

공기 분리막에서의 Sherwood 수 상관 관계식

윤성진, 김준숙, 민병렬
연세대학교 공과대학 화학공학과

Sherwood Number Correlation Modification in Air Separation Membrane

Seong Jin Yun, Jun Suk Kim, Byoung Ryul Min
Dept. of Chem, Eng., College of Eng., Yonsei University

1. 서 론

기체 분리막 현상을 해석하는데 있어 과거에는 낮은 기체 투과 속도와 액체보다 4, 5 배 정도 높은 확산으로 인해 농도 분극 현상을 전혀 고려하지 않았다. 하지만 기체 분리막의 획기적 발전으로 인해 투과 속도가 매우 증가하여 기체의 농도 분극은 더 이상 무시할 수 없게 되었다.[1] 이에 농도 분극 현상이 있는 계에서 물질 전달 관계식으로 자주 이동되는 Sherwood 수 상관 관계식을 최적화하여 기체 분리막에서의 타당성을 살펴 보았다.

2. 이 론

2-1. Sherwood 수 상관관계식에서 사용되는 Sc의 지수 결정

기체 분리막에서 물질 전달은 공급, 막, 그리고 투과측 흐름의 세 영역으로 고려할 수 있다. 이는 세 영역의 저항이 존재한다는 말이다. 총 저항의 합은 총 물질 전달 계수의 역으로 생각할 수 있고, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다[2].

$$\frac{1}{k_t} = \frac{1}{k_f} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{B Q_p^r} \quad (1)$$

여기서 k 는 저항, Q_p 는 투과측 흐름, 하첨자 t, m, f 는 각각 총합, 막, 공급 흐름을 나타낸다.

$\frac{1}{Q_p^r}$ 에 대한 $\frac{1}{k_t}$ 의 값을 플롯하여 직선 형태를 보이는 r 값과 Sherwood 수 상관 관계식의 Sc 의 지수값은 대략 1이 되어야 한다. 이를 이용하여 Sherwood 수 상관 관계식의 Sc 의 지수값을 예측할 수 있다.

2-1. Sherwood 수 상관 관계식

1934년 Gilland와 Sherwood는 Reynolds 수와 Schmidt 수를 이용하여 Sherwood 수 상관관계식의 일반적인 형태를 다음과 같이 나타내었다[3].

$$Sh = \frac{k \cdot d_h}{D} = A Re^a Sc^\beta \quad (2)$$

식 (2)는 모듈 내의 흐름이 난류인 경우 사용가능하지만 층류인 경우에는 보정인자를 적용하여야 한다.

$$Sh = \frac{k \cdot d_h}{D} = A Re^a \left(Sc \frac{d_h}{L} \right)^\beta \quad (3)$$

여기서, d_h 는 수력학적 반지름, L 는 모듈의 길이를 나타낸다.

일반적인 경우 Sc 의 지수값 β 는 0.33이고, Re 의 지수값 a 는 층류인 경우 0.33 정도이며, 난류의 경우 0.6~0.8정도이다[4].

3. 실험

모듈 # 1, # 2 모두 지지층이 polysulfone, 선택층이 silicon으로 된 복합막으로 fiber의 길이가 각각 78.5 cm, 30 cm이다. 실험에 사용된 두 모듈의 공기 분리 실험은 낮은 공급 유속에서 높은 공급 유속으로, 낮은 공급 압력에서 높은 공급 압력 순서로 행하였다. 실험 압력의 모듈 # 1과 모듈 # 2 모두 공급 압력 3 atm에서 7 atm까지 행하였으며, 압력의 증가폭은 1 atm이었다. 공급 유속은 모듈 #1의 경우 32.5 l/min에서 50 l/min까지 2.5 l/min 씩 증가시키면서, 모듈 #2는 2 l/min에서 10 l/min까지 1 l/min의 단위로 증가시켜 투과 흐름의 유속, 압력과 산소 농도, 그리고 비 투과 흐름의 유속, 압력과 산소 농도를 측정하였다.

4. 결과 및 토론

4-1. Sherwood 수 상관관계식에서 사용되는 Sc의 지수 결정

$r=0.66$ 일때 $\frac{1}{Q_p}$ 에 대한 $\frac{1}{k_t}$ 의 그래프가 가장 최적의 직선 형태를 보였다. 이로 인해 Sherwood 수 상관 관계식의 Sc의 지수 값이 0.33으로 고정할 수 있다.

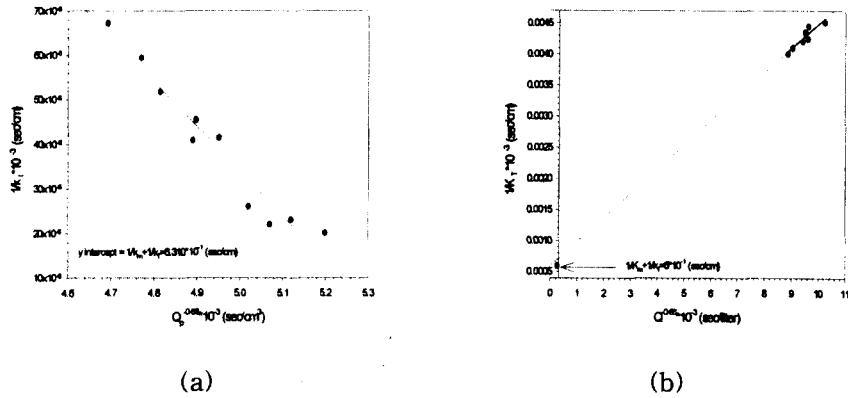


Fig. 1. Willson plot, inversion of total mass transfer coefficient vs. permeate rate raised -0.66 at feed pressure 2 atm (a) in membrane module # 1 (b) in membrane module # 2.

4-2. Sherwood 수 상관 관계식

난류에 대한 Sherwood 수 상관 관계식은 다음과 같다.

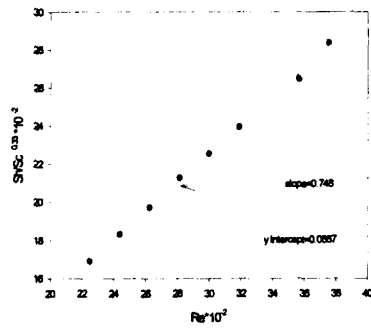
$$Sh = A Re^{\alpha} Sc^{0.33}$$

단, $A=0.08 \sim 0.1$, $\alpha=0.73 \sim 0.76$

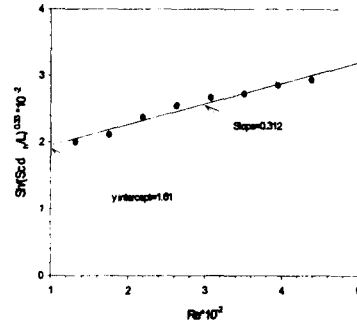
층류에서의 물성치 변화에 대한 보정항으로 $(\frac{d_h}{L})$ 도입하여 나타낸 Sherwood 수 상관 관계식은 다음과 같다.

$$Sh = ARe^\alpha (Sc \frac{d_h}{L})^{0.33}$$

단, $A=1.61 \sim 1.67$, $\alpha=0.31 \sim 0.34$



(a)



(b)

Fig. 2. (a) Plot $\frac{Sh}{Sc^{0.33}}$ vs. Re in membrane module # 1 at at feed pressure 2 atm, (b) Plot $\frac{Sh}{(Sc \frac{d_h}{L})^{0.33}}$ vs. Re in membrane module # 2 at feed pressure 2 atm

4. 참고문헌

1. Mark L. Cruder, J. Memb. Sci. , 137, (1997), 17-27
2. B. R. Min, "Experimental and theoretical study of NaCl and CaCl₂ transport through cellulose acetate membrane using a reverse osmosis batch cell", State university of New York, (1983)
3. M. Cheryan, "Ultrafiltration handbook", Technomic Pub. Co., Lancaster, (1986)
4. M. Cheryan, "Ultrafiltration and microfiltration", Technomic publishing Co. Inc, (1998)