

젖은 벽탐에서 CO₂의 CMC-NaOH 수용액에 대한 흡수

박상욱·박판욱·김성수·윤종원

부산대학교 공과대학 화학공학과
(1987년 2월 18일 접수, 1987년 6월 8일 채택)

Absorption of CO₂ into CMC-NaOH Aqueous Solution in a Wetted-Wall Column

Sang Wook Park, Pan Wook Park, Seung Soo Kim and Jong Won Yun

Department of Chemical Engineering, College of Engineering,
Pusan National University, Pusan 607, Korea

(Received 18 February 1987; accepted 8 June 1987)

요 약

젖은 벽탐을 사용하여 30°C에서 물, 각 농도의 NaOH, CMC 및 NaOH-CMC 수용액에 의한 CO₂의 흡수실험에서 기-액접촉시간을 변화시켜 CO₂ 기체의 흡수속도를 측정하였다.

실험결과는 침투설을 근거로 한 반응흡수이론에 의해 해석하였으며, 그 결과 반응촉진계수 β 의 측정치가 CO₂와 OH⁻와의 비가역 2차반응을 동반하는 흡수에 대한 Hikita 등의 근사이론식과 실험오차 $\pm 8\%$ 이내에서 일치하고 있다.

Power-law에 적용되는 비뉴턴액체에서의 반응흡수기구는 비뉴턴액체의 특성치를 첨가한 뉴턴액체에서의 반응흡수기구에 의하여 해석할 수 있었다.

Abstract— The rate of absorption of carbon dioxide into water, aqueous sodium hydroxide, CMC (carboxymethyl cellulose), and sodium hydroxide-CMC has been measured by various changes of contact time between gas and liquid using a wetted-wall column at 30°C.

The experimental data were analysed by the penetration theory based on the gas absorption with second order irreversible chemical reaction CO₂ and OH⁻.

The measured reaction enhancement factors were consistent with those predicted by the approximated equation derived by Hikita et al. within the range of $\pm 8\%$ of experimental error.

The mechanism of gas absorption with reaction into Newtonian liquid could be also used in the case of Power-law liquids.

1. 서 론

총전탐의 액상물질이동에 관한 수년동안의 연구에 의해 물리흡수의 경우에는 그 흡수기구가 침투설[1]에 따른다고 밝혀졌다. 이로 부터 액상내의 화학반응을 동반

하는 이른바 반응흡수의 경우도 침투설에 의해 고찰되었다. 따라서 최근의 반응흡수에 관한 실험적 연구는 젖은 벽탐이나 액체분사형탐과 같은 침투설을 적용할 수 있는 실험장치를 사용하여 진행되었다[2-4]. 그러나 층류격막흐름에서 비가역 2차반응으로 반응흡수가 진행

될 경우 반응물에 대한 확산방정식은 비선형으로 표현되기 때문에 이에 대한 해석해가 불가능하다. 따라서 순간반응영역 또는 유사 1차반응영역과 같은 극한의 경우에서 확산방정식에 대한 근사해를 구하여 반응흡수기구를 해석하였다.

뉴튼액체에 의한 기체흡수에 관한 이론 및 실험적 연구는 상당히 진전되어 있는 반면 비뉴튼액체에서의 물리적 또는 화학반응흡수에 대한 기초연구는 미흡한 실정이다. Hikita 등[5]은 Kaolin 슬러리의 비뉴튼액체의 물리흡수에 대한 실험적 고찰을 시도하였으나 화학반응이 수반된 경우의 실험적 연구는 아직 시도된 바가 없는 것으로 생각된다.

본 연구는 액체의 층류상태에서 수력학적 처리방법이 충분히 정립되어 있는 것은 벽탑(wetted-wall column)을 사용하여 기체와 비뉴튼액체가 접촉될 경우 화학반응이 동반된 기체의 흡수기구를 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

기체흡수를 위하여 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같이 항온조, 기체흡수기 및 유량계 세 부분으로 이루어져 있다. 항온수조에서 기체 및 흡수액의 온도를 30°C (± 0.3)로 유지하였으며, 기체는 기상저항을 제거하기 위하여 봄베에 저장된 CO₂ 기체(순도 99.5%)를 사용하였다. 또한 흡수액에서 물의 역압(back pressure)을 방지하기 위하여 기체를 흡수탑에 주입하기 전에 포화조에서 수증기로 포화시켰다. 흡수액은 0.7 gmole/l 농도범위까지의 NaOH(Junsei Chemical Co., Japan) 수용액, 0.1 wt% 농도범위까지의 CMC(Junsei Chemical Co., Extra pure, Japan) 수용액, NaOH-CMC 수용액 및 순수를 사용하였다. 흡수탑은 Roberts와 Danckwerts[6]가 사용한 젖은 벽탑을 개량한 Hikita 등[7]의 흡수탑을 사용하였다. 이 개량된 흡수탑의 젖은 벽부분은 외경 1.39 cm, 길이 60 cm의 파이렉스제 원주봉이며, 흡수탑의 말단효과(end effect)를 제거하기 위하여 원주봉의 끝을 반구형으로 하여 이 반구형의 하단에 직경 0.2 cm, 길이 4 cm의 유리봉을 부착하였다. 젖은 벽탑에서 흘러내리는 액막의 주름모양(rippling)현상을 막기 위해서 흡수액에 비이온 계면활성제(Scouriol 100, Kao Chemical Co., Japan) 0.03 vol%를 첨가하였다. 기체의 흡수속도는 Nijsing 등[8]과 같이 비누막유량계(soap bubble flowmeter)를 사용하여 측정하였다.

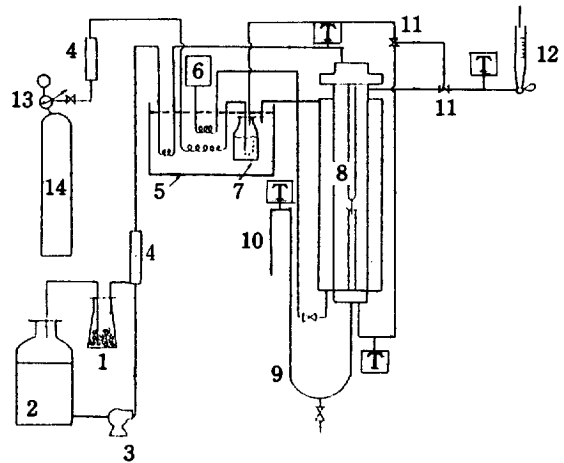


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

- | | |
|-------------------------|------------------------------|
| 1. KOH Tablet | 2. Solution Tank |
| 3. Tubing Pump | 4. Flow Meter |
| 5. Water Bath | |
| 6. Immersion Circulator | |
| 7. Saturation Bottle | |
| 8. Wetted-Wall Column | |
| 9. Run-off Tube | 10. Sampling Line |
| 11. Selection Cock | 12. Soap-bubble Meter |
| 13. Gas Regulator | 14. CO ₂ Cylinder |
| T Thermometer | |

흡수기내의 젖은 벽탑의 중심을 정확히 수직으로 고정시킨 후 탑내의 공기를 제거하고 젖은 벽탑 상단의 slit와 흡수기 하단으로 부터 항온으로 유지된 액체와 기체를 각각 향류로 접촉시켰다. 기체유량의 변화가 흡수속도에 영향을 미치지 않는 범위에서 기체의 유량을 250 cm³/min로 고정하고, 원주봉의 기-액접촉길이를 12 cm로 고정하고, 액체의 유량을 변화하면서 정상상태에서 기체흡수속도를 측정하였다.

3. 물리흡수에 대한 실험결과

반응흡수실험에 앞서 젖은 벽탑의 액막내 물질전달기구가 침투설에 따르는가를 확인하기 위하여 CO₂-H₂O와 CO₂-CMC-H₂O의 흡수실험을 행하여 얻어진 흡수속도의 실험치들을 침투설에 근거를 둔 Higbie[1]의 이론식

$$N_A^* = 2A_i \sqrt{\frac{D_A}{\pi t}} \quad (1)$$

와 비교하였다.

젖은 벽탐에서 흘러내리는 액체가 층류라고 하였을 때 액체의 액막표면의 속도는 뉴턴액체의 경우는 식 (2)[9], power-law에 해당되는 비뉴턴액체의 경우는 식 (3)[10]과 같이 주어진다.

$$U_s = \frac{3}{2} \left(\frac{3\pi^2 d^2 \mu}{\rho g v} \right)^{1/3} \quad (2)$$

$$U_s' = \frac{2n+1}{n+1} \left[\frac{n}{2n+1} \left(\frac{\rho g}{K} \right)^{1/n} \left(\frac{v}{\pi d} \right)^{n+1/n} \right]^{n/2n+1} \quad (3)$$

식 (1)에서 기-액접촉시간 t 는 식 (2)와 식 (3)을 사용하여 다음과 같이 뉴턴 및 비뉴턴액체에 대해서 주어진다.

$$t = \frac{h}{u_s} \quad (4)$$

$$t' = \frac{h}{u_s'} \quad (5)$$

따라서 물리흡수에서 기체의 평균흡수율은 상기의 두 종류의 액체에 대해서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q^* = A_i d (6hD_A)^{1/2} \left(\frac{\pi \rho g}{3\mu} \right)^{1/6} \left(\frac{v}{d} \right)^{1/3} \quad (6)$$

$$q^{*'} = 2f(n) \sqrt{\pi} A_i' d (hD_A)^{1/2} \left(\frac{\rho g}{K} \right)^{1/4n+2} \left(\frac{v}{\pi d} \right)^{n+1/4n+2} \quad (7)$$

여기서

$$f(n) = \left(\frac{2n+1}{n+1} \right)^{1/2} \left(\frac{n}{2n+1} \right)^{n/4n+2} \quad (8)$$

CO₂ 기체가 물에 흡수될 때의 용해도 A_i 는 Bohr [11]의 실측치 2.84×10^{-5} gmole/cm³를 사용하였고 물의 밀도와 점도는 문헌[12, 13]에서 인용한 값 0.9957 g/cm³ 및 0.7975 cp를 각각 사용하였다. 또한 CMC 수용액에서의 기체의 용해도 A_i' 는 Zandi와 Turner[14]가 사용한

$$A_i' = A_i \left(1 - \frac{s}{10^5} \right) \quad (9)$$

에 의해 구하였으며, 여기서 s 는 용해된 CMC의 농도 (mg/l)이다.

30°C에서 CMC 수용액의 각 농도별 밀도는 pycnometer를 사용하여 측정하였으며, 비뉴턴액체의 특성치 n 와 K 는 점도계(Cone and plate viscometer, Keiki Comp., Japan)를 사용하여 측정하였다.

식 (6)에서 q^* 를 $V^{1/3}$ 에 대해서 plot하여 Fig. 2에 나타내었다. 이 그림에서 실험치들은 원점을 지나는 직선으로 나타났으며, 이 직선의 기울기로 부터 구한 CO₂

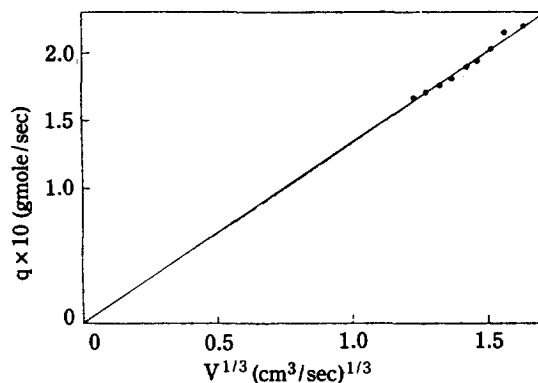


Fig. 2. Absorption rate of CO₂ vs. (flow rate)^{1/3} for water at 30°C.

기체의 물에 대한 확산계수, D_A 는 2.23×10^{-5} cm²/sec이었으며, 이 값은 동일한 흡수탑을 사용한 Hikita와 Asai[15]가 측정된 2.26×10^{-5} cm²/sec와 잘 일치하였다.

따라서 본 실험에서 사용한 젖은 벽탐은 원주봉의 말단효과를 보정한 것이 타당하여[7], CO₂-H₂O계의 기체흡수는 Higbie[1]의 침투설에 의하여 이루어짐을 확인할 수 있다.

한편 식 (7)을 사용하여 q^{*} 를 $V^{n+1/4n+2}$ 에 대해서 CMC 농도별로 plot한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 이 그림에서 실험치들은 원점을 지나는 직선을 이루었다. 이들 기울기로 부터 구한 CO₂기체의 CMC 수용액에서의 확산계수값들은 Table 1에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 CMC 수용액에서 CO₂기체의 확산계수는 물에서의 값보다 증가하였다. 일반적인

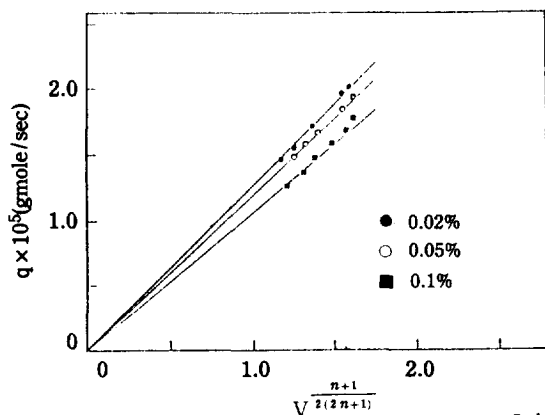


Fig. 3. Absorption rate of CO₂ vs. (flow rate) ^{$\frac{n+1}{2(2n+1)}$} for CMC solutions at 30°C.

Table 1. Diffusivities of CO₂ in CMC solutions at 30°C.

Solution (wt. %)	D _A × 10 ⁵ (cm ² /sec)	Standard Deviation	n	K × 100 (dyne sec ² /cm ²)
water	2.23	0.041	1.0	1.0
0.02	2.24	0.050	0.97	1.18
0.035	2.86	0.035	0.97	2.68
0.05	2.94	0.030	0.96	3.48
0.075	2.49	0.034	0.96	4.07
0.1	2.34	0.028	0.96	4.26

로 용질의 농도가 증가할수록 용해된 기체의 확산계수는 감소하는 경향에 비해 본 실험에서의 결과는 반대현상을 나타내었다.

Li와 Gainer[16]는 식 (10)을 사용하여 묽은 농도의 고분자용액에서 기체의 확산촉진현상을 다음과 같이 설명하였다.

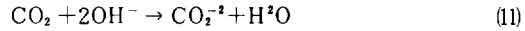
$$\frac{D_{AS}}{D_{AB}} = \left(\frac{M_B}{M_A}\right)^{1/2} \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{VB}}\right) \quad (10)$$

여기서 첨자 s는 고분자수용액, B는 용매, A는 용해된 기체, M과 V는 분자량 및 몰당 부피, ΔH_m 은 고분자용액의 회석열, ΔH_{VB} 는 용매의 증발엔탈피 변화량이다. 만약 고분자가 용해될 때 발열용액으로 회석열이 음수이면 식(10)에서 $\frac{D_{AS}}{D_{AB}}$ 는 1보다 크게 되어 고분자용액에 용해된 기체의 확산계수는 물에서 보다 크게 된다. 따라서 본 연구에서 CMC 농도 범위가 묽은 용액일 경우 CO₂의 확산계수가 물에서보다 큰 사실은 CMC가 물에 용해될 때의 회석열이 발열이라고 추측할 수 있다. Lee[17]는 CMC 수용액에서 O₂의 확산계수를 측정하였는데 본 연구의 결과와 같이 물에서의 값보다 증가되었음을 나타내었다. Ravetkar와 Kale[18], Astarita[19]는 CMC-CO₂계에서 확산계수의 증가현상을 나타내었으나, Quinn과 Blair[20], Aiba와 Someya[21] 등은 물에서보다 감소함을 보여 주었다. 또한 본 연구에서 CMC 농도가 0.05 wt% 농도까지는 D_A가 물에서보다 증가하였고, 0.05에서 0.1 wt%까지의 범위에서는 물에서보다는 크지만 농도증가에 따라 감소하는 경향이 있었다. Ju와 Ho[22]는 CMC-O₂계에서 O₂의 확산계수 측정값이 0.5 wt%농도까지는 감소하다가 그 이후의 농도에서는 증가하였음을 보여주었고, Mashelkar와 Soyul[23]는 CMC-CO₂계에서 증가 후 감소현상을 보여주었다. 이들의 결과로부터 CMC-CO₂계에서 CO₂의 확산계수의 촉진현상은 CMC 위 검화도, CMC 분자량, 농도범위 등의 영향에 좌우

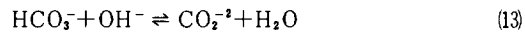
될 수 있으나 이에 대한 일괄적인 비교 연구가 되어 있지 않아 체계적인 연구가 기대된다.

4. 반응흡수에 대한 실험결과

이미 많은 연구자들[24-27]의 연구에 의해 알려진 바와 같이 액체중에 용해된 CO₂기체와 NaOH와의 총괄 반응은



이지만 이 반응은



의 순서로 일어나며 이들 반응중에서 식 (12)반응이 반응속도를 지배하는 율속단계[28]가 됨으로 식 (11)반응은 CO₂와 OH⁻에 대해 각각 1차인 2차 비가역반응이라 볼 수 있다.

비가역 2차반응을 동반하는 기체흡수에 대해서는 확산방정식이 비선형이므로 순간반응흡수 및 유사 1차반응흡수의 양극한의 경우에만 흡수속도의 해가 얻어진다[28]. 따라서 일반적인 비순간반응흡수에 대한 실험결과와의 이론적해석은 전산에 의한 수치해석 또는 근사이론에 의해서만 가능하다.

OH⁻농도가 비교적 큰 경우(pH>10), 용해기체의 침투거리에서 OH⁻농도가 계면농도와 동일하게 일정하다고 가정하면[29], 액막내에서 CO₂ 성분의 확산방정식은 다음과 같이 근사적으로 나타내어진다.

$$D_A \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} = \frac{\partial A}{\partial t} - k_1 B_0 A \quad (14)$$

식 (14)에서 해를 구하기 위한 필요한 초기 및 경계조건은 다음과 같다.

$$t = 0, \quad x > 0; \quad A = 0 \quad (15)$$

$$t > 0, \quad x = 0; \quad A = A_i \quad (16)$$

$$t > 0, \quad x = \infty; \quad A = 0 \quad (17)$$

따라서 침투설에 의한 비가역 2차반응흡수에 대한 기체의 평균흡수속도는

$$N_A = \beta N_A^* = \beta 2A_i \sqrt{\frac{D_A}{\pi t}} \quad (18)$$

로 되며 반응촉진계수 β 는 Hikita와 Asai[29]가 제안한 근사이론에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$\beta = \left(\gamma\eta + \frac{\pi}{8\gamma\eta}\right) \text{erf}\left(\frac{2\gamma\eta}{\sqrt{\pi}}\right) + \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{4\gamma^2\eta^2}{\pi}\right) \quad (19)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\pi}{4} B_0 k_1 t} \quad (20)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\beta_{\infty} - \beta}{\beta_{\infty} - 1}} \quad (21)$$

단 식 (21)에서 B_{∞} 는 순간반응흡수에 대한 β 값을 나타내며 다음식[30]으로 주어진다.

$$\beta_{\infty} = 1/\text{erf}(\sigma) \quad (22)$$

$$\sqrt{\frac{D_B}{D_A}} \frac{B_0}{2A_i} \text{erf}(\sigma) \exp\left[\sigma^2 \left(1 - \frac{D_A}{D_B}\right)\right] + \text{erf}\left(\sigma \sqrt{\frac{D_B}{D_A}}\right) = 1.0 \quad (23)$$

β 값은 식 (18)을 사용하여 구할 수 있으며, 이때 A_i 와 D_A 는 각 농도의 NaOH 수용액에 대한 계산값을 사용하였다. 즉 각 농도의 NaOH 수용액에 대한 CO₂의 용해도 A_i 는 Van Krevelen과 Hoftijzer[31]의 방법에 의하여 구하였으며, CO₂의 NaOH 수용액중의 확산계수 D_A 는 물에 대한 확산계수값에 Stokes-Einstein이 관계식에 의해서 흡수액의 점도보정을 한 값을 사용하였다.

γ 값은 식 (20)으로 부터 구하였으며 이때 반응속도정수 k_1 값은 Nijsing 등[8]의 관계식

$$\log k_1 = 13.625 - \frac{2875}{T} + 0.131 \quad (24)$$

을 사용하여 구하였다.

B_{∞} 의 계산은 식 (22), (23)에서 $\frac{D_B}{D_A}$ 의 값, 즉 OH⁻와 CO₂의 액상내 확산계수의 비가 필요하지만 저자 등은 Nijsing 등[8]과 같이 그 비가 NaOH 수용액의 농도와 관계없이 일정하다고 가정하여 Vinograd와 McBain[32]이 구한 30°C에서의 무한희석수용액에 대한 OH⁻의 확산계수 3.72×10^{-5} cm²/sec와 본 연구에서 측정한 물에서의 CO₂의 확산계수값 2.26×10^{-5} cm²/sec와의 비 1.65를 $\frac{D_B}{D_A}$ 로 사용하였다.

Table 2는 본 실험에서 사용한 5개 농도의 NaOH 수용액에 대하여 전술한 방법으로 구한 A_i , D_A , k_1 및 $\frac{D_B}{D_A}$ 의 값이다.

Table 2. Physical and chemical properties of CO₂-NaOH system at 30°C.

B_0 (gmole/l)	$A_i \times 10^5$ (gmole/cm ³)	$k_1 \times 10^7$ (cm ³ /gmole sec)	$D_A \times 10^5$ (cm ² /sec)	D_B/D_A
water	2.84	—	2.23	—
0.132	2.73	1.22	2.16	1.67
0.263	2.62	1.27	2.10	1.67
0.529	2.41	1.38	1.99	1.67
0.640	2.33	1.42	1.96	1.67
0.733	2.56	1.46	1.91	1.67

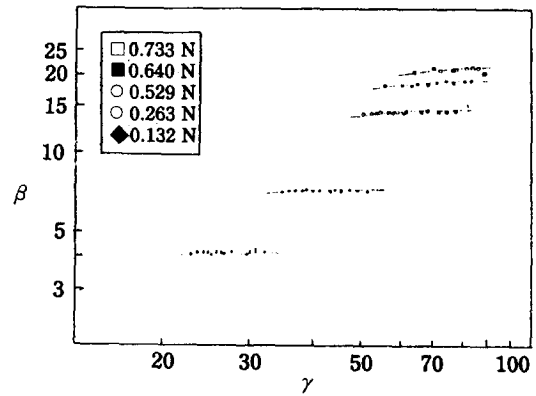


Fig. 4. Enhancement factors for absorption of CO₂ into NaOH solutions at 30°C.

본 연구의 실험결과와 식 (19)와 비교 검토하기 위하여 β 를 γ 에 대해서 plot하면 Fig. 4와 같다. 여기서 실선은 식 (19)에서 (23)까지의 식에서 계산된 값을 나타낸다. Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 실험치는 계산치에 $\pm 8\%$ 의 편차로 일치하며 이것은 본 연구에서 사용한 해석방법이 타당하다는 것을 의미한다.

CMC-NaOH 수용액에 CO₂ 기체가 흡수될 때의 화학촉진계수 β 를 구하기 위하여 NaOH-CO₂계에서 사용하였던 방법과 동일하게 식 (19)를 사용하였다. CMC 수용액에서 CO₂가 NaOH와 반응할 때의 반응기구는 전술한 수용액에서 NaOH와 반응할 경우의 기구와 동일하다고 가정하여 반응속도정수 k_1 는 식 (24)에 의해서 구하였다.

CMC-NaOH 수용액에서의 CO₂ 기체의 용해도는 NaOH-CO₂계에서의 용해도를 식 (9)의 A_i 로 대치하여 계산하였다.

CMC-NaOH 수용액에서 OH⁻의 확산계수와 용해

Table 3. Physical and chemical properties of CMC-NaOH-CO₂ system at 30°C.

NaOH (gmole/l)	CMC (wt%)	$A_i \times 10^5$ (gmole/cm ³)	$k_1 \times 10^7$ (cm ³ /gmole sec)	$D_A \times 10^5$ (cm ² /sec)	D_B
0	0	2.84	—	2.23	—
0.126	0.002	2.73	1.22	3.12	1.67
0.126	0.035	2.72	1.22	2.96	1.67
0.124	0.05	2.72	1.22	2.85	1.67
0.225	0.05	2.61	1.26	2.78	1.67
0.511	0.05	2.41	1.37	2.63	1.67
0.411	0.1	2.69	1.33	1.80	1.67

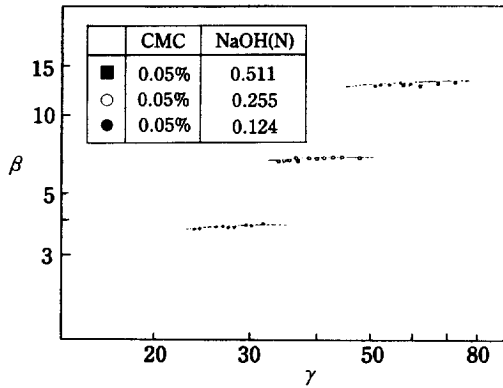


Fig. 5. Enhancement factors for absorption of CO_2 into CMC-NaOH solutions at 30°C .

된 CO_2 의 확산계수와와의 비 $\frac{D_B}{D_A}$ 는 $\text{NaOH}-\text{CO}_2$ 계에서 사용된 값 1.67을 그대로 사용하였다. 또한 CMC-NaOH 수용액에서의 D_A 는 CMC 수용액에서 측정 한 값을 Stokes-Einstein 관계식에 의하여 CMC-NaOH 수용액의 점도보정을 하여 사용하였다. 이와같이 하여 구한 CMC-NaOH계에서의 A_i , D_A , k_1 및 $\frac{D_B}{D_A}$ 의 값들을 Table 3에 나타내었다.

CMC 농도 0.05 wt%에서 NaOH 각 농도에 따라 β 를 γ 에 대해서 plot하여 Fig. 5에 나타내었으며, 이때 근사이론식 (19)를 사용하여 γ 에 대한 β 의 계산값을 실선으로 나타내었다. 이 그림에서 실측치는 계산치에 $\pm 7\%$ 의 편차로 일치하였다. 이것은 Power-law에 적용되는 비뉴턴액체에서의 반응흡수 기구가 침투설에 의해 해석이 가능하다는 것을 나타내며, 본 연구에서 사용된 CMC-NaOH계에서의 반응흡수는 유사1차반응에 의해 흡수되는 $\text{NaOH}-\text{CO}_2$ 계와 동일한 반응흡수에 의해 이루어졌음을 알 수 있었다.

5. 결 론

젖은 벽탐을 사용하여 30°C 에서 물, 각 농도의 NaOH, CMC 및 NaOH-CMC 수용액에 의한 CO_2 의 흡수실험에서 여러가지의 기-액접촉시간을 변화시켜 흡수속도를 측정하였다.

실험결과는 침투설을 근거로 한 반응흡수이론에 의해 해석하였으며 그 결과 반응촉진계수 β 의 실험치가 CO_2 와 OH^- 와의 비가역 2차반응을 동반하는 흡수에 대한 Hikita 등의 근사이론식과 실험오차 $\pm 8\%$ 이내에서 일치하였다.

Power-law에 적용되는 비뉴턴액체에서의 반응흡수 기구는 비뉴턴액체의 특성치를 가미한 뉴턴액체에서의 반응흡수기구를 이용하여 해석할 수 있었다.

감 사

본 연구는 1986년도 한국과학재단 연구비지원 (과제 번호: 862-1002-017-2)으로 수행한 연구결과의 일부 분입니다.

NOMENCLATURE

- A : concentration of solute gas A in a liquid, gmole/cm³
- A_i : interfacial concentration of A in a liquid, gmole/cm³
- A'_i : interfacial concentration of A in polymer solutions, gmole/cm³
- B_0 : initial concentration of OH^- in a liquid, gmole/cm³
- D_A, D_B : diffusivity of solute gas A and reactant B in a liquid, cm²/sec
- D_{AS}, D_{AB} : diffusivity of A in a polymeric solution and in water, cm²/sec
- d : rod diameter in a wetted-wall column, cm
- h : rod length in a wetted-wall column, cm
- ΔH_m : enthalpy change in polymer mixing, cal/gmole
- ΔH_{VB} : vaporization enthalpy change of solvent, cal/gmole
- I : ionic strength, gmole/l
- k_1 : reaction rate constant, cm³/gmole-sec
- K : consistency index, dyne-sec²/cm²
- M_A, M_B : molecular weight of solvent and polymer, g/gmole
- N_A, N_A^* : average absorption rate per unit area with and without chemical reaction, gmole/cm²-sec
- n : power-law index
- q^*, q^{**} : average physical absorption rate in aqueous and polymeric solution, gmole/sec
- t, t' : contact time between gas and Newtonian liquid and Non-Newtonian liquid, sec
- T : temperature, $^\circ\text{K}$
- u_s, u_s' : surface velocity of Newtonian and Non-Newtonian liquid film, cm/sec
- v : liquid flow rate, cm³/sec
- V_B, V_S : molar volume of solvent and polymeric solution, cm³/gmole
- x : distance beneath liquid surface, cm

Greek Letters

β	: reaction enhancement factor
β_{∞}	: reaction enhancement factor for gas absorption with infinitely rapid reaction
γ	: parameter defined by eq. (20)
η	: parameter defined by eq. (21)
σ	: parameter defined by eq. (23)
μ	: liquid viscosity, g/cm-sec
ρ	: liquid density, g/cm ³

REFERENCES

- Hibbie, R.: *Trans. Am. Inst. Chem. Eng.*, **31**, 365 (1935).
- Best, R.G. and Hoerner, B.: *Chem. Eng. Sci.*, **34**, 759 (1979).
- Pedersen, H. and Prenosil, J.E.: *Int. J. Heat Mass Transfer*, **24**, 299 (1981).
- Basu, R., Ray, P. and Dutta, B.K.: *Can. J. Chem. Eng.*, **64**, 862 (1986).
- Hikita, H., Ishimi, M., Hara, M. and Matsunami, E.: *Can. J. Chem. Eng.*, **62**, 352 (1984).
- Roberts, D. and Danckwerts, P.V.: *Chem. Eng. Sci.*, **17**, 961 (1962).
- Hikita, H., Asai, S. and Himukashi, Y.: *Kagaku Kogaku*, **31**, 818 (1967).
- Nijssing, R.A.T.O., Hendriks, R.H. and Kramers, H.: *Chem. Eng. Sci.*, **4**, 49 (1955).
- Danckwerts, P.V.: "Gas-Liquid Reaction," pp. 74, McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y. (1970).
- Hikita, H., Ishimi, M. and Koroyasu, S.: *Can. J. Chem. Eng.*, **63**, 522 (1985).
- Bohr, C.: *Ann. Phys.*, **68**, 500 (1984).
- Washburn, E.W.: "International Critical Tables," vol. III, pp. 24, McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y. (1928).
- Weast, R.C.: "Handbook of Chemistry and Physics," pp. F-51, CRC Press, Inc., Boca Raton (1979).
- Zandi, I. and Turner, C.D.: *Chem. Eng. Sci.*, **25**, 517 (1970).
- Hikita, H. and Asai, S.: *Kagaku Kogaku*, **28**, 1017 (1964).
- Li, S.U. and Gainer, J.L.: *Ind. Eng. Chem. Fundamentals*, **7**, 433 (1968).
- Lee, S.J. and Lee, W.K.: *Korean J. Chem. Eng.*, **1**, 51 (1984).
- Ravetkar, D.D. and Kale, D.D.: *Chem. Eng. Sci.*, **36**, 399 (1981).
- Astarita, G.: *Ind. Eng. Chem. Fundamentals*, **11**, 161 (1972).
- Quinn, J.A. and Blair, L.M.: *Nature*, **24**, 909 (1967).
- Aiba, S. and Someya, J.: *Kagaku Kogaku*, **43**, 603 (1965).
- Ju, L. and Ho, C.S.: *Chem. Eng. Sci.*, **41**, 579 (1986).
- Mashelkar, R.A. and Soyulu, M.A.: *Chem. Eng. Sci.*, **29**, 1089 (1974).
- Danckwerts, P.V. and Kennedy, A.M.: *Chem. Eng. Sci.*, **8**, 20 (1958).
- Nijssing, R.A.T.O., Hendriks, R.H. and Kramers, H.: *Chem. Eng. Sci.*, **10**, 88 (1951).
- Sharmer, M.M. and Danckwerts, P.V.: *Chem. Eng. Sci.*, **18**, 729 (1963).
- Astarita, G.: *Ind. Eng. Chem. Fundamentals*, **2**, 294 (1963).
- Hikita, H. and Asai, S.: *Int. Chem. Eng.*, **4**, 332 (1964).
- Hikita, H. and Asai, S.: *Chem. Eng. J.*, **28**, 1017 (1964).
- Sherwood, T.K. and Pigford, R.L.: "Absorption and Extraction," 2nd ed., pp. 332, McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y. (1952).
- Van Krevelen, D.W. and Hoftijzer, P.J.: *Chim. Industr. XXI Congr. Int. Chim. Industr.*, 168 (1948).
- Vinograd, J.R. and McBain, J.W.: *J. Am. Chem. Soc.*, **163**, 2008 (1941).