

단일노즐을 사용한 내부순환 공기리프트 반응기에서 수력학과 액체의 흐름특성

김종철, 장서일, 손민일, 김태옥
명지대학교 화학공학과

Hydrodynamics and Liquid Flow Characteristics in an Internal Circulation Airlift Reactor with a Single Nozzle

Jong-Cheal Kim, Sea-Il Jang, Min-Il Son, Tae-Ok Kim
Dept. of Chemical Engineering, Myong Ji University, Yong In 449-728

서론

공기리프트 반응기(ALR)는 기포탑과 유사하게 기계적 교반장치가 없는 기-액 접촉장치로서 생물화학공정과 폐수처리공정 등의 다양한 화학공업분야에서 응용되고 있다. 이와 같은 ALR는 유체혼합이 좋고 열 및 물질전달속도가 크며 조업 범위가 넓고 동력비가 적으며 체류시간을 신축성있게 조절할 수 있는 점 등의 장점이 있어서 생물반응기에 매우 유용하다.

ALR의 성능을 해석하고 설계자료와 조업조건을 결정하기 위하여 기체의 흐름 특성, 기체체류량, 압력강하, 순환시간과 혼합시간, 그리고 액체의 순환속도 등의 수력학 특성과 혼합특성, 물질전달속도, 열전달속도, 그리고 반응기 특성 등에 관한 연구가 많이 진행되어 왔으며 이들 특성에 미치는 인자로는 기체속도와 기체 분산방법, 유체의 물리적 성질, 반응기의 형태, 구조와 크기(내부순환계의 경우 상승관과 하강관의 직경과 단면적의 비, 반응기의 직경과 높이에 대한 기-액분리기의 비 등) 등이 있다.

지금까지 ALR의 특성에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나 대부분 공기-물계나 낮은 점도의 뉴우턴 유체계에서 연구되어 왔을 뿐만 아니라 연구의 일관성이 부족하여 반응기의 설계와 규모의 확대화(scale-up) 등 실제계의 응용에는 많은 어려움이 있다. 특히 ALR는 기체에 의해 액체가 순환하므로 고점도계나 슬러리계 또는 삼상계에서는 유체혼합을 증가시키거나 슬러리 또는 고체입자를 유동화시키기 위해서는 높은 에너지의 공급이 필요하게 된다. 따라서 이를 개선하기 위하여 기체분산기로 공급유체의 운동에너지가 큰 단일노즐을 사용한 연구는 거의 보고되어 있지 않는 실정이다.

본 연구는 기체분산기로 단일노즐을 사용하고 draught tube로 된 내부순환 공기리프트 반응기가 생물반응기로 활용되도록 하기 위하여 구조(하강관의 직경과 상승관의 높이)가 다른 3가지 종류의 반응기를 사용하여 공기-물계에서 조업조건(기체속도와 기-액분리기의 높이)에 따른 수력학 특성(기체의 흐름양상과 기체 체류량, 순환시간, 혼합시간, 액체의 순환속도)과 액체의 총괄흐름특성을 해석하였다.

실험

반응기는 Table 1과 같이 하강관의 직경과 상승관의 직경 및 높이가 다른 3가지 종류를 사용하였으며 실험장치는 Fig. 1과 같다.

실험조건은 공기-물계에서 3가지 반응기를 사용하여 기-액분리기의 높이를 16.5-38.5cm로 변화시켜 반응기의 총 높이가 140-162cm가 되도록 하면서 20 ± 2 °C, 1.5 atm(abs)하에서 기체속도를 6.050-16.292 cm/s로 변화시켰다.

기체체류량은 반응기내에서 기체의 흐름양상을 관찰하면서 부피팽창법, 역마노

미터법, 이상흐름공극률측정기에 의해 국부지역에서와 반응기 전체에 대하여 측정하였다. 그리고 전도도방법에 의하여 추적자의 충격-응답곡선을 측정하고 액체의 순환시간과 혼합시간을 산출하였으며 산출된 평균 순환시간과 평균 체류시간을 사용하여 조업조건에 따른 액체의 순환속도를 산출하였다.

Table 1. Dimensions of ALRs and Single Nozzle.

Reactor	I	II	III
Annulus column			
inside dia.(cm)	11	14	
height(cm)	180	195	
Draught tube			
inside dia.(cm)	6	6	
outside dia.(cm)	7	7	
height(cm)	120	150	
Height of Clearance(cm)		3.5	
Nozzle			
dia.(cm)	0.5		
length(cm)	2.0		

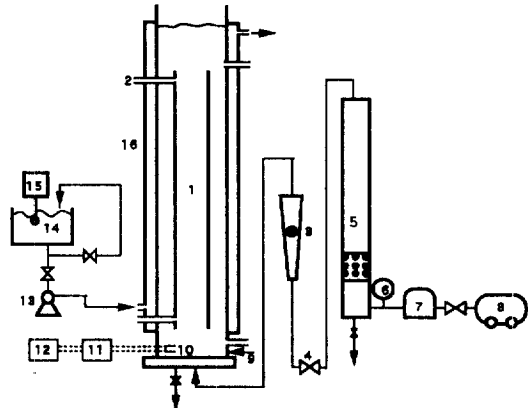


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.
 1. Airlift bioreactor 9. Tracer injection point
 2. Pressure tap 10. Conductivity cell
 3. Rotameter 11. Conductivity meter
 4. Needle valve 12. Recorder
 5. Air humidifier 13. Circulation pump
 6. Pressure gauge 14. Constant water bath
 7. Holding tank 15. Temperature controller
 8. Air compressor 16. Water jacket

결과 및 고찰

동일한 하강관의 직경에서 상승관과 하강관에서 기체의 흐름양상은 Fig. 2에서와 같이 모든 반응기에서 상승관은 슬러그흐름을 나타내었으나 하강관에서는 상승관의 직경변화에 따라 변화하여 반응기 I에서는 전이기포흐름을, 그리고 반응기 II와 III에서는 균일상 기포흐름을 각각 나타내었다. 따라서 하강관에서 기체의 흐름양상의 차이로 기체체류량, 평균 순환시간, 혼합시간, 액체의 순환속도와 액체의 흐름특성도 Fig. 3과 같이 크게 변화하였다. 그리고 상승관의 직경이 작을수록 국부지역과 반응기 전체의 기체체류량은 증가하였으나 순환시간, 혼합시간과 액체의 순환속도는 감소하였고 동일한 기-액분리기의 높이비에서는 하강관의 직경과 상승관의 높이가 클수록 상당히 증가하였다. 또한 동일한 기-액분리기의 높이비에서 순환속도는 하강관의 직경과 기-액분리기의

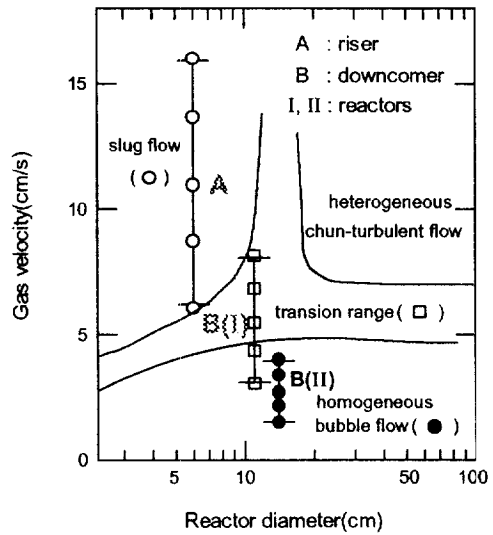


Fig. 2. Flow regime at the riser and the downcomer.

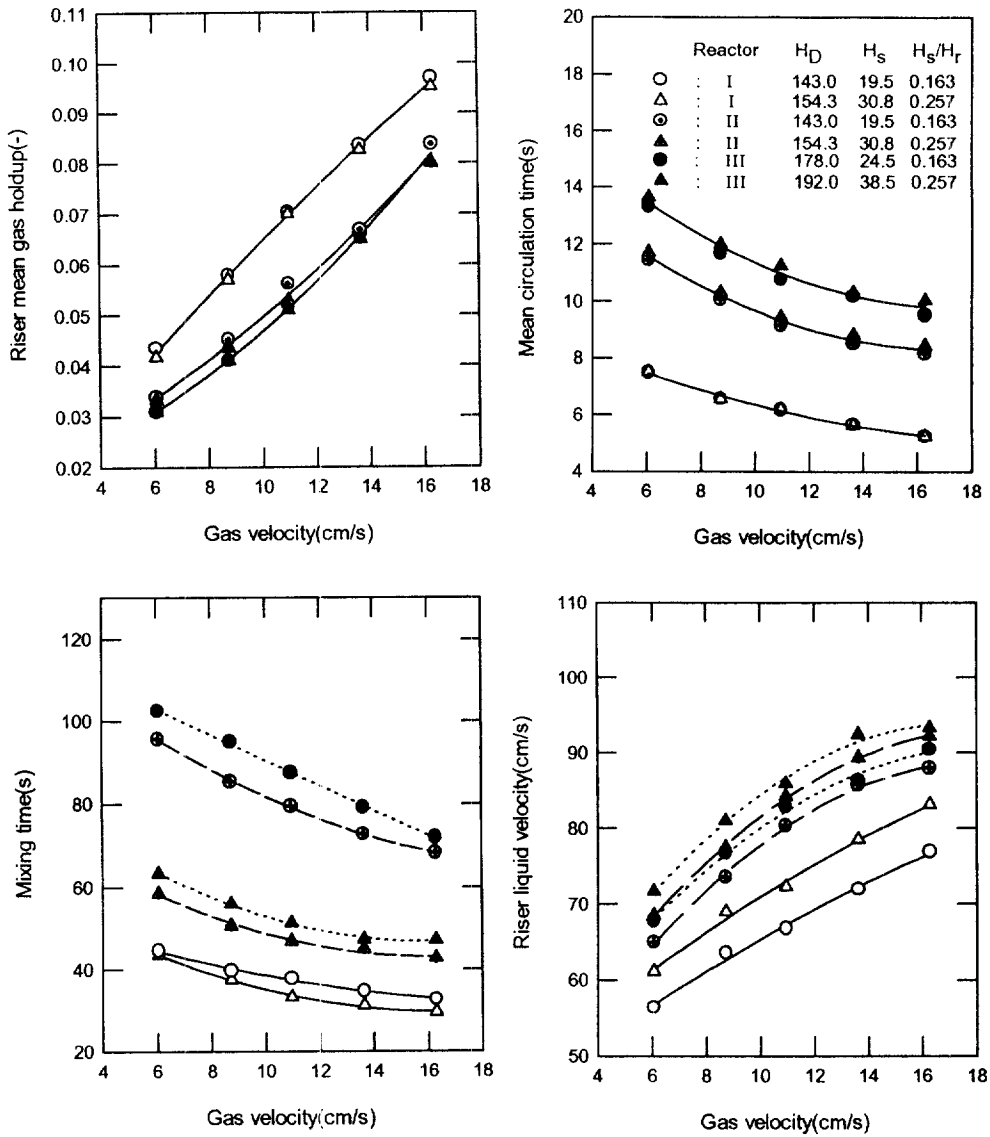


Fig. 3. Variations of gas holdup, circulation time, mixing time, and riser liquid velocity with reactor configurations.

크기가 클수록 증가하였으며 이때 에너지소멸속도를 사용한 에너지수지식으로부터 산출된 순환속도는 실험값과 매우 잘 일치하였다.

특히 기체분산기로 단일노즐을 사용한 경우에는 다른 기체분산기에서보다 생성기포경의 증가로 기체체류량이 다소 낮은 값을 나타내었으나(Fig. 4) 상승관에서 기포의 상승속도가 크고 노즐에서 높은 운동에너지에 의해 하강관에서 상승관으로의 유체의 흡입효과(suction effect)로 액체의 순환속도가 상당히 큰 값을 나타내었을 뿐만 아니라(Fig. 5) 혼합시간이 짧아서 고점도계나 삼상계의 ALR에서 매우 유용함을 밝힐 수 있었다.

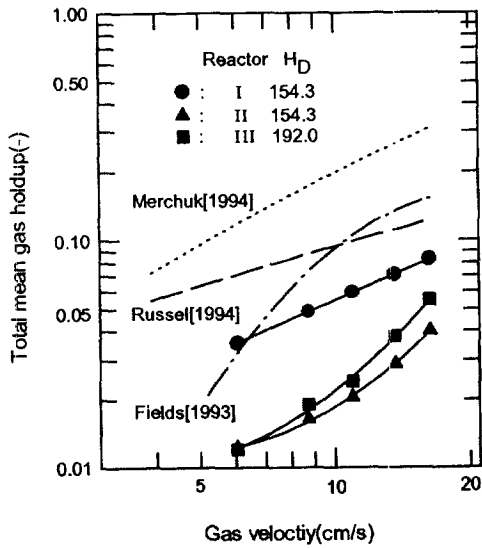


Fig. 4. Comparisons of mean gas holdups with literature data: $H_s/H_r=0.257$.

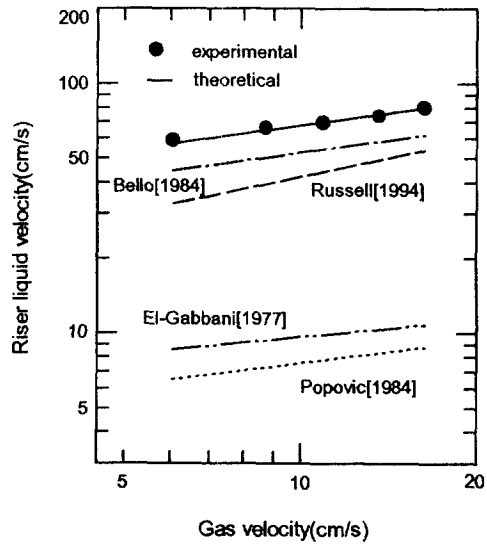


Fig. 5. Comparisons of riser liquid velocities with literature data: Reactor I, $H_D=148$ cm.

참고문헌

- [1] Chisti, M.Y. : "Airlift Bioreactors", Elsevier Applied Science, New York (1989)
- [2] Siegel, M.B. and Robinson, C.W. : *Chem. Eng. Sci.*, 47, 3215(1992)
- [3] Merchuk, J.C. : *AIChE J.*, 40, 1105(1994)
- [4] Fields, P.R. and Slater, N.K.H. : *Chem. Eng. Sci.*, 38, 647(1983)
- [5] Russel, A.B., Thomas, C.R. and Lilly, M.D. : *Biotech Bioeng.*, 43, 69 (1994)
- [6] Bello, R.A., Robinson, C.W. and Moo-Young, M. : *Can. J. Chem. Eng.*, 62, 573(1984)
- [7] El-Gabban, D.H. : MASC Thesis, Univ. of Waterloo, Ontario(1977)
- [8] Propovic, M. and Robinson, C.W. : Proceedings of the 34th Canadian Chemical Engineering Conference, p. 258-263, Quebec City(1984)