

외부순환형 공기리프트 반응기의 수력학적 특성에 관한 분산액체높이의 영향

최근호*

한밭대학교 화학공학과

(khchoi@hanbat.ac.kr*)

Effect of the Aerated Liquid Height on Hydrodynamic Characteristics of an External-Loop Airlift Reactor

Keun Ho Choi*

Department of Chemical Engineering, Hanbat National University

(khchoi@hanbat.ac.kr*)

서론

공기리프트 반응기(airlift reactor)는 단세포단백질(single cell protein)의 생산 같은 대규모 미생물공정 뿐만 아니라 2차 대사물질(metabolites)의 생산, 화학공정으로서 고체가 촉매인 삼상공정, 폐수처리 공정, 반응물이 슬러리인 반응 등에 다양하게 이용되고 있다[1].

공기리프트 반응기의 상부는 기-액분리기의 역할을 수행하기 때문에 그 부분의 기하학적인 구조[2,3]와 비분산액체높이[4] 또는 분산액체높이는 공기리프트 반응기의 혼합, 열 전달 그리고 물질전달 성능에 큰 영향을 미치는 인자이다. 그리고 외부순환형 공기리프트 반응기의 중요한 형태는 두 개의 수직관의 상부와 하부를 별도의 관을 사용하여 연결한 형태이다. 그러한 형태의 공기리프트 반응기인 경우에 상부 수평 연결관을 포함한 반응기의 위 부분은 모두 기-액 분리기로서 작용하므로 하강관 위에 위치하는 확장관내의 분산액체높이는 반응기의 성능에 큰 영향을 미치리라 예상되나 이에 관한 연구결과는 거의 없다. 또한, 공기리프트 반응기를 운전하고 설계하는데 있어서 반응기내의 각 부분에서의 기체유량을 아는 것이 필수적인데도 불구하고 이에 관한 정보는 많지 않다[5].

따라서, 본 연구에서는 하강관의 상부에 확장관이 설치된 외부순환형 공기리프트 반응기에서 확장관 내의 분산액체높이가 각 부분내의 기체유량과 기체체류량 그리고 순환액체속도와 같은 수력학적 특성치에 미치는 영향에 대해 체계적인 연구를 수행하였다.

실험

본 실험에 사용된 외부순환형 공기리프트반응기의 장치는 크게 두 개의 수직관(I.D.=0.108, 0.149 m)과 weir box(0.26×0.70×0.30 m) 그리고 두 관의 상부와 하부를 연결하는 연결관(I.D.=0.108 m)으로 구성되었다. 상승관에 대한 하강관의 단면적비는 0.53였다. 각 부분에서의 기체체류량을 측정하기 위해 압력 탭 2개를 상승관과 하강관 그리고 탑부분에 각각 설치하였다. 확장관의 상부 끝에 밸브를 설치하여 확장관내의 분산액체높이를 조절하였다. 하부 수평연결관내의 기체유량을 측정하기 위하여 하부 수평연결관의 일부로 기-액분리기(0.108×0.200×0.300 m)를 설치하였다[5]. 확장관에 설치된 밸브와 기-액분리기에 설치된 밸브를 통하여 나오는 기체유량을 bubble flowmeter를 사용하여 측정하였다.

기상으로 공기를 사용하였으며 액상으로는 수돗물을 사용하였다. 실험은 액상에 대해서는 회분식으로 수행하였으며 상온과 대기압에서 실시하였다. 공급 기체유속은 0.06~0.12 m/s범위에서 변화시켰으며, 확장관내의 분산액체높이는 -0.028~0.250 m로 변화시켰다.

각 부분의 기체체류량은 각 부위의 상하에 설치한 두 개의 압력 탭에 연결된 수주마노

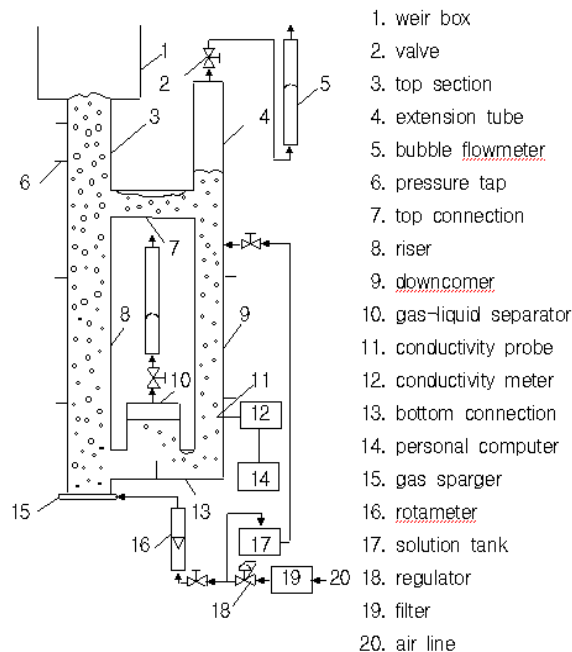


Fig. 1. Schematic of experimental apparatus.

미터의 높이 차를 두 개의 압력 탭간의 거리로 나눈 값으로 구하였다. 액체의 순환시간은 추적자로 대략 14 cc의 3 M KCl 용액을 사용하는 추적자 임펄스방법(tracer impulse method)으로 구하였다. 상승관에서의 순환액체속도는 상부 수평연결관을 포함한 반응기의 하부에 들어있는 액체만이 효과적으로 순환되며 확장관내의 기체체류량은 상승관내의 기체체류량과 같다는 가정 하에 순환시간으로부터 구하였다.

결과 및 고찰

Fig. 2에 상승관 내의 순환액체속도(U_{Lr})에 대한 하강관 위의 분산 액체높이(H_d)의 영향을 공급 기체속도(U_G)의 함수로 나타냈다. 분산 액체높이가 일정할 때에 공급 기체속도가 증가할수록 액체순환의 구동력이 되는 상승관과 하강관의 밀도차가 커지기 때문에 순환액체속도는 증가하였다. 한편, 확장관의 상부에 설치된 밸브를 완전히 닫으면 확장관을 통하여 나가는 기체유량이 0이 된다. 그 경우에 공급 기체속도를 증가시키면 분산액체높이는 감소하였다. 그러한 결과는 공급 기체속도를 증가시킬수록 상부 수평연결관에서 분리되는 기포의 양이 증가하며 상부 수평연결관과 하강관 상부에 걸쳐있는 공기주머니의 크기가 증가하는 것을 의미한다[5]. 분산 액체높이가 0 m이하일 때에는 상부 수평연결관과 하강관의 상부에 걸쳐 큰 공기주머니가 형성되었으며, 분산 액체높이가 0.05 m 이상일 때는 상부 수평연결관에 그보다는 작은 공기주머니가 형성되었다. 즉, 분산 액체높이를 증가시키면 그러한 공기주머니의 크기가 작아져서 상부 수평연결관과 하강관의 상부에서 액체 흐름을 위한 단면적이 커지기 때문에 순환액체속도는 증가하였다. 그리고 분산액체높이의 증가에 따라 순환액체속도가 감소하는 정도는 분산 액체높이가 0.05 m 이상이 되면 작아졌다.

Fig. 3은 상승관 기체체류량(E_r)에 대한 확장관 내의 분산 액체높이의 영향을 공급 기체속도의 함수로 나타낸 것이다. 먼저 분산 액체높이가 일정할 때에 공급 기체속도가 증가할수록 상승관 기체체류량은 증가하였는데, 이는 공급 기체속도가 증가할수록 기체분

상승관에서 발생하는 기포의 크기와 수가 모두 증가하기 때문이다. 일반적으로 순환액체속도가 증가하면 상승관에 있는 기포의 상승속도가 증가하여 기포가 상승관에 머무르는 체류시간이 짧아지므로 상승관 기체체류량은 감소한다. 분산 액체높이를 증가시키면 순환액체속도가 증가(Fig. 2)하므로 상승관 기체체류량은 감소하였다. 그리고 분산 액체높이가 0.05 m 이상일 때에는 분산 액체높이의 증가에 따라 상승관 기체체류량이 감소하는 정도는 작았다.

Fig. 4에 하강관 기체체류량(E_d)에 대한 확장관 내의 분산 액체높이의 영향을 나타내었다. 분산 액체높이가 일정할 때에 공급 기체속도가 증가할수록 순환액체속도와 상승관 기체체류량이 모두 증가(Fig. 2와 Fig. 3)하므로 순환액체에 의해 하강관으로 유입되는 기포들의 크기와 수가 증가하기 때문에 하강관 기체체류량은 증가하였다. 한편, 분산 액체높이를 증가시키면 상부 수평연결관에 형성된 공기주머니의 크기가 작아져서 기-액분리기로 작용하는 상부 수평연결관의 부피가 증가하므로 그 부분에서 분리되는 기포의 양이 증가하기 때문에 하강관으로 유입되는 기포의 양은 감소한다. 또한, 액체높이가 0 m 이하일 때에는 난류로 인하여 하강관의 상부에서 공기주머니로부터 표면포기(surface aeration)가 일어나며, 표면포기되는 기체의 양은 분산 액체높이가 증가할수록 감소하는 것이 관찰되었다. 그리고 분산 액체높이가 0.05 m 이상일 때에 확장관은 기-액분리기의 역할을 수행한다. 순환액체에 의해 확장관으로 유입된 기포의 대부분은 확장관에서 분리되지만, 확장관 내의 기-액 혼합물은 거의 주기적으로 아래위로 움직이기 때문에 확장관으로 유입된 기포의 일부는 하강관으로 다시 내려간다. 액체높이가 증가할수록 그러한 양은 감소하는 것이 관찰되었다. 따라서 분산 액체높이의 증가할수록 하강관 기체체류량은 감소하였다. 그리고 분산 액체높이가 0.05 m 이상일 때에 분산 액체높이의 증가로 인해 하강관 기체체류량이 감소하는 정도는 상승관 기체체류량과 유사하게 작아졌다.

Fig. 5에 확장관 내의 기체유량(Q_{Ge})에 대한 확장관 내의 분산 액체높이의 영향을 나타내었다. 분산 액체높이가 일정할 때에는 공급 기체속도가 증가할수록 확장관 내의 기체유량은 증가하였는데, 이는 공급 기체속도가 증가할수록 상승관 기체체류량과 순환액체속도가 증가하여 순환액체에 의해 확장관으로 유입되는 기포의 양이 증가하기 때문이다. 한편, 위에서 이미 언급했듯이 분산 액체높이를 증가시키면 상부 수평연결관에서 분리되는 기포의 양이 증가하는 반면에 공기주머니로부터 표면포기되는 기체의 양과 확장관으로 유입되었다가 하강관으로 내려가는 기포의 양은 감소한다. 따라서, 분산 액체높이가 0.05 m 이하일 때에는 분산 액체높이를 증가시킬수록 확장관 내의 기체유량은 분명하게 증가하였다. 그러나 분산 액체높이가 0.05 m 보다 클 때에는 분산 액체높이를 증가시켜도 확장관 내의 기체유량은 크게 증가하지 않았다. 한편, 상부 수평연결관에서 분리된 기포

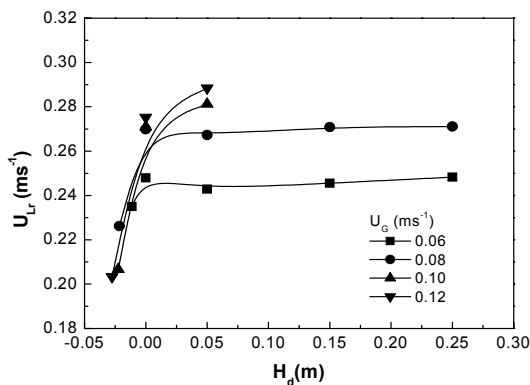


Fig. 2. Effect of H_d on U_{Lr} .

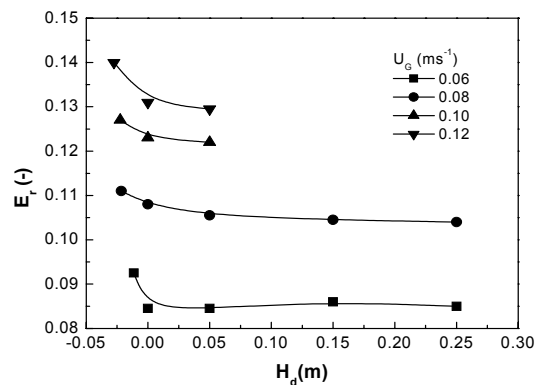
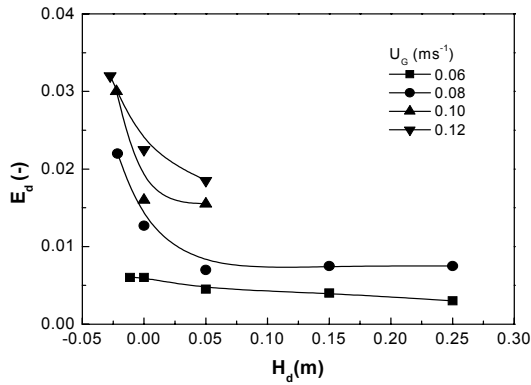
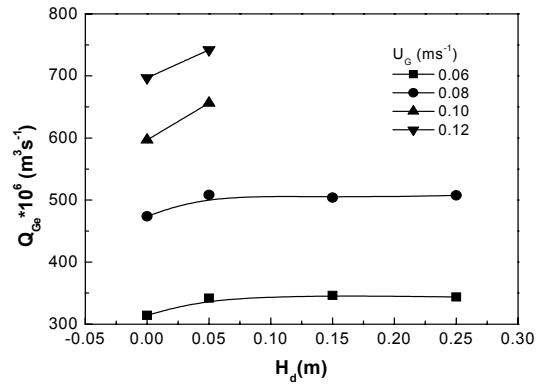


Fig. 3. Effect of H_d on E_r .

Fig. 4. Effect of H_d on E_d .Fig. 5. Effect of H_d on Q_{Ge} .

들은 공기주머니를 형성하며, 공기주머니의 일부는 주기적으로 큰 기포가 되어서 확장관 상부에 설치된 밸브가 닫혀있을 때에는 탑부분을 통하여 반응기의 밖으로 나가며, 확장관의 상부에 설치된 밸브가 열려있을 때에는 확장관을 통과하여 반응기의 밖으로 나간다.

참고 문헌

1. Merchuk, J. C. and Siegel, H., "Air-Lift Reactors in Chemical and Biological Technology" *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **41**, 105-120(1988).
2. Choi, K. H., Y. Chisti and M. Moo-Young, "Influence of the Gas-Liquid Separator Design on Hydrodynamic and Mass Transfer Performance of Split-Channel Airlift Reactors", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **62**, 327-332(1995).
3. Choi, K. H., Y. Chisti and M. Moo-Young, "Split-Channel Rectangular Airlift Reactors: Enhancement of Performance by Geometric Modifications", *Chem. Eng. Comm.*, **138**, 171-181(1995).
4. Choi, K. H., "Effect of Un-aerated Liquid Height on Hydrodynamic Characteristics of an External-Loop Airlift Reactor", *Chem. Eng. Comm.*, **189**, 23-39 (2002).
5. Choi, K. H., "Circulation of Gas and Liquid Phases in External-Loop Airlift Reactors", *Chem. Eng. Comm.*, **160**, 103-122(1997).