

# 노즐 출구 형상에 따른 아음속 제트 유동의 소음 저감에 대한 실험적 연구

## Experimental analysis on noise reduction of subsonic jet flow with chevron nozzle

배주현\* · 이규호\* · 공병학\* · 김민우\* · 이수갑†

Juhyun Bae, Kyuho Lee, Byunghak Kong, Minwoo Kim and Soogab Lee

**Key Words** : Jet Noise(제트 유동 소음), Chevron(체브론), Noise Reduction(소음 저감)

### ABSTRACT

Experimental analysis has been carried out on noise reduction of subsonic jet flow with chevron nozzle to investigate relationships between geometry variation of chevron nozzles and jet noise reduction. Including base nozzle, seven nozzles are tested at Mach number 0.9. Parametric variables are chevron count, chevron length, and chevron shape. From these experiment, the more chevron count increase, the more jet noise reduction gain. Varying the chevron length, short chevron nozzle increase the jet noise at certain direction all the more. Chevron shape is also considered as important factor to reduce the jet noise.

### 1. 서 론

제트 유동 소음은 항공기 엔진에서 주로 발생하며 항공기 소음의 주요 소음원이다. 선진국을 중심으로 항공소음에 대한 규제가 강화되면서 연구 동향 또한 자연스레 제트 유동 소음을 줄이기 위한 방향으로 공감대가 형성되어 왔다. 이를 위해 이미 1950년대 초부터 제트 유동에 의해 발생하는 소음에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며, 이론적으로 소음 정도를 예측하거나 실험을 통해 제트 유동 소음을 모델링하여 그 특징을 알아내고 있다.<sup>(1-3)</sup>

제트 유동 소음은 난류에 의한 소음으로 알려져 있다. 크게 두 가지 소음으로 나눌 수 있는데, 전

방향으로 퍼져나가는 작은 난류에 의한 소음과 제트 유동의 축 방향으로의 방향성을 지니는 큰 난류에 의한 소음이 있다. 큰 난류에 의한 소음도가 상대적으로 더 크며, 난류의 세기가 소음 발생에 직접적인 영향을 끼친다고 알려져 있다.<sup>(2,3)</sup>

이러한 제트 유동 소음을 저감하기 위한 연구는 현재까지 활발히 진행되고 있다. 소음 저감 방법은 크게 능동적인 방법과 수동적인 방법으로 나눌 수 있다. 능동적인 방법으로는 유동을 직접 조절하는 것인데, 마이크로 제트를 쏘는 방법이 있다.<sup>(4)</sup> 수동적인 방법으로는 노즐 끝단의 형상을 바꾸는 방법인데, 다양한 방법들이 연구되었다.<sup>(5-7)</sup>

이러한 소음저감 방법 중 하나로 체브론 노즐이 적용되고 있다. 다양한 가설을 기반으로 체브론의 소음 저감 효과를 알아내기 위한 실험적인 연구가 수행되었다.<sup>(4,8-10)</sup>

Clender와 Gutmark는<sup>(8)</sup> 체브론의 역할이 제트 코어의 길이를 변형하여 저주파수의 영역의 소음이 줄어들고, 노즐 출구 근방 영역에서 발생하는 작은

† 교신저자; 정회원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : solee@snu.ac.kr

Tel : 02-880-7384 Fax : 02-876-4360

\* 서울대학교 기계항공공학부

난류들에 의해서 원방에서의 고주파수 성분의 소음도는 다소 증가한다고 주장하였다. Bridges와 Brown은<sup>(9)</sup> 웨브론의 크기와 관련하여 웨브론의 소음 저감 효과를 실험적으로 연구하였다. 하지만 위의 연구는 웨브론의 크기를 증가시키는 경우에 대해서만 실험을 수행하여 웨브론의 크기와 소음 저감 사이의 연관성에 대한 실험 데이터는 아직 부족하다고 할 수 있다. 또한 Bridges와 Brown은<sup>(9)</sup> 웨브론 개수가 중요한 소음 저감에 중요한 변수라고 하였으나, 실험에 사용된 웨브론의 길이에 대한 변인 통제 미흡하였다.

본 연구에서는 제트 유동 소음에 있어 노즐 출구의 웨브론의 형상에 따른 소음 저감 효과를 알아보기 위하여 동일한 길이의 웨브론에 대해서 웨브론 개수에 따른 소음저감 정도를 실험하였으며, 같은 웨브론 개수에서 웨브론의 길이의 따른 소음 저감 정도를 확인하였다. 그리고 같은 넓이의 웨브론의 모양을 바꾸어 가면서 어떠한 형상이 소음 저감에 좀 더 효과적인지를 알아보았다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 대상

#### (1)아음속 제트 유동

본 연구에서는 노즐 출구에서 마하수 0.9에 해당하는 속도로 분출되는 아음속 영역의 유동이 발생시키는 소음을 대상으로 실험을 수행하였다. 사용된 기체는 실온의 일반 공기를 사용하였다.

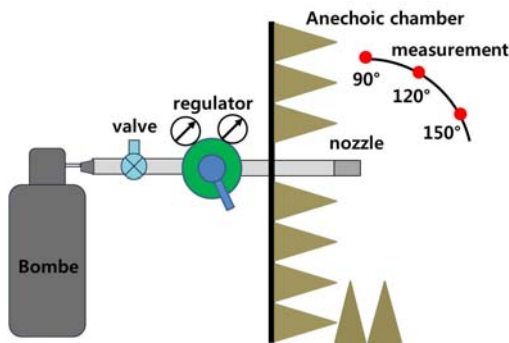


Figure 1 Schematic of experimental setup

#### (2)웨브론 노즐

노즐은 Figure 2에서와 같이 기본적으로 실린더 형태의 관에서 끝단의 형상을 바꾸어 제작하였다. 관의 외경은 12.7mm 이고, 내경은 10mm이다.



Figure 2 Chevron nozzles tested

Table 1은 본 실험에 사용된 노즐에 대한 정보이다. 웨브론의 개수, 웨브론의 형상, 웨브론의 길이를 변수로 하여 실험을 수행하였다. 여기서 웨브론의 길이는 관의 축 방향으로 길이를 뜻한다.

Table 1 Parameters of chevron nozzles

Nozzle	chevron count	chevron shape	chevron length
(a)	4	triangle	circumference/10
(b)	8	triangle	circumference/10
(c)	8	round	circumference/10
(d)	8	rectangle	circumference/10
(e)	16	triangle	circumference/10
(f)	16	triangle	circumference/20

### 2.2 실험 환경

제트 유동 소음의 측정 실험은 실온의 무향실에서 진행하였으며, 무향실의 규격은 3m×3m×2m이다. 소음 측정에 사용된 소음계는 B&K, type 2250을 사용하였으며, 원방에서의 소음 저감 정도를 측정하기 위해서 노즐의 직경을 D라고 하였을 때 50D에 해당하는 곳에서 제트 유동 소음을 측정하였다. 50D의 거리는 충분한 원방 영역을 나타낸다.<sup>(12)</sup>

Figure 3는 제트 유동 소음을 측정하는 모습이다. 유동이 들어오는 방향을 0°, 노즐 출구에서 유동이 나가는 방향이 180°라고 하였을 때 소음계의 위치는 90°, 120°, 150°의 방향에 대해서 노즐 출구로부터 50D만큼 떨어져 있다.



Figure 3 Measurement setup in anechoic chamber

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 웨브론 개수에 따른 소음 저감 효과

웨브론의 형상과 크기를 일정하게 하고 웨브론의 개수만 바꾸어 제트 유동 소음을 측정하였다. 사용한 노즐은 Table 2와 같다.

Table 2 Change count of chevron nozzles

Nozzle	chevron count	chevron shape	chevron length
(a)	4	triangle	circumference/10
(b)	8	triangle	circumference/10
(e)	16	triangle	circumference/10

Figure 4, 5, 6에서 각 방향에 대해서 1/3 옥타브 밴드 주파수 스펙트럼을 나타내었다. 특정 주파수에 대해서는 1dB이상의 소음이 저감되는 것을 확인할 수 있다. Figure 5와 Figure 6을 통해서 다른 변수를 일정하게 하였을 때, 웨브론의 개수가 많을수록 소음 저감효과가 커지는 경향성을 알 수 있다.

실제 dB값은 90°, 120°, 150° 방향 순으로 더 커진다. 특히, 150° 방향은 큰 난류에 의해 발생하는 소음으로 제트 유동 소음의 대부분을 차지한다.<sup>(2)</sup>

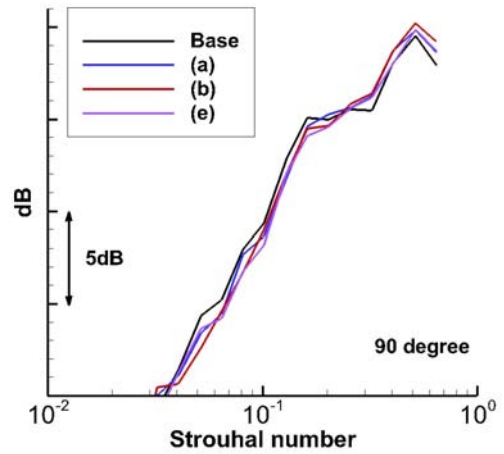


Figure 4 1/3 octave band spectra at 90°

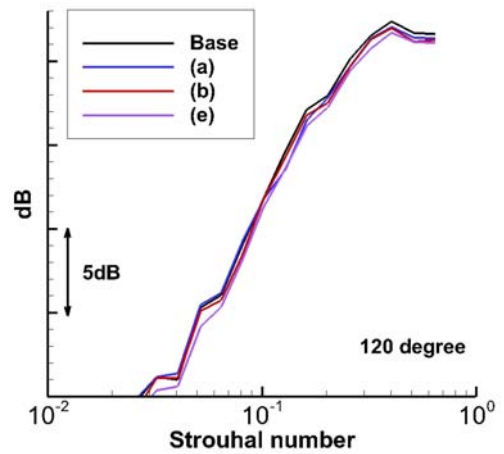


Figure 5 1/3 octave band spectra at 120°

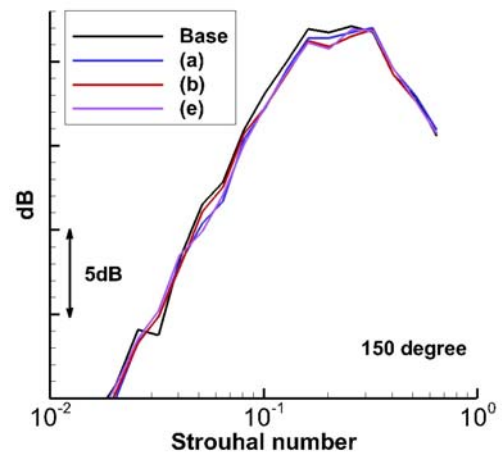


Figure 6 1/3 octave band spectra at 150°

### 3.2 웨브론 길이에 따른 소음 저감 효과

웨브론의 형상과 개수는 일정하게 하고 웨브론의 길이만 변화하였을 때의 웨브론에 의한 소음 저감 정도를 측정하였다. 사용된 노즐은 Table 3과 같다.

**Table 3** Change length of chevron nozzles

Nozzle	chevron count	chevron shape	chevron length
(e)	16	triangle	circumference/10
(f)	16	triangle	circumference/20

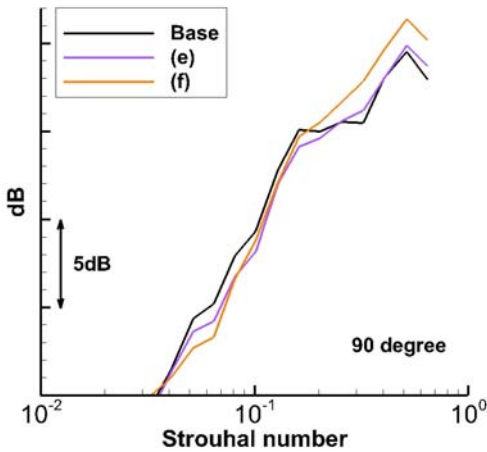


Figure 7 1/3 octave band spectra at 90°

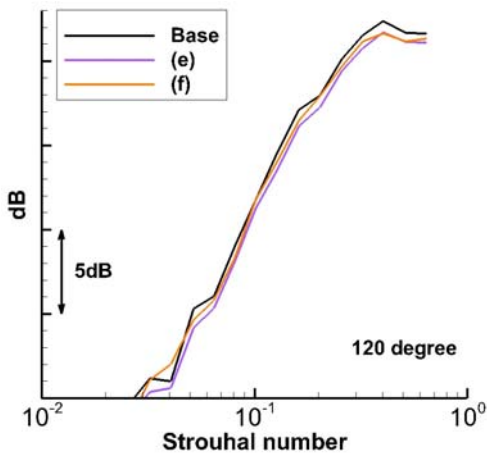


Figure 8 1/3 octave band spectra at 120°

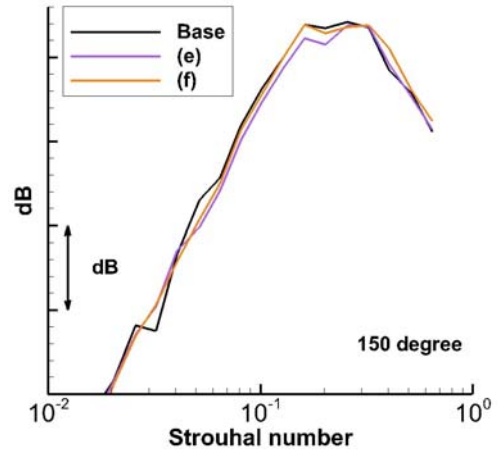


Figure 9 1/3 octave band spectra at 150°

길이가 짧은 웨브론 노즐의 경우 Figure 7에서 알 수 있듯이 소음도가 큰 주파수 영역에 대해서 웨브론에 의해 소음이 더 증가한 것을 알 수 있다. 이는 길이가 짧은 웨브론에 의해서 작은 난류가 더 많이 발생한 것으로 판단된다. 90°방향의 소음의 경우 주로 작은 난류들에 의해서 발생하는 소음이 차지하는 비중이 크다고 알려져 있다.<sup>(2,11)</sup> 몇몇 구간을 제외하고는 대부분의 경우 길이가 큰 웨브론이 소음 저감 정도가 더 큰 것을 확인할 수 있다.

### 3.3 웨브론 형상에 따른 소음 저감 효과

웨브론의 개수, 길이, 면적을 같게 하였을 때 웨브론의 형상에 따른 제트 유동 소음 저감 정도에 대한 실험을 수행하였다. 사용한 노즐은 다음과 같다.

**Table 4** Change shape of chevron nozzles

Nozzle	chevron count	chevron shape	chevron length
(b)	8	triangle	circumference/10
(c)	8	round	circumference/10
(d)	8	rectangle	circumference/10

Figure 11에서 원형 형태의 웨브론이 소음도가 높은 일부 주파수 영역에서 세모 형태의 웨브론보다 소음 저감 효과가 큰 것을 확인할 수 있다. Figure 12에서 150°방향의 소음 저감 정도에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

다만, Figure 10에서는 세모 형태의 웨브론에 비해 네모와 원형 형태의 웨브론이 오히려 소음도를 증가시키는 결과가 나왔다.

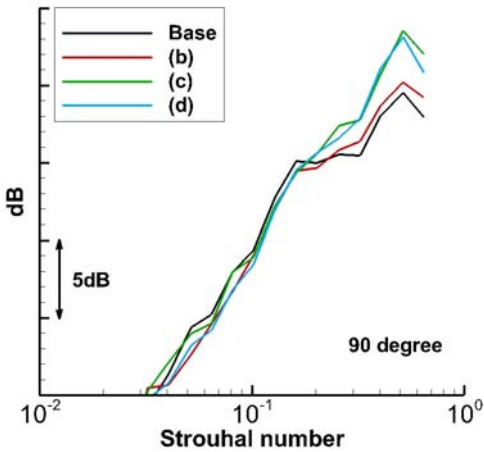


Figure 10 1/3 octave band spectra at 90°

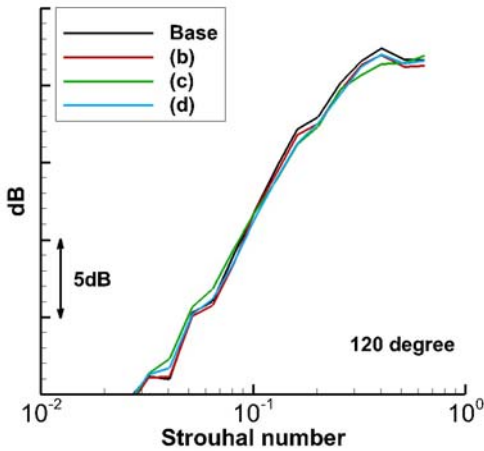


Figure 11 1/3 octave band spectra at 120°

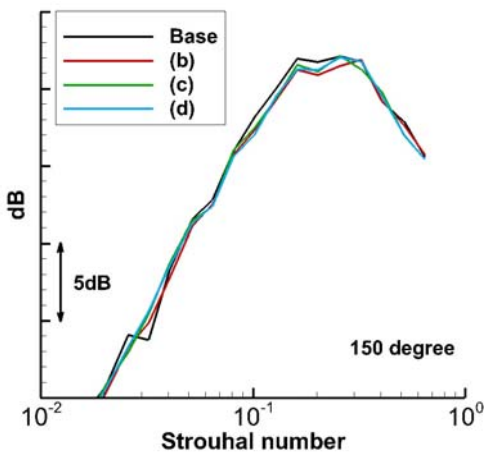


Figure 12 1/3 octave band spectra at 150°

#### 4. 결 론

제트 유동 소음에 있어 노즐 출구의 웨브론의 형상에 따라 소음저감 정도가 어떻게 달라지는 지를 알아보았다. 이를 위해 동일한 길이의 웨브론에 대해서 웨브론 개수에 따른 소음저감 차이를 다시 확인하였다. 웨브론의 개수가 많아질수록 소음저감효과가 커지는 경향성을 확인하였다.

또한 같은 웨브론 개수에 대해서 웨브론의 길이의 따른 소음 저감 정도를 확인하였다. 웨브론 길이가 짧을 경우 오히려 작은 크기의 난류를 일으켜 소음을 더 증가시킨다. 이를 통해 웨브론의 길이가 어느 정도는 길어야 소음 저감 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

그리고 길이, 개수 및 넓이가 같은 웨브론 노즐에 대해서 웨브론의 형상을 세모, 원형, 네모로 바꾸었을 때 소음 저감 정도를 알아보았다. 원형 형태의 웨브론의 경우 120°방향에서 일부 주파수 영역에서 대해서 세모 형태의 웨브론 보다 소음 저감 효과가 더 큰 것을 확인하였다. 다만, 90°방향에서는 원형과 네모 형태의 웨브론 모두 웨브론이 없을 때보다 오히려 소음도가 커졌다.

본 연구 결과를 토대로 저소음 노즐 출구 형상을 디자인할 때는 웨브론의 개수를 늘리고, 웨브론의 길이는 적정 수준을 유지하는 것이 소음 저감에 효과적이라고 할 수 있다. 본 실험은 small scale의 실험이므로 향후 노즐의 직경을 늘려서 실험하거나 수치적 기법을 이용하여 추가적인 검증이 필요하다고 생각된다.

#### 후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No. 20104010100490)입니다. 그리고 이 논문은 국토해양부의 「하늘 프로젝트」로 지원되었습니다. 또한 본 연구는 부분적으로 2011년도 포스코의 지원을 받아 수행한 결과임을 밝힙니다. 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Lighthill, M. J, 1963, Jet Noise, AIAA J. Vol. 1, No. 7, pp.1507-1517.
- (2) Christopher K.W. Tam, K. Viswanathan, K.K. Ahuja and J. Panda, 2007, The Sources of Jet Noise: Experimental Evidence, 28th AIAA Aeroacoustics Conference.
- (3) S. Narayanan, T. J. Barber and D. R. Polak, 2002, High Subsonic Jet Experiments: Turbulence and Noise Generation Studies, AIAA J. Vol. 40, No. 3, pp. 430-437.
- (4) Mehmet Bahadir Alkislar and G. W. Butler, 2007, Significant improvements on Jet Noise Reduction by Chevron-Microjet Combination, 28th AIAA Aeroacoustics Conference.
- (5) Westley, R and Lilley, G. M, 1952, An Investigation of the Noise Field From a Small Jet and Methods for Its Reduction, College of Aeronautics, Cranfield, Rep. No. 53.
- (6) Christopher K.W. Tam and K.B.M. Q. Zaman, 1999, Subsonic Jet Noise from Non-Axisymmetric and Tabbed Nozzles, 37th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.
- (7) J. C. Simonich, S. Narayanan, T. J. Barber and M. Nishimura, 2000, High Subsonic Jet Experiments Part 1: Aeroacoustic Characterization, Noise Reduction and Dimensional Scaling Effects, 21st AIAA Aeroacoustics Conference.
- (8) B. Callender and E. Gutmark, 2004, A PIV Flow Field Investigation of Chevron Nozzle Mechanisms, 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit.
- (9) James Bridges and Clifford A. Brown, 2004, Parametric Testing of Chevrons on Single Flow Hot Jets, NASA.
- (10) Tide P.S. and K. Srinivasan, 2009, Experimental Investigation on the Effect of Chevron Penetration on 4 Lobed Chevron Nozzles, 7th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum an Aerospace Exposition.
- (11) Christopher K.W. Tam, Michel Golebiowski and J.M. Seiner, 1996, On the Two Components of Turbulent Mixing Noise From Supersonic Jets, 2nd AIAA and CEAS Aeroacoustics Conference.
- (12) K. Viswanathan, 2006, Instrumentation Considerations for Accurate Jet Noise Measurements, AIAA J. Vol. 44, No.6, pp.1137-1149.