

## 초음속 페타이젝터-디퓨저 시스템에 관한 실험적 연구

이준희\* · 김중배\* · 최보규\*\* · 김희동\*\*\*

### An Experimental Study on the Supersonic Petal Ejector-Diffuser System

Jun-Hee Lee\* · Jung-Bae Kim\* · Bo-Gyu Choi\*\* and Heuy-Dong Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

Ejector-diffuser system is one of fluid machinery which can entrain the fluid in low pressure part and transport it to the higher pressure part. The conventional ejector-diffuser system has been pointed out that its overall efficiency is quite low compared with other fluid machinery since it is derived by only the pure shear stresses. In the present study, 4, 6, and 8 lobed petal nozzles with a design Mach number of 1.7 are adopted as a primary nozzle to improve the performance, and are compared with a conventional circular nozzle.

#### 초 록

이젝터-디퓨저 시스템은 일종의 유체기계로서, 저압부의 유체를 혼입하여 고압부로 이송한다. 기존의 이젝터-디퓨저 시스템은 유체의 순수한 전단력만을 이용하므로 다른 유체기계에 비하여 효율이 낮은 단점이 있다. 본 연구에서는 이젝터-디퓨저 시스템의 효율을 높이기 위하여, 설계마하수가  $M_d=1.7$ 이고 로브의 개수가 각각 4, 6, 8개인 페타노즐을 구동노즐로 사용하였고, 원형구동노즐을 사용한 이젝터-디퓨저 시스템의 결과와 비교하였다.

#### 1. 서 론

이젝터-디퓨저 시스템은 1차 구동노즐에서 발생하는 제트의 전단작용에 의하여 저압부의 2차 유동을 흡입하거나 압력상태를 변화시키는 유체기계이다. 이젝터는 구조가 간단하고 내부에 활동부분을 가지지 않으므로 고장의 요소가 적고, 소규모의 장치로 대용량의 유체를 압축, 수송할 수 있으며, 유지 및 보수가 거의 필요 없는 장점 때문에 현재 V/STOL항공기의 추력증강(1), 고고도 상태 시뮬레이션 장치(2)를 비롯하여 냉동 및 공기조화(3), 환기 및 탈취(4), 식품제조

(5), 소음저감 설비(6)에 사용되고 있다. 그러나 이젝터의 구동은 제트와 주위유체간의 순수한 운동량 교환에 의존하게 되므로 다른 유체기계에 비하여 효율이 낮다.

이젝터의 낮은 효율을 개선하기 위한 연구로, 문헌(7)에서는 초음속 이젝터의 성능에 미치는 이젝터 내부의 노즐, 덕트 및 디퓨저의 기하학적 형상 변화의 영향을 조사하였다. 또, 문헌(8)에서 노즐 출구부분에 믹서로브(mixer lobe)를 적용하여 믹서로브의 형상변화가 이젝터의 추기 성능에 미치는 영향을 조사하였으며, 문헌(9)에서는 다양한 구동노즐의 형상에 대한 실험적 연

\* 안동대학교 대학원 기계공학과 (Graduate School of Mechanical Engineering, Andong National University)

\*\* (주)동화엔텍 열유체연구소 (Donghwa Entec)

\*\*\*안동대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Andong National University)

구를 수행하여, 이젝터의 사용목적에 적합한 노즐형상을 제시하였다. 그러나, 기존의 연구에서는 이젝터 내부 유동장의 특성에 대한 상세한 고찰이 행하여지지 않았고, 단순한 이론적 예측이나 이젝터 벽면에서의 압력측정에 의한 내부 유동장의 1차원적 추론에 그쳤다. 또, 1차 구동노즐의 형상변화가 초음속 이젝터의 성능개선 효과에 미치는 영향이 정성적으로 해석되는데 불과하며, 이론적 해석이나 정량적 평가가 부족하였다.

본 연구에서는 1차 구동노즐에서 발행하는 제트와 주위 유체와의 전단작용을 증대시키기 위하여, 노즐출구의 형상을 꽃잎모양으로 한 페달노즐을 구동노즐로 채택하였다. 실험에서는 동일 설계마하수의 초음속 원형노즐 및 노브의 개수를 4, 6, 8개로 한 페달노즐을 구동노즐로 사용하여, 구동노즐의 형상 및 작동압력비와 2차측 압력/유량의 관계를 조사하였고, 노즐출구와 이젝터 목 사이의 내부 유동특성이 이젝터 성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

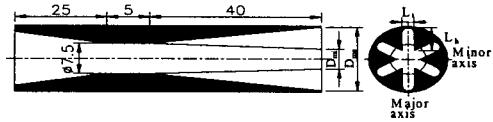
Fig. 1과 Table 1은 본 실험에서 채택된 노즐의 상세형상 및 치수를 나타낸다. 노즐의 형상은 동일한 설계마하수( $M_d=1.7$ )를 갖는 원형 및 4, 6, 8개의 로브를 갖는 페달 형상이다. 페달노즐은 축소부, 목, 확대부로 구성되어 있으며, 목에서의 단면형상은 원형이지만, 노즐 확대부는 꽃무늬 형상이다.

Fig. 2는 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로, 압축기, 1차/2차 정체실, 이젝터, 계측시스템으로 구성되어 있다. 1차 정체실에 저장된 압축공기는 1차 구동노즐을 통과하여 가속되며, 분류 주변에 생기는 강한 전단력으로 2차 유동을 흡인하게 되어 2차 정체실의 압력변화가 발생하게 된다. 또, 2차측의 유량측정시에는 2차측은 대기상태이다. 본 연구에서는 1차 구동노즐의 작동압력비를  $p_{0p}/p_a=2.0\sim 10.0$ , 디퓨저의 목면적( $A_{th}$ )과 구동노즐의 목면적( $A_n$ )의 비인 이젝터 목면적비는  $\Psi(A_{th}/A_n)=2.9, 6.0, 9.0$ 로 하였다.

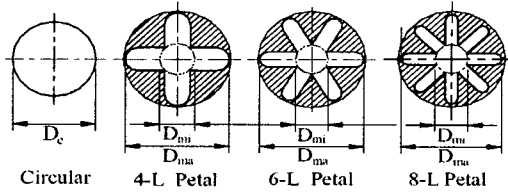
## 3. 결과 및 고찰

Fig. 3에는 이젝터 목면적비가 각각,  $\Psi(A_{th}/A_n)=2.9, 6.0, 9.0$ 로 일정하고 구동노즐의 형상을 변화한 경우, 2차측의 흡인유량비와 아제

터 작동압력비와의 관계를 나타낸다. 그림



(a) Schematic view of petal nozzle (6-lobed petal nozzle)



(b) exit configurations of petal lobe nozzle

Fig. 1 Schematics of nozzle geometry

Table 1 Nozzle geometric parameters

Nozzle type	Circular	4-L Petal	6-L Petal	8-L Petal
$D_c$	8.67	-	-	-
$D_{ma}$	-	12	12	12
$D_{mi}$	-	4.24	4	3.91
$L_t$	-	3	2	1.5
$L_h$	-	3	3.27	3.44
$M_d$	1.7	1.7	1.7	1.7

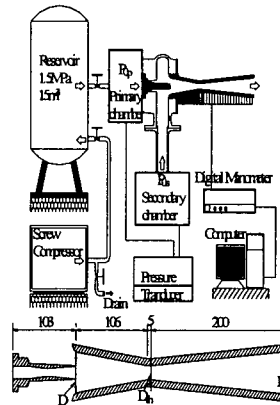
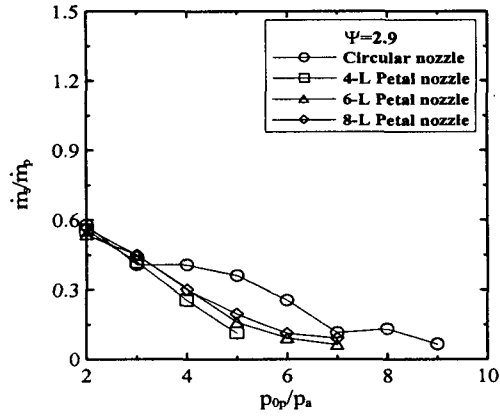
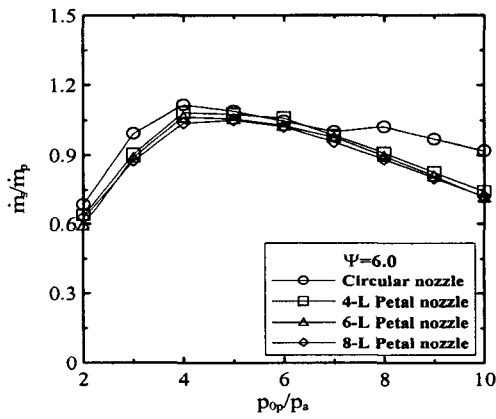


Fig. 2 Schematics of experimental apparatus

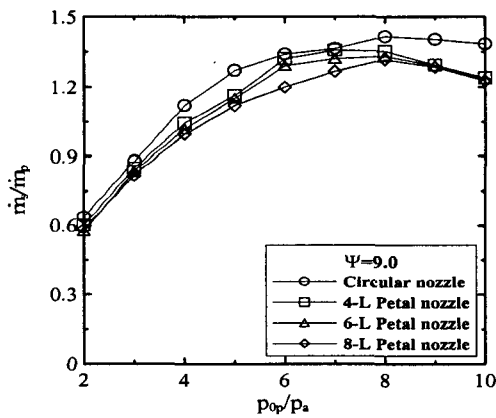
의 종속은 이젝터 혼합부로 유입되는 질량유량  $\dot{m}_s$ 를 구동노즐의 질량유량  $\dot{m}_p$ 로 무차원화하였다. 그림에서 작동압력비가 일정한 경우, 이젝



(a)  $\Psi(Ath/An)=2.9$



(b)  $\Psi(Ath/An)=6.0$



(c)  $\Psi(Ath/An)=9.0$

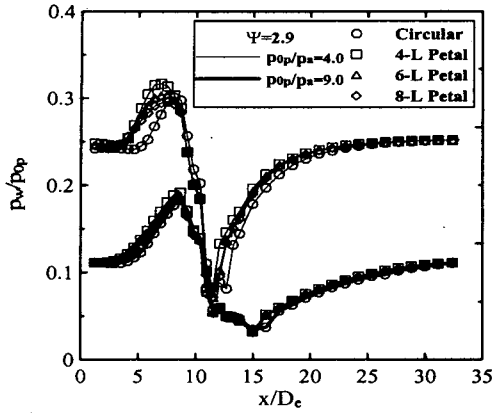
Fig. 3 Effect of nozzle configurations on mass flow rate

터 목면적비가 증가할수록 질량유량비 ( $\dot{m}_s/\dot{m}_p$ )는

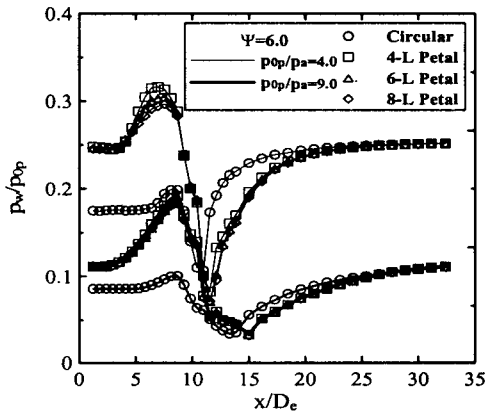
증가하는 경향을 나타낸다.  $\Psi=2.9$ 인 경우, 2차측 흡인유량비는  $p_{0p}/p_a=2.0$ 에서 최대가 되며, 작동 압력비가 증가할수록 감소하여 원형노즐은  $p_{0p}/p_a=9.0$ , 4-L 페탈노즐의 경우,  $p_{0p}/p_a=5.0$ , 그리고, 6-L 및 8-L 페탈노즐의 경우에는  $p_{0p}/p_a=7.0$ 에서 2차측 유동은 역류한다. 또,  $\Psi=6.0$ 인 경우와  $\Psi=9.0$ 인 경우에도 작동압력비가 증가할수록 질량유량비는 증가하다가 어느 작동압력비에서 질량유량이 최대가 된다. 그림에서 이젝터 목면적비가 증가할수록 2차 흡인유량비가 최대가 되는 작동압력비가 증가하는 것은 목면적이 클수록 이젝터 혼합부의 벽면에 발생하는 충돌 분류의 재순환 영역이 발생할 수 있는 작동압력비가 높아야 하기 때문이다. 또, 작동압력비가 증가할수록 2차 흡인유량이 최대가 되고 이후에 다시 감소하는 것은 2차 유동이 이젝터 목 상류의 어느 위치에서 초크하기 때문으로 판단된다. 한편, 작동압력비가 일정하고 목면적비가 일정한 경우, 2차측 질량유량비와 작동압력비의 관계는 구동노즐의 형상에 따라 다르게 된다.  $\Psi=2.9$ 의 경우, 일정 작동압력비에서 2차측 질량유량비는 원형 구동노즐의 경우가 가장 높으며, 8-L, 6-L, 4-L 페탈노즐의 순서를 갖는다. 그러나,  $\Psi=6.0$ 와  $\Psi=8.0$ 의 경우에는 질량유량비가 원형노즐, 4-L, 6-L, 8-L 페탈노즐의 순서로 높다.

2차 정체실의 압력변화와 2차측의 질량유량비 변화에서 페탈구동노즐의 성능이 원형구동노즐에 비하여 낮은 것은 원형노즐의 경우 노즐출구에서 제트유동이 주위 공기와 바로 접촉하는 반면, 페탈노즐에서는 로브사이의 유효면적이 제한되어 노즐출구에서 제트와 주위 공기와의 전단작용을 차단하였기 때문으로 판단된다.

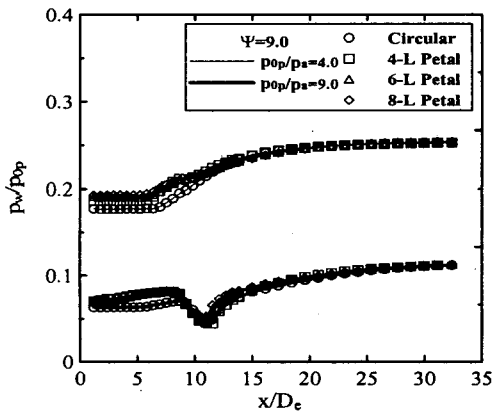
Fig. 4는 구동노즐의 형상이 원형노즐, 4-L, 6-L, 8-L 페탈노즐인 경우에 대하여 과팽창인 상태( $p_{0p}/p_a=4.0$ )와 부족팽창인 상태( $p_{0p}/p_a=9.0$ )인 제트유동이 이젝터 내부유동에 미치는 영향을 나타내었다. 목면적비가  $\Psi=2.9$ 인 경우, 구동노즐의 과팽창과 부족팽창 상태에서 모두 이젝터 목에서 강한 충격파가 발생하지만, 목면적비가 커지면, 구동노즐의 부족팽창 상태에서 약한 충격파가 발생한다. 그림으로부터 이젝터의 작동압력비가 동일한 경우, 이젝터의 목면적비에 따라 충격파의 발생 위치나 강도 및 디퓨저내의 유동은 달라진다. 즉, 이젝터 목면적비가 증가할수록 충격파는 이젝터 목의 상류로 이동하며, 충격파의 강도는 약해진다. 또, 이젝터 목의 상류에서 정압분포는 페탈노즐의 경우가 원형노즐의 경우에 비하여 높고, 4-L, 6-L, 8-L 페탈노즐의 순서로 높은 경향을 나타낸다.



(a)  $\Psi(A_{11}/A_n)=2.9$



(b)  $\Psi(A_{11}/A_n)=6.0$



(c)  $\Psi(A_{11}/A_n)=9.0$

Fig. 4 Static pressure distributions along the diffuser wall

#### 4. 결론

본 연구는 초음속 페달이젝터에서 1차 구동 노즐의 형상이 2차 정체실의 2차측 흡인유량에 미치는 영향을 조사하였다. 작동압력비가 증가할수록 2차측의 질량유량비는 증가하다가 어느 작동압력비에서 질량유량비는 최대가 되며, 이젝터 목면적비가 증가할수록 2차 흡인유량이 최대가 되는 작동압력비의 값은 커진다. 또, 2차목의 유동이 초크하지 않은 범위에서, 2차측의 질량유량비는 4-L 페달구동노즐의 경우가 다른 페달노즐의 경우에 비하여 높다.

#### 참고문헌

1. Alperin, M. and Wu, J. J., "Thrust Augmenting Ejectors, Part 2," AIAA Journal, Vol.21, No.12, 1983, pp.1698~1706.
2. Quinn, B., "Ejector Performance at High Temperatures and Pressures," Journal of Aircraft, Vol.13, No.12, 1976, pp.948~954.
3. Hsu, C. T., "Investigation of an Ejector Heat Pump by analytical Methods," ORNL/CON-144, Oak Ridge National Laboratory, 1984.
4. Knight, J., "The Use of Steam Ejector for the Vacuum Degassing of Steel," Journal of IMech, Vol.181, No.10, 1967, pp.225~239.
5. Nagahiro, J., Iwamoto, J. and Higuchi, K., "Experiments for Fine Air Bubble Production in Liquids Using Ejectors," Trans. American Society of Agricultural Engineers, Vol.35, No.5, 1992, pp.1581~1590.
6. Viets, H., Campbell, J. R. and Korkan, K. D., "Acoustic Interactions in Ejectors," AIAA Paper 81-2045, Oct.
7. Liu, C. F. and Chen, F., "Analysis of Performance of The Second-Throat Ejector-Diffuser," Journal of Chinese Society of Mechanical Engineers, Vol.13, No.5, 1992, pp.478~482.
8. Tillman, T. G. and Presz Jr., W. M., "Thrust Characteristics of a Supersonic Mixer Ejector," Journal of Propulsion and Powers, Vol.11, No.5, 1995, pp.931~937.
9. Nicholas, T. M. T., Narayanan, A. K. and Muthunayagam, A. E., "Mixing Pressure-Rise Parameter for Effect of Nozzle Geometry in Diffuser-Ejectors," Journal of Propulsion and Powers, Vol.12, No.2, 1995, pp.431~433.