (\mu_L / \rho_L D_A)^{-1/2} (a_v D_B)^{0.4}$$

$$(2.1.2) \quad a/a_v = 1 - \exp[-1.45 (\sigma_g / \sigma)^{0.75} (G_L / a_v \mu_L)^{0.1} (G_L^2 a_v / \rho_L^2 g)^{-0.05} (G_L^2 / \rho_L \sigma a_v)^{0.2}]$$

$$(2.1.3) \quad k_g RT / a_v D_v = C (G_v / a_v \mu_v)^{0.7} (\mu_v / \rho_v D_v)^{1/2} (a_v D_B)^{-2.0}$$

$a_v$	=	387	เมตร <sup>2</sup> /เมตร <sup>3</sup>	จากตาราง ข.1
$a$	=	189	เมตร <sup>2</sup> /เมตร <sup>3</sup>	จากสมการ (2.1.2)
$C$	=	2.0		สำหรับแนวกิ่งขนาด 0.0127 เมตร
$D_A$	=	$1.314 \times 10^{-9}$	เมตร <sup>2</sup> /วินาที	ดูในภาคผนวก ค.1
$D_v$	=	$1.41 \times 10^{-5}$	เมตร <sup>2</sup> /วินาที	ดูในภาคผนวก ค.2
$D_B$	=	0.0127	เมตร	
$G_L$	=	4.016	กิโลกรัม/วินาที	ตารางเมตร
$G_v$	=	0.211	กิโลกรัม/วินาที	ตารางเมตร
$g$	=	9.8	เมตร/วินาที <sup>2</sup>	
$R$	=	8314.3	จูล/กิโลกรัมโมล	เคลวิน
$T$	=	314.5	เคลวิน	
$\mu_L$	=	$8.75 \times 10^{-4}$	นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร	จากรูป ง.1
$\mu_v$	=	$1.911 \times 10^{-5}$	นิวตัน-วินาที/ตารางเมตร	จากภาคผนวก จ

$\rho_L$	=	994	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	จากรูป ง.2
$\rho_v$	=	1.1253	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	จากภาคผนวก จ
$\sigma$	=	$6.67 \times 10^{-2}$	นิวตัน/เมตร	จากภาคผนวก ง.3
$\sigma_c$	=	$7.5 \times 10^{-2}$	นิวตัน/เมตร	จากตาราง 2.1.1

แทนค่าต่าง ๆ เหล่านี้ลงในสมการ (2.1.1) ถึง (2.1.3) ได้

$$k_L = 6.407 \times 10^{-5} \text{ เมตร/วินาที} \quad (\text{ก.1.1})$$

$$k_a = 2.297 \times 10^{-4} \text{ กิโลกรัมโมล/ตารางเมตร/บาร์/วินาที} \quad (\text{ก.1.2})$$

$$a = 189 \text{ ตารางเมตร/ลูกบาศก์เมตร} \quad (\text{ก.1.3})$$

ก.2 การคำนวณโฟรไฟล์ที่แสดงความเข้มข้นของแก๊ส CO<sub>2</sub> ในวัฏภาคแก๊ส (P<sub>A</sub>) กับความสูงของหอคูดซิม (Z)

กรณีที่ 1  
สมมติฐาน

- 1) ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น
- 2) อัตราไหลของวัฏภาคแก๊สคงที่ตลอดความสูงของหอคูดซิม
- 3)  $C_{Ab} = 0$
- 4) อุณหภูมิคงที่ตลอดความสูงของหอคูดซิม

สมการอัตราการหูดซิม สามารถแสดงได้ดังนี้

$$N_a a = k_L a C_{A1} \quad (\text{ก.2.1})$$

$$\text{หรือ } N_a a = k_a a (P_A - H C_{A1}) \quad (\text{ก.2.2})$$

จากสมการ (ก.2.1) และ (ก.2.2) จะได้

$$N_a a = \frac{P_A}{\frac{1}{k_a a} + \frac{H}{k_L a}} \quad (\text{ก.2.3})$$

จากสมการ (3.2.17) กรณีอัตราไหลของวัฏภาคแก๊สคงที่



$$\frac{dP_A}{dZ} = -N_A a \frac{AP_T}{V} \quad (\text{ก.2.4})$$

H = 41.73 บาร์ ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมโมล จากภาคผนวก ฉ

$k_L$ ,  $k_g$  และ  $a$  ได้จาก (ก.1.1), (ก.1.2) และ (ก.1.3) ตามลำดับ

A = พื้นที่หน้าตัดของหอคอยดูดซึม = 0.033 ตารางเมตร

$P_T$  = ความดันรวม = 1 บาร์

V =  $2.476 \times 10^{-4}$  กิโลกรัมโมล/วินาที

$\frac{AP_T}{V}$  = 133.26 บาร์ ตารางเมตร วินาที/กิโลกรัมโมล

แทนค่าลงในสมการ (ก.2.3) และ (ก.2.4)

$$\frac{dP_A}{dZ} = -0.0384 P_A \quad \text{บาร์/เมตร} \quad (\text{ก.2.5})$$

อินทิเกรตสมการ (ก.2.5) โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$Z = 0 \quad ; \quad P_A = P_{A0} = 0.102 \quad (\text{ก.2.6ก})$$

$$Z = Z \quad ; \quad P_A = P_A \quad (\text{ก.2.6ข})$$

$$\ln P_A - \ln(0.102) = -0.0384(Z-0)$$

$$\ln P_A = -0.0384 Z - 2.283 \quad (\text{ก.2.7})$$

กรณีที่ 2

สมมติฐาน

- 1) ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น
- 2) อัตราไหลของวัฏภาคแก๊สที่ไม่รวม  $\text{CO}_2$  คงที่
- 3)  $C_{A0} = 0$
- 4) อุณหภูมิคงที่ตลอดความสูงของหอคอยดูดซึม

จากสมการ (3.2.20)

$$\frac{dP_A}{dZ} = -N_A a \frac{A(P_T - P_A)}{V'} \quad (\text{ก.2.8})$$

$$V' = 2.224 \times 10^{-4} \text{ กิโลกรัมโมล/วินาที}$$

ทำนองเดียวกับกรณีที่ 1

$$\frac{dP_A}{dz} = -0.0428(1-P_A)P_A \text{ บาร์/เมตร} \quad (\text{ก.2.9})$$

อินทิเกรตสมการ (ก.2.9) โดยมีเงื่อนไขขอบเขตเช่นเดียวกับ (ก.2.6ก) และ (ก.2.6ข)

$$\begin{aligned} \ln \left[ \frac{P_A}{1-P_A} \right] - \ln \left[ \frac{0.102}{1-0.102} \right] &= -0.0428(z-0) \\ \ln \left[ \frac{P_A}{1-P_A} \right] &= -0.0428z - 2.175 \end{aligned} \quad (\text{ก.2.10})$$

กรณีที่ 3

สมมติฐาน

- 1) ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น
- 2) อัตราไหลของวัฏภาคแก๊สคงที่ตลอดความสูงของหอคอยดูดซึม
- 3)  $C_{A^*} = 0$
- 4) อุดหนุมิไม่คงที่ตลอดความสูงของหอคอยดูดซึม

จากการวัดอุดหนุมิตามความสูงของหอ ณ ตำแหน่ง TM 108 ถึง TM113 พบว่า อุดหนุมิเปลี่ยนไปตามความสูงของหอ ซึ่งย่อมมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้น การคำนวณจะเหมือนกับกรณีที่ 1 แต่สมการจะเปลี่ยนไปตามอุดหนุมิด้วย ดังในตาราง ก.2.1



ตาราง ก.2.1 แสดงสมการหาค่า  $P_A$  เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

ช่วงความสูง (ซม.)	อุณหภูมิ (K)	$\ln P_A$	
0 -101.3	308.0	-0.0437Z-2.283	(ก.2.11ก)
101.3-168.8	314.6	-0.0322Z-2.283	(ก.2.11ข)
168.8-236.3	317.2	-0.0372Z-2.283	(ก.2.11ค)
236.3-303.8	317.5	-0.0371Z-2.283	(ก.2.11ง)
303.8-371.3	316.2	-0.0375Z-2.283	(ก.2.11จ)
371.3-405	314.9	-0.0381Z-2.283	(ก.2.11ฉ)

## กรณีที่ 4

## สมมติฐาน

- 1) มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยเป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ อันดับหนึ่งเทียม
- 2) อัตราไหลของวัฏภาคแก๊สคงที่ตลอดความสูงของหอคูดซิม
- 3)  $C_{A_s} = 0$
- 4) อุณหภูมิคงที่ตลอดความสูงของหอคูดซิม

สมการอัตราการคูดซิมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$N_{Aa} = EK_{La}C_{A1} \quad (\text{ก.2.12})$$

หรือ  $N_{Aa} = k_{ga}(P_A - HC_{A1}) \quad (\text{ก.2.13})$

จากสมมาตร สมการ (ก.2.12) และ (ก.2.13) จะได้

$$N_{Aa} = \frac{P_A}{\frac{1}{k_{ga}} + \frac{H}{EK_{La}}} \quad (\text{ก.2.14})$$

สถานะที่สามารถใช้แบบจำลองแบบอันดับหนึ่งเทียมได้ เมื่อ

$$(2.2.21) \quad \sqrt{M} < (1/2)E,$$

$$(2.2.22) \quad \sqrt{M} > 3$$

ค่าเออนานซ์เมนต์แฟคเตอร์จะเป็น

$$E = \sqrt{M} = \sqrt{D_A k_2 C_{Bb} / k_1} \quad (ก.2.15)$$

จากสมการ (3.2.17), (ก.2.14) และ (ก.2.15)

$$\frac{dP_A}{dz} = \frac{-(AP_T/V)P_A}{\frac{1}{k_a a} + \frac{H}{a\sqrt{D_A k_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{C_{Bb}}}} \quad (ก.2.16)$$

กำหนด  $\beta_1 = 1/k_a a$  (ก.2.17ก)

$\beta_2 = H/a\sqrt{D_A k_2}$  (ก.2.17ข)

และ  $C_3 = AP_T/V$  (ก.2.17ค)

สมการ (ก.2.16) จะกลายเป็น

$$dP_A/dz = \frac{-C_3 P_A}{\beta_1 + \beta_2 / \sqrt{C_{Bb}}} \quad (ก.2.18)$$

$$k_2 = 17488 \text{ ลิตร/กรัมโมล/วินาที}$$

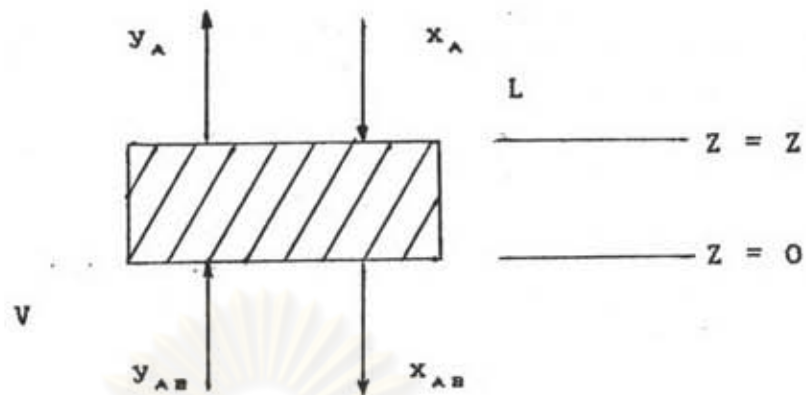
จากภาคผนวก(ข)

จากสมการปฏิกิริยารวม (3.18)

$$C_{Bb} = C_{B0} - 2C_A \quad (ก.2.19)$$

โดย  $C_{B0}$  = ความเข้มข้นทั้งหมดของ เอ็มอีเอ ก่อนการดูดซึม (โมล/ลิตร)  
 = 0.64 โมล/ลิตร

$C_A$  หาได้จากการทำสมดุลมวลสาร รอบส่วนที่อยู่ระหว่างกันหอกับระดับความสูง  $z$  แสดงในรูป ก.2.1



รูป ก.2.1 แสดงส่วนกันหอกที่ทำงานควบรวมสาร

สมการสมดุลมวลสาร

$$L(x_{AB} - x_A) = V(y_{AB} - y_A) \quad (\text{ก.2.20})$$

$$L_v(C_{AB} - C_A) = V(P_{AB} - P_A)/P_T \quad (\text{ก.2.21})$$

โดย  $L_v$  = อัตราไหลของวัฏภาคของเหลวเชิงปริมาตร  
= 0.133 ลิตร/วินาที

ห้อยท้าย B หมายถึงตำแหน่งกันหอกดูดซึม ( $Z = 0$ )

$$C_A = \frac{V(P_{AB} - P_A)/P_T L_v}{L} + C_{AB} \quad (\text{ก.2.22})$$

แทนค่า  $C_A$  ลงใน (ก.2.19)

$$C_{AB} = (C_{BO} - 2C_{AB}) + 2V(P_{AB} - P_A)/P_T L_v \quad (\text{ก.2.23})$$

$$= (C_{BO} - 2C_{BO} CR_B) + 2V(P_{AB} - P_A)/P_T L_v \quad (\text{ก.2.24})$$

$CR_B$  = ค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่กันหอกดูดซึม ซึ่งจะต้องทำการสมมติขึ้นมา ถ้าสมมติได้ถูกต้องจะได้ค่า  $C_{AB}$  ที่ส่วนบนของหอกดูดซึมตรงกับค่า  $C_{AB}$  จากการวัดค่าในการทดลอง  
= 0.48

เพื่อความสะดวกเราให้

$$C_i = (C_{BO} - 2C_{BO} CR_B) \quad (\text{ก.2.25ก})$$

$$= 0.0256 \text{ โมล/ลิตร}$$

$$\begin{aligned}
 C_2 &= V/P_T L_V & (\text{ก.2.25ข}) \\
 &= 1.857 \text{ โมล/ลิตร/บาร์}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น สมการ (ก.2.24) จะเป็น

$$C_{a,b} = C_1 + 2C_2(P_{a,b} - P_A) \quad (\text{ก.2.26})$$

$$= 0.4046 - 3.714 P_A \quad (\text{ก.2.27})$$

จาก (ก.2.17ก) ถึง (ก.2.17ค)

$$(\text{ก.2.17ก}) \quad \beta_1 = 23.04 \text{ ลูกบาศก์เมตร.บาร์.วินาที/กิโลกรัมโมล}$$

$$(\text{ก.2.17ข}) \quad \beta_2 = 46.068 \text{ ลูกบาศก์เมตร.บาร์.วินาที/กิโลกรัมโมล} \\ /(\text{ลิตร/โมล})^{1/2}$$

$$(\text{ก.2.17ค}) \quad C_3 = 133.26 \text{ ตารางเมตร.บาร์.วินาที/กิโลกรัมโมล}$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ (ก.2.16) ดังนั้น จะได้

$$\begin{aligned}
 dP_A/dZ &= \frac{-133.26 P_A}{23.04 + 46.068 / \sqrt{0.4046 - 3.714 P_A}} & (\text{ก.2.28})
 \end{aligned}$$

กรณีที่ 5

สมมติฐาน

- 1) มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยเป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้  
อันดับสอง
- 2) อัตราไหลของวัฏภาคแก๊สคงที่ตลอดความสูงของหอคูดูดซึม
- 3)  $C_{a,b} = 0$
- 4) อุณหภูมิคงที่ตลอดความสูงของหอคูดูดซึม

สมการอัตราการดูดซึมสามารถแสดงได้ดังนี้

$$N_{A,a} = E k_{L,a} C_{A,1} \quad (\text{ก.2.29})$$

$$\text{หรือ} \quad N_{A,a} = k_{a,a} (P_A - H C_{A,1}) \quad (\text{ก.2.30})$$

ค่าเอนฮานซ์เมนต์แฟคเตอร์สำหรับกรณีนี้ ได้จากสมการ (2.2.23) ของดีคัวร์เซย์ (DeCourzey)

$$E = \frac{-M}{2(E_1 - 1)} \left[ \frac{M^2}{4(E_1 - 1)^2} + \frac{E_1 M}{E_1 - 1} + 1 \right]^{1/2} \quad (\text{ก.2.31})$$

โดย

$$M = D_A k_2 C_{a,b} / (k_{L,a})^2 \quad (\text{ก.2.32})$$

$$E_1 = 1 + \frac{C_{Bb}}{2C_{A1}} \sqrt{\frac{D_B}{D_A}} \quad (\text{ก.2.33})$$

กำหนดให้

$$b_1 = k_L a = 0.0121 \quad \text{วินาที}^{-1} \quad (\text{ก.2.34ก})$$

$$b_2 = k_g a = 0.0434 \quad \text{กิโลกรัม/วินาที บาร์ ลูกบาศก์เมตร} \quad (\text{ก.2.34ข})$$

$$b_3 = k_g a H = 1.811 \quad \text{วินาที}^{-1} \quad (\text{ก.2.34ค})$$

$$b_4 = \frac{D_A k_2}{(k_L)^2} \sqrt{\frac{D_A}{D_B}} = 7263.46 \quad \text{ลิตร/โมล} \quad (\text{ก.2.34ง})$$

โดย  $D_B$  = สัมประสิทธิ์การแพร่ของ เอ็มอีเอ ในสารละลาย  
(ภาคผนวก ค.3)

$$= 7.8 \times 10^{-10} \quad \text{ตารางเมตร/วินาที}$$

$$b_5 = D_A k_2 / (k_L)^2 = 5596.46 \quad \text{ลิตร/โมล} \quad (\text{ก.2.34จ})$$

เราจะได้  $N_{Aa} = E b_1 C_{A1}$  (ก.2.35)

$$N_{Aa} = b_2 P_A - b_3 C_{A1} \quad (\text{ก.2.36})$$

และ  $E = \frac{-b_4 C_{A1} + [(b_4 C_{A1} + 1)^2 + b_5 C_{Bb}]^{1/2}}{b_1 C_{A1}}$  (ก.2.37)

ค่า  $C_{A1}$  สามารถคำนวณได้จากสมการ (ก.2.35), (ก.2.36) และ  
(ก.2.37)

$$b_1 C_{A1} [-b_4 C_{A1} + [(b_4 C_{A1} + 1)^2 + b_5 C_{Bb}]^{1/2}] - (b_2 P_A - b_3 C_{A1}) = 0 \quad (\text{ก.2.38})$$

จากสมการ (3.2.17) และ (ก.2.36)

$$dP_A/dZ = -C_g (b_2 P_A - b_3 C_{A1}) \quad (\text{ก.2.39})$$

$$= -5.783 P_A + 241.33 C_{A1} \quad (\text{ก.2.40})$$

กรณีที่ 6

สมมติฐาน

- 1) มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้  
อันดับสอง
- 2) อัตราไหลของวัฏภาคแก๊สคงที่ตลอดความสูงของหอคอยดูดซึม
- 3)  $C_{Ab}$  ไม่เท่ากับ 0

## 4) อุณหภูมิคงที่ตลอดความสูงของหอคอยดูดซึม

สมการอัตราการดูดซึมสามารถแสดงได้ดังนี้

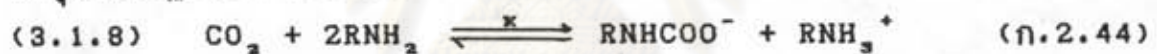
$$N_{Aa} = E k_{La} (C_{A1} - C_{Ab}) \quad (\text{ก.2.41})$$

หรือ 
$$N_{Aa} = k_{ga} (P_A - H C_{A1}) \quad (\text{ก.2.42})$$

ค่าเอนทานซีเมนต์แฟคเตอร์ได้จากสมการของดีคิวร์เซย์ (2.2.23) (9) เช่นเดียวกับกรณีที่ 5 แต่  $E$  ได้จากสมการ (2.2.13) ของ ฮิกิตะ (Hikita) และคณะ

$$E_1 = 1 + \sqrt{\frac{D_B}{D_A}} \left[ \frac{C_{Bb}}{2C_{A1}} \right] \frac{1}{1 + \sqrt{C_{Ab}/C_{A1}}} \quad (\text{ก.2.43})$$

$C_{Ab}$  เป็นความเข้มข้นของ  $CO$  ในเนื้อของเหลว ซึ่งสามารถหาได้จากค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (3.1.8)



$$K = 0.478 \times 10^5 \text{ ลิตร/โมล (จากภาคผนวก ข)}$$

$$K = \frac{(RNHCOO^-)(RNH_3^+)}{(CO_2)(RNH_2)^2} \text{ ลิตร/โมล} \quad (\text{ก.2.45})$$

$$(RNH_2) = m(1 - 2CR_T) \text{ โมล/ลิตร} \quad (\text{ก.2.46ก})$$

$$(RNH_3^+) = mCR_T \text{ โมล/ลิตร} \quad (\text{ก.2.46ข})$$

$$(RNHCOO^-) = mCR_T \text{ โมล/ลิตร} \quad (\text{ก.2.46ค})$$

โดย  $m =$  ความเข้มข้นของสารละลาย เอ็มอีเอ

$$= 2 \text{ โมล/ลิตร}$$

$$CR_T = \text{ค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนเข้าหอคอยดูดซึม}$$

$$= 0.40$$

ดังนั้น

$$(RNH_2) = 0.40 \text{ โมล/ลิตร}$$

$$(RNH_3^+) = 0.80 \text{ โมล/ลิตร}$$

$$(RNHCOO^-) = 0.80 \text{ โมล/ลิตร}$$

$C_{Ab}$  ได้จากการแทนค่า  $K$ ,  $(RNH_2)$ ,  $(RNH_3^+)$  และ  $(RNHCOO^-)$  ลงใน (ก.2.45)



$$(CO_2) = C_{Ab} = 8.37 \times 10^{-5} \text{ โมล/ลิตร}$$

จากสมการ (ก.2.41), (ก.2.42) และ (2.2.23)

$$k_L a (C_{A1} - C_{Ab}) \left[ \frac{-M}{2(E_1 - 1)} + \left[ \left[ \frac{M}{2(E_1 - 1)} + 1 \right]^2 + M \right]^{1/2} \right] = k_a a P_A - k_a a H C_{A1} \quad (\text{ก.2.47})$$

$$b_1 (C_{A1} - 8.37 \times 10^{-5}) \left[ \frac{-M}{2(E_1 - 1)} + \left[ \left[ \frac{M}{2(E_1 - 1)} + 1 \right]^2 + M \right]^{1/2} \right] = b_2 P_A - b_3 C_{A1} \quad (\text{ก.2.48})$$

$$\text{โดย } M = \frac{D_A k_2 C_{Bb}}{(k_L)^2} = b_5 C_{Bb} \quad (\text{ก.2.49})$$

$$C_{Bb} = 0.4046 - 3.714 P_A \quad (\text{ก.2.49})$$

จาก (ก.2.43)

$$E_1 = 1 + (0.77) (C_{Bb} / 2C_{A1}) \frac{1}{1 + (8.37 \times 10^{-5} / C_{A1})^{1/2}} \quad (\text{ก.2.50})$$

ค่า  $C_{A1}$  สามารถหาได้จากสมการ (ก.2.48) ถึง (ก.2.50)

จากสมการ (3.2.17) และ (ก.2.42)

$$dP_A / dZ = -5.783 P_A + 241.33 C_{A1} \quad (\text{ก.2.51})$$

**หมายเหตุ** การคำนวณใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ (Micro Computer) ขนาด 16 บิต (Bit) ช่วยในการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคือ โลอตัส 1,2,3 (LOTUS 1,2,3) และยูเรคา (Eureka : The Solver)

## ภาคผนวก ข

## ลักษณะทางกายภาพของแพคกิง

พื้นที่ผิวของวัสดุที่เป็นแพคกิง ต่อปริมาตรของแพคกิง ( $a_v$ ) สามารถหาได้จากตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของแพคกิง (Packing) ที่ใช้กันทั่วไป  
(26)

Packing	Percent Voids ( $\epsilon$ )	Specific Surface ( $a_v$ ) $\text{ft}^2/\text{ft}^3$	Packing Factor $F$	Dumped Weight $\text{lb}/\text{ft}^3$
Ceramic Raschig rings				
$\frac{1}{2}$ in.	73	240	1600	46
$\frac{1}{4}$	63	111	580	54
1	73	58	155	40
2	74	28	65	38
Metal Raschig rings (1/16 in. wall)				
$\frac{1}{2}$	73	118	410	132
1	85	57	137	71
2	92	31.4	57	37
Berl saddles				
$\frac{1}{2}$ in.	60	274	900	56
$\frac{1}{4}$	63	142	240	54
1	69	76	110	45
2	72	32	45	40
Pall rings				
1 in.	93.4	66.3	48	33
2	94.0	36.6	20	27.5
Cyclohelix and single spiral				
$3\frac{1}{4}$ in.	58	40		60
4	60	32		61
6	66	21		59

## ภาคผนวก ค

## ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

ค.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลาย เอ็มอีเอ(๒๕)

โดยทั่วไป เราไม่สามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอน-ไดออกไซด์ในสารละลาย เอ็มอีเอ เนื่องจากมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ดังนั้นจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ  $\text{CO}_2$  ในน้ำแทน (15, 18)



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 สัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊ส และของเหลวในสารละลายเจือจาง ที่ 20° ซ.

Solute	Solvent	$\frac{D}{\rho \eta} \times 10^5$ (sq cm/sec) $\times 10^5 \left(\frac{\mu}{\rho \eta}\right)^2$	
O <sub>2</sub>	Water	1.80	558
CO <sub>2</sub>	Water	1.77	670
N <sub>2</sub> O	Water	1.51	665
NH <sub>3</sub>	Water	1.76	570
Cl <sub>2</sub>	Water	1.22	824
Br <sub>2</sub>	Water	1.2	840
H <sub>2</sub>	Water	5.13	196
N <sub>2</sub>	Water	1.64	613
HCl	Water	2.64	381
H <sub>2</sub> S	Water	1.41	712
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Water	1.73	580
HNO <sub>3</sub>	Water	2.6	390
Acetylene	Water	1.56	645
Acetic acid	Water	0.88	1140
Methanol	Water	1.28	785
Ethanol	Water	1.00	1005
Propanol	Water	0.87	1150
Butanol	Water	0.77	1310
Allyl alcohol	Water	0.93	1080
Phenol	Water	0.84	1200
Glycerol	Water	0.72	1400
Pyrogallol	Water	0.70	1440
Hydroquinone	Water	0.77	1300
Urea	Water	1.06	946
Resorcinol	Water	0.80	1260
Urethane	Water	0.92	1090
Lactose	Water	0.43	2340
Maltose	Water	0.43	2310
Glucose	Water	0.60	...
Mannitol	Water	0.58	1730
Raffinose	Water	0.37	2720
Sucrose	Water	0.45	2230
Sodium chloride	Water	1.35	745
Sodium hydroxide	Water	1.51	665
CO <sub>2</sub>	Ethanol	3.4	445
Phenol	Ethanol	0.8	1900
Chloroform	Ethanol	1.23	1230
Phenol	Benzene	1.54	479
Chloroform	Benzene	2.11	350
Acetic acid	Benzene	1.92	384
Ethylene dichloride	Benzene	2.45	301

## ค.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏภาคแก๊ส ( $D_v$ ) (27)

เนื่องจากแก๊สที่ได้จากการเตาสังเคราะห์แก๊ส มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับของอากาศ ดังนั้นจะประมาณค่า  $D_v$  จากตาราง ข.2.2

### ตารางที่ ค.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สในอากาศที่ 25° ซ., 1 บรรยากาศ

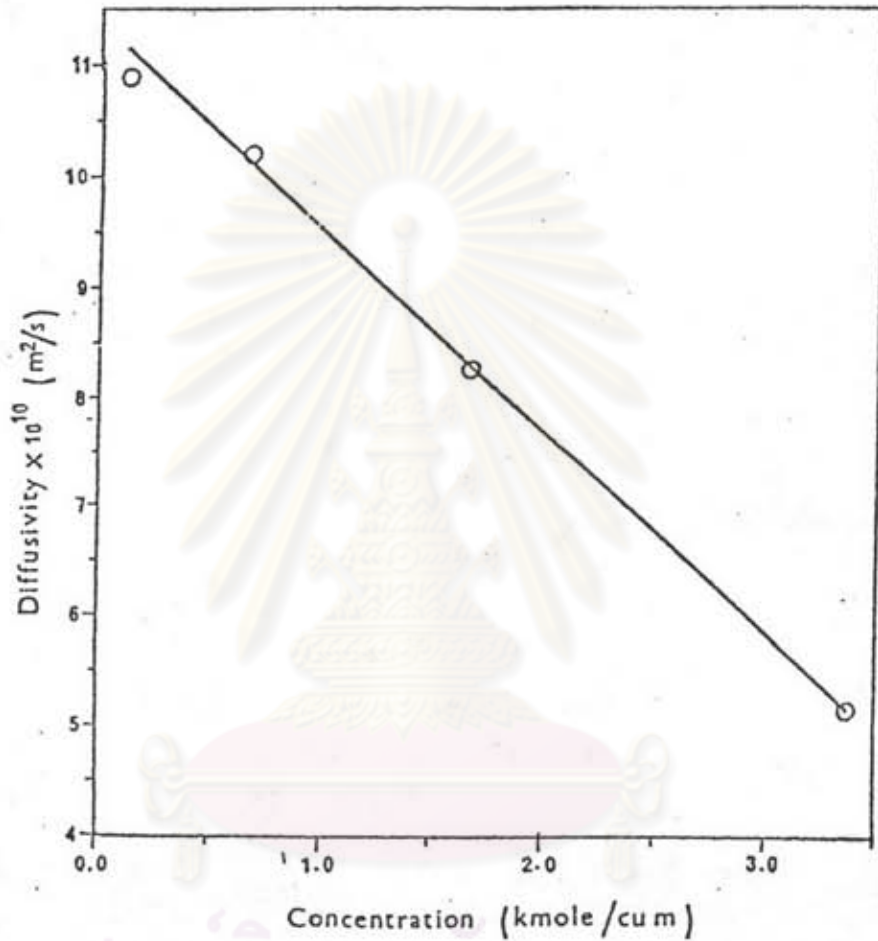
Substance	$D_v$ , sq cm/sec	$(\mu/\rho D_v)^a$
Ammonia	0.229	0.67
Carbon dioxide	0.164	0.94
Hydrogen	0.410	0.22
Oxygen	0.206	0.75
Water	0.256	0.60
Carbon disulfide	0.107	1.45
Ethyl ether	0.093	1.66
Methanol	0.159	0.97
Ethyl alcohol	0.119	1.30
Propyl alcohol	0.100	1.55
Butyl alcohol	0.090	1.72
Amyl alcohol	0.070	2.21
Hexyl alcohol	0.059	2.60
Formic acid	0.159	0.97
Acetic acid	0.133	1.16
Propionic acid	0.099	1.56
<i>i</i> -Butyric acid	0.081	1.91
Valeric acid	0.067	2.31
<i>i</i> -Caproic acid	0.060	2.58
Diethyl amine	0.105	1.47
Butyl amine	0.101	1.53
Aniline	0.072	2.14
Chlorobenzene	0.073	2.12
Chlorotoluene	0.065	2.38
Propyl bromide	0.105	1.47
Propyl iodide	0.096	1.61
Benzene	0.088	1.76
Toluene	0.084	1.84
Xylene	0.071	2.18
Ethylbenzene	0.077	2.01
Propylbenzene	0.059	2.62
Diphenyl	0.068	2.28
<i>n</i> -Octane	0.060	2.58
Mesitylene	0.067	2.31

<sup>a</sup>Based on  $\mu/\rho = 0.01005 \text{ cm}^2/\text{sec}$  for water, 0.00737 for benzene, and 0.01511 for ethanol, all at 20°C. Applies only for dilute solutions.



ค.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ เอ็มอีเอ ( $D_{12}$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ เอ็มอีเอ ในสารละลาย ที่ 25 °ซ (28)  
แสดงในรูป ค.1

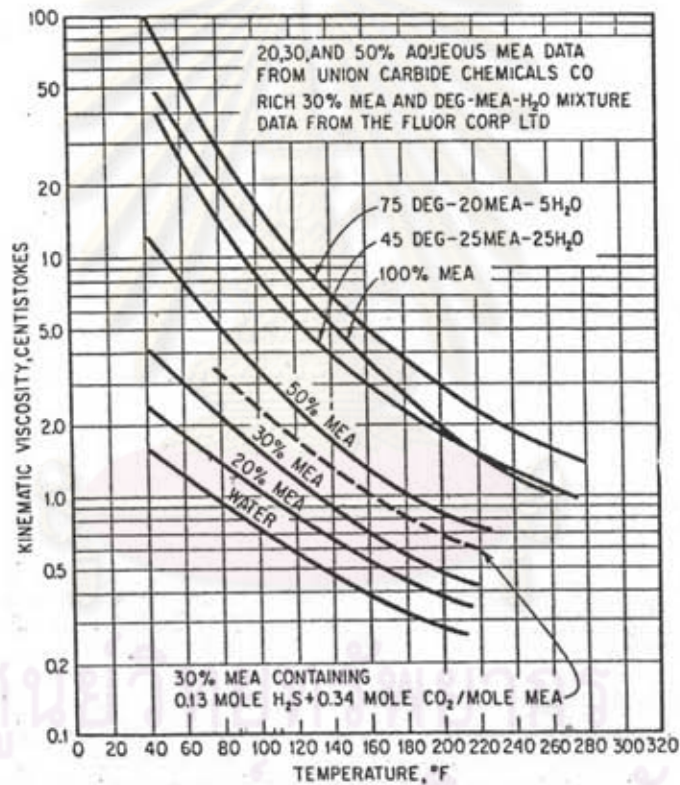


รูปที่ ค.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ เอ็มอีเอ ในสารละลายที่ ความเข้มข้นต่างๆ (25 °ซ )

ภาคผนวก ง

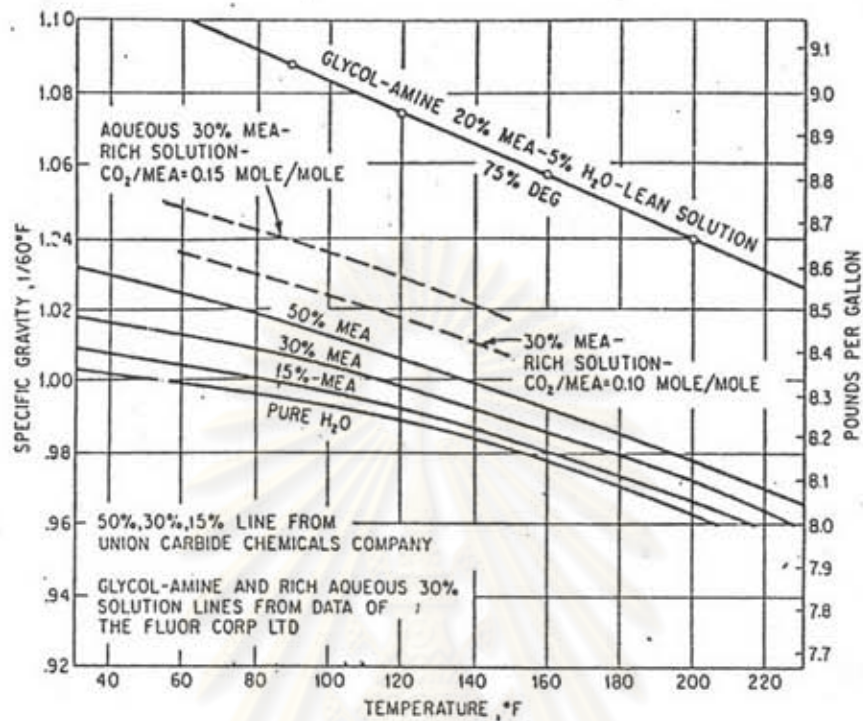
คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายเอมีนอีเอ

ง.1 ความหนืดของสารละลายโมโนเอทานอลามีน ( $\mu_L$ ) (2)



รูปที่ ง.1 ความหนืดของสารละลายโมโนเอทานอลามีน

## ง.2 ความหนาแน่นของสารละลายโมโนเอทานอลามีน ( $\rho_L$ ) (2)



รูปที่ ง.2 ความถ่วงจำเพาะของสารละลายโมโนเอทานอลามีน

## ง.3 ความดึงผิวของของเหลว ( $\sigma$ )

เนื่องจาก สารละลาย เอ็มอีเอ ที่ใช้มีความเข้มข้น 12.2 % โดยน้ำหนักถือว่าเป็นสารละลายเจือจาง ดังนั้นค่า  $\sigma$  จะถือว่ามีค่าเท่ากับ  $\sigma$  ของน้ำซึ่งหาได้จากสมการ (21)

$$\sigma = 0.1232 [ 1 - 0.00146 T ] \text{ นิวตัน/เมตร} \quad (\text{ง.3.1})$$

T = อุณหภูมิในหน่วยองศาเคลวิน



## ภาคผนวก จ

ความหนืดและความหนาแน่นของวิฤภาคแก๊ส ( $\mu_v$  และ  $\rho_v$ ) (29)

เนื่องจากแก๊สที่ได้จากเตาสังเคราะห์แก๊สมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับของอากาศ ดังนั้นจะประมาณค่า  $\mu_v$  และ  $\rho_v$  ของแก๊สจากอากาศ

ตารางที่ จ.1 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p \times 10^{-3}$ (J/kg · K)	$\mu \times 10^5$ (Pa · s)	$\nu \times 10^5$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \times 10^2$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m <sup>2</sup> /s)
Air						
250	1.4133	1.0054	1.5991	1.1315	2.2269	1.5672
260	1.3587	1.0054	1.6503	1.2146	2.3080	1.6896
280	1.2614	1.0057	1.7503	1.3876	2.4671	1.9448
300	1.1769	1.0063	1.8464	1.5689	2.6240	2.2156
320	1.1032	1.0073	1.9391	1.7577	2.7785	2.5003
340	1.0382	1.0085	2.0300	1.9553	2.9282	2.7967
360	0.9805	1.0100	2.1175	2.1596	3.0779	3.1080
400	0.8822	1.0142	2.2857	2.5909	3.3651	3.7610
440	0.8021	1.0197	2.4453	3.0486	3.6427	4.4537
480	0.7351	1.0263	2.5963	3.5319	3.9107	5.1836
520	0.6786	1.0339	2.7422	4.0410	4.1690	5.9421
580	0.6084	1.0468	2.9515	4.8512	4.5407	7.1297
700	0.5040	1.0751	3.3325	6.6121	5.2360	9.6632
800	0.4411	1.0988	3.6242	8.2163	5.7743	11.9136
1000	0.3529	1.1421	4.1527	11.1767	6.7544	16.7583

## ภาคผนวก ฉ

## ค่าการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลาย เอ็มอีเอ

เราไม่สามารถวัดค่าการละลายของแก๊ส  $\text{CO}_2$  ในสารละลายที่มีนทำปฏิกิริยาด้วย (31) โดยทั่วไปเราถือว่าการละลายของ  $\text{CO}_2$  ในสารละลาย เอ็มอีเอ เหมือนกับ  $\text{CO}_2$  ในน้ำ เนื่องจากคุณสมบัติบางประการของ  $\text{N}_2\text{O}$  คล้ายกับ  $\text{CO}_2$  จึงอาจหาค่าการละลายของ  $\text{CO}_2$  จาก  $\text{N}_2\text{O}$  นาย คลาร์ก (Clarke) (30) พบว่าค่าการละลายของ  $\text{N}_2\text{O}$  ที่วัดได้ในสารละลาย เอ็มอีเอ ไม่แตกต่างจาก  $\text{N}_2\text{O}$  ในน้ำ จึงกำหนดว่าค่าการละลายของ  $\text{CO}_2$  ในสารละลาย เอ็มอีเอ มีค่าเดียวกับในน้ำ

การละลายของ  $\text{CO}_2$  ในน้ำสามารถพิจารณาได้ตามสมการต่อไปนี้ (32)

$$\log H = 4.3651 - \frac{861.8175}{T} \quad (\text{ฉ.1})$$

โดยที่ H = ค่าคงที่เฮนรี (Henry Constant)  
 ( บาร์ . ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมโมล)  
 = เป็นส่วนกลับของค่าการละลาย  
 T = อุณหภูมิ , องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

ค่าคงที่อัตราเร็ว ( $k_2$ )

ค่าอัตราเร็วคงที่ ( $k_2$ ) แสดงไว้ในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ค่าคงที่อัตราเร็ว

อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ค่าอัตราเร็วคงที่ (ลิตร/กรัมโมล/วินาที)	เอกสารอ้างอิง
18	5100	ชาร์มา (33)
25	7600	ชาร์มา (33)
	8300	คลาร์ค (30)
	8400	ซาดะ (Sada) และ คณะ (7)
35	13000	ชาร์มา (33)

ข้อมูลของ ชาร์มา (Sharma) สามารถแสดงด้วยสมการดังนี้

$$k_2 = A \exp(-4932.1815/T) \quad (\text{ข.1})$$

โดย  $A = 1.16 \times 10^{11}$



## ภาคผนวก ข

## ค่าคงที่สมดุล (K) (24)

K เป็นค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาสมดุล (3.1.8)



$$K = \frac{K_1}{K_2 K_P} \quad (\text{ซ.2})$$

$$\text{โดย } K_1 = \frac{(\text{H}^+)(\text{HCO}_3^-)}{(\text{CO}_2)} \quad (\text{ซ.3})$$

$$= 5.4 \times 10^{-7} \quad \text{โมล/ลิตร} \quad \text{จากรูปที่ (ซ.1)}$$

$$K_2 = \frac{(\text{RNH}_2)(\text{HCO}_3^-)}{(\text{RNHCOO}^-)} \quad (\text{ซ.4})$$

$$= 0.045 \quad \text{โมล/ลิตร} \quad \text{จากรูปที่ (ซ.2)}$$

$$K_P = \frac{(\text{H}^+)(\text{RNHCOO}^-)}{(\text{RNH}_3^+)} \quad (\text{ซ.5})$$

$$= 2.512 \times 10^{-10} \quad \text{โมล/ลิตร} \quad \text{จากตารางที่ (ซ.1)}$$

แทนค่า  $K_1$ ,  $K_2$  และ  $K_P$  ลงใน (ซ.2)

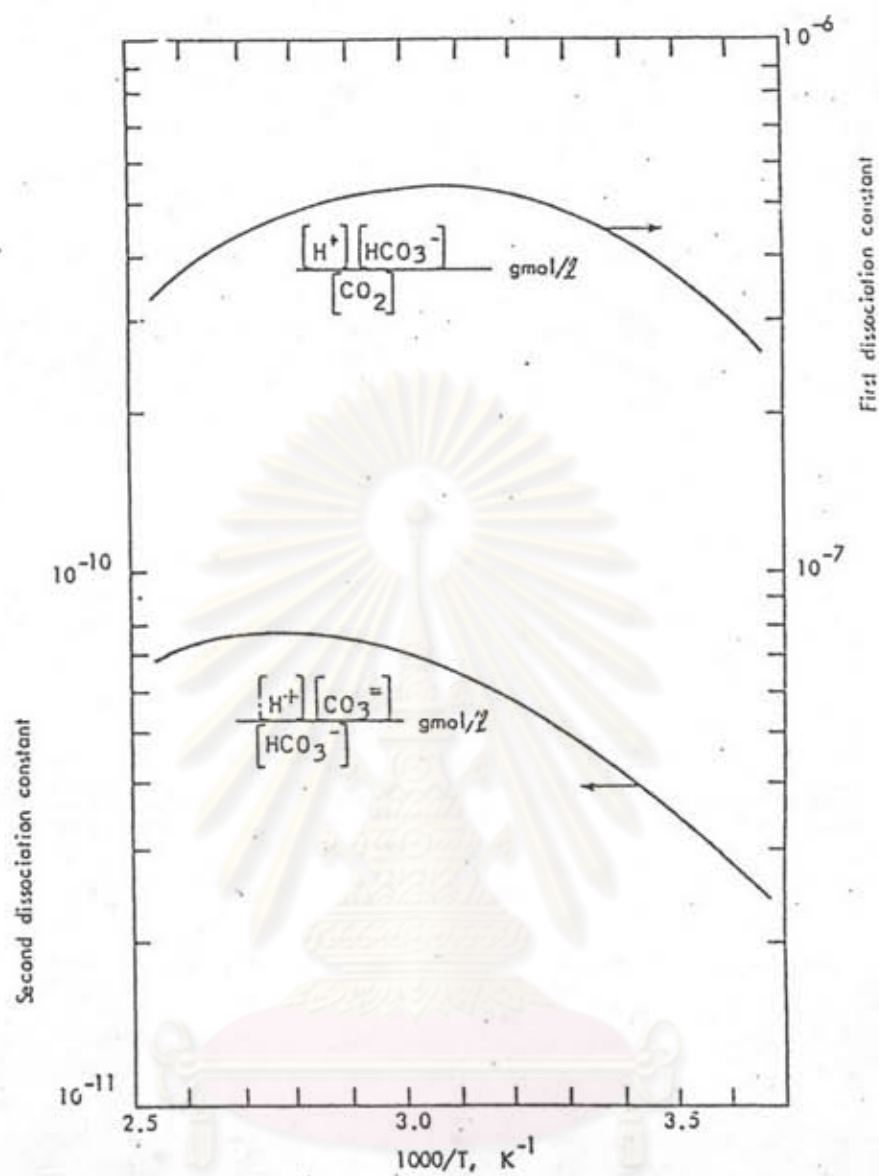
$$K = 0.478 \times 10^{+5} \quad \text{ลิตร/โมล}$$

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า pK ของเอมีนชนิดต่างๆที่อุณหภูมิห้อง

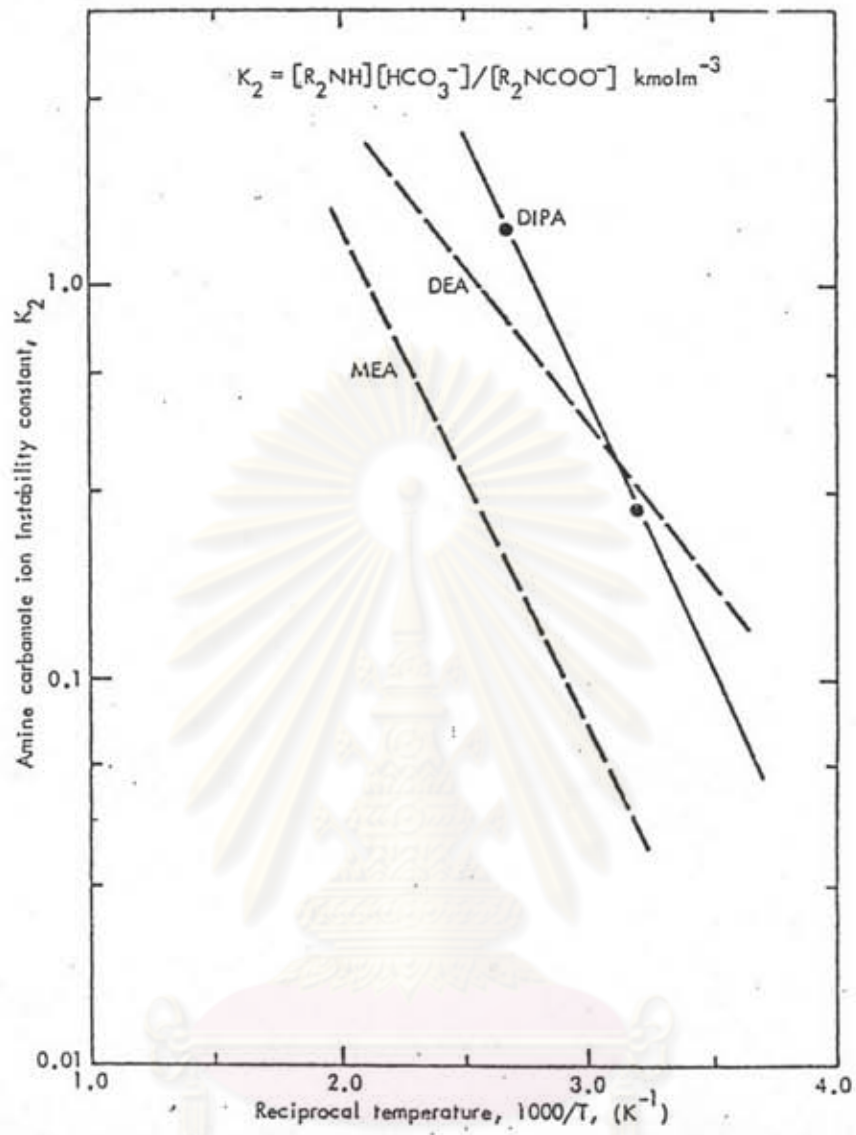
Primary amines		
<i>n</i> -butylamine	10.6	( <i>n</i> BA)
ethylenediamine	9.9	(EDA)
monoethanolamine	9.6	(MEA)
monoisopropanolamine	9.4	(MIPA)
Secondary amines		
2-ethylaminoethanol	9.8	(EAE)
2-methylaminoethanol	9.7	(MAE)
diethanolamine	8.9	(DEA)
diisopropanolamine	8.8	(DIPA)
Tertiary amines		
<i>n</i> -methyl piperidine ethanol	9.5	(MPE)
methyldiethanolamine	8.5	(MDEA)
triethanolamine	7.8	(TEA)

$$^{\circ}pK = -\log_{10} K_p, K_p = \frac{[Am][H^+]}{[AmH^+]}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑.๑ ค่าคงที่การแตกตัวเป็นไอออนขั้นแรก (First Ionization Constant) ของ  $CO_2$  ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ ๒.๒ ค่าคงที่ความเสถียรของคาร์บาเมต (Carbamate Instability Constants) ที่อุณหภูมิต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ๘

## ค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์

## ๘.1 การวัดค่าอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ (CR)

แดงค์เวอร์ท และ แมคเนล (6) ได้รายงานผลของอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อค่า pH ของสารละลายโมโนเอทานอลามีน ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 18 °C ดังในตาราง ๘.1 และรูป ๘.1

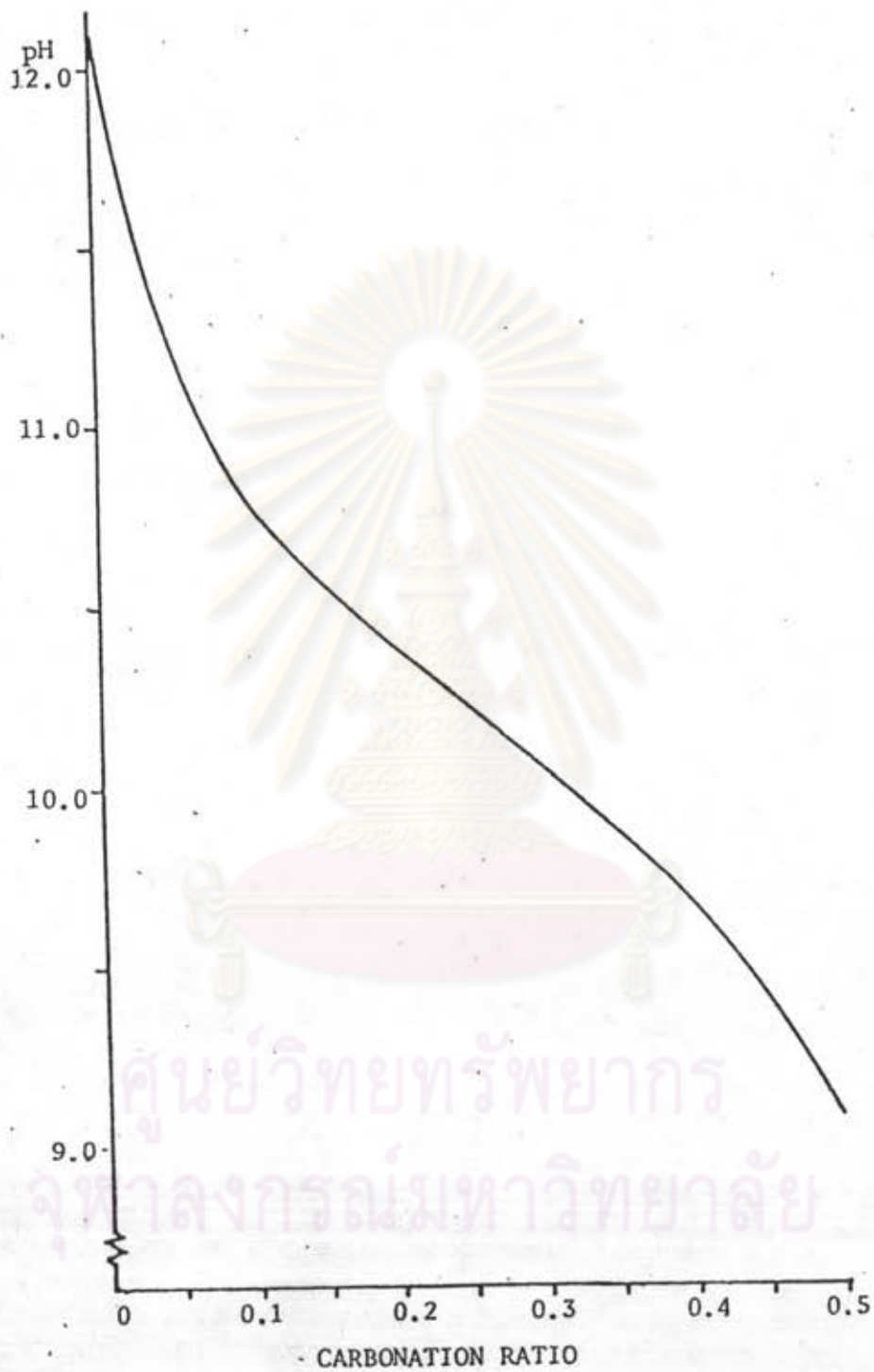
ตารางที่ ๘.1 แสดงค่า pH เปลี่ยนไปตามค่า CR ของสารละลาย

CR	0	01	02	03	04	05
pH	12.092	10.789	10.388	10.052	9.665	9.086

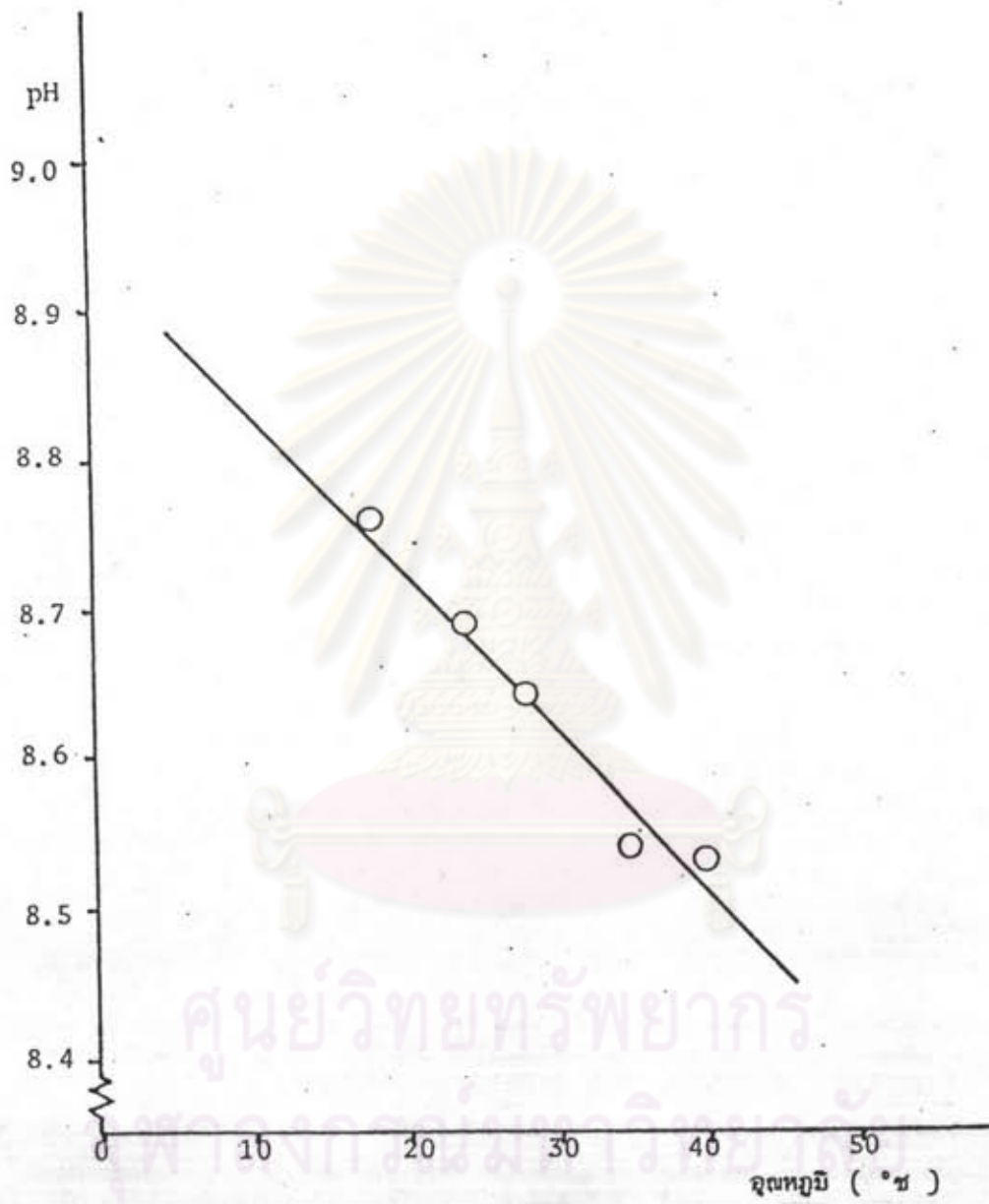
ผลของอุณหภูมิต่อค่า pH แสดงในรูป ๘.2 ซึ่งได้จากการทำการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า pH จะลดลงแบบสมการเส้นตรง โดยมีค่าความชัน = 0.011 pH/องศาเซลเซียส ถ้ากำหนดว่า ผลของอุณหภูมิต่อค่า pH เป็นแบบเส้นตรง ภายในช่วงอุณหภูมิ 18 °C - 40 °C ดังนั้นจะใช้ค่าความชันเป็นตัวแก้ไข (Correction Factor) ค่า pH ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ผลของความเข้มข้นของสารละลาย โมโนเอทานอลามีน ต่อความสัมพันธ์ของ CR กับ pH นั้น ถ้าความเข้มข้นของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปน้อย จะมีผลต่อความสัมพันธ์ CR กับ pH น้อยมากจนตัดทิ้งได้ โดยจะเห็นได้จากการทดลองของเจ.เจ. อัลเบเรชท์ (J.J. Albrecht) (25)

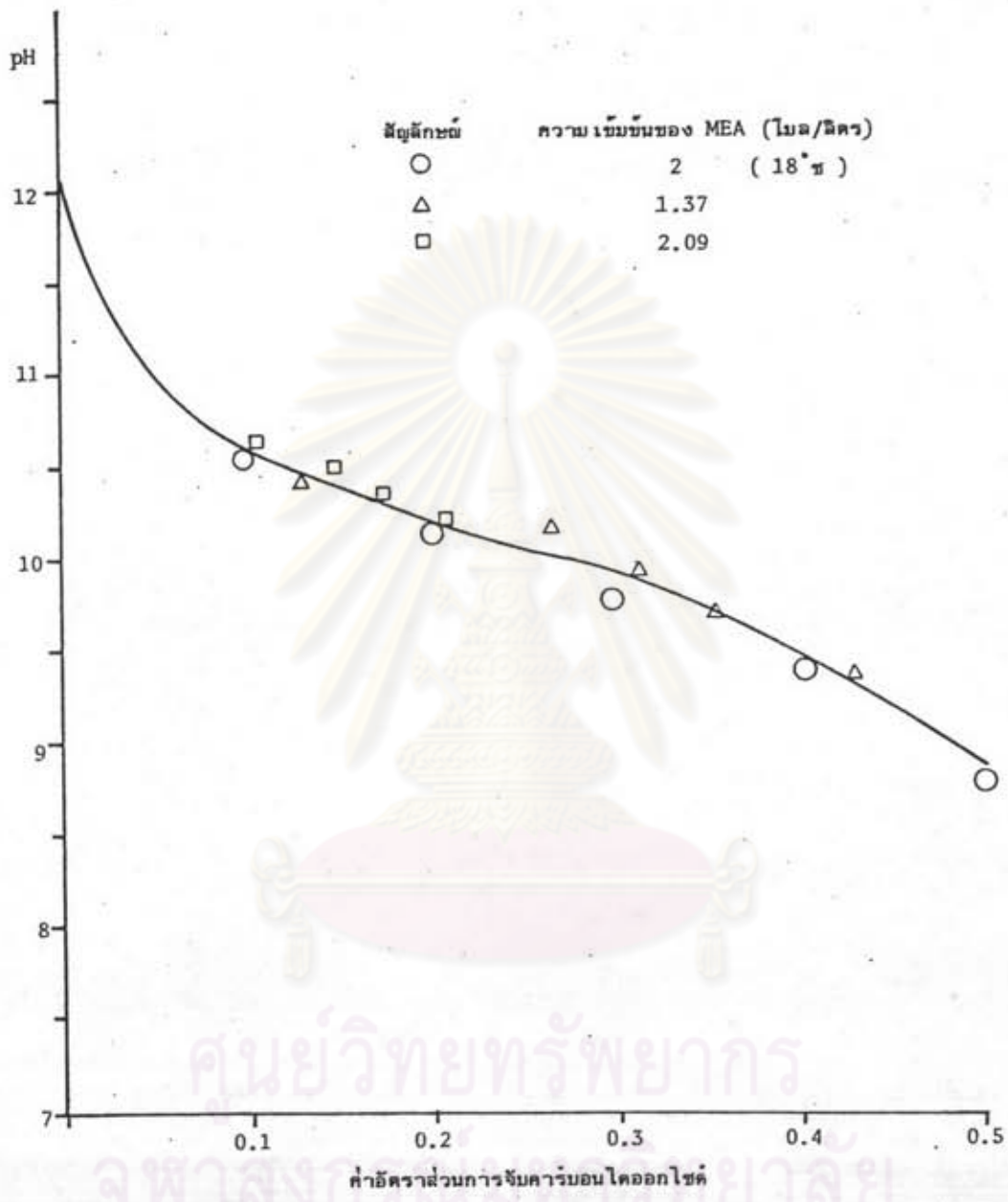




รูปที่ ๓.๑ ผลของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่า pH ของ สารละลายโมโนเอทานอลามีน



รูปที่ ๘.2 ผลของอุณหภูมิ ต่อค่า pH ของสารละลาย



รูปที่ ๕.๓

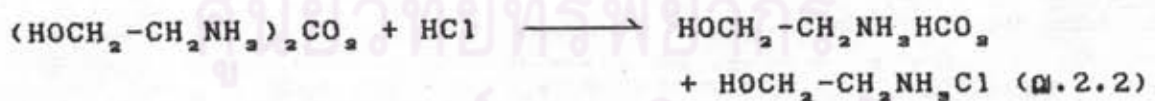
ผลของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อค่า pH ของสารละลายโมโนเอทานอลามีน ที่ความเข้มข้นต่างกัน อุณหภูมิ 21°ซ

อัลเบรชท์ที่ใช้ สารละลายโมโนเอธาโนลามีน 2 ความเข้มข้นคือ 1.37 โมล/ลิตรกับ 2.09 โมล/ลิตร ทำการวัดค่า CR โดยใช้โครมาโทกราฟีแบบแก๊ส-ของเหลว (Gas-Liquid Chromatography) และวัดค่า pH ที่ค่า CR ต่างๆ ได้ดังรูป ๗.3 จะเห็นได้ว่าผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอธาโนลามีน ในช่วง 1.37-2.09 โมล/ลิตร ต่อค่า pH ของสารละลาย สามารถตัดทิ้งได้

#### ๗.2 การเปรียบเทียบและตรวจสอบ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า CR กับค่า pH

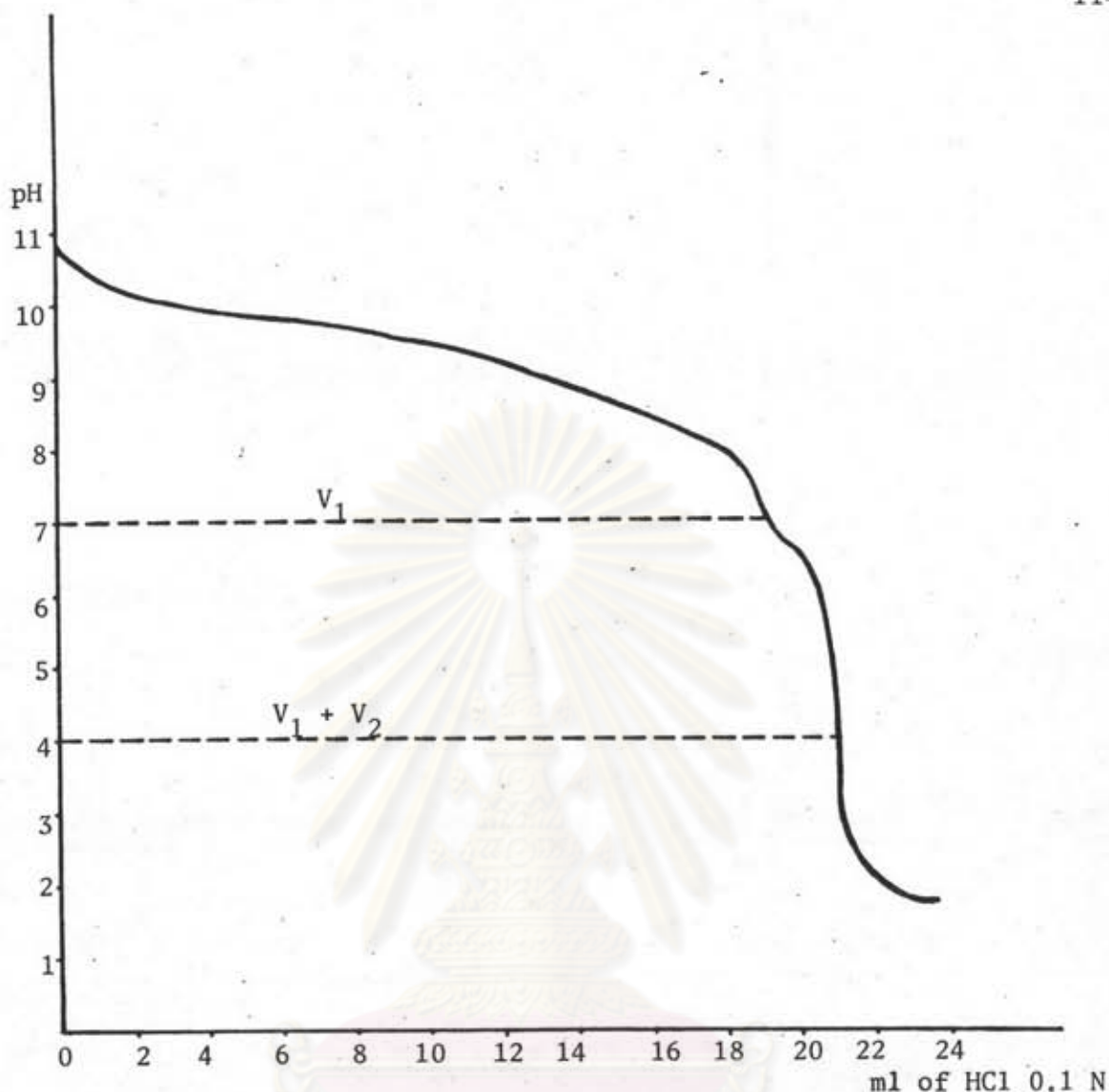
เพื่อเป็นการแน่ใจว่า ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่า CR กับค่า pH ซึ่งทำการทดลองโดย แดงค์เวอร์ท และ แมคเนล (6) สามารถใช้ได้กับงานวิจัยนี้ จึงทำการทดสอบโดยการไทเทรต สารละลายโมโนเอธาโนลามีนด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ใช้เมทิลออเรนจ์ (methyl orange) หรือเมทิล เรด (methyl red) เป็นอินดิเคเตอร์ (indicator)

จุดยุติจุดแรก (first end point) จะอยู่ที่ pH = 7 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



จุดยุติที่สอง (second end point) อยู่ที่ pH = 4 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ





รูปที่ ๘.๔ แสดงการไทเทรตสารละลายโมโนเอทาไมน 2 โมลต่อลิตรซึ่งจับคาร์บอนไดออกไซด์แล้วด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล

- $N$  = ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก  
 = 0.1 นอร์มัล  
 $V_1$  = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เมื่อถึงจุดยุติจุดแรก  
 = 19.1 มิลลิลิตร  
 $V_2$  = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้จากจุดยุติจุดแรกถึงจุดยุติจุดที่สอง  
 = 1.9 มิลลิลิตร  
 $2V_2N$  = จำนวนโมลเทียบเท่าของเอมีน (amine) ที่อยู่ในรูปคาร์บอเนต  
 =  $2(1.9)(0.1) = 0.38$  โมล

$$(V_1 - V_2)N = \text{จำนวนโมลเทียบเท่าของเอมีน ในรูปอิสระ}$$

$$= (19.1 - 1.9)(0.1) = 1.72 \text{ โมล}$$

คาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมลทำปฏิกิริยากับโมโนเอธาโนลามีน  
 2 โมล ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสารละลาย =  $0.38/2$   
 = 0.19 โมล

$$\text{ดังนั้นอัตราส่วนการจับคาร์บอนไดออกไซด์ (CR) = } 0.19/2$$

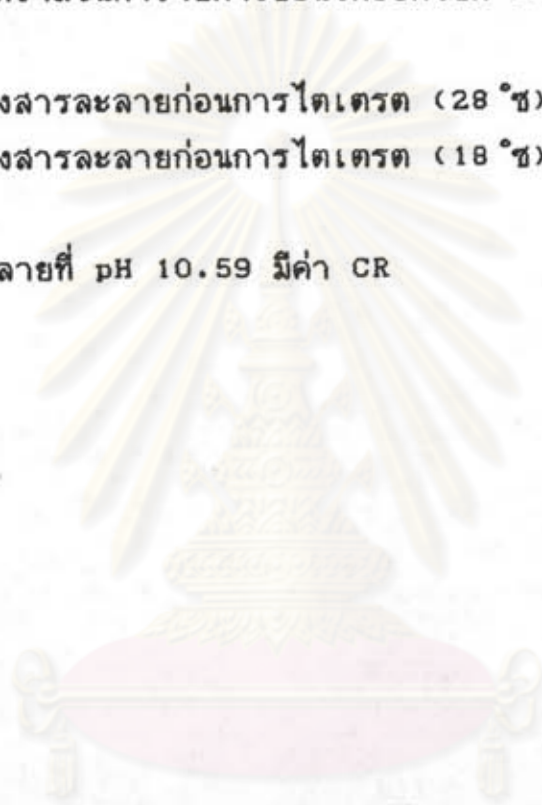
$$= 0.095$$

$$\text{pH ของสารละลายก่อนการไตเตรต (28 °ซ) = } 10.7$$

$$\text{pH ของสารละลายก่อนการไตเตรต (18 °ซ) = } 10.81$$

จากกราฟรูป ๗.1

$$\text{สารละลายที่ pH 10.59 มีค่า CR = } 0.093$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

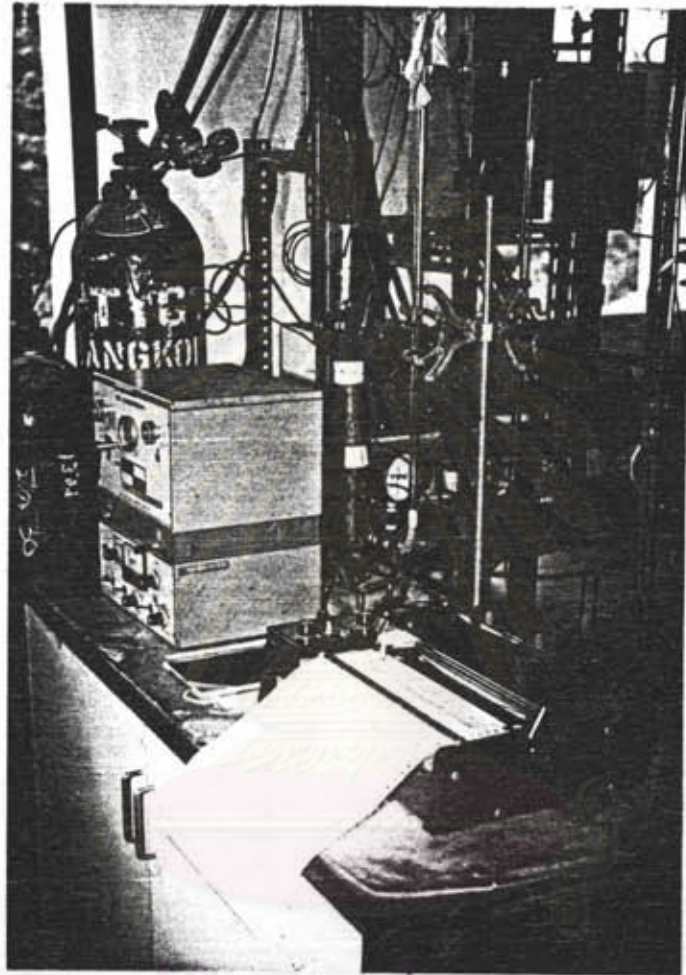
## ภาคผนวก ๘

## การวิเคราะห์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

## สภาวะการวิเคราะห์แก๊สด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

แก๊สพา (Carrier Gas)	= อาร์กอน (Argon)
อัตราการไหลของแก๊สพา	= 30 ลบ.ซม./นาที
อุณหภูมิของคอลัมน์ (Column Temperature)	= 70 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิการฉีดแก๊ส (Injector Temperature)	= 80 องศาเซลเซียส
เครื่องตรวจจับ (Detector)	= ระบบวัดสภาพการนำ ความร้อน (TCD)
ความไวของเครื่องตรวจจับ (Sensibility)	= 80 มิลลิแอมแปร์

	คอลัมน์ ก	คอลัมน์ ข
ชนิดคอลัมน์	M5-5A ขนาด	PORAPAK Q ขนาด
ขนาดคอลัมน์	-80+100 เมช	-80+100 เมช
เส้นผ่านศูนย์กลาง	1/8 นิ้ว	1/8 นิ้ว
ยาว	6 ฟุต	6 ฟุต
แก๊สที่สามารถแยกได้	แก๊สไฮโดรเจน แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจน แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ



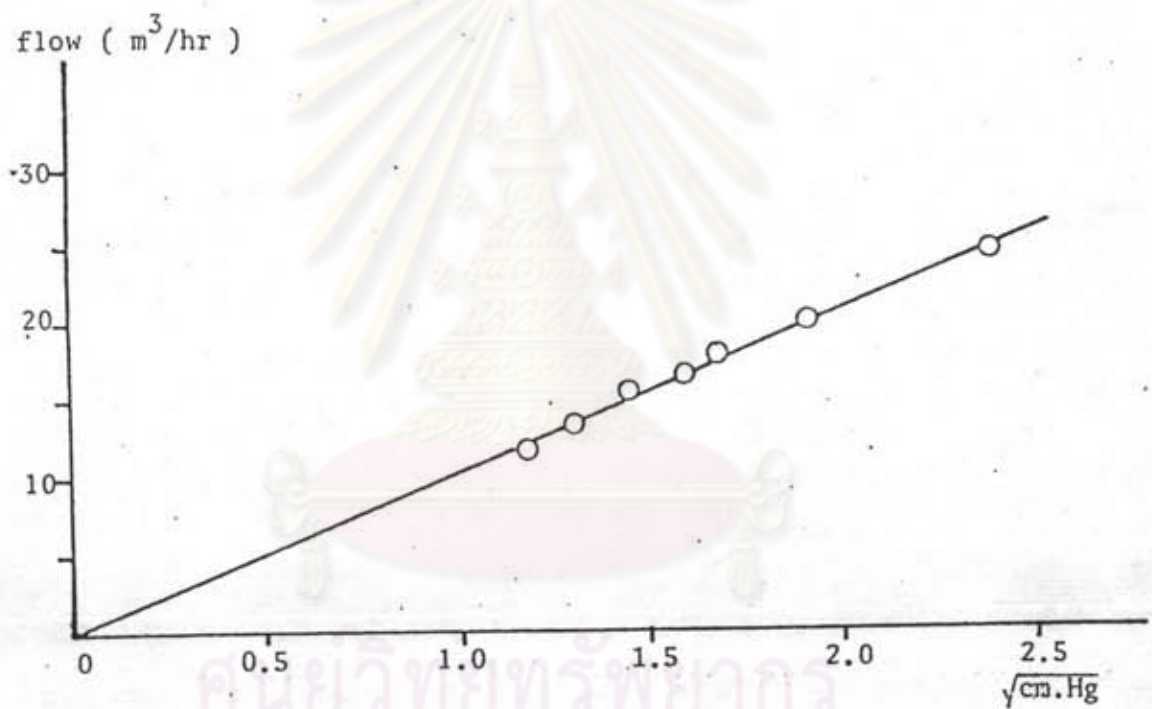
ศูนย์วิทยุโทรพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ๑.1 รูปแสดงเครื่องแกสโครมาโตกราฟฟี



## ภาคผนวก ๑

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของ  
แก๊สเข้าหอคูดซิม กับผลต่างของระดับปรอท



รูปที่ ๑.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของแก๊ส  
เข้าหอคูดซิม กับผลต่างของระดับปรอท

## ประวัติผู้เขียน

นายชัยทวี โตจิรกุล สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม จากภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักบริการเทคนิค บริษัท สยามกราฟท์ จำกัด ปี พ.ศ. 2528 เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทที่สหสาขาวิชาปิโตรเคมี-โพลีเมอร์สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยพัชร์พยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย