

# 위성 발사체 탑재부 저주파 음향 모드 제어를 위한 공명기 배치 설계 Design of Acoustic Resonator Array for Low Frequency Mode Control of Launch Vehicle

서상현\* · 박순홍\*\* · 장영순\*\* · 이영무\*\* · 조광래\*\*

Sang-Hyun Seo, Soon-Hong Park, Young-Soon Jang, Yeong-Moo Yi and Gwang-Rae Cho

**Key Words :** Acoustic Mode(음향 모드), Acoustic Resonator(음향 공명기), Absorption Coefficient(흡음률), Sound Pressure Level(음압 레벨)

## ABSTRACT

To protect a satellite and electronic equipment from the acoustic loads generated by rocket propulsion system, many launch vehicle use acoustic blanket. Most high frequency region of the acoustic loads is reduced by nose fairing skins and acoustic barrier, but low frequency region is not. In order to control low frequency acoustic mode, we designed array resonator panel which was made of composite materials. This paper shows the absorption coefficient measurement result of resonator and SPL(Sound Pressure Level) reduction by using resonators in a rectangular cavity for experiment. Proper arrangement of acoustic resonators at each mode reduce effectively SPL around the satellite through changing boundary condition.

## 1. 서 론

위성 발사체의 추진 기관에서 발생하는 음향하중(acoustic load)은 탑재한 위성체 및 기타 탑재물을 가진하는 중요한 진동원 중 하나이다. 특히 발사체 상단부의 경우, 추진 기관에 의한 진동 중 고주파 요소는 대부분 감소되어 전달되므로 음향 하중이 가장 주요한 동적 하중으로 작용하게 된다.

음향 하중에 의한 위성체 또는 탑재물의 가진 레벨을 줄이기 위해서는 먼저 이들을 보호하기 위한 노즈 페어링 외피에 대한 차음 특성을 고려하는 것이 필요하다. 그러나, 일반적으로 페어링에 의한 외부 음향 하중의 차음만으로는 위성체나 탑재부가 견딜 수 있는 음향 하중 레벨을 초과하므로 이를 더욱 감소시킬 수 있는 음향 블랭킷(acoustic blanket)등의 음향 제어 기구를 사용하게 된다.

음향 블랭킷의 사용 목적은 페어링 외피와 결합된 상태에서의 차음 및 내부 음향 공간의 흡음 특성을 증가시키기 위한 것으로 볼 수 있다. 일반적인 차음재

를 적용할 경우 고주파 영역에서는 우수하지만 저주파 영역에서의 차음 성능을 만족시키기 위해서는 질량 법칙(mass law)을 고려할 때 무게가 크게 증가해야 하기 때문에 발사체의 경우 적합하지 않다. 그러한 이유로 저주파 영역에서는 차음보다는 특정 주파수에서의 흡음을 목적으로 하는 헬름홀츠 공명기(Helmholtz resonator)를 적용하게 된다.

따라서 음향 공명기의 설계를 위해 먼저 내부 공간의 음향 모드(acoustic mode)를 파악한 후 문제가 발생할 소지가 있는 특정 주파수에서의 음향 모드를 감소시키기 위한 공명주파수를 결정하게 된다. 이런 과정을 통하여 설계된 공명기의 특성을 이용하여 해당 모드에서 가장 효율적으로 제어할 수 있는 적절한 개수와 배치를 파악하는 것이 필요하다.

## 2. 공명기의 설계

### 2.1 헬름홀츠 공명기

공명기(resonator)란 공동(cavity)과 좁은 목(neck)으로 이루어져 있는 음향기구로 그 공명주파수(resonance frequency)에서 높은 흡음성능을 가진다. 공명기 목 외부의 음압을 가진력, 목에서 동일한 속도로 움직이는 공기입자를 질량요소로 생각할 수 있으며, 공동을 이루는 체적요소가 스프링 역할을 하는 1

\* 한국항공우주연구원  
E-mail : ssh@kari.re.kr  
Tel : (042) 860-2541, Fax : (042) 860-2233

\*\* 한국항공우주연구원

자유도 기계모델로 상사시킬 수 있다.

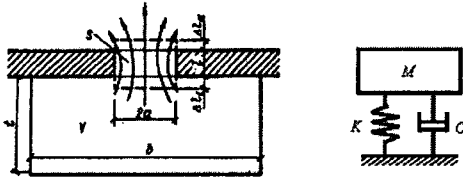


Fig. 1 Geometry of Helmholtz resonator

흡음은 공명기 목 부분에서 일어나는 점성마찰, 열전도 등에 의한 에너지 손실로 의하여 일어난다. 이러한 특성은 임피던스(impedance) 특성으로 나타나는데, 공명기 임피던스의 레지스턴스(resistance)는 목 부분에서의 뎀핑이나 목의 보정길이에 대한 불확실성으로 목의 형상이 달라지면 정확한 수학적 모델링이 어렵기 때문에 실험을 통하여 얻은 실험식을 보정하여 사용하게 된다. Fig. 1과 같은 공명기에서의 공명주파수는 식(1)과 같이 계산할 수 있다. 여기서,  $c$ 는 음속을 나타낸다.<sup>(1)</sup>

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{(l + 1.4a)V}} \quad (1)$$

Fig. 2는 발사체 노즈 페어링 내부 저주파 영역 흡음 및 차음을 위한 음향 공명기 모델로써, 노즈 페어링 형상에 의한 음향 모드에 해당하는 공명주파수로 설계된 각각의 공명기와 차음을 위하여 내부 폼을 삽입하는 형태인 패널로 구성되어 있다. 소재는 무게감량과 동시에 강성확보를 위해 복합재를 이용하여 제작하였다.

상부 공명기 부분은 Carbon/Epoxy (HPW193/RS1222)를 사용하였고, 하부 상하 패널은 Glass/Epoxy(HG120/RS1212), 폼은 Rohacell31A (33.6kg/m<sup>3</sup>)를 사용하였다. 제작성을 고려하여 공동의 체적은 동일하게 유지하면서 홀의 크기를 변화시켜 공명주파수를 조절하게 된다.

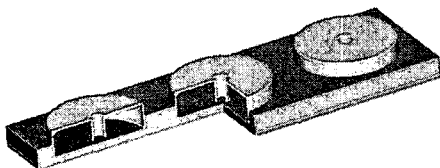


Fig. 2 Acoustic resonator panel assembly

## 2.2 음향 모드 해석

각각의 공명주파수는 공명기 패널을 적용할 노즈 페어링 내부 공간의 음향 모드를 기준으로 결정하게 되는데 Fig. 3에서 그 예를 보여주고 있다.<sup>(2)</sup>

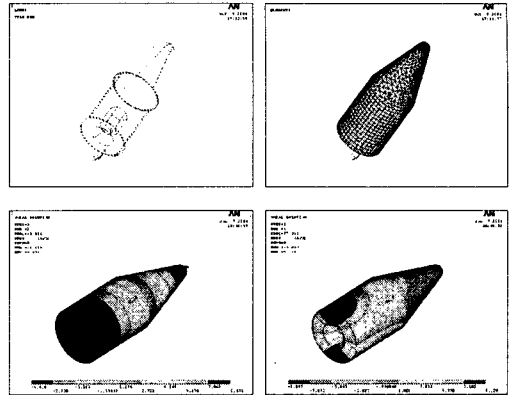


Fig. 3 Acoustic mode analysis of nose fairing

Table. 1 Acoustic mode analysis result

	고유진동수(Hz) 및 모드	
1	43.814	L1
2	71.860	L2
3	97.312	R1
4	97.342	R1
5	104.87	L3
6	122.81	L1R1
7	122.85	L1R1
8	136.55	L4
9	154.92	L2R1
10	155.01	L2R1
11	171.20	L5
12	173.72	R2
13	173.82	R2
14	185.44	L3R1
15	185.60	L3R1
16	190.82	L1R2
17	190.91	L1R2

Table. 1은 노즈 페어링 내부 음향모드 해석을 통한 200Hz 이하의 고유주파수 및 모드를 나타내고 있다. 이러한 방법으로 공명기를 설계하여 노즈 페어링에 적용하기 위해서는 공명기의 배치 위치 및 개수를 결정할 수 있어야 한다. 따라서 다음과 같은 직사각 공동 시험을 통하여 적용 가능성 및 성능을 확인해 보았다.

### 3. 직사각 공동 시험

#### 3.1 단위 공명기의 설계

공명기의 흡음을 통한 모드 제어 효과를 알아보기 위해 간단한 형태의 직사각 공동(700\*800\*900mm)을 이용하여 음압레벨 저감치를 측정해 보았다.

먼저 직사각 공동에 대한 음향 모드를 구하여 제어하고자 하는 주파수로 Fig. 4와 같이 311Hz를 선택하였다.

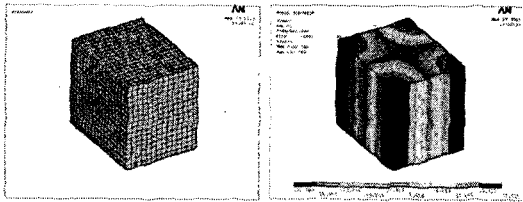


Fig. 4 Acoustic mode analysis of cavity

시험에 사용할 단위 공명기의 형상 및 크기는 Fig. 5와 같고, 아크릴 재료를 사용하여 제작하였다. 목의 길이 및 두께는 7mm이고, 홈의 반지름은 6.7mm의 크기를 가진다.

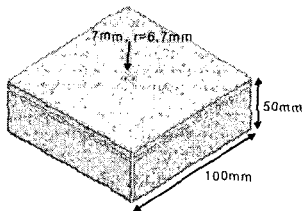


Fig. 5 Geometry and size of unit resonator

이렇게 제작된 단위 공명기들의 공명주파수 및 수직입사 흡음률을 확인하기 위해 덕트(단면적 260mm\*260mm)를 이용한 두 개의 음향 탐측자 방법(Two-microphone method)으로 시험을 수행하였다.<sup>(9)</sup> 그 결과는 Fig. 6과 같다.

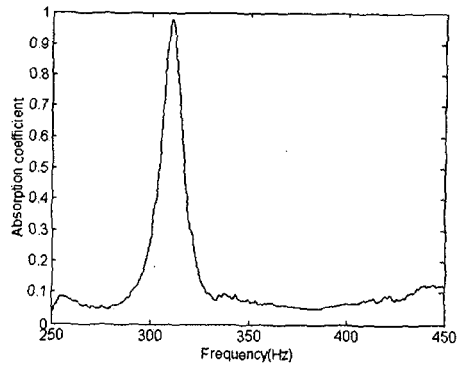


Fig. 6 Measured absorption coefficient of resonators

시험결과를 살펴보면 공명주파수는 311Hz 흡음률은 0.97을 나타낸다.

#### 3.2 시험 결과

제작된 직사각 공동 내에서 311Hz의 음향 모드 특성을 고려하여 Fig. 4와 같이 음압이 상대적으로 높게 작용하는 반-노드점(anti-nodal point)을 기준으로 4개의 모서리에 공명기를 배치하여 음압레벨 감소치를 살펴보았다.

실험은 각각 모서리에 1개씩, 2개씩 적용하였을 때의 음압레벨 변화를 측정하였다. Fig. 7은 공명기를 모서리에 2개씩, 총 8개를 배치한 경우이다.

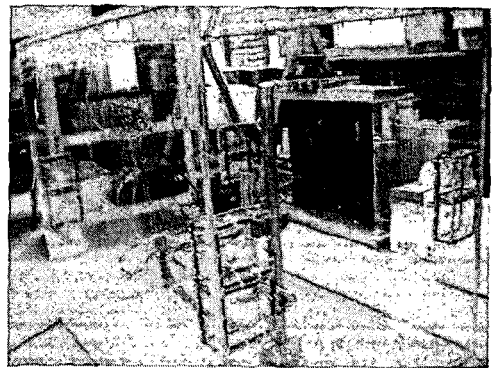


Fig. 7 Experiment setup of the rectangular cavity by using resonators

가진은 Horn driver unit(NFS-100)와 Power amp(Type2718)을 사용하였고, 마이크로폰(Type 4944) 5개와 pulse 3560으로 데이터를 취득하였다.

Fig. 8은 공명기를 배치하지 않았을 경우와 총 4개를 배치했을 경우 및 총 8개를 배치했을 때 한 지점에서 음압레벨 변화를 보여주고 있다.

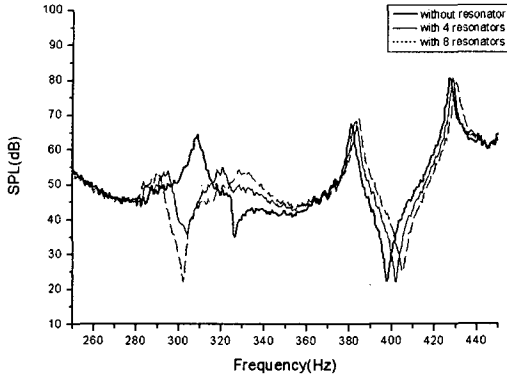


Fig. 8 Comparison of SPL measurement result about cavity without/with resonators

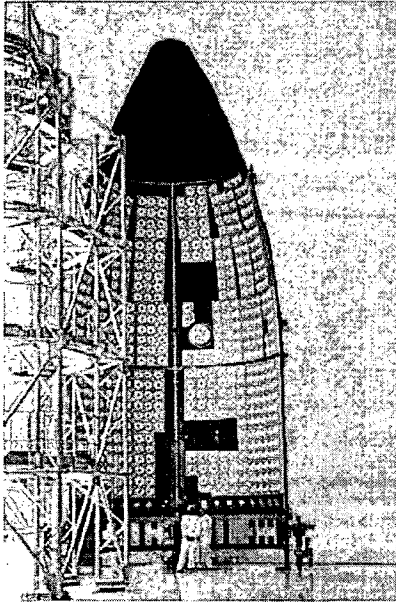


Fig. 9 Acoustic resonators of Ariane-5

공명기를 적용함으로써 인해 311Hz에서의 피크가 확실히 떨어짐을 볼 수 있는데, 공명기를 적용하지 않았을 경우 64.4dB에서 각각 35.5dB와 22.2dB로 줄어듦을 알 수 있다. 그리고 피크들이 약간 이동하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 공명기를 공동 내부에 부착함으로써 인해 내부 공간의 변화와 공명기에 의한 임피던스 경계조건 변화에 따른 영향이라 판단된다. 따라서 실제 적용함에 있어서 이 부분 또한 고려해야 할 것이다.

참고로 Fig. 9는 음향 공명기를 적용한 Ariane-5 발사체의 노즈 페어링 모습이다.

#### 4. 결론

외부 음향 하중으로부터 내부 탑재물을 보호하기 위한 방법으로 차음 및 흡음을 고려할 수 있는데, 저주파 영역에서의 차음 성능을 증가시키기 위해서는 외피의 무게 증가를 피할 수 없다. 따라서 저주파 영역 제어를 위해 공명기를 사용하게 되는데, 공명기는 그 해당 공명주파수의 좁은 영역에서 높은 흡음 성능을 가지기 때문에 넓은 영역 모두를 제어하기는 힘들다. 그러므로 제어해야 할 모드에 따른 적절한 공명기의 배치 및 성능의 검증이 필요하다.

앞서 간단한 형태의 시험을 통한 결과를 바탕으로 공명기의 어드미턴스 및 음압레벨 저감에 대한 정보를 이용하여 복잡한 형태에 대해 해석을 수행할 수 있다.

따라서 실제 적용하고자하는 발사체의 경우에도 공명기의 배치에 따른 음압레벨 저감치를 예측하여 공명기의 설계 및 배치에 활용할 수 있게 된다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Leo, L. Beranek, 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (2) 박순홍, 장영순, 2003, "위성 발사체의 탑재부 음향 모드 해석", 13th Korea ANSYS User's Conference, p.40.
- (3) ASTM E1050-98, "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using A Tube, Two Microphones and A Digital Frequency Analysis System".