

단계적으로 직경이 변화하는 이중관기포탑에서의 기-액간 물질전달

백종훈, 김상열
 동아대학교 공과대학 화학공학과

Gas-liquid mass transfer in a bubble column with step-wisely varying diameter draft tube

Jong Hoon Baek, Sang Yeul Kim
 Department of Chemical Engineering, Dong-A University

서론

이중관 기포탑은 유체의 상향류로 구분하여 주는 흡출관이 설치된 형태로서 장치가 간단하고 불필요한 동작부분이 없어 고체에 의한 막힘의 문제가 발생하지 않는 장치로 운전이 간편하고 운전비가 저렴하여, 액체 정체시간을 용이하게 할 수 있다는 장점이 있어 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 Saha등[1]은 기포탑의 운전과 설계특성에 따른 총설을 발표하였고, Wallis[2]는 탑 내의 흐름 영역을 3가지 흐름 형태로 분류하였으며, 기체체류량(ϵ_G)에 관해서는 Akita와 Yoshida[3~4], Ueyama등[5], A. Schumpe등[6~7] 및 Kim등[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 실험장치는 Fig. 1과 같다. 기포탑은 내경이 0.14m이고, 높이가 2.8m

인 투명한 아크릴 원통으로 만들었다. 탑내의 무변형흡출관은 직경이 0.09m인것과 1차 변형(직경이 0.07, 0.09m)한 것, 2차 변형(0.05, 0.07, 0.09m)한 것을 각각 사용하였으며, 정지상태의 액위는 1.2m로 하였다. 공기압축시 윤활유의 미스트나 흠이 오리피스에 노즐에 필름상으로 오염되어 유량의 변동이 발생하는 것을 줄이기 위하여 흡 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 $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 로 유지했으며 액체가 펌프에 의해 산소 센서로 유입되기 전에 완전히 기체와 액체를 분리시켜 액체만을 유입하기 위해 액체 싸이클론을 설치하여 용존산소농도(D.O)를 측정했다.

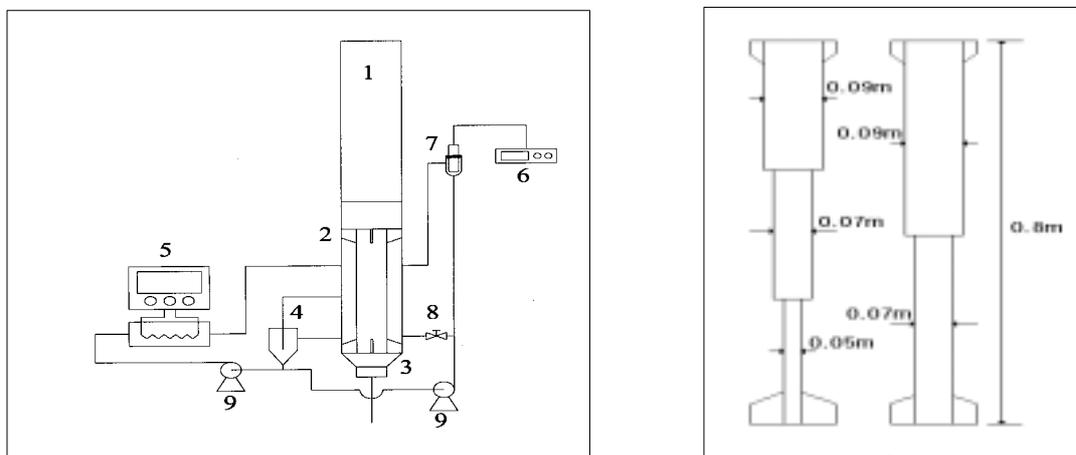


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

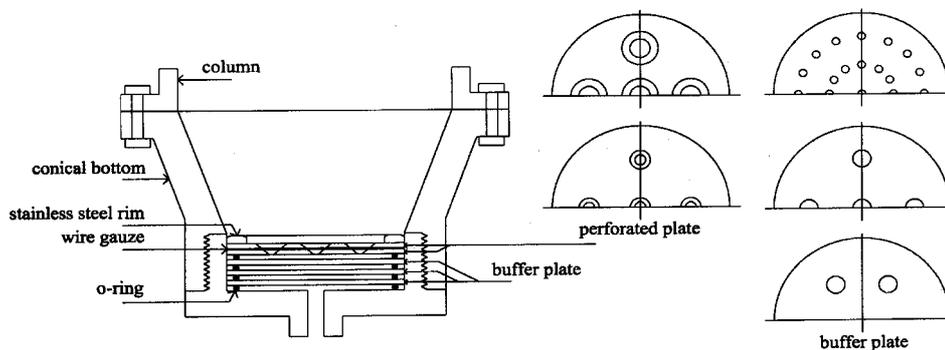


Fig. 2. Details of gas distributor

결과 및 고찰

1. 흡출관의 직경변화에 따른 기체체류량

1-1. 확대변형 흡출관

Fig. 3에서 보는 바와 같이 흡출관의 하단부에서 상단부로의 직경이 증가할 때 ϵ_G 는 직경의 변화가 없는 흡출관에서의 ϵ_G 와 거의 같이 나타난다.

이는 확대흡출관내로 기체가 상승할 때 기포의 마찰손실이 작아져 기체의 합일현상이 적게 일어나기 때문이다. 따라서 이는 흡출관 상단의 환형관 면적이 같으면 흡출관의 변형된 형태에 영향을 거의 받지 않음을 보여준다.

1-2. 축소변형 흡출관

Fig. 4에서 나타낸 바와 같이 흡출관의 하단부에서 상단부로의 직경이 감소함에 따라 ϵ_G 도 감소한다. 이는 흡출관 직경 감소로 인해 마찰손실이 높아져 기체의 합일현상이 많이 나타나기 때문이다.

2. 흡출관의 직경변화에 따른 액상용량물질전달계수(k_{La})

2-1. 확대변형 흡출관

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 흡출관의 하단부에서 상단부로의 직경 변화가 증가할 때 무변형 흡출관에서의 k_{La} 보다 낮게 나타난다. 이는 흡출관의 직경 변화가 없는 무변형 흡출관 내에서의 기-액간의 접촉면적이 변형 흡출관 내에서의 기-액 접촉면적보다 상대적으로 크기 때문이다.

2-2. 축소변형 흡출관

Fig. 6에 나타낸 바와 같이 흡출관의 하단부에서 상단부로의 직경이 감소할 경우 1차 변형 흡출관에 비해 2차 변형 흡출관에서의 k_{La} 가 더 낮게 나타나는 것은 앞의 ϵ_G 의 경우와 같이 1차 변형 흡출관에 비해 2차 변형 흡출관의 상단부의 직경이 작아 탐 하부로 내려가는 액에 동반되는 기포의 양이 감소하기 때문이다.

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. KICChE, 25(2), 201(1987)
- [10] Y. W. Yun, S. Y. Kim and D. Y. Kim : J. KSEE, 16(3), 365(1994)

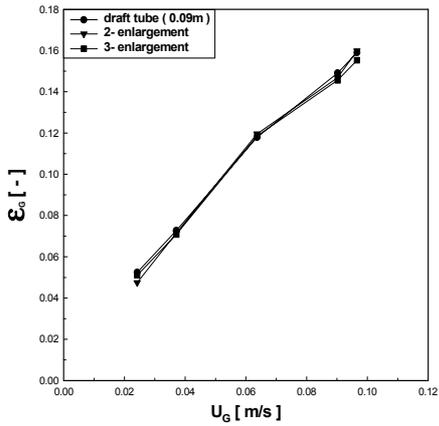


Fig. 3 Effect of U_G on ϵ_G in step-wisely enlarging diameter draft tube.

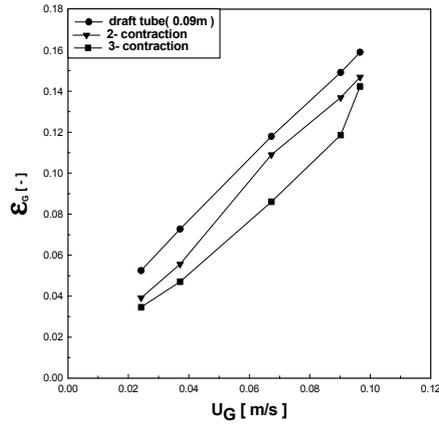


Fig. 4 Effect of U_G on ϵ_G in step-wisely contracting diameter draft tube.

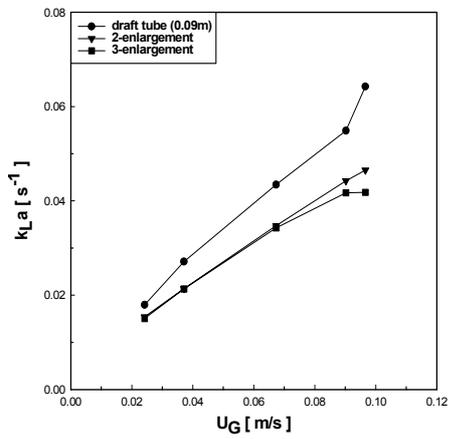


Fig. 5 Effect of U_G on $k_{L,a}$ in step-wisely enlarging diameter draft tube.

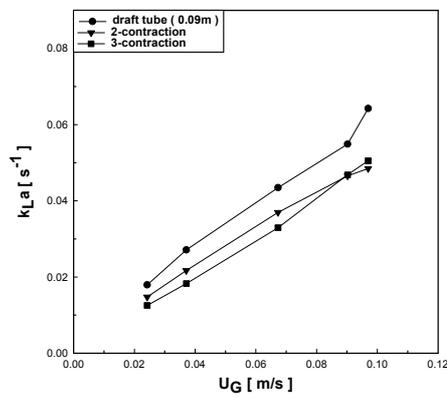


Fig. 6 Effect of U_G on $k_{L,a}$ in step-wisely contracting diameter draft tube.