

대형 안테나의 Random Vibration 해석에 관한 연구

신건호* 허장욱*:#

* 금오공과대학교 기계시스템공학과(항공기계전자융합공학전공)

A Study on the Random Vibration 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 16 February 2021; received in revised form 02 March 2021; accepted 04 March 2021)

ABSTRACT

This study analyzed the stability of antenna equipped on vehicles by the link of modal analysis and random vibration analysis with the vibration data of MIL-STD-810H, METHOD 514.8. As a result of the random vibration analysis of antenna, the maximum equivalent stress 41.9MPa and minimum margin of safety 8.37 was generated in the bracket of antenna by the vertical direction vibration. Thus, it was found that antenna has enough stability during the operation.

Key Words : Antenna(안테나), Modal Analysis(모달해석), Vibration Analysis(진동해석), Margin of Safety(안전여유)

1. 서 론

차량에 탑재되는 안테나는 운반 시 기계적인 진동의 영향을 받게 되며, 제 성능을 보장하기 위해서는 진동에 의한 영향성을 해석 및 시험으로 검증하여야 한다. 특히, 다수의 전자장비를 포함하고 있는 대형 군용 안테나의 경우에는 진동의 영향이 더욱 증가할 수밖에 없으므로 시제품을 제작하기 전에 MIL-STD-810H의 군사표준을 참조하여 해석을 통해 진동과 같은 기계적 환경시험 항목에 대

해 안정성을 검토하고 있다. 이와 같은 대형 안테나가 차량에 탑재하여 이동 중에 차량의 흔들림에 따른 진동의 영향에 대해 시제품을 제작하여 시험하기 전에 해석을 통해 검증한다면, 시제품의 진동시험에 따른 fail 관련 위험을 크게 감소시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 군용 환경시험 기준인 MIL-STD-810H의 METHOD 514.8에 명시된 진동 데이터를 입력값으로 하여 ANSYS 19.2의 Random Vibration 해석을 실제 상황과 유사한 형태로 수행하였으며, 안테나 운용 시 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

안테나는 차량에 탑재되어 운용되기 때문에 진동 시험데이터는 MIL-STD-810H의 METHOD 514.8에 명시된 데이터 중 CWV(Composite Wheeled Vehicle)의 ASD(Acceleration Spectral Density) 데이터를 사용하였으며, 이는 실제 차량에 제품을 적재하여 운송하는 환경과 유사하게 구현된 시험장에서 수집된 내용으로 이는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

CWV의 ASD 데이터는 Table 2에 나타난 바와 같이 군에서 사용하는 대부분의 트럭이나 트레일러를 대상으로 얻어진 데이터이다. 비포장도로에서 적재품이 운송되는 경우의 묘사는 4가지 코스(Belgian Block, 2" Washboard, Radial Washboard, 3" Spaced Bump)에서 운행된 차량으로부터 얻어진 데이터에 각 코스별로 가중치를 반영 및 합성하여 만들어진 것으로 실제 안테나가 운용될 때 가해질 진동하중에 대한 해석의 입력값으로 적용하였다^[1-2].

3. 해석조건 및 방법

3.1 제품 형상 및 기계적 성질

안테나의 형상은 Fig. 2와 같으며, 전자품 및 PCB가 구조체 및 브라켓으로 연결되어 있다. 또한, 안테나는 등방성재료로 만들어진 부품과 직교이방성재료로 만들어진 PCB부품으로 구성되어 있으며, 해석에 적용된 재료의 기계적 성질은 Table 3과 같다.

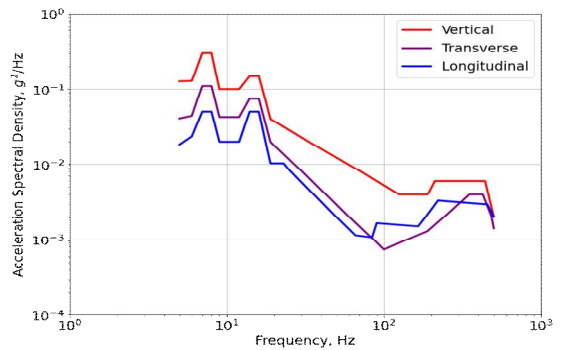


Fig. 1 CWV vibration exposure

Table 1 CWV vibration exposure

Vertical		Transverse		Longitudinal	
Frequency, Hz	ASD, g ² /Hz	Frequency, Hz	ASD, g ² /Hz	Frequency, Hz	ASD, g ² /Hz
5	0.12765	5	0.04070	5	0.01848
6	0.12926	6	0.04415	6	0.02373
7	0.30000	7	0.11000	7	0.05000
8	0.30000	8	0.11000	8	0.05000
9	0.10000	9	0.04250	9	0.02016
12	0.10000	12	0.04250	12	0.02016
14	0.15000	14	0.07400	14	0.05000
16	0.15000	16	0.07400	16	0.05000
19	0.04000	19	0.02000	19	0.01030
90	0.00600	100	0.00074	23	0.01030
125	0.00400	189	0.00130	25	0.00833
190	0.00400	350	0.00400	66	0.00114
211	0.00600	425	0.00400	84	0.00107
440	0.00600	482	0.00210	90	0.00167
500	0.00204	500	0.00142	165	0.00151
				221	0.00333
				455	0.00296
				500	0.00204

3.2 요소분할 및 경계조건

요소분할은 Fig. 3에 나타난 바와 같으며, 사면체요소와 육면체요소를 적용하여 395,400개의 절점과 87,763개의 요소로 분할하였다. 실제 안테나는 장착을 위해 구조체를 고정시킬 수 있는 홈이 가장자리에 위치해 있으나, 본 모델에서는 홈을 제거하고, 홈의 위치에 Fixed 구속조건을 적용하였다.

안테나의 내부에는 동적인 구성요소가 없으므로 구성요소들의 절단면과 접촉면이 서로 분리되거나 마찰하지 않게끔 모든 접촉면에 Bonded 접촉조건을 부가하였다. 접촉조건의 Formulation으로는 Pure Penalty, Augmented Lagrange, Normal Lagrange, MPC 등이 있는데, 본 해석에는 Augmented Lagrange를 채택하였다.

Augmented Lagrange는 Penalty Method를 기본으로 하는 접촉 알고리즘으로 Pure Penalty에 Lagrange Multiplier를 추가하여 해석이 수렴될 확률을 높인 특징이 있다. 또한, 접촉조건이 부가된 모든 면의 해석결과를 동시에 도출할 수 있으며, 접촉을 탐지할 때 Gauss Point Detection을 사용할

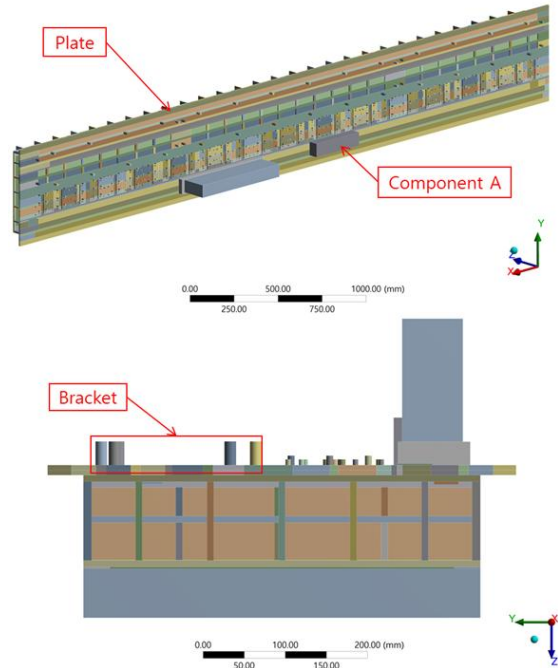


Fig. 2 Antenna configuration

Table 2 Vehicles used for CWV composite

Type	Description
Truck	10-ton, 7-ton, 5-ton, 1-1/4-ton, PLS, 2-1/2-ton, 2-ton, 15-ton
Trailer	MTVR, HEMAT, PLS, 5-ton, 22-ton

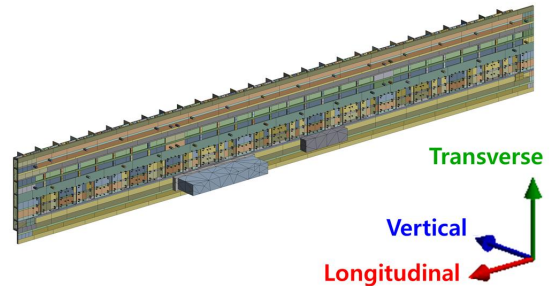


Fig. 3 Analysis model of antenna

Table 3 Material properties

Type	Plate	Bracket	PCB		
			Length	Cross	Vertical
Density	2,700kg/m ³	2,830kg/m ³	1,840kg/m ³		
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		

수 있어 곡률이 같은 접촉면 사이의 호환성을 높일 수 있다^[3-5].

3.3 해석방법

안테나의 진동해석은 모달해석 후 모달해석의 출력값과 ASD 데이터를 Random Vibration 해석의 입력값으로 하여 수행하였다. 모달해석은 안테나의 모드주파수, 모드형상 등을 계산하기 위해 사용되고, Random Vibration 해석은 모달해석에서 계산된 값을 기반으로, 입력된 ASD 데이터가 부가하는 하중에서의 진동특성을 얻기 위해 적용된다^[6].

실제 안테나는 이동 시 차량에 장착된 상태로 이동하기 때문에 ASD 데이터를 3축 방향(Vertical, Transverse, Longitudinal)에 맞게 Random Vibration 해석의 입력값으로 부가하였다.

4. 해석결과 및 고찰

4.1 모달해석

안테나의 모달해석은 ASD 데이터를 모두 반영하기 위해 500Hz까지의 모드가 추출될 때까지 진행하였으며, 이때 Table 4와 같이 총 154개의 모드가 추출되었고 추출된 모드 중 1차 및 2차 모드의 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 1차 모드의 최대변위는 안테나의 중앙 상부에서 발생하였으나, 2차 모드의 최대변위는 우측 상단에서 발생하여 주파수에 따라 최대 변위의 위치가 바뀌고 있음을 알 수 있다.

4.2 ASD 해석

안테나의 ASD 해석에 따른 최대등가응력 및 발생위치를 Fig. 5 및 Table 5에 나타내었다. 최대등가응력은 Vertical 방향의 브라켓에서 41.9MPa이 발생하였고, Transverse 방향에는 구조체 부분에 6.5MPa를 나타내고 있고, Longitudinal 방향에는 브라켓 부분에 0.9MPa를 표시하고 있다.

최대등가응력이 발생한 구성요소의 안정성은 해당 구성요소가 항복강도(Yield Strength) 대비 얼마의 안전여유(Margin of safety)를 가지고 있는지

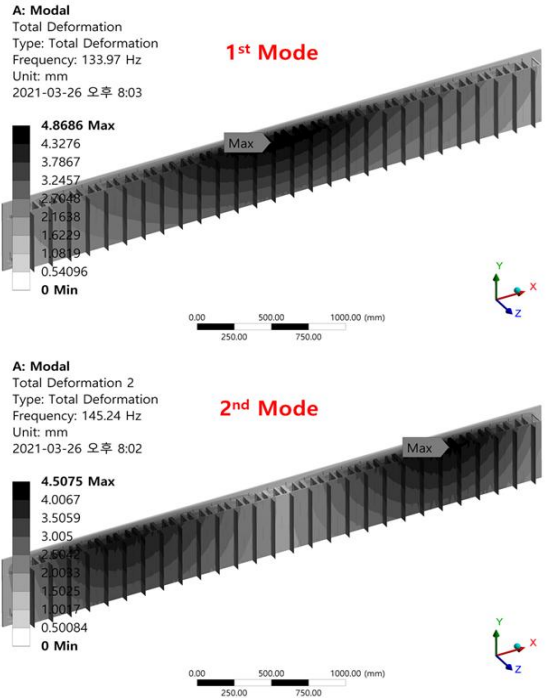


Fig. 4 1st and 2nd mode shape

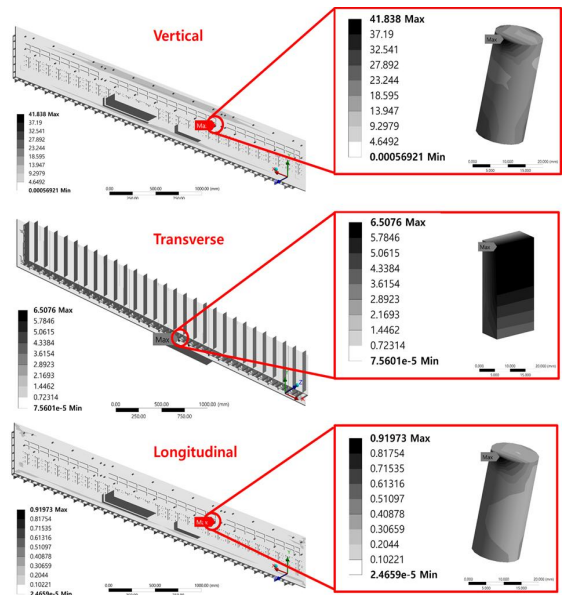


Fig. 5 Equivalent stress(Von-mises)

Table 4 Mode extraction

Mode	Frequency, Hz	Mode	Frequency, Hz	Mode	Frequency, Hz	Mode	Frequency, Hz
1	133.97	40	207.55	79	250	118	331.36
2	145.24	41	207.55	80	250	119	331.36
3	158.44	42	207.55	81	250	120	331.37
4	191.95	43	207.56	82	250	121	361.6
5	193.46	44	207.56	83	250	122	361.94
6	193.53	45	207.56	84	250.01	123	394.67
7	193.58	46	207.56	85	250.01	124	394.67
8	193.62	47	207.57	86	250.01	125	394.67
9	193.64	48	207.57	87	250.01	126	394.67
10	193.67	49	207.57	88	250.01	127	394.67
11	193.69	50	207.57	89	250.01	128	394.67
12	193.7	51	207.57	90	281.25	129	394.67
13	193.71	52	207.57	91	304.59	130	394.67
14	193.72	53	207.57	92	317.92	131	394.67
15	193.73	54	207.57	93	331.35	132	394.67
16	193.73	55	207.57	94	331.35	133	394.67
17	193.74	56	207.57	95	331.35	134	394.67
18	193.74	57	207.57	96	331.35	135	394.67
19	193.74	58	207.57	97	331.35	136	394.67
20	193.75	59	207.57	98	331.35	137	394.67
21	193.75	60	207.58	99	331.35	138	394.67
22	193.75	61	240.62	100	331.35	139	394.67
23	193.75	62	249.96	101	331.35	140	394.67
24	193.75	63	249.98	102	331.35	141	394.67
25	193.75	64	249.98	103	331.35	142	394.67
26	193.76	65	249.98	104	331.36	143	394.67
27	193.76	66	249.98	105	331.36	144	394.67
28	193.76	67	249.98	106	331.36	145	394.67
29	193.76	68	249.98	107	331.36	146	394.67
30	193.76	69	249.98	108	331.36	147	394.67
31	193.76	70	249.98	109	331.36	148	394.67
32	197.07	71	249.99	110	331.36	149	394.68
33	207.5	72	249.99	111	331.36	150	394.69
34	207.51	73	249.99	112	331.36	151	428.83
35	207.52	74	249.99	113	331.36	152	456.92
36	207.52	75	249.99	114	331.36	153	518.68
37	207.53	76	249.99	115	331.36	154	529.82
38	207.54	77	250	116	331.36		
39	207.54	78	250	117	331.36		

Table 5 Maximum equivalent stress(Von-mises)

Direction	Vertical	Transverse	Longitudinal
Value	41.9MPa	6.5MPa	0.9MPa
Location	Bracket	Plate	Bracket

Table 6 Margin of safeties

Direction	Vertical	Transverse	Longitudinal
Value	8.37	32.81	425.21

를 식(1)을 통해 계산하였으며, 이를 Table 6에 나타내었다. 진동에 의한 안전여유는 일반적으로 0 이상을 요구하고 있으며, 통상 연성재료의 안전율 (Factor of Safety)은 1.25로 사용하였다^[7-8].

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

해석결과 안테나 구성요소의 연결 역할을 하는 브라켓에 가장 큰 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있으며, 최소 안전여유는 판정기준인 0보다 매우 큰 8.37을 나타내고 있으므로 차량 탑재 형태로 운용될 안테나는 안정적인 구조적 건전성을 가진 것으로 판단할 수 있다. 또한, 안테나가 더 높은 수준의 안전여유를 갖기 위해서는 최소 안전여유를 나타낸 Vertical 방향에 대해 진동을 완화시킬 방안의 적용이 요구된다.

안테나의 진동에 대한 안전성을 해석을 통해 확인하였으나, 시제품이 생산된 이후에는 안전성에 대한 해석결과와 시험결과와의 비교분석이 추가적으로 필요하다.

5. 결론

안테나에 대해 MIL-STD-810H의 METHOD 514.8을 적용한 진동해석을 수행하여 안테나에 걸리는 응력과 안전여유를 검토하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 안테나의 진동에 취약 부위는 Vertical 방향에는

브라켓, Transverse 방향에는 구조체, Longitudinal 방향에는 브라켓으로 나타났다.

- 2) 안테나의 브라켓에 Vertical 방향으로 가장 큰 41.9MPa의 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있다.
- 3) 응력이 가장 집중되는 브라켓의 안전여유는 8.37로 매우 높아 안테나는 차량에 탑재되어 운용하기에 충분한 구조적 건전성을 확보한 것으로 보인다.
- 4) 차후에는 안테나 진동의 안전성에 대해 시제품을 이용한 시험결과와 해석결과와의 비교분석 연구가 권장된다.

후기

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

References

1. MIL-STD-810H, "Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", Department of Defense, US, 514.8C, 2019
2. Jang, J., Park, J. W., Lim, S. Y., Lee, C. S., and Lee, J. H., "The Study on Changes of Vibration Test in MIL-STD-810H" The Korean Reliability Society, pp. 45-45, 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. Mo, H. and Qiu, H., "Simulation and Random Vibration Structural Dynamic of Test Characteristics of Vacuum Tube" ICMMBE, pp. 131-136, 2016.

7. Shin, D. J., Lee, J. H. and Kang, Y. S.,
“Development Process of Mechanical Structure
for a Large Radar,” Jorunal of the KIMST, Vol.
20, No. 1, pp. 1-11, 2017.
8. Shin, D. J., Lee, S. J., Lee, J. H., Kang, K. H.,
Jin, H. S. and Kim, K. S., “Environmental
Specification Establishment of Transport Dynamic
Property for Large Radar and Durability
Analysis,” Trans. KSNVE, Vol. 28, No. 5, pp.
600-607, 2018.