

## 이젝터의 노즐 형상이 흡입유량에 미치는 영향

김유준\* · 박정우\*\* · 서이수\*\*†

### Effect of Nozzle Geometry on the Suction Flow Rate in a Ejector

Yoo-Jun Kim\*, Joung-Woo Park\*\*, Lee-Soo Seo\*\*†

Key Words : Ejector(이젝터), Jet Flow(분사류), Nozzle(노즐), Suction Flow Rate(흡입유량), Diffuser(디퓨저)

#### ABSTRACT

Ejector is an equipment devised for making use of the low pressure occurring from the fast fluid injection and it is a transportation equipment which can obtain vacuum using the kinetic energy of the fluid. This ejector system is, nowadays, widely used for construction machinery, heavy equipments, the cooling and ventilation of electronic devices and for the various fluid transportation and pumps.

In this study, it is attempted to perform a numerical analysis and an experiment to find out the characteristics of fluid quantity, velocity and the pressure distribution of the induction pipe by changing the length and the radius ratio of the nozzle of ejector .

From the results, it is investigated that the distributions of velocity and pressure of induction pipe attached are changing with the length and the radius ratio of the nozzle. In addition, it is shown that for the small and large ejector, the efficiency is the maximum when the length of the nozzle arrived to the neck of the ejector, however, if it is installed at below or above the neck the efficiency is rather decreased .

#### 1. 서 론

이젝터(Ejector)는 유체를 고속으로 분사시키어, 분사된 유체가 노즐로 부터 빠른 속도로 분출되면서 노즐 출구의 압력이 낮아지게 된다. 이젝터는 저압으로 인하여 흡입구로부터 또 다른 유체가 흡입 된다. 앞의 두 유체는 혼합부(Mixing Section)를 지나 디퓨저(Diffuser)로 흘러가면서 속도에너지가 압력에너지로 전환 된다.

Acharjee<sup>(1)</sup>은 이론적 연구를 통해 기본적인 해석 방향을 제시하였고, Eames<sup>(2)</sup>는 증기 이젝터의 이론을 확립하였고, Witte<sup>(3)</sup>는 가스 이젝터에 대한 설계방법을 제시하였고, Biswas<sup>(4)</sup>은 구멍이 많은 노즐에 흡입량과 액체와 가스의 혼합특성을 연구하였고, Kornhanser<sup>(5)</sup>는 이젝터를 이용한 냉동사이클의 실험을 하였고,

Kumar<sup>(6)</sup>은 믹서 로브(Mixer Lobe)를 사용한 연구를 수행하였고, Hickman<sup>(7)</sup>은 이젝터 목에 대한 해석적 연구를 수행하였다.

위와 같은 여러 가지 연구 결과를 통해 이젝터는 여러 형상에 따라 최적의 상태로 작동될 수 있는 기틀이 마련되었다. 그러나 현재까지 진행되어온 이젝터의 유동특성 및 성능향상에 대한 연구는 단순한 이론적 예측이나 추론에 그쳤다. 최근에는 Kim<sup>(8-9)</sup>등이 이젝터의 성능특성 및 유동장에 대한 다양한 형태의 수치해석 및 이론적, 실험적 연구를 수행하였다.

현재 이젝터는 산업 전반부에서 소형이나 대형의 형태로 사용되고 있지만 내부 현상에 대한 유동의 흐름이나, 노즐의 특성을 연구하여 효과적인 설계자료로 활용하는 경우가 드물다. 그리고 이젝터의 효율은 여러 구성요소에 따라 각각 다르다. 그중에서 노즐의 역할이 이젝터의 효율에 밀접한 관계가 있다.

따라서 본 연구에서는 이젝터를 대상으로 하여 내부에 장착된 노즐의 길이 및 직경비에 따른 유동특성 및 흡입 효율을 수치해석 및 실물 실험을 통하여 비교분석하고자 한다.

\* 동아대학교 대학원

\*\* 동아대학교

† 교신저자, E-mail : lsseo@dau.ac.kr

## 2. 수치적 연구

### 2.1 해석모델

본 연구에서는 유동해석 방법으로 상용 프로그램인 CFX(Ver. 11)를 사용하고, 실험에 사용한 모델인 H Type ER50과 ER65를 해석모델로 하여 이젝터의 속도분포와 압력분포의 유동특성을 고찰한다.

Fig. 1은 해석모델을 나타낸 것으로 구조를 보면, 이젝터 내의 관로에서 노즐속도 IV를 운반 하는 관로를 구동관로, 분지부 형태를 가지고 있는 관로에서 흡입속도 SV를 운반하는 관로를 흡입관로, IV와 SV가 서로 혼합되는 관로를 혼합관로로 한다. 이젝터의 내 IV와 노즐 입구면적  $A_1$ 과 면적 A의 혼합관로와 동일 축 선상에 있다. 여기서 혼합관로의 유동의 속도는 흡입속도(SV), 흡입압력(SP)이 혼합된 두 흐름이 완전히 혼합되는 하류에서, 속도는 OV이고, 압력은 OP이다.

본 해석의 유동장 및 메쉬(mesh)는 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈고, 변수로 노즐길이 및 노즐직경을 설정하였다. 계산조건은 정상상태로서 열전달과 압축성 효과를 무시하였고, 상온을 설정하였다. 이젝터의 흡입구조건은 자유경계(opening)로 설정하였고, 입구조건으로 압력은 60 kPa, 240 kPa을 적용하였다.

### 2.2 수치해석결과

Fig. 4와 Fig. 5는 ER50에서 입구 압력이 P=60 kPa와 240

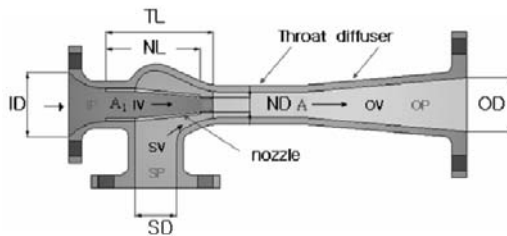


Fig. 1 Variety Components in Ejector

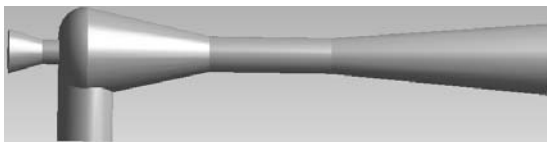


Fig. 2 Analytical Model of Ejector



Fig. 3 Mesh Design of Model

kPa일 때 NL/TL(노즐길이/목길이)=1.0, ND/ID(노즐직경/입구지경)비를 0.3의 경우의 각 위치별로 속도분포를 나타낸 것이다. Fig. 4의 경우, 노즐 출구에서는 최대 속도를 보이나, 흡입속도는 각 위치에서 거의 차이가 없는 것처럼 보이고 있다. 이는 입구 압력이 매우 적기 때문에 운동에너지가 적어 속도 차이가 별로 크지 않는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 5의 경우 압력을 P=240 kPa로 증가시키어 고찰하여 보면 흡입관 위쪽 노즐 주위에서 정체구역이 나타나고, 노즐 출구쪽으로 흡입속도가 증가한 것을 볼 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 ER50에서 입구압력 P=60 kPa, 240 kPa일 때 NL/TL=1.0, ND/ID=0.3에 대한 압력분포를 나타낸 것이다. Fig. 6과 Fig. 7에서 입구압력에 대한 이젝터 압력분포는 명확하게 구분되어 나타나지 않으나, 이젝터의 중요한 특성인 흡입압력을 알 수 있다. 즉, 이젝터의 내부 및 노즐의 주요 치수를 바꿔서 수치해석하고 압력분포를 검토함에 따라 흡입압력을 알 수 있다.

수치해석에서 주요 치수조건은 실험조건을 고려하여, TL=140

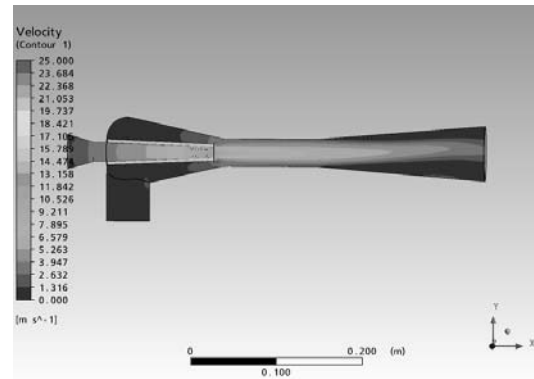


Fig. 4 Velocity Distribution at ER50, ND/ID=0.3, NL/TL=1.00, P= 60 kPa

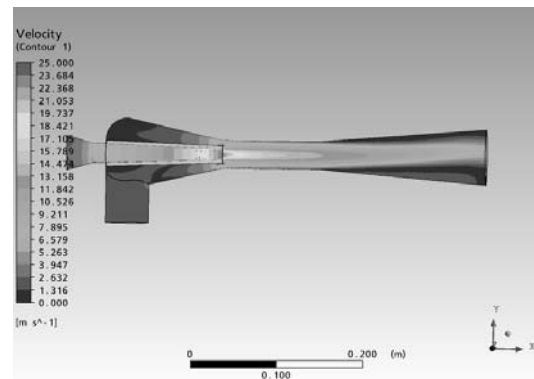


Fig. 5 Velocity Distribution at ER50, ND/ID=0.3, NL/TL=1.00, P= 240 kPa

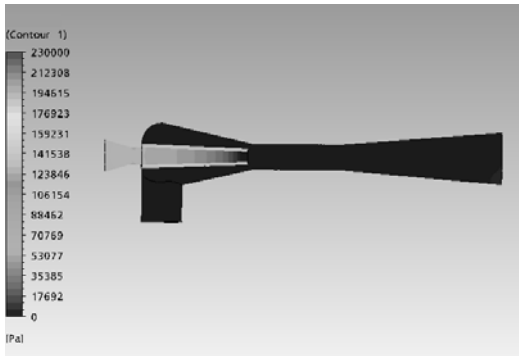


Fig. 6 Pressure Distribution at ER50, ND/ID=0.3, NL/TL=1.00, P= 60 kPa

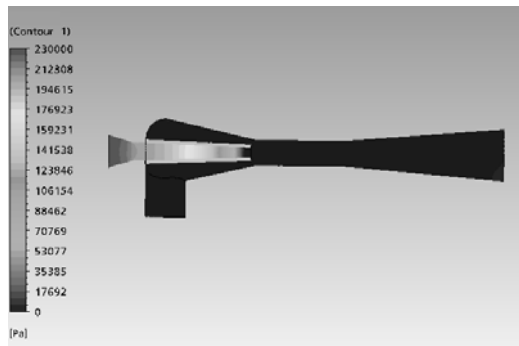


Fig. 7 Pressure Distribution at ER50, ND/ID=0.3, NL/TL=1.00, P= 240 kPa

mm을 기준으로 NL/TL= 0.97 , 1.00, 1.03 로 하고, ID=40 mm를 기준으로 ND=8 mm, 12 mm, 16 mm으로 설정하여 계산하였다. 그 결과 ND/ID=0.3, NL/TL=1.0일 때 -2444.88Pa로서 가장 흡입력이 큰 것으로 수치적 결과를 보여 주었다. 또한, 이 경향은 ER50과 ER65 모두 같았으며, 이 결과는 이후 실험에서도 같은 결과를 얻었다. 이는 이젝터 설계시 중요한 설계 기초자료가 될 것으로 본다.

Fig. 8과 Fig. 9은 ER50에서 ND/ID의 증가에 따른 흡입속도(suction velocity, 이후 SV로 표기)와 흡입압력(suction pressure, 이후 SP로 표기)의 변화를 나타낸 것으로, Fig. 4와 Fig. 5, Fig. 6과 Fig. 7에서 정량적인 수치로 볼 수 없었던 부분을 이해하기 위하여 나타낸 것이다. Fig. 8의 흡입속도는 증가하다가 0.3에서부터 감소하고, NL/TL=1.00일 때 가장 크게 나타났고, Fig. 9의 흡입압력도 증가하다가 0.3에서부터 감소하고, NL/TL=1.00일 때 가장 크게 나타났다. 이는 노즐 직경이 적정 크기보다 적게 되면 급격한 단면 축소로 인하여 에너지 손실이 증가하고, 또한 적정크기 보다 크게 되면 운동에너지가 적어져 흡입력이 떨어지기 때문이라 생각된다. 또한, 해

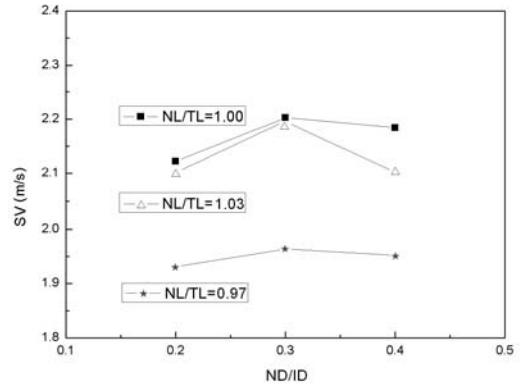


Fig. 8 SV Distribution versus ND/ID at ER50

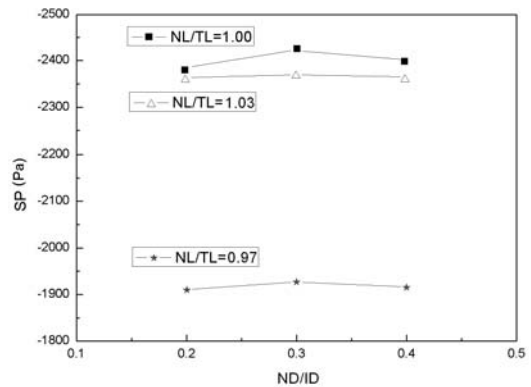


Fig. 9 SP Distribution versus ND/ID at ER50

석모델이 ER65인 경우에도 정량적인 차이는 있으나, 이와 같은 경향의 결과가 나타났다.

### 3. 실험적 연구

#### 3.1 실험장치 및 방법

Fig. 10은 본 실험에 사용한 이젝터(H type ER50)실물 사진이고, Fig. 11은 시험노즐이다. 실험에 사용된 노즐은 ER50의 경우 NL=135, 140, 145 및 ND=8, 12, 16을 사용하였고, ER65의 경우 NL=185, 190, 195 및 ND=11, 15, 19를 사용하



Fig. 10 Photograph of Ejector(ER50)



Fig. 11 Photography of Nozzle

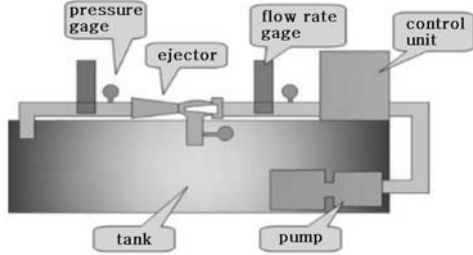


Fig. 12 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

여 각 이젝터에 대해 각각의 노즐에 대하여 실험하였다.

Fig. 12는 본 실험장치의 개략도이다. 그림에서 보는 바와 같이 실험장치는 구동펌프와 이를 구동하는 모터, 실험용 이젝터, 입구유량, 출구유량을 측정하는 유량계, 각부 압력계, 제어장치 및 물탱크로 구성되어 있다. 물탱크의 크기는 2100×540×540 mm로서 약 0.61236 m<sup>3</sup>의 청수를 저장시킬 수 있다. 그리고 실험 중에는 일정 수위상태에서 0.2835 m<sup>3</sup>의 물이 탱크 내에 담겨 있도록 설계되었으며, 실험중 공기가 혼입되지 않도록 배려했다.

실험 순서는 다음과 같다. 모터로 구동되는 펌프로부터 유체가 펌핑되었고, 펌프로부터 흘러나온 유체는 펌프출구에 부착된 밸브와 바이패스(by-pass)밸브를 이용하여 압력을 조절하며, 유입된 유체는 압력계와 유량계를 통해 이젝터로 흘러가고, 이젝터에서 빠져나온 유체는 다시 압력계와 유량계를 통해 물탱크로 흘러간다.

압력계와 유량계를 통해 수치적 확인과 디지털 지시계를 통하여 재확인이 가능하게 구성되었다.

### 3.2 실험결과 및 고찰

Fig. 13, 14의 붉은 선은 임의 값에 대한 수치적 해석에서 얻은 값이고, 검정 색의 선은 실험에 얻은 값이다.

Fig. 13은 ER50의 NL/TL비가 1.00, ND/ID비가 0.3일 때 입구압력에 대한 흡입구의 압력분포를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 입구압력이 60~240 kPa로 증가함에 따라 진공압력이 증가함을 알 수 있고, 압력150~240 kPa일 때는 높은 흡입력을 나타내고 있다.

Fig. 14는 ER65의 입구압력에 대한 흡입구의 압력분포를

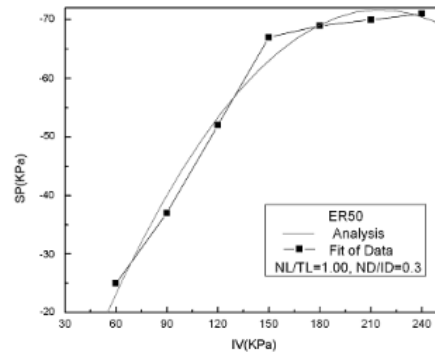


Fig. 13 SP Distribution versus IV at ND/ID=0.3, NL/TL=1.00, ER50

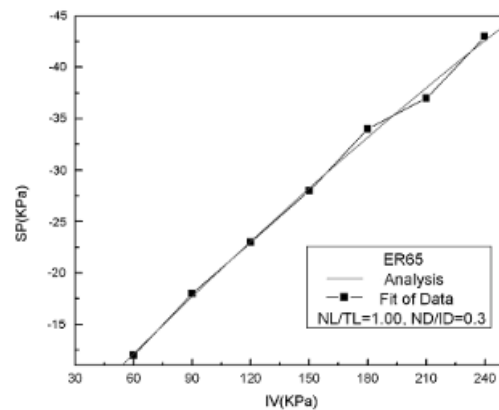


Fig. 14 SP Distribution versus IV at ND/ID=0.3, NL/TL=1.00, ER65

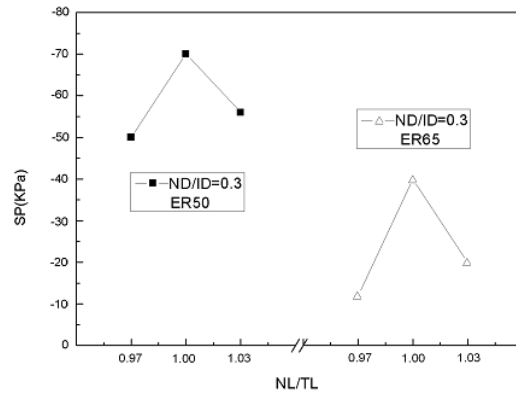


Fig. 15 SP Distribution versus NL/TL at ND/ID=0.3, ER50, ER65

나타낸 것으로, Fig. 13의 경우와 비슷한 경향으로 입구압력이 증가할수록 흡입압력이 증가하는 것을 알 수 있으나, 흡입압력이 최대 -43 kPa정도로, ER50보다 수치적으로 적게 나타난 것은 노즐의 직경이 커지므로 노즐 속도가 적어 운동에너지가 적기 때문이다. 이것은 수치해석 결과와 잘 일치하는 결과로 펌프의 동력원과 상호관계가 있다고 사료된다.

Fig. 15는 NL/TL비에 대한 흡입구의 흡입압력을 그래프로

나타낸 것이다. ND/ID비가 0.3일 때 각각의 노즐을 비교해보면, ER50의 경우 1.00(140 mm)일 때가 최대 흡입압력으로 나타났다으며, ER65에서도 역시 NL/TL = 1.00(190 mm)일 때 최대 흡입압력으로 나타났다. 이것은 수치해석 결과와 유사함을 알 수 있다. 따라서 노즐의 길이는 흡입압력이 미치는 영향이 매우 크다는 것을 입증하는 좋은 자료가 된다. 무차원 값 0.97일 때는 갑자기 넓은 공간에 확산되어 분사되므로 흡입력이 떨어지는 경향을 보이며, 무차원 값 1.03에서는 이중 원관의 유동상태를 유지함으로 운동에너지가 흡입에너지로 변환되는데 지장을 초래하기 때문에 흡입압력이 떨어지는 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 분사 펌프의 노즐 형상이 흡입 유량에 미치는 현상을 규명하기 위해서 실험과 CFD 수치해석을 통해 이젝터에 부착된 흡입구의 압력과 속도를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수치적 해석 결과와 실험적 해석결과가 정성적으로 일치하였다.
- 2) 노즐길이(NL)가 이젝터의 목 부분(TL)까지 도달했을 때 (NL/TL=1.0) 흡입속도와 흡입압력이 최대가 됨을 알 수 있었다.
- 3) 노즐직경(ND)은 입구직경(ID)에 비하여 무차원 값으로 ND/ID=0.3일 때 흡입속도, 흡입압력이 최대가 됨을 알 수 있었다.
- 4) 이젝터 설계시에 필요한 설계 기준이 되는 기초자료(NL, TL, NL 및 TL)를 얻을 수 있었고, 노즐의 직경은 펌프의 동력원과 상호관계가 있으므로 이젝터 선정 시에 유의해야 할 점이 있음을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 동아대학교 2007년도 교내 연구 년 지원 사업에 의하여 연구되었음.

#### 참고문헌

- (1) D. K. Acharjee, A. K. Mirra and A. N. Roy, 1978, "Co-Current flow Liquid Binary Mass Transfer in Ejector," The Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 56, February, pp. 33~42.
- (2) Sun. D.W. and Eames. I.E., 1995, "Recent developments in the design theories and applications of Ejectors—a review," Journal of the Institute of Energy, Vol. 68, June, pp. 665~676.
- (3) Witte, J.H., 1965, "Efficiency and design of liquid-gas ejector," British-chemical Engineering, Vol. 10, No. 9, pp. 602~607.
- (4) Biswas, M.N, and Mitra, A.K., 1989, "Momentum Transfer in Horizontal Engineering Multi-jet liquid-gas ejector," The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 59, pp. 634~637.
- (5) Peter Menegay and Alan A. Kornhauser, 1996, "Improvements to The Ejector Expansion Refrigeration Cycle," IEEE, pp. 702~706.
- (6) Tillman, T. G. and Presz Jr., W. M., 1995, "Thrust Characteristics of a Supersonic Mixer Ejector," Jour. Propulsion and Powers, Vol. 11, No. 5, pp. 931~937.
- (7) Dutton, J. C. and Carroll, B. F., 1983, "Optimized Ejector - Diffuser Design Procedure for Natural Gas Vapor Recovery," Journal of Energy Resources Technology, Vol. 105, pp. 388~393.
- (8) Kim, H. D., Lee, H. J., Lee, Y. K. and Seo, T. W., 1999, "A CFD Study of Axisymmetric Supersonic Ejector-Pump System," KSPE Fall Annual Meeting, pp. 36.
- (9) Lee, Y. K., Kim, H. D. and Seo, T. W., 1999, "A CFD Study of the Supersonic Ejector-Pump Flows," KSPE Jour, Vol. 3, No. 4, pp. 58~66.