복합재료 위성안테나의 진동시험을 위한 구조 동해석

송운형*, 권상룡*, 송광호*, 류시융*, 한재흥**, Horst Stockburger***

Dynamic Analysis of Composite Satellite Antenna Structure for Sine Vibration Test

Woon Hyung Song*, Sang Ryong Kwon*, Kwang Ho Song*, Si Yoong Yoo*, Jae-Hung Han**, and Horst Stockburger***

Key Words: Satellite Antenna, Resonance, Dynamic Analysis, Composites, Reflector, Large Mass Method, Finite Element Model, Sine Vibration Test

ABSTRACT

The vibration qualification test of satellite antenna is required to verify that there will be no structural damage due to the severe vibration caused by the launch of satellite. For the qualification test, reasonable test load condition needs to be introduced by dynamic analysis. The present work has been performed to provide an understanding how the qualification test load can be evaluated by the results of both normal mode and sine vibration analyses with notching technique for a composite Ka-band antenna structure.

초 록

인공위성 발사 시 안테나를 비롯한 탑재체는 극심한 진동을 경험하게 된다. 따라서 공진에 의한 구조물의 파손을 방지하기 위해 지상 인증시험을 수행하게 되며, 이를 위하여 구조 동해석을 통해 인증시험에 적용되는 적정 하중값을 결정하는 과정이 선행된다. 본 논문에서는 복합재료로 이루어진 Ka 대역 안테나 구조물의 동해석을 위하여 자유진동해석과 정현파 진동해석을 수행하고, 그 결과로서 진동시험 시 구조물의 인증시험에 요구되는 적정 하중값을 노칭기법을 이용하여 산출하였다.

1. 서 론

인공위성의 응용이 통신, 방송, 기상관측, 지리정보, 우주탐사 등 정보산업, 국방 및 과학분야에 확산됨에 따라 최근 위성을 이용한 우주산업은 비약적으로 성장하고 있다. 그 중 통신위성은 전기, 전자, 통신, 재료, 기계 등 첨단 기술분야의 참여가 요구되는 기술의 집약체로서, 이의 개발을 위해서는 정부, 산학 연구기관 및 기업체들이 참여하여 각 분야의 역할을 성공적으로 수행할 수 있는 체계를 확립하여야 함이 필수적이다. 현재 개발 중인 통신방송위성 탑재용 기술인증모델(Engineering Qualification Model: EQM) Ka 대역 안테나는 그레고리안(Gregorian) 타입으로 주반사판과 부반사판 및 Tower 로 이루어져 있으며 고정식으로 궤도 진입을 위한 발사시점부터 임무수행 중에 걸쳐 같은 형상을 유지한다(Fig.1). 이 안테나는 20/30GHz 의 매우 높은 주파수 대역을 사용하게 됨에 따라 사용되는 반사판의 반사손실이 매우 낮

* 대한항공/ 한국항공기술연구원
** 한국전자통신연구원/ 통신위성개발센터
*** ASTRIUM/ Earth Observation & Science Div. (Germany)

아야 되고, 또한 정지궤도 35,786Km 상공에서 정확하게 지상목표지점 (안테나 boresight)에 전파를 방사(radiation)하여야 하므로 반사판의 제작공차가 매우 작다. 이러한 엄격한 조건을 만족하는 동시에 경량화를 이루기 위해서는 복합재료로 안테나를 제작하는 것이 세계적인 추세이다.

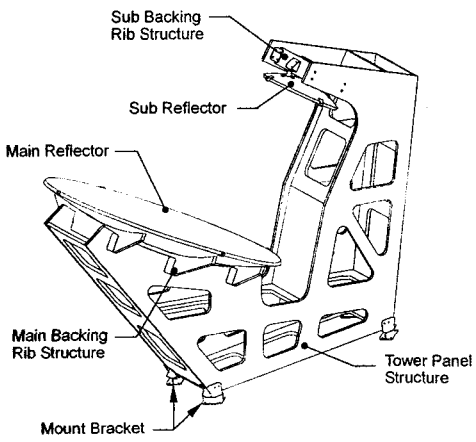


Fig. 1 Ka-band Antenna

위성 안테나는 발사시에 진동 및 소음에 의한 하중이 매우 크게 작용한다. 특히 진동에 의한 안테나의 파손을 방지하기 위하여 안테나의 고유주파수 영역이 발사시의 진동 주파수 영역과 겹치지 않도록 하는 것이 매우 중요하며 이를 위하여 발사 이전 지상에서 충분한 인증시험(Qualification test)을 거치게 된다. 이러한 인증시험의 종류에는 Random 하중에 대한 응답함수를 예측하기 위한 Random Vibration Test, 준정적 하중에 대한 구조강도를 평가하기 위한 Sine Burst Test, 저주파수 과도 하중에 대한 구조강도를 평가하기 위한 Sine Vibration Test, 소음에 의한 영향을 평가하기 위한 Acoustic Test, 발사체와 위성 분리 시 발생하는 충격을 모사하기 위한 Shock Test 등이 있다. 본 논문에서는 통신방송위성 탑재용 안테나 구조계를 개발함에 있어 요구되는 인증시험 중의 하나인 Sine Vibration Test 를 위한 진동 해석을 수행하였다.

2. Ka 대역 안테나의 구조 동해석 모델

2.1 안테나 형상 및 재료

현재 개발중인 Ka 대역 안테나는 개구면 직경 900mm 의 주반사판과 300mm 가량의 개구면 직경을 갖는 부반사판으로 구성되는 Offset Gregorian Type 안테나이다. 안테나 구조물은 4개의 마운트 브라켓으로 위성 본체와 연결되며 각 패널과 반사판, 지지구조물 등은 Clip 으로 연결되어 있다. 모든 구조물은 경량화와 최소 열변형의 목적으로 하니콤 샌드위치 구조로 구성되어 있다. 구조물의 면재는 TORAY 사의 M60J 와 M40J 를 사용하였으며 심재로는 HEXEL Flex-Core 5056/F40-.0014, 2.1PCF 와 HEXEL 3/16-5056-.0007, 2.0PCF 가 사용되었다 (Table 1).

Table 1. Materials for Sandwich Structures

Component		Material	Lay-Up	Thick (mm)
Main Reflector	Face	M60J	$[0°]_3$	0.375
	Core	Flex Core	-	12.7
Sub Reflector	Face	M60J	$[0°]_2$	0.25
	Core	Flex Core	-	12.7
Backing Ribs	Face	M60J	$[0°]_2$	0.25
	Core	HEXEL Core	-	12.7
Tower Panel	Face	M40J	$[0°/60°/-60°]_s$	0.6
	Core	HEXEL Core	-	12.7

2.2 유한요소 모델

Fig. 1 의 형상을 토대로 CATIA 에서 3 차원 기하학 모델을 생성하여 MSC.PATRAN 에서 유한요소모델을 생성하였고 이를 그림 2 에 나타내었다. 각 반사판과 패널류는 2 차원 4 절점요소 CQUAD4 요소를 사용하였으며, 전체 요소의 개수는 8205 개, 절점의 개수는 9508 개이다. 반사판과 패널류들을 연결하는 Clip joint 및 각종 Adhesive 류는 Nonstructural mass 로 유한요소 모델에 포함시켰으며 최종 질량은 13.9Kg 이었다.

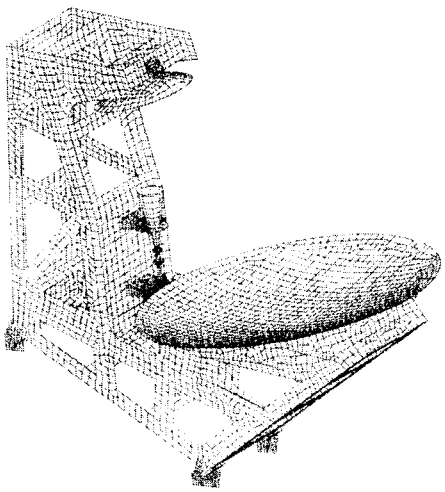


Fig. 2 Ka-Band Antenna FE Model

2.3 정현파 진동 하중

발사 시 비록 짧은 시간이긴 하더라도 안테나 구조물은 연료와 탱크사이에서 발생하는 상호작용과 엔진에 의한 진동, 난기류 등에 의한 진동을 겪게 된다. 이 진동을 모사하는 것이 정현파 진동 시험 (sine vibration test)으로서 이 시험을 실시하기 위해서는 진동해석이 선행되어야 하고 또한 이 결과를 토대로 진동시험하중을 제어하는 것이 요구된다.

진동시험 하중은 주파수에 대해 중력가속도 값인 G 로 표시되며 본 논문에서 사용된 진동 시험 하중은 Qualification Sine Vibration Level 로서 발사체 제작사에 의해 제공되어진다. 본 연구에서 사용된 하중 레벨을 Table 2 에 정리하였다.

Table 2. Qualification Sine Input Level

Direction	Freq. (Hz)	Level (G)
X, Y, Z	10~24	0.5 in. D.A.
	24~36	15
	36~55	20
	55~100	7

3. Ka 대역 안테나 동적 구조해석

3.1 자유진동 해석

자유진동 해석은 구조물의 동적 특성을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 이 자유진동에서 비롯되는 각 고유진동수(Natural Frequency)는 Sine Vibration Analysis 에 큰 영향을 미치기 때문에 반드시 수행되어야 하는 해석 단계이다. 또한 고유진동수는 구조물의 강성과 밀접한 관계에 있기 때문에 구조물의 강성을 평가하기 위한 지표로도 사용된다. 본 Ka 대역 안테나 개발에서는 저주파 영역에서의 공진 파손을 억제하기 위하여 45Hz 이상에서 첫 번째 고유진동수를 갖도록 설계되었으며 자유진동 해석 결과는 아래 Table 3 에 나타낸 바와 같다.

Table 3. Ka-Band Antenna Natural Frequency

Mode	Natural Frequency	Description
1st	63Hz	Tower rock in y-axis
2nd	83Hz	Tower twist about x-axis
3rd	91Hz	Feed horn rock in y-axis
4th	100Hz	Feed horn rock in x-axis
5th	113Hz	Sub reflector rock in y-axis

3.2 정현파 진동 해석

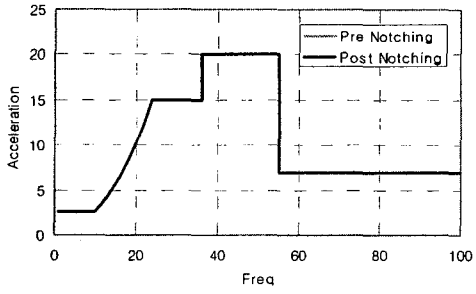
2.2 절의 유한요소 모델에 2.3 절의 하중을 가해 정현파 진동 해석을 수행하였다. 유한요소모델에 Large Mass 를 추가한 후 안테나의 각 브라켓을 강체 바를 이용하여 Large Mass 와 연결, 하중을 가하는 Large Mass Method 를 사용하였다.

안테나 구조물의 정현파 진동 시험에 대한 구조적 안전성을 보장하기 위하여 입력 하중에 대한 노칭(Notching)이 필요하다. 일반적으로 사용되는 노칭 조건은, 주반사판과 부반사판에서 최대 가속도가 일정 조건을초과하지 않도록 하거나 또는 인터페이스 하중(Interface Load)이 준정적 하중(Quasi Static Load)하에서의 인터페이스 하중값을 초과하지 않도록 하는 방법이 있다. 본 연구에서는 인터페이스 하중값이 준정적 하중에 대한 인터페이스 하중을 초과하지 않도록 노칭 조건을 설정하였다. 준정적 하중에 대한 해석을 수행하여 얻은 결과는 아래 Table 4 와 같다.

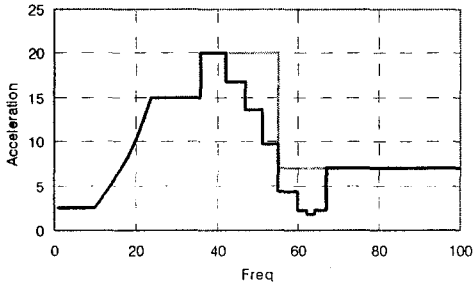
Table 4. Quasi-Static Interface Load

Direction	Quasi-Static Load	Interface Load
X, Y, Z	30G	4074N

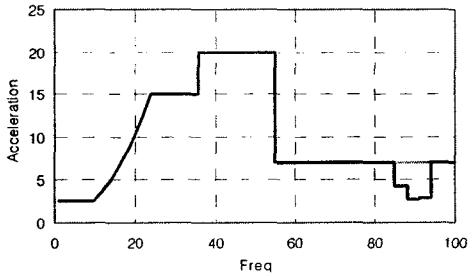
위에서 기술한 방법을 사용하여 정현파 진동 해석을 수행한 후 각 방향에 대한 인터페이스 하중을 계산하고 그 값이 4074N 을 초과하지 않도록 입력 하중을 조절하여 다시 정현파 진동 해석을 수행하였다. 수 차례 반복과정을 통해 최종적인 노칭 된 정현파 진동 하중값을 얻었다. 이 값은 정현파 진동 시험에 대한 안테나 구조물의 구조적 안전성을 보장하는 값으로 결정하였으며 Fig. 3 에 각 방향에 대한 노칭 전후의 입력 하중값을, Fig. 4 에 노칭 전후의 인터페이스 하중값을 각각 나타내었다. 결과를 보면 x 축 방향에 대해서는 인터페이스 하중값이 작아 노칭이 불필요하였으며 y 축 방향에 대해서는 첫번째 고유진동수 영역에서, z 축 방향에 대해서는 두번째 고유진동수 영역에서 노칭이 필요하였다. 이러한 현상은 고유진동수 값과 밀접한 연관이 있는데 가장 큰 영향을 미치는 첫번째 고유진동수 모드는 y 축 방향으로 큰 변형을 일으키기는 모드이며 두번째 모드는 z 축 방향으로 변형이 발생하는 모드이다. 세번째와 네번째 모드는 피드혼에 대한 진동 모드이기 때문에 인터페이스 하중에는 별다른 영향을 미치지 않는다. 따라서 첫번째 모드에 의해 y 축 방향의 인터페이스 하중이 크게 발생하는 반면 z 축 방향으로는 두번째 모드에 의한 공진의 영향이 약간 발생하고 x 축 방향으로는 공진에 의한 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다.



(a) X-direction

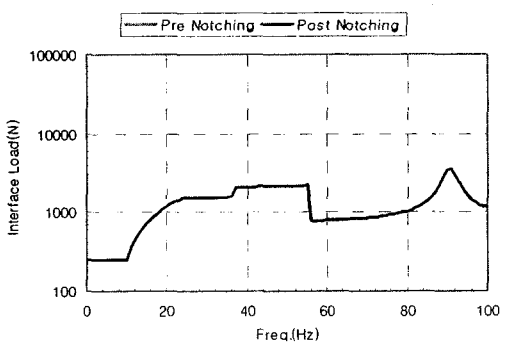


(b) Y-direction

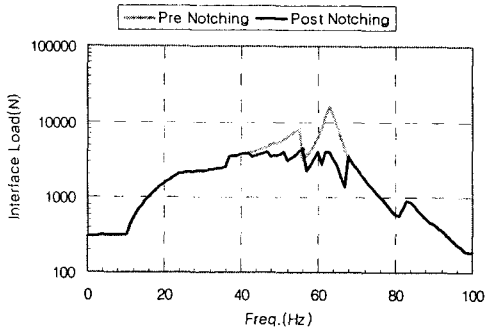


(c) Z-direction

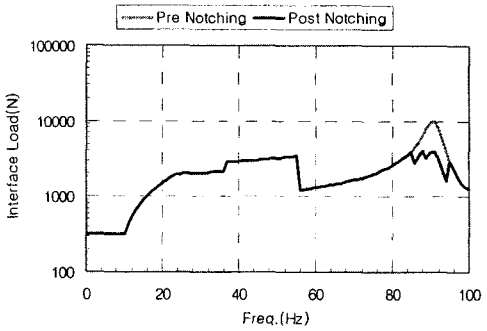
Fig. 3 Sine Input Level (Qualification & Notched)



(a) X-direction



(b) Y-direction



(c) Z-direction

Fig. 4 Sine Vibration Interface Load

4. 결 론

본 연구에서는 Ka 대역 위성 안테나에 대해 정현파 진동 하중에 대한 해석을 수행함으로써 인터페이스 부위의 주파수별 하중값을 도출하였고 이를 바탕으로 안테나 구조물의 안전도를 보장할 수 있는 시험 하중을 결정하였다. 이 새로 계산된 시험 하중은 안테나 인증시험 시 시험기준값으로 사용될 수 있다.

참고문헌

(1) 박종흥, 염인복, 이성팔, "통신위성 탑재체 주요 기술 분석," 한국항공우주학회지, 제 30 권 제 2 호, 2002, pp. 136-144

(2) 신원호, 오일권, 한재흥, 오세희, 이인, 김천곤, 박종흥, "위성 안테나 구조물의 자유진동 및 정현파 강제 진동 해석," 한국복합재료학회지, 제 14 권 제 5 호, 2001, pp20-25

(3) Ryan Simmons, "MSC.NASTRAN Frequency Response Example a Using Seismic Mass," NASA, GSFC, 2001