

Membrane Contactor를 이용한 암모니아의 제거

이윤미, 이정우, 박성빈, 이철수, 윤창한, 유성호*
고려대, (주)미래엔지니어링*

Ammonia Stripping Using Membrane Contactor

Y.M Lee, J.W Lee, S.B Park, C.S Lee,
C.H Yun, S.H Yoo*
Korea Univ., Meerae Eng. Co*

1. 서론

피혁공정에서 본공정에 들어가기에 앞서 소석회를 용해하는 과정이 있는데, 이때 화학적 처리법을 거치면, 부산물로 암모니아가 생성된다. 또한 암모니아는 현재 우리 사회에 중요한 화학물질 중 하나이다. 이 암모니아를 제거하거나, 회수하는 한가지 방법으로 중공사막 접촉기를 제안 할 수 있다.

중공사막 접촉기는 우선 상당히 큰 기-액 접촉면적을 가지고 있고, 기상과 액상의 흐름을 독립적으로 제어할 수 있는 장점이 있다. 접촉면적이 크기 때문에 장치의 크기가 작아도 낮은 농도에서 분리가 가능하다. 보통 기체흡착에서는 장치 크기를 1/20 배 이상 줄이고, 액체추출에서는 1/500배 이상 줄인다고 할 수 있다. 반면에 침적물 등으로 인해 막 오염, 고가의 설치비 등의 단점이 있다.

본 연구는 중공사막 접촉기를 암모니아제거 공정에 이용하기 위해서 공정변수가 분리거동에 미치는 영향을 고려하는데 목적이 있다. 제안될 수 있는 공정변수로 우선 공기와 수용액의 부피비를 제시할 수 있는데, 공기의 부피가 클수록, 수용액의 부피가 작을수록 제거율은 높아진다는 정성적인 성질을 염두에 두고, 실험을 통하여 정량적인 거동을 측정하고, 그 거동을 제시하고자한다.

2. 이론

물에 용해된 암모니아가 두 상의 접촉을 통해 공기로 이동할 때, 중공사막접촉기에서 lumen side에 공기를, shell side에 물이 흐르는 시스템을 생각하자. 암모니아의 이동에서의 구동력은 두 상 사이의 암모니아의 농도차

이다. 멤브레인을 통한 암모니아의 flux는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$q = KA(C_w - C^*) \quad (1)$$

여기에서 K는 총괄물질전달계수이고 A는 단면적이다. 또한 C_w 는 액상에서 암모니아의 농도이고, C^* 는 기상에서의 암모니아 농도가 C_g 일 때 이와 평형을 이루는 액상농도이다. C^* 는 Henry's constant와 다음과 같은 관계에 있다.

$$H = C_g/C^* \Rightarrow C^* = C_g/H \quad (2)$$

단일 중공사막 접촉기에서 암모니아의 수지식은 다음식으로 표현할 수 있다.

$$Q_w C_w|_{z=z} = Q_w C_w|_{z=z+dz} + KA(C - C^*) + V \frac{dC}{dt} \quad (3)$$

여기에서 Q_w 는 액상의 부피속도이고 V는 shell-side의 부피이다. 정상상태에서 이 식은 다음과 같이 정리된다.

$$C/C_i = \left[\exp\left(-\frac{Kaz}{v_w}(1+R)\right) + R \right] / (1+R) \quad , \quad R = \frac{Q_w}{Q_g H} \quad (4)$$

중공사막 접촉기에 대한 shell-side에서의 개별물질전달계수는 A. Sengupta등(1998)이 다음과 같이 제시했다.

$$Sh_i = a(Re_s)^b (Sc_s)^c \quad (5)$$

Yang and Cussler(1986)는 parallel flow와 crossflow에 대한 식에서의 계수를 제안했다.

3. 실험

본 실험에서 중공사막 접촉기를 이용한 암모니아의 제거율을 측정하기 위해 CELGARD사의 Liqui-Cel^R Extra Flow 2.5" x 8" Membrane Contactor를 사용하였다. 용액의 pH, 온도, 농도를 측정하기 위하여 각각 ORION^R의 pH Electrode, ATC Probe, Ammonia electrode를 사용하였다. 그리고 암모니아 농도를 측정하기 위하여 시료에 첨가해주는 ORION^R의 Ammonium Standard Solution과 Ammonia pH Adjusting ISA solution을 사용하였으며, 용액의 온도를 20°C ± 0.5 °C로 유지해주기 위하여 Circulator를 설치하였다. 그리고 수용액의 pH를 12이상으로 조절해주기 위하여 수산화나트륨을 적당량 첨가하여 주었다. Ammonia Solution은 JUNSEI사의 concentration 29% 원액을 사용하였다.

Peristaltic Pump를 이용해 액체의 유량을 실험에 필요한 10~

50ml/min으로 조절하였고, 그에 따른 공기의 유량을 Air blower를 사용하여 flow meter로 조절하여 공기유량을 1000~9000ml/min 까지 조절하였다. 그리고 중공사막 접촉기 내의 공기유입에 의한 압력으로 인해 유출액체 방향으로의 공기유출을 막기위하여 유출액체 방향에 밸브를 설치해 압력을 $1.5 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 를 유지해 주었다. 그리고 암모니아의 물질수지를 계산하기 위해 유출기체의 암모니아 농도를 검증하기 위해 GASTEC^R의 검지관(측정범위: 10~1000ppm, 검지한도: 2ppm)을 사용하였다.

4. 결과 및 토론

중공사막 접촉기를 이용하여 암모니아를 제거하는 실험에서 shell side로 흐르는 유입유체의 유량변화와 lumen side로 흐르는 공기 유량의 변화가 암모니아 제거율에 미치는 영향을 고찰하였다.

계산결과 멤브레인내의 개별물질전달계수와 lumen side에서의 개별물질전달계수의 영향을 비교할 때, shell side에서의 개별물질전달계수 보다 무시할 만큼 적다고 할 수 있기 때문에 총괄물질전달계수(K)는 shell side에서의 개별물질전달계수 k_L 과 같다고 할 수 있다.

Fig.1에서 일정한 공기 유량에서 유입유체의 유량의 변화에 따른 물질전달계수를 상관관계식(식5)의 계수($a=0.115$, $b=0.34$, $c=0.33$)를 이용하여 얻고, 이로부터 중공사막 접촉기에 관한 물질수지식으로부터 제거율을 계산하였다. 실험값과 비교해 볼 때 잘 일치됨을 알 수 있었다. 이렇게 보정된 물질전달계수를 사용하여 일정한 유입유체유량에서 공기유량의 변화에 따른 제거율을 계산할 수 있었고 Fig.2에 그 실험값과 비교하였다. 실험값과 계산값이 대체로 잘 일치하나 공기의 유량이 낮은 곳에서는 계산값이 실험값과 차이가 있었다. 이것은 좀 더 많은 실험 데이터를 얻고 그 데이터로부터 상관관계식의 파라미터를 보정하게 되면 더 나은 결과를 얻을 수 있다고 본다. 그리고 더 큰 중공사막 접촉기에 대해 보정된 상관관계식을 적용하여 그 제거율을 추정하였다. 아직 실험으로 확인되지 않았지만 그 적용가능성을 확인할 수 있었다.

이를 통해 보정된 상관관계식으로부터 중공사막 접촉기를 이용하여 암모니아를 제거하는 시스템에 대한 모델을 제시할 수 있었다.

5.참고 문헌

- [1] R.D.Noble and S.A.Stern., Membrane Separations Technology -Principles and Applications, Elsevier Science B.V., 1995
- [2] Michael J. Semmens, Ren Qin, and Amy Zander, Using a Microporous Hollow-Fiber membrane to Separate VOCs From Water, Research and Technology : 162-167 (1989)
- [3] Yang, M.C., and E. L. Cussler. Designing hollow-fiber contactors.. AIChE J. 32(11) : 1910-1916 (1986)
- [4] Sengupta, A., P.A. Peterson, B.D. Miller, J. Schneider, C.W. Fulk, Jr., Large-scale application of membrane contactors for gas transfer from to ultrapure water, Separation and Purification Technology,14,189 (1998)

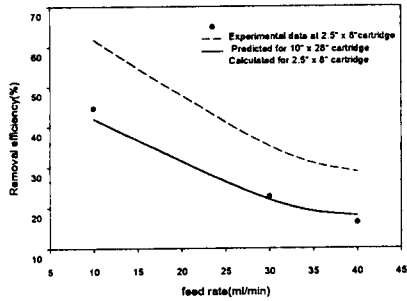


Fig.1 Removal efficiency of ammonia in Hollow Fiber Membrane at constant air flow rate $Q_a=9000$ ml/min

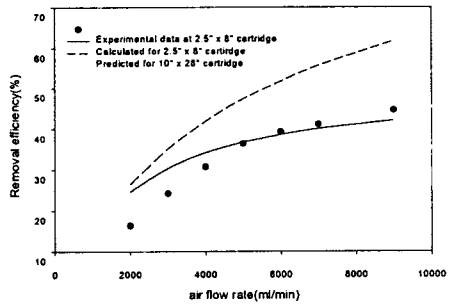


Fig.2 Removal efficiency of ammonia in Hollow Fiber Membrane at constant feed rate $Q_f=10$ ml/min