

## 음속/초음속 이젝터 유동에 관한 실험적 연구

최보규\* · 권오식\*\* · 김희동†  
(2000년 10월 20일 접수, 2002년 2월 27일 심사완료)

### An Experimental Study of Sonic/Supersonic Ejector Flows

Bo-Gyu Choi, Oh-Sik Kwon and Heuy-Dong Kim

**Key Words:** Compressible Flow(압축성 유동), Sonic Ejector(음속 이젝터), Supersonic Ejector(초음속 이젝터), Shock Wave(충격파), Diffuser(디퓨저)

#### Abstract

An experimental investigation of the sonic and supersonic air ejector systems has been conducted to develop design and prediction programs for practical ejector system. Five different primary nozzles have been employed to operate the ejector systems in the ranges of low and moderate operating pressure ratios. The ejector operating pressure ratio for the secondary chamber pressure to be minimized has a strong influence of the ejector throat ratio. The pressure inside the ejector diffuser is not dependent on the primary nozzle configurations employed but only a function of the ejector operating pressure ratio. Experimental results show that a supersonic ejector system is more desirable for obtaining high vacuum pressure of the secondary chamber than a sonic ejector system.

#### 1. 서론

고압의 유체를 노즐을 통하여 가속시켜, 노즐 출구로부터 방출하는 경우 제트 경계부근에서 발생하는 강한 전단작용과 제트 내부에서 발생하는 압력강하로 인하여 주변의 기체가 제트유동으로 유입하게 된다. 이러한 원리를 응용한 대표적 유체기계로 이젝터를 들 수 있다. 이젝터 유동은 구동유체가 기체인 경우 기체이젝터라 하며, 구동노즐 출구에서 유동이 아음속이나 초음속이냐에 따라 아음속 및 초음속 이젝터로 불리워 진다.<sup>(1)</sup>

이젝터는 대개 1차 구동노즐과 혼합부, 이젝터 목 그리고 이젝터 디퓨저로 구성되어, 2차 정제실의 압력을 변화시키거나 2차 유동을 수송하기 위한 장치로, 통상적인 유체기계와는 달리 이젝터 내부에 어떠한 활동부분도 가지지 않은 특징을 가지고 있다. 그러나 이젝터의 구동은 1차 구동유체의 순수한 운동량 교환을 통하여 2차 유동을 구동시키게 되므로 효율이 낮은 단점이 있다. 그럼에도 불구하고 최근 이러한 이젝터 시스템은 각종 플랜트시설,<sup>(2)</sup> 냉공조시설,<sup>(3)</sup> 고도시물레이션 장치<sup>(4)</sup> 뿐만 아니라 건설장비<sup>(5)</sup> 등에까지 다양하게 응용되고 있다. 이것은 이젝터 시스템이 소형 단순구조로 될 수 있어 설치가 용이하고, 설계 제작비가 저렴할 뿐만 아니라 유지보수가 거의 불필요한 반 영구적인 유체기계라는 장점 때문이다.

종래 이젝터에 대한 연구는 주로 실험<sup>(6,7)</sup>에 의존하여 왔으며, 이젝터 내부에서 발생하는 유동특성들이 잘 알려져 있다. 그러나 이젝터 내부

\* 회원, (주)동화엔텍

\*\* 안동대학교 대학원

† 책임저자, 회원, 안동대학교 기계공학부

E-mail : kimhd@andong.ac.kr

TEL : (054)850-5622 FAX : (054)841-1630

에는 1차 구동유체와 2차 유동의 복잡한 혼합과정,<sup>(8)</sup> 충격파 시스템,<sup>(9)</sup> 충격파와 진단층 및 경계층과의 상호간섭,<sup>(10)</sup> 유동의 초크현상<sup>(11)</sup> 등 매우 복잡한 유동현상들이 발생하게 되므로, 이러한 유동특성들을 고려하여 이젝터 시스템을 설계하는 것은 거의 불가능하다.

현재까지 이젝터 시스템의 실용적 설계는 대부분 1차원 기체역학 방정식들을 이용하여, 이젝터의 구동압력비나 1차 및 2차 유량비의 함수로 이젝터 형상을 결정하는 방법을 택하고 있다.<sup>(12)</sup> 이 경우 경험이나 실험적으로 얻어지는 제 유동손실계수 즉 1차 구동 노즐내부, 이젝터 입구, 이젝터의 혼합부 및 이젝터 디퓨저에서 발생하는 유동손실 등을 1차원 기체역학 방정식들에 적용하게 된다. 그러나 이러한 유동손실계수들은 작동유체의 종류, 이젝터의 기하학적 형상 뿐만 아니라 이젝터의 구동압력비에도 의존하게 되므로, 적절한 값들을 선택하는 것은 용이하지 않다.

더욱이 이젝터 혼합부는 1차 유동과 2차 유동이 복잡한 형태로 혼합하게 되므로, 1차원 유동 해석을 위하여 혼합부내에서 두 유동이 등압력 상태나 역압력 상태에서 혼합한다고 가정하게 된다.<sup>(13)</sup> 이와 같은 방법으로 설계된 이젝터 시스템은 이젝터 형상, 운전조건 및 작동유체가 다르게 되는 경우에 적용될 수 없다. 따라서 아직까지 이젝터 시스템의 실용적 설계는 경험과 시행착오에 의존하고 있는 실정에 있다.

만일 실험에서 이젝터 시스템 내부에서 발생하는 유동상태량이 이젝터 운전조건에 함수로 구해지는 경우, 1차원 유동해석으로도 이젝터의 실용적 설계가 가능하게 된다. 본 연구에서는 이젝터 시스템의 실용적 설계를 위한 새로운 프로그램을 개발하기 위하여 공기로 구동되는 음속/초음속 이젝터 유동을 실험하였다.

실험에서는 이젝터의 작동압력비와 1차 구동노즐의 형상을 변화시켜, 이젝터 각 부분에서 발생하는 압력을 측정하였다. 그 결과 이젝터 내부에서 발생하는 압력은 1차노즐의 형상에 관계없이 이젝터의 작동압력비만의 함수로 된다는 것을 알았다. 따라서 본 연구 결과들은 이젝터 시스템의 실용적 프로그램을 검증하는데 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 성능예측 프로그램을 개발하는데 기초자료로 활용이 기대된다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig. 1에는 본 실험에서 이용된 실험장치 및 측정계통을 도식적으로 나타내었다. 압축기로부터 압축된 공기는 건조기 및 냉각기를 통과하여 고압공기탱크(체적 약 20m<sup>3</sup>)에 저장된다. 저장된 공기는 상류정체실로 유입되어, 일단 정체상태를 회복한 다음 직경 20mm, 길이 60mm정도인 강제배관을 통하여 1차노즐로 유입하게 된다. 1차노즐로부터 방출되는 고속의 공기는 이젝터 혼합부 및 디퓨저를 통과한 후 소음기를 거쳐 대기로 방출되도록 되어 있다.

이젝터 혼합부 상류에 위치한 이젝터 입구에는 직경 20mm의 배관이 설치되어 체적 약 1m<sup>3</sup>인 2차 정체실과 연결되어 있다. 따라서 1차 구동노즐로부터 공기가 방출되는 경우에 공기류의 전단작용과 1차노즐 출구에서 발생하는 압력강하 작용으로 인하여 2차 유동인 공기가 흡입되어 이젝터를 통과하여 대기로 유출되게 된다. 이 경우 2차 정체실의 압력은 감소하여 2차 정체실에서 진공상태를 얻을 수 있게 된다.

실험에서는 1차 정체실 상류에 설치한 압력 조절 밸브를 이용하여 1차 정체실의 구동공기의 압력을 조절하였으며, 2차 정체실의 초기압력은 대기상태의 압력이 되도록 설정하였다. 이젝터 유동의 계측은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 1차 정체실(측정점 1), 2차 정체실(측정점 7), 이젝터 입구(측정점 2), 1차 구동노즐의 출구(측정점 3), 이젝터의 목(측정점 4), 디퓨저 내부(측정점 5) 그리고 이젝터 출구면(측정점 6)에 직경 1.0mm의 정압공을 설치하였다. 또 1차 정체실에는 열전대를

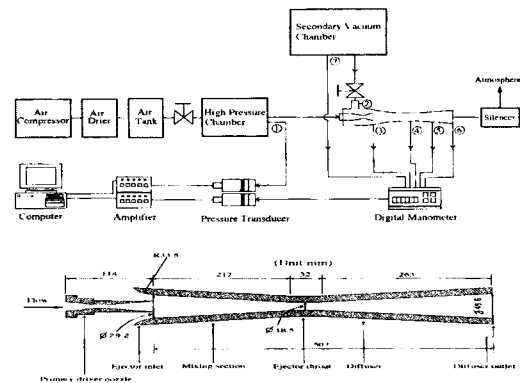


Fig. 1 Experimental facility

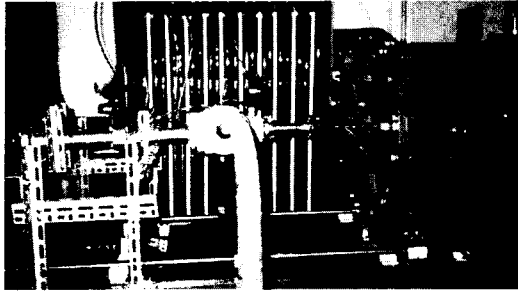


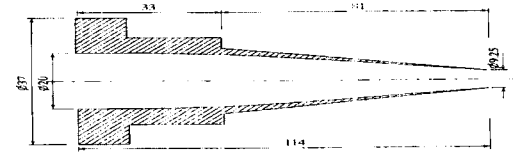
Fig. 2 Outlook of test rig

이용하여 구동공기의 온도를 측정하였다. 압력 측정은 디지털 압력측정계 및 고감도 압력 센서를 이용하여 퍼스널 컴퓨터로 모니터링 하여, 이젝터 내부 유동이 정상상태로 된 후에 수행하였다. 실험오차를 줄이기 위하여 본 연구에서는 동일한 조건에서 여러 차례 측정을 반복하여 측정값의 재현성을 확인하였다. 압력 측정에 이용된 압력계의 검증은 소형탱크를 진공상태로 하거나 가압상태로 하여, 출력값을 확인하였다.

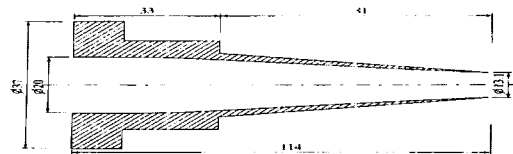
Fig. 2는 본 연구에서 이용된 실험장치의 외관을 보여준다. 이젝터 시스템은 청동으로 제작되었으며, 그림의 오른쪽에 1차 정체실이 보이며, 그 하류에 2차 정체실과 이젝터 입구의 연결부가 보인다. 유동은 그림의 오른쪽에서 왼쪽으로 향한다.

Fig. 3에는 본 연구에서 적용된 다섯 가지의 1차 유동의 구동노즐을 나타내었다. 실험에서는 전형적인 축소노즐의 형태인 Nozzle 1과 Nozzle 2의 아음속(음속) 노즐과 축소확대 노즐의 형태인 Nozzle 3, 4 그리고 5는 초음속 노즐의 형태를 보여준다. 따라서 Nozzle 1과 2가 1차 구동노즐로 사용되는 경우에는 아음속(음속) 이젝터, 그리고 Nozzle 3, 4 그리고 5의 경우에는 초음속 이젝터가 된다. 본 연구에서 사용된 모든 노즐은 입구 직경 20mm, 길이는 114mm로 일정하며, 노즐 끝단 두께는 2mm로 일정하게 제작되었다.

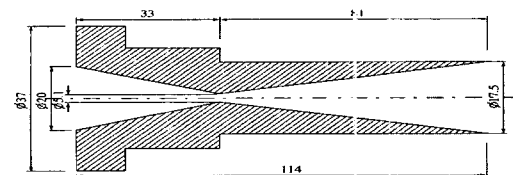
아음속 노즐의 경우 노즐입구로부터 출구까지 단조로운 단면적 감소형태로, Nozzle 1과 2는 각각 출구 직경이 9.25mm 및 13.1mm이다. 또 초음속 노즐의 경우 노즐입구로부터 노즐목까지 직선적으로 단면적이 감소하는 형태 그리고 노즐 목으로부터 출구까지 직선적으로 단면적이 증가하는 형태이며, 노즐 출구 직경은 17.5mm로 동일하지만 노즐 목직경이 5.1mm, 5.8mm 그리고 6.9mm



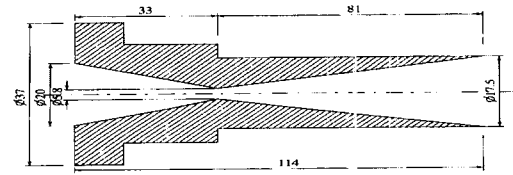
(a) Nozzle 1



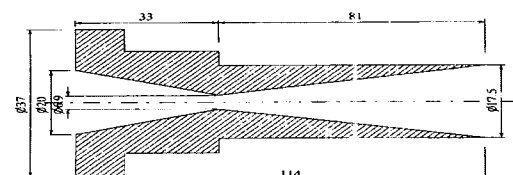
(b) Nozzle 2



(c) Nozzle 3



(d) Nozzle 4



(e) Nozzle 5

Fig. 3 Primary nozzle configurations (unit: mm)

이다. 따라서 이 경우 노즐의 확대각이 노즐목 직경과 출구직경에 따라 변화한다. 한편 1차 노즐 외부의 형상은 이젝터 입구유로의 형상을 결정하게 되므로, 노즐외부의 형상은 모두 동일하게 제작되었다.

### 3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 1차 노즐의 공급압력을  $P_{0p}$ , 이

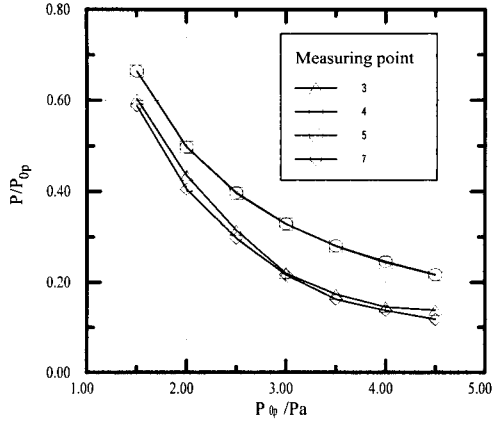


Fig. 4 Pressure variation in subsonic ejector system ( $\Psi: 4.0$ )

젝터의 배압을  $P_a$ (대기압)으로 하여,  $P_{0p}/P_a$ 를 이젝터의 작동압력비로 정의하였다. 따라서 본 이젝터 시스템의 시동이 아음속(음속) 또는 초음속 등의 시동과정(starting process)에 관계없이, 실험에서 설정된  $P_{0p}/P_a$ 의 값에 따라 이젝터 내부에서 발생하는 유동은 정상상태를 유지한다고 가정하였다. 또 이젝터의 목단면적( $A_t$ )과 1차 구동노즐의 목단면적( $A_n$ )의 비를 이젝터의 목면적비  $\Psi (=A_t/A_n)$ 로 정의하였다. 본 실험에서는 이젝터의 작동압력비와 1차 구동노즐의 형상을 변화시켜, 2차 정체실의 압력과 이젝터 내부의 각 측정점에서 상태량의 변화를 관찰하였다.

Fig. 4에는 Nozzle 1의 음속 이젝터의 경우, 이젝터의 작동압력비  $P_{0p}/P_a$ 를 변화시켜 이젝터 내부의 각 측정점에서 얻어진 압력값을 나타내었다. 그림의 측정점 3은 이젝터 혼합부, 4는 이젝터 목, 5는 디퓨저 내부 그리고 7은 2차 정체실 내부의 압력을 나타낸다. 그림으로부터 모든 측정점에서 압력값은 이젝터 작동압력비가 증가할수록 단조롭게 감소한다. 구체적으로 2차 정체실 내부의 압력은 작동압력비가 증가할수록 감소하여, 작동압력비가 4.5로 되는 경우에 1차 노즐의 공급압력의 12%정도로 된다. 또 이젝터 목에서 발생하는 압력과 디퓨저 내부의 압력값은 본 실험에서 적용된 이젝터의 작동압력비에 관계없이 동일한 것으로 보인다. 그러나 이젝터의 혼합부에서 압력값은 이젝터 목에서 발생하는 압력값보다 상당히 낮다. 이것은 이젝터 혼합부에서 1차 구동기체와 2차 기체의 혼합이 역압력구배의 상

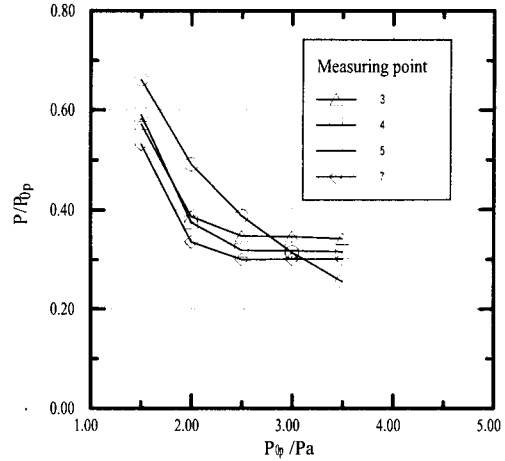


Fig. 5 Pressure variation in subsonic ejector system ( $\Psi: 2.0$ )

태에서 혼합한다는 것을 의미한다. 따라서 축소형의 구동노즐을 사용하고 이젝터의 작동압력비가 4.5 이하인 경우에는 혼합부에서 발생하는 혼합과정은 등압력 상태에서 발생하지 않는 것으로 보인다. 또 그림의 실험값으로부터 2차 정체실의 압력은 이젝터의 작동압력비가 커짐에 따라 무한히 낮아지는 것이 아니라 어느 일정값에 도달하게 된다는 것을 짐작할 수 있다.

Fig. 5에는 Nozzle 2를 구동 노즐로 사용한 경우, 이젝터의 작동압력비  $P_{0p}/P_a$ 를 변화시켜 이젝터 내부의 각 측정점에서 얻어진 압력값을 나타내었다. 그림으로부터 측정점 3, 4 그리고 7에서의 압력값은 이젝터 작동압력비가 증가함에 따라 급격하게 감소하다가 작동압력비가 2.5 이상에서는 거의 일정값으로 된다는 것을 알 수 있다. 또 측정점 3과 4의 압력값을 비교하면 이젝터의 혼합부에서 보다 이젝터의 목에서의 압력값이 낮다. 이것은 혼합부에서 두 혼합유동이 가속하여, 작동압력비가 증가함에 따라 1차 유동과 2차 유동이 이젝터 목에서 초크하기 때문으로 판단된다. 그러나 디퓨저 내부에서 발생하는 압력은 Fig. 4에서 보인 바와 같이 단조로운 감소 형태를 보인다.

Fig. 6과 7은 각각 Nozzle 3과 Nozzle 4를 1차 유동의 구동 노즐로 사용한 경우, 이젝터 내부의 각 측정점에서 얻어진 압력값을 나타내었다. 그림의 측정값으로부터 이젝터의 작동압력비가 증가할수록 모든 측정점에서 압력값은 단조롭게 감

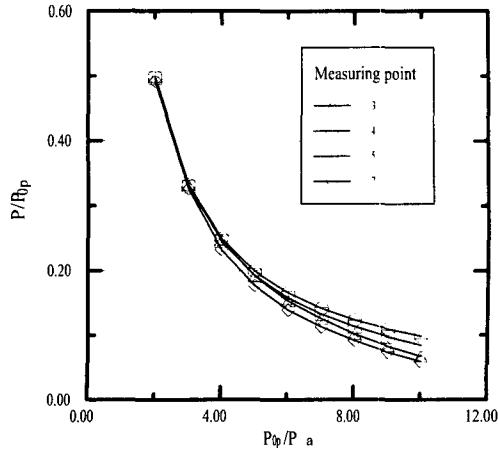


Fig. 6 Pressure variation in supersonic ejector system (  $\Psi$ : 13.15 )

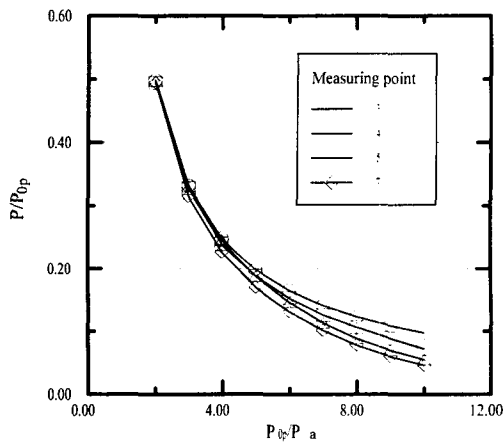


Fig. 7 Pressure variation in supersonic ejector system (  $\Psi$ : 10.17 )

소한다. Fig. 6에서 작동압력비가 4.0 이상인 경우 디퓨저 내부에서 발생하는 압력값은 이젝터 목이나 이젝터 혼합부에서 압력값 보다 높으며, 이젝터 목에서 압력값은 혼합부에서 압력값 보다 높은 것으로 보인다. 이것은 혼합부 내에서 발생하는 충격파 시스템으로 인하여, 충격파 시스템의 하류에서 유동은 아음속 또는 음속에 가까운 상태로 이젝터 목을 통과하여 디퓨저로 향하게 되기 때문이다. 그러나 작동압력비가 약 6.0 이하의 영역에서는 이젝터 혼합부에서 압력은 이젝터 목에서의 압력과 거의 동일한다. 한편 2차 정체실에서 압력값은 앞의 Fig. 4와 5에서 보인 측정값 보다 상당히 낮다는 것을 알 수 있다. 유사한 경향은 이젝터의 목 단면적비  $\Psi$  (=7.19)가 10.17인

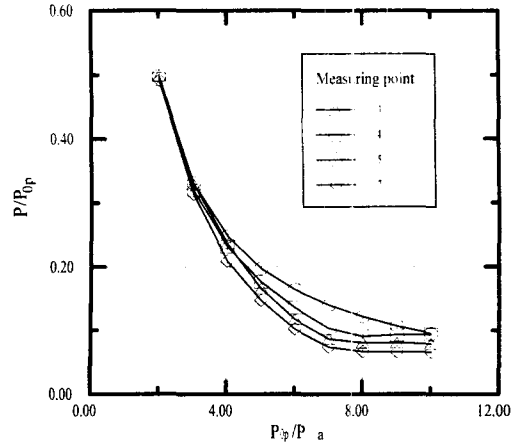


Fig. 8 Pressure variation in supersonic ejector system (  $\Psi$ : 7.19 )

Fig. 7에서도 관찰된다.

Fig. 8은 Nozzle 5 ( $\Psi$  =7.19)를 1차 구동노즐로 사용한 경우, 이젝터의 작동압력비  $P_{op}/P_a$ 와 이젝터 내부의 각 측정점에서 압력값과의 관계를 나타내었다. 측정점 5에서 압력값은 이젝터의 작동압력비가 증가함에 따라 단조롭게 감소한다. 그러나 측정점 3, 4 그리고 7에서 압력값은 작동압력비가 증가함에 따라 급격하게 감소하게 되지만, 작동압력비가 8.0 이상으로 되면 거의 일정하게 된다. 이것은 이젝터 목에서 두 혼합유동이 초크하기 때문이다. 이러한 경향은 이젝터 목면적비가 비교적 큰 앞의 Fig. 6과 7의 측정값과 매우 다르다. 따라서 이젝터 혼합부와 목에서 발생하는 유동은 이젝터의 목면적비에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또 2차 정체실 내부의 압력은 이젝터의 작동압력비가 3.0 이상으로 되는 경우에 더 이상 감소하지 않으며, 이젝터 목에서 두 혼합 유동이 초크하는 경우에 2차 정체실의 압력을 최소로 하는 최적의 이젝터 목면적비 및 이젝터의 작동압력비가 존재한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9에는 본 실험의 5종류의 1차 구동노즐을 사용한 경우에 2차 정체실 내부에서 발생하는 압력값을 비교하였다. 실험에서는 음속 이젝터의 경우 작동압력비를 1.5에서 4.5까지의 범위에서 변화시켰으며, 초음속 이젝터의 경우 2.0에서 10.0까지의 범위에서 변화시켰다. Nozzle 1과 2의 음속 이젝터의 경우, 이젝터의 작동압력비가 증가함에 따라 2차 정체실에서 압력은 급격하게 감

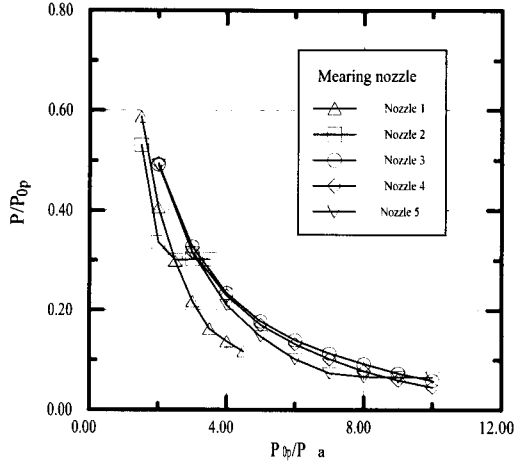


Fig. 9 Pressure variation in ejector secondary chamber

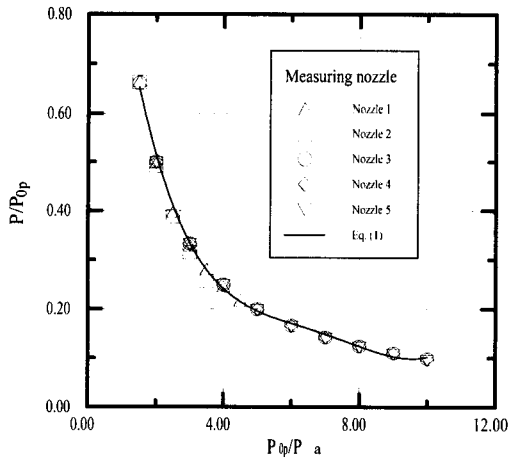


Fig. 10 Pressure variation in ejector diffuser

소하여, 일정값에 접근한다는 것을 알 수 있다. Nozzle 1의 경우 작동압력비가 대략 5.0 정도로 되면 2차 정체실의 압력은 거의 일정하게 되며, Nozzle 2의 경우 작동압력비가 2.2 정도로 되면 거의 일정값을 갖는다.

한편 Nozzle 5의 경우에는 작동압력비가 약 8.0 이상으로 되면 2차 정체실에서 압력은 거의 일정하게 되며, 이젝터의 목면적비가 보다 큰 Nozzle 3과 4의 경우에는 보다 큰 작동압력비에서 2차 정체실 내부의 압력이 일정하게 된다는 것을 알 수 있다. 이젝터의 작동압력비가 증가함에 따라 2차 정체실에서 압력이 최소로 되는 이젝터 작동

압력비는 음속 이젝터 보다 초음속 이젝터의 경우가 보다 크며, 이젝터의 목 면적비가 클수록 2차 정체실 내부의 압력은 낮아진다는 것을 알 수 있다. 이것은 주어진 이젝터의 작동압력비에 대하여, 1차와 2차의 두 혼합유동을 통과시킬 수 있는 이젝터의 최소 단면적이 존재하기 때문이다.

본 실험의 결과로부터 2차 정체실에서 압력값은 음속 이젝터의 경우보다 초음속 이젝터의 경우가 훨씬 낮게 나타난다. 따라서 이젝터의 작동압력비가 비교적 높고, 2차 정체실의 진공도를 높이고자 하는 경우에는 아음속(음속) 이젝터 보다는 초음속 이젝터가 바람직하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 10에는 본 실험에서 적용된 5종류의 1차 구동노즐에 대하여 이젝터 디퓨저(측정점 5)에서 발생하는 압력값을 비교하였다. 그림으로부터 측정값은 적용된 1차 구동노즐의 형태와는 관계없이 디퓨저 내부에서 발생하는 압력값은 이젝터의 작동압력비가 증가할수록 단조롭게 감소한다. 일반적으로 널리 활용되고 있는 산업용 이젝터의 작동압력비를 고려하여, 본 연구에서는 이젝터의 작동압력비를 10 이하에서 변화시켰지만, 그림의 측정값으로부터 이젝터의 작동압력비를 10 이상으로 더욱 증가시키는 경우에 디퓨저에서 발생하는 압력은 약간 더 낮아질 것으로 예상된다. 그러나 이젝터의 작동압력비가 더욱 증가하는 경우에 혼합유동은 이젝터 목에서 초크하여, 이젝터 목 하류에서 충격파 시스템이 발생할 것으로 예상된다. 이러한 충격파는 이젝터의 작동압력비가 더욱 증가함에 따라 디퓨저 출구로 이동하게 된다. 따라서 이 경우 이젝터 디퓨저(측정점 5)에서 발생하는 압력은 일정값으로 되는 것이 예상되며, 본 측정값은 이러한 경향을 보여준다.

본 실험값으로부터 이젝터 디퓨저에서 발생하는 압력값은 이젝터의 작동압력비의 함수로 다음과 같이 주어진다.

$$P/P_{0p} = A (P_{0p}/P_a)^4 - B (P_{0p}/P_a)^3 + C (P_{0p}/P_a)^2 - D (P_{0p}/P_a) + E \quad (1)$$

여기에서  $A=0.00046$ ,  $B=0.013$ ,  $C=0.1353$ ,  $D=0.638$ ,  $E=1.346$ ,  $2.0 \leq P_{0p}/P_a \leq 10.0$ 이다.

위의 식에서 이젝터의 작동압력비가 주어지는 경우에 이젝터 디퓨저에서 발생하는 압력을 예측할 수 있다. 본 실험의 결과로부터 공기 이젝터 목이나 이젝터 디퓨저에서 발생하는 유동상태량

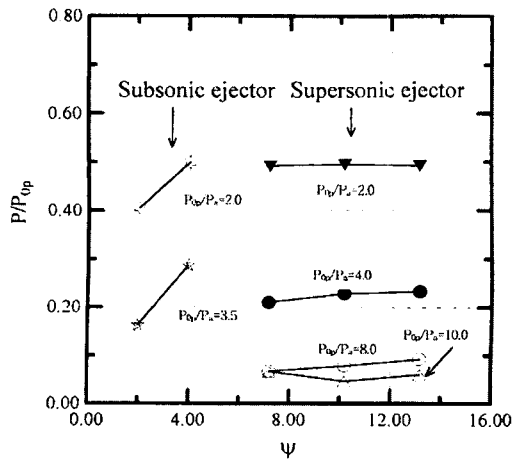


Fig. 11 Relationship between  $\Psi$  and  $P/P_{0p}$

을 이젝터의 작동압력비의 함수로 구한다면, 공기이젝터의 유동 예측프로그램에 반영할 수 있을 것이다. 본 연구의 경험식 식 (1)은 현재까지 사용되어 온 이젝터 시스템의 성능예측이나 실용적 설계 프로그램을 위한 새로운 경험식으로 활용될 수 있다.

Fig. 11에는 이젝터 목 면적비  $\Psi$  와 2차 정체실의 압력의 관계를 나타내었다. Nozzle 1과 2의 경우 목면적비가 증가하면 2차 정체실의 압력은 증가하며, 이젝터의 작동압력비가 증가하는 경우 2차 정체실의 압력은 감소한다. 그러나 Nozzle 3, 4 그리고 5의 경우에는 이젝터의 작동압력비가 증가할수록 2차 정체실에서 압력은 감소하지만, Nozzle 1과 2에 비하여, 이젝터 목면적비가 2차 정체실의 압력변화에 미치는 영향은 크지 않다. 본 실험결과로부터 이젝터의 목면적비의 영향을 충분히 토론할 수 없지만, 예를 들면 작동압력비가 4.0인 초음속 이젝터의 경우 목 면적비가 증가함에 따라 2차 정체실에서 압력은 약간 증가하는데 반해, 작동압력비가 10.0인 경우에는 목 면적비가 10.17에서 최소가 되는 것을 보여 준다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 산업용 공기이젝터의 효과적 설계와 성능예측을 위한 실용적 프로그램을 개발하기 위하여 공기로 구동되는 음속/초음속 이젝터

유동을 실험적으로 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 이젝터의 목면적비가 비교적 큰 음속 이젝터의 경우 이젝터 시스템 내부 및 2차 정체실에서 발생하는 압력은 이젝터 작동압력비가 증가할수록 단조롭게 감소한다.

(2) 초음속 이젝터에 있어서 이젝터 목에서의 압력은 이젝터의 작동압력비가 증가함에 따라 감소하다가 어떤 작동압력비에서 최소값을 가지게 된다.

(3) 이젝터 디퓨저에서 발생하는 압력은 1차 구동노즐의 형태에 관계없이 이젝터의 작동압력비만의 함수로 주어진다.

(4) 이젝터의 작동압력비가 비교적 높고, 2차 정체실의 진공도를 높이하고자 하는 경우에는 아음속(음속) 이젝터 보다는 초음속 이젝터가 유리하다.

(5) 이젝터의 작동압력비가 증가함에 따라 2차 정체실에서 압력이 최소로 되는 이젝터 작동압력비는 아음속(음속) 이젝터 보다 초음속 이젝터의 경우가 크며, 이젝터의 목 면적비가 클수록 2차 정체실 내부의 압력은 낮아진다.

#### 참고문헌

- (1) Keenan, J. H., Neumann, E. P. and Lustwerk, F., 1950, "An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment," *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 17, No. 3, pp. 299~309.
- (2) Knight, J., 1967, "The Use of Steam Ejector for the Vacuum Degassing of Steel," *Jour. IMech.*, Vol. 181, No. 10, pp. 225~239.
- (3) 今木清康, 1980, "空氣調和工學," 産業圖書.
- (4) Quinn, B., 1976, "Ejector Performance at High Temperatures and Pressures," *Journal of Aircraft*, Vol. 13, No. 12, pp. 943~954.
- (5) Lim, J. W. and Lee, S. H., 2000, "Engine Room Cooling System Using Jet Pump," *KSME Spring Annual Meeting*, Vol. B, pp. 162~167.
- (6) Deleo, R. V., Rose, R. E. and Dart, R., S.

- 1962, "An Experimental Investigation of the Use of Supersonic Driving Jets for Ejector Pumps," *Journal of Engineering for Power*, pp. 204~212.
- (7) Hickman, K. E., Hill, P. G. and Gilbert, G. B., 1972, "Analysis and Testing of Compressible Flow Ejectors With Variable Area Mixing Tubes," *KSME Journal of Basic Engineering*, Jun., pp. 407~416.
- (8) Chow, W. L. and Addy, A. L., 1961, "Interaction between Primary and Secondary Streams of Supersonic Ejector System and Their Performance Characteristics," *AIAA Jour.*, Vol. 2, No. 4, pp. 680~695.
- (9) Kim, H. D., 1999, "Shock Train and Pseudo-Shock Phenomena in Internal Gas Flows," *Progress in Aerospace Sciences*, Pergamon Press, Vol. 226, pp. 23~100.
- (10) Kim, H. D. and Matsuo, K., 1994, "Post-Shock Expansion Phenomenon Caused by Normal Shock Wave/Turbulent Boundary Layer Interaction," *JSME Intl. Jour.*, Series B, Vol. 36, No. 4, pp. 1836~1843.
- (11) Choi, B. G., Lee, Y. K., Kim, H. D. and Kim, D. J., 2000, "Computations of the Supersonic Ejector Flows with the Second Throat," *KSME Jour.*, Vol. 24, No. 8, pp. 1128~1138.
- (10) Choi, B. G., Kim, H. D. and Kim, D. J., 2000, "Analytical Study of the Subsonic/Sonic Ejector Flows," *KSPE Jour.*, Vol. 4, No. 3.
- (13) Kim, H. D. and Kim, Y. G., 1995, "Simple Calculation Method for Performance Estimation of Supersonic Ejector," *KSPE Annual Conference*, pp. 3~13.