

군용 안테나의 Random Vibration 해석에 관한 연구

송성욱¹, 정선우², 허장욱^{2*}

¹국립금오공과대학교 기계공학과, ²국립금오공과대학교 항공기계전자융합공학과

A Study on Random Vibration Analysis of Military Antenna

Sung-Wook Song¹, Sun-Woo Jeong², Jang-Wook Hur^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering,
Kumoh National Institute of Technology

요약 군용 차량에 사용되는 안테나는 적의 항공기 등을 식별하는 장치로 군사작전에 결정적인 역할을 한다. 안테나의 신뢰성과 안정성은 군사작전의 성패에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이며, 안테나의 안정성을 확보하기 위해서는 안테나의 설계과정에서 안정성에 대한 충분한 분석과 검증이 필요하다. 안테나는 작전 중 다양한 수송환경에서 사용된다. 다양한 수송환경에서 사용되는 안테나는 진동에 노출되게 되므로 안테나의 안정성 확보가 이루어져야 한다. 따라서 본 논문에서는 안테나의 차량 운송 및 수송 시 구조적 안정성을 검증하기 위해 모달해석을 진행한 후 미 군사규격인 MIL-STD-810H의 ASD 데이터를 이용한 랜덤진동해석을 진행하였다. 해석 결과를 이용해 최대 응력 발생 위치를 도출하였고, 도출된 응력 데이터를 사용하여 안전여유를 계산하였다. 차량 운송 및 수송 중 진동에 영향을 받는 취약 영역은 수직 방향의 전원 공급 장치, 횡 방향의 브라켓 및 정방향의 전원 공급 장치로 확인되었다. 최대 등가 응력(54.84MPa)은 수직 방향의 전원 공급 장치에서 발생했다. 최소 안전여유는 3.012를 나타내고 있으며, 이는 최소 안전여유의 안정성 판정 기준인 0보다 큰 값을 가지므로 안테나는 차량에 적재되어 수송 및 운용 시 구조적으로 안정성을 갖는다고 판단할 수 있다.

Abstract The antennae used in military vehicles serve as a device for identifying enemy aircraft and others, playing a crucial role in military operations. The reliability and stability of the antenna are important factors that affect the success or failure of military operations, and sufficient analysis and verification of the stability of the antenna are required in the design process of the antenna. Antennas are used in various transportation environments during operations. The reliability of the antennas must be secured because antennas used in various transportation environments are exposed to vibration. Therefore, in this paper, modal analyses were conducted to verify the structural stability of antennas during vehicle transport. Random vibration analysis was then conducted using the ASD data from the U.S. military standard MIL-STD-810H. The maximum stress generation position was derived using the analysis results, and the safety margin was calculated using the derived stress data. Vulnerable areas affected by vibrations during vehicle transportation and operation include the power supply unit in the vertical direction, the bracket in the transverse direction, and the power supply unit in the longitudinal direction. The maximum equivalent stress (54.84MPa) occurred in the power supply unit in the vertical direction. The minimum safety margin was 3.012, which was greater than zero, the standard for determining the stability of the minimum safety margin. Hence, the antenna loaded on the vehicle has structural stability during transportation and operation.

Keywords : Identification Friend or Foe, Antenna, Modal Analysis, Random Vibration Analysis, Margin of Safety

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성사업의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2023-2020-0-01612)

*Corresponding Author : Jang-Wook Hur(KIT)

email: hhjw88@kumoh.ac.kr

Received August 7, 2023

Accepted October 6, 2023

Revised September 7, 2023

Published October 31, 2023

1. 서론

1.1 연구 목적

군에서 사용되는 차량용 안테나는 적의 항공기, 미사일 등을 식별하는 장치로써, 군사작전에서 중요한 역할을 담당하고 있다. 안테나의 신뢰성과 안정성은 군사작전의 성패에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이며, 안테나의 안정성을 확보하기 위해서는 안테나의 설계과정에서 안정성에 대한 충분한 분석과 검증이 필요하다. 특히, 안테나는 작전 중 다양한 수송환경에서 사용되며, 강한 진동 및 충격에 노출될 수 있으므로 이러한 환경에서 안테나가 안정성을 유지할 수 있는지에 대한 분석은 매우 중요하다[1]. 이러한 분석을 위해 시제품 제작 전 안테나의 동적 응답 시뮬레이션을 통해 물리적 특성과 구조의 영향을 파악하고 안정성 및 리스크를 평가하여 안테나의 성능과 신뢰성을 파악하는 방식의 분석이 필요하다.

1.2 연구 방법

본 연구에서는 군에서 사용되는 차량용 안테나의 구조 해석을 위해 Ansys 소프트웨어를 사용하였다. 먼저 해석을 진행하기 위해 안테나 형상을 작은 요소들로 분할하여 이산화하였다. 해석 대상인 안테나를 대상으로 모달 해석을 진행하여 안테나의 고유 주파수와 그에 따른 변형 형상을 파악하였다. 이를 기반으로 MIL-STD-810H에서 제시하는 복합 차륜 차량(CWV)의 가속도 스펙트럼 밀도(ASD) 데이터를 이용하여 Random Vibration 해석을 수행하였다. 해석 결과로 도출된 등가 응력 데이터를 통해 최대 등가 응력의 크기 및 발생 위치를 분석하였고, 분석 결과를 토대로 안전여유를 계산하여 안테나의 차량 수송에 따른 안정성을 평가하였다.

2. 해석 조건 및 방법

2.1 형상 및 재질

Table 1. Properties of material

Type	Profile	Block	PCB
Density [kg/m ³]	2700	7900	1840
Young's Modulus [GPa]	68.9	193	18.4
Poisson's Ratio	0.33	0.29	0.11
Shear Modulus [GPa]	25.9	75.7	8.4
Yield Strength [MPa]	275	205	241

차량용 안테나 형상은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 PCB, 전원공급기, 브라켓 등으로 구성되어 있고, 구조체와 플레이트로 연결되어 하우징에 결합된다. 구성품들은 볼트와 너트를 이용하여 고정되어 있고, 해석에 사용된 재료의 기계적 성질은 Table 1과 같으며, 프로파일은 AL6061을 사용하였다. PCB 조립체는 FR4, 고정용 블록은 SUS304를 적용하였다.

2.2 요소분할 및 경계조건

안테나의 요소분할은 Fig. 2에 나타난 바와 같으며, 307,889개의 절점과 101,967개의 요소로 분할하였고, 격자생성 조건은 Hex Dominant 방식을 사용하였다.

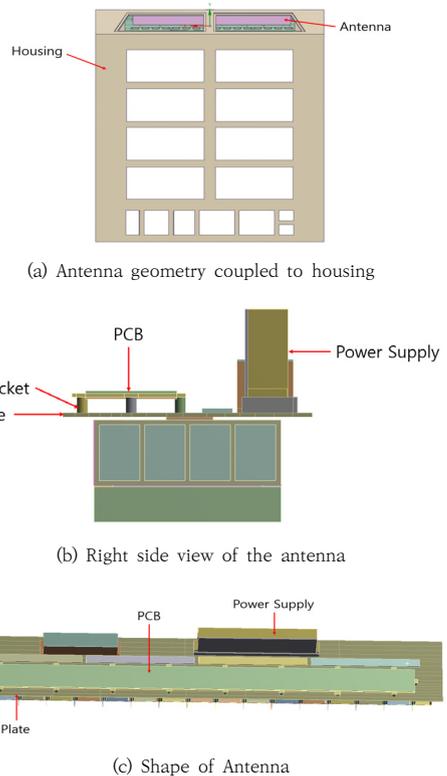


Fig. 1. Antenna structure

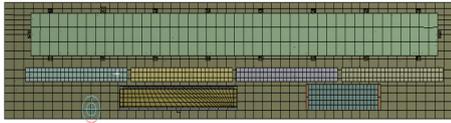


Fig. 2. Mesh of antenna

전자부품 및 PCB와 같이 형상이 작고 복잡하여 Mesh의 정확도가 떨어지는 부품의 경우 요소분할 크기를 줄이고, Edge Sizing 방식과 Multizone 방식을 적용하여 Mesh의 정확도를 향상시켰다. 안테나는 내부에 동적인 구성요소가 없으므로 접촉면이 서로 분리되거나 마찰하지 않게 Bonded 접촉조건을 적용하였다[2]. 접촉조건의 Formulation으로는 Penalty Method를 기본으로 하는 접촉 알고리즘으로 해석간 수렴될 확률이 높은 Augmented Lagrange를 채택하였고[3,4], 경계조건은 안테나의 차량 탑재 후 고정을 위해 플레이트와 하우징의 접촉면에 Fixed 구속 조건을 적용하였다.

2.3 미 군사규격

안테나가 적용되는 진동시험 환경은 차량에 탑재되어 운용되는 수송환경에 맞게 미 군사규격 MIL-STD-810H의 Method 514.8C에 명시된 CWV (Composite Wheeled Vehicle)의 ASD(Acceleration Spectral Density)를

적용하였다. ASD 데이터는 500마일 이동했을 때의 데이터를 나타낸 것이며, 실제 차량 수송 환경과 유사하게 구현된 시험장에서 추출한 데이터이고, 500마일 중 35%는 포장도로, 65%는 비포장도로 환경을 구성하여 각 코스 별로 가중치를 반영하여 만들어진 값이다[5,6]. CWV의 ASD 데이터는 Fig. 3 및 Table 2와 같으며, 안테나가 수송 및 운용될 때 가해지는 진동해석의 입력값으로 적용하였다.

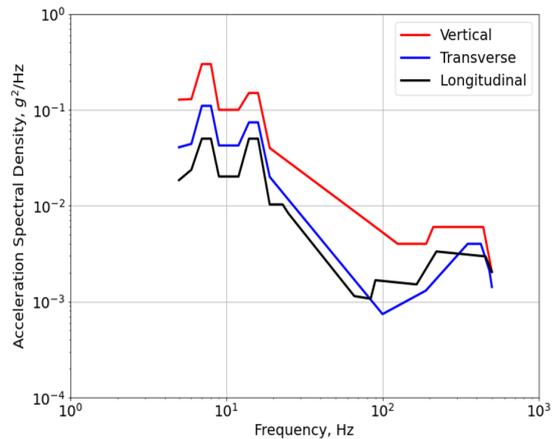


Fig. 3. CWV vibration exposure

Table 2. 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

2.4 해석방법

안테나의 구조적 안정성을 평가하기 위해 모달해석과 ASD 해석을 다음과 같은 단계로 수행하였다

2.4.1 모달해석

모달해석은 구조물이 가지는 고유한 진동 모드를 분석하는 방법이다. 이 단계에서는 먼저 안테나의 기하학적 모델을 구성하고, 적절한 경계조건을 설정하여 구조물의 고유 주파수와 진동 모드를 산출하였다. 이렇게 구한 고유 주파수와 모드는 후속 ASD 해석에 사용되었다.

2.4.2 ASD 해석

ASD 해석은 구조물이 실제 환경에서 노출되는 진동 데이터를 바탕으로 구조물의 응답을 평가하는 방법이다. ASD는 가속도 스펙트럼 밀도로, 다양한 주파수 범위에서 구조물이 받게 될 가속도의 크기를 정량화한 데이터이다. 모달해석을 통해 구한 안테나의 고유 주파수 값을 기반으로, 실제 환경에서의 진동 조건을 반영하는 ASD 데이터를 사용하여 ASD 해석을 수행하였다[7]. 이때, 미군사규격 MIL-STD-810H의 Composite Wheeled Vehicle (CWV)의 ASD 데이터를 입력값으로 활용하였다.

2.4.3 방향 설정 및 가중치 적용

안테나는 차량에 탑재되어 운반되므로, 실제 운용 환경에 맞게 3축 방향 (Vertical, Tranverse, Longitudinal)을 설정하여 해석을 수행하였다. 특히, Vertical 방향은 중력에 의한 추가적인 가속도가 작용하므로, 이를 고려하여 중력가속도만큼의 가중치를 적용하여 계산하였다.

2.4.4 구조적 안정성 평가

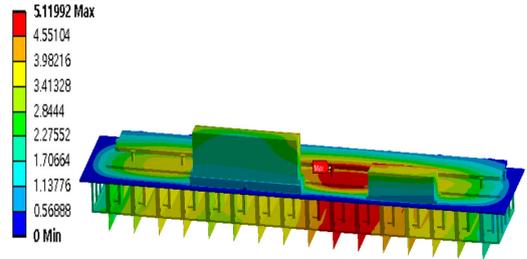
ASD 데이터를 이용한 Random Vibration 해석의 결과로 산출된 등가 응력과 각 장치의 항복강도를 비교하여 안전여유를 계산함으로써, 안테나의 구조적 안정성을 평가하였다.

3. 해석 결과 및 고찰

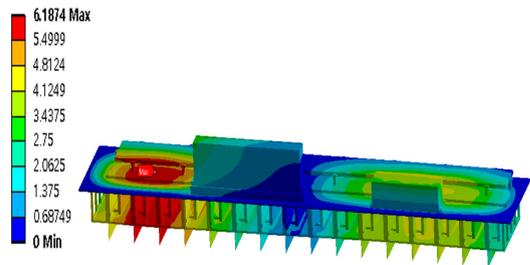
3.1 모달해석

랜덤진동해석에 적용하기 위한 고유 주파수는 미군사규격에 적용할 수 있는 범위에 맞게 500Hz까지 산출하였으며, 총 24개의 고유 주파수를 추출하였다.

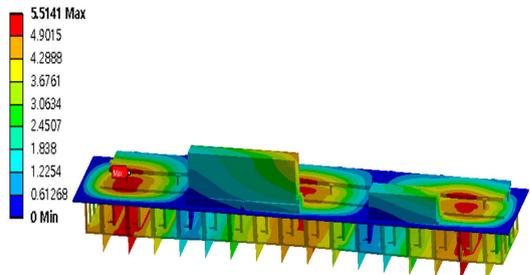
그 중, 1~3차 모드의 변위 형상을 Fig. 4에 나타내었으며, 1차, 2차 및 3차 모드의 최대변위는 모두 수직분배 모듈에서 발생하였다.



(a) deformation shape of 1st mode



(b) deformation shape of 2st mode



(c) deformation shape of 3st mode

Fig. 4. Modal deformation shape of antenna

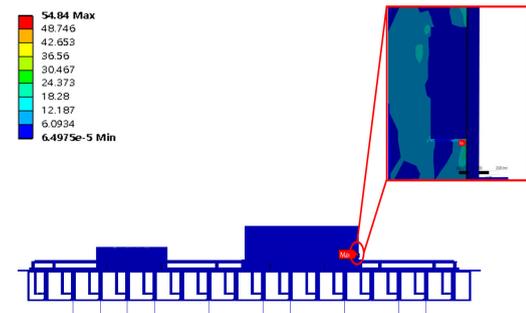
3.2 ASD 해석

모달해석을 기반으로 ASD 해석의 Scale Factor를 2 Sigma 수준으로 설정하여 해석을 진행한 결과 값인 최대 등가 응력과 발생 위치를 Table 3와 Fig. 5에 나타내었다[8]. Vertical 방향의 최대 등가 응력(54.84MPa)은 전원공급기에서 발생하였으며, Longitudinal 방향의 최대 등가 응력(1.7332MPa)은 브라켓에서 산출되었고,

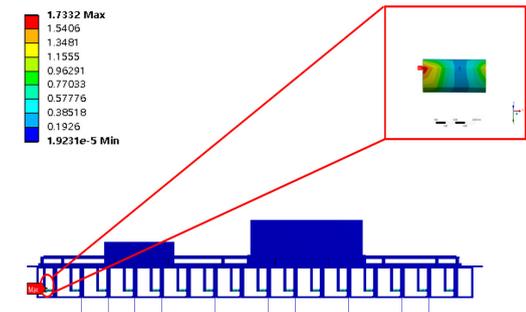
Tranverse 방향의 최대 등가 응력(1.6315MPa)은 전원 공급기에서 도출되었다. 안테나의 구조적 안정성은 구성 요소들에서 발생하는 응력을 식 (1)과 같이 각각 구성요소가 가지고 있는 한계응력과 비교하여 안전여유를 계산하였으며, 이를 Table 4에 나타내었다. 이때 안전계수는 연성재료에 일반적으로 사용되는 1.25를 대입하였다[9].

Table 3. Max. equivalent stress(random vibration)

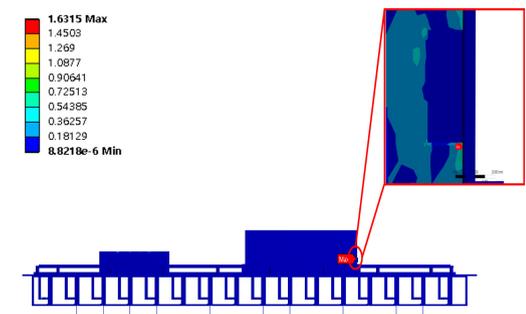
Direction	Vertical	Longitudinal	Transverse
Value(MPa)	54.84	1.7332	1.6315
Location	Power supply	Bracket	Power supply



(a) Equivalent stress of vertical axis



(b) Equivalent stress of longitudinal axis



(c) Equivalent stress of tranverse axis

Fig. 5. Random vibration analysis

Table 4. Margin of safety

Direction	Vertical	Longitudinal	Transverse
Value	3.012	98.238	133.85

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

계산 결과 Vertical 방향에서 가장 작은 안전여유인 3.012를 나타내고 있으며, 이는 최소 안전여유의 안정성 판정 기준인 0보다 큰 값을 가지므로 안테나는 차량에 적재되어 수송 및 운용 시 구조적으로 안정성을 갖는다고 판단할 수 있다[10]. 그러나, Vertical방향에서의 최소 안전여유는 다른 2축 방향에(Longitudinal, Tranverse) 비해 낮은 안전여유를 가지고 있으므로, 필요시 방향의 추가적인 안정성 개선을 위한 노력이 요구된다.

4. 결론

군에서 사용하는 차량용 안테나를 대상으로 모달해석과 미 군사규격 MIL-STD- 810H의 ASD 데이터를 적용한 진동해석을 통해 구조적 안정성을 검토하였다. 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 차량 수송 및 운용 시 발생하는 진동에 의한 취약 부위는 Vertical 방향에서 전원공급기, Tranverse 방향에서 브라켓, Longitudinal 방향에서 전원공급기이다.
- 2) 최대 등가 응력(54.84MPa)은 Vertical 방향의 전원공급기에서 발생하였다.
- 3) 최대 등가 응력에 대한 전원공급기의 안전여유는 3.012로 안테나가 차량 수송 및 운용 시 충분한 구조적 안정성을 갖는다고 판단할 수 있다.
- 4) 차후 안테나의 시제품이 제작되면 시험결과와 해석 결과의 비교분석 연구가 요구된다.

References

[1] Shin, D. J., Ahn, S. H., Lee, J. H., Ryu, G. H., Kwon, M. S. "Analysis of Transport Dynamic Property for Lowbed Trailer and Vibration Specification Establishment of Large Radar", Transactions of Korean Society for Noise and Vibration Engineering Vol. 29, No. 5, pp. 632-638, 2019, DOI: <https://doi.org/10.5050/KSNVE.2019.29.5.632>

- [2] ANSYS, 2010, "Lecture 3 Introduction to Contact", ANSYS Inc.
- [3] ANSYS, 2004, "ANSYS Contact Technology Guide", ANSYS Inc.
- [4] Shin, G. H., Hur, J. W., "A Study on the Random Vibration Analysis of Large Scale Antenna", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 44-50, 2021
DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2021.20.06.044>
- [5] MIL-STD-810H, "Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", Department of Defense, US, 514.8C, 2019
- [6] J. Jang, J. W. Park, S. Y. Lim, C. S. Lee, and J. H. Lee, "The Study on Changes of Vibration Test in MIL-STD-810H", The Korean Reliability Society, pp. 45-45, May 2019.
- [7] Shin, G. H., Hur, J. W., "A Study on the Random Vibration Analysis of Large Scale Antenna", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 44-50, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2021.20.06.044>
- [8] Jo, M. S., Kim, S. W., "Analysis of Structural Stability and Optical Performance for Optical Equipment During In-flight Vibration", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 41, No. 9, pp. 897-904, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2017.41.9.897>
- [9] Shin, D. J., Lee, S. J., Lee, J. H., Kang, K. H., Jin, H. S., Kim, K. S., "Environmental Specification Establishment of Transport Dynamic Property for Large Radar and Durability Analysis", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 5, pp. 600-607, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5050/KSNVE.2018.28.5>
- [10] Shin, D. J., Lee, J. H. and Kang, Y. S., "Development Process of Mechanical Structure for a Large Radar," Journal of the KIMST, Vol. 20, No. 1, pp. 1-11, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.1.001>

송 성 욱(Sung-Wook Song)

[준회원]



- 2018년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 기계공학과 (학사)
- 2022년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 국방신뢰성연구실 학생연구원

<관심분야>

시스템엔지니어링, 신뢰성공학, 국방과학, RAM, CBM+

정 선 우(Sun-Woo Jeong)

[준회원]



- 2023년 3월 : 금오공과대학교 기계공학과 (석사 입학)
- 2017년 3월 ~ 2023년 2월 : 금오공과대학교 기계시스템공학과 (학사)
- 2021년 8월 ~ 현재 : 금오공과대학교 국방신뢰성연구실 학생연구원

<관심분야>

시스템엔지니어링, 신뢰성공학, 국방과학, RAM, CBM+

허 장 욱(Jang-Wook Hur)

[정회원]



- 1992년 10월 ~ 1995년 9월 : 일본 동경공대 기계물리공학과 (박사)
- 2009년 1월 ~ 2011년 12월 : 방사청 KHP사업단 체계종합/사업총괄담당 (중령)
- 2012년 3월 ~ 2012년 8월 : 탄약사 기술관리처장 (대령)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

시스템엔지니어링, 신뢰성공학, RAM, CBM+