

수평흐름 이젝터를 가진 Rectangular Chamber에서 수력학적 특징

김옥신, 이동현*, 김상돈¹
 성균관대학교 화학공학과, ¹한국과학기술원 생명화학공학과
 (dhlee@skku.edu*)

Hydrodynamic Characteristics in the Rectangular Chamber with a Horizontal Flow Ejector

Kim Og Sin, Lee Dong Hyun*, Kim Sang Done¹
 Department of Chemical engineering, Sungkyunkwan University,
¹Department of Chemical and Biomolecular Engineering and Energy & Environment Research
 Center
 (dhlee@skku.edu*)

Introduction

높은 계면적과 물질 전달속도를 제공하는 이젝터는 co-current 흐름 시스템이다. 오늘날, 이러한 이젝터의 훌륭한 물질 및 열전달 특성으로 인하여 이젝터 분산장치 반응기는 기체-액체, 기체-액체-고체 시스템의 화학 공정 및 생화학 공정에서 그 사용이 점점 증가하고 있다 [1]. Co-current 흐름 장치로써 이젝터는 연속상인 고압의 액체 제트에 의해 분산상인 저압의 기체를 동반시키는데 사용된다. 이젝터는 Fig. 1에 보이는 것처럼 전형적으로 노즐부, 기체 흡입부, throat, 혼합부와 확산부로 구성된다. 이러한 이젝터들을 화학산업에 적용하기 위해서는 기체흡입속도(gas suction rate), 기체상 체류량(gas phase holdup), 기포 크기 및 상승속도와 같은 수력학적인 특성이 연구되어야 한다.

기포탑에서 이젝터 분산장치의 수력학적인 특성에 관한 많은 연구들이 있어 왔다 [1~6]. 그러나 이전의 많은 연구들은 co-current 흐름 장치로써의 수직 방향 흐름 이젝터에 관한 연구였다. 수평흐름 이젝터에서의 수력학적 특징들에 관한 몇몇의 연구가 있었지만 [7~9] 수직 방향 흐름 이젝터와 비교하여 상대적으로 적게 연구되어 왔다.

그러므로 본 연구에서는 수평 방향 흐름 이젝터 형태의 기체 분산장치를 가진 0.0672m² (0.28 × 0.24 × 1.2 m)의 rectangular chamber에서 노즐 직경, 혼합부와 확산부 길이 같은 이젝터 geometry와 물의 부피유량, chamber 내 물의 양이 기체흡입속도, 기체상 체류량, 기포 크기 및 상승속도에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

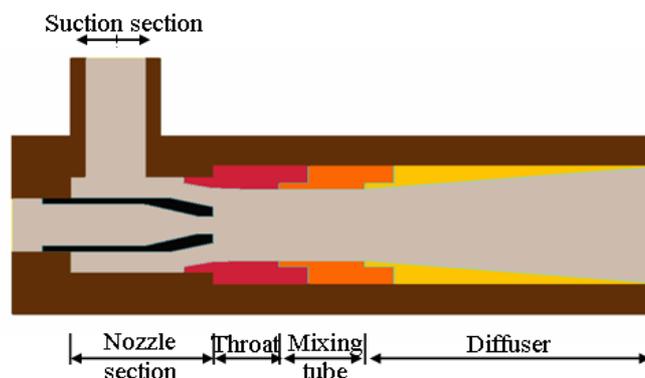


Fig. 1. Typical structure of the ejector.

Experimental

Fig. 2는 본 연구를 위해 제작된 수평흐름 이젝터를 가진 rectangular chamber의 개략도이다. Chamber는 $0.24 \times 0.28 \times 1.2\text{m}$ 크기의 투명한 PC(polycarbonate)로 제작되었으며 하단부가 rectangular 형태이다. 이젝터는 투명한 아크릴로 만들었으며 Fig. 2에서 보듯이 chamber 하단부에 수평하게 설치하였다.

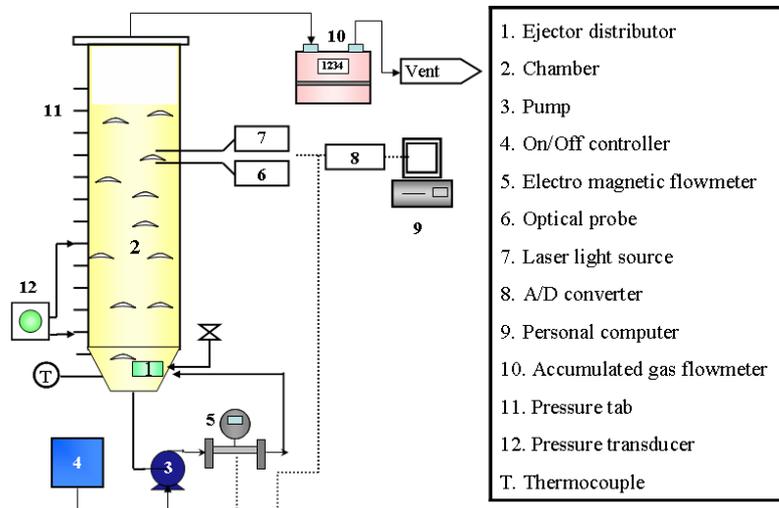


Fig. 2. Schematic diagram of experimental setup.

이젝터로 흘러들어가는 액체 유량은 펌프의 주파수 (Hz)로 조절되며 그 유량은 전자 유량계(electro magnetic flow meter)로 측정되어 컴퓨터에 저장된다. 펌프는 일본 Iwaki Co.의 magnet gear pump (Model ; MDG-R15C100)를 사용하였고 전자유량계는 일본 Toshiba Co.의 LF-600 모델을 사용하였다. 기포크기(bubble chord length) 및 기포 상승 속도 등의 기포 특성을 조사하기 위해 U-shape tip의 이중 광학 탐침(double optical probe)을 사용하였다. Upper tip과 bottom tip 사이의 간격은 0.0015 m 이고 광섬유는 직경 $250\mu\text{m}$ 의 PMMA 섬유를 사용하였다. 기체상 체류량(gas phase holdup)은 차압계 (Omega Co., PX-154)를 이용하여 구하였다. Pressure tap은 chamber 하단부로 부터 각각 10cm 간격으로 설치되었으며, 기체 흡입 속도(gas suction rate)를 구하기 위하여 적산유량계(금호미터텍, BK-G10)를 사용하였다.

본 연구는 상온과 대기압 하에서 수행되었고 액체는 물을 이용하였다. 실험 변수와 범위는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental variables and ranges

| 변수 | | 범위 |
|------------------------------|------------|----------------|
| 유량 (m^3/h) | | 0.36 ~ 0.83 |
| Chamber 내 물의 양 (L) | | 15, 25, 35, 45 |
| 이젝터 geometry | 노즐 직경(mm) | 3, 4, 5, 6 |
| | 혼합부 길이(mm) | 0, 6, 9, 12 |
| | 확산부 길이(mm) | 30, 42, 60, 72 |

Results and Discussion

Fig. 3은 수평흐름 이젝터를 가진 rectangular chamber에서 이젝터 geometry가 기체 흡입 속도에 미치는 영향을 나타낸다. Fig. 3(a)는 물의 유량에 따른 기체 흡입 속도를 나타내는 것으로서, 연속상인 물의 부피 유량이 증가할수록 분산상인 기체의 흡입 속도는 상승

한다. 동일한 조건에서 chamber 내 물의 양(Liter)이 적을수록, 노즐 직경(N)이 작을수록 기체의 상승속도는 증가하는 것을 볼 수 있으며, 동일한 조건에서 혼합부의 길이(D)는 기체 흡입 속도에 거의 영향을 미치지 않는다. 반면에 동일한 조건에서 확산부의 증가는 기체 흡입 속도의 상승을 가져온다. Fig. 3(b)는 chamber 내 물의 양에 따른 기체 흡입 속도를 나타내는 것으로서, 물의 양이 많을수록 기체 흡입 속도는 줄어든다. 동일한 조건에서 노즐 직경이 작을수록, 물의 유량이 클수록 기체 흡입 속도가 커짐을 알 수 있다. Fig. 3(c)는 노즐 직경에 따른 기체 흡입 속도의 변화를 나타낸다. 노즐 직경이 3mm에서 6mm로 커질수록 기체 흡입 속도는 급격히 줄어든다. 동일한 조건에서 물의 유량이 커질수록 기체 흡입속도는 커지며 chamber 내 물의 양이 많을수록 기체 흡입 속도는 줄어든다. Kandakure 등 [10]은 기체 흡입 속도는 흡입 입구와 throat 출구 사이 압력차이에 영향을 받는다고 하였고 Majumder 등 [11]은 액체 부피유량이 커질수록 기포를 형성하기 위한 압력강하가 커진다고 하였다. 액체 유량이 커짐에 따라 더 높은 momentum 전달이 발생하여 기체의 흡입이 증가하고 기포의 number density도 증가한다.

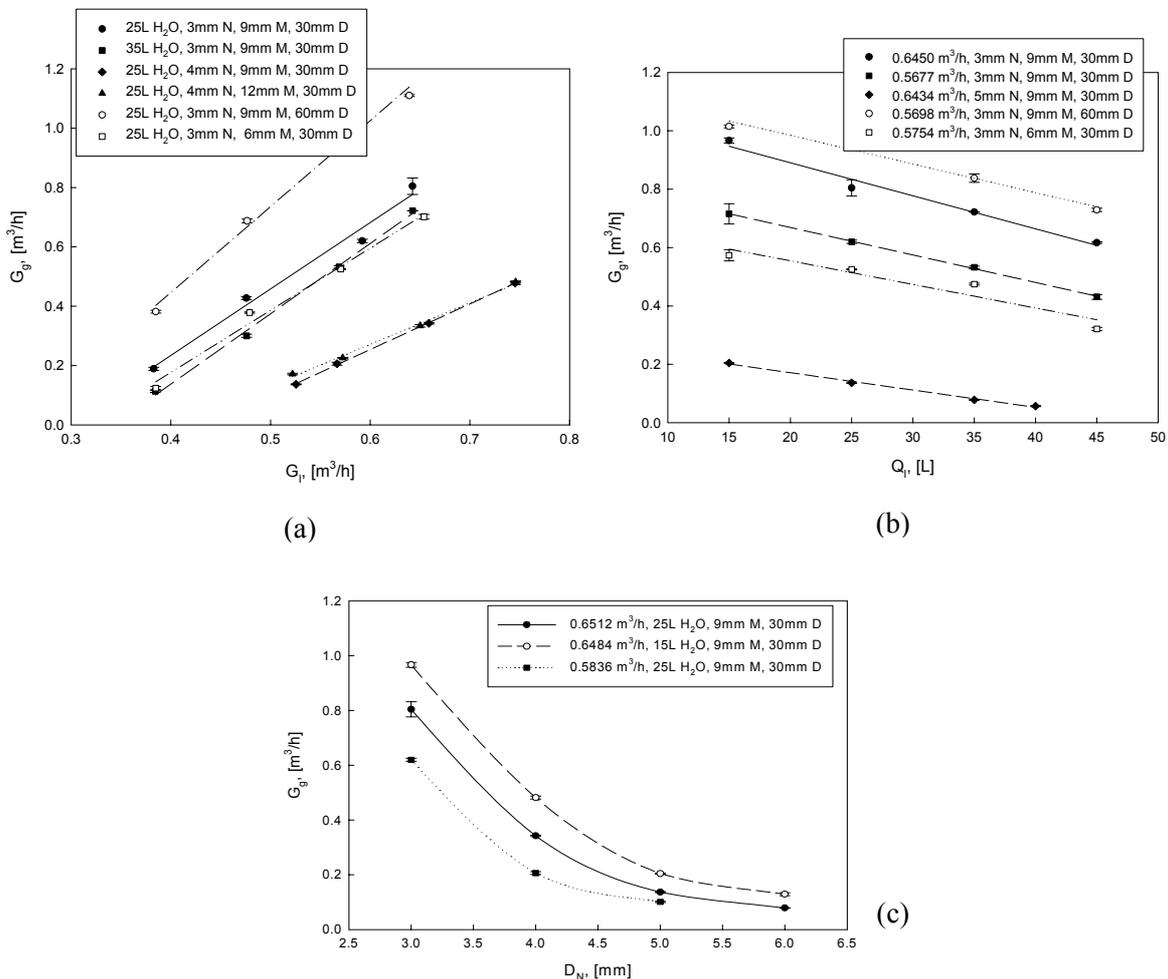


Fig. 3. Effects of (a)liquid volumetric flow rate, (b) water quantity in the chamber and (c) nozzle tip diameter on the gas suction rate in the rectangular chamber with horizontal flow ejector.; G_g =gas suction rate, G_l =liquid volumetric flow rate, Q_l =water in the chamber, N=diameter of nozzle, M=mixing tube length, D=diffuser length.

Fig. 4. 는 수평흐름 이젝터를 가진 rectangular chamber에서 기체 흡입 속도에 따른 기체상 체류량을 나타낸다. 기체의 phase holdup (ϵ_g)은 식 (1)으로 계산한다.

$$-\frac{\Delta P}{L} = (\epsilon_g \rho_l + \epsilon_g \rho_g)g - \rho g \quad (1)$$

여기서, L = 두 압력 tap 사이 거리, ρ_g = 기체의 밀도, ρ_l = 액체의 밀도, g = 중력가속도
 Fig. 4에서 보듯이, chamber 내 물의 양이 25L로 일정할 때, 이젝터 geometry의 변화에 따라 기체 흡입 속도가 커질수록 기체의 phase holdup(ϵ_g)은 커진다. 기포 흡입 속도가 동일할 때, 다른 변수를 고정하면 혼합부의 길이가 길수록, 노즐이 클수록 기체의 phase holdup은 커다는 것을 알 수 있다. 기체의 phase holdup은 기포의 상승속도 및 크기와 관련이 있다고 할 수 있다. 혼합부의 길이가 길면 두상의 혼합이 더 잘 이루어져 기포의 크기는 작아지며 그에 따라 chamber 내에서 기포 상승속도는 줄어들게 되어 기체의 phase holdup은 상승한다. 반면에 노즐의 직경이 작을수록 두상의 속도가 빠르고 그에 따라 기포의 상승속도도 빨라져 기체의 phase holdup은 줄어들게 된다.

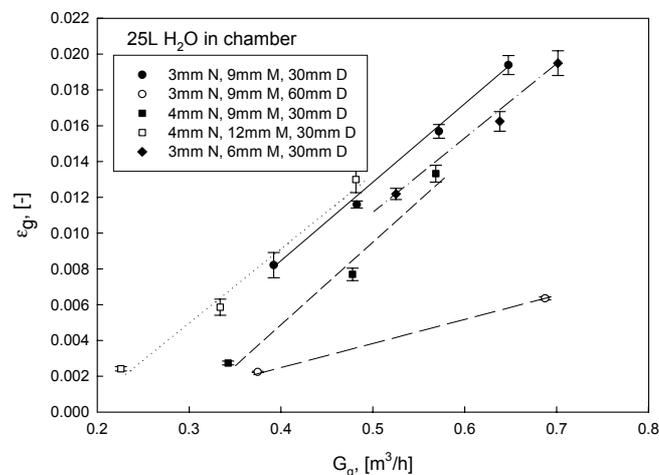


Fig. 4. Variation of gas phase holdup with gas suction rate in the rectangular chamber with horizontal flow ejector.

Reference

- Havelka, P., V. Linek, J. Sinkule, J. Zahradnik and M. Fialova, *Chemical Engineering Science*, **52**, 1701 (1997)
- Nagel, O., H. Kürten and R. Sinn, *Chrmie-Ingenieur-Technik*, **42**, 474 (1970)
- Zehner, P., *Chrmie-Ingenieur-Technik*, **47**, 209 (1975)
- Bhutada, S. R. and V. G. Pangarkar, *Chemical Engineering Commnication*, **61**, 239 (1987)
- Havelka, P., V. Linek, J. Sinkule, J. Zahradnik and M. Fialova, *Chemical Engineering Science*, **55**, 535 (2000)
- Elgozali, A., V. Linek, M. Filalova, O.Wein and J. Zahradnik, *Chemical Engineering Science*, **57**, 2987 (2002)
- Bhat, P.A., A.K. Mitra and A.N. Roy, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **50**, 313 (1975)
- Biswas, M.N. and A.K. Mitra, *Canadian Journal of Chemical Engineering*, **59**, 634 (1981)
- Henzler, H., *Germ. Chem. Eng.*, **6**, 292 (1983)
- Kandakure M. T., V.G. Gaikar and A.W. Patwardhan, *Chemical Engineering Science*, **60**, 6391 (2005)
- Majumder, S. K., G. Kundu and D. Mukherjee, *Chemical Engineering Science*, **61**, 4060 (2006)