

# 소형 위성 발사체의 페이로드 페어링부에 대한 음향 가진 시험

## Acoustic test of the payload fairing of Korea satellite launch vehicle

박순홍†·서상현\*

S.-H. Park and S.-H. Seo

**Key Words** : Satellite launch vehicle (위성 발사체), Acoustic test (음향 시험), Payload fairing(페이로드 페어링)

### ABSTRACT

Acoustic test of the payload fairing of Korea satellite launch vehicle was conducted to verify the performance of acoustic protection system installed inside the payload fairing. This paper briefly introduces the acoustic test procedures and its results. Overall 148 dB acoustic loads were exerted on the payload fairing structures which mated with the upper stage structure of the launch vehicle. In order to verify the increase of insertion loss by the acoustic protection system, two kinds of test were performed. One is conducted with acoustic protection system and the other without acoustic protection system. Internal acoustic loads as well as external ones were measured and the measured insertion losses were compared with the requirement. The results showed that the acoustic protection system increases the insertion loss by more than 6 dB above 125 Hz. They also indicated that some design modification of Helmholtz resonator array is required to increase the insertion loss at a cavity resonant frequency.

### 1. 서 론

인공 위성 발사체의 이륙시 추진 기관에서 발생하는 음향 하중은 위성체 및 발사체 전장품에 가해지는 랜덤 진동의 가장 주요한 원인이다. 특히 질량에 비해 면적이 큰 위성체 태양 전지판 등은 구조적 파손 등의 위험에 노출되며, 유도 조종 컴퓨터 등의 전자 장비는 오작동, 회로 단락 등의 위험에 노출된다. 따라서, 발사체 구조 내부로 전달되는 음향 하중을 설계 목표에 부합하도록 저감시키는 것은 위성 발사체의 구조 설계에 있어 중요한 부분이라 할 수 있다. 이는 위성체 및 탑재 장비를 둘러싸고 있는 발사체 페이로드 페어링 구조에 대하여 삽입 손실에 대한 설계 목표치를 규정하고, 이를 만족하기 위한 흡차음 설계를 수행하여야 함을 의미한다.

현재 개발 중인 100 kg 급 인공 위성 발사체는 직경 2 m의 샌드위치 복합재로 제작되는 페이로드 페어링이 사용된다. 샌드위치 복합재는 잘 알려진 마와 같이 일반적인 금속

재 소재에 비해 구조 강도는 크게 향상되나 무게 대비 강성(비강성)이 크기 때문에 차음에는 불리하며, 면재 및 심재의 구성에 따라 투과 손실 특성이 크게 변화하게 된다. 소형 위성 발사체 페이로드 페어링의 개발 초기 단계에서 강도 조건을 만족하는 다수의 샌드위치 복합재 구조물에 대한 차음 해석 및 시험을 수행하고 가장 좋은 특성의 샌드위치 복합재를 선정할 바 있다.[1] 그러나, 샌드위치 복합재 구조체만으로는 삽입 손실 목표치를 만족하지 못하므로 추가적인 흡차음 시스템이 요구되었으며, 이에 음향 블랭킷 및 공명기 배열 시스템을 사용하여 삽입 손실 목표치를 만족시키고자 하였다. 음향 공명기 배열은 음향 블랭킷이 취약한 저주파수 대역의 음향 모드를 목표 주파수로 하여 설계되었으며[2] 음향 블랭킷은 내부 청정도 조건, 벤팅(venting), 정전기 방지 조건 등의 환경 조건을 만족하고, 차음 성능의 향상을 위해 내부에 배리어를 삽입하여 설계되었다. 내부 충전재(battening material)에 대한 최적 구성은 다수의 시편을 제작하여 흡차음 시험을 수행하여 결정하였다.[3] 또한 부분체(시편) 단위의 시험 결과를 토대로 삽입 손실을 추정하기 위한 해석이 수행된 바 있다.[4]

본 논문에서는 소형 위성 발사체의 페이로드 페어링 구조체 및 흡차음 시스템의 설계를 검증하기 위해 수행된 음향 챔버를 이용한 음향 가진 시험의 절차 및 결과를 소개하였다.

### 2. 시험 방법

† 한국항공우주연구원 구조팀  
E-mail : shpark@kari.re.kr  
Tel : (042) 860-2093, Fax : (042) 860-2233

\* 한국항공우주연구원 구조팀

발사체 및 위성체의 지상 시험은 최대한 실제 환경과 유사한 환경을 구현하는 것을 원칙으로 하며, 실제 환경에 비해 보수적으로 시험을 수행하는 것이 일반적이다. 이는 우주구조체의 특성상 신뢰도가 매우 중요하기 때문이며, 발사체의 음향 하중(lift-off acoustic loads)에 의한 가진력을 부가하기 위해서 실제 상황을 모사하여 하중을 부가할 수 있는 음향 챔버 등의 시험 시설이 필요하게 된다. 한국항공우주연구원이 보유한 음향 챔버는 다음 표와 같은 사양으로 본 시험을 수행하기에 적합하며, 이를 이용하여 소형 위성 발사체의 페이로드 페어링 및 상단부에 대한 음향 가진 시험을 수행 하였다.

표 1. KARI 음향 챔버 규격

Items	Specification
Reverberant Chamber Size	Volume: 1,228m <sup>3</sup> , 8.5mx10.7mx13.5m(L, W, H)
Specimen Door Size	7mx11m(W,H)
SPL(dB) at Chamber	- 148 dB (1ststage Max.) - 130 dB (1ststage Min.)
Excitation Frequency band	25 ~ 10,000 Hz Includes non-linearity effect on high frequency band (2,000Hz ~ 10,000Hz)
Test Tolerance	-4dB, +4dB for 25~30Hz band -1dB, +3dB for 40~2,000Hz band -4dB, +4dB for 2,150~10,000Hz band
Horn Cut-off Freq.	25, 125Hz
Working Fluid	Gaseous Nitrogen
Air Handling Unit	Cleanness : 100,000class (Federal STD 209E) Temp. : 23°C ± 2.0°C RH : 50%± 10%

시험을 위한 페이로드 페어링 및 상단부 구조체는 구조 개발 모델(DM)을 사용하였으며, 내부에는 마이크로폰 붐을 설치하여 내부 음향 (28 채널)을 측정하였고, 탑재부, 페이로드 페어링부 외피 등에 가속도계를 설치하여 음향 가진에 의한 진동(49 채널)도 측정하였다. 본 논문에서는 진동 결과는 생략하도록 한다.

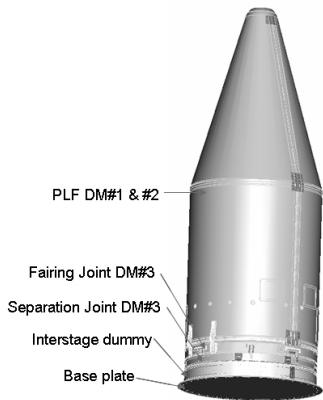


그림 1. 페어링 음향 시험 시제 구성

시험 시제는 총 길이 5.8 m, 직경 2 m 의 크기이며 페이로드 페어링부 아랫부분에는 프레임으로 보강된 후관을 사용하여 음향 하중이 내부로 전달되는 것을 최소화하였다. 시험 시제를 음향 챔버 내부에 설치한 후 피드백에 의한 가진 하중 제어를 위해 음향 챔버 내부에 8개의 마이크로폰을 추가로 설치하였으며 148 dB (OASPL)의 규격으로 음향 가진을 실시하였다. 다음 그림에 148 dB의 음향 가진 스펙트럼 및 시험 시제가 음향 챔버에 설치된 모습을 나타내었다.

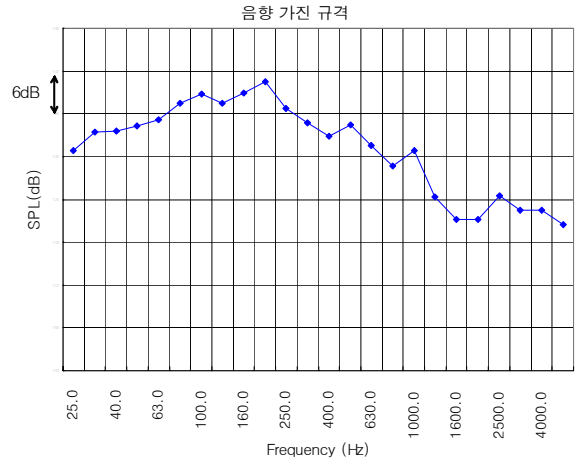


그림 2 음향 가진 시험시 0dB 가진 레벨(148dB,OASPL)



그림 3. 음향 챔버내 설치된 시제 및 치구 조합체

페이로드 페어링 전체 시스템의 삽입 손실과 함께 페이로드 페어링 내부에 장착된 흡차음 시스템에 의한 삽입 손실 증가치를 실측하기 위해 두 차례로 나누어 음향 가진 시험을 실시하였다. 1차 시험에서는 흡차음 시스템을 적용한 경우에 대하여 시험을 수행하였으며, 2차 시험에서는 흡차음 시스템 없이 복합재 페어링 구조체만의 삽입 손실을 측정하였

다. 각 시험은 다음 표와 같이 가진 규격 기준 (0 dB)으로 -15dB 부터 가진 수준을 증가시키면서 단계별로 진동 및 음향 계측을 수행하였고, 0 dB의 가진 규격으로 가진한 이후에는 다시 -15 dB 수준의 가진을 수행하여 음향 하중에 의한 구조체의 강성 변화 (체결류 풀림 등)의 여부를 검토할 수 있도록 하였다. 특히 가진 수준을 점차 증가 시키면서 측정된 데이터를 이용하여 삽입 손실을 실측하여 가진 레벨에 따른 삽입 손실 변화치도 살펴볼 수 있도록 하였다.

표 2. 페이로드 페어링 음향 가진 시험 순서 (1, 2차 공동)

시험 순서	시험명	Level	Duration
1	사전 시험	-15 dB (133 dB)	60초
2	-12 dB	-12 dB (136 dB)	60초
3	-6 dB	-6 dB (142 dB)	60초
4	-3 dB	-3 dB (145 dB)	60초
5	0 dB	0 dB (148 dB)	120초
6	사후 시험	-15 dB (133 dB)	60초

### 3. 시험 결과

측정한 페이로드 페어링 외부 음압과 내부 음압을 이용하여 흡차음 성능 지표로 삽입 손실을 사용하였다. 여기서 삽입 손실은 편의상 선형 음향학에서 정의된 바와 같이 외부 가진 레벨 평균치에 대한 내부 측정 레벨 평균치의 차이로 정의하였다. 내부 음향 측정치의 경우 내부 공간을 위성체 및 전자 탑재물이 위치하는 실린더 부와 그 위의 콘 부로 구분하여 삽입 손실을 표시하였다. 결과는 다음 그림 4 및 5와 같다.

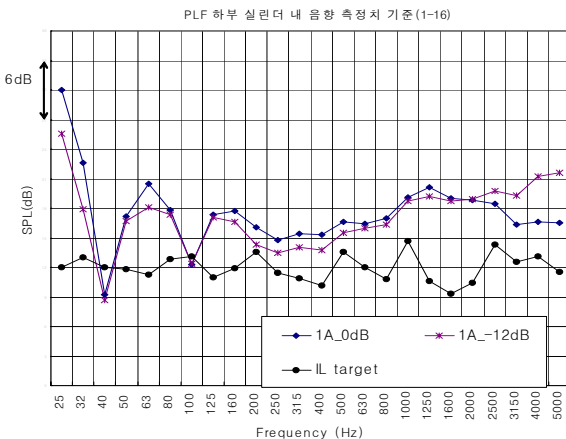


그림 4. 페어링 하부 공간 측정치를 기준으로 한 삽입 손실

그림 4는 페어링 하부에 해당하는 실린더 내부 측정치(16 pts)와 외부 가진 레벨의 차이를 표현한 것으로 40 Hz 대역을 제외하고는 목표치 (IL\_target) 이상의 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 여기서 40 Hz 대역은 내부 공동의 1차 고유 모드에 해당하며, 음압 수준이 높아 헬름홀츠 공명기의 비선형성이 나타나 목표 주파수보다 높은 주파수 대역에서 흡음이 이루어져 목표한 성능을 만족하지 못하였음을 의미한다. 그리고 가진 레벨에 따른 결과를 살펴보면 가진 레벨이 증가하면 구조 진동과 연관된 주파수 대역에서는 유효 감쇄 증가에 의해 삽입 손실이 증가하며, 2000 Hz 이상의 고주파수 대역에서는 작은 틈새와 같은 부분에서의 누설 등의 영향으로 삽입 손실이 감소함을 알 수 있다.

한편 아래의 페이로드 페어링 내부 공동의 상부에 해당하는 콘부분에서 측정한 음향 측정치 (12 pts)를 기준으로 구한 삽입 손실을 살펴보면 그림 4의 경우에 비해 더 큰 삽입 손실치를 보이고 있다. 또한 40 Hz 대역은 요구치를 만족하지 못하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 페이로드 페어링 하부 구조인 페어링 조인트 (그림 1 참조)가 알루미늄 스킨 (두께 2mm 이하) 로 구성되어 있고, 흡차음재가 적용되지 않았으며, 벤트 밸브 등이 장착되어 있어 공동의 상부에 비해 투과 손실이 감소하였으며, 콘부에 적용한 흡차음재는 중고주파수 대역에 흡음 특성이 우수한 블랭킷 계열이기 때문이다.

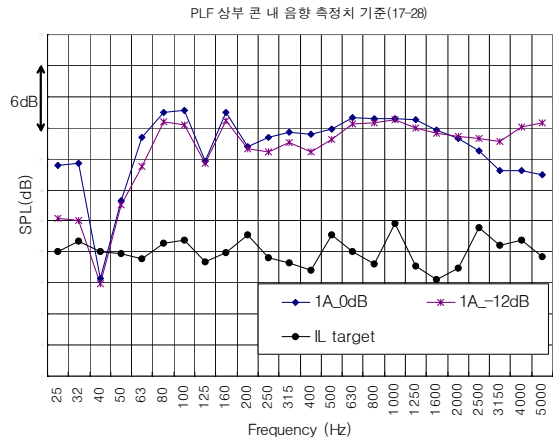


그림 5. 페어링 상부 공간 측정치를 기준으로 한 삽입 손실

한편 흡차음 시스템을 제거한 후 수행한 2차 시험 결과와 비교해 보면 소형 위성 발사체 페이로드 페어링 부에 적용된 흡차음 시스템의 성능을 가늠할 수 있다. 페어링 내부 공간의 상부 및 하부로 구분하여 삽입 손실 측정치를 그림 6,7에 보았다.

결과를 보면 페이로드 페어링 하부 공간 기준으로 100 Hz 이상의 영역에서는 흡차음 시스템의 적용에 의해 최소 6dB 이상의 음향 하중이 저감되고 있음을 알 수 있으며, 100 Hz 이하의 영역에서는 주파수 대역별로 3dB이하의 저감치

를 얻을 수 있다. 이는 단순 질량 법칙에 의한 증가치 1.5 dB에 비해 큰 값이며, 흡차음 시스템의 적용에 의해 삽입 손실 규격 대비 3dB 정도의 안전 여유 제공할 수 있음을 의미한다. 한편 페이로드 페어링 상부 공간에서는 그 차이가 더 커지는데 전술한 바와 같이 이 부분은 페어링 하부와 달리 알루미늄 스킨으로 구성된 부분이 없고, 전체적으로 음향 블랭킷이 설치된 공간으로 10 dB 이상의 삽입 손실 증가를 얻을 수 있었다.

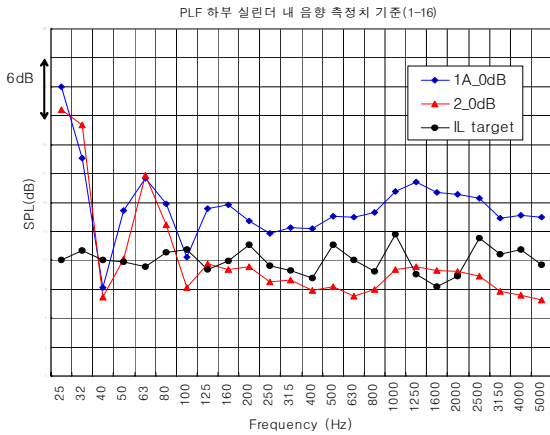


그림 6 흡차음 시스템 적용 유무에 따른 삽입 손실 (페어링 하부 공간 측정치를 기준)

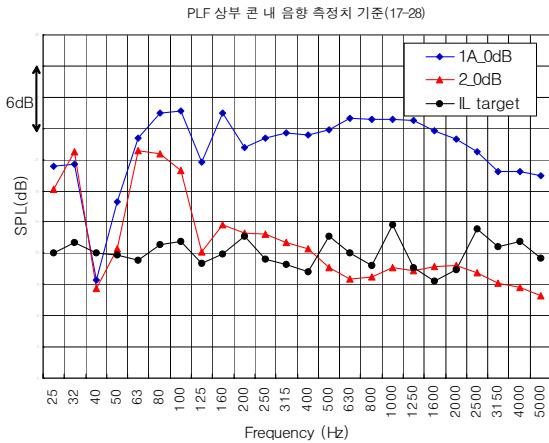


그림 7 흡차음 시스템 적용 유무에 따른 삽입 손실 (페어링 상부 공간 측정치를 기준)

#### 4. 결론

100 kg 급 소형 위성 발사체의 페이로드 페어링부에 적용되는 흡차음 시스템의 성능을 검증하기 위한 음향 가진 시험을 수행하고, 그 결과를 살펴보았다. 삽입 손실 요구치를 대부분의 주파수 대역에서 만족하고 있으며, 만족하지 못하는 40 Hz 대역은 적용된 헬름홀츠 공명기 배열의 목표 주파수가 가진 음압 레벨에 따른 비선형 특성에 의해 변화하

기 때문이다. 현재 헬름홀츠 공명기의 가진 음압에 따른 비선형 특성등을 고려하여 목표 삽입 손실을 만족 시킬 수 있도록 설계 변경을 수행하고 있으며, 시편 단위 가진 시험을 통해 검증할 계획이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 박순홍 등, 2004, 노즈 페어링 구조용 복합재 평판의 음향 하중 저감 특성, 한국복합재료학회지 17(3), 15-22.
- (2) 서상현, 박순홍, 2004, KSLV-I 음향공명기의 설계 및 흡음 특성 예측, DR16335PA00000-0002, KARI 우주발사체사업단 기술자료.
- (3) 박순홍, 서상현, 2005, KSLV-I 음향블랭킷 시편 흡차음 시험 결과, KARI 기술자료 TR16335PA00000-0005, KARI 우주발사체사업단 기술자료.
- (4) S.-H. Park et al, 2006, Lift-off vibro-acoustic analysis of the upper stage of small launch vehicle. ICSV 13 Vienna, Austria.