

# 고체추진기관용 물분사 소음디퓨저의 설계 및 제작

이정열\* · 이지형\*\* · 이성웅\* · 고현\* · 조용호\*

## Design and Manufacturing of the Diffuser with Water Injection for the Solid Rocket Motor Noise Reduction

Jeongyeol Lee\* · Jehyung Lee\*\* · Sungwoong Lee\* · Hyun Ko\* · Yongho Cho\*

### ABSTRACT

In the supersonic jet of a solid rocket motor, various noise is investigated. The purpose of this study is to attain and evaluating a design and manufacturing technique of the SRM noise reduction. In this study, the water is injected into the supersonic jet of the SRM to reduce the noise. Furthermore, the diffuser and stack are installed to suppress the SRM noise. Through the SRM ground tests, the noise is reduced approximately 20dBA with application of the diffuser/stack with water injection.

### 초 록

고체추진기관의 초음속 제트 속에서는 다양한 소음들이 발생된다. 본 연구에서는 로켓 모터의 배기가스에 물을 분사하고, 디퓨저 및 스택을 설치하여 초음속 제트에서 발생하는 소음을 억제할 수 있는 장치를 설계 및 제작하는 기술을 확보하는데 있다. 물분사 소음디퓨저를 연소시험용 로켓 모터에 적용하여 약 20dB의 소음저감효과를 얻었다.

Key Words: Solid Rocket Motor(고체추진기관), Noise Source(소음근원), Water Injection(물분사), Diffuser(디퓨저)

### 1. 서 론

고체추진기관의 연소시험은 로켓의 배기가스 속에 있는 높은 강도의 소음근원이 주변 장치에 진동 및 음향 스트레스를 가하므로, 다양한 소음

근원을 포함한 배기가스의 전체음향레벨을 억제시키는 것이 절대적으로 필요하다. 세 가지 종류의 소음 발생에 대한 기본 메커니즘이 초음속 제트에 존재하는 데, 난류 혼합 소음, 마하파 발산 그리고 충격 소음이다[1]. Lighthill는 제트 소음에 대해서  $V^8$  법칙을 유추하였고, 여기서  $V$ 는 제트 출구 속도이다[2]. 제트 소음을 감소하기 위해 소음의 원천에서 흐름을 수정하는 방법

\* 마이크로프렌드

\*\* 국방과학연구소

† 교신저자, E-mail: khfjylee@microfriend.co.kr

(수동적 소음경감방법)과 배기 흐름에 영향을 주는 방법(능동적 방법)이 있다. 수동적 방법은 노즐형상 수정, 탈축 흐름, 제트 회전 등이 있다 [3,4]. 능동적 방법은 제트에 2차 분사(물분사), 와이어 또는 메쉬, 음향 머플러 등이 보편적이다. 물분사는 혼합 및 충격 소음근원에 영향을 미쳐 Shock-cell 구조를 효과적으로 깨뜨린다 [5,6,7,8].

본 연구는 고체추진기관의 연소시험에 사용되는 로켓 모터의 소음을 저감시킬 목적으로 배기 가스에 물을 분사하고, 후단에 디퓨저 및 스택을 설치하여 배기가스와 물이 원활하게 혼합되어 소음이 억제될 수 있는 장치의 설계 및 제작 기술을 확보하는데 있다.

## 2. 장치 설계

### 2.1 물분사 소음디퓨저의 설계

식 1.에서 보는 바와 같이 제트에 의한 음향파위는 제트속도의 8승에 비례하므로, 제트의 속도를 줄이면 소음을 저감시킬 수 있다. 본 연구에서는 물 분사를 이용하여 제트의 속도를 줄여 소음을 억제하고자 한다.

$$w \propto \rho \left( \frac{V^8}{C^5} \right) L^2 \quad (1)$$

w = 전체음향파위(Total Acoustic Power)

= 밀도(Mean Density)

L = 특성길이(Characteristic Length)

V = 특성속도(Characteristic Velocity)

C = 음속(Speed of Sound)

물분사 소음디퓨저의 설계 변수는 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) 로켓 노즐 끝단과 물분사 위치 사이의 거리
- (2) 물분사 각도
- (3) 배기가스와 물의 질량유량비
- (4) 디퓨저 직경 및 길이

### 2.3 장치의 설계 상세 및 제작

Figure 1에서 보는 바와 같이 물분사 소음디퓨저는 물분사노즐, 디퓨저, 스택, 물공급장치, 유량제어장치, 지지용구조물로 구성되어 있다.

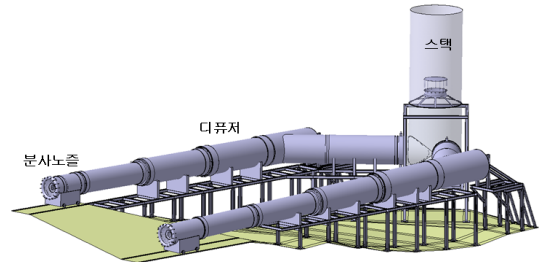


Fig. 1 물분사 소음디퓨저의 외형도

#### (1) 물분사 소음디퓨저의 설계요구사항

- 1) 유량 : 약 70kg/s (비열비 : 1.13)
- 2) 연소시간 : 약 20초
- 3) 화염 온도 : 최대 3500K
- 4) 화염 폭 : 최대 850mm
- 5) 화염 길이 : 최대 12000 mm

#### (2) 물 분사노즐 및 디퓨저

Figure 2에서 보는 바와 같이 물 분사노즐은 로켓 모터의 노즐 끝단에서 약 300mm 거리에 32개의 노즐을 설치하였다. 물의 분사각은 50도 및 30도로 2 종류를 함께 사용하도록 설계되었다. 디퓨저는 총 4단으로 직경이 1500, 1650, 1800, 2000 mm로 후단으로 갈수록 커지며, 길이는 전체 30m로 설계되었다. 디퓨저 재질은 연소 가스(염산 25%)의 부식 영향을 고려하여 유리섬유복합관(GRP Pipe)를 선정하였다.

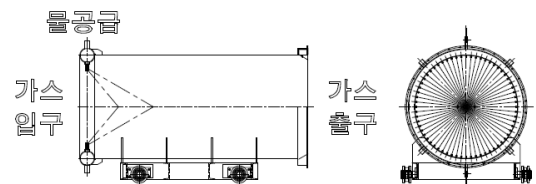


Fig. 2 물분사 노즐 및 디퓨저 상세도

### (3) 스택

Figure 3에서 보는 바와 같이 스택은 후류가스를 원활히 회전시키고, 내부에 물을 분사하여 2차로 소음을 감소시키는 장치이다. 스택의 직경은 3800mm, 높이는 12m로 설계되었다. 스택의 내부에 140개의 분사노즐이 2 단계로 설치되어 있다. 스택의 재질은 카본스틸이나 부식을 고려하여 내부에 에폭시 코팅을 하였다.

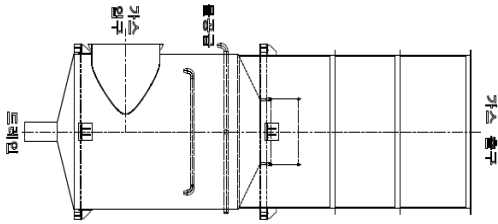


Fig. 3 스택 상세도

### (4) 물공급 및 유량제어장치

Figure 4에서 보는 바와 같이 노즐 끝단에 위치한 32개의 분사노즐에서 88kg/s의 물이 공급되고, 후단 디퓨저 및 스택에 설치된 분사노즐에서 132kg/s의 물이 공급되도록 설계되었다. 장치의 구성은 충분한 물을 공급하기 위해 2대의 펌프와 연소시험 중 제어실에서 모니터링을 위해 압력센서를 설치하였다.

유량제어장치는 공급되는 물의 유량을 제어하기 위해 12개의 자동 밸브를 설치하였고, 각각의 구역에 압력센서 및 온도센서(약 15채널)를 설치하여 연소시험 중 제어실에서 모니터링 할 수 있도록 설계되었다.

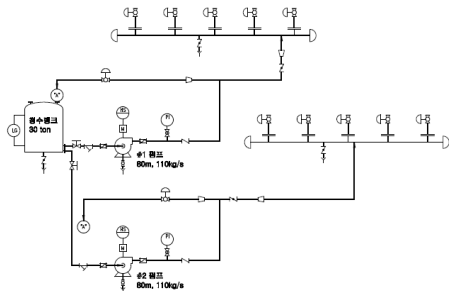


Fig. 4 물공급 및 유량제어장치 P&ID

## 3. 결 과

### 3.1 시험 결과

소음디퓨저 없이 로켓 모타의 연소시험에서 평균 80dBA 이상의 소음이 측정되었으나,, Table 1에서 보이는 바와 같이 물분사 소음디퓨저를 설치한 후에는 평균 59.2dBA로 약 20dB 이상의 소음저감효과를 얻을 수 있었다.

Table 1. 소음저감효과

시험 횟수	1차	2차	3차	4차	5차	평균
측정값	57.3	60.3	57.3	63.2	57.8	59.2
저감	22.7	19.7	22.7	16.8	22.2	20.8

목표값 80dBA이하

(단위; dBA)

### 3.2 결론

연소시험용 로켓 모타에서 발생하는 다양한 소음을 저감시키기 위한 방법의 한 가지로 배기가스에 물을 분사하여 1차로 소음을 줄이고, 후단에 디퓨저 및 스택을 설치하여 2차로 소음을 줄이는 물분사 소음디퓨저를 설계 및 제작하여 평균 20dBA의 소음저감효과를 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- Ollerhead, J. B., "On the Prediction of the Near Field Noise of Supersonic Jets," NASA CR-857, 1967
- Lighthill, M. J., "On Sound Generated Aerodynamically: 1. General Theory," Proceedings of the Royal Society of London A, Vol. 211A, 1952, pp.564 - 587
- Papamoschou, D., and Debiiasi, M., "Noise Measurements in Supersonic Jets Treated with the Mach Wave Elimination Method," AIAA Journal, Vol. 37, No. 2, Feb. 1999, pp.154 - 160.
- Papamoschou, D., and Debiiasi, M., "Directional Suppression of Noise from a High-Speed Jet,"

- AIAA Journal, Vol. 39, No. 3, March 2001, pp. 380 - 387
5. Norum, T. D., "Reduction in Multi Component Jet Noise by Water Injection," AIAA Paper 2004-2976, 2004.
  6. Krothapalli, A., Venkatakrishnan, L., Lourenco, L., Greska, B., and Elavarasan, R., "Turbulence and Noise Suppression of a High-Speed Jet by Water Injection," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 491, 2003, pp.131 - 159
  7. Krothapalli, A., Venkatakrishnan, L., Lourenco, L., Greska, B., and Elavarasan, R., "Supersonic Jet Noise Suppression by Water Injection," AIAA Paper 2000-2025, 2000
  8. Krothapalli, A., and Washington, D., "The Role of Water Injection on the Mixing Noise Supersonic Jet," AIAA Paper 1998-2205, 1998