

단계적으로 직경이 변화하는 이중관기포탑에서의 저농도 알콜류의 기-액간 물질전달

백종훈, 김상열*
 동아대학교 공과대학 화학공학과
 (slkim@daunet.donga.ac.kr*)

**Gas-liquid mass transfer of dilute alcohol solution in a bubble column
 with step-wisely varying diameter draft tube**

Jong Hoon Baek, Sang Yeul Kim*
 Department of Chemical Engineering, Dong-A University
 (slkim@daunet.donga.ac.kr*)

서론

이중관 기포탑은 기포탑 내에 유체의 상향류와 하향류로 구분하여 주는 흡출관이 설치된 형태로서 장치가 간단하고 고체에 의한 막힘 문제가 발생하지 않으며, 장치의 운전비가 저렴하고 액체의 정체시간을 용이하게 할 수 있고 또한 물질 및 열전달 면적이 크다는 장점이 있다. 이런 장점으로 인하여 반응물질의 급속한 전달과 온도제어가 중요한 변수로 작용하는 화학 및 생화학 공정에 이용되고 있다. 그 예로서 흡수, 촉매 슬러리 반응 및 식물세포의 배양장치로 중요한 부분을 차지하고 있으며, 촉매 반응에 의한 접촉수소화 공정, 합성가스의 수소화 공정, 박테리아에 의한 침출 공정, 광물침출 공정 그리고 생화학적 폐수처리를 들 수 있다.

그럼에도 기포탑은 관경, 높이, 분산관 구조 등과 같은 기하학적 설계변수나 유동특성의 복잡성 때문에 실제에 있어서 생물학적 반응장치로 응용하기에 여러 가지로 설계자료가 부족한 실정이다. 따라서 기포탑에 있어서의 화학반응과 물질 및 열전달 과정은 탑의 운전조건과 유체의 물성 및 분산관의 기하학적 형태에 따라 많은 영향을 받고 있어 기포탑 내에서의 임계속도, 혼합특성은 기체와 액체의 접촉면적과 더불어 유동특성을 결정하는 중요한 인자로 많은 연구가 필요하다.

기포탑에 관해서는 Saha 등[1]은 기포탑의 운전과 설계특성에 따른 총설을 발표하였고, Wallis[2]는 탑 내의 흐름 영역을 3가지 흐름 형태로 분류하였으며, 기체체류량(ϵ_C)에 관해서는 Akita와 Yoshida[3~4], Ueyama 등[5], A. Schumpe 등[6~7] 및 Kim 등[8~10]을 비롯한 많은 연구가 행해져 왔다. 그러나 기체체류량에 미치는 여러 가지 인자들 사이의 관계가 복잡하고 탑의 형태와 운전조건이 서로 다르기 때문에 현재까지 일반화된 이론이 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 단계적으로 직경이 변화하는 이중관기포탑에서 기-액간 물질전달을 흡출관의 기하학적 형상인 직경, 분산관의 특성, 기체속도에 따른 영향을 검토하여 이들 사이의 상관관계를 구명하여 산화장치, 폐수처리장치 해양 녹조류 배양장치 등이 장치설계를 위한 자료로 이용하고자 하였다.

실험

본 실험에 사용한 기포탑은 내경이 0.14m이고, 높이가 2.8m인 투명한 아크릴 원통으로 만들었다. 탑내의 흡출관의 직경을 상단부는 0.11m로 통일시키고 하단부의 직경을 0.09m, 0.07m, 0.05m로 변화시킨 흡출관을 각각 사용하였으며, 흡출관의 상단부와 하단부를 바꾸어서 흡출관의 형태에 변화를 주었다. 정지상태의 액위는 1.2m로 하였다. 공기압축기 윤회유류의 미스트나 흙이 오리피스에 필름상으로 오염되어 유량의 변동이 발생하는 것을 줄이기 위하여 흙 분리기를 사용하였으며, 또한 계절에 따라 변화하는 습도변화에 대한 유량변화 현상을 줄이기 위하여 축소와 확대에 의한 제습기를 부착하였다.

탑 하부의 기체분산기는 공경이 0.005m인 5개의 구멍이 뚫린 스테인레스판 2개와 같은 공경에 3개의 구멍이 뚫린 스테인레스판 1개, 공경이 0.002m인 54개의 구멍이 뚫린 스테인레스판 1개에 150mesh wire gauze를 덮고 그 위에 스테인레스 림으로 고정시켰다.

실험에 사용된 기체의 유속은 0.0242~0.0969m/s로 하였으며, 탑내의 액체의 온도는 자동온도조절기를 통해 열교환기에 의해 25±0.2℃로 유지했으며 액체가 펌프에 의해 산소 센서로 유입되기 전에 완전히 기체와 액체를 분리시켜 액체만을 유입하기 위해 액체 싸이클론을 설치하여 용존산소농도(D.O)를 측정했다.

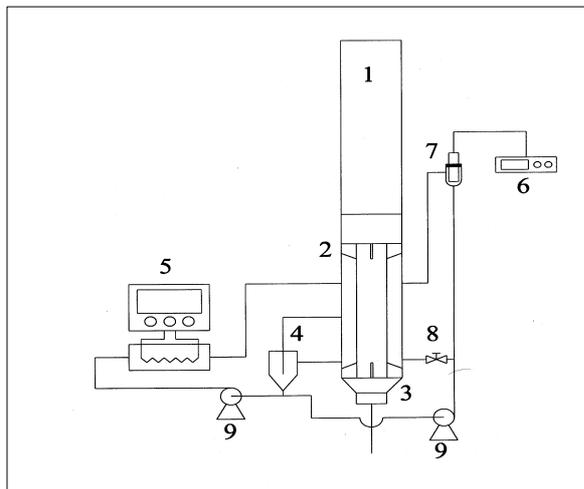


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

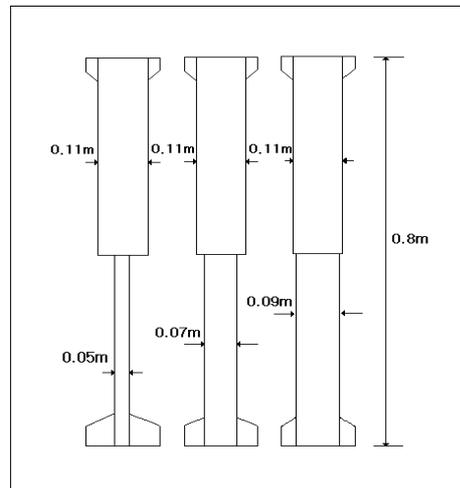


Fig.2 Shape of draft tubes.

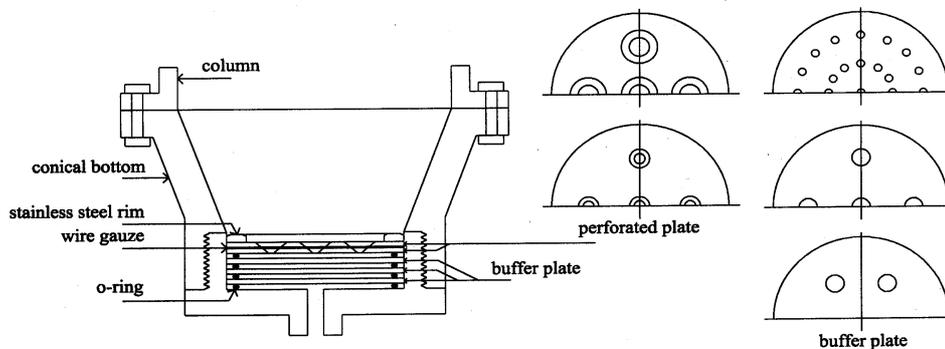


Fig. 3. Details of gas distributor

결론

1. 흡출관이 확대모양인 경우, 기체의 유속이 증가하면 기체체류량과 액상용량물질전달계수는 증가하고, 농도가 증가하면 기체체류량은 증가하고 액상용량물질전달계수는 낮은 유속에서는 다소 증가하나 높은 유속에서는 영향이 없으며, 흡출관의 직경비가 증가하며 기체체류량과 액상용량물질전달계수는 영향을 받지 않는다.

2. 흡출관이 축소모양인 경우, 기체의 유속이 증가하면 기체체류량과 액상용량물질전달계수는 증가하고, 농도가 증가하면 기체체류량은 낮은 유속에서는 영향이 없으며 높은 유속에서는 증가하고 액상용량물질전달계수는 낮은 유속에서는 다소 증가하나 높은 유속에서는 영향이 없으며, 흡출관의 직경비가 증가하면 기체체류량은 다소 증가하고 액상용량물질전달계수는 낮은 유속에서는 영향이 없고 높은 유속에서는 증가한다.

3. 실험에서 얻어진 자료로부터 기체체류량과 액상용량물질전달계수의 상관관계식은 다음과 같다.

3-1. 흡출관이 확대모양인 경우,

$$\epsilon_G = 7.3 \times 10^{-1} \left\{ \frac{1}{2 + \frac{35}{U_G} \cdot (\rho_L \cdot \frac{\sigma}{72})^{1/3}} \right\}^{-4.0132} \cdot (1 + C_N)^{0.32419} \cdot \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.19027} \cdot Re^{2.3423} \cdot Ca^{2.5738}$$

$$K_L a = 3.83 \times 10^{-2} \cdot \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.08756} \cdot Re^{0.41730} \cdot Ca^{0.48703} \cdot Sc^{-0.1081} \cdot \epsilon_G^{-0.28739}$$

3-2. 흡출관이 축소모양인 경우,

$$\epsilon_G = 7.34 \cdot \left\{ \frac{1}{2 + \frac{35}{U_G} \cdot (\rho_L \cdot \frac{\sigma}{72})^{1/3}} \right\}^{0.6336} \cdot (1 + C_N)^{0.45886} \cdot \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{0.6922} \cdot Re^{0.1434} \cdot Ca^{0.3226}$$

$$K_L a = 3.54 \cdot \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^{1.1854} \cdot Re^{0.40572} \cdot Ca^{0.74581} \cdot Sc^{-0.4875} \cdot \epsilon_G^{-0.46201}$$

4. 기체체류량과 액상용량물질전달계수의 상관도는 흡출관이 확대모양인 경우는 98.8%와 97.2% 이고, 흡출관이 축소모양인 경우는 97.7%와 96.7%이다.

참고 문헌

- [1] Y. T. Saha, B. G. Kelkar, S. P. Godbole and W. D. Deckwer : AIChE. J., 28, 353(1982)
- [2] G. B. Wallis : "One Dimensional Two Phase Flow", McGraw Hill, New York (1969)
- [3] K. Akita and F. Yoshida : Ind. Eng. Chem. Procsee Des. Dev., 12(1), 76(1973)
- [4] K. Akita and F. Yoshida : Ind. Eng. Chem. Procsee Des. Dev., 13(1), 84(1973)
- [5] K. Ueyama and T. Miyauchi : Kagaku Kogaku Ronbunshu, 3, 19,(1977)
- [6] A. Schumpe, S. P> Godbole and Y. T. Saha : Chem. Ing. Tech., 55(9), 722(1982)
- [7] A. Schumpe, W. D. Deckwer : Ind. Eng. Dhem. Process Des. Dev., 21(4), 706(1982)
- [8] J. B. Kim, J. E. Sohn and S. Y. Kim : J. KiChE, 13, 217(1975)
- [9] S. Y. Kim and Y. S. Mok : J. KICHe, 25(2), 201(1987)
- [10] Y. W. Yun, S. Y. Kim and D. Y. Kim : J. KSEE, 16(3), 365(1994)

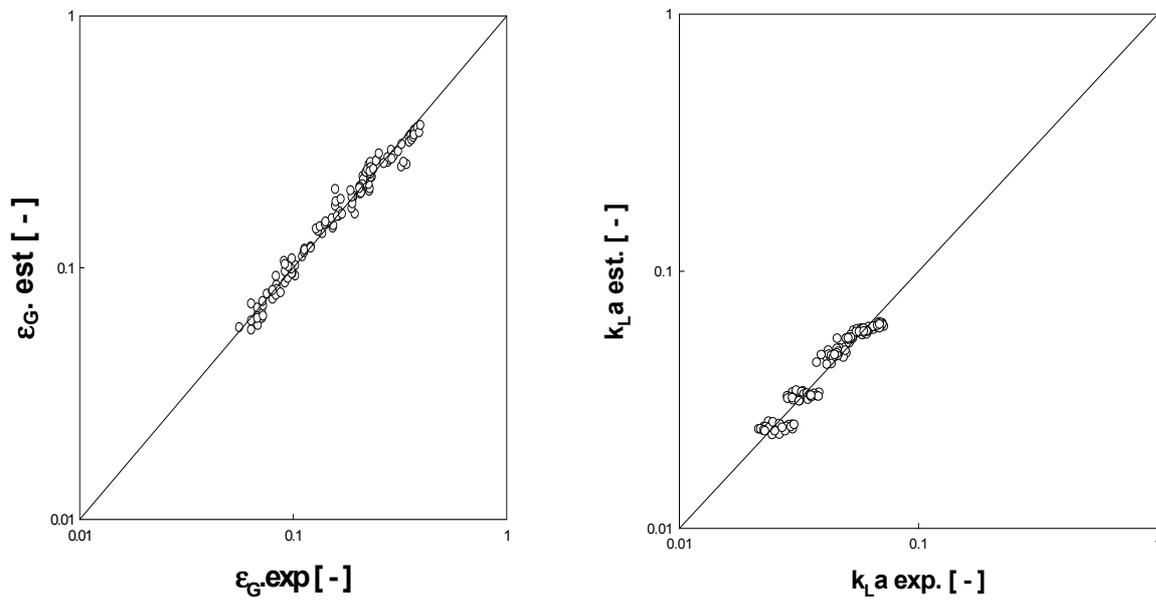


Fig. 4 comparison of experimental and estimated ϵ_G and k_{La} values. (enlargement)

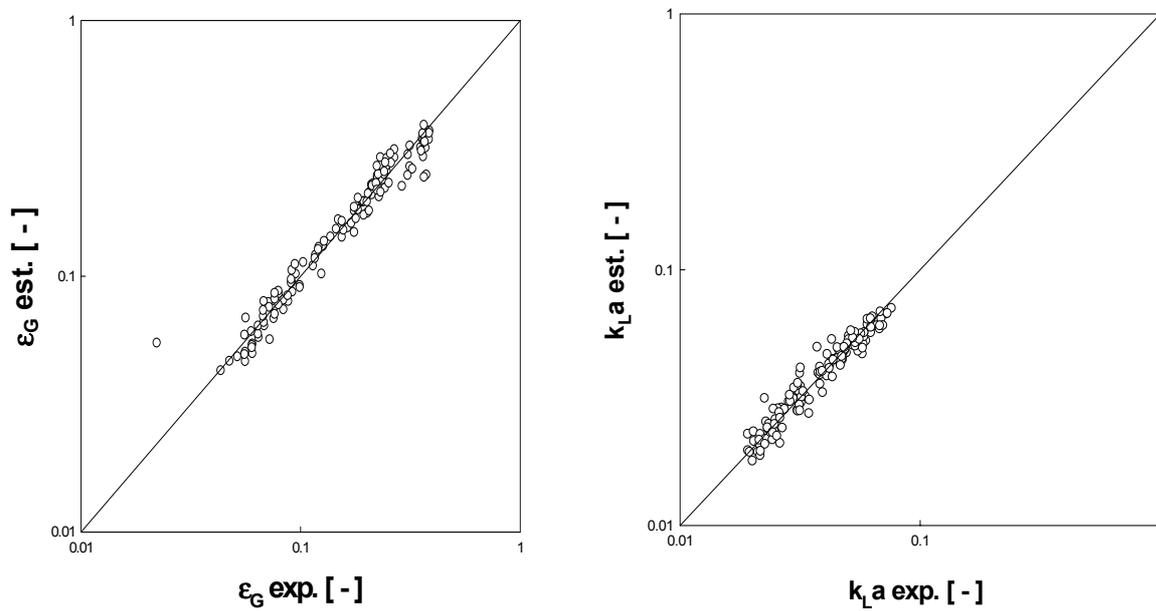


Fig. 5 comparison of experimental and estimated ϵ_G and k_{La} values. (contraction)