

# 고에너지 음향환경시험 튜브 개발

## Development of High Intensity Progressive Wave Tube

김영기\* · 김홍배\* · 문상무\* · 우성현\* · 임종민\*

· Youngkey K. Kim, Hong-Bae Kim, Sang-Mu Moon, Sung-Hyun Woo and Jong-Min Im

**Key Words :** Environmental Test (환경 시험), Acoustic Environmental Test (음향 환경 시험), High Intensity Sound (고출력음), and Octave Band Control (옥타브밴드 제어)

### ABSTRACT

A high intensity progressive wave tube is installed at Korea Aerospace Research Institute (KARI) for acoustic environmental tests. The test facility has 700 mm x 800 mm cross-sectional area, and provides acoustic environment of 165 dB over the frequency range of 25 Hz ~ 10,000 Hz. The facility consists of a 6 m long acoustic wave tube, acoustic power generation systems, gases nitrogen supply systems, and acoustic control systems. This paper describes how the basic parameters of the facility and power generation systems are controlled to meet the requirement of the test. The shape and length of the tube has been designed by using the size of test objects and the wave propagation characteristics of the tube. The capacity of acoustic power generation systems is determined by the energy conversion of acoustic wave and the efficiency of acoustic modulators. Moreover, the paper introduces test run results of the tube. Overall of 163dB has been generated by using the test facility.

## 1. 서론

발사체 및 비행체의 연료 분사에 의해 발생하는 과도한 제트 소음은 비행체를 가진하여 전자부품의 손상을 초래할 수 있다. 고에너지 음향 환경은 비행체 전자장비에 주어지는 가혹 환경 중 가속도 및 진동과 더불어 임무수행 능력을 결정 하는 주요한 요소이다. 예를 들어 대부분의 위성에서 노즈분리부의 음압은 135dB 이상이며, 장거리 미사일의 경우 170dB 이상의 소음이 발생하는 경우도 있다.

고에너지의 자유음장에 노출되어 비행하는 전자장비는 개발과정에 이와 유사한 음향환경시험이 필수적으로 수행되어야 한다. 외부에 노출된 장비의 음향환경은 진행파라는 특성과 고에너지라는 두 가지 특성을 모두 만족하여야 한다. 본 연구는 이러한 시험 환경을 구성하기 위하여 고에너지 음향환경시험 튜브를 설계 및 제작하고 이를 검증한다.

고에너지 음향환경시험 튜브의 크기 및 형태는

음향 환경 시험에 요구되는 규격을 만족할 수 있도록 선정 된다. 음향 가진 시험시설은 165dB에 달하는 높은 음압의 소음을 생성하기 위하여 기화질소(Gases Nitrogen)를 노즐을 통해 분출하는 방법을 사용한다. 발생한 소음을 전달하는 혼의 특성과 튜브의 크기는 튜브내에 진행파가 형성될 수 있는 최적의 형태로 결정된다. 시험 규격은 MIL-STD 810 규격[1]에 규정되어 있으며, 본 연구에서는 이러한 규격을 만족하기 위해 튜브의 설계변수와 이에 따른 음원의 특성 및 가진 방법등을 설계한다.

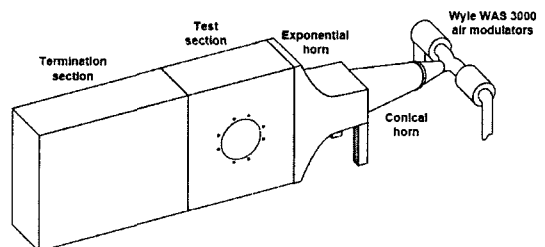


그림 1. 고에너지 음향환경시험 튜브

\* 한국항공우주연구원 다목적위성사업단  
E-mail : youngkey@kari.re.kr  
Tel : (042) 860-2186, Fax : (042) 860-2234

잔향환경이 구성되는 음향 환경 시험 시설은 대형잔향실을 이용해 사용되고 있다[2,3]. 대형 잔

향실에 음향환경시험 튜브와 동일한 방법으로 음압을 가진하여 최대 150dB 의 음압을 얻는 것이 가능하다. 하지만, 이러한 시설은 인공위성과 같이 페어링내에 존재하여 진향음장이 형성되는 상황을 모사한 것이다. 따라서 본연구에서는 튜브의 한쪽 면에 흡음끝단을 설치하여 진향과파가 형성하도록 구성하고 있다.

## 2. 시험 시설의 구성

고에너지 음향환경시험튜브는 시험을 수행할 수 있는 시험튜브와 튜브내에 음압을 재생하기 위한 음원 및 부대시설로 구성된다(그림 2). 160dB 이상의 고에너지 음압은 일반적인 전자기 방식의 스피커를 통해 재생할 수 없으며, 가스를 이용한 모둘레이션 방식의 음원을 사용한다[3]. 따라서 순간적으로 많은 양의 가스를 재생할 수 있는 기화기와 이를 제어할 수 있는 밸브들이 필수적으로 갖추어져야 한다. 본 연구에서는 액화질소를 기화하여 사용하는 방법을 취하였다.

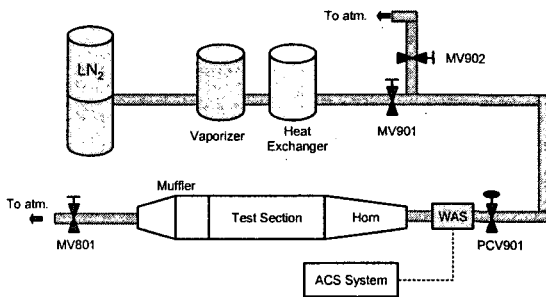


그림 2. 음원의 재생능력을 고려하여 설계된 음향환경시험 튜브의 재생성능 기준 스펙트럼

## 3. 시험 시설의 음압 재생 성능

음향환경 시험시설의 음압 재생 성능은 MIL-STD 810F 515.5 규격에서 규정하고 있다. 그림 2는 규격에 나타난 음압 스펙트럼의 형상을 나타낸다. 일반적으로 고에너지 소음을 재생하는 장비는 고주파영역에서 제어능력이 떨어지므로 실제 음압 재생 성능은 장비의 성능과 그림 3의 규격을 바

탕으로 하여 실제 장비가 재생할 수 있는 음압 스펙트럼이 결정된다.

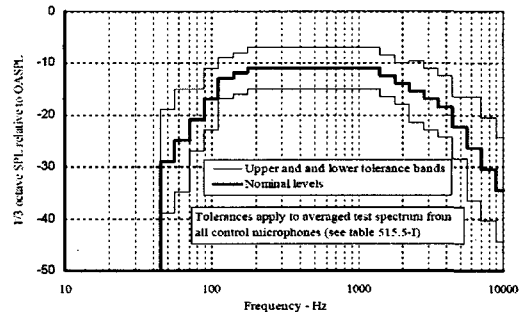


그림 3. MIL-810F 515.5에 정의된 일반적인 음향환경시험 스펙트럼

일반적으로 음향환경시험을 위해 사용되는 공기 모둘레이션 방식의 음원[3]은 25~600 Hz 대역의 음압을 재생한다. 600Hz 이상의 음압은 재생되는 저주파신호의 비선형성에 의해 자연스럽게 발생하는 신호를 사용한다. 고주파수의 소음은 주파수의 증가에 따라 감소하는데, 2~4dB/Octave 로 경험에 따라 추정할 수 있다. 고주파수 소음은 비선형성에 의해 발생하는 소음으로 낮은 레벨의 음압 재생에서는 감쇠 정도가 크며 높은 레벨의 음압을 재생하는 경우 감쇠 정도가 낮다[3]. 따라서, 이러한 현상을 고려하여 재생 음압을 결정하여야 한다. 그림 4은 165dB 음압을 재생하는 상황을 설정하여 음향 재생성능을 예측한 결과이다.

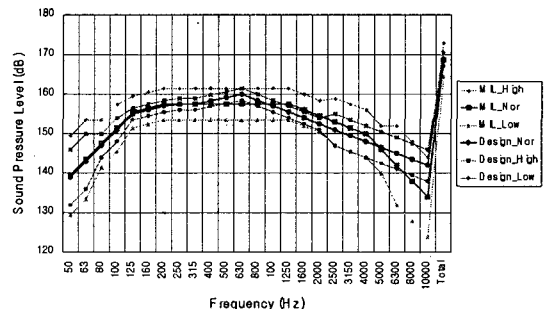


그림 4. 음원의 재생능력을 고려하여 설계된 음향환경시험 튜브의 재생성능 기준 스펙트럼

## 4. 튜브의 형상 설계

### 4.1 튜브의 단면 설계

튜브의 형상은 두 가지 측면이 고려되어 설계되어야 한다. 첫째는 최대 음압이 재생될 수 있도록 시험 수행가능 범위내에서 최소한의 단면적을 갖도록 설계되어야 한다. 둘째는 음원으로부터 시험 튜브까지 임피던스를 연속적으로 변화하도록 연결하여 에너지의 소비를 최소로 해주어야 한다.

재생되는 음압의 계산은 소음원의 음향파워와 진행파의 음향에너지관계로부터 구할 수 있다.

$$p^2 = \frac{\rho c \Pi}{A} \quad (1)$$

본 연구에 사용된 음원은 WAS-3000 으로 최대 음향파워가 30kW 이다. 따라서 시험 대상물의 크기를 고려하여 선정된 두 가지 단면적에 대해 음압을 구해 보면 표 1 과 같다. 본 연구에서는 165dB 의 재생이 목표 이므로 800x700 의 단면적을 갖는 튜브를 채택하였다.

표 1. 두 가지 단면적에 대한 튜브내의 음압 계산

Cross Sectional Area	800 x 700	400 x 700
Sound Pressure Level	167 dB	170

### 4.2 혼 설계

임피던스가 연속적으로 변화하는 혼의 단면적은 다음식으로부터 계산할 수 있다[4].

$$A(x) = A_0 \exp(2mx) \quad (2)$$

$$f_0 = \frac{mc}{2\pi} \quad (3)$$

여기서,  $f_0$  는 최소 주파수,  $m$  은 형상계수로 이를 조절하여 전체 혼의 길이와 입구 출구의 크기를 조절할 수 있다.

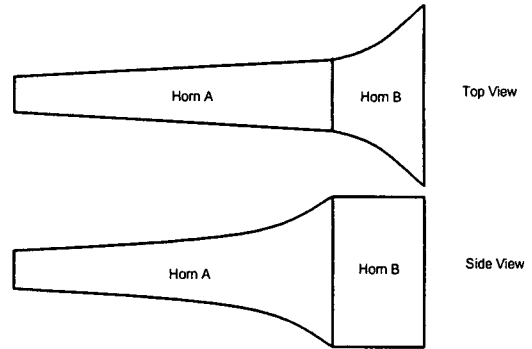


그림 5. 임피던스의 연속적 변화를 위한 혼의 형상

### 4.3 흡음재의 설계

최소 주파수 범위가 100Hz 이므로 이를 고려하여 흡음웨지를 설계할 수 있다. 100Hz 에서의 파장에 최소 1/4 을 고려하여 흡음웨지의 길이를 85cm 로 선정하였다. 이를 고려하여 테스트 튜브의 형상을 도시하면 그림 6 과 같다.

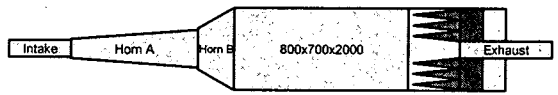


그림 6. 고에너지 음향환경시험 장치의 형상

## 5. 음압 스펙트럼 제어장치

### 5.1 제어 논리

제어 논리를 압축하여 표현하면 그림 7 과 같다. 측정된 신호가 피드백되어 재생된다. 이때 단순히 각 1/3 옥타브 밴드레벨만이 피드백 된다. 신호의 감시는 실시간 신호 및 1/3 옥타브 밴드 레벨에 대해 동시에 이루어 진다.

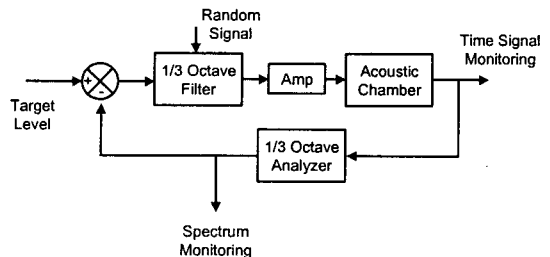


그림 7. 음압 스펙트럼 제어장치의 알고리즘

## 5.2 제어장치의 구성

제어 시스템의 기본 하드웨어는 개인용 컴퓨터이며 데이터 수집 및 신호 재생은 다목적 신호수집 보드를 사용하였다(그림 8). 음압의 측정은 마이크로폰을 사용하였으며, 마이크로폰 앰프에 장착된 필터를 안티알리어싱 (Anti-Aliasing) 필터로 사용하였다. 신호 수집 보드는 최대 8 채널까지 입력받을 수 있다.

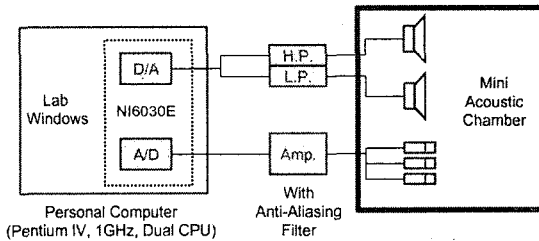


그림 8. 음압 스펙트럼 제어장치의 구성

## 6. 태양전지판 셀모듈 시험

검증시험의 일환으로 태양전지판 셀모듈의 음향환경 시험을 수행하였다. 일반적으로 태양전지판은 위성의 크기에 근접하게 제작되고 위성의 음향환경시험 레벨과 동일한 레벨로 시험되는 것이 일반적이다. 하지만, 초기 셀 개발 단계에서는 160dB 이상의 고에너지에서 환경시험을 수행할 필요가 있으므로, 고에너지 음향환경시험 튜브를 이용해 검증 시험을 수행하였다.

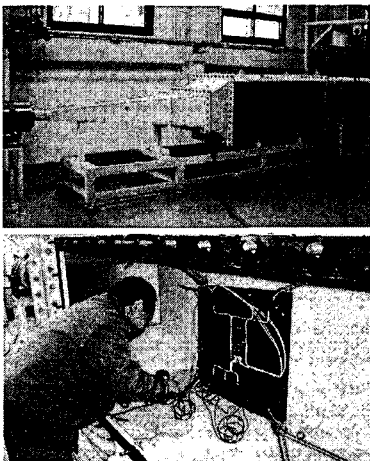


그림 9. 고에너지 음향환경시험 튜브 내부에 장착된 태양전지판 셀모듈

최대 재생 음압은 160dB 로 산정되었으며, 시험시간은 2 분이였다. 또한 내구성 검진을 위하여 163dB 로 최대 음압레벨이 재생되었다.

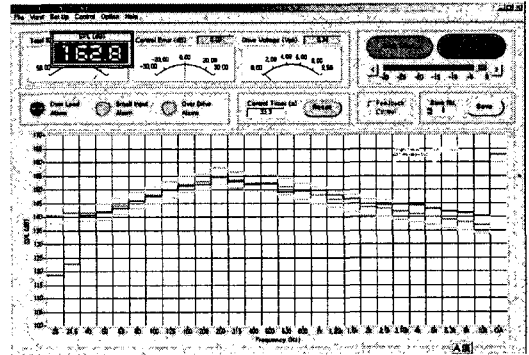


그림 10. 163dB음압 재생 결과

## 7. 요약

본 연구는 고에너지 음향환경시험 환경을 구성하기 위하여 고에너지 음향환경시험 튜브를 설계 및 제작하고 이를 검증하였다. 고에너지 음향환경시험 튜브의 크기 및 형태는 음향 환경 시험에 요구되는 규격을 만족할 수 있도록 선정 되었다. 음향 가진 시험시설은 165dB 에 달하는 높은 음압의 소음을 생성하기 위하여 기화 질소(Gases Nitrogen)를 노즐을 통해 분출하는 방법을 사용하였다. 시험 규격은 MIL-STD 810 규격[1]에 규정되어 있으며, 본 연구에서는 이러한 규격을 만족하기 위해 튜브의 설계변수와 이에 따른 음원의 특성 및 가진 방법등을 설계하였다. 최대 163dB 의 음압을 가진하여 검증하였다.

## 8. 참고문헌

- (1) US Department of Defense, "MIL-STD 810F, Department of Defense Test Method Standard For Environmental Engineering Consideration and Laboratory Tests." January 2000.
- (2) 김영기, 김홍배, 문상무, 우성현, 이상설, "음향챔버 내부의 1/3 옥타브 밴드 실시간제어 시스템," 한국소음진동공학회 2002년 추계 학술대회 논문집.
- (3) 김영기, 김홍배, 문상무, 우성현, 이상설, "설정 음압 및 스펙트럼 재현을 위한 음향 환경 시험 챔버의 기본 설계 변수 선정," 한국소음진동공학회 2002년 춘계 학술대회 논문집