

# 대형 안테나의 충격해석에 관한 연구

신건호\* 허장욱\*.#

\* 금오공과대학교 기계시스템공학과(항공기계전자융합공학전공)

## A Study on the Shock Analysis of Large Scale Antenna

Geon-Ho Shin\*, Jang-Wook Hur\*.#

\*Mechanical System Engineering(Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering), Kumoh Institute of Technology

(Received 31 January 2021; received in revised form 11 March 2021; accepted 29 March 2021)

### ABSTRACT

The antenna is mounted on the vehicle and operated, so its components must be able to withstand the shock that may occur while driving. In this study, the stability of antenna mounted on the vehicle is verified through the connection between modal analysis and transient analysis. The shock data used was taken from MIL-STD-810H, METHOD 516.8. As a result of the analysis of antenna, the maximum equivalent stress 169.49MPa and minimum margin of safety 2.31 has occurred on the bracket of antenna. Thus, it was found that the antenna has enough stability during the operation.

**Key Words** : Antenna(안테나), Modal Analysis(모달해석), Effective Modal Mass(유효모드질량), Transient Analysis(시간이력해석), Margin of Safety(안전여유)

## 1. 서 론

군사용으로 사용하는 대형 안테나와 같은 주요 장비는 시제품을 제작하기 전에 MIL-STD-810H의 군사표준을 참조하여 해석을 통해 충격과 같은 기계적 환경시험 항목에 대해 건전성을 검토하고 있다. 특히, 대형 안테나는 일반적으로 차량에 탑재하여 운용하고 있으므로, 이동환경에서 예상치 못

한 충격으로 안테나 혹은 소자 등이 파손된다면 안테나 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 시제품을 제작하여 시험하기 전에 해석을 통해 검증한다면, 시제품의 충격시험에 따른 fail 관련 위험을 크게 감소시킬 수 있다<sup>[1]</sup>.

따라서 본 연구에서는 무기체계의 환경시험 기준인 MIL-STD-810H의 Method 516.8에 명시된 충격데이터를 입력값으로 하여 ANSYS 19.2의 시간이력해석(Transient Analysis)을 수행하였으며, 안테나 충격 환경에서 발생하는 최대응력을 도출함으로써, 안전여유를 계산하여 안테나의 신뢰성을 확인하였다.

# Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7399

\*해당 논문은 저자의 요청에 의해 2021년 07월 16일 수정되어 정정된 논문입니다.

## 2. 시험규격

MIL-STD-810H, Method 516.8에는 평가대상으로 부터 측정된 시간이력 데이터가 없는 경우에는 고전적 충격펄스(Classical Shock Pulse)를 이용하여 충격을 재현할 수 있다고 명시되어 있다. 고전적 충격펄스로는 톱니 파형 충격펄스(Terminal Peak Sawtooth Shock Pulse), 사다리꼴 파형 충격펄스(Trapezoidal Shock Pulse) 및 반사인 파형 충격펄스(Half-Sine Shock Pulse)가 있는데, 이중 차량에 탑재 및 운용 중에 발생하는 충격은 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 톱니 파형 충격펄스의 사용이 가능하다. 또한, 평가대상을 적재한 차량이 주행하는 장소의 환경에 따른 시험조건은 Table 1과 같이 최대 진폭, 충격작용시간 및 충격횟수로 구분하여 총 6가지 Case로 정리할 수 있으며, 여기서 Fig. 1의 A와  $T_D$ 는 Table 1의 Amplitude(G-Pk)와 Pulse Duration에 해당되는 값이다<sup>[2]</sup>.

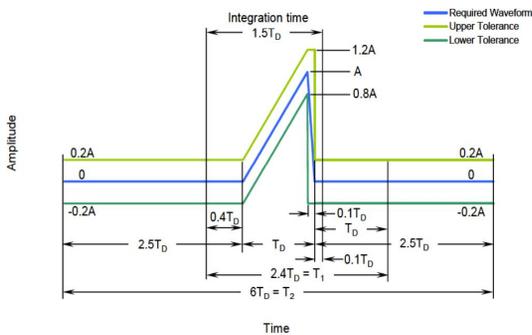


Fig. 1 Terminal peak sawtooth shock pulse

Table 1 Transportation shock test condition cases

Case	Environment	Pulse Duration	Amplitude (G-Pk)	Number of Shocks
1	5000km on road	11ms	5.1	42
2			6.4	21
3			7.6	3
4	1000km off road	5ms	10.2	42
5			12.8	21
6			15.2	3

## 3. 해석조건 및 방법

### 3.1 제품 형상 및 기계적 성질

안테나의 형상은 Fig. 2와 같으며, 구성품 및 PCB가 구조체 및 브라켓으로 연결되어 있다. 또한, 안테나는 등방성재료로 만들어진 부품과 직교 이방성재료로 만들어진 PCB부품으로 구성되어 있으며, 해석에 적용된 재료의 기계적 성질은 Table 2와 같다.

### 3.2 요소분할 및 경계조건

요소분할은 Fig. 3에 나타낸 바와 같으며, 사면체요소와 육면체요소를 적용하여 395,400개의 절점과 87,763개의 요소로 분할하였다. 실제 안테나는 장착을 위해 구조체를 고정시킬 수 있는 홈이

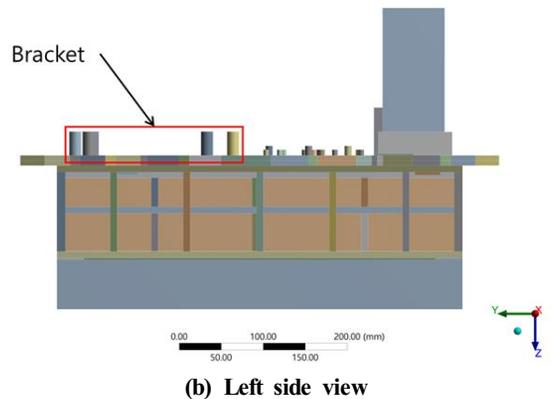
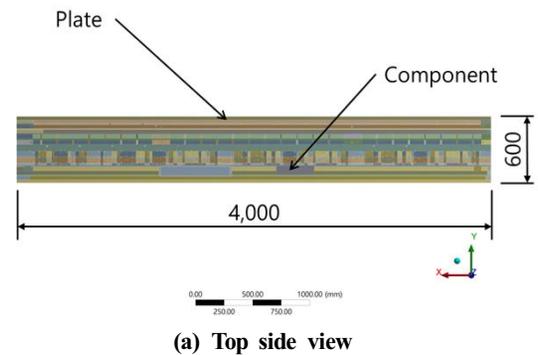


Fig. 2 Antenna configuration

가장자리에 위치해 있으나, 본 모델에서는 흠을 제거하고, 흠의 위치에 Fixed 구속조건을 적용하였다.

안테나의 내부에는 동적인 구성요소가 없으므로 구성요소들의 절단면과 접촉면이 서로 분리되거나 마찰하지 않게끔 모든 접촉면에 Bonded 접촉조건을 부가하였다. 또한 접촉조건의 관계식은 Augmented Lagrange를 채택하였으며, Augmented Lagrange는 Penalty Method를 기본으로 하는 접촉 알고리즘으로 Pure Penalty에 Lagrange Multiplier를 추가하여 해석이 수렴될 확률을 높인 특징이 있다. 그리고 접촉조건이 부가된 모든 면의 해석결과를 동시에 도출할 수 있으며, 접촉을 탐지할 때 Gauss Point Detection을 사용할 수 있어 곡률이 같은 접촉면 사이의 호환성을 높일 수 있다<sup>13-15</sup>.

### 3.3 해석방법

안테나의 충격해석은 모달해석(Modal Analysis) 후 모달해석의 출력값과 톱니파형 충격펄스를 시간이력해석의 입력값으로 하여 수행하였다. 모달해석은 안테나의 모드주파수(Modal Frequency)와 모드형상(Mode Shape) 등을 계산하기 위해 사용되는데, 너무 많은 모드를 추출할 경우 시간이력해석 시 많은 전산소요가 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 M. E. DEMİR는 충격해석을 위한 모드를 총 모드유효질량(Effective Modal Mass)이 전체질량의 90% 이상이 될 수준까지만 추출하였고<sup>16</sup>, E. TASDELEN은 80% 이상이 될 정도까지만 추출하였다<sup>17</sup>. 여기서 모드유효질량은 각 모드에서 특정한 방향으로 영향을 받는 질량의 양을 의미한다. 안테나는 차량에 탑재되어 이동될 때 Fig. 3에 표

기한 좌표계 상에서 XY평면에 해당되는 면에 수평하게 놓혀진 상태로 이동하여 Z축방향으로 가해지는 충격에 가장 큰 영향을 받기 때문에 본 연구에서는 높은 정확도를 위해 Z축방향의 모드유효질량이 전체질량의 90% 이상이 될 수준까지 모드를 추출하였다. 그리고 시간이력해석은 모달해석에서 계산된 값을 기반으로 충격펄스를 부가 시 진동특성을 얻기 위해서 수행하였다<sup>18-19</sup>.

시간이력해석은 3축방향으로 톱니 파형 충격펄스를 20g의 진폭과 11ms의 작용시간으로 1회씩 부가 후 안테나가 Z축방향으로 가장 큰 영향을 받는 것을 검증한 후 +Z, -Z방향에 대해서만 가혹한 조건인 Table 1의 Case 5와 Case 6에 대한 해석을 각각 진행하였다. Case 5의 충격펄스가 가해지는 총 시간은 617.5ms이고, Case 6의 충격펄스가 가해지는 총 시간은 77.5ms이며, +Z 방향으로 적용된 충격펄스의 전체형상을 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다.

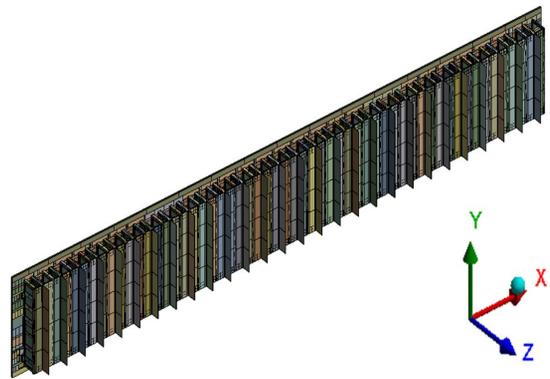


Fig. 3 Analysis model of antenna

Table 2 Material properties

Type	Plate	Bracket	PCB		
			Length	Cross	Vertical
Density	2,700kg/m <sup>3</sup>	2,830kg/m <sup>3</sup>	1,840kg/m <sup>3</sup>		
Young's Modulus	68.9GPa	71.7GPa	20.4GPa	18.4GPa	15GPa
Poisson's Ratio	0.33	0.33	0.11	0.09	0.14
Shear Modulus	25.9GPa	27.0GPa	9.2GPa	8.4GPa	6.6GPa
Yield Strength	275MPa	490MPa	240MPa		

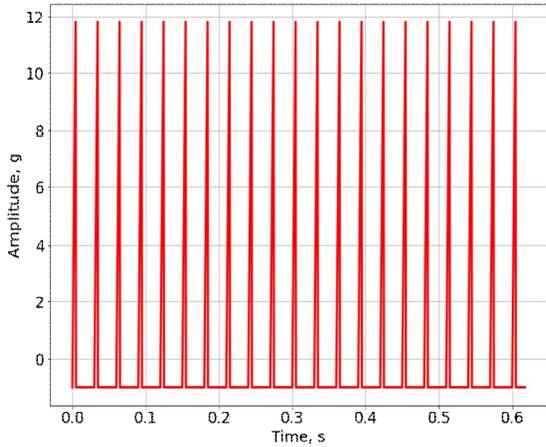


Fig. 4 Shock pulse exposure of case 5

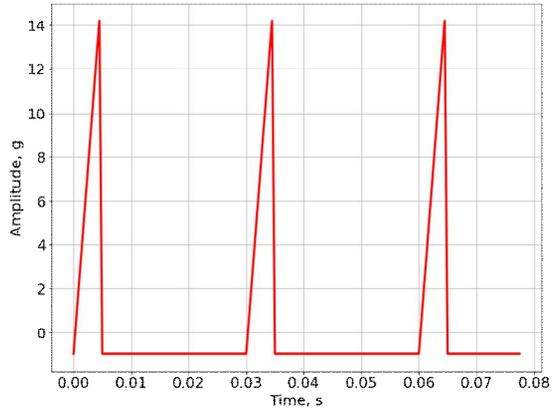


Fig. 5 Shock pulse exposure of case 6

## 4. 해석결과 및 고찰

### 4.1 모달해석

안테나의 모달해석은 Z축 방향의 총 모드유효질량이 전체질량의 90% 이상이 될 수준의 모드를 추출할 때까지 진행하였으며, 이때 Table 3과 같이 총 90개의 모드가 추출되었고, 추출된 모드 중 1차 ~ 3차 모드의 형상을 Fig. 6에 나타내었다. 1차 모드의 최대 변위는 안테나의 중앙 상부에서 발생하였으나, 2차 모드의 최대 변위는 좌·우측 상단에서 발생하였으며, 3차 모드의 경우에는 좌·우측 상단과 중앙 상단으로 분산되고 있다. 또한 최대 변위는 모드유효질량의 순서인 1차 모드(73.74%), 3차 모드(12.79%), 2차 모드(0.11%)의 순으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

### 4.2 시간이력해석

Case 5 및 Case 6에 대한 해석에 앞서 안테나가 Z축방향으로 영향을 가장 많이 받는다는 것을 검증하기 위해 톱니파형 충격펄스가 20g의 진폭으로 11ms 동안 1회씩 부가된 해석결과를 Table 4에 나타내었다. 해석결과 +Z, -Z축 방향의 응력수준이 다른 방향에 비해 상당히 높게 나온 것을 확인할 수 있으므로 +Z, -Z축 방향으로만 충격펄스를 부가하여 해석하였다.

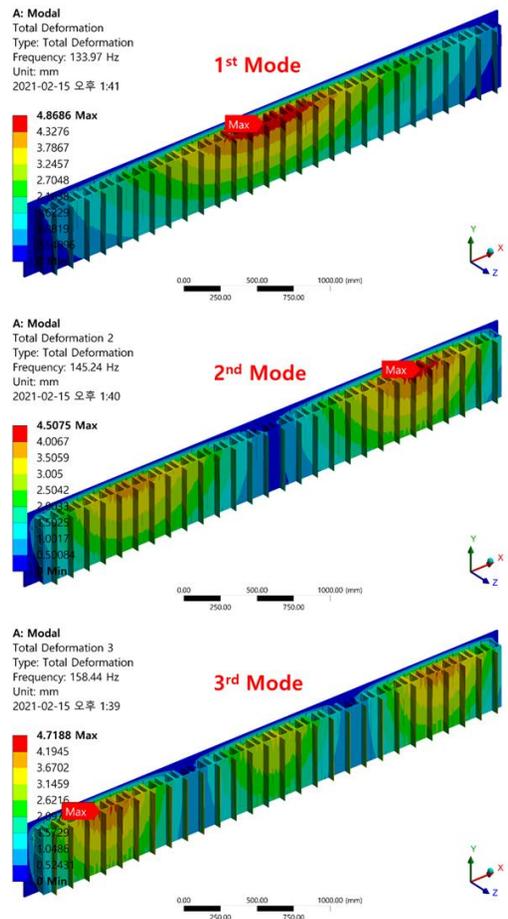


Fig. 6 1<sup>st</sup> ~ 3<sup>rd</sup> mode shape

**Table 3 Mode extraction**

Mode	Frequency (Hz)	Modal mass(%)	Mode	Frequency (Hz)	Modal mass(%)	Mode	Frequency (Hz)	Modal mass(%)	Mode	Frequency (Hz)	Modal mass(%)
1	133.974	73.738	24	193.753	0.001	47	207.566	0.000*	70	249.985	0.000*
2	145.235	0.107	25	193.755	0.000*	48	207.567	0.000*	71	249.986	0.000*
3	158.439	12.785	26	193.757	0.000*	49	207.568	0.000*	72	249.988	0.000*
4	191.951	0.010	27	193.757	0.000*	50	207.568	0.000*	73	249.99	0.000*
5	193.456	0.038	28	193.758	0.000*	51	207.569	0.000*	74	249.991	0.000*
6	193.533	0.003	29	193.759	0.000*	52	207.57	0.000*	75	249.993	0.000*
7	193.578	0.006	30	193.759	0.000*	53	207.57	0.000*	76	249.995	0.000*
8	193.622	0.000*	31	193.765	0.000*	54	207.571	0.000*	77	249.997	0.000*
9	193.643	0.000*	32	197.066	0.029	55	207.571	0.000*	78	249.998	0.000*
10	193.669	0.000*	33	207.498	0.000*	56	207.571	0.000*	79	249.999	0.000*
11	193.687	0.000*	34	207.514	0.000*	57	207.572	0.000*	80	250.001	0.000*
12	193.701	0.000*	35	207.518	0.000*	58	207.572	0.000*	81	250.002	0.000*
13	193.711	0.000*	36	207.524	0.000*	59	207.572	0.000*	82	250.003	0.000*
14	193.72	0.000*	37	207.53	0.000*	60	207.579	0.000*	83	250.004	0.000*
15	193.726	0.000*	38	207.536	0.000*	61	240.616	1.105	84	250.005	0.000*
16	193.732	0.000*	39	207.542	0.000*	62	249.964	0.000*	85	250.006	0.000*
17	193.736	0.003	40	207.547	0.000*	63	249.977	0.000*	86	250.006	0.000*
18	193.741	0.000*	41	207.551	0.000*	64	249.978	0.000*	87	250.007	0.000*
19	193.742	0.006	42	207.554	0.000*	65	249.979	0.000*	88	250.007	0.000*
20	193.746	0.003	43	207.558	0.000*	66	249.979	0.000*	89	250.012	0.000*
21	193.748	0.008	44	207.56	0.000*	67	249.981	0.000*	90	281.251	5.818
22	193.75	0.003	45	207.562	0.000*	68	249.982	0.000*	Total		93.676
23	193.752	0.000*	46	207.564	0.000*	69	249.984	0.000*			

0.000\* : Indicates that it has a value after 4 decimal places.

**Table 4 Results of prior analysis**

Shock direction	Max. eqv. stress (MPa)
+X	12.92
-X	12.049
+Y	19.027
-Y	19.916
+Z	218.53
-Z	218.74

**Table 5 Maximum equivalent stress(Von-Mises)**

Type	Case 5		Case 6	
	+Z	-Z	+Z	-Z
Value	133.21MPa	144.18MPa	158.17MPa	169.49MPa
Location	Bracket		Bracket	

안테나의 시간이력해석에 따른 최대등가응력 및 발생위치를 Fig. 7 및 Table 5에 나타내었다. 최대등가응력은 Case 5의 해석에서 144.18MPa과 Case 6의 해석에서 169.49MPa이 발생하였으며, 최대응력은 모두 브라켓에서 나타내고 있다.

최대등가응력이 발생한 구성요소의 안정성은 해당 구성요소가 항복강도 대비 얼마의 안전여유(Margin of safety)를 가지고 있는지를 식(1)을 통해 계산하였으며, 이를 Table 6에 나타내었다. 안전여유가 0보다 크면 안전한 것으로 판단하였으며, 통상 연성재료의 안전율 (Factor of Safety)은 1.25로 사용하였다<sup>10)</sup>.

$$M.S = \frac{Yield\ Strength}{Factor\ of\ Safety \times Applied\ Stress} \quad (1)$$

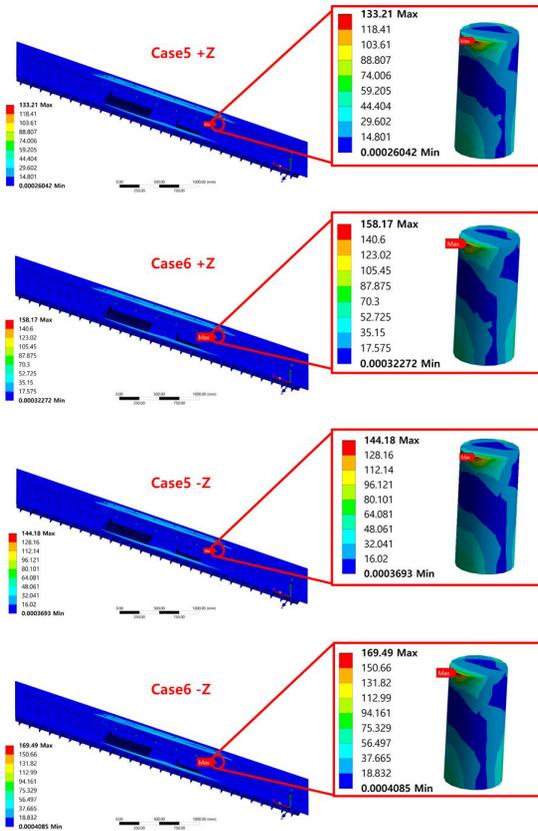


Fig. 7 Equivalent stress(Von-Mises)

Table 6 Margin of safeties

Type	Case 5		Case 6	
	+Z	-Z	+Z	-Z
Value	2.94	2.72	2.48	2.31

해석결과 안테나 구성요소의 연결 역할을 하는 브라켓에 가장 큰 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있으며, 안전여유는 2.31 수준을 나타내고 있으므로 차량 탑재 형태로 운용될 안테나는 구조적 건전성을 가진 것으로 판단할 수 있다.

## 5. 결론

안테나에 대해 MIL-STD-810H의 Method 516.8을 적용한 충격해석을 수행하여 안테나에 걸리는 응

력과 안전여유를 검토하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 시간이력해석 결과 +Z, -Z축 방향의 응력수준이 다른 방향에 비해 상대적으로 높게 계산되었다.
- 2) 안테나의 충격하중에 대한 최대등가응력 (169.49MPa)이 브라켓에서 발생하고 있다.
- 3) 응력이 집중되는 브라켓의 안전여유는 2.31 수준으로 안테나는 충격하중으로부터 충분한 구조적 건전성을 확보한 것으로 보인다.

## 후기

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2020-2020-0-01612).

## References

1. Shin, D. J., Lee, J. H., Kang, Y. S. and Choi, J. H., "Structural Stability Analysis of Large Radar for Transport Environment," Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 241-246, 2015.
2. MIL-STD-810H, "Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests," Department of Defense, US, 516.8, 2019.
3. ANSYS, 2010, "Lecture 3 Introduction to Contact," ANSYS Inc.
4. ANSYS, 2004, "ANSYS Contact Technology Guide," ANSYS Inc.
5. ANSYS, 2017, "Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications," ANSYS Inc.
6. Demir, M. E., "Shock Analysis of an Antenna Structure Subjected to Underwater Explosions," Master Thesis, Mechanical Eng., Middle East Technical University, Turkey, 2015.
7. Tasdelen, E., "Shock Analysis of On-board Equipment Submitted to Underwater Explosion,"

Master Thesis, Naval Architecture, University of Liege, Belgium, 2018.

8. Morgan, K., 2015, "Shock & Vibration using ANSYS Mechanical," ANSYS Inc.
9. Mo, H. and Qiu H., "Simulation and Random Vibration Test of Structural Dynamic Characteristics of Vacuum Tube," ICMMBE, pp. 131-136, 2016.
10. Shin, D. J., Lee, J. H. and Kang, Y. S., "Development Process of Mechanical Structure for a Large Radar," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 1-11, 2017.