

KSLV-I PLF 음향 하중 저감 시스템의 성능 검증을 위한 음향 시험

박순홍*, 서상현**

Acoustic Test of KSLV-I PLF Acoustic Protection System

Soon-Hong Park* and Sang-Hyeon Seo**

Abstract

Acoustic test was performed to verify the ability of KSLV-I PLF acoustic protection system (Acoustic blanket) to reduce the acoustic load. The test results showed that the acoustic protection system has +3 dB safety margin compared with design requirement. This paper also illustrates the increase of insertion loss by the acoustic protection system by comparing that of the bare PLF structure.

초 록

KSLV-I PLF의 음향 하중 저감 시스템의 성능을 검증하기 위해 음향 시험을 수행하였다. 실측한 음향 하중 저감치를 설계 기준과 비교하여 약 3dB 이상의 안전여유를 확보하고 있음을 알 수 있었다. 또한 음향 하중 저감 시스템을 적용하지 않은 PLF 구조체에 대한 음향 시험을 통해 음향 하중 저감 시스템에 의한 삽입 손실 증가치도 예시하였다.

키워드 : Acoustic Test(음향 시험), Payload fairing (페이로드 페어링), 음향 하중 (Acoustic loads)

1. 서 론

발사체 추진 기관에 의해 발생하는 음향 하중 (Acoustic loads)은 전자 탑재물 및 위성체 등을 가진하는 주요 하중으로서 발사체 탑재물 설계시 적용하는 랜덤 진동 규격의 주요 원인이다. 일반적인 위성 발사체의 경우에는 이와 같은 음향 하중을 저감하기 위해 페이로드 페어링(PLF)에 음향 하중 저감 시스템을 설치하는 경우가 많으며, KSLV-I도 PLF 구조체만으로는 내부 음향 하중 목표치를 초과하여 음향 하중 저감 시스템인 음

향 블랭킷 (Acoustic blanket) 및 음향 공명기 (Acoustic resonator)를 적용하고 있다.

본 고는 KSLV-I PLF부의 음향 하중 저감을 위해 적용한 음향 하중 저감 시스템의 성능을 확인하기 위해 수행한 PLF부 구조 음향 시험을 소개하고 있다. PLF 부에 대한 음향 시험은 표 1에 나타낸 바와 같이, 음향 블랭킷의 음향 하중 저감 성능을 결정하기 위해 음향 블랭킷의 장착 여부에 따라 2회에 걸쳐 시험을 수행하였다.

그림 1은 1차 음향 시험시 음향 블랭킷이 장착된 PLF 내부의 모습이며 그림 2는 2차 음향 시험시 음향 블랭킷이 제거된 PLF 내부의 모습

접수일(2007년12월3일), 수정일(1차 : 2008년 10월 23일, 2차 : 2008년 10월 27일, 게재 확정일 : 2008년 11월 1일)

* 구조팀/shpark@kari.re.kr

** 구조팀/ssh@kari.re.kr

이다. 1차 시험의 경우에는 2회 실시하였는데, 첫 번째 시험(1A 시험)에서는 QM 기준 음향 블랭킷 구성에 따른 흡차음 성능을 계측하였으며, 두 번째 시험(1B 시험)에서는 PLF 실린더부 윗단에 설치한 공명기 어레이(63 Hz 대역의 음향 하중 저감용)를 음향 블랭킷으로 교체한 후 흡차음 성능을 계측하였다. 측정 결과 삽입 손실이 QM 기준 음향 블랭킷 구성에 비해 1dB 정도 감소하는 결과를 보였다. 삽입 손실의 감소는 음향 하중 저감 성능의 감소를 의미하기 때문에 QM 기준 음향 블랭킷 구성이 좀 더 유리한 구성임을 알 수 있었다. 또한, 그 성능의 차이가 1dB 정도로 크지 않지만 저주파수 제어에 중점을 둔 QM 사양이 좀 더 음향 하중 저감에 유리함을 보여주는 것으로 QM 기준 음향 블랭킷 구성을 FM 용 배치로 확정을 할 수 있었다. 이후 기술하는 음향 블랭킷 적용 전 후의 성능 검증을 위한 논의에서는 1차 시험은 QM 기준 음향 블랭킷 구성인 1A 시험을 의미한다.

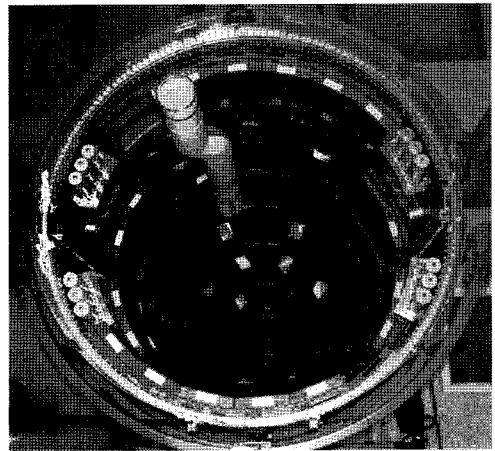


그림 1. PLF 외피 및 음향 블랭킷(1차 시험 시편)

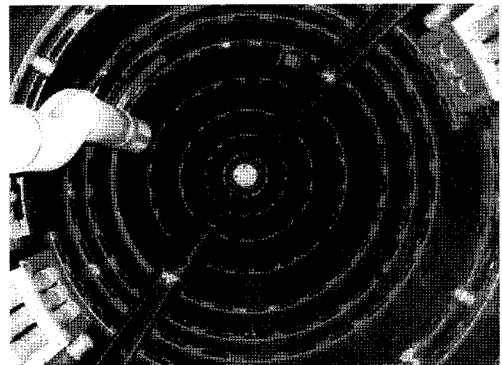


그림 2. 음향 블랭킷을 탈거한 PLF 외피 (2차 시험 시편)

표 2 PLF부 구조 음향 시험 개요

시험		1차	2차
시험체		PLF 및 음향블랭킷 조합체	PLF bare structure
가진 레벨 (overall)		148 dB	148 dB
PLF	PLF	DM2	DM2
	AB	DM	미사용
	FJ	DM3	DM3
2단부	PLA	DM1	DM1
	EB	DM1	DM1
	KMS	DM3	DM3
	SJ	DM3	DM3
	Interstage dummy	사용	사용
	EB 탑재물	더미 사용	더미 사용

2. 시험 방법

2.1 음향 계측 위치

총 28채널에 음향 센서를 할당하여 시험중의 음향 하중을 계측하였다. EB 면을 기준으로 한 PLF 내부 음향 하중 측정 위치는 그림 3과 같다. 그림 4 및 5는 음향 챔버내에 PLF 및 2단 구조가 설치된 모습을 보여준다. 참고로, 본 고에서는 진동 결과는 다루지 않고, 음향 하중 저감 성능만을 기술하였다.

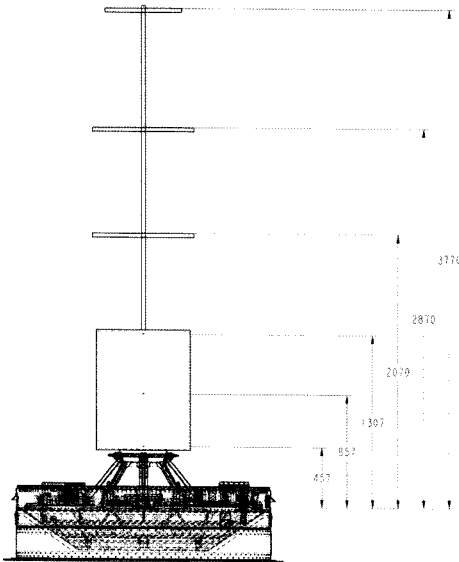


그림 3. EB면에 대한 음향 측정점의 높이

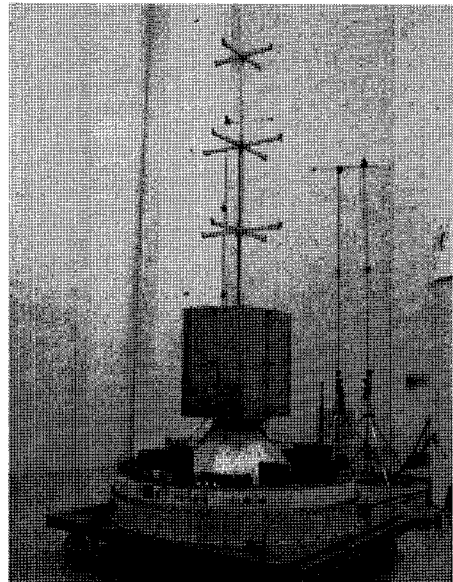


그림 5. 위성 목업 및 마이크론 붐을 포함한 2단부

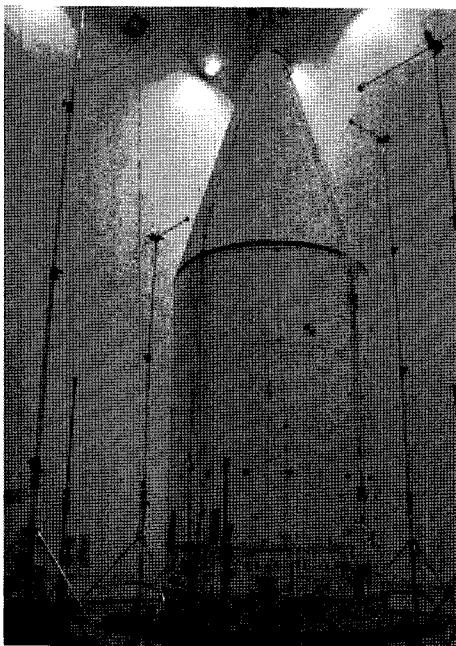


그림 4. 음향 챔버내 설치된 PLF부 및 치구 조합체

2.2 시험 순서

1차 및 2차 PLF 음향 시험은 다음의 표와 같은 순서로 수행하였다.

표 3. PLF 음향 시험 순서

시험 순서	시험명	시간
1	사전 시험	60초
2	-12 dB	60초
3	-6 dB	60초
4	-3 dB	60초
5	0 dB	60초
6	사후 시험	60초

시험시 각각의 시험 단계별로 음향 신호를 계측하였다. 또한 8개의 컨트롤 마이크론의 음향 신호(가진 하중)도 데이터 레코더를 통하여 계측하였으며, 음향 챔버의 가진 시스템을 통해 옥타브 밴드의 음향 하중을 측정하였다. 다음 그림은 1차 시험(A)에서 0dB에서 측정된 가진 레벨을 예시하고 있다.

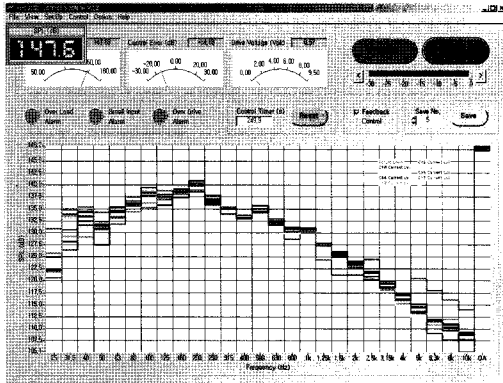


그림 6. 0dB에서의 가진 스펙트럼-1차(A) 시험시

3. 시험 결과

3.1 목표 음향 하중 저감치

목표 음향 하중 저감치(삽입 손실)는 KSLV-I 개발 초기에 자체 해석을 기반으로 기준을 설정하였으며[1], 음향 하중 저감 시스템의 설계 기준으로 사용되었다. 한편, 설계가 진행됨에 따라 KSLV-I의 1단 제작 파트너가 외부 음향 하중값과 인터스테이지(interstage) 내부의 음향 하중값을 제시하였는데, 페어링 내부의 음향 하중 기준도 이 값을 사용하는 것으로 합의하였기 때문에 이와 관련된 음향 하중 저감 목표치가 다시 설정되었다.

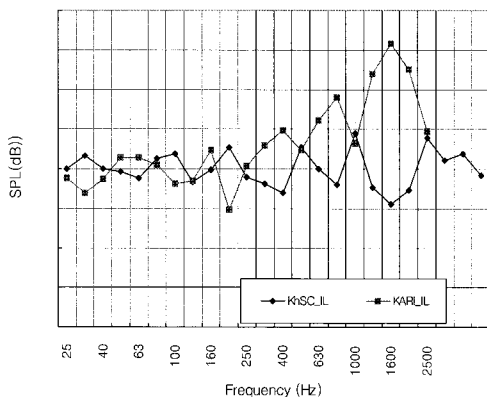


그림 7. 목표 삽입 손실(KhSC_IL)과 음향 블랭킷 설계 기준(KARI_IL) -1/3 octave band

그림 7은 이 값들을 비교하고 있는데, 음향 블랭킷 설계 기준이었던 자체 삽입 손실(Insertion loss, IL)과 상당히 유사한 값을 보이고 있음을 알 수 있으며, 자체적으로 설정한 삽입 손실치에 기반하여 설계한 음향 블랭킷이 무리 없이 요구 성능을 만족할 수 있음을 짐작할 수 있다. 본 보고서의 시험 결과는 합의된 하중에 따라 산출한 삽입 손실 요구치를 기준(KhSC_IL으로 표기)으로 비교 분석하였다.

3.2 PLF 음향 하중 저감 시스템 성능 검증

내부 공간에서 위치별로 음향 하중치가 모두 다르기 때문에 측정된 삽입 손실을 계산할 때 전체 공간의 평균치로 판단하는 경우에는 실제 작용하는 하중에 비해 저평가할 수 있는 요인이 된다. 따라서 음향 공간을 몇 부분으로 나누고 각각의 공간에 대한 평균치를 이용하여 삽입 손실을 추정하고, 이에 3dB의 안전 여유를 만족하는지 여부를 고려하여 음향 블랭킷의 성능을 판단하는 것이 타당하다. 1차 시험으로부터 측정된 PLF부의 삽입 손실 결과는 다음과 같다. 주요 페이로드가 위치한 공간인 EB부터 위성 더미 높이의 1~16번 마이크로폰의 측정 결과를 평균한 값(lower cylinder)과 마이크로폰 뿔(17~28번 마이크로폰)에서 측정된 결과(upper cylinder)를 그림 8 및 9에 나타내었다. 이에 목표 삽입 손실치를 함께 도시하였는데, 전술한 바와 같이 3dB의 마진을 고려하여 음향 블랭킷의 성능을 평가하였다. 측정 결과로부터 다음과 같이 판단할 수 있으며, KSLV-I의 음향 블랭킷은 설계 요구 조건을 만족하고 있음을 알 수 있다.

① 40 Hz 대역을 제외하고는 목표치를 만족하며, 약 3dB 정도의 안전 여유를 만족한다.

② 40 Hz 대역은 PLF 내부 음향 공간의 첫 번째 공진에 의한 것으로 음향 공명기(42 Hz)가 사용되고 있으나 협대역 분석 결과 주파수 튜닝이 잘못된 것으로 확인되었으며[2] 주파수 변경 설계가 수행되었다. 또한 125 Hz 대역에서의 삽입 손실을 증가시키기 위해 68 Hz에 튜닝되었던 공명기의 주파수를 증가시키는 것이 바람직함을 알 수 있다.

③ 가진 음압(음향 하중)이 증가함에 따라 삽입 손실에도 비선형성이 발생하고 있음을 볼 수 있다. PLF의 강성에 의해 지배되는 저주파수 대역에서는 하중 증가에 따른 loss factor의 증가로 삽입 손실이 향상되고 있으며, 고주파수 대역에서는 opening 등의 영향으로 삽입 손실이 감소하고 있음을 알 수 있다.

④ 40 Hz 대역과 100 Hz 주파수 대역을 제외하고는 3dB 정도의 안전여유를 만족하고 있음을 알 수 있다.

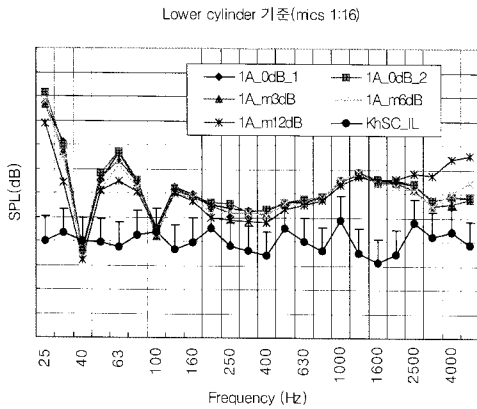


그림 8. 주요 페이로드를 포함한 음향 공간의 삽입 손실 (Y축 한눈금은 3dB)

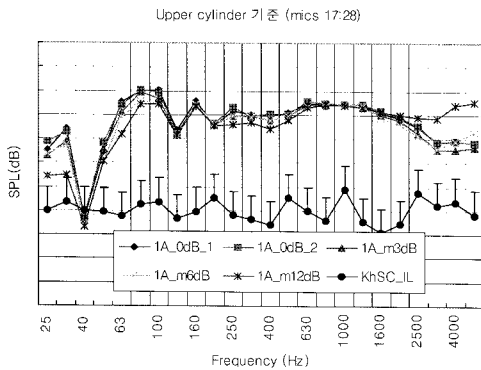


그림 9. EB면에서 높이 2000~3800mm내의 음향 공간의 삽입 손실 (Y축 한눈금은 3dB)

한편, 음향 블랭킷에 의한 삽입 손실 증가치는

1차 및 2차 시험 결과의 비교를 통해 측정할 수 있다. 1차 및 2차 시험의 삽입 손실을 비교한 결과는 다음과 같다.

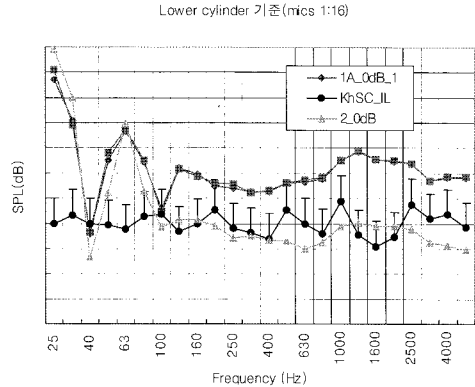


그림 10. 음향 블랭킷 적용/미적용시 삽입 손실 비교 결과(1A: 적용, 2:미적용, Y축 한눈금은 3dB)

결과를 보면 100 Hz 이상의 영역에서는 음향 블랭킷 적용에 의해 최소 6dB 이상의 음향 하중이 저감되고 있음을 알 수 있으며, 100 Hz 이하의 영역에서는 주파수 대역별로 3dB이하의 저감치를 얻을 수 있다. 특히 음향 블랭킷을 적용하지 않은 경우에는 대부분의 주파수 대역에서 삽입 손실 요구치를 만족하지 못하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

PLF 음향 시험으로부터 음향 블랭킷 시스템의 음향 하중 저감 성능을 확인할 수 있었다. 또한 음향 블랭킷이 조립되어 있지 않은 PLF 만의 음향 하중 저감 특성도 측정하여 삽입 손실 요구치와 비교하였다. 측정 결과를 통해 음향 블랭킷의 적용으로 삽입 손실 요구치보다 약 3dB 이상의 성능 여유를 확보하고 있음을 알 수 있었다. 그리고, 1차 음향 공간이 있는 40 Hz 주파수 대역에서의 삽입 손실은 요구치에 비해 음의 성능 여유를 보이고 있지만, 이 대역에서의 삽입 손실은 공명기 주파수를 변경하여 튜닝한다면 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

1. 박순홍, KSLV-I PLF/AB 시스템의 흡차음
성능 요구 조건, 한국항공우주연구원
발사체사업단 기술자료,
DR16335PA00000-0004, 2006
2. Sang-Hyeon Seo et. al, "Sound Reduction by
using Acoustic Resonatorsfor Payload Fairing
of Small Launch Vehicle", ICSV 14,
Australia, 2007