

PIV 및 컬러 쉐리엔 기법을 이용한 초음속 제트 관측

이재혁* · Zhang Guang* · 김태호* · 김희동*†

PIV Measurement and Color Schlieren Observation of Supersonic Jets

Jae Hyeok Lee* · Guang Zhang* · Tae Ho Kim* · Heuy Dong Kim*†

ABSTRACT

The present work aims at visualization of the supersonic air jet flows discharged from C-D nozzles. In the present experiments, Particle Image Velocimetry (PIV) was employed to specify the jet flow field quantitatively, and a color Schlieren optical method was applied to observe the same jets qualitatively. The $0.5\mu s$ duration of spark light source was used for Schlieren and it can be controlled as $0.5\mu s$, $1\mu s$, $2\mu s$ and focusing mode. The convergent-divergent nozzles were used to generate the jet flow with the design Mach number of 2.0, 2.2. Nozzle pressure ratios (NPRs) were varied from 5 to 8. A good comparison of the jet size and shock location from the Schlieren images with the PIV quantitative values is obtained. The obtained images clearly showed the major features of the under-expanded jet, over-expanded jet, sound wave, turbulent eddies and so on.

초 록

본 연구는 C-D 노즐로부터 발생하는 초음속 제트 유동을 가시화하는데 목표가 있다. 본 실험에서 PIV를 이용하여 정량적인 제트의 결과를 얻어 쉐리엔 기법을 통해 얻은 정성적 결과와 비교하여 나타내었다. 컬러 쉐리엔은 $0.5\mu s$ 의 스파크 광원을 이용하였다. $M_d = 2.0, 2.2$ 의 C-D 노즐에 대해 다양한 압력비($p_0/p_b = 5, 6, 7, 8$)를 적용하여 발생하는 제트에 대해 가시화 실험을 수행하였다. 가시화 결과, 제트의 주된 특성인 과팽창 제트, 부족팽창 제트, 음파 등이 관측 되었다.

Key Words: Particle Image Velocimetry(PIV), Compressible Flow(압축성유동), Shock Wave(충격파), Over-expanded Jet(과팽창 제트), Under-expanded Jet(부족팽창 제트)

1. 서 론

음속 및 초음속 제트 유동은 유체역학의

학술적 측면뿐만 아니라 다양한 형태의 산업 및 공학 응용분야에서 많은 연구자들의 관심이 대두되고 있다. 제트에서 발생하는 유동현상을 제트의 압력비와 노즐의 형상에

* 안동대학교 기계공학과

† 교신저자, E-mail: kimhd@

따라 이론·수치해석과 쉐리렌 실험을 수행한 선행 연구사례들이 많다. 그러나 이러한 선행 연구 사례들은 이론적 해석에 그치며, 정량적인 실험적 연구가 많이 부족하다. 본 연구는 $M_d = 2.0, 2.2$ 의 C-D 노즐에서 발생하는 제트를 PIV를 이용한 정량적인 결과와 쉐리렌을 이용한 정성적 결과와 비교하였다. 가시화 결과, 제트의 주된 특성인 과팽창 제트, 부족팽창 제트, 음파 등이 관측되었다.

2. 본 론

Table 1 Experimental Conditions

Experimental Conditions	
Nozzle	$M_d = 2.0, 2.5$
NPRs(p_0/p_b)	5, 6, 7, 8
FOV	3mm
Seeding Particle	Olive Oil
ΔT	$0.3 \mu s$

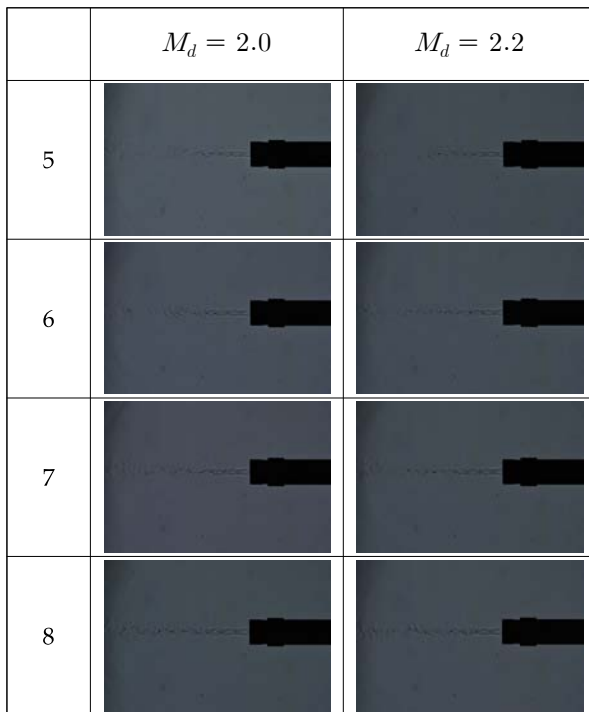


Fig. 1 Schlieren images with different NPRs

3. 결 론

마하수 2.0와 2.2의 노즐을 설계·제작하여 노즐로부터 방출되는 부족팽창, 과팽창 그리고 적정팽창 제트 유동의 구조를 관찰하기 위하여 유동 가시화 실험을 수행하였다.

그 결과, $M_d = 2.0$ 의 경우 과팽창, 적정팽창, 부족팽창 제트가 잘 관측되었다. 반면, 실험에 적용된 압력이 $M_d = 2.2$ C-D 노즐의 작동 압력비에 못미쳐 과팽창 제트만 관측되었다.

후 기

본 연구는 서울대학교 차세대 우주추진 연구센터와 연계된 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한

선도연구센터 지원사업(NRF-2013R1A5A1073861)의 연구 결과입니다. (과제번호: 0659-20160012)

References

1. B. Mate, I. A. Graur, T. Elizarova, I. Chirokov, G. Tejada, J. M. Fernandez and S.Montero, 2001, "Experimental and Numerical Investigation of an Axisymmetric Supersonic Jet", *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 426, pp. 177-197.
2. I. Shih Chang and W. L. Chow, 1974, "Mach Disk from Underexpanded Axisymmetric Nozzle Flow", *AIAA Journal*, Vol. 12, No. 8.
3. H. D. Kim and H. S. Shin, 1996, "Numerical Study on Under-Expanded Jets Through a Supersonic Nozzle (Part 2)", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Series (B), Vol. 20, No. 6, pp. 1994-2004.