

## 스트러트 삽입에 의한 이젝터의 효율상승에 관한 연구

신 유 식, 이 윤 환, 최 석 천, 정 효 민<sup>\*†</sup>, 정 한 식<sup>\*</sup>

경상대학교 대학원 정밀기계공학과, <sup>\*</sup>경상대학교 기계항공공학부 · 해양산업연구소

### The Improvement of Ejector Performance by Inserting a Strut

You-Sik Shin, Youn-Hwan Lee, Seuck Cheun Choi, Hyo-Min Jeong<sup>\*†</sup>, Han-Shik Chung<sup>\*</sup>

Graduate School of Precision Mechanical Eng., Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

<sup>\*</sup>School of Mechanical and Aerospace Eng., Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

(Received March 4, 2003; revision received June 2, 2003)

**ABSTRACT:** The ejector system is used for making a vacuum in an enclosed tank. This research represents the method to improve ejector performance by inserting a strut at the center of ejector outlet. This proposed ejector system is so simple and have a low cost to improve the ejector performance. There are many kinds of method for obtaining a lower vacuum pressure. The ejector is consists of nozzle, straight pipe and outlet diffuser and we focused on the outlet diffuser for high ejector performance. The strut is located at the center of ejector outlet diffuser. As the experimental result, we compared the vacuum pressure with and without a strut and without strut, and the ejector performance showed an improvement with 40% or more than the case without strut. This means that the stable fluid low energy loss was obtained by inserting the strut.

**Key words:** Ejector(이젝터), Strut(스트러트), Vacuum(진공), Ejector performance(이젝터 성능), Swirler(선회류 발생기).

#### 기 호 설 명

#### 그리스 문자

$A$  : 유로면적

$d$  : 직경

$L$  : 스트러트 길이

$P$  : 정압

$\Delta P$  : 입 · 출구 압력차

$Q$  : 유량

$U$  : 평균 유속

$\rho$  : 유체밀도

$\phi$  : 확대각도

#### 하첨자

$D$  : 확대관

$in, 1$  : 입구

$out, 2$  : 출구

$P$  : 직관부

$s$  : 스트러트

$z$  : 노즐

† Corresponding author

Tel.: +82-55-640-3184; fax: +82-55-640-3188

E-mail address: hmjeong@nongae.gsnu.ac.kr

## 1. 서 론

이젝터(ejector)는 고압의 유체를 노즐로 분출시켜, 그 분출 주변의 저압기체와 운동량 교환을 통하여 저압의 유체를 보다 높은 압력까지 압축 수송하는 장치이다. 이젝터는 노즐(nozzle), 혼합부(mixing section or straight pipe) 및 디퓨저(diffuser)로 구성, 설계되어 있으며, 이젝터 시스템 전체에 어떤 회전부분이나 활동부분을 가지지 않는 유체기계이므로 고장이 적고, 소형임에도 불구하고 대용량의 유체를 압축 또는 수송할 수 있는 특징을 가지고 있다.

일반적으로 이젝터는 제트 펌프라고 부르기도 하며 구동유체에 따라 수 이젝터(Water ejector), 공기 이젝터(Air ejector), 증기 이젝터(Steam ejector) 등으로 분류한다.

본 연구에서 사용된 이젝터는 작동유체로 물을 이용하여 진공을 형성시키는 장치로서, 일반적인 이젝터와 같이 노즐, 디퓨저 직관부와 디퓨저 확대관부로 구성된다. 이젝터의 성능은 노즐 주변의 압력을 어느 정도까지 저하시킬 수 있는가의 척도가 대단히 중요하다. 기존의 대부분 연구는 이젝터의 성능을 향상시키기 위하여 노즐의 형태 설계, 유입유량등에 관하여 연구되어 왔다.<sup>(1-2)</sup> 본 연구에서는 이젝터의 구성요소 중에서 출구 확대관부의 형상이 전체 성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 디퓨저 확대관부의 출구부분에 스트러트(Strut)를 장착하여 노즐을 통하여 분사된 유체의 유동을 제어함으로써 기존의 이젝터의 진공 효율을 증가시킬 수 있는 방법을 제안한다.

이젝터의 가장 중요한 기능은 보다 저압으로 분위기를 조성하는 것이다. 따라서 이젝터의 성능은 결국 디퓨저의 성능과 깊은 관련을 가진다. 본 연구에서는 이젝터 전체 저압현상을 디퓨저의 압력상승과 연관성을 연구하기 위하여 디퓨저의 입구와 출구에서의 압력을 측정하여 이를 분석하고, 또한 스트러트를 디퓨저 출구부에 장착하여 이젝터에 의한 저압효과를 분석하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 일반적 이론 및 배경

이젝터의 구성품은 앞에서 설명한 바와 같이

노즐, 디퓨저 입구의 직관 및 디퓨저의 설계로 압축된다. 즉, 세 가지의 요소가 복합적으로 작용하여 최종적인 이젝터의 성능을 좌우하게 된다. 수많은 연구가 행하여져 왔다. Thakker<sup>(3)</sup>는 확대관의 유입 유속분포의 특성이 정압회복 성능에 미치는 연구를 한 결과 확대관의 각도가 10° 이하에서는 랭킨 와류(Rankine Vortex)가 유입하는 경우가 유효하고, 확대관의 각도가 15°와 같이 큰 경우에는 강제 와류(Forced Vortex)가 효과적이라고 발표하였다. 이외에도 Kein,<sup>(4)</sup> Lohmann and Markowski<sup>(5)</sup>은 입구 경계층이 두께, 입구 형상, Reynold 수 등의 영향이 크다고 보고하고 있다. 한편 Samet and Einav<sup>(6)</sup>와 Dellenback,<sup>(7)</sup> Jeong and Chung<sup>(8)</sup>은 확대관 내에서의 난류 특성값을 측정하여 정압회복과의 상관관계를 도출하고 있다. 디퓨저 내부에서는 축방향 하류로 유동이 생기면서 압력이 증가하는 구조로 되어 있다. 즉, 단면적이 동일한 관에서는 디퓨저의 유동과 역현상이 생긴다. 다음과 같이 일반적인 확대관의 유동을 가정하여 본다. 입구에서의 압력, 평균 속도 및 면적을  $P_1, U_1, A_1$ 라고 하고, 확대관의 출구에서의 값을  $P_2, U_2, A_2$ 라 한다.

연속의 식(Continuity Equation) 및 Bernoulli식에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$Q = \rho A_1 U_1 = \rho A_2 U_2 = \text{Const.} \quad (1)$$

$$\frac{\rho U_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho U_2^2}{2} + P_2 = \text{Const.} \quad (2)$$

출구에서의 속도는  $U_2 = (A_1/A_2)U_1$ 이며, 여기서 면적비  $A_1/A_2 < 1$ 이므로, 출구에서의 속도는 감소한다. 즉, 출구속도가 감소하므로 식(2)에서 알 수 있듯이 출구의 압력이 증가한다. 일반적인 관로에서는 흐르면서 저항 등 여러 요소에 의하여 압력이 저하하지만 위와 같이 디퓨저에서는 압력이 증가한다. 따라서 이 압력증가를 높이기 위한 방법이 이젝터의 효율을 상승시킬 수 있다.

$$P_2 = P_1 + \Delta P \quad (3)$$

예를 들어  $P_2$ 가 대기압이라고 가정한다면  $P_1 = P_2 - \Delta P$ 이므로 입구에서의 압력은 출구의 대기

압보다  $\Delta P$ 만큼 더 작다는 것을 의미한다. 따라서 디퓨저 관로 내에서의 압력의 상승이 얼마나 잘 이루어지느냐의 문제는 입구에서 어느 정도까지 저압이 가능한가라는 문제와 같다. 이러한 이유로 이젝터의 설계시에 디퓨저의 적당한 설계가 큰 역할을 한다는 것이다.

2.2 실험장치

Fig. 1은 이젝터의 실험을 위한 실험장치 시스템을 나타내고 있다. 본 시스템은 물과 공기가 들어 있는 밀폐공간(Vacuum Tank)을 이젝터로 진공시키게 된다. 증발에 필요한 온도와 압력이 형성되면 내부는 증발을 시작하여 수적 분리기(Water/Steam Separator)에 의하여 순수한 공기 성분만 이젝터로 흡입이 된다. 그리고 이젝터의 구동원은 이젝터 펌프로서 고속의 분류(Water Jet)가 유입된다. 이젝터를 통과한 물과 공기 혼합체는 공급수 탱크(Feed Water Tank)로 재순환하게 된다.

2.3 확대관의 유동패턴

본 실험에서는 이젝터에 의한 저압효과를 도출하기 위하여 각 부분의 압력을 측정하였다. 주요 압력측정 개소로서는 이젝터 출구의 확대관 전후 및 밀폐탱크로 하였으며, 압력센서(PSHA0760HA AJ)에 의하여 실시간으로 컴퓨터에 데이터가 저장되도록 하였다.

본 연구는 이젝터의 디퓨저 확대부의 유동제어에 관한 것으로 앞에서 언급한 바와 같이 이젝터

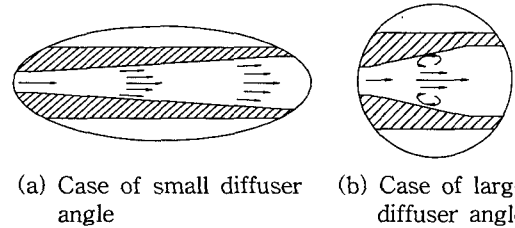


Fig. 2 Schematic diagram of flow pattern in diffuser.

의 성능은 확대관의 설계 및 기본적인 유동패턴에 대한 인식이 대단히 중요하다. 즉, 이젝터를 설계할 때에는 이젝터의 성능향상을 가져오는 근본적인 요소를 파악하고, 확대부 내부에서의 유동패턴을 숙지함으로써 이젝터가 요구하는 저압 성능을 대폭적으로 향상시키는 최적 시스템 설계 조건을 구성한다. Fig. 2는 확대관 내의 확대각이 큰 경우와 작은 경우에 대한 일반적 유동 모식도를 나타내는 것이다. 확대관은 확대각도가 4~6° 이하이면 어떠한 유동이 유입하더라도 벽면 근처에서 안정이 되어 흘러간다. 따라서 확대관을 따라 흐르면서 서서히 압력이 상승하게 되고 노즐 출구에서 압력이 저하하게 되어 이젝터의 효율을 상승시킨다. 그러나 확대관의 확대각도가 보통 7° 이상이 되면 벽면 근처에서 박리(Seperation)가 생긴다. 따라서 벽면 근처에서는 에너지가 공급되지 못하고 유동이 정체되어 손실이 크게 발생한다. 여기서 손실이라 함은 Bernoulli 정리에서 알 수 있듯이 정압과 속도압이 항상 일정하여 속도가 감소하면 그 감소분만큼 압력이 상승해야 하지만 그렇지 못한 현상이 생기게 되는 것이다.

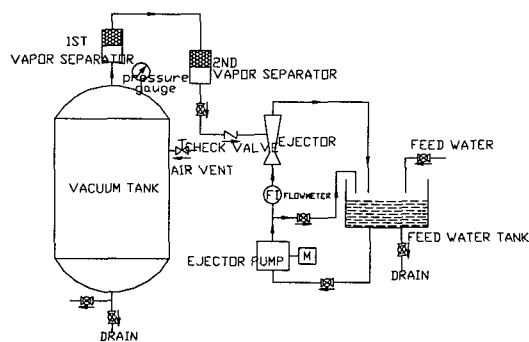


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

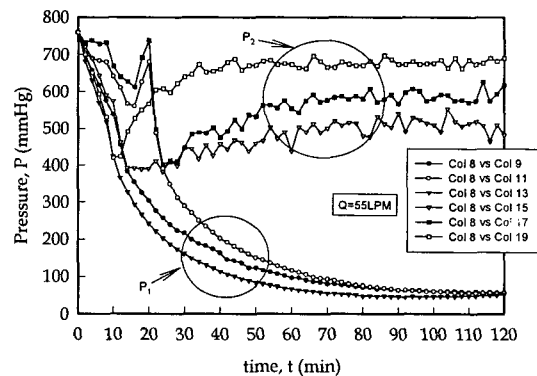


Fig. 3 Pressure distributions at diffuser inlet and outlet.

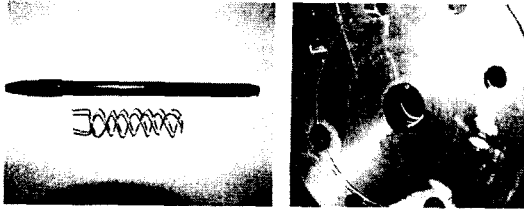


Fig. 4 Photography of swirler and installed in diffuser inlet straight pipe.

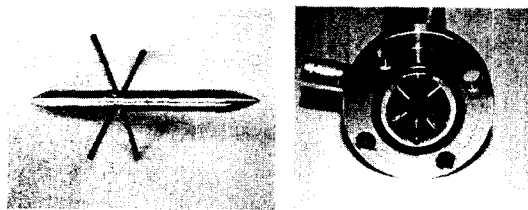


Fig. 5 Photography of strut and installed in diffuser outlet pipe.

따라서 확대관 내에서 유동이 벽면에서 박리하지 않고 원활하게 하류 쪽으로 흘러나가게 하는 방법을 모색할 필요가 있다.

실제로 확대관의 각도크기가 저압성능에 작용하는 경향을 살펴보고자 한다. Fig. 3은 확대관 각도가 4.2°, 8.2°, 12.2°인 경우에 대하여 확대관 입구 및 출구의 압력변화를 나타내고 있다. 정상상태인  $t=120$ 에 대하여 살펴보면 식(3)의  $P_2 - P_1 = \Delta P$  값이 확대각이 커질수록 약 100 mmHg의 압력 만큼 작아짐을 알 수 있다. 즉, 확대각이 작을수록 Fig. 2에서처럼 안정된 유동이 보장되므로 보다 고진공의 이젝터 설계가 가능함을 알 수 있다. 따라서, 확대각이 큰 경우에도 동등한 저압효과를 보장하기 위한 방법을 검토한다.

확대관 내의 유동제어를 하는 방법으로는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 상류제어형이고, 둘째는 하류제어형이다. 상류제어형은 디퓨저 직관부에 선회류 발생기를 장착하여 노즐로부터 나오는 유동을 제어하는 방법이고, 하류제어형은 확대관 출구부에 스트러트를 장착하여 출구부에서 유동을 제어하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 두 가지 방법인 상·하류 제어형의 비교를 통하여 유동을 제어하는 방법으로 이젝터의 효율 상승에 대해 조사한다.

Fig. 4와 Fig. 5는 선회류 발생기와 스트러트를

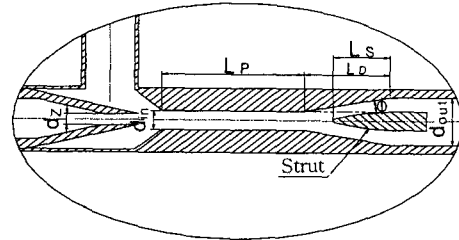


Fig. 6 Drawing of strut with ejector.

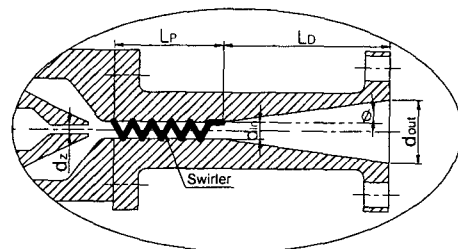


Fig. 7 Drawing of swirler with ejector.

설치한 사진을 나타내고 있다. Fig. 6은 이젝터에 스트러트가 장착된 형상을 도면으로 나타낸 것이고, Fig. 7은 선회류 발생기를 이젝터에 설치한 형상을 도면으로 나타낸 것이다.

### 2.4 실험변수

Table 1은 본 연구에서 사용한 이젝터에 관한 제원을 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용한 이젝터는 T형과 B형 두 가지 종류의 이젝터를 이용하여 실험하였다. 여기서 B형은 상류제어 및 하류제어, T형은 하류제어방식을 통한 저압선도를 각각 실험하였다.

그리고 본 실험에서 선회류 발생기를 장착하여 실험한 이젝터는 B형 이젝터의 직관부에 설치를 하여 실험하였다.

Table 1 General dimensions of test ejector

Type	T1	T2	B
Nozzle outlet $d_z$ (mm)	5.7	5.7	5.7
Diffuser inlet $d_{in}$ (mm)	10	10	15
Diffuser outlet $d_{out}$ (mm)	25	25	32
Diffuser angle Deg. ( $\phi$ )	12.2	4.2	6.2
Diffuser length $L_D$ (mm)	34.7	102	101
Straight pipe length $L_P$ (mm)	57	57	65

Table 2 General dimension of strut

Sturt dia	6 mm	8 mm	10 mm	14 mm
Nozzle outlet, $d_z$	5.7 mm			
Diffuser angle, $\phi$	4.2°	6.2°	12.2°	
Diffuser length, $L_D$	102 mm	101 mm	34.7 mm	

Table 2에서와 같이 스트러트의 직경은 6mm, 8mm, 14mm 크기의 것을 사용하였다. 노즐의 직경은 동일하며 디퓨저 확대각과 길이가 각각 다른 것을 사용하여 성능 향상에 대한 실험을 하였다. 확대각이 작은 경우인 4.2°일 때부터 6.2°, 12.2°인 세 가지 조건으로 실험을 진행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 상류제어와 하류제어의 방법으로 통하여 최적의 저압성능 효과를 갖는 시스템을 구축하기 위하여 실험을 수행하였다.

#### 3.1 상류제어에 의한 압력선도

B형 이젝터에 선회류 발생기를 설치하여 유량 변화에 관한 압력의 변화를 살펴보았다.

Fig. 8은 저유량인 경우(28 L/M)에는 선회류 발생기를 설치한 경우의 정상 상태의 압력은 282 mmHg였고, 선회류 발생기를 설치하지 않은 경우는 262 mmHg였다. 따라서 정상 상태 기준( $t=120$ 분 기준)의 경우 약 7% 효율이 떨어지는 현상을 나타내었다. Fig. 9와 같이 유량이 높은 경우(48 L/M)에도 선회류 발생기를 부착한 경우가

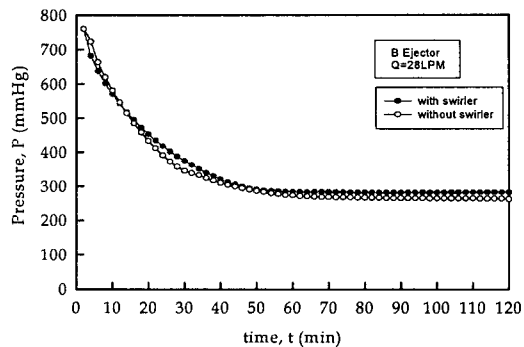


Fig. 8 Vacuum pressure characteristics curve in case of B type ejector with  $Q=28$  LPM.

63 mmHg이고, 그렇지 않은 경우가 48 mmHg로서 약 20% 정도 효율이 낮아졌다.

이와 같이 현재의 선회류 발생기는 전체적으로 저압성능을 향상시키기에는 무리가 있다. 상류의 직관부에 삽입되어 사용되므로 전체적인 형상에서 이 선회류 발생기는 선회류를 발생시키는 역할보다는 오히려 벽면에서의 유동저항을 크게 하는 역할로 인하여 저압효율이 낮게 평가되는 것으로 생각된다. 따라서 보다 유용한 성능향상을 위해서는 전체 유동장에 대하여 직접적인 선회류가 생길 수 있는 자유 와형(Free Vortex Type)이나 강제 와형(Forced Vortex Type)의 선회류 장치들을 함으로써 이젝터 효율을 상승시킬 수 있으리라 생각된다. 즉, 대형의 공기유동에 대한 선회류 발생기는 저압효과 상승이 보장되지만,<sup>(8)</sup> 그리고 본 실험에서 사용된 이젝터는 B형으로서 확대각이 비교적 안정된 쪽에 속하는 6.2°이므로 선회류에 의한 효과가 작용하지 않는 것도 한 이유이다. 그리고 본 실험시에는 탱크 용량이 568 L인 경우이며, 유량이 많을수록 저압성능이 양호하여지는 결과도 나타내어졌다.

#### 3.2 하류제어에 의한 압력선도

다음은 확대관의 확대각이 4.2°, 12.2°인 경우 직경 10mm 스트러트를 사용하여 하류제어에 의한 실험을 하였다.

Fig. 10은 T-2 이젝터로 디퓨저 길이 102mm에 스트러트를 1/4을 삽입하였을 때 실험결과를 나타내고, Fig. 11과 Fig. 12는 T-1 이젝터로 디퓨저 길이 34.7mm에 스트러트를 각각 1/3(11.5mm),

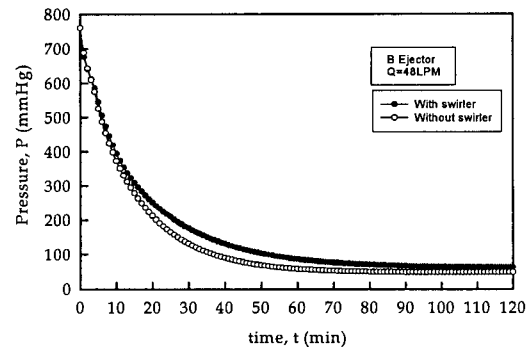


Fig. 9 Vacuum pressure characteristics curve in case of B type ejector with  $Q=48$  LPM.

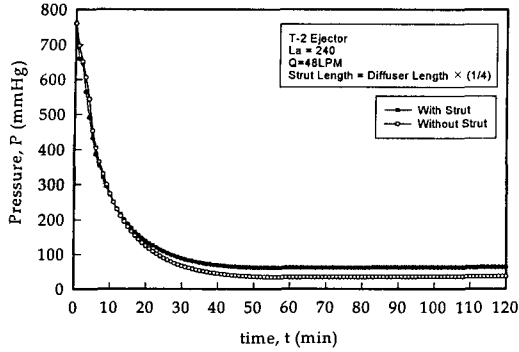


Fig. 10 Vacuum pressure characteristics curve in case of T-2 ejector with  $L_S=L_D \times 1/4$ .

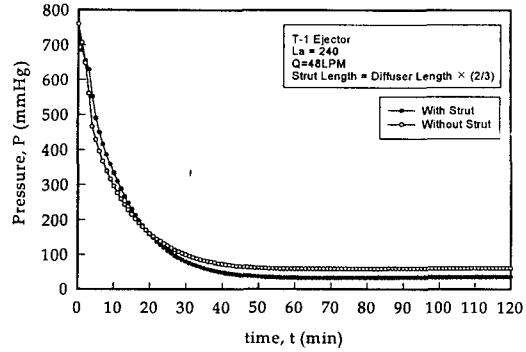


Fig. 12 Vacuum pressure characteristics curve in case of T-1 ejector with  $L_S=L_D \times 2/3$ .

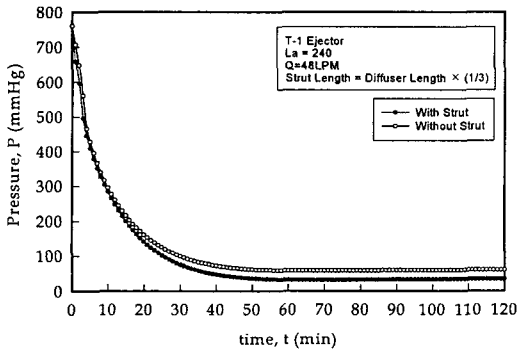


Fig. 11 Vacuum pressure characteristics curve in case of T-1 ejector with  $L_S=L_D \times 1/3$ .

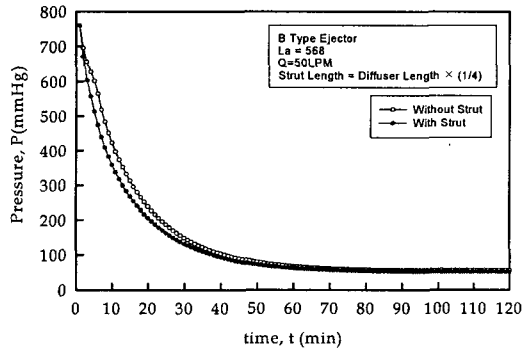


Fig. 13 Vacuum pressure characteristics curve in case of B type ejector with  $L_S=L_D \times 1/4$ .

2/3(23 mm)를 삽입하였을 때의 실험결과이다.

이때의 실험용 압력 탱크 용기는 약 240 L의 소형 용기를 사용하였다. Fig. 11과 Fig. 12의 T-1 이젝터의 실험에서 스트러트의 유·무에 따라 각각 60 mmHg와 34 mmHg, 60 mmHg와 35 mmHg로 나타나 약 40% 정도의 저압효과가 상승하는 것으로 1/3과 2/3를 디퓨저에 스트러트를 삽입했을 경우 유사한 결과를 나타내었다.

이와 같은 현상은 T-1 이젝터의 경우 확대관의 확대각이 크기 때문에 스트러트에 의한 효과가 크지만, T-2와 같이 확대관의 확대각이 작은 경우에는 오히려 유체 저항요소로서 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

즉, Fig. 2의 유동 모사도에서 알 수 있듯이 확대관이 클수록 벽면 근처에서 에너지 손실이 커지므로 이를 제어할 수 있는 방법으로는 하류 제어인 스트러트가 유효함을 알 수 있다.

Fig. 13은 6 mm 스트러트에 관한 실험결과이다. 6 mm 스트러트를 B형 이젝터에 사용하여 실험을 진행하였다.

B형 이젝터에서 확대관의 길이는 101 mm이고, 확대각은 6.2°로서 확대각이 작은 경우이다. 그러나 확대관의 출구부분의 직경이 32 mm로 다소 넓으므로 스트러트에 의한 큰 효율상승효과를 볼 수는 없었지만 약 9% 정도의 효율상승효과를 나타내었다. 이는 확대각이 작더라도 확대관 출구부에서 유동을 제어한다면 효율상승의 효과를 볼 수 있는 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 이젝터의 성능을 향상시킬 수 있는 방법 중에서 하류 유동제어방식을 채택함으로써 기존의 이젝터에 의한 저압 성능향상에 관

하여 실험적으로 규명하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 확대관이 큰 경우(확대각 12.2°)는 벽면 근처에서 큰 와류 등의 손실이 항상 작용하므로 하류 유동제어에 의하여 이젝터의 효율을 향상시킬 수 있다.

(2) 확대관이 큰 이젝터의 효율상승 방법은 확대관의 출구에 스트러트를 장착함으로써 압력저하 비율을 약 40% 이상 증대시킬 수 있었다.

(3) 비교적 확대각이 작은 경우(확대각 4.2°)는 스트러트는 오히려 유동의 장애가 되어서 이젝터의 효율을 상승시키지는 못하였다.

(4) 확대각이 작다고 하더라도 확대관의 출구면적에 대하여 적절한 스트러트를 장착함으로써 약 9% 정도의 압력저하 효과를 기대할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 환경부 차세대 핵심 환경기술개발사업(2001-11203-3-0)의 지원과 경상대학교 BK21 지역대학육성 사업단의 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 참고문헌

1. Kim, K. S., Lee, J. S., Kim, W. N. and Kim, K. K., 1990, A Study on the performance

characteristics of the large liquid ejector, J. of KOSME, Vol. 14, No. 1, pp. 90-98.

2. Kim, K. K., Kim, Y. M., Chung, D. I., Kim, J. N., Choi, P. C. and Nam, C. D., 1986, A study on the computer-aided automatic design of marine water ejector, J. of KOSME, Vol. 10, No. 1, pp. 74-84.

3. Thakker, A., 1985, Evaluation of Conical Diffuser Performance, ASME, pp. 85-IGT-27.

4. Kein, A., 1981, Effect of inlet condition on conical diffuser performance, Trans. of ASME, Vol. 103.

5. Lohmann, R. P. and Markowski, S. J., 1979, Swirling flow through annular diffuser with conical walls, Trans. of ASME, Vol. 101.

6. Samet, M. and Einav, S., 1998, Mean value measurement of a turbulent swirling jet, J. of AIAA, Vol. 26, pp. 619-620.

7. Dellenback, P. A., 1988, Measurement in turbulent swirling flow through an abrupt axisymmetric expansion, J. of AIAA, Vol. 26, pp. 669-681.

8. Jeong, H. M. and Chung, H. S., 1998, The characteristics of static pressure recovery in a conical diffuser with a swirling flow, J. of KSME, Vol. 22, No. 7, pp. 937-945.