

空氣驅動 氣體이젝터의 性能特性에 關한 研究

洪永杓* · 尹斗好** · 金鎔模*** · 尹錫勳****

A Study on the Performance Characteristics of Air Driven Gas Ejector

Y. P. Hong · D. H. Youn · Y. M. Kim · S. H. Youn

Key words : Air driven gas ejector(공기구동 기체이젝터), Driving nozzle(구동노즐), Diffuser(디퓨저), Velocity coefficient(속도 계수), Efficiency of gas jet ejector(기체이젝터의 효율)

Abstract

The gas jet pumps serve to produce a vacuum or can be used as gas jet compressors. These are operated on the same principle as a steam jet vacuum pump : in the driving nozzle the pressure energy of the motive medium is converted into the kinetic energy. In the diffuser the driving jet mixes with the suction medium and the kinetic energy is reconverted into the pressure energy.

The application fields of gas jet ejectors are the evacuation of siphoning installations, the elevation of liquids, the production of vacuum filters, the vacuum supporting airlift system, the evacuation of the suction line of centrifugal pumps and the ventilation of the dangerous gases to the atmosphere.

The performance of gas jet ejector is influenced strongly to velocity coefficient of motive nozzle, the distance between the motive nozzle outlet to the diffuser inlet and the dimensions of diffuser. This study is performed for the computer aided design of gas jet ejectors in future. Through the present experiments, it is known that the velocity coefficient of the motive air nozzle ranges from 0.91 to 0.95 and the maximum efficiency of gas jet ejector is 24.6%

* 동의대학교 기계설계과

** 한국해양대학교 산업대학원

*** 한국열유체산업

**** 한국해양대학교 선박운항학과

사용기호

d	: 직경	(m, mm)
F	: 축방향으로 작용하는 힘	(kg)
f	: 단면적	(m ² , mm ²)
G ₁	: 구동중량유량	(kg/hr, kg/sec)
G ₂	: 흡입중량유량	(kg/hr, kg/sec)
g	: 중력가속도	(m/sec ²)
h	: 엔탈피	(kcal/kg)
k	: 비열비	
L	: 길이	(m, mm)
m	: 비가역단열지수	
P	: 압력	(kg/cm ² , kg/m ²)
R _f	: 면적비	
R	: 공기의 기체상수	(kg - m/kg °C)
T	: 절대온도	(K)
v	: 비체적	(m ³ /kg)
W	: 유속	(m/sec)
ξ	: 마찰계수	
η	: 노즐효율	
λ	: 디퓨저 평행부에서 마찰계수	
μ	: 유량비	
φ	: 노즐의 속도계수	

첨 자

- 1 : 구동노즐 출구위치
- 2 : 디퓨저 축소부 출구단 위치
- 3 : 디퓨저 목부 입구위치
- 4 : 디퓨저 목부 출구위치
- c : 노즐 목부에서 임계점
- n : 구동노즐
- s : 흡입공기
- t : 디퓨저 평행목부

1. 서 론

이젝터를 응용한 각종 열유체장치는 19세기초부터 이용되어 왔는데 높은 공학적인 신뢰성으로 현재에는 첨단 전자공업, 철강, 화학, 건축, 선박, 식품, 제지, 유지 등의 거의 모든 산업분야에서 많이 사용되고 있다¹⁾.

특히 기체이젝터에 관한 연구는 비행기의 추력 증진 및 우주로켓개발과 관련하여 1940년대 말부터 세계적으로 연구가 수행되기 시작하였으며^{2,3)}, 국내에서는 액체이젝터⁴⁾ 및 증기이젝터^{5,6)}의 국산 화개발을 시발로 각종 이젝터응용시스템의 연구가 진행중이다.

기체이젝터는 구동용 압력공기의 압력에너지를 이용하여 용기내를 연속적으로 정해진 진공으로 유지하거나, 흡입기체를 가압하거나 혹은 폭발성 기체를 안전하게 대기로 배출시키기 위하여 주로 이용되고 있으며, 그 외에도 고체분말의 흡입반송, 배관장치의 누설검사 등에도 이용된다. 최근에는 압축공기를 이용하는 공압제어시스템에서 기체이젝터를 이용하여 방진용 보조기기류의 제어에 적용하는 사례도 많아지고 있다. 이와 같이 기체이젝터가 자동화기에 많이 이용되는 공학적 이유는 공압제어시스템의 소형화에 적합하고, 응답성이 뛰어나며, 기체이젝터는 회전부가 없어 윤활이 필요없어 제어공기의 오염이 적고, 기계적 진동이 적으며, 구동원과 분리설치가 가능하므로 설비상의 제약이 적으며, 조작이 간편하고 고장의 염려가 없어 유지관리에 유리한 점 등이다.

기체이젝터의 내부유동 및 성능해석은 매우 복잡하다. 이러한 기체이젝터에 관한 연구를 대별하여 보면 노즐출구와 디퓨저목간의 면적비의 영향⁷⁾, 구동압력의 감소에 대한 흡입압력 증가의 압력비⁸⁾, 목에서의 구동기체와 흡입기체의 혼합과정¹⁰⁾, 디퓨저목에서의 충격파의 영향¹¹⁾, 저속, 아음속 및 초음속이 영향^{12,13)} 그리고 흡입유량이 무부하 상태에서의 진공도 형성평가¹⁴⁻¹⁶⁾ 등에 관한 연구가 있다. 또한 현장의 실용적인 설계에 관한 대표적 연구결과¹⁷⁻²⁰⁾들도 발표되어 있다. 그러나 실제의 설계에 있어서는 구동유체 및 흡입유체가 압축성을 갖으므로 유체의 종류에 따른 물성치의 변화 및 작동유량범위 등을 고려한 기체이젝터의 완벽한 설계는 결코 용이하지 않다.

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 장차 기체이젝터의 전산지원설계를 목표로, 공기구동에 의하여 공기를 흡입하는 기체이젝터를 실제로 제작하여 실험함으로써 구동노즐을 평가하고 디퓨저의 최적형상을 추적하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 유동해석

2.1 구동노즐에서의 유동

먼저 노즐내에서의 구동공기의 유동을 가역단열과정으로 간주하고 공기를 완전기체로 가정하고 구동노즐에서의 입구속도 W_{n1} 과 출구속도 W_{n2} 사이에는 $W_{n2}^2 \gg W_{n1}^2$ 의 관계가 성립하므로, 입구속도 W_{n1} 를 무시하면 출구속도 W_{n2} 는,

$$W_{n2} = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} RT_1 \left[1 - \left(\frac{P_{n2}}{P_{n1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (1)$$

그러나 실제의 구동노즐내 흐름은 노즐의 정밀 가공상태에 따른 관벽마찰과 속도분포로 인하여 실제흐름은 비가역변화이다. 가역단열팽창할 때의 노즐출구에서의 속도 W_{n2} 에 대한 실제유체의 출구속도 W'_{n2} 의 비 즉 노즐의 속도계수 (Velocity Coefficient) 와 노즐효율 (Nozzle Efficiency) 는 각각 다음식과 같이,

$$\varphi = \frac{W'_{n2}}{W_{n2}} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{h_{n1} - h'_{n2}}{h_{n1} - h_{n2}} \quad (3)$$

정의되며 $\eta = \varphi^2$ 의 관계가 성립한다.

비가역단열지수 (irreversible adiabatic exponent)를 m 이라고 하면 실제의 구동노즐 출구속도는,

$$\begin{aligned} W'_{n2} &= \varphi \sqrt{2g \frac{k}{k-1} P_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{P_{n2}}{P_{n1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \\ &= \sqrt{2g \frac{k}{k-1} P_1 v_1 \left[1 - \frac{P_{n2}^{\frac{m-1}{m}}}{P_{n1}^{\frac{m-1}{m}}} \right]} \quad (4) \end{aligned}$$

그러므로 속도계수 φ 와 비가역단열지수 m 의 관계는,

$$\varphi = \frac{\sqrt{1 - \frac{P_{n2}^{\frac{m-1}{m}}}{P_{n1}^{\frac{m-1}{m}}}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{P_{n2}}{P_{n1}} \right)^{\frac{k-1}{k}}}} \quad (5)$$

위식에서 속도계수 φ 와 비가역단열지수 m 의 관계는 일정한 값으로 정하여지지 않고, 압력비 P_2/P_1 의 값에 따라서 변하는 것을 알 수 있다.

그리고 비가역단열지수 m 과 관벽마찰계수 ξ 와의 관계는 다음식과 같이 표현된다.

$$\left[\frac{k}{k-1} \right] (P_{n1} v_1 - P_{n2} v_2) = - \frac{1}{1+\xi} f v d P_n \quad (6)$$

위식을 미분형태로 표현하면,

$$v d P_n + \frac{(1+\xi)k}{1+\xi k} P_n dv = 0 \quad (7)$$

또한 노즐목의 단면적은 다음식으로부터 구할 수 있다.

$$f_c = \frac{G}{\varphi \sqrt{gk \frac{2}{(k+1)} \frac{P_{n1}}{v_1}}} \quad (8)$$

2.2 고속분류와 흡입기체와의 혼합

Fig.1은 기체이젝터의 내부에서 유동관계를 해석하기 위한 디퓨저의 상세도를 나타낸다.

먼저 디퓨저 축소부 입구에서 디퓨저 목입구까지 운동량 법칙을 적용하면,

$$\begin{aligned} \frac{G_1}{g} W_1 + \frac{G_2}{g} W_2 + f_1 P_1 + f_2 P_2 \\ \frac{G_1}{g} W'_3 = \frac{G_2}{g} W''_3 + f_t P_3 + F_t \quad (9) \end{aligned}$$

위식에서 W_3, W'_3 는 디퓨저 목부입구에서 구동 및 흡입유체에 관한 각각의 평균유속이며, F_t 는 목부입구와 출구사이의 축방향에 작용하는 힘을 나타낸 것이다. 디퓨저 목부입구에서 출구까지의 디퓨저목에서는 다음식이 성립한다.

$$\frac{G_1}{g} W'_3 + \frac{G_2}{g} W''_3 = \frac{1}{g} (G_1 + G_2) W_4 + f_t P_4 + F \quad (10)$$

위식에서 W_4 는 혼합기체의 평균유속을 의미하며, F 에 관하여는 웨닝 (Fanning)의 식을 적용하면,

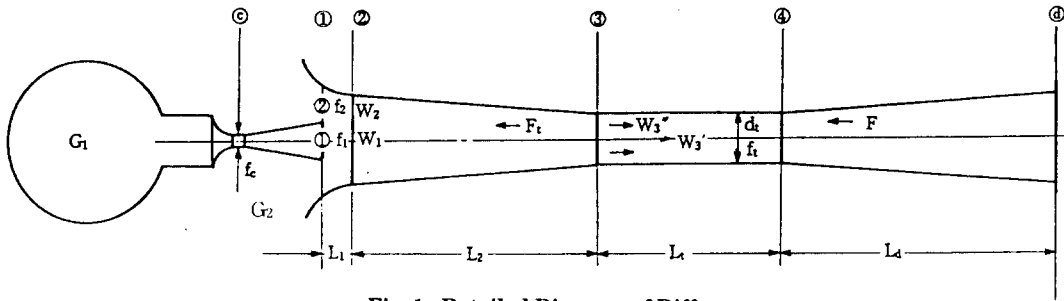


Fig. 1. Detailed Diagram of Diffuser

$$F = \frac{4\lambda_t}{d_t} (G_1 + G_2) \frac{W_4}{2g} = \frac{\xi_t}{2g} (G_1 + G_2) W_4 \quad (11)$$

위식에서 ξ_t 는 목부에서의 마찰손실계수 ($4 f L_t / d_t$)이다.

이상을 정리하면 최종적으로 다음식이 얻어진다.

$$\frac{G_1}{g} W_1 + \frac{G_2}{g} W_2 = \left(1 + \frac{\xi_t}{2}\right) \frac{1}{g} (G_1 + G_2) W_4 + f_4 (P_4 + P_3 - P_2) \quad (12)$$

실제의 디퓨저 축소부길이에 관하여는 구동노즐에서 유속이 아음속일 때에는 보통 $L_2 = (0 \sim 1.5) d_t$ 로 설계하며, 초음속일 때에는 $L_2 = 6dt$ 정도로 충분한 길이가 요구된다²¹⁾.

또한 디퓨저 길이 L_4 에 대하여는 구동 및 흡입유체가 충분히 혼합되기 위하여, 실험에 의존하고 있지만, 植田²¹⁾는 대개 $L_t = (7 \sim 8) d_t$ 정도로 하는 것이 좋다고 하였다. 목부길이 L_4 가 기체이젝터의 흡입성능에 미치는 영향은 L_4 가 극단으로 짧으면 고진공이 요구되는 흡입압력의 성능저하의 원인으로 지적되며, 한편 L_4 가 길면 벽면으로부터 마찰손실이 큰 관계로 실제 국내에서 생산되는 기체용 이젝터의 경우 (3.5~5.5) d_t 가 주로 적용되고 있다²²⁾.

3. 실험

Fig. 2는 실험장치의 전체 배치도를 나타내며, 그림에서와 같이 기체이젝터의 실험장치는 크게 구동부, 흡입부, 실험부 및 토출부로 구분된다. 먼

저 구동유체인 공기는 2기통 공기압축기에 의해 구동노즐에 공급된다. 압축기와 구동노즐의 사이에는 리시버 (Receiver), 유량계, 가열장치 그리고 수분과 불순물을 제거할 수 있는 필터 (Filter) 가 설치되어 있다. 또한 구동노즐 직전에는 흐름을 안정화시키기 위하여 관직경의 16배에 상당하는 길이의 직선 파이프가 설치되었다.

기체이젝터의 혼합실에는 구동노즐의 흐름방향 위치 즉 구동노즐 출구에서 디퓨저 입구까지의 거리를 로크너트에 의해 조절할 수 있는 장치가 설치되어 있다. 흡입공기는 대기로부터 흡입라인에 설치된 압력조절 밸브와 유량측정 오리피스를 통하여 혼합실에 유입된다. 흡입되는 공기량을 측정하기 위하여 흡입라인 입구에 설치된 오리피스는 H. E. I²³⁾에 규정된 흡입공기량 계산법을 적용하여 제작된 것이다.

Fig.3은 본 실험용 기체이젝터의 조립도를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 실험용 기체이젝터의 전장은 약 360mm이고, 디퓨저길이는 약 311mm이며, 실험에 사용된 구동노즐의 목경은 2.0, 2.5mm의 2가지이다.

실험용 기체이젝터에는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 정압측정공이 길이방향으로 위치해 있다. 배기압력은 출구쪽 밸브에 의하여 조절된다. 그리고 구동공기압력과 토출공기압력의 측정은 부르돈압력계와 연성계를 사용하였고, 흡입공기압력과 디퓨저 각 부분의 압력분포는 수은마노미터에 의하여 측정하였다.

Photo 1에 실험장치의 전경을 보인다.

본 실험에 사용되는 압축공기의 압력은 3~6

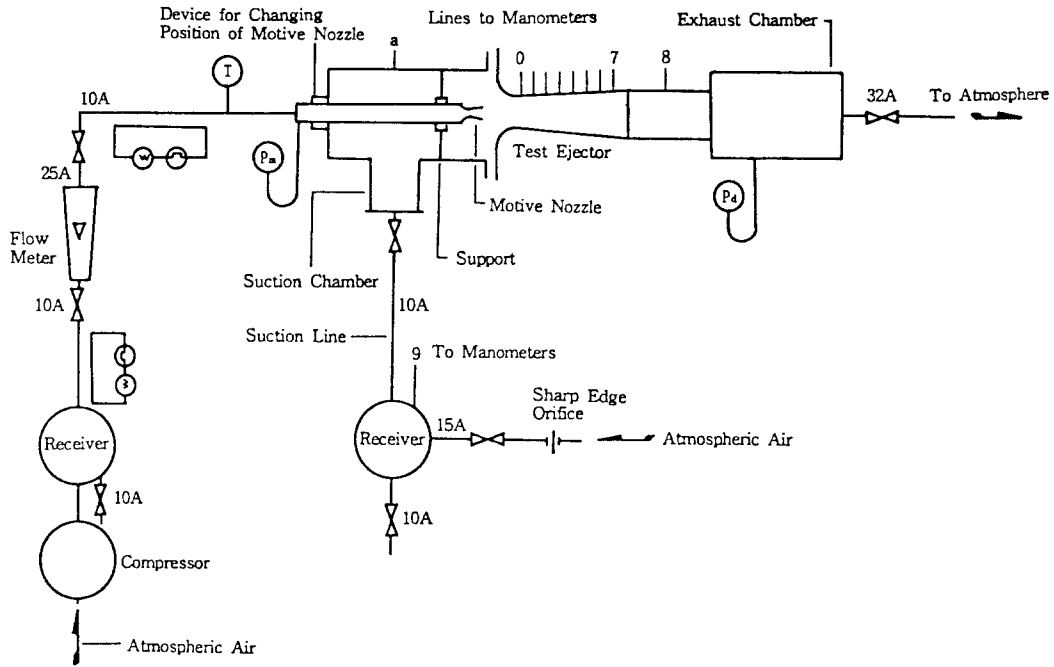


Fig. 2. Schematic Diagram of Test Air Ejector

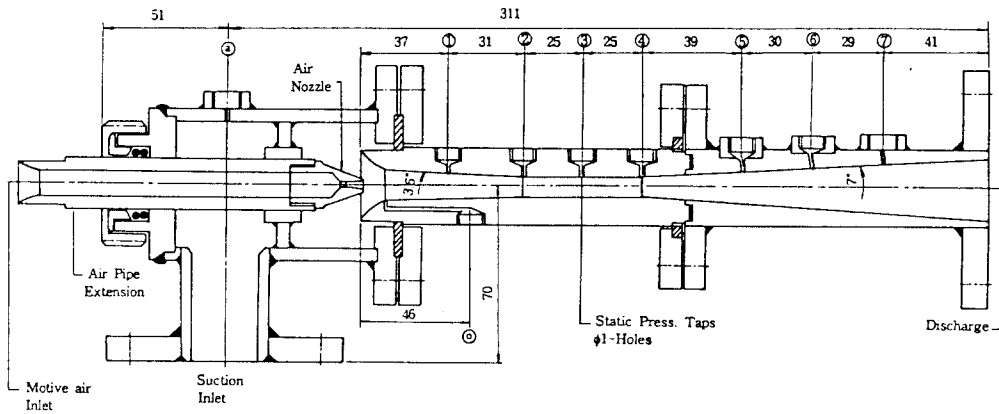


Fig. 3. Assembly Drawing of Test Air Ejector

kg/cm² abs.의 범위이다. 공기압축기가 가동되면 우선 압축기 토출밸브측에 장착된 압력계로서 실험하고자 하는 압력에 도달한 것을 확인한 다음 유량조절밸브를 서서히 연다. 이 때 공기압축에 의하여 생긴 미세한 양의 응축수분은 유량계내의 부자의 유동을 방해하여 정확한 유량측정을 기하기가 어려우므로, 보조가열장치로서 슬라이더

(1KVA, 0.028kw)을 사용하여 일정한 온도로 가열한다.

또한, 구동공기유량과 구동노즐 목부직경 변화에 따른 단열팽창지수의 변화를 알아보기 위하여 주가열장치를 가변전압조절기 (110V, 3KVA)를 사용하여 20V, 40V, 60V로 차례로 승압시키면서, 구동노즐 입구온도와 노즐출구 중심온도를 크로

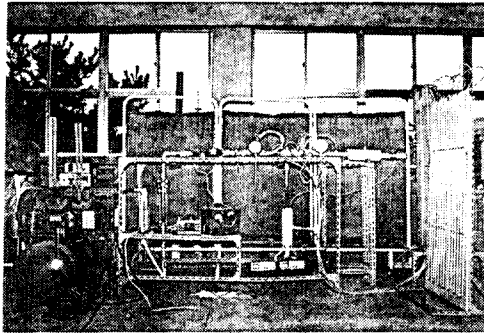


Photo 1 Experimental Apparatus

델-알루델 열전대로 측정하였다. 그리고 구동노즐의 효율을 구하기 위하여 구동공기 압력의 변화에 따른 구동공기 유량이 측정되어야 하는데, 이를 위하여 흡입부 라인에 있는 유량조절밸브를 닫고 구동압력조절밸브를 적절히 조절하면서 구동노즐의 통과 공기량을 유량계로 측정하였다.

또한 공기이젝터의 효율을 알아보기 위하여 구동공기압력을 $1\text{kg/cm}^2\text{ abs.}$ 의 간격으로 $3\sim 6\text{kg/cm}^2\text{ abs.}$ 의 범위에 대하여 토출공기유량밸브를 움직여 토출압력을 $0.1\text{kg/cm}^2\text{ abs.}$ 간격으로 함께 조절하였다. 이 과정에서 발생하는 구동공기 유량은 유량계로, 흡입공기 압력은 수은마노미터로 각각 측정하였고, 흡입공기 유량은 오리피스를 교환해 가면서 다양하게 측정하였다.

기체이젝터 내의 각 부분(㉠, ㉡, ㉢, ㉣, ㉤, ㉥, ㉦, ㉧)의 압력분포를 알기 위해서는 각 부분에 설치되어 있는 정압공과 연결된 수은 마노미터로 구한 값을 읽었다. 그리고 토출부의 압력은 연성압력계에 의하여 토출압력을 측정하였다. 이때 배압이 걸리지 않도록 하기 위하여 토출공기 유량밸브는 완전개방의 상태에서 행하였다.

구동노즐 목부직경이 이젝터 성능에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험에서는 구동공기 압력조절밸브로써 구동공기의 압력을 $1\text{kg/cm}^2\text{ abs.}$ 간격으로 변화를 시키면서 흡입공기의 압력을 측정하였다.

구동노즐의 출구에서 디퓨저입구까지의 거리가 기체이젝터의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 일정한 압력하에서 구동노즐의 축방향으로 위치를 $0.5\sim 1\text{mm}$ 간격으로 이동시키면서 이젝터

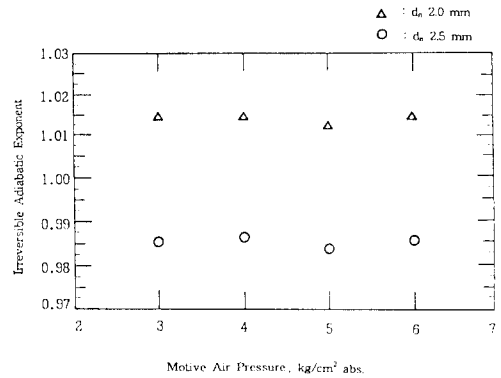


Fig. 4. Irreversible Adiabatic Exponent According to the Motive Air Pressure

효율을 구함으로써 최적의 위치를 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 비가역단열지수와 구동노즐의 효율

Fig.4는 구동노즐 목부직경 (d_n)이 2.0mm 와 2.5mm 일 때의 비가역단열지수의 값을 나타낸다. 이 실험에서는 구동공기 압력 $3\sim 6\text{kg/cm}^2\text{ abs.}$ 에서 d_n 이 2.0mm 일 때는 $1.012\sim 1.014$ 로 평균적으로는 1.014 를 나타냈고, d_n 이 2.5mm 일 때는 $0.983\sim 0.986$ 으로 평균적으로는 0.985 를 나타냈다.

Fig.5에서 보는 바와 같이 구동노즐 확대각이 6.84° 인 본 실험범위에서는 $\varphi_m = 0.91\sim 0.95$ 이었으며, 평균적으로 0.93 임을 알았다. 그리고 열낙차계수 η 는 $0.83\sim 0.90$ 으로 평균적으로는 0.86 이었다.

4.2 효율과 구동노즐의 목부직경의 영향

Fig.6은 본 실험에 사용된 기체이젝터의 효율을 구동중량유량에 대한 흡입중량의 비 즉 유량비에 대하여 나타낸 그림이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 구동노즐 목부(직경 2.5mm)에 대한 디퓨저 목부(직경 8.0mm) 면적의 비 즉 면적비 R_A 가 10.24 일 때 최대효율 약 24.6% 를 나타냈다.

4.3 구동노즐의 축방향위치의 영향

Fig.7은 구동공기의 압력을 $6\text{kg/cm}^2\text{ abs.}$ 로 일

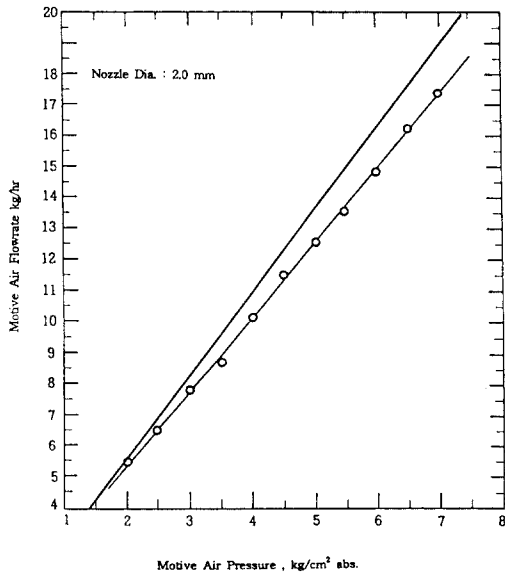


Fig. 5. Motive Air Flowrate According to the Motive Air Pressure

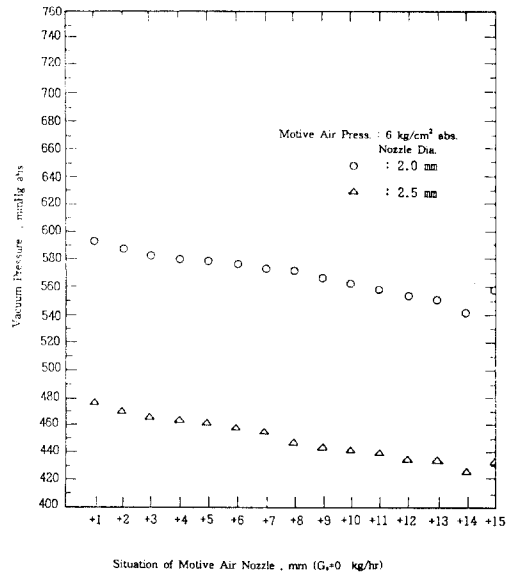


Fig. 7. Distribution of Static pressure in Suction Chamber

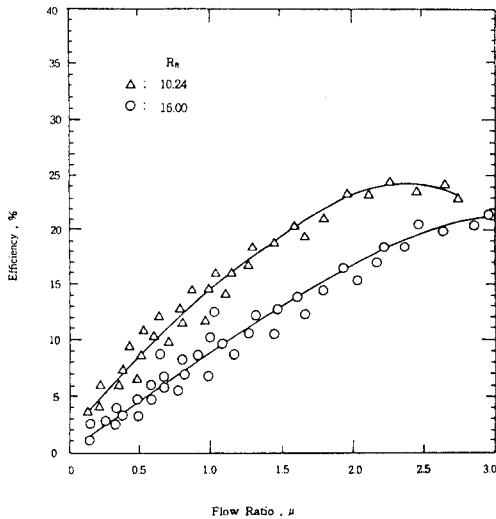


Fig. 6. Efficiency of Air Ejector

정히 유지하면서 구동노즐의 축방향 위치 즉 구동노즐 출구에서 디퓨저 입구까지의 거리가 무부하 상태에서 흡입실에 형성되는 진공압력을 측정하여 나타낸 그림이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 디퓨저 축소부길이가 $5.5d_t$, 단면적비 R_{12} 가 1.254 일 때 최고의 진공성능을 나타내었으며, 이 위치 이하의 상태에는 구동공기가 디퓨저 축소부 벽면

과의 충돌에 의하여 압력상승이 일어나서 최적의 상태가 될 수 없었다. 또한 이 위치 이상의 상태에서도 흡입공기의 적합한 유로가 확보되지 않아서 효율은 저하되었다.

植田는 실제로 기체이젝터를 설계할 경우 구동노즐 출구에서부터 디퓨저 축소부 입구까지의 거리에 관하여 $+15\text{mm} \sim -15\text{mm}$ 의 범위를 설계를 하여야 한다고 제시하였는데, 본 실험을 통하여 구동노즐 목부직경이 2.5mm인 경우 $+14\text{mm}$ 가 최적상태임을 알았다.

5. 결 론

본 연구에서는 기체이젝터에 대한 노즐내의 유동상태와 디퓨저의 혼합유동관계에 대하여 이론 해석하고 기체이젝터의 유동특성에 관한 실험을 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 구동공기 압력 $3 \sim 6\text{kg/cm}^2 \text{ abs.}$ 일 경우 구동노즐 목부직경 $dn=2.0\text{mm}$ 일 때의 비가역단열 지수의 평균값은 1.014이고, $dn=2.5\text{mm}$ 일 때의 평균값은 0.985이다.

(2) 구동노즐의 확대각이 6.84° 인 경우 속도계 수의 평균값은 0.93정도이고, 구동노즐의 효율의

평균값은 0.86정도 임을 알았다.

(3) 축소부의 길이가 과다할 경우 디퓨저 목부에서 압력이 도리어 하강한다.

(4) 본 연구의 실험용 기체이젝터의 단면적비 R_{ft} 이 10.24에서 최대효율 24.6%를 나타내었다.

(5) 디퓨저 축소부 길이가 디퓨저 목부직경의 5.5배, 단면적비 R_{f2} 이 1.254에서 본 실험용 이젝터는 최대성능을 나타내었다.

본 연구는 1993학년도 동의대학교 자체 학술연구조성비에 의해 연구되었음.

參考文獻

- 1) Evaporating Plants, Process Lines, Condensation Plants, Vacuum Cooling Plants, Steam Jet Cooling Plants, Vacuum Degassing Plants, Plants for Heat Recovery, Gas Scrubbing Plants, Environmental Protection, Pressure Reducing and Cooling Stages for Steam, Measuring, Control and Regulating Plants ; Wiegand Co., Germany
- 2) 김경근, 김명환, 홍영표, 고상철 ; 액체용이젝터 성능에 관한 CAD와 실험결과와의 비교, 대한기계학회논문집, 제12권, 제3호, pp.520~527(1988.2)
- 3) Kochendorfer, Fred D., and Rousso, Morris D. ; Performance Characteristics of Aircraft Cooling Ejectors Having Short Cylindrical Shrouds, NACA RM E51E01, (1951)
- 4) Anthony Fortini ; Performance Investigation of a Nonpumping Rocket - Ejector System for Altitude Simulation, NASA TN, D - 257 (1959)
- 5) 金京錫, 李宗洙, 金垣寧, 金京根 ; 蒸氣 이젝터의 성능특성에 관한 實驗的 研究, 韓國船舶機關學會論文集, 第15卷, 第5號(1991)
- 6) 金京根, 姜信芝, 金鈴模, 金明煥 ; 蒸氣 이젝터의 自動設計를 위한 電算프로그램의 開發, 韓國船舶機關學會論文集, 第11卷, 第3號(1987)
- 7) Wick, R. S. ; The Effect of Boundary Layer on Sonic Flow Through an Abrupt Cross - Sectional Area Change, Journ. Aeron. Sc. 20, pp.675~682 (1953)
- 8) 松尾一泰, 笹口健吾, 清時芳久, 月博昭 ; 亞音速空氣エ젝タの研究(第2報, スロート面積比が作動特性に及ぼす影響), 日本機械學會論文集(B編), 第48卷, 第428號(1982.4)
- 9) Bertram, Mitchel H. ; Investigation of the pressure - Ratio Requirments of the Langley 11 - Inch Hypersonic Tunnel with a Variable - Geometry Diffuser, NACA RM L50I13 (1950)
- 10) Korst, H. H., Page, R. H., and Childs, M. E. ; Compressible Two - Dimensional Jet Mixing at Constant Pressure, University of Illinois, ME - TN - 392 - 1, OSR - TN - 54 - 82, Contract No. AF 18(600) - 392(1954.4)
- 11) Moe, M. M. and Froesch, B. A. ; The Computation of Jet Flows with Shocks, Space Technology Lab. Inc. STL - TR - 59 - 000 - 00661 (1959.5)
- 12) Korst, H. H. ; A Theory for Base Pressures in Transonic and Supersonic Flow, J. Appl. Mech., 23 - 4, pp. 593 (1956)
- 13) Bauer, R. C., German, R. C. ; Some Reynolds Number Effects on the Performance of Ejectors without Induced Flow, Arnold Engineering Development Center AEDC - TN - 61 - 87(1961. 8)
- 14) Hale, J. W. ; Influence of Pertinent Parameters on Ejector - Diffuser Performance with and without Ejected Mass, Arnold Engineering Development Center AEDC - TDR - 64 - 134 (1964.7)
- 15) 松尾一泰, 笹口健吾, 田崎耕一, 望月博昭 ; 亞音速空氣エ젝タの研究(第1報, 二次流量が零の場合の作動特性), 日本機械學會論文集(B編), 第47卷, 第416號(1981.4)
- 16) Jones, W. L., Price, H. S., and Lorenzo, C. F. ; Experimental Study of Zero - Flow Ejectors Using Gaseous Nitrogen, NASA TN - D - 203 (1960.3)
- 17) 高島洋一 ; 各種氣體を驅動あるいは吸引する場合のエ젝タの最高性能およびその設計に關する計算法, 化學工學(1945.3)
- 18) Mellanby, A. L. ; Fluid Jets and Their Practical Application, Trans. of the Institution of Chem. Eng. 6, 66 - 84 (1928)
- 19) German, R. C., Bauer R. C., and Panesci, J. H. ; Methods for Determining the Performance of Ejector - Diffuser Systems, J. Spacecraft, Vol.3, No.2(1966.2)
- 20) Fortini, Anthony, Hendrix, Charles D., and Huff,

- Vearl N. ; Experimental Altitude Performance of JP - 4 Fuel and Liquid - Oxygen Rocket Engine with an Area Ratio of 48, NASA MEMO. 5 - 14 - 59E (1959)
- 21) 植田辰洋, 池野洋一 ; 空氣エセクタに關する考察, 日本機械學會論文集 (B編)(1953)
- 22) 空氣이젝터 設計資料集, 韓國熱流體産業 技術研究所 (1992)
- 23) Standard for Steam Jet Ejectors, Heat Exchanger Institute, U.S.A (1980)