

< 논문 >

발사환경시험을 이용한 통신방송위성 Ku대역 중계기 패널의 모델 검증

우형제[†] · 서현석^{*} · 최장섭^{**} · 박중흥^{***}
(2004년 1월 30일 접수, 2005년 1월 20일 심사완료)

Model Validation for the CBS Ku-Band Transponder Panel Using Launch Environmental Test

Hyung Je Woo, Hyun Suk Seo, Jang Sub Choi and Jong Heung Park

Key Words: Effective Mass Properties(유효질량 특성치), Finite Element Method(유한요소법), Modal Parameter(모달특성계수)

Abstract

Accurate predictions and simulations of the behavior of space structures based on analytical models become more important. In order to perform analysis to support the design of Ku-band transponder panel for the Communications and Broadcasting Satellite(CBS), mathematical models of the panel were generated in the form of finite element models. Test verification of these models is required before the transponder panel can be certified for launch environments. A modal identification was performed to obtain modal parameters which can be compared with the test results using correlation techniques. This paper approaches the sensor placement from the standpoint of the structural dynamicist who uses the modal parameter obtained during launch environmental test. The models were validated by performing a test-analysis correlation and updating analysis. It was proved that the Ku-band transponder panel satisfies the environmental test requirements.

기호설명

- P : 모드 참여인자
- Φ : 고유벡터
- M : 질량행렬
- D_R : 각 모드에 관련된 강체 벡터
- ϵ : 고유벡터에 대한 스케일 인자
- Φ_s : 시스템에 대한 고유벡터
- Φ_c : 부분품에 대한 고유벡터
- M_{ii} : 모드에 대한 대각화 행렬

1. 서론

항공우주분야의 통신방송위성 시스템 개발과정을 통하여 보다 새로운 구조 형태를 갖는 위성용 부품 및 구조체가 개발되었고, 이로 인해 수치해석적 관점^(1,2)에서의 구조적 예측 및 모사는 더욱 그 중요성을 더해가고 있다. 일반적인 경우에 있어서 환경시험과 모달 특성시험과의 상관관계를 규명하기 위한 모달 변수를 얻기 위하여 모달 입증(Modal Identification) 수행이 반드시 수행되어야 한다. 이와 같은 변수의 선정은 실제 발사환경과 같은 시험조건을 규정하기 위한 것보다는 사전 시험을 통해 시험과 해석적 접근방법⁽³⁾의 상호 관계를 규정함으로써 해석과 시험의 정확성을 높이는 효과를 얻을 수 있다. 그러나 이와 같은 일련의 과정을 수행하기 위해서는 많

[†] 책임저자, 회원, 셋트랙아이(주) 우주사업부문
E-mail : hjwoo@satreci.com
TEL : (042)365-7570 FAX : (042)365-7549

^{*} 한국항공우주산업(주) 우주개발연구센터

^{**} 한국전자통신연구원 통신위성연구그룹

^{***} 회원, 한국전자통신연구원 통신위성연구그룹

은 시간적, 경제적인 부담이 발생하게 된다. 따라서 이러한 비효율적인 면을 줄이기 위해 실제 진동 환경시험 결과를 이용하여 이와 같은 현상을 고려할 필요성이 제기 되었다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 통신방송위성 탑재체 시스템으로 개발된 Ku대역 중계기 패널에 대한 구조적인 안정성의 평가를 위해 실제 발사체에서 유발되는 랜덤 및 Sine 진동시험을 수행하고, 이로부터 얻어진 시험결과를 통해 해석적 결과와의 상호 관계⁽⁵⁻¹⁰⁾를 비교 분석하고자 한다. 특히 보편화된 모달 특성 값의 결정을 통해 실제 패널에서 유발될 수 있는 관심 모드에 대한 분석을 수행하고, 또한 시험결과와의 비교분석 결과를 제시하고자 한다. 일반적으로 해석모델과 시험결과와의 비교 검증 절차는 아래 Fig. 1과 같다.

아래의 그림에서 나타낸 바와 같이 사전 시험 해석을 통해 시험 대상체에서의 최적의 데이터 획득 위치를 선정하게 된다. 이렇게 얻어진 시험 결과로 다시 해석 모델과의 모달 특성 비교를 통한 보정 및 모델 업데이트를 수행하게 된다. 이때 사용되는 모달 특성 값은 일반적인 고유진동수, 진폭, 댐핑 및 모델 검증에 필수적인 MAC (Modal Assurance Coefficient), OR(Orthogonal Maxtrix), 그리고 XOR(Cross Orthogonal Matrix) 값 등이 있다. 특히 해석결과와 시험결과에 대한 CMP(Correlated Modal Pair)의 비교를 통해 상호 차이가 크게 존재하였을 때 보다 정확한 모델 검증을 위해서 모달 특성 값인 MAC, OR, XOR 등

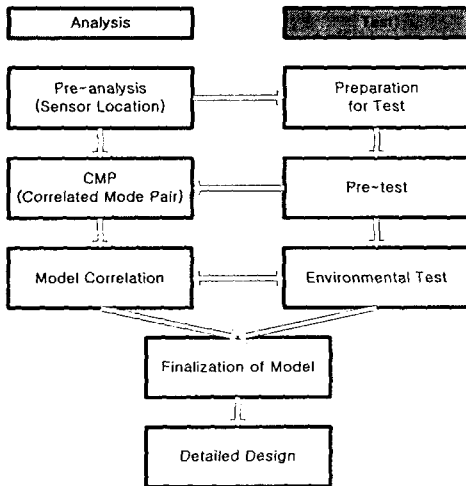


Fig. 1 Flow-diagram for model validation

과 같은 변수 값들을 이용한다. 본 연구에서는 이와 같은 구체적인 해석 모델에 대한 검증 및 모델 업데이트에 대한 검토는 모드의 상호 비교를 통해 생략하였고, 유효 모달 특성 값을 이용한 사전 시험 및 해석 그리고 실제 발사 진동 환경조건인 랜덤진동시험에 대한 비교를 수행하였다.

2. 중계기 패널 구성

Ku대역 중계기는 열파이프가 내장된 패널 위에 능동부품과 수동부품이 도파관 및 동축 케이블 등으로 연결된 구조물로서 Fig. 2와 같이 단위부품의 배치 및 연결을 통하여 요구 성능을 구현하고 위성발사 시 가해지는 극심한 하중조건과 정지궤도상에서의 가혹한 열적 환경에서 중계기의 안전한 작동이 보장되도록 구성되었다.

중계기 패널은 알루미늄 재질의 표면 판재와 허니컴 코어를 이용한 전형적인 샌드위치 구조물로서 중계기 부품에서 발생하는 고 발열량을 분산시키기 위해 패널 내부에 열파이프가 장착된 구조이다. 중계기의 구성부품은 중계기의 열적, 구조적인 안정성 외에도 중계기 시스템의 효율적인 환경시험 수행과 제작, 조립 및 시험 등이 용이하도록 최적으로 배치하였다. 그리고, RF Power 손실을 최소화하기 위하여 부품간 연결하는 도파관은 최단거리가 되도록 설계 및 제작을 하였다.⁽⁹⁾

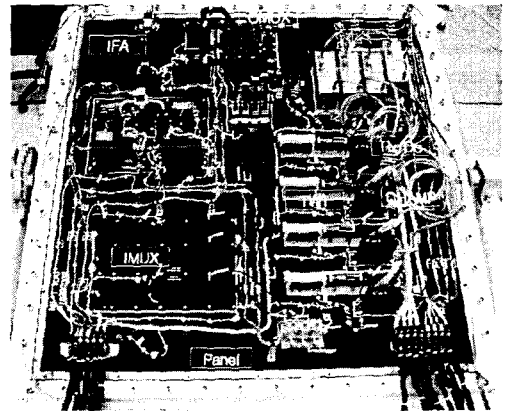


Fig. 2 CBS Ku-band transponder panel

3. 모달 특성 분석 및 예비시험 해석

$$D_R = \Phi(\epsilon) \tag{2}$$

중계기 패널의 실제 진동시험을 위해 적절한 목표 모드 및 센서의 선정이 필요하게 되었다. 높은 신뢰성을 요구하는 우주 구조물의 특성상 모달 변수를 이용한 목표모드의 선정은 정확한 모드 형상 및 응답의 특성을 구하기 위해 중요하다. 그러나, 중계기 패널은 위성체 시스템 구조의 일부이고 평판의 1차원 진동으로 가정되어지므로 이에 대한 분석을 수행하고자 한다.

3.1 유효질량특성을 고려한 목표모드(Target Mode) 선택

사전 시험에 앞서 가장 중요한 단계는 실제로 낮은 주파수대역에서 대상체에 영향을 주는 목표 모드의 선정이다. 목표모드를 선정하기 위하여 몇 가지 모달 특성 값을 해석적으로 분석하게 되는데 첫째, 각 모드에 분할된 유효질량특성과 둘째, 각 모드의 변형에너지 분포, 그리고 셋째, 분할인자 등이 있다. 일반적으로 분석 대상이 1차원 진동계일 때 변형에너지의 분포 및 분할인자의 결정을 통한 모드의 선정은 효율적이지 않기 때문에 본 연구에서는 유효질량특성을 이용하게 되었다. 이렇게 얻어진 목표모드를 통해 중계기 패널의 모드양상을 분석하고 최적의 위치에 센서를 장착하게 되었다. 본 장에서는 이와 같은 일련의 해석 및 결과 분석과정을 보여주고 있다.

유효질량특성은 실제 중계기 패널에 존재하는 모드에서 유발될 수 있는 각 모드에 분할된 각 시스템의 질량 값을 의미한다. 각 모드에서 갖는 최대값이 중요한 시스템 응답특성을 나타내게 된다. 즉, 일련의 시스템에 대한 중요 모드의 특성을 분석하는데 이용된다. 다음은 모달 유효질량 계수를 위한 과정을 정리하였다. 우선 모드 참여 인자(Participation Factor: PF)를 살펴보면 다음과 같다.

$$P = \Phi^T M D_R \tag{1}$$

만약 시스템 모델의 모든 모드가 얻어졌다면 Eigenvector의 선형 조합은 어느 특정 운동으로 묘사될 수 있다. 그러므로 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

식 (2)를 이용하여 식 (1)을 정리하면 다음과 같다.

$$\Phi^T M D_R = \Phi^T M \Phi(\epsilon) \tag{3}$$

이는 다시 식 (4)를 이끌어낸다.

$$\Phi^T M D_R = M_{ii}(\epsilon) \tag{4}$$

위의 식을 토대로 PF 값은 각 모드에 대한 일반화 질량에 의해 곱으로 이루어진 단순한 scaling factor(ϵ)로 표현되어진다. 만약 단위 질량에 대하여 모드가 스케일링으로 표현된다면, PF 값은 scaling factor와 동일함을 알 수 있다. 여기서 구조물의 각 방향에 대한 강체 질량(Mr)을 고려하여 보면 다음과 같다.

$$M_r = D_R^T M D_R \tag{5}$$

그러나, $D_R = \Phi(\epsilon)$ 이므로 이를 이용하여 식(5)를 정리하면 다음과 같다.

$$M_r = \epsilon^T \Phi^T M \Phi \epsilon \tag{6}$$

또는

$$M_r = \epsilon^T M_{ii} \epsilon \tag{7}$$

이다. M_{ii} 는 대각화 행렬이므로 각 모드에서 제공하는 할당 질량은 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon_i^2 M_{ii} \tag{8}$$

각 모드에 시스템 전체 질량에 대한 상대적인 값을 모달 유효질량이라고 한다.

3.2 중계기 패널 질량특성분석 및 모달해석

일반적인 위성 구조물의 경우 무게를 줄이고 이를 통한 비강성 및 비강도를 최대화 하는 재질을 이용하여 제작하게 된다. 일반 메탈재질인 알루미늄과 여러 복합구조를 갖는 복합소재를 이용하여 제작된다. 위성 구조물로서의 중계기 패널은 알루미늄 허니컴 샌드위치 구조물을 채택하였다. 표면판재는 알루미늄 2024-T3를 사용하였

Table 1 Weight Characteristics of CBS Ku-band Transponder Panel

구분		치수
중량		42.9 kg
무게중심	CG_x	-30.0 mm
	CG_y	-17.8 mm
	CG_z	13.9 mm
관성 모멘트	I _{xx}	5.3 kg.m ²
	I _{yy}	4.8 kg.m ²
	I _{zz}	9.9 kg.m ²

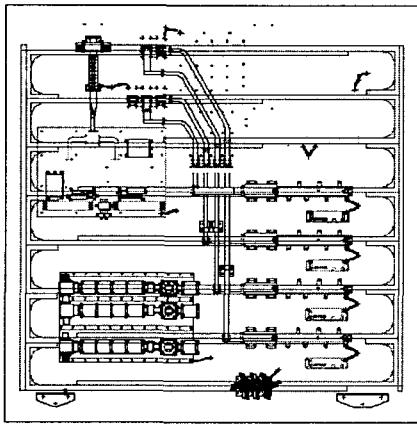
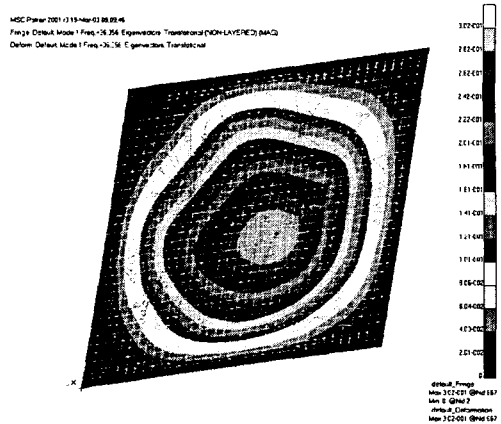


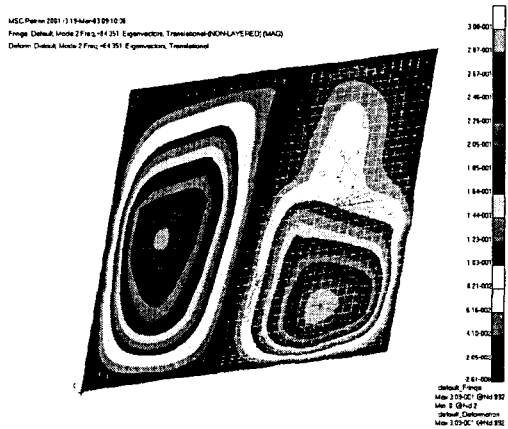
Fig. 3 Design Configuration of Ku-band Transponder Panel

고, 허니컴 샌드위치 패널은 1/3-5056-0.0007in의 허니컴 코어를 사용하였다. 코어내부에는 알루미늄 재질의 열파이프를 부착하였고, 허니컴 코어와 열파이프의 부착을 위한 splicing 접착제를 사용하였다. Table 1은 중계기 모듈에 대한 최종 어셈블리 질량특성을 실측한 결과를 나타낸다. 4각 패널의 질량특성 값은 x와 y 방향에 대하여는 패널의 중앙에서, z 방향에 대하여는 샌드위치 패널 단면 중앙에서의 값을 나타낸다.

Fig. 3은 통신방송위성 중계기로 제작된 패널의 설계 형상을 보여주고 있다. 패널은 고전력 전자 부품의 열소산을 위해 열파이프를 패널 내부에 장착하였으며 중계기의 임무수행을 위해 각 전기/전자 부품들이 패널에 볼트를 이용하여 부착되어 있다.



(a) 1st Mode of CBS Panel



(b) 2nd Mode of CBS Panel

Fig. 4 Mode Analysis Results of CBS Panel

위의 형상을 가진 중계기 패널에 대하여 우선 패널은 2차원 요소로 모델링하고 각 패널에 장착된 전기/전자 부품은 집중질량계수로 모델링을 수행하였다. 집중질량계수는 각 부품의 질량 중심점에 적용하였고, 실제 부품에 장착되는 볼트 개수를 고려하여 패널과 강체 연결을 수행하였다. 패널 내부에 부착된 열파이프는 1차원 보요소로 모델링 되었다. 위의 Fig. 4는 중계기 패널의 모드해석 수행결과를 나타낸다.

다음의 Table 2는 앞에서 언급한 중계기 패널의 모달 유효질량특성의 해석 결과를 나타내고 있다. 이 표에서 볼 수 있듯이 T3방향에 대한 병진방향에 대한 유효질량 값이 전체 시스템 무게의 약 76.5 %를 차지하고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Modal Effective Mass Allocation for Mode

Mode	Frequency	T1	T2	T3	R1	R2	R3
1	3.61E+01	6.74E-03	8.59E-04	3.23E+01	1.29E+01	1.52E+01	5.43E-03
2	8.35E+01	1.12E-02	9.28E-04	1.32E-01	2.56E-02	3.37E+00	7.01E-03
3	9.02E+01	2.85E-03	3.80E-02	2.76E-01	1.73E+00	2.99E-02	7.67E-03
4	1.27E+02	7.87E-03	1.60E-02	8.66E-02	2.45E-02	1.27E-01	2.99E-02
Total (Mode Sum)		2.87E-02	5.57E-02	3.28E+01	1.47E+01	1.87E+01	5.00E-02
Total (System)		4.28E+01	4.28E+01	4.28E+01	2.04E+01	2.48E+01	4.50E+01
Percent(%)		0.07	0.13	76.48	72.16	76.07	0.11

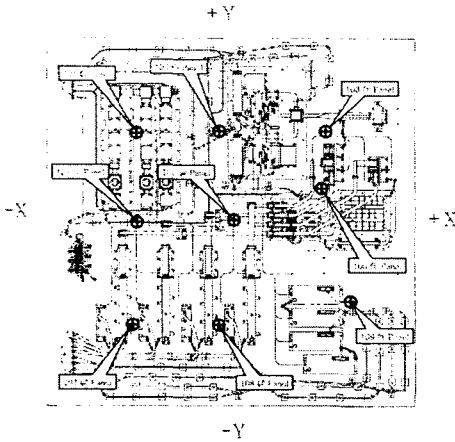


Fig. 5 Sensor Location on the CBS Transponder

중계기 패널의 경우 위성체 전체 시스템이 아니고 단순 평판 구조로서 1차원 진동계로 가정할 수 있다. 특히 네 곳의 모서리가 볼트를 이용하여 장착되므로 1차 굽힘 모드를 갖는 단순 진동계로 가정될 수 있다. 따라서, 앞에서 살펴 본 모달 변수 세 가지 방법에 대하여 모든 변수를 선정하지는 않고 그 중 모달 유효질량계수 선정만을 수행하고자 하였다. 이를 통하여 통신방송위성 중계기 패널 전체 시스템에 대한 모드의 특성을 이용하여 실제 진동시험 수행 시 적절한 센서의 위치 및 최적의 시험조건을 구현하고자 하였다.

3.3 센서위치 선정(Sensor Placement)

앞의 해석 결과를 토대로 패널의 1차 모드에서 최대 유효질량특성을 가지고 있으며 따라서 1차 모드의 특성을 분석하기 용이한 센서의 위치를 선정하였다. 마찬가지로 2차 및 3차 모드에 대한 응답특성 또한 진동시험 조건하에서 분석하기 용이한 위치에 센서를 장착하였다.

위의 Fig. 5는 통신방송위성 중계기 패널상의 가속도계 센서 위치를 나타낸 그림이다. 패널위치의 좌상 부분에서부터 101번에서 109번까지 총 9개의 가속도계를 부착하였고 패널 모드의 양상을 분석하였다.

4. 진동환경시험 및 해석결과 비교

우주 구조물은 발사 시 야기되는 극심한 진동 환경에 직접적으로 노출되므로 구조적 안정성을 입증하기 위하여 지상에서 실제 발사 시 유발되는 진동레벨을 이용한 시험을 수행하게 된다.^(10,11) 본 장에서는 이와 같은 시험조건 및 결과에 대한 분석을 수행하고 실제 해석 모델과의 차이를 비교 분석함으로써 작성된 해석적 모델에 대한 입증을 수행하고자 하였다. 특히 시험과 해석조건이 차이가 큰 경우 보정해석을 수행하게 되고 시험결과는 매우 중요한 정보를 제공하게 된다.

4.1 중계기 진동환경시험

발사체가 지상에서 발사되어 설정궤도에 도착하기까지 발사체 추진부에서 발생하는 추력과 음속의 수 배에 이르는 속도로 비행함에 따라 발사체 표면에 발생하는 가진은 중계기 패널에 매우 심각한 소음 및 진동을 유발시킨다. 중계기 서브시스템은 위성체의 2차 구조물로서 주요 중계기 발사하중은 위성체의 접합부를 통해 전달되는 고주파 성분의 가진력인 랜덤하중이며, 이러한 발사하중은 중계기의 성능을 저하 또는 마비시킬 수 있다. 따라서, 장시간의 개발기간과 고비용이 소요되는 중계기 서브시스템을 성공적으로 운용/관리하기 위해서는 설계 및 제작 과정에서 발사 및 초기 궤도운영에 대한 고려가 필요하며, 시험과정을 통하여 설계 및 제작에 대한 검증이 필요하게 된다.

4.1.1 환경시험 요구조건

Ku대역 중계기의 랜덤진동시험 요구사항은 Table 3과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 각 주파수 대역에 대한 PSD(g^2/Hz : root mean square value를 이용한 에너지) 값을 나타낸다. 각 주파수에 대한 PSD의 면적이 실제 가진되는 랜덤진동의 레벨이 된다.

Table 3 Random vibration test requirement

Frequency Range (Hz)	PSD	GRMS (g)	Duration	Minimum Roll-Off
20 ~ 100	+6dB/oct	2.55	60 sec	±12dB/oct
100 ~ 450	0.0075			
450 ~ 712	-6dB/oct			
712 ~ 1000	0.0030			
1000 ~ 2000	-6dB/oct			

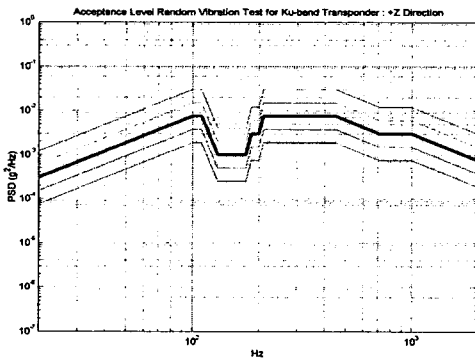


Fig. 6 Random vibration test level

또한 실제 랜덤진동시험을 수행하기 전/후로 낮은 레벨 Sine진동을 수행함으로써 구조적 연계성을 검토하게 된다. 랜덤진동시험 시에 시험대상물의 과도응답을 사전에 방지하기 위해 노칭(Notching) 레벨 및 주파수 범위 결정을 수행하게 되는데 Ku대역 중계기의 랜덤진동시험 요구사항에 대한 노칭 레벨 및 주파수 범위 결과는 Fig. 6과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 100 Hz에서 200 Hz 사이의 과도응답특성으로 인하여 입력 대비 출력의 값을 조절하는 노칭 입력을 적용하였다.⁽¹²⁾

4.2 환경시험 및 해석 결과비교

Ku대역 중계기 랜덤진동시험 결과를 Table 4에 정리하였다. Ku대역 중계기 랜덤진동시험 결과 중계기 패널의 각 부품의 부착위치에서 PSD 응답 값이 중계기 부품 설계기준인 0.09 g²/Hz를 초과하지만, 중계기 부품 수준의 랜덤 입력 가진 허용범위인 3 dB 이내에 있으므로 발사환경에서 구조적으로 안정함을 알 수 있다. 아래의 Fig. 7은 랜덤진동시험에 대한 결과를 나타내었다.

Table 4 Random vibration test results

Equipment	Sensor No.	GRMS (g)	Max. Test Value (PSD)	Limit (Acceptance)
IMUX	101-Z	3.471	0.097 @ 704 Hz	0.09 (PSD)
DCDC	102-Z	2.983	0.103 @ 614 Hz	
IFA	103-Z	3.275	0.108 @ 605 Hz	
IMUX	104-Z	3.471	0.097 @ 605 Hz	N/A
Panel	105-Z	5.738	0.162 @ 1679 Hz	
OMUX	106-Z	3.311	0.166 @ 605 Hz	0.09 (PSD)
TWT	107-Z	1.517	0.057 @ 79 Hz	
TWT	108-Z	2.590	0.052 @ 88 Hz	
EPC	109-Z	1.713	0.023 @ 155 Hz	

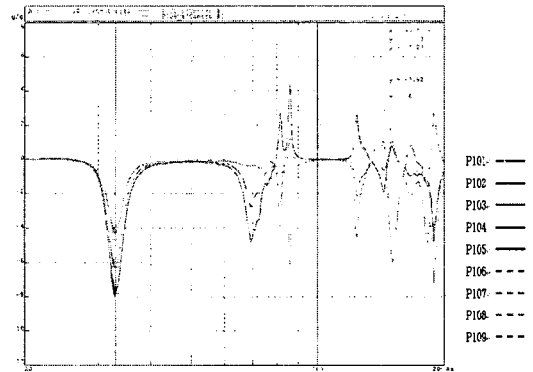


Fig. 7 Random test results of Ku-band CBS transponder

Table 5 Test and analysis results

모드	고유 진동수 (Hz)		오차 (%)	설계기준
	해석	시험		
1	36.0	33.4	8.4	> 25 Hz
2	84.4	82.5	2.3	
3	91.3	85.0	7.4	
4	128.0	122.5	4.5	

위의 Table 5는 환경시험에서 얻어진 패널의 고유진동수와 해석적 방법의 결과를 비교한 표이다.

해석적 결과와 환경시험간의 차이는 있으나 비교적 정확한 결과를 나타내고 있고, Fig. 7에서 나타난 전달율과 위상은 해석모드에서의 센서위치에 대한 각 차수별 모드와 매우 유사한 결과를 가짐을 알 수 있다. 또한 Ku대역 중계기 패널의 공진주파수는 최소 33.4 Hz 이상이며, 이는 통신방송 위성 강성 설계기준인 최소 25 Hz 이상을 만

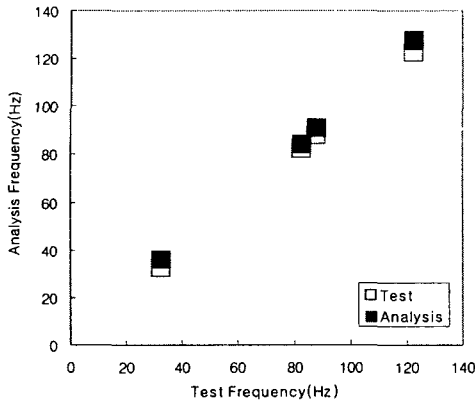
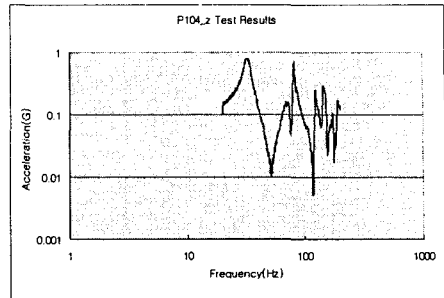


Fig. 8 CBS panel CMP

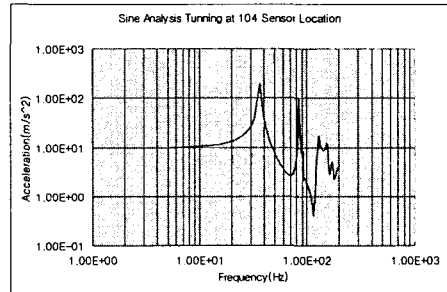
족하고 있다. Fig. 7에서 보듯이 약 70 Hz에서 패널의 1차 모드와 비슷한 양상의 모달 특성이 나타나는데 이는 대용량 진동시험장비에서 유발되는 일련의 과도응답특성으로 분석되었다. 즉, Fig. 4(b)는 패널의 2차 굽힘 모드로서 서로 다른 위상을 갖는 굽힘을 갖게 되고 따라서 각 위치의 센서 데이터의 위상은 서로 다르게 시험에서 나오고 있다.

해석과 시험결과의 오차가 많이 존재하는 경우 적절한 절차를 통해 수학적 모델의 변경 및 업데이트를 수행하게 된다. 상세한 비교/검증을 위해 우선적으로 검토하는 것이 CMP(Correlated Mode Pairs)이다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 각 모드별 위상 및 크기가 적절하게 부합됨을 알 수 있다. 특히 각 센서에서 나오는 데이터에 대한 정확한 예측이 이미 해석적인 방법을 통해 입증된 바, 모달변수(MAC, OR, XOR 등)를 이용한 정밀한 검증은 생략하였다. 즉, 보정의 대상이 위의 그림에서 보인 것과 같이 비교적 잘 일치하는 특성을 가질 경우 모델 보정(Correlation)을 위한 일반적인 모델 변경(질량 및 강성의 업데이트)과 같은 수행은 생략되어질 수 있다. 다만 입력에 대한 전달율과 같은 경우 댐핑의 적절한 선정을 통하여 수정을 하는 것이 일반적이고 따라서 본 논문에서는 수행된 해석 모델의 댐핑 값의 변화를 통해 모델 보정을 수행하고자 하였다.

응답 특성에 대한 전달율 및 응답의 크기에 대한 보정을 위해 Sine진동시험에 대한 전달율 및 응답특성은 실제 해석결과와 비교를 통한 댐핑 값의 변경을 통하여 보정해석을 수행하였다.



(a) Sine vibration test results



(b) Correlation analysis of sine vibration

Fig. 9 Sine vibration test & analysis

앞에서 언급한 바와 같이 실제 모달 특성 비교를 통한 해석 모델의 적합성을 검토한 바, 해석적 접근방법의 경우 전 주파수 대역에 일정한 구조 댐핑 값(1~2 %)을 사용하게 되는데, 이는 응답이 존재하는 각 주파수 대역에서의 구조 댐핑의 특성을 정확하게 반영하지 못할 수 있으므로 응답에 대한 전달율과 같은 값의 차이가 존재하게 된다. 따라서 이와 같은 면을 줄이기 위해 실제 응답특성이 나타나는 대역에 적절한 댐핑의 변경을 통한 보정을 수행하게 된다. 본 논문의 해석 결과로서 위 Fig. 9의 (a)는 실제 0에서 200 Hz에 대한 Sine진동시험 결과를 나타내고, (b)는 보정을 통한 해석결과를 나타낸다. 해석상에서는 일반적인 댐핑계수를 이용한 해석을 수행하므로 80에서 90 Hz 부근에서 낮은 전달율을 갖는 응답특성이 나타났다. 보정해석에서는 약 80에서 90 Hz 부근의 댐핑계수를 실제와 부합되는 적절한 댐핑계수를 선정하여 재해석을 수행한 결과 비슷한 전달율을 갖는 응답특성을 얻을 수 있었다. Fig. 9의 (a)는 시험을 통해 얻은 값으로 0.1 G(1 m/s²: G=a/g)의 입력 값을 이용하여 수행하였고, (b)는 해석의 특성상 대형질량 적용(large mass application)을 이용하여 9.81 m/s² 값을 입력으로

Table 6 Comparison of Pre/Post Low Level Random Vibration Test

모드	고유 진동수 (Hz)		Δ (%)
	Pre	Post	
1	32.5	32.5	0
2	82.5	81.3	-1.5
3	85.0	85.0	0
4	121.3	122.5	1.0

해석을 수행하였다.

Ku대역 중계기의 기계적 조립성 및 구조적 안정성을 검증하고자 수행한 저준위 랜덤진동시험 결과는 Table 6과 같으며, 랜덤진동시험 이전과 이후에 고유진동수의 변화량은 중계기 설계기준(고유진동수 변화 5 % 이하)을 초과하지 않음을 알 수 있다. 실제 발사환경이 랜덤진동시험을 수행하게 되면 기계적 접속이 틀어지거나 미끄럼 같은 현상이 발생하면서 주파수 편이(Frequency Shift)가 발생하는데, Ku대역 중계기 패널의 경우 요구조건을 만족함을 알 수 있었다. 따라서, Ku대역 중계기 패널은 충분한 강성을 가지고 있으며 기계적으로 조립성이 양호함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 통신방송위성 기술 인증모델 탑재체 개발의 일환으로 수행된 과제로서 향후 비행모델에 적용될 위성 구조물 개발이라는 관점에서 그 의미가 있다. 본 논문에서는 우주 발사환경시험을 토대로 Ku대역 중계기 패널에 대한 수학적 모델의 검토를 수행하였고 각 모드에 분할된 유효질량계수의 결정을 검토하였다. 또한, 이러한 모델 검토를 바탕으로 진동시험을 위한 최적의 센서위치를 선정하였다. Ku대역 중계기 패널의 모델검증을 위해서 해석과 환경시험의 최적화된 기법이 수행되었으며, 그 결과분석을 통해서 통신방송위성 탑재체 시스템의 강성 설계기준을 만족함을 확인하였고 패널의 기계적인 조립성과 구조적인 안정성이 검증되었다.

참고문헌

- (1) MSC/NASTRAN RELEASE GUIDE USER MANUAL, ver. 2001, McNeal-Schwendler Corporation, Los Angeles, CA.
- (2) MSC/NASTRAN Basic Dynamic Analysis, ver. 68, McNeal-Schwendler Corporation, Los Angeles, CA.
- (3) Meirovitch, L., 1986, "Elements of Vibration Analysis," Second Edition, McGraw Hill Book Co., New York.
- (4) Seo, H. S., Choi, J. S., Woo, H. J. and Park, J. H., 2003, "Estimation of Structural Reliability for the CBS Ku-band Transponder Panel using Environmental Vibration Test," *Proc. of the KSAS Spring Annual Meeting 2003*, pp. 686~689.
- (5) Guyan, R. J., 1965, "Reduction of Stiffness and Mass Matrices," *AIAA Journal*, Vol. 3, p. 380.
- (6) O'Callahan, J., 1989, "A Procedure for an Improved Reduced System(IRS) Model," *Proceedings of the 7th International Modal Analysis Conference*, Las Vegas, NE, pp. 17~21.
- (7) Kammer, D. C., 1987, "Test-Analysis Model Development Using an Exact Model Reduction," *International Journal of Analytical and Experimental Modal Analysis*, Vol. 2, pp. 174~179.
- (8) Chung, Y. T. and Sernaker, M. L., 1994, "Assessment of Target Mode Selection Criteria for Payload Modal Survey," *Proceedings of the 12th International Modal Analysis Conference*, Honolulu, HI, pp. 274~279.
- (9) Woo, H. J., Kim, H. D. and Choi, C. Y., 1999, "Mechanical Design of Koreasat-3 Ka-band Payload Subsystem," *KSAS Journal*, Vol.27, No.1, pp. 135~144.
- (10) Choi, J. S., 2002, "AIT Plan for the CBS Payload System," ETRI, P-3000-000-TPF.
- (11) Lee, S. P., Chung, T. J., Park, J. H., Yom, I. B., Eun, J. W., Choi, W. S. and Kim, J. M., 2002, "Satellite Communication Payload System Development Technology," *Proc. of APSCC 2002 Conference*, pp. 1065~1075.
- (12) Kim, K. W., Kim, S. H., Kim, J. H., Rhee, J. H., Hwang, D. S. and Jin, I. M., 2003, "Notching Analysis for Sinusoidal Vibration Test of Satellite," *Proc. of the KSAS Spring Annual Meeting 2003*, pp. 76~79.