

# 통신해양기상위성의 음향진동시험에 관한 연구

이 호 영\* 정회원

## A Study on the Acoustic Vibration Test of the COMS

Ho-Hyung LEE\* *Regular Member*

### 요 약

통신해양기상위성 개발 과정의 일환으로 통신해양기상위성이 아리안-5ECA 발사체에 탑재되어 발사될 때 발생하는 음향하중으로부터 안전하중을 검증하기 위하여 음향진동 시험이 수행되었다. 본 논문에서는 통신해양기상위성개발 과정에서 수행된 음향진동시험과 관련하여 시험 준비 과정을 설명하고, 시험 결과에 대한 검토를 통하여 통신해양기상위성이 발사 시 경험하게 되는 음향하중에 대하여 안전한지 검토하였다. 태양전지판, Ka Band 통신탑재체 안테나 및 피드, 해양탑재체, 기상탑재체 등에 대한 상세한 검토를 통하여 통신해양기상위성이 발사 시 음향하중으로부터 안전하다는 것을 확인하였다.

Key Words : COMS; Acoustic Vibration; Ariane-5; Acoustic Chamber; Power Spectral Density.

### ABSTRACT

As a part of development process of the COMS, an acoustic vibration test was performed in order to verify that the COMS is safe from the acoustic loads coming from the Ariane-5ECA launch vehicle when it is launched. In this paper, the acoustic vibration test preparation which was performed during the development of the COMS is explained, and through the evaluation of the test results, it was verified whether the COMS is safe from the acoustic load that the COMS will experience during the launch. Through detail evaluation of the acoustic loads on the solar array, Ka band communication payload antenna and feed, GOCI(Geo-Stationary Ocean Color Imager), MI(Meteorological Imager), it was confirmed that the COMS is safe from the acoustic loads from launch vehicle.

## I. 서 론

정지궤도위성 개발능력 확보를 목적으로 통신해양기상위성 개발사업이 2003년 9월 착수된 이래 오랜 개발 과정을 거쳐 금년도 발사를 앞두고 있다. 국내 관련기관 간 사전 협의 및 해외 협력개발업체 선정과정을 거쳐 2005년 4월 프랑스의 아스트리움사와 통신해양기상위성 협력개발 계약을 체결함으로써 본격적으로 통신해양기상위성 시스템 설계가 시작되었고, 통신해양기상위성의 발사를 위하여 2006년 12월 프랑스 아리안스페이스사의 아리안-5ECA가 발사체로 선정되었다. 위성 설계 단계에서 약 40명 정도의 항공우주연구원 및 국내 기술진이 프랑스 아스트리움사에 파견되어 공동설계를 수행하였고, 위성 부품 및 시험장비를 한국으로 들여와서 항공우주연구원 내의 조립 및 시험시설에서 조립 및 시험을 수행하였

다. 그러나 일부 추진계 고압시험 등은 국내 시험 시설이 준비되지 않아 프랑스로 다시 나가서 시험을 할 수 밖에 없었다. 위성은 현재 발사장으로 운송되어 발사 준비작업이 수행되고 있는 중이다.

통신해양기상위성(COMS)은 통신, 해양 및 기상관측 임무를 수행하기 위해 3개의 탑재체로 구성되어있다. Ka-band 중계기로 구성된 통신탑재체는 국내 개발된 Ka band 중계기를 탑재하고 한반도에 시험통신서비스를 제공함으로써, 국내 개발된 중계기의 성능을 우주에서 검증하는데 목적을 둔다. 해양탑재체는 약 500m 급의 공간분해능을 갖는 8개 가시광선채널을 통해 한반도 주변의 해양 데이터를 획득하는 것이 주 임무로서 세계에서 최초로 지구정지궤도에서의 해양관측을 시도한다. 또한, 기상탑재체는 기상정보를 획득하여 실제 기상예보에 활용하기 위한 것으로서 미국, 유럽, 러시아, 일본, 중국, 인도에 이어 세계에서 7번째의 기상위성 보유국이 되

\* 한국항공우주연구원 통신해양기상위성사업단(hhlee@kari.re.kr)

※ 본 연구는 통신해양기상위성개발프로그램 지원으로 수행되었습니다

접수일자 : 2010년 5월 18일, 수정완료일자 : 2010년 5월 25일, 최종제출일자 : 2010년 6월 25일

는 의미를 갖는다.

통신해양기상위성은 교육과학기술부에서 시행한 명칭 공모전을 통하여 지상 36000km의 먼 한반도 상공에서 뛰어난 관측능력을 발휘해 정확한 정보를 제공함으로써 기상, 해양관측 및 통신서비스에 기여하고, 나아가 전 세계인들이 우수한 정보를 공유할 수 있도록 해 `하늘(天)에서 이로운(利)과 안전함(安)을 가져다 준다'는 의미로 '천리안위성'이라는 명칭을 갖게 되었다.

본 논문에서는 항공우주연구원과 프랑스 아스트리움사의 통신해양기상위성(천리안위성) 공동 개발 과정 중에 항공우주연구원의 위성시험시설에서 수행된 음향진동시험에 대해서 소개하고자 한다. 음향진동시험을 위하여 시험규격이 작성되었으며[1], 시험 완료 후 시험결과 평가보고서[2]가 작성된 바 있다. 본 논문은 이들 문서의 내용을 요약 정리한 것이다.

## II. 본론

### 2.1 시험 형상

아래 그림은 통신해양기상위성의 형상을 보여준다.

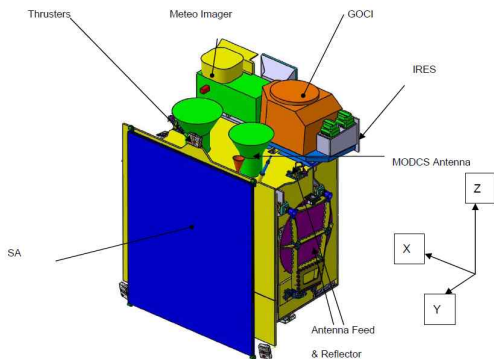


그림 1. 통신해양기상위성(천리안위성) 형상

시험 시 태양전지판, Ka Band 안테나, 기상탑재체, 해양탐체체는 장착된 상태이고, 헬륨탱크의 압력은 116bar, 추진체 탱크 압력은 2bar, 액체애포지엔진의 피드 라인인 3.5bar, 추력기 피드라인은 2bar로 가압된 상태이며, 배터리 충전상태는 94%였다.

시험 시 측정된 위성의 무게는 1205kg이었으며, 이 무게는 아래와 같이 30.19kg의 기계지상지원장비의 무게를 포함한다.

- lifting brackets 6.15kg
- tripod 21.2kg
- -Z protections 2.837kg
- 합계 30.19kg(측정기기 제외)

따라서, 가속도계(accelerometer), 열전기쌍(thermo-couple) 및 관련 전선의 무게를 포함한 위성의 무게는 1174.8kg이 된다.

통신해양기상위성은 음향시험실 내에 아래의 규칙에 맞게

설치되어야 한다.

- 위성의 주축은 시험실의 벽과 45° 를 갖는다.
  - 위성은 시험실 벽으로부터 최소 1m의 거리에 위치한다.
  - 전개되는 부착물(태양전지판, Ka 안테나 등)은 소음생성기 앞에 두지 않는다.
  - 위성과 어댑터 조립체는 5Hz이하의 고유진동수를 갖는 지지대에 의하여 시험실 바닥에 지지된 치구 위에 설치한다.
- 그림 2는 위성이 설치된 모양 및 마이크의 위치를 보여준다.

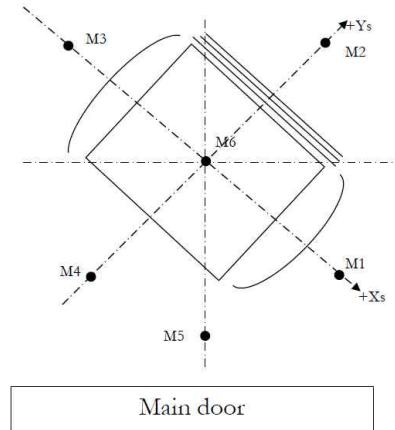


그림 2. 시험실 내 위성 및 마이크 설치 위치

마이크는 위성의 주위에 약 1m의 위치에 설치하며, 각각의 마이크의 위치는 아래 표와 같다.

표 1. 마이크의 위치

위치	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
M1	2400	0	1400
M2	0	2100	1400
M3	-2400	0	1400
M4	0	-2100	1400
M5	2400	-2100	1400
M6	0	0	4200

아래 그림은 시험실 내에 시험준비를 마친 위성 사진이다.



그림 3. 음향진동시험 준비

2.2 시험 순서 및 시험 수준

통신해양기상위성은 아리안-5 발사체의 사용자 설명서에서 제시하는 음압수준에 3dB를 추가한 Proto-flight level을 시험규격으로 택하였다.

표 2. 음향진동시험 시험규격

옥타브 중심 주파수(Hz)	기준: 0dB=2 x 10 <sup>5</sup> Pascal	
	시험규격(dB)	허용오차(dB)
31.5	131	-2/+4
63	134	-1/+3
125	139	-1/+3
250	136	-1/+3
500	132	-1/+3
1000	126	-1/+3
2000	119	-1/+3
Overall(dB)	142.5	-1/+2
시험시간(초)	60	

시험 순서는 아래와 같은 순서로 수행된다.

- 예비 낮은 수준(-12dB)
- 수락시험 수준(-3dB)
- 준비행(proto-flight) 수준
- 낮은 수준 검증시험(-12dB)

각각의 시험 시간은 60초이며, 허용오차는 상기 시험규격의 허용오차와 같다. 각각의 시험 사이에 위성 컴포넌트들이 안전한지 시각적 검사를 수행하고, 마지막 단계의 낮은 수준 시험 결과를 처음의 낮은 수준 시험 결과와 비교하여 준 비행시험 수준 시험에서 혹시라도 파손된 부품이 없는지 점검한다. 시험이 끝난 후에는 마지막 시각적 검사를 수행한다. 그리고 나서 위성이 안전한지를 확인하기 위하여 위성의 전기적인 건강상태를 점검한다.

2.3 시험규격과 시험 음향 수준 비교

아래 표는 각각 수락시험 수준과 인증시험 수준에서의 규격치와 실제 시험시 실현된 값과의 비교를 보여준다.

표 3. 시험 규격과 시험 실현치의 비교

옥타브 중심 주파수(Hz)	시험규격(dB)	시험 실현치	허용오차(dB)
31.5	131	131.2	-2/+4
63	134	133.8	-1/+3
125	139	138.7	-1/+3
250	136	136.7	-1/+3
500	132	133.7	-1/+3
1000	126	127.2	-1/+3
2000	119	121.3	-1/+3
4000	-	114.4	N/A
8000	-	110.9	N/A
Overall(dB)	142.5	142.8	-1/+2

아래 그림과 표는 아리안-5 발사체의 비행 음향 수준과 위성 및 각 주요 컴포넌트의 유닛레벨에서의 인증시험 수준을 보여준다.

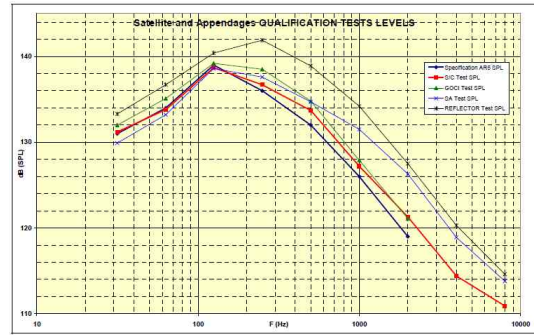


그림 4. 위성 및 주요 컴포넌트의 인증시험 수준

표 4. 위성 및 주요 컴포넌트 인증시험수준 비교

F (Hz)	규격 (dB)	위성	해양탐재체	태양전지판	Ka 반사판
31.5	131	131.2	132	129.9	133.3
63	134	133.8	135.1	133.2	136.7
125	139	138.7	139.2	138.6	140.4
250	136	136.7	138.5	137.6	141.9
500	132	133.7	134.8	134.7	138.9
1000	126	127.2	127.9	131.5	134.2
2000	119	121.3	121.1	126.3	127.5
4000	-	114.4		118.9	120.3
8000	-	110.9		113.8	114.6
OASPL	142.5	142.8	143.8	143.2	146

2.4 시험결과

주요 유닛의 접촉면이나 부속물에 설치된 가속도계를 통하여 위성의 여러 부위에서의 음향에 의한 응답을 측정하였다. 측정된 grms와 Power Spectral Density(PSD)를 각 유닛의 인증시험수준(qualification test level)과 비교하였다. PSD가 유닛의 인증시험수준을 초과하는 경우에 대해서는 아래와 같은 검토를 수행하였다.

1. grms가 유닛의 시험 가속도 수준 내에 있는가?
2. 초과되는 진동주파수 대역이 유닛의 고유진동모드와 떨어져 있는가?
3. 처음과 마지막 낮은 수준의 시험 결과가 주파수와 크기에서 일관성이 있는가? 일관성이 있다는 것은 구조적 파단이 일어나지 않았다는 것을 의미하기 때문이다.

대부분의 PSD 초과는 인증 수준에 비해서 그리 크지 않았으며, 크게 초과하는 경우 및 주요 컴포넌트의 결과에 대해서 아래에 설명되어 있다.

2.4.1 통신탐재체

Ka-Band 통신탐재체 반사판(reflector)은 아리안-5 발사체에 대한 인증 수준(qualification level)인 142.6dB의 overall sound pressure level 보다 훨씬 높은 146 dB에서 인증된 바 있다. 이후 기술적인 문제로 반사판의 뒷면에 미

제한 구멍들을 뚫은 후 142.8dB에서 시험이 재 수행된 바 있다. 이 마지막 시험 값이 인증수준에서의 비교를 위한 값으로 사용되었다.

grms 비교에서는 최소한 80% 이상의 여유(margin)를 갖는 것으로 나타났다. 아래 표는 반사판에 부착된 가속도계 중에서 PSD의 측정치가 인증수준을 초과하는 것들에 대한 표이다.

표 5. Ka 통신탑재체 반사판 주요 가속도계 PSD

가속도계	인증수준시험 최고치(g <sup>2</sup> /Hz)	주파수(Hz)	인증한계	여유 (%)
700X	1.174	211	1.00	-15
704N	0.303	52	0.03	-90
704X	0.527	56	0.01	-98
705X	0.398	56	0.36	-10
705Y	0.131	200	0.1	-24
720X	1.346	162	1	-26
724N	0.107	61	0.03	-72
724X	0.776	97	0.1	-87

위의 표에서 700X, 705X, 705Y 및 720X는 일부 구간에서 인증한계를 초과하나 grms에서 최소한 234% 이상의 여유(margin)을 가지므로 문제가 없다.

704N, 704X, 724N 및 724X는 62%~127%의 grms 마진을 갖고 있고, 반사판 수락시험 당시 측정된 PSD 곡선이 위성의 음향시험 당시 측정된 PSD 곡선보다 높아 Ka Band 반사판이 발사시 경험하게 될 음향하중에 문제가 없는 것으로 판단되었다.

아래 표는Ka Band feed에 부착된 가속도계 중에서 PSD의 측정치가 인증수준을 초과한 것들에 대한 표이다.

표 6. Ka 통신탑재체 피드 주요 가속도계 PSD

가속도계	인증수준시험 최고치(g <sup>2</sup> /Hz)	주파수(Hz)	인증한계	여유 (%)
750Z	1.327	125	0.1	-62
760X	0.271	103	0.1	-63
760Z	10.529	103	0.5	-95

이들 가속도계는 750Z는 152%, 760X는 557%, 760Z는 75%의 grms 여유를 갖고 있고, 고유진동수가 초과되는 주파수에서 멀리 떨어져있으며, 초과되는 주파수 영역이 극히 부분적이어서 문제가 없는 것으로 판단된다. 아래 그림은 760Z의 PSD 그래프를 보여주고, 표는 Ka Band feed의 각 축방향 고유진동수를 보여준다.

다른 Ka Band 통신탑재체 부품들도 위와 같은 방법으로 음향진동에 의한 하중에 대하여 안전한 것으로 나타났다. 또한, 추후 수행된 열진공시험 중의 기능시험에서도 음향시험에 의하여 파손된 부품이 없는 것으로 나타났다.

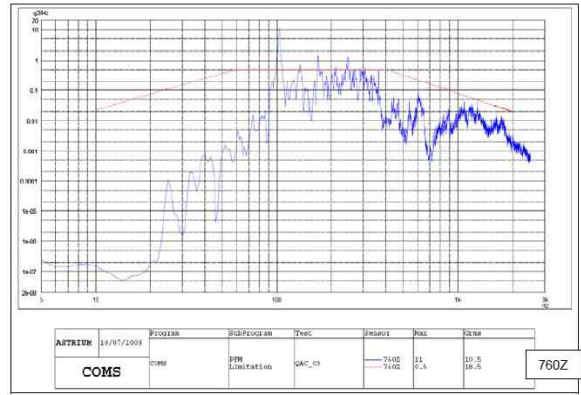


그림 5. Ka Band feed 760Z 가속도계 의 PSD

표 7. Ka 통신탑재체 피드의 고유진동수

축	동쪽 feed의 고유진동수	서쪽 feed의 고유진동수
Z	151	180
X	147	178
Y	147	178

#### 2.4.2 태양전지판

태양전지판에 부착된 가속도계들은 grms 값에서 인증한계치에 대하여 28%~114%의 여유를 보였다. 아래 표는 PSD에서 부분적으로 인증한계치를 초과한 가속도계들을 보여준다.

표 8. 태양전지판 주요 가속도계의 최고 PSD

가속도계	인증수준시험 최고치(g <sup>2</sup> /Hz)	주파수(Hz)	인증한계	여유 (%)
801Y	1.245	40	0.1	-92
802Y	0.865	40	0.05	-94
830Y	2.332	119	0.2	-91

801Y는 113%, 802Y는100%, 830Y는 42%의 grms 여유를 갖고 있고, 초과하는 영역이 국부적이며, 음향시험으로는 정확성이 떨어지는 150Hz 이하의 영역에 속해 있으므로 태양전지판도 음향진동으로 인한 하중에 안전한 것으로 판단되었다. 아래 그림은 801Y 위치의 유닛수준 인증시험 PSD 그래프와 시스템 수준의 시험 결과를 비교한 것이다.

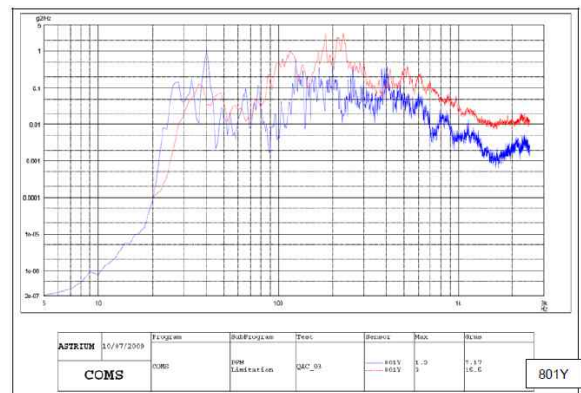


그림 6. 태양전지판 801Y 가속도계 PSD

2.4.3 기상해양자료전송 안테나

기상해양자료전송용 L Band, S band 안테나의 음향진동시험을 위하여 아래 그림과 같이 가속도계가 부착되었으며, 시험 결과 grms는 350%이상의 여유를 갖고 있으며, PSD는 662X가464Hz에서 국부적으로 인증한계를 초과하여 여유가 -27%로 나타났으나, 전체적인 grms가 814%의 여유를 갖고 있으므로 안전한 것으로 판단되었다.



그림 7. 기상해양자료전송 안테나 가속도계

2.4.5 해양탐재체

해양탐재체는 유닛수준에서 상기 2.3절에 제시된 수준에서 음향시험이 수행되었다. 위성체 수준에서의 음향시험 결과는 해양탐재체 유닛수준에서의 시험 결과와 1차적으로 비교하고, 유닛수준의 결과를 초과할 경우에는 해양탐재체의 서브시스템수준의 시험 또는 설계치로부터 결정된 한계치와 비교하였다

표 9는 해양탐재체 유닛수준의 grms가 음향시험치를 초과한 가속도계를 보여주며, 이들은 모두 서브시스템 수준에서의 한계치에 대하여 각각 15%, 935%의 여유를 가지므로 grms에 문제가 없는 것으로 판단되었다. 참고로 651V는 filter wheel support에 부착된 가속도계로서 설계치는 25g이고, 해양탐재체의 정현파시험에서 21.8g에서 인증된 바 있으며, 아래 표의 서브시스템 수준 한계치는 설계하중 한계치인 25g를 3으로 나눈 값이다. 654W는pointing mechanism support에 부착된 가속도계로서, 아래표의 서브시스템 수준 한계치는 pointing mechanism의 불규칙진동(random vibration) 시험치이다.

표 9. 해양탐재체 주요 가속도계 grms

가속도계	시험값	유닛수준 한계치	여유	서브시스템수준 한계치
651V	7.2	5.81	-19%	8.3
654W	2.6	0.67	-2%	24.3

표 10은 PSD 최고치가 인증한계를 초과한 가속도계들을 보여주고, 그림 8은 가속도계 PSD 그래프의 한 예로서 651X의 PSD 그래프를 보여준다.

645V, 654UW는 서브시스템 한계치 대비grms 여유가 500% 이상이다. 650U, 651V, 651X는 각각 서브시스템 한계치 대비 6%, 15% 및 113%의 grms 여유를 갖고 있다. 650U와 651V는 브라켓과 지지대에 부착된 가속도계로서 grms는 준정적 가속도 한계를 3으로 나눈 값과 비교한 것으로서 극히 보수적인

결과이다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 651X는 100Hz 이상의 영역에서 PSD가 한계치를 초과하는 영역이 극히 일부분임을 알 수 있다. 따라서 해양탐재체도 종합적으로 문제가 없는 것으로 판단되었다.

표 10. 해양탐재체 주요 가속도계 PSD

가속도계	인증수준시험 최고치(g2/Hz)	주파수(Hz)	인증한계	여유 (%)
645V	0.121	52	0.012	-90
650U	3.74	199	1.2	-68
651V	4.163	104	0.63	-85
651X	2.458	169	0.43	-83
654U	0.024	195	0.01	-58
654V	0.085	104	0.023	-73
654W	0.199	81	0.14	-30

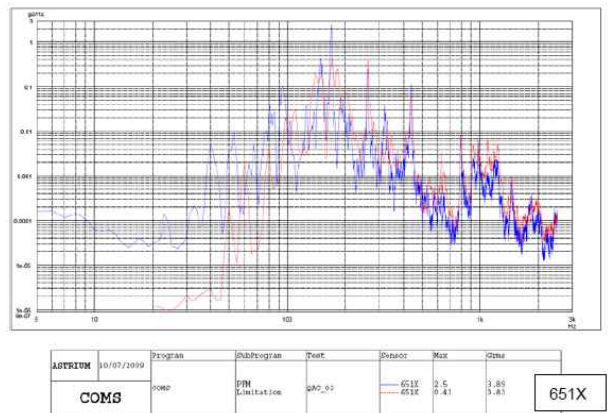


그림 8. 해양탐재체 651X 가속도계 PSD

2.4.6 기상탐재체

기상탐재체에서는 모든 가속도계가 최소한 32% 이상의 grms 여유를 갖고 있었다. 일부분의 구간에서 PSD 한계치를 초과하는 가속도계가 여럿 있었으나, 이들 PSD를 초과하는 가속도계들은 최소한 66% 이상의 grms 여유를 갖고 있고, 아래의 interfacefoot no.4(684Z) 및 radiant cooler sun shield(694Z)의 PSD 그래프에서 볼 수 있는 바와 같이 100Hz-150Hz 사이의 일부 구간에서만 한계치를 초과하므로 문제가 없다.

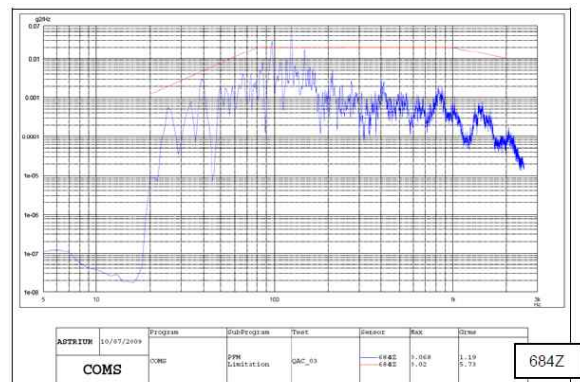


그림 10. 기상탐재체 684Z 가속도계 PSD

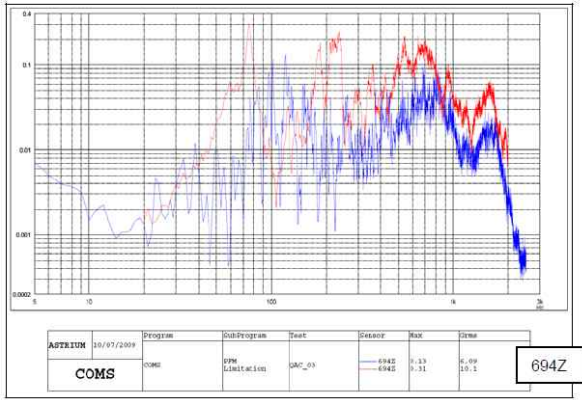


그림 11. 기상탑재체 694Z 가속도계 PSD

### III. 결 론

통신해양기상위성(천리안위성) 개발과정에서 음향진동시험이 수행되었으며, 시험 결과에 대하여 검토하였다. 시험은 아리안 발사체의 비행 음향수준에 3dB를 더한 준비행수준(proto flight level)에 대하여 수행되었다. 시험에 대한 검토 결과 천리안위성은 아리안 발사체의 준 비행수준 음향진동 하중에 대하여 안전한 것으로 나타났다. 더구나, 아리안 발사체로 통신해양기상위성이 발사될 때, 4800kg의 통신방송 위성인 Arabsat-5A와 같이 발사될 예정이며, Arabsat-5A가 페어링 내 윗부분에 위치하고, 천리안위성은 아랫 부분에 실다-5라는 구조물 안에 위치하여 발사된다. 따라서, 천리안위성에 전달되는 발사체의 음향하중은 페어링에 의하여 1차 감소된 뒤 실다-5에 의하여 또 다시 감소되기 때문에 실제 비행에서는 시험 당시 가해진 음향하중보다 훨씬 작은 음향하중이 가해진다. 음향시험 이후에 열진공시험도 수행되었으며, 열진공시험 중에 수행된 위성의 성능 시험에서도 문제가 없었으므로, 통신해양기상위성은 아리안-5ECA 발사체로 발사될 때 발생하는 음향하중으로부터 안전하다는 것을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. Corberand, "S/C Acoustic Test Specification," Issue 2 Revision 0, Astrium and KARI, pp. 1-15, 11 Dec. 2008.
- [2] P. Corberand, "Acoustic Vibration Test Assessment Report," Issue 1 Revision 0, Astrium and KARI, pp. 1-64, 15 October 2009.

### 저 자

이 호 형(Ho-Hyung Lee)

정회원



1991년 12월 : 버지니아공대 공업역학 박사

1992년 7월~1995년 11월 :

국방과학연구소 선임연구원

1995년 12월~현재 : 한국항공우주연구원 책임연구원

<관심분야> 위성시스템, 위성발사, 복합재료역학, 구조역학