

Non-Newtonian Fluid 가압기포탑에서 압력변동 특성

김삼도, 심정섭, 강 용, 김상돈*

충남대학교 화학공학과

한국과학기술원 화학공학과*

Pressure Fluctuation Characteristics in a Pressurized Bubble Columns of Non-Newtonian Fluids

S.Do Kim, J.S. Shim, Y. Kang and S.D. Kim*

Department of Chemical Engineering Chungnam National University

Taejon, 305-764

Department of Chemical Engineering, KAIST, Taejon, 305-701*

서론

기포탑 반응기는 연속상인 기포가 분산상으로 존재하므로 기체와 액체의 접촉 효과가 좋아 물질전달이 잘 일어나므로 기-액 반응 및 접촉공정에 효과적으로 응용될 수 있으며, 연속조작이 용이하고 유지비가 적으며 장치 및 공정이 복잡하지 않으며 조작변수가 작다는 등의 장점을 가지고 있다. 그러므로, 액화공정, 폐수처리공정, 탈황공정 및 미생물 배양공정 등에 적용되고 있다[1]. 지금까지 기포탑에 대한 연구는 주로 상압하에서 이루어져 왔다[2,3]. 그러나 실제 산업에서 사용되는 기포탑의 반응은 상압으로 유지되는 것 보다 더 높은 압력에서 반응이 일어나는 경우가 대부분이다. 그러므로, 가압상태에서 적용압력이 조작변수에 미치는 수력학적 지식을 아는 것이 기포탑의 설계나 조작에 있어서 필요하다고 할 수 있겠다.

가압상태에서 조작되는 기포탑에서는 기체의 압력증가에 따른 기체밀도를 증가시키므로 기체체류량의 증가를 나타낸다고 보고 있으며, 이로써 기-액 계면에서의 물질전달을 증가시킬 수 있음을 예측할 수 있다[4,5]. 하지만 아직 가압 system에서 수력학적 특성에 관한 체계적인 연구가 되어 있지 않을 뿐만 아니라, 반응기내에서 기포의 흐름거동에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 적용압력(기체밀도)이 변화함에 따라 조작변수에 미치는 수력학적 특성을 알아보고 또한 충내부에서 압력변동 측정에 의한 PSDF(power spectral density function)의 분석으로 기체와 액체의 흐름거동을 알아보고자 한다.

해석

기포탑에서 측정된 압력변동은 시간에 따른 변화 기록 자료로부터 무작위적 과정(random process)으로 나타낼 수 있는데, 압력변동을 나타내는 시간응답기록 $X(t)$ 의 앙상블을 시간 t 에 대해 평균하면 식(1)과 같이 쓸 수 있다.

$$X_M(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) P(X:t) dX \quad (1)$$

식(1)에서 일차확률밀도함수 $P(X:t)$ 가 시간에 무관하다면, 정지상태의 통계적 성질을 가지므로 확률밀도함수 $P(X)$ 로 나타낼 수 있으며, 이때 평균값을 식(2)처럼 나타낼 수 있다.

$$X_M(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) P(X) dX \quad (2)$$

또한 정지상태 응답자료인 압력변동의 자기상관함수(Autocorrelation function)는

식(3)과 같이 나타낼 수 있으며, 상관함수의 푸리에변환(Fourier transformation)이나 자료의 직접 푸리에변환으로 스펙트럴 밀도함수를 구할 수 있으며, 자기상관함수의 푸리에변환으로부터 식(4)와 같은 PSDF(Power Spectral Density Function)를 얻을 수 있다.

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X(t) X(t+\tau) dt \quad (3)$$

$$G_{xx}(\tau) = \int_0^T R_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (4)$$

실험방법

본 연구에서 사용한 가압기포탑 장치는 Fig. 1에서 나타낸 것처럼 내경이 5.08cm 이고, 높이 1m인 Stainless Steel로 제작되어 있다. 실험장치는 분산판, 유동층 그리고 Cyclone 으로 구성되어 있으며, 분산판으로는 다공판(perforated plate)이 사용되었다. 이때 사용되는 Cyclone은 기체와 액체의 분리를 위하여 사용되었다. Compressor를 운전시켜 압력을 조절하였고, 장치의 출구 부분에 있는 valve로 기체의 유속을 조절하였다. 주요 실험변수로는 기체의 유속, 액체의 점도, 운전압력, Distributor로부터 높이 등이고, 액체로는 물과 CMC 용액을 사용하였고, 기체로는 여과된 압축공기를 사용하였다. 기포탑 내부의 가압정도는 100~400KPa 정도이고, 기체의 유속범위는 2~25cm/sec, 액체의 점도는 1~40mPa·s 이다.

유동층 내부의 압력강하 및 압력변동을 측정하기 위하여 분산판으로부터 10cm 간격으로 압력 탭을 설치하였고, 주로 압력강하 및 압력변동의 측정지점은 분산판으로부터 20cm와 70cm 지점에서 이루어졌다. 마노미터를 사용하여 두지점의 압력강하로부터 기체체류량을 구하였다. 또한 압력변동을 측정하기 위하여 각 실험조건의 압력변동을 압력변환기(Pressure transducer, Model: VALCOM VPRT A4)를 사용하여 volt-time 신호로 바꾸고, 이를 증폭기와 filter를 거쳐 A/D converter를 사용하여 Digital로 바꾸고 PC에 저장한 다음 이를 off-line process로 통계적 처리를 하였다. Data의 측정속도는 42msec로 3000개를 취하였다. 실험에 사용된 액체들의 물리적 조성을 표 1에 나타내었다.

Table 1. Physical properties of liquid phase.

Liquid	Density (Kg/m ³)	viscosity (mPa·s)	Surface tension (mN/m)
Water	1000	1.0	72.9
CMC 0.1 wt%	1001	11.0	73.2
CMC 0.2 wt%	1002	24.0	73.3
CMC 0.3 wt%	1003	38.0	73.6

결과 및 고찰

본 실험은 batch system으로 이루어졌으며, 가압정도에 따른 기체체류량의 결과를 Fig.2에 나타내었다. Fig.2는 물-공기계에서 압력이 변화할 때 기체유속 변화에 따른 기체체류량을 나타낸 것이다. 압력 및 유속이 증가함에 따라 기체체류량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 기체체류량은 기포크기 및 기포수와 관련되는 데, 본 실험에서 기체체류량이 증가하는 것으로 보아 기포의 크기가 작아진다는

것을 예측할 수 있다. 또한 압력의 증가는 기체밀도의 증가를 의미하므로 기포의 수가 증가함을 알 수도 있다. 하지만 상압하에서 액체의 점도가 증가하면 기포의 합체를 촉진하고 기포파괴를 저하시키므로 기체체류량이 감소하는데, 가압상태에서도 마찬가지로 액체의 점도가 증가함에 따라 Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 기체체류량이 감소하는 것을 볼 수 있다. 본 실험에서 기체유속, 기체밀도(적용압력), 액체점도 등의 변수로부터 아래와 같은 기체체류량에 관련된 상관식을 도출할 수 있었다. (상관계수 = 0.98)

$$\epsilon_{g, cal} = 0.710 U_g^{0.647} \rho_g^{0.314} \mu_l^{-0.1434}$$

가압기포탑 내부의 흐름거동을 알아보기 위한 압력변동을 측정된 결과 Fig.4와 같은 PSDF를 얻을 수 있었다. Fig.4는 일정유속일 때 적용압력이 100, 150, 200 KPa로 변화할 때 각각의 PSDF를 나타낸 것이다. 주 진동수가 1-2Hz와 8-9Hz에서 나타나며 적용압력(기체밀도)이 증가함에 따라 PSDF의 값이 약간 커지는 것을 관찰할 수 있다.

참고문헌

1. Deckwer, W.D. and Schumpe, A., Chem. Eng. Sci., 48, 889(1993).
2. Godbole, S.P., Honath, M.F. and Shah, Y.T., Chem. Eng. Commun., 16, 119 (1982).
3. Suh, I.S., Schumpe, A., Decker, W.D. and Kulicke, W.M., Can. J. Chem. Eng., 69, 506(1991).
4. Wilkinson, P.M. and L.L. van Dierendonck, Chem. Eng. Sci., 45, 2309(1990).
5. Krishna, R., Wilkinson, P.M. and L.L. van Dierendonck, Chem. Eng. Sci., 46, 2491(1991).

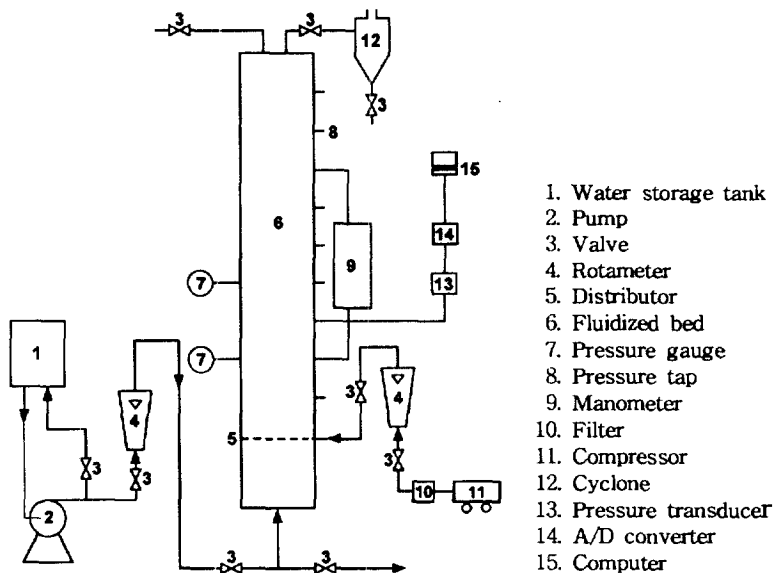


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

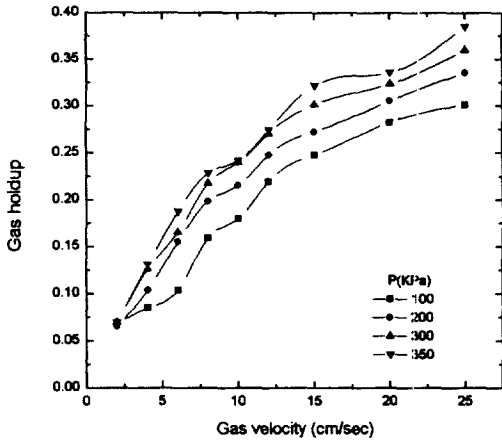


Fig.2 Effects of the gas velocity on the gas holdup in the water-air system.

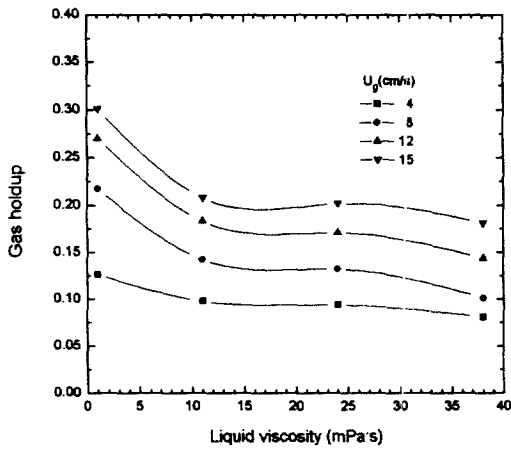


Fig.3. Effects of liquid viscosity on the gas holdup in the pressurized bubble column. (P=300KPa)

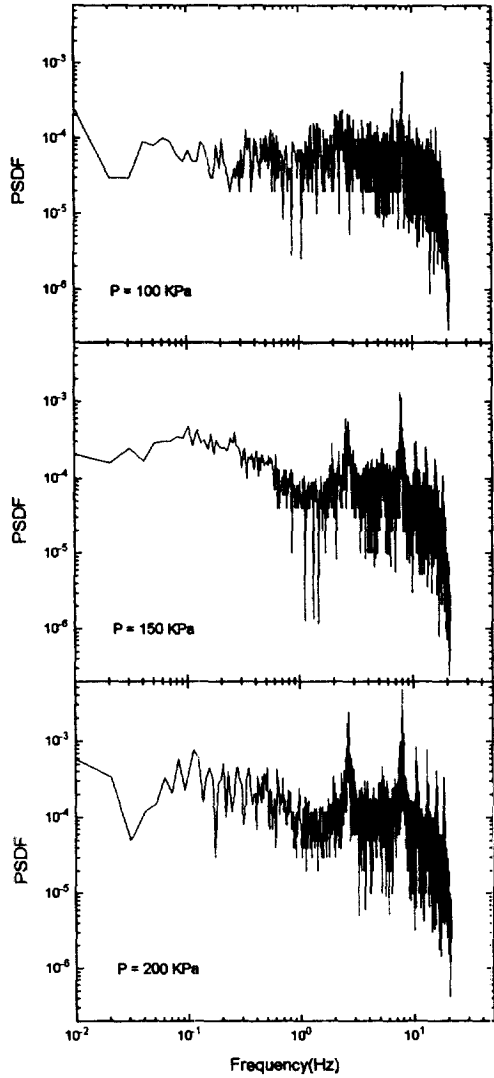


Fig. 4. Log-Log plots of power spectrum of pressure fluctuation from the pressurized bubble column. ($U_g=4\text{cm/s}$, $h=0.2\text{m}$, water)