

# 군용 차량 탑재 캐비닛 구조물의 구조건전성 분석 Analysis of the Structural Robustness of Cabinet Structure Equipped with Military Vehicles

손동훈† · 강광희\* · 최지호\* · 박도훈\*\*

Dong-Hun Son, Kwang-Hee Kang, Ji-Ho Choi and Do-Hoon Park

**Key Words** : Cabinet Structure(캐비닛 구조물), Shock and Vibration analysis(충격진동분석), Modal Analysis(모드해석), Structural Robustness(구조강건성)

## ABSTRACT

The development of a vehicle-mounted radar to detect the location of enemy artillery is mainly mounted during operation to the mobility of the equipment and efficiency of utilization range. It is equipped with an electronic device responsible for the operation of the radar system. Electronic equipments is performed functionality imparted without an error-specific in spite of disturbances such as vibration / shock caused by vehicle movement. Therefore, vibration / shock resistance is held to prevent damaging from vibration / shock generated from the outside environment during operation. In addition, a standardized and specified cabinet structure equipped with electronic equipment is placed in shelter to ensure additional safety for vibration / shock. In this study, it is evaluated by analytical method with vibration / shock resistance of the cabinet structures for ensuring structural safety factor is applied to the aluminum. It is verified the reliability of the structure and structural dynamics to verify by calculated natural frequencies adding the weight of the cabinet structure and the structural displacement and stress results confirmed with vibration / shock caused by the vehicle movement.

## 기 호 설 명

$F_d$  : 외란 주파수

$F_n$  : 고유 진동수

$T$  : 전달률

## 1. 서 론

적 화포의 위치를 탐지하는 레이더는 작전 시 활용 범위의 효율성과 탑재장비의 기동성을 위해 주로 차량 탑재형으로 개발된다. 차량 탑재형 레이더는 운용인원의 생존성 및 임무수행의 지속성을 보장하기 위해 셸터 구조물을 보유하며 셸터 구조물

내에는 작전 간 레이더 체계의 운용을 담당하는 전자장비가 탑재된다. 이들 전자장비 중 대부분은 레이더 체계 운용에 중요한 임무를 갖는 장비들로서 차량 기동 간 발생하는 진동/충격과 같은 외란에도 각각 부여된 고유의 기능을 오류 없이 수행하여야 한다. 따라서 셸터 내 작전공간에 탑재되는 전자장비는 운용 시 외부 환경에서 발생하는 진동/충격으로부터 손상을 방지할 수 있도록 내진동/내충격성이 보유되어야 한다. 이와 더불어 표준화된 규격과 제원을 갖는 캐비닛 구조물을 셸터 구조물 내에 배치하고 여기에 전자장비를 탑재하여 내진동/내충격에 대한 추가적인 안정성을 확보하도록 한다. 본 연구에서는 구조적 안전율이 확보된 알루미늄 소재를 적용한 캐비닛 구조물을 모델로 하여 차량 기동 시 발생하는 진동과 충격에 대한 캐비닛 및 탑재 구성품의 내진동/내충격성을 분석적인 방법으로 평가하였다. 캐비닛 구조물 및 탑재장비의 하중을 반영한 고유진동수 산출을 통해 구조물의 동특성을 확인하였고 차량 기동에 의한 진동 프로파일과 충격량을

† 교신저자; 정회원, LIG 넥스원

E-mail : donghun.son@lignex1.com

Tel : (031)8026-4860, Fax : (031)8026-7084

\* LIG 넥스원

\*\* KS 시스템

구조물에 입력하고 이로 인해 발생하는 변위와 응력 결과를 확인하여 구조물의 구조적 신뢰성을 검증하였다.

## 2. 캐비닛 구조물 설계의 방법론적 접근

### 2.1 탑재장비 배치 설계

캐비닛 구조물은 Al6061-T6 소재의 알루미늄 프로파일로 프레임이 구성된 프레임 조립체이다. 이 프레임 조립체는 표준화된 규격의 폭 방향 제원을 갖는 전자장비를 상하 방향으로 순차 적층하여 탑재하는 방식이 일반적이고 이는 캐비닛 구조물이 폭에 비해 높이가 긴 직육면체 구조를 갖도록 하며 그 개략 형상은 Fig 1과 같다. 이 경우 차량 진동에 의한 구조적 응력 발생 및 변위의 영향을 줄이기 위해 무게중심이 아래에 위치하도록 전자장비를 배치하는 것이 가로방향 가진 입력에 대한 변위 증폭을 줄이므로 프레임 구조물의 구조강건성에 유리하다. 따라서 본 체계는 캐비닛 구조물의 무게중심이 하부에 위치하도록 높은 질량의 전자장비부터 순차적으로 탑재하여 배치하였고 그 결과는 Table 1과 같다.

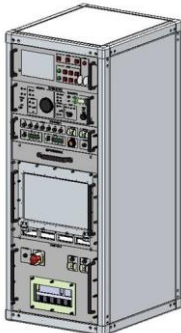


Fig.1 캐비닛 구조물 개략 형상

Table 1 캐비닛 구조물 무게중심 높이

항목	캐비닛 높이	무게중심 높이
캐비닛 구조물	1350.5mm	497.5mm

### 2.2 시스템 주파수 설계

레이더 체계의 운용을 위해 탑재되는 전자장비는 체계 기동 간 발생하는 외란에 대한 내진동/내충격성을 보유한다. 그러나 강제 진동 및 충격이 장비에 지속적으로 과도하게 입력될 경우 장비의 내구도와 기대 수명은 현저히 떨어지게 된다. 따라서 1차적으로 외란을 필터링하기 위해 캐비닛 구조물에는 규격에 맞는 완충장치를 선정하여 장착하여야 한다.

수직		가로		세로	
주파수 Hz	PSD g <sup>2</sup> /Hz	주파수 Hz	PSD g <sup>2</sup> /Hz	주파수 Hz	PSD g <sup>2</sup> /Hz
5	0.1759	5	0.0998	5	0.0441
8	0.5120	7	0.0799	7	0.0390
11	0.0660	9	0.1115	8	0.0576
12	0.0585	10	0.0577	9	0.0430
13	0.0348	14	0.0294	10	0.0293
15	0.1441	15	0.0651	13	0.0221
16	0.1237	16	0.0646	15	0.0558
20	0.0241	17	0.0436	16	0.0585
23	0.0536	18	0.0393	18	0.0160
26	0.0124	19	0.0622	20	0.0099
27	0.0118	24	0.0100	23	0.0452
30	0.0331	37	0.0045	25	0.0110
34	0.0086	38	0.0065	35	0.0036
39	0.0347	44	0.0033	37	0.0098
43	0.0073	55	0.0024	40	0.0040
45	0.0141	57	0.0042	41	0.0044
49	0.0084	59	0.0019	45	0.0023
52	0.0089	76	0.0012	47	0.0047
57	0.0045	79	0.0021	50	0.0016
67	0.0160	83	0.0010	54	0.0017
80	0.0037	114	0.0006	64	0.0010
90	0.0077	135	0.0017	69	0.0030
93	0.0053	142	0.0010	77	0.0007
98	0.0065	158	0.0018	85	0.0015
99	0.0063	185	0.0010	90	0.0012
111	0.0046	191	0.0007	97	0.0015
123	0.0069	205	0.0008	104	0.0036
128	0.0055	273	0.0035	114	0.0040
164	0.0031	300	0.0016	122	0.0015
172	0.0035	364	0.0074	132	0.0013
215	0.0133	374	0.0022	206	0.0033
264	0.0056	395	0.0051	247	0.0226
276	0.0096	500	0.0012	257	0.0041
292	0.0032			264	0.0054
348	0.0044			276	0.0040
417	0.0031			303	0.0073
500	0.0008			332	0.0092
				353	0.0172
				382	0.0071
				428	0.0157
				500	0.0016

Table 2 복합 차륜 차량 진동량

복합 차륜 차량의 기동 시 발생하는 진동량은 Table 2와 같다<sup>(1)</sup>. 이는 MIL-STD-810G Method 514.6 진동 규격의 2.2.3 Category 6 - Truck/trailer/tracked-large assembly cargo에 따른 차량진동 가진 입력이다. 이 규격에 따르면 X, Y, Z축 모두 5~16Hz에서 구조물에 Dominant한 영향을 주는 PSD Value가 발생하며 이는 진동 조건에 의한 시스템의 관심 주파수 대역이 5~16Hz 임을 의미한다<sup>(2)</sup>.

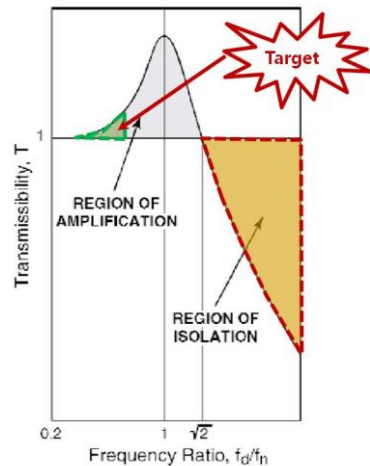


Fig.2 절연 시스템의 전달률 곡선

Fig 2의 절연 시스템 전달률 곡선에 따르면 시스템 전달률은 1의 근사치 또는  $\sqrt{2}$  이상이 되어야 한다. 발생하는 외란 주파수 대역이 5~16Hz인 조건에서 Frequency Ratio가  $\sqrt{2}$  이상 이려면 완충장치의 고유진동수는 3.52~11.31Hz가 되어야 한다. 그러나 상용 Wire-Rope Type 완충장치의 고유진동수는 10~20Hz 대역에서 발생하고 이는 결과적으로 10~11.31Hz 대역에 고유진동수를 갖는 완충장치를 선정해야 함을 의미하므로 현실적으로 가능하지 않다. 게다가 낮은 강성을 갖는 완충장치는 저주파 대역의 외란에도 큰 변위가 발생되어 구조적 안정성이 매우 취약해진다. 따라서 본 연구에서는 Frequency Ratio가 1에 가까운 특성을 갖도록 시스템을 설계한다.

### 2.3 시스템 완충장치 선정

복합 차륜 차량의 수직 방향 진동량인 2.24Grms에 대한 완충장치의 출력가속도를 0.5Grms로 설정시 완충장치의 전달률 T는 0.22가 된다. 이 때 입력 외란주파수에 대한 완충장치의 고유진동수는 식 (1)을 통해 계산할 수 있다.

$$F_n = \frac{F_d}{\sqrt{\frac{1}{T} + 1}} \dots\dots(1)$$

이 경우 입력 외란 주파수 5~16Hz에 대한 완충장치의 고유진동수는 2.12~6.79Hz가 되는데 이는 완충장치를 통해 캐비닛 구조물에 전가되는 주파수 대역을 의미한다. 따라서 2.12~6.79Hz 내에 캐비닛 구조물의 공진이 발생하지 않아야 하며 이를 설계 단계에서 공학적인 분석으로 검증하는 과정이 필요하다.

## 3. 캐비닛 구조물 구조건전성 확인

### 3.1 유한요소모델 구축

캐비닛 구조물의 구조건전성을 해석적으로 검증하기 위해 FEM을 구축하였다. FEM을 이용한 해석은 구조물의 고유진동수와 모드를 정확하게 구형하기 위한 Simplified-FEM 구축이 요구된다. 유한요소 모드 해석을 위한 프로그램으로 상용 구조해석 툴인 ANSYS 15.0을 사용하였으며, FEM을 형상화하였다. 캐비닛 구조물 내부 탑재장비의 질량에 의한 효과를 고려하기 위하여 각 탑재장비의 무게중심점에 집중질량을 생성하여 Fig 3과 같이 모델링화하였고, 완충장치가 갖는 경계조건을 구현하기 위하여 Joint-Bushing 요소를 이용하였다. FEM에 구성된

Nodes와 Elements 수는 각각 742,876개, 350,517개이다.

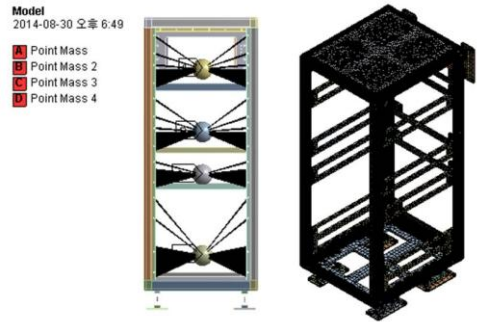


Fig.3 캐비닛 집중질량 모델링 및 FEM

### 3.2 모드 해석 및 분석

완충장치로부터 캐비닛 구조물에 전가되는 주파수 대역에 의한 캐비닛 구조물의 영향을 확인하기 위해 구조물의 공진주파수와 6개의 자유도에 대한 참여 비율을 확인하였고, 그 결과는 Table 3, Fig 4와 같다. 1차 모드의 주파수는 47.62Hz이며, 이는 회피 주파수 대역인 2.12~6.79Hz 구간 외에서 발생하므로 캐비닛 구조물이 외란에 대해 구조적으로 강건함을 확인하였다.

Table 3 캐비닛 구조물 모드 해석 결과

No.	Natural Frequency [Hz]	Participation Ratio
1	47.62	Translation - X Rotation - Z
2	68.38	Translation - Z Rotation - X Rotation - Y
3	182.21	-
5	215.55	Translation - Y

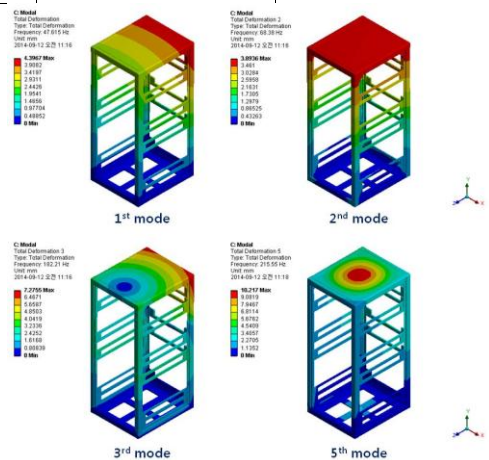


Fig.4 캐비닛 구조물 고유 모드 형상

### 3.3 진동 분석

Power Spectral Density 분석을 통해 차량 입력 주파수 대역에서 발생하는 진동에 대한 캐비닛 구조물의 최대 응력과 변위를 확인하였다. 선행 과정에서 선정된 완충장치의 강성 데이터를 Joint-Bushing 요소에 입력하여 FEM을 구현하였다.

본 해석은 차량 입력 주파수 대역 500Hz의 2배인 1kHz까지의 모드해석을 결과를 바탕으로 Mode Superposition 기법을 이용하여 3σ 수준으로 수행하였고, 그 결과는 Table 4 및 Fig 5과 같다. 프레임 소재인 Al6061-T6의 항복 응력은 275MPa이므로 진동 입력에 대한 프레임 구조물의 안전율은 2.38이다. 이를 통해 캐비닛 구조물이 진동 입력 조건에 대해 구조적으로 강건함을 확인하였다.

Table 4 진동 분석 결과

구분	Translating	Longitudinal	Vertical
최대 변위	0.87mm	0.62mm	6.55mm
최대 응력	115.73MPa		
안전율	2.38		

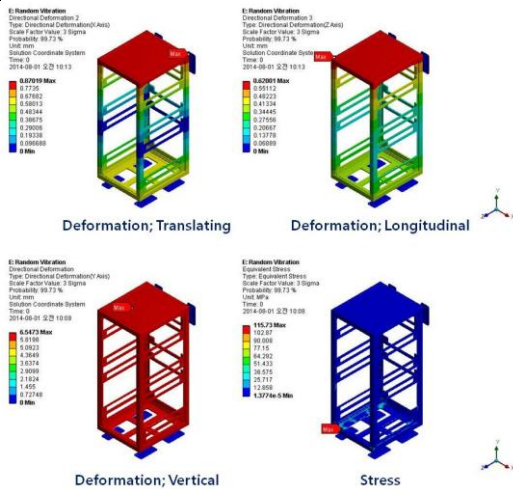


Fig.5 진동 분석 결과

### 3.4 충격 분석

캐비닛 구조물의 충격에 대한 응답을 Transient 해석을 통해 확인하였다. 입력 조건은 MIL-STD-810G Method 516.6 충격 규격인 20G, 11ms이며 이 때 발생하는 최대 응력과 변위 발생량을 확인하였다. 본 해석은 진동 분석과 마찬가지로 Mode Superposition 기법을 통해 수행하였다. 충격 분석 결과는 Table 5 및 Fig 6과 같고, 충격 조건에 대한 프레임 구조물의 안전율은 2.33이다. 본 분석 과정을 통해 캐비닛 구조물이 충격 조건에 대해 구조적으로 강건함을 확인하였다.

Table 5 충격 분석 결과

구분	최대 변위	최대 응력	안전율
결과	6.84mm	118.06MPa	2.33

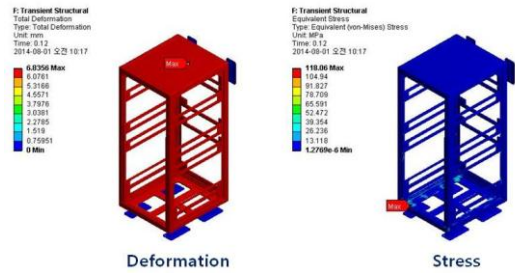


Fig.6 충격 분석 결과

## 4. 결 론

본 연구에서는 Al6061-T6 소재의 알루미늄 프로파일로 프레임이 구성된 캐비닛 구조물의 구조건전성을 수치 해석과 FEM을 통한 구조 해석으로 입증하였다. 차량 탑재 방식으로 인해 발생하는 진동과 충격 입력 조건을 분석하여 캐비닛 구조물에 요구되는 시스템 주파수를 선정하였고, 이를 수치 해석적으로 분석하였다. 또한, FEM을 구축하여 설계된 캐비닛 구조물의 고유진동수와 고유모드를 확인하였다. 미 군사 규격에서 제시한 진동과 충격 규격을 해석 모델에 입력하였고, 이 때 발생하는 구조물의 최대 응력과 최대 변위, 안전율을 확인하여 시스템이 구조적으로 강건하게 설계되었음을 해석적으로 입증하였다. 그러나 실제 캐비닛 구조물의 경우 완충장치의 경계조건 및 비선형거동 문제 등 분석 과정에서 규명하기 어려운 난점이 발생할 수 있다. 따라서 캐비닛 구조물의 모드 시험을 수행하여 모드 해석 결과와의 비교/분석을 통해 캐비닛 구조물이 구조적으로 강건하게 설계되었음을 검증하는 과정이 향후 연구로 필요하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- (1) MIL-STD-810G, ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONSIDERATIONS AND LABORATORY TESTS.
- (2) Son, D. H., Kang, K. H., Choi, J. H., Park, D. H. and Kim, J. H., 2013, Research for Dynamic Characteristic Analysis of a Movable Shelter Structure by Using Finite Element Analysis, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering.