

우주비행체 음향 환경 시험을 위한 고음압 잔향실 개발

김영기*, 김홍배**, 문상무***, 우성현****, 이동우*****

A High Intensity Reverberant Chamber for Spacecraft Acoustic Environmental Tests

Youngkey K. Kim*, Hong-Bae Kim**, Sang-Mu Moon***,
Sung-Hyun Woo****, and Dong-Woo Lee*****

Abstract

A high intensity acoustic test facility has been constructed at Korea Aerospace Research Institute (KARI). Spacecrafts are tested in the facility to check the reliability on acoustic environment of launch vehicles. The reverberant chamber of the facility has a volume of 1,228 cubic meters and provides an acoustic environment of 152 dB over the frequency range of 25 Hz to 10,000 Hz. This paper describes how the basic parameters of the facility including a chamber and power generation systems are designed. Moreover, design parameters including acoustic spectrum, acoustic modulator characteristics, reverberation time and isolation characteristics are experimentally verified during acceptance tests.

초 록

우주비행체 음향 환경 시험을 위한 고음압 잔향실이 한국항공우주연구원에서 개발되었다. 우주비행체는 우주로 발사되는 동안 발사체에서 발생하는 고음압의 음향환경에 노출되므로, 발사 이전에 음향 환경에 대한 신뢰성시험이 수행된다. 한국항공우주연구원에 개발된 음향챔버는 부피 1,228세제곱 미터이며, 152dB의 음압을 잔향실 내부에 재생한다. 재생 주파수 범위는 25Hz ~ 10,000Hz이다. 음향 환경 시험시설은 잔향실을 비롯해서, 질소 공급장치, 음원, 스펙트럼제어시스템등으로 구성된다. 본 논문은 시험시설을 구성하는 각 요소를 설계하기 위한 기본 개념을 서술한다. 또한 실제 건설된 음향챔버에서 측정된 결과를 바탕으로 음향챔버의 성능을 검증한다.

키워드 : 음향 환경(acoustic environment), 잔향실(reverberant chamber), 우주비행체(spacecraft), 시험장비 (test facility)

* 우주시험그룹/youngkey@kari.re.kr

*** 우주시험그룹/smoon@kari.re.kr

***** 우주시험그룹/dwlee@kari.re.kr

** 우주시험그룹/hbkim@kari.re.kr

**** 우주시험그룹/mach@kari.re.kr

1. 서 론

발사체 및 위성체는 개발 단계에서부터 음향 환경에 대한 검증시험을 필요로 한다. 국내 주도로 개발 중인 국산 소형 발사체 및 다목적 위성의 경우, 기존에 검증되지 않은 초도 생산 품목을 사용하므로 이에 대한 검증이 요구된다. 특히 중대형 위성은 질량에 비해 표면적의 크기가 큰 부품을 많이 사용하므로 음향 환경에 취약하다. 음향 환경 시험 시설은 이러한 부품들의 신뢰성을 발사 이전에 검증하고 이를 보완하기 위한 시설이다. 본 연구는 음향 환경 시험 시설 (그림 1)을 개발을 위한 기본 설계, 개발 및 검증시험을 수행한다.

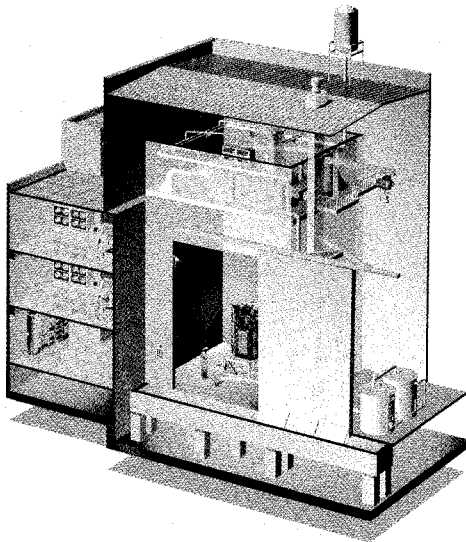


그림 1. 한국항공우주연구원 음향환경시험시설

음향 환경은 발사체에서 주어지는 가혹 환경 중 가속 및 진동과 더불어 위성의 임무수행 능력을 결정 하는 주요한 요소이다. 발사체 연료의 분사에 의해 발생하는 과도한 제트 소음은 위성체가 탑재되는 노즈분리부 (fairing) 내부로 전달되어 위성의 손상을 초래할 수 있다. 대부분의 위성에서 노즈분리부의 음압은 135dB 이상이며 이는 폭발물이 폭발할 때 발생하는 음압보다 크다. 음향가진 시험 시설은 시험 대상물을 잔향실

내에 설치한 후, 인위적으로 생성한 높은 음향에너지 시험대상물에 부과하여, 시험대상물의 성능을 검증한다.

음향 환경 시험 시설의 크기 및 형태는 음향 환경 시험에 요구되는 규격을 만족할 수 있도록 선정 된다. 음향 가진 시험시설은 150dB에 달하는 높은 음압의 소음을 생성하기 위하여 기화 질소 (Gases Nitrogen) 를 노즐을 통해 분출한다. 발생된 소음을 전달하는 혼의 특성과 챔버의 크기는 내부에 고른 음압 분포를 형성할 수 있는 최적의 형태로 결정된다. 본 논문은 이러한 규격을 만족하는 한국항공우주연구원의 시험 시설 개발을 위해 시험 시설의 기본 개념, 기본 설계 변수의 선정, 요구조건에 대한 연구 결과를 소개한다.

음향 환경 시험 시설의 검증은 기능시험과 성능시험으로 구분된다. 기능시험은 음향시험을 지원하기 위한 각종 기계 장치 및 전기 전자 장치의 점검이다. 성능시험은 음향학적 성능을 결정짓는 주요 변수 및 음향학적 기능을 점검하는 시험이다. 본 연구에서는 기능시험을 위주로 설계 변수의 적절성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 음향 환경 시험 시설의 설계

2.1.1 음향 환경 시험 수준

음향 환경 시험 시설의 최대 음압 레벨은 전세계 상용 발사체의 페어링 내부 음압레벨을 모두 포함하면서 제어의 융통성을 확보할 수 있도록 설계된다. 그림 2는 사용빈도가 높은 발사체 페어링 (fairing) 의 내부 음압을 표시한 것이다. 음압이 138dB에서 149dB까지 넓게 분포함을 알 수 있다. 20Hz에서 100Hz까지 서서히 증가하고, 100Hz에서 1kHz까지 주 주파수 대역을 이루다가, 10 kHz까지 서서히 감소함을 알 수 있다.

그림 3은 이러한 특성을 바탕으로 설정된 한국 항공우주 연구원 음향 환경 시험시설의 음압 요구 조건이다. 그림 2의 발사체의 음압에서 최대 음압이 149dB인 점을 감안하여, 본 시설의 최

대 음압은 +3dB의 여유를 두어 152dB로 설정하였다. 또한 본 시설은 노즐을 사용한 음원을 사용하므로, 낮은 레벨의 음압 재생에 제한이 있다. 최소 가진 가능한 음압은 그림 2의 데이터를 바탕으로 130dB로 설정하였다. 허용 오차는 실제 음향에너지 부과장치로부터 음압의 제한이 용이한 저주파수 대역은 $\pm 1\text{dB}$ 로 설정하고 제어가 불가능한 고주파수 대역은 $\pm 4\text{dB}$ 로 설정하였다. 저주파 모우드가 강하게 형성되는 20Hz 대역도 -1dB/+3dB로 기준을 완화하였다.

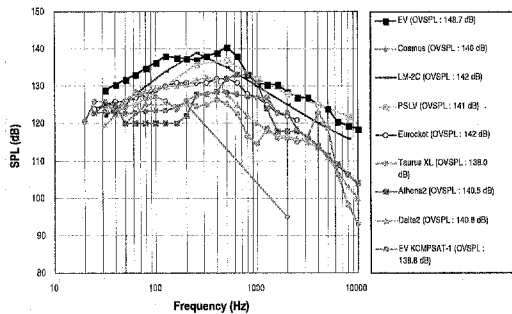


그림 2. 중형급 상용발사체의 페어링 내부 소음

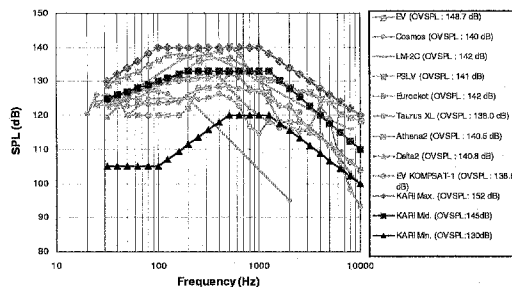


그림 3. 한국항공우주연구원 음향 시험시설의 성능 규격

2.1.2 잔향실의 형상 설계

A 잔향실의 형상설계 순서

챔버 크기는 두 가지 원칙으로부터 구할 수 있다. 첫째, 내부의 음장이 확산 음장 (Diffuse Field) 이어야 하며, 우주 비행체의 가진을 위해

높은 모드 밀도를 형성하여야 한다. 따라서, 잔향실의 크기는 시험 대상물의 크기 및 최저 가진 주파수에 의하여 결정된다. 음향 챔버의 크기가 커질 수록 저주파수에서 확산 음장의 형성이 쉬워지므로, 사용하고자 하는 최저 주파수를 결정하고 이를 수용할 수 있는 챔버의 크기를 결정하는 것이 우선적으로 수행되어야 한다.

구체적인 결정 순서는 다음과 같다.

- 가. 최소 가진 주파수의 결정
- 나. 시험 대상의 크기 조사
- 다. 최소 길이(Dimension)의 대략적인 결정.
- 라. 음향 챔버의 형상 설계
- 마. Q-Factor에 의한 모드밀도 확인

이때, 최종적으로 계산된 최저 주파수가 초기의 가정과 일치하지 않으면 위의 작업을 반복 수행한다. 그림 4는 이러한 일련의 과정을 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다.

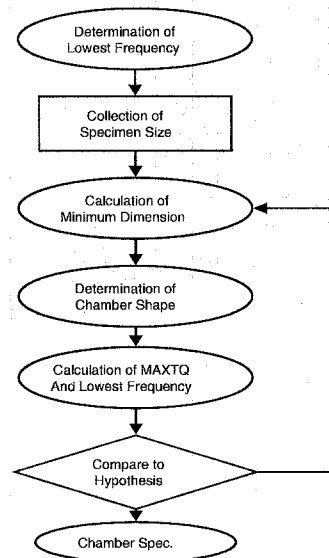


그림 4. 챔버 형상결정을 위한 순서도

B 단계 가~다: 음향챔버 최소 주파수 및 길이 결정

최저 주파수와 위성의 크기는 기존의 데이터를 이용해 결정할 수 있다. 대부분의 발사체의 음압 규격이 25Hz에서 시작되므로 본 시설의 최저 주파수는 25Hz로 선정하였다. 또한, 현재까지 개발된 보편적인 위성체 및 발사체 페어링 등의 형상별 최대 치수는 지름 4m에 높이 8m에 이른다.

음향 챔버의 최소 길이는 위의 최대 크기와 내부 음장 특성으로부터 결정할 수 있다. 노즈부 리부의 음장은 모든 부분이 동일한 음압을 갖는 확산음장 (Diffuse Field) 로 알려져 있으므로 음향 환경 시험 조건도 확산음장의 조건을 최대한 만족시켜야 한다. 하지만, 저주파수 부근의 공진 주파수에서는 강한 모우드가 발생하므로 공간내의 음압 분포가 급격한 변화를 나타내게 된다. 따라서, 저주파대역에서의 과도한 음향 가진 효과를 최대한 줄이고, 제어성 등을 고려하여 잔향실 벽면과 시험대상물사이의 거리는 최저 가진 주파수의 파장정도를 유지하여야 한다. 이를 이용해 한국 항공우주 연구원에 설치될 잔향실의 최소 치수를 계산하면 8 ~ 9 m가 된다.

C 단계 라: 음향챔버의 형상결정

챔버의 설계에 있어서 가장 중요한 사항은 챔버의 확산음장을 모든 관심 주파수 대역에서 균일하게 얻기 위하여 모드 분포를 고르게 하는 것이다. 잔향실 설계에 있어서 전통적으로 사용되어오고 있는 최적 실비율은 다음과 같다 [2].

$$L : W : H = 1 : 2^{1/2} : 4^{1/3} \quad (1)$$

여기서 L은 챔버의 길이, W는 폭, 그리고 H는 높이를 나타낸다. 잔향실의 최소치수를 8.5m로 선정한 후 식(1)에 따라 결정된 잔향실 내부의 치수는 그림 5와 같다. 주출입구의 크기는 그림 8에 나타난 시험 대상물의 크기를 고려하여 7m x 11m으로 설계하였다.

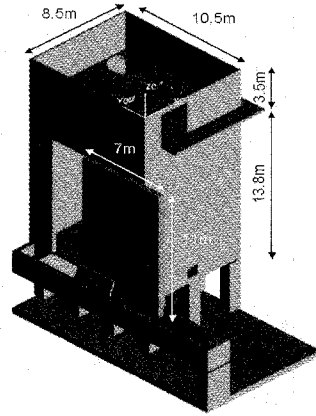


그림 5. 한국항공우주연구원 음향챔버의 형상 및 크기(상부는 혼을 설치하기 위한 혼룸)

D 단계 마: Maximum Test Item Q-Factor[3]에 의한 최저 주파수 확인

시편과 음향 챔버의 공진 주파수 간격에 따라, 시편이 가진 되는 주파수의 특성이 변화한다. 예를 챔버의 공진 주파수의 간격은 매우 좁고, 반대로 동일 주파수 대역에서 시편의 공진 주파수의 간격이 매우 넓다면, 아주 이상적이 음향 챔버가 될 것이다. 시편의 공진 주파수를 포함한 모든 주파수 대역이 골고루 가진 될 수 있기 때문이다. 하지만, 이와 반대의 현상을 보인다면, 시편은 음향챔버의 공진주파수에서만 가진 되어, 올바른 시험을 수행할 수 없게 된다. 따라서 이러한 관계를 이용하여 음향 챔버의 최저주파수를 결정할 수 있다.

두 공진 주파수의 간격을 모드간격 (MS, Modal Spacing) 이라 정의하면 이의 역수는 모드밀도 (MD, Modal Density) 가 된다. 직육면체의 경우 이러한 모드밀도는 간단한 식으로 표현될 수 있다 [4].

$$MD = \frac{4\pi V}{c^3} f^2 + \frac{\pi S}{2c^2} f + \frac{L}{8c} \quad (2)$$

여기서, MD는 모드밀도 (Modal Density), V는 음향 챔버의 체적, S는 음향 챔버의 표면적, L은 음향 챔버 코너의 총 길이, c는 공기의 전파 속도를 나타낸다.

모드 간격은 모드 밀도의 역수로 다음과 같이 표시된다.

$$MS = \frac{1}{MD} \quad (3)$$

여기서 MS는 모우드 간격을 나타낸다.

시편의 공진 주파수 간격은 Q-Factor를 이용해 대변할 수 있다. 공진 주파수 부근에서 댐핑의 정도를 나타내는 Q-Factor는 실제 공진 주파수의 상대적인 간격을 나타낼 수 있다. 예를 들어 댐핑이 작아지면 주파수 영역에서 공진에 의한 응답이 한 주파수에만 집중되므로, 요구되는 음향 챔버의 공진 주파수 간격이 작아져야 한다. 따라서, Q-Factor를 이용해 시편의 공진 주파수 간격을 설명할 수 있다.

Q-Factor는 일자유도 공진 시스템을 가정하여 정의된다. 피크의 크기에서 반이 되는 주파수를 찾아 그 간격을 정의하고, 그 간격과 중심 주파수의 크기를 비교하여 Q-Factor정의한다.

$$Q_{II} = \frac{f_{II}}{\Delta f_{II}} \quad (4)$$

여기서 QTI는 Q-Factor를 나타내며, fTI는 공진 주파수, ΔfTI는 피크의 크기에서 반이 되는 주파수의 간격을 의미한다. 따라서, 역으로 시편의 Q-Factor를 아는 경우, 주파수 간격은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta f_{II} = \frac{f_{II}}{Q_{II}} \quad (5)$$

앞서 설명한 바와 같이 음향 챔버를 이용한 적절한 가진이 이루어지려면 위의 주파수 간격이 음향 챔버의 모드 간격에 비해 커야 한다. 즉 다

음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\Delta f_{II} = \frac{f_{II}}{Q_{II}} \geq MS_{CH} \quad (6)$$

여기서 MSCH는 음향 챔버의 모드 간격을 의미한다.

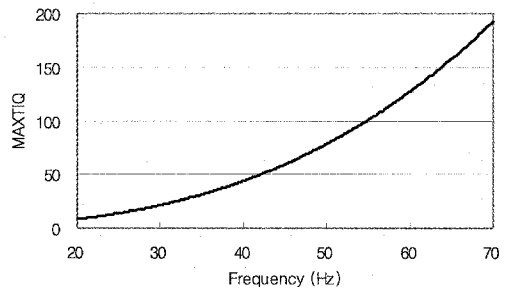


그림 6. 한국항공우주연구원 음향 챔버 (8.5m x 10.5m x 13.8m)의 Maximum Test Item Q-Factor

따라서 이러한 관계를 간단한 지표로 나타낼 수 있는 Maximum Test Item Q-Factor는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$MAXTIQ = \frac{f_{II}}{MS_{CH}} \quad (7)$$

즉, 음향 챔버가 결정되었을 때, 사용할 수 있는 시편의 각 주파수에서의 최대 Q-Factor를 식 (6)의 MAXTIQ값으로부터 알 수 있다. 또한, 역으로 시편을 가정하면 음향 챔버의 최저 허용 주파수를 계산할 수 있다.

그림 6는 한국 항공우주 연구원 음향 챔버의 MAXTIQ값을 나타낸다. 일반적으로 저주파수에 서위성체가 20이하의 Q-Factor를 가지므로, 한국 항공우주 연구원 음향 챔버의 최저 주파수는 30Hz라 할 수 있다.

2.1.3 액츄에이터의 파워 및 규격 결정

챔버 내에 150dB 이상의 큰 음압을 형성하기 위해서는 그림 7과 같이 고압의 질소가스를 노즐에 통과시켜 음압을 발생시키는 일종의 액추에이터 (Actuator) 를 사용한다. 액추에이터는 용량에 따라 다양한 모델이 존재하므로, 건설하고자 하는 음향 환경 시험시설의 크기에 따라 적절한 선정 작업을 거쳐야 한다. 본 절에서는 선정방법을 서술한다.

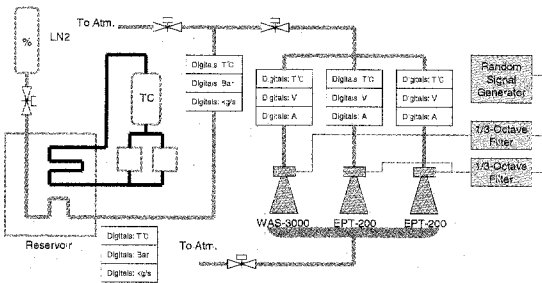


그림 7. 음향 환경 시험 시설의 액추에이터 제어 시스템

액추에이터 용량은 챔버 내부에 가해져야 할 음향 파워와 액추에이터의 효율을 이용해 결정할 수 있다.

$$W_a = W_c / \eta_{ac} \quad (8)$$

여기서, W_a 는 액추에이터의 파워, W_c 는 챔버 내부의 음향 파워를 나타낸다.

챔버 내의 음향 파워는 챔버 내의 음장을 확산음장으로 가정할 때, 내부의 음압과 다음과 같은 관계를 갖는다 [5].

$$W_c = \frac{(4mV + S\alpha)}{4pc} p^2 \quad (9)$$

여기서, p 는 내부 음압, m 은 질소의 흡음 계수, α 는 챔버 벽면의 흡음 계수이다.

식 (9)을 음압 레벨의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$L_{w_c} = L_p + 10 \log(4mV + S\alpha) - 6 (dB) \quad (10)$$

따라서, 식 (10)로부터 설정된 음압 규격 (L_p)을 이용해 챔버에 필요한 음향 파워 (L_w)를 계산할 수 있다. 이때, 필요로 하는 벽면의 흡음률과 질소 가스의 흡음률은 $\alpha = 0.018$, $m = 0.000334$ 의 값을 사용하였다. 표 1은 계산된 음향 파워이다.

표 1. 설정된 음압을 재현하기 위한 액추에이터의 파워

| Stage | Required SPL (dB) | Required Power (W) | Coupling Coefficient | Actuator Power (W) |
|-------|-------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 1st | 145 + 3 | 2,500 | 0.18 | 14,000 |
| 2nd | 152 + 3 | 13,000 | 0.18 | 70,000 |

표 1의 결과를 이용해 음향에너지 부과 장치를 선정할 수 있다. 하지만, 일반적인 음향 부과 장치는 주파수 영역에 제한을 작으므로, 이를 고려하여 주파수 대역 별로 다수의 액추에이터를 선정하여야 한다. 그림 8은 이를 고려한 제어 시스템의 개념도 이다. 재생하고자 하는 신호를 각각 주파수 별로 분해하여 각각의 혼에 입력한다. 그림 8은 25~500Hz를 재현하는 우퍼 (Wofer) 와 500~2,000Hz를 재현하는 미드레인지 (Midrange)를 사용한 것이다. 특징적인 것은 2,000Hz이상의 소음은 별도의 소음원 없이 음파의 비선형성을 이용해 생성되는 소음에 의해 발생된다.

혼 (Horn) 은 구분된 주파수 영역에 따라 선정할 수 있다. 예를 들어 주파수 영역의 구분을 25Hz~250Hz, 250Hz이상으로 구분한 경우라면, 저주파수용은 25Hz의 임계주파수 (Cutoff Frequency) 를 갖는 혼을 사용하면 된다. 다음 주파수 영역은 250Hz의 임계주파수를 선택한다.

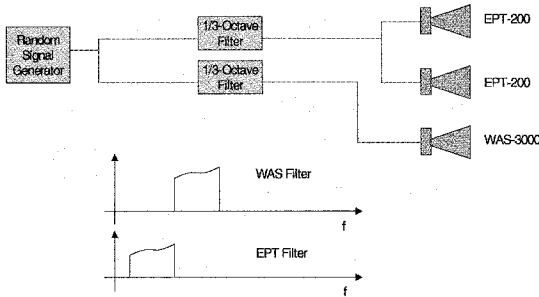


그림 8. 음향 환경 시험 시설의 음압 제어 개념

표 2는 이러한 기준을 바탕으로 선정된 액추에이터이다. 1단계는 145dB를 음압을 재생하기 위한 액추에이터 조합이며, 2단계는 152dB를 재생하기 위한 조합이다.

표 2. 음향 환경 시험시설에 사용된 액추에이터 및 특성

| Stage | Actuator | Power | Horn Cutoff | Remark |
|-----------------|-----------|-------|-------------|----------------|
| 1 st | WAS -3000 | 10 kW | 25 Hz | Total 40 kW |
| | EPT -200 | 30 kW | 125 Hz | |
| 2 nd | WAS -3000 | 10 kW | 25 Hz | Total 80 kW |
| | WAS -3000 | 10 kW | 80 Hz | |
| | EPT -200 | 30 kW | 125 Hz | |
| | EPT -200 | 30 kW | 200 Hz | |

혼의 조합이 결정되면 챔버 내부의 음압을 주파수 별로 예측할 수 있다. 음원의 특성은 알려져 있으므로 벽면의 흡음율을 가정하면 식 (10)을 이용하여 내부의 음압을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 동일 크기를 갖는 외국 음향챔버의 잔향시간 (T60)을 이용하여 벽면의 흡음율을 계산하고 이를 바탕으로 스펙트럼을 예측하였다. 그림 9는 예측된 음압을 나타내며, 설정규격인 145dB를 만족하는 것을 알 수 있다.

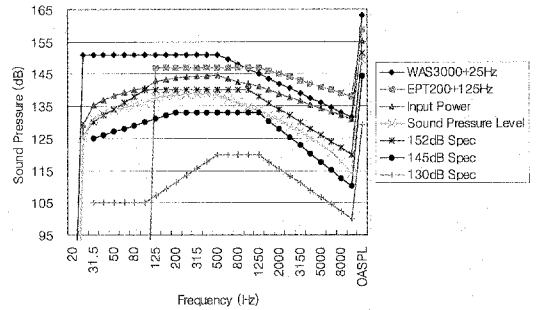


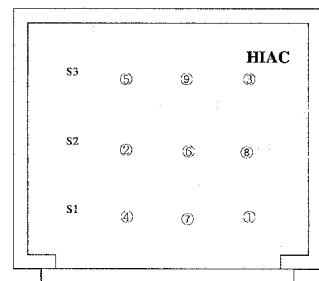
그림 9. 음향환경시험챔버 내부의 음압 예측

2.2 음향 환경시험시설의 성능시험

2.2.1 잔향시간의 측정

챔버의 흡음정도를 파악하기 위해 잔향시간을 측정하고 이를 외국의 예에 비교하여 평가하였다.

잔향시간의 측정은 음원에서 음 에너지를 발생시키고 음원을 끈 후 시간에 따른 감쇠 경향을 Octave Band Analyzer에 저장한 후 잔향시간을 분석하였다. 측정시 소음원의 위치는 그림 10의 2번과 8번이다.



S1, S2, S3 : 음원의 위치

①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨ : 각 수음 점의 위치

그림 10. 잔향시간 및 확산음장 측정 위치도

표3은 측정된 잔향시간을 브라질 INPE의 음향 챔버와 비교한 결과 이다. 전 주파수 대역에서 한국항공우주연구원의 챔버의 흡음이 적음을 알 수 있다.

표 3. 잔향시간 (T60)의 측정 결과

| Freq. (Hz) | KARI | A Site | Remark |
|------------|------|--------|--------|
| 10000 | 2.2 | 1.5 | |
| 8000 | 2.5 | 2.1 | |
| 6300 | 3.9 | 2.4 | |
| 5000 | 4.1 | 3.75 | |
| 4000 | 5.4 | 4.8 | |
| 3150 | 6.6 | 6 | |
| 2500 | 7.6 | 6.9 | |
| 2000 | 8 | 8.25 | |
| 1600 | 8.9 | 9 | |
| 1250 | 9.5 | 9.75 | |
| 1000 | 10.1 | 10.8 | |
| 800 | 10.3 | 11.4 | |
| 630 | 10.8 | 11.43 | |
| 500 | 11 | 13.9 | |
| 400 | 11.6 | 14.4 | |
| 315 | 13.6 | 15.75 | |
| 250 | 15.7 | 16.5 | |
| 200 | 17.8 | 17.4 | |
| 160 | 20.2 | 17.25 | |
| 125 | 21.7 | 18.9 | |
| 100 | 24.5 | 17.4 | |
| 80 | 33.4 | 15.6 | |
| 63 | 38.4 | 15.9 | |
| 50 | 33.9 | 18.89 | |
| 40 | 33.2 | 15.75 | |
| 31.5 | 36.7 | 13.2 | |
| 25 | 31.6 | | |
| Overall | 17.5 | 13.2 | |

2.2.2 확산 음장 측정

확산음장의 측정을 판단하기 위한 음압 분포의 측정은 그림 10에 표시된 위치에서 이루어 졌다. 측정결과는 다음 식 (11)을 이용해서 표준편 차로 계산되었다.

$$S_s = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_s} (\bar{L}_{pi} - L_{pm})^2 / (N_s - 1)} \quad (11)$$

여기서, S_s : 실내 평균 음압레벨의 표준편차 (dB)

N_s : 음원의 설치위치 수

\bar{L}_{pi} : i 번째 음원위치에서의 실내 평균 음압

레벨 (dB)

$$\bar{L}_{pi} = 10 \log \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{L_{pi,j}/10} \right]$$

여기서, $L_{pi,j}$: i 번째 음원의 설치위치에 대하여 j 번째 측정점에서 측정된 음압레벨 (dB)

N_M : 측정점 수

표 4는 측정결과를 나타낸다. 25Hz 이상에서는 표준편차가 1.2dB 이내로 매우 작음을 알 수 있다.

표 4. 확산음장 측정 결과

| 1/3 Octave Band 주파수 (Hz) | 측정 표준편차 | 허용 표준편차 |
|--------------------------|---------|---------|
| 20 | 2.2013 | - |
| 25 | 1.1927 | |
| 31.5 | 0.7765 | |
| 40 | 0.4034 | |
| 50 | 0.3486 | |
| 63 | 0.8772 | |
| 80 | 0.1615 | |
| 100 | 0.6711 | |
| 125 | 0.0648 | |
| 160 | 0.228 | |
| 200 | 0.061 | 2 |
| 250 | 0.0477 | |
| 315 | 0.0498 | |
| 400 | 0.0397 | |
| 500 | 0.0207 | |
| 630 | 0.0198 | 1.5 |
| 800 | 0.0154 | |
| 1000 | 0.0066 | |
| 1250 | 0.0089 | |
| 1600 | 0.0047 | |
| 2000 | 0.0232 | 3 |
| 2500 | 0.0105 | |
| 3150 | 0.0037 | |
| 4000 | 0.0177 | |
| 5000 | 0.0345 | |
| 6300 | 0.0354 | - |
| 8000 | 0.1234 | |
| 10000 | 0.0513 | |
| 12500 | 0.0211 | |
| 16000 | 0.0212 | |
| 20000 | 0.0317 | |
| OVERALL | 0.0036 | |

2.2.3 공진 주파수 측정

챔버설계에 기초가 되는 챔버의 공진주파수의 측정은 확산음장 측정과 동시에 이루어졌다. 측정된음압의 파워 스펙트럼을 구하여 이의 피크값을 읽는 형태로 공진주파수를 측정하였다. 그림 11은 측정된 파워스펙트럼의 예제이다.

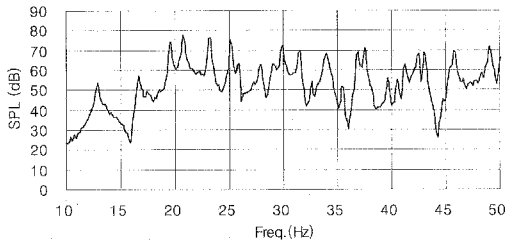


그림 11. 잔향실 내부에서 측정된 음압 신호의 파워스펙트럼

표 5는 측정된 공진주파수를 나타낸다. 이론적으로 구한 공진주파수와 유사함을 알 수 있다. 따라서, 이결과는 공진주파수에 근거해서 이루어졌던 챔버설계를 간접 검증한다.

표 5. 음향챔버 공진주파수의 측정 결과

| MODE NO | 실의 가로 | | | 이론적인 음향모드 | 실험으로 구한 음향모드 | | | |
|---------|-------|------|--------|--------------|--------------|-------|-------|-------|
| | 10.5m | 8.5m | 13.73m | | 위치(1) | 위치(2) | 위치(3) | 위치(4) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 12.4 | 12.9 | 12.9 | 13 | 13 |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 16.2 | 16.6 | - | 16.6 | 16.5 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 20 | 19.6 | 19.6 | 19.5 | 19.6 |
| 5 | 1 | 0 | 1 | 20.4 | 20.8 | 20.8 | 20.8 | 20.8 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 23.5 | 23.1 | 23.1 | 23.3 | 23.1 |
| 7 | 0 | 0 | 2 | 24.7 | 25.1 | 25.1 | 25.1 | 25.1 |
| 8 | 1 | 1 | 0 | 25.7 | 25.9 | 25.9 | 25.9 | - |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 28.5 | 27.9 | - | 27.9 | 29 |
| 10 | 1 | 0 | 2 | 29.6 | 29.9 | 30 | 29.9 | - |
| 11 | 0 | 1 | 2 | 31.8 | 31.5 | 31.5 | 31.5 | 31.5 |
| 12 | 2 | 0 | 0 | 32.4 | 32.6 | 32.6 | - | 32.6 |
| 13 | 2 | 0 | 1 | 34.7 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 14 | 1 | 1 | 2 | 35.7 | 35.4 | 35.4 | 35.4 | 35.4 |
| 15 | 0 | 0 | 3 | 37.1 | 36.9 | 36.8 | 36.8 | 36.8 |
| 16 | 2 | 1 | 0 | 38.1 | 37.5 | 38.4 | 38.4 | 38.4 |
| 17 | 0 | 2 | 0 | 40 | 39.6 | 39.8 | 39.8 | - |
| 18 | 2 | 1 | 1 | 40 | - | - | - | - |
| 19 | 1 | 0 | 3 | 40.5 | 40.5 | - | - | 40.5 |
| 20 | 2 | 0 | 2 | 40.7 | - | - | - | - |
| 21 | 0 | 2 | 1 | 41.9 | 41.3 | 41.8 | 41.3 | 41.4 |
| 22 | 0 | 1 | 3 | 42.1 | 42.5 | 42.5 | - | 42.5 |
| 23 | 1 | 2 | 0 | 43.2 | 43 | - | 43 | - |
| 24 | 1 | 2 | 1 | 44.9 | - | - | 44.8 | - |
| 25 | 1 | 1 | 3 | 45.1 | - | - | - | - |
| 26 | 2 | 1 | 2 | 45.4 | 45.8 | 45.8 | 45.8 | 45.5 |
| 27 | 0 | 2 | 2 | 47 | - | 47.1 | 47.1 | 47.1 |
| 28 | 3 | 0 | 0 | 48.6 | 49.1 | 48.6 | 49.1 | 49.1 |
| 29 | 2 | 0 | 3 | 49.2 | - | - | - | - |

2.2.4 최대 음압 측정

저주파수 음원과 고주파수 음원의 특성을 각각 확인하고, 두 음원을 동시에 작동하여 최대가진 음압을 측정하였다.

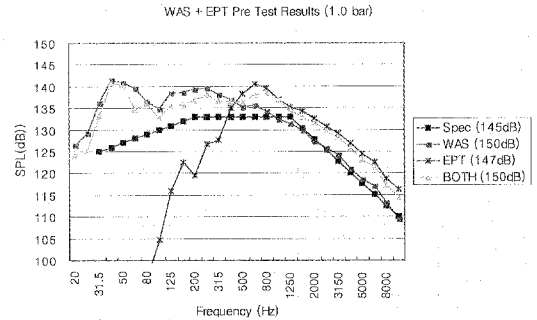


그림 12. 잔향실 내부에서 측정된 음압 신호의 파워스펙트럼

그림 12는 측정된 음압을 음압요구 조건 (145dB) 과 비교하여 그린 그림이다. 모든 주파수에서 설정음압을 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 최대음압은 150dB로 기준 음압에 비해 약 5dB가량의 마진이 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 음향 환경 시험의 기본 형상 및 액츄에이터를 선정하기 위한 기본 변수를 선정하였다. 챔버의 크기는 음장의 확산성을 확보하기 위한 최소의 크기로 선정되었다. 최종 크기는 8.5m x 10.5m x 13.8m이다. 선정된 크기에서 시험 가능한 최저 주파수는 MAXTIQ계수에 의해 계산할 수 있으며, Q-Factor가 10인 위성을 시험할 경우, 25Hz 대역부터 공진주파수의 가진이 보장된다. 액츄에이터의 파워는 챔버 내부의 흡음에 의한 파워의 소모에 의해 선정되었으며, 음압의 단계별로 각각 2개, 4개의 액츄에이터를 선정하였다. 인증검사는 성능 시험위주로 이루어졌으며, 잔향시간, 확산음장정도 모두 규격을 만족하였다. 최대음압을 150dB로서 모든 주파수에서 규격음압을 만족하며, 기준에 비해 약 5dB정도의 마진을 갖는다.

참 고 문 헌

1. 김홍배, 문상무, 김성훈, 우성현, 이상철, "다목적 실용위성 2호 구조-열 모델의 음향환경 시험", 춘계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, 2002.
2. Sepmeyer, L. W., "Computed Frequency and Angular Distribution of normal Modes of Vibration in Rectangular Rooms," Journal of Acoustic Society of America, Vol. 37, pp. 413-423, 1955.
3. Personal communication with Mr. Alain Launay, Intespace, Toulouse, France.
4. Pierce, Allan D., "Acoustics," New York, McGraw-Hill, Chapter 6, 1981.
5. Irwin, J. D., and Graf, E. R., "Industrial Noise and Vibration Control," Prentice-Hall, INC., Chapter 6, 1979.