

Liquid-gas Ejector의 구동성능 특성에 관한 연구

박기태*, 김진화, 정한식*, 정효민*

경상대학원 정밀기계공학과, *경상대학교 기계항공공학부

A Study on the Characteristics of the Liquid-gas Ejector

Gitae Park, Zhenhua Jin, Hanshik Chung*, Hyomin Jeong*

Department of Mechanical and Precision Engineering, Gyeongsang National University,
Tongyeong 650-160, Korea

*School of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University,
Tongyeong 650-160, Korea

ABSTRACT: The aim of this paper is that studies on the characteristics of the liquid-gas ejector. Could get data about various model using numerical analysis. Compare and analyze result that get by an experiment and numerical analysis. And studied Characteristics of the ejector. In this paper, Numerical analysis model is gotten divided according to each Throat ratio as three types. Each throat ratio is 0, 4 and 7.5. According to the result that analyze basic model, pressure became lower causing the volume flow rate increase. In CFD studies, Fixed volume flow rate by these result and analyzed ejector performance. As a result, there was no change of pressure to Throat's Entrance, and pressure became low while pass the throat. Since, pressure recovered while passing diffuser. The outer flow velocity did not change greatly to change of volume flow rate. This research expects that is utilized to data for performance elevation hereafter.

Key words: Ejector, Throat ratio, Fluid mechanics, Entrainment

기 호 설 명

그리스 문자

k : turbulent kinetic energy
 p : pressure
 u : velocity

ϵ : turbulent dissipation rate
 μ : dynamic viscosity
 ρ : density

하첨자

† Corresponding author
Tel.:+ 82-55-646-4766; fax:+ 82-55-640-3188
E-mail address: pgtae@gnu.ac.kr

i, j, k : space components

1. 서론

이젝터(ejector)는 고압의 유체를 노즐로 분사시켜, 그 분류 주변의 저압기체와 운동량 교환을 통하여 저압의 유체를 높은 압력으로 압축하여 수송하는 장치로서 구성은 노즐(nozzle), 혼합부(mixing section or straight pipe) 및 디퓨저(diffuser)로 되어있고, 시스템 전체에 어떠한 회전부나 구동부가 없는 유체기계이므로 그 구조가 간단하고 반영구적으로 사용이 가능하다.

소형이면서도 대용량의 유체를 압축 또는 수송할 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 여러 분야에서 활용되고 있다. 이러한 이젝터에 대한 연구는 다양한 형상에 대해서 이루어지고 있다. 거의 모든 연구가 그렇지만 실험과 이론해석을 병행하여 연구를 진행하지만 이젝터는 실험으로 접근을 하기에는 그 여건이 여의치 않다. 그 이유는 다양한 요소들에 의해 그 내부의 유동이 변하기 때문에 이러한 것을 연구하기 위해서 실험 모델을 정하고 제작하기에는 자금적인 부담이 문제가 된다. 때문에 더욱 이론적인 접근이 필요한데, 이러한 것은 계산을 하기 위해서 다양한 가정을 하게 되고 이러한 여러 가정들과 손실계수로 인하여 내부특성을 연구하는데 한계가 따른다. 최근 들어서 여러 계측장비가 발전하였고, 컴퓨터의 성능이 좋아지면서 이러한 부분에 있어서 많은 보완이 이루어졌다.

본 연구에 사용된 이젝터 모델은 Liquid-gas ejector로 담수기에 장치된다. 담수기에서 이젝터의 역할은 담수기 내부의 진공을 형성시키는 것과 동시에 고농도의 해수를 배출하는 것이다. 연구에 사용된 이젝터는 그 구조가 일반적인 수이젝터와 같은 구조이다. 이젝터에 있어서 그 성능은 흡입 챔버가 대기압으로 주어지고 디퓨저의 출구가 분리기로 연결된다고 할 때, 분리기의 압력이 바로 이젝터의 압축능력이 되며, 디퓨저의 출구를 대기압으로 두었을 때, 흡입 챔버 내에 유체의 출입이 없다고 하면, 챔버 내의 압력은 이젝터의 진공능력이 된다.

본 연구에서는 이러한 것을 바탕으로 이미 설계된 담수기용 이젝터의 성능 특성을 수치해석적

접근을 통해 파악해보는데 목적을 두었다. 수치해석은 디퓨저 입구 직관부의 길이와 직경의 비에 따른 형상을 변수로서 각기 구동유체의 유량을 달리하여 진행하였고, 이를 바탕으로 이젝터 성능에 대한 분석을 함으로써 차후 이젝터의 성능향상을 위한 기초 데이터로 활용하고자 한다.

2. 수학적 모델

2.1 Liquid-gas ejector

Fig. 1은 Liquid-gas ejector로 액체로 구동하여 기체를 흡입하는 이젝터이다. 실험에서는 담수기에 장치되어 구동유체로는 해수를 사용하게 되고, 흡입되는 유체는 공기가 된다. 기본적인 이젝터의 형상은 노즐, 디퓨저 입구의 직관 및 디퓨저로 구성되어있다. 실제 이젝터에는 담수기 내의 기체와 고농도 해수를 흡입하기 위해 두 개의 흡입구가 있는데 이 논문에서는 형상을 단순화시키기 위해서 축대칭으로 2차원 모델을 구성하였다. 이때, 흡입구의 축을 기점으로 모델을 잘라냄으로써 단일 흡입부를 설정하였다. 그리고 구동유체는 물로 설정하였고, 흡입유체는 본래 공기와 해수가 되어야 하지만, 실제 담수기를 구동하는 과정을 보면 진공이 형성된 후에야 해수를 공급하게 되므로 초기 진공을 형성할 때에는 공기만이 흡입된다. 이러한 이유에서 흡입유체로는 공기만을 설정하였다.

이젝터의 동작과정은 노즐을 통해서 구동유체가 고속으로 분사되고 이러한 과정에서 내부에 저압이 형성된다. 이로 인해서 흡입유체인 기체와 고농도의 해수가 흡입되며 흡입된 기체 및 해수는 구동유체와 혼합부에서 섞이게 된다. 이러한 유체들은 디퓨저를 지나면서 압력을 회복하게 되고, 속도가 줄어들게 된다.

해석에 사용한 이젝터의 형상은 3종류로 Throat ratio에 의해서 각기 다른 형상을 하고 있다. Throat ratio는 다음의 식에 나타나있다.

$$\bullet \text{ Throatratio} = L_t / D_t \quad (1)$$

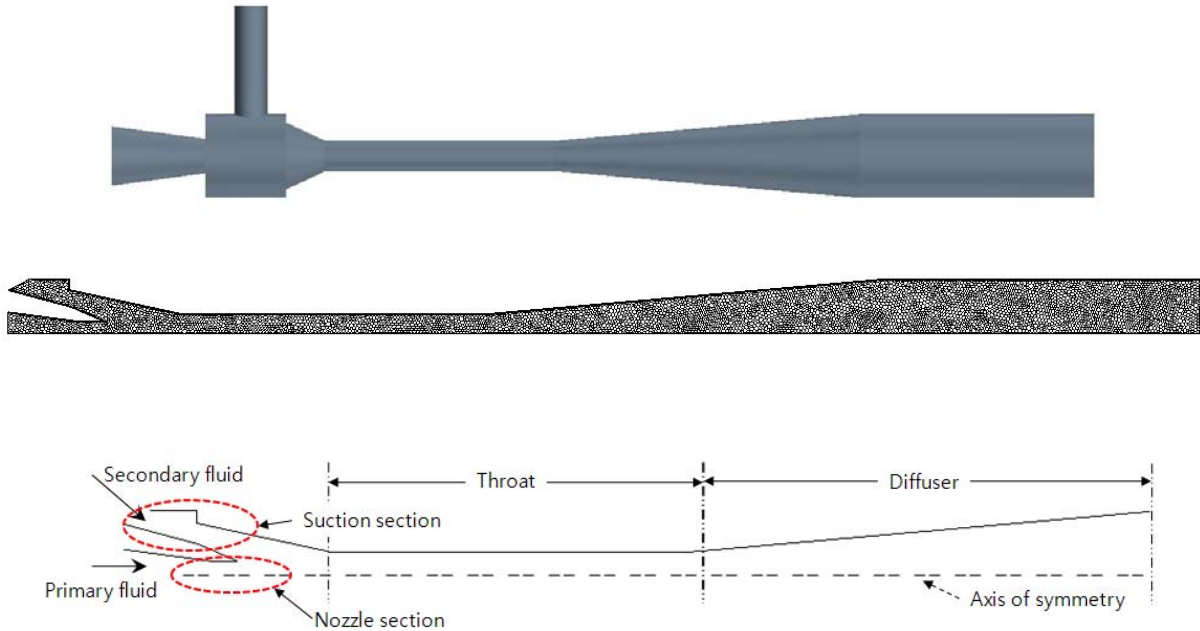


Fig. 1 One of the geometries studied (diffuser A) and grid structures of the liquid-gas ejector CFD model.

2.2 경계조건

유동은 정상상태 비압축성 유동으로 유체는 응축되지 않는 것으로 가정을 하였고, 단열과정으로서 외부와의 열교환은 없으며 내부 벽면에서의 마찰은 고려하지 않았다. 난류모델로서는 k-ε 난류모델을 적용하였고 해석에 사용한 지배방정식은 다음과 같다.

- 연속방정식:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

- 운동량방정식:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3)$$

- 난류에너지방정식:

$$\frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (4)$$

- 난류에너지 소산방정식:

$$\frac{\partial(\rho u_j \epsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_\epsilon}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{k} G_k - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (5)$$

Table 1은 이젝터의 주요부 치수를 정리한 것이다. 먼저 실험에 사용된 이젝터 모델을 가지고 구동유량을 변화시켜가며 해석을 진행한 후 특성을 파악해 보았다. 그리고 이젝터의 형상에 변화를 주었는데 이때에는 디퓨저 입구의 직관부의 길이와 직경의 비로써 각각 0, 4, 7.5로 세 가지 타입의 이젝터를 해석 모델로 정하였다.

Table 1 Dimensions of the ejector varied in the studies.

Parameter	Values (m)
Inlet diameter, D_0	0.02
Nozzle diameter, D_N	0.0056
Throat diameter, D_T	0.009
Throat Length, L_T	0.068, 0.036, 0.0

3. 해석결과 및 고찰

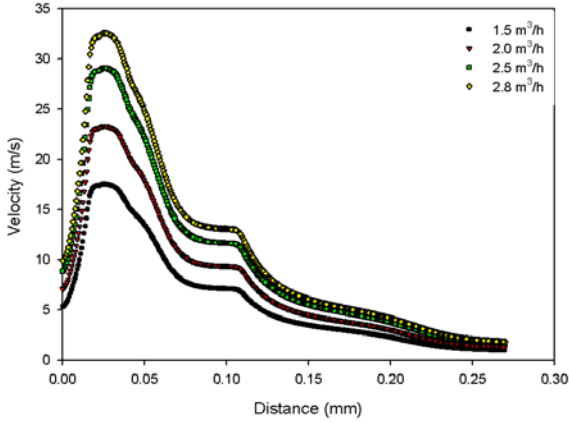


Fig. 2 Distribution of velocity for different volume flow rate.

Fig. 2는 이젝터의 내부, 중심축 부분에서의 각 구동유량에 따른 유체의 속도 변화를 보여주고 있다. 노즐 끝단은 0.022m의 지점에 위치하고 있으며 노즐 끝단에서부터 디퓨저 입구의 직관부에 이르기까지 급격한 속도의 상승을 확인할 수 있다. 그리고 직관부를 거치면서 속도가 현저히 줄어든다. 그리고 직관부를 빠져나와 디퓨저에서 또 한 번의 속도변화가 이루어지고 최종적인 속도는 각각의 유량에 관계없이 거의 같은 속도를 보임을 확인할 수 있다.

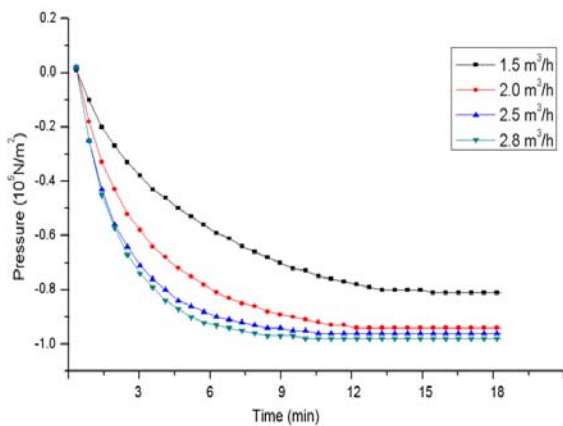


Fig. 3 Distribution of pressure drop for different volume flow rate.

Fig. 3은 실험에 의한 결과 값으로 각기 다른

체적유량에서의 압력강하를 나타낸 것이다. 유량이 많을수록 압력이 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 물론 이것은 Fig. 2에서도 확인할 수 있고 예상 가능한 사항이다.

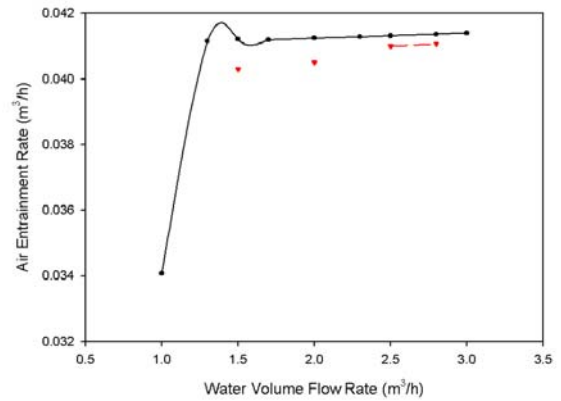


Fig. 4 Comparison of the experimental and the predicted air entrainment rates.

Fig. 4는 흡입되는 공기의 체적유량을 각각의 구동유량에 따라서 나타낸 것이다. 실험값이 많이 부족하지만 그래도 해석으로 얻은 값과 비교를 해본다면, 이때의 오차범위는 3% 내외로서 실험과 해석이 그다지 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 그래프에서 실선으로 나온 것이 해석값이고, 역삼각형 모양으로 표시된 것이 실험으로 얻은 값이다.

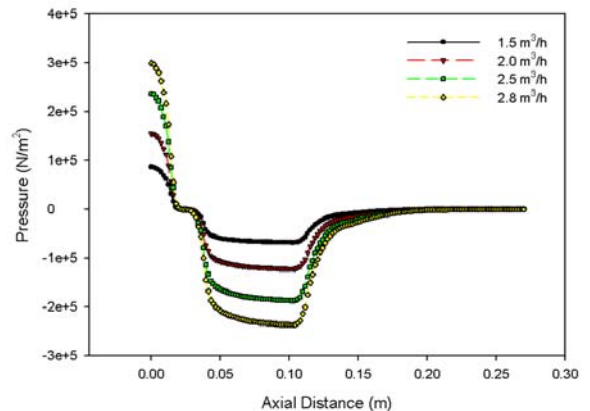


Fig. 5 Distribution of pressure for different volume flow rate.

Fig. 5는 실험에 사용했던 이젝터를 모델링하여 구동유량을 변화시켜 해석한 결과값이다. 유

량이 커질수록 실험에서와 같이 압력이 더욱 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 압력은 노즐 끝단에서부터 직관부 입구까지에서는 압력의 변화가 거의 일어나지 않음을 볼 수 있다. 직관부 내부에서 압력강하가 이루어지다가 디퓨저를 거치면서 압력이 회복되는 것을 확인가능하다.

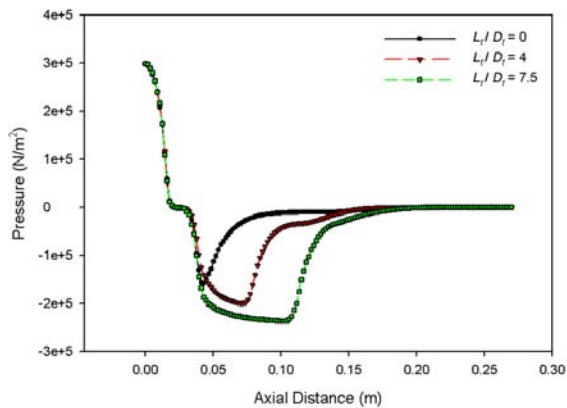


Fig. 6 Distribution of pressure for different throat ratio.

Fig. 6는 Fig. 5의 결과를 바탕으로 구동유량을 $2.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 로 설정하고 해석을 수행한 결과이다. 여기서는 각 이젝터의 형상에 따른 결과를 도시하고 있는데 이 결과는 M.T. Kandakure(2005)의 연구와는 다른 양상을 보인다.

M.T. Kandakure(2005)의 연구에서는 Throat ratio가 0일 때, 압력이 가장 낮게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 4에서는 정반대의 결과로서 Throat ratio가 커질수록 압력이 낮아지는 양상을 보인다. 이것은 노즐의 위치 때문에 생긴 결과일 것으로 예상되는데 그 이유로는 M.T. Kandakure(2005)가 연구에 사용한 이젝터는 노즐이 위치가 흡입구의 중심축 부분이었던 것에 비해서 본 고에서 해석에 사용한 이젝터는 노즐이 직관부에 근접해 있기 때문이다.

4. 결론

본 고에서는 Liquid-gas ejector를 이론적인 방법을 통해서 그 특성에 대한 연구를 진행하였고, 그 특성은 다음과 같다.

- (1) 구동유량의 증가에 따라 압력강하가 더욱 잘 이루어지는 것을 실험 및 해석을 통해 검증하였다.
- (2) Throat ratio가 증가함에 따라서 압력강하가 더욱 커지는 것을 확인하였다. 이는 선행연구된 결과와는 반대의 현상으로 노즐의 위치에 따른 변화가 있을 것으로 예상되며 차후 실험과 해석을 통해서 검증해봐야 할 사항이다.
- (3) 노즐 끝단에서 디퓨저 입구의 직관부에 이르는 구간에서는 압력의 변화가 거의 없었다. 그리고 유체는 디퓨저 입구의 직관부에 들어서 압력강하가 이루어졌으며 이 부분에서 두 유체가 섞이게 되고 상변화가 이루어진다.
- (4) 디퓨저에서 압력이 회복되면서 유체의 속도가 서서히 감소한다. 그리고 유량의 변동에 따른 토출 유체의 속도는 큰 폭의 변화는 없었다.

후 기

본 연구는 2단계 BK21 사업 및 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과로서 한국열유체기술사에 감사드립니다.

참고 문헌

1. M.T. Kandakure, V.G. Gaikar, A.W. Patwardhan, 2005, Hydrodynamic aspect of ejectors, Chemical Engineering Science 60 pp. 6391-6402.
2. E. Rusly, Lu Aye, W.W.S. Charters, A. Ooi, 2005, CFD analysis of ejector in a combined ejector cooling system, International Journal of Refrigeration 28 pp. 1092-1101.
3. S. Balamurugan, Mayank D. Lab, Vilas G.

Gaikar, Ashwin W. Patwardhan, 2007, Hydrodynamics and mass transfer characteristics of gas-liquid ejectors, Chemical Engineering Journal 131 pp. 83-103

4. Myoung Il Kim, Og Sin Kim, Dong Hyun Lee, Sang Done Kim, Numerical and experimental investigations of gas-liquid dispersion in an ejector, Chemical Engineering Science