

## 합정용 전술 컴퓨터 콘솔의 방진

<sup>0</sup>권병현\*, 김준\*, 김진천\*, 서송호\*\*

### Isolation Mount Design for the Combat Computer Console Installed in Surface Ship

Kwon Byung-Hyun, Kim Joon, Kim Jin-Cheon, Seo Song-Hoo

**Key Words** : Combat Computer Console(전술컴퓨터콘솔), Environment Test(환경시험),  
Isolation Mount(방진마운트), Anti-Vibration Design(방진설계)

#### ABSTRACT

The Combat Computer Consoles installed in surface ships should endure harsh environment such as vibration from engine or propeller and shock from underwater explosion. Generally, commercial isolation mounts are selected and used for anti-vibration and anti-shock design. In this research, the environment of the Combat Computer Console was analyzed first. Selected proper mount was modeled and computer simulation was performed to emulate the environment test. The real environment test was conducted with a manufactured Combat Computer Console. The test results were same as the simulation and satisfied the performance requirements. The computer simulation proved to be a useful design tool to predict the performance before the final environment test.

#### 1. 서론

합정용 전자장비는 통상 함내(room)의 설치구조에 유용한 콘솔(console) 캐비닛(cabinet) 형상으로 사용되며 저주파의 진동환경 및 충격에 강건하도록 설계되어야 한다. 함정의 진동주파수 대역<sup>(1)</sup>은 4~50 Hz이며 대부분은 12~33Hz, 최대가속도 1G 정도로 엔진이나 프로펠러가 주원이고, 다양한 폭발에 의한 충격량이 입력된다. 본 연구에서의 합정용 전술컴퓨터는 시스템의 제어 및 전산, 정보의 네트워크 등의 목적으로 콘솔에 장착 운용된다. 본 연구에서는 마운트를 선정하여 전술컴퓨터 콘솔의 지지구조를 설계하고 설계된 계의 고유모드를 확인하며 관련환경시험규격에서 방진 및 방

충목적을 만족하는가 시뮬레이션하고 환경시험을 실시한다.

#### 2. 전술컴퓨터콘솔의 모델링

##### 2-1. 전술컴퓨터콘솔의 물성치

전술컴퓨터콘솔은 Fig. 1과 같이 상용의 워크스테이션(SUN Ultra II)과 모니터(SUN Color 21"), 그리고 시스템을 제어하는 유닛 등으로 구성된다. 각 유닛들은 전자부품들에 의한 불균일 질량분포와 콘솔 및 각 유닛의 주 구성인 알루미늄 주물 및 압출재의 균일 질량분포로 구성되어 있다. 각 유닛들의 동특성인 크기, 질량, 질량중심 등을 측정하여 전체 전술컴퓨터콘솔의 질량중심(center of mass)과 관성모멘트(moment of inertia)를 구하였고 다음 표와 같다.

\* LG정밀(주)/System연구소

\*\* 국방과학연구소

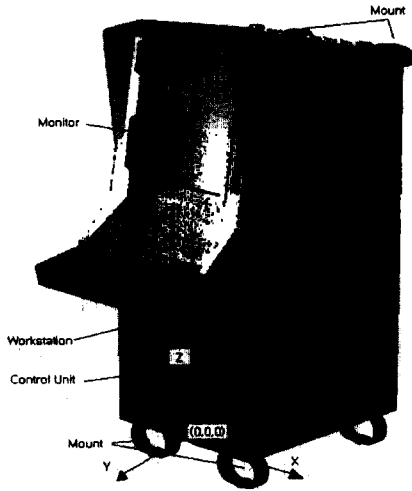


Fig. 1 Main parts of the combat computer console

Table 1 Physical parameters of the combat computer console

	Center of Gravity (m)	Moment of Inertia ( $N \cdot m^2$ )
X Axis	0.004	$I_{xx} = 118.1$
Y Axis	-0.310	$I_{yy} = 103.4$
Z Axis	0.732	$I_{zz} = 48.5$

## 2-2. 함정의 환경시험규격

### 2-2-1. 진동시험규격

전술컴퓨터콘솔의 진동시험은 MIL-STD-167-1, Type I<sup>(2)</sup>의 규격을 따라 가변주파수 시험을 4~50Hz 구간에 Fig. 2와 같이 구간별 일정한 진폭으로 가진하며 sweeping 시간은 주파수당 5분이다.

Table 2 Ship board sine vibration profile

Frequency range(Hz)	Table amplitude(inch)
4 to 15	$0.030 \pm 0.006$
16 to 25	$0.020 \pm 0.004$
26 to 33	$0.010 \pm 0.002$
34 to 40	$0.005 \pm 0.001$
41 to 50	$0.003 + 0.000$ $- 0.001$

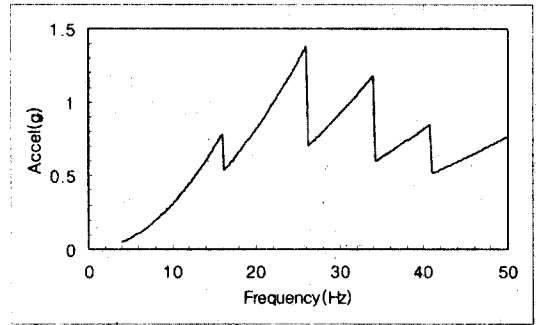


Fig. 2 Operating vibration profile

### 2-2-2. 충격시험규격

충격시험의 목적은 콘솔을 함정에 장착하여 작전을 수행함에 있어서 기뢰나 어뢰등의 수중 폭발물에 의해 발생하는 고속의 충격(high impact) 환경에서 장비의 생존 및 정상 동작여부를 판단하기 위한 것이다. 기준은 MIL-STD-810E<sup>(3)</sup>에 의한 20G 11ms Sawtooth Shock이다.

### 2-3. 마운트의 선정

전술컴퓨터콘솔의 진동환경이 4~50Hz 대역이므로 콘솔을 지지하는 마운트의 고유모드는 4Hz 이하 또는 50Hz의  $\sqrt{2}$ 배 이상이면 이상적이다. 또한 충격시의 높은 변형에너지(strain energy)를 충분히 흡수할 수 있도록 큰 변위를 갖는 마운트가 필요하다. 콘솔의 마운트 위치는 Fig. 3과 같다.

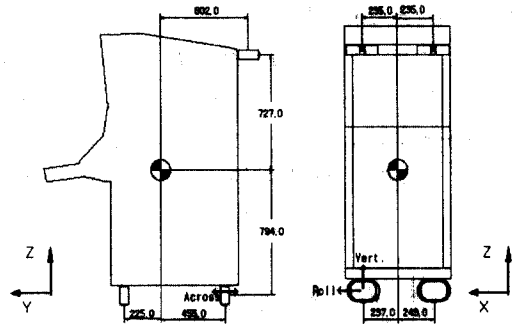


Fig. 3 Free body diagram of the combat computer console

마운트는 정적하중을 만족하는 상용 military 마운트를 선정하였고 그 특성<sup>(4)</sup> 다음 Table 3과 같다.

Table 3 Mount properties obtained from catalogue data

Physical Properties	Part no.	X Mount Series		
		mount 1	mount 2	mount 3
Load vert	kg	124.0	61.3	92.9
Part No.	Barry's	5721	5720	5721
fn Vert.	(Hz)	8.10	6.90	7.10
fn Horz across	(Hz)	5.90	5.00	5.10
fn Horz roll	(Hz)	4.80	4.20	4.30
Stiff. Vert.	kN/m	120.0	70.0	120.0
Stiff. Across	kN/m	149.0	91.0	149.0
Stiff. Roll	kN/m	61.0	39.0	61.0
CC Vert.	N-sec/m	2464.4	1323.4	2133.1
CC across	N-sec/m	2746.1	1508.9	2376.9
CC roll	N-sec/m	1757.1	987.8	1520.9
Damping ratio		0.167	0.167	0.167
C Vert.	N-sec/m	410.7	220.6	355.5
C across	N-sec/m	457.7	251.5	396.2
C roll	N-sec/m	292.8	164.6	253.5
Tr(at Resonance)		4	4	4

마운트의 선정은 전술컴퓨터콘솔의 각 축방향으로 고유진동모드가 합정 진동환경의 주된 대역인 12~33Hz에서 발생하지 않아야 한다.

### 3. 방진계의 해석

전술컴퓨터콘솔의 계는 Fig. 4와 같이 탄성지지체에 지지된 강체의 운동방정식<sup>(5)</sup>으로 본다. 이때 질량중심(center of mass)을 지나는 기준좌표축 X,Y,Z축과 관성좌표축  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 가 일치하며 힘  $F_x, F_y, F_z$ 와 모멘트  $M_x, M_y, M_z$ 가 질량중심에서 발생하고, X,Y,Z축에 대해서  $u, v, w$  병진(translations)과  $\alpha, \beta, \gamma$ 의 회전(rotations)변위로 나타난다. 또한 탄성지지된 마운트의 좌표  $a_x, a_y, a_z$ 는  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 에 평행하다.

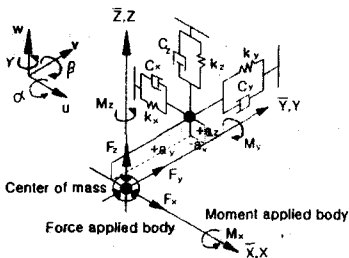


Fig. 4 Motions applied to mount

병진운동에 대한 운동방정식은

$$\begin{aligned} m \ddot{x}_c &= F_x \\ m \ddot{y}_c &= F_y \\ m \ddot{z}_c &= F_z \end{aligned} \text{ 이고,}$$

회전운동에 대한 변위는

$$\begin{aligned} I_{xx} \ddot{\alpha} - I_{yy} \ddot{\beta} - I_{zz} \ddot{\gamma} &= M_x \\ -I_{xx} \ddot{\alpha} + I_{yy} \ddot{\beta} - I_{zz} \ddot{\gamma} &= M_y \\ -I_{xx} \ddot{\alpha} - I_{yy} \ddot{\beta} + I_{zz} \ddot{\gamma} &= M_z \end{aligned} \text{ 이며}$$

6개의 좌표 ( $x_c, y_c, z_c, \alpha, \beta, \gamma$ )를 갖는 6자유도 계이다.

다음과 같이 가정하여 전술컴퓨터콘솔의 운동방정식을 간략화(simplifying condition) 할 수 있다.

1) 기준좌표축과 관성좌표축이 일치하므로

$$I_{xy} = I_{yz} = I_{zx} = 0$$

2) X축으로 질량중심이 마운트의 중심에 있으므로 롤링(rolling)이 없고, 밑면의 모서리에 4개의 마운트와 2개의 후방 마운트가 있으므로 Z축으로 요잉(yawing)도 없다.

따라서, X축 방향의 가진은 무시하였고, 2축(Y,Z)으로 바닥을 가진하는 진동환경시험 조건을 2자유도로 모델링 하였으며 수직, 수평방향운동과 회전운동은 비연성 되어 있다고 가정하였다. 탄성지지체인 마운트는 2개씩 동기(同期)화 시켜 병렬로 연결된 것으로 간주하였다.

각 마운트는 스프링성분(K), 댐핑성분(C)으로 나누어 모델링 하였다.

#### 3-1. 2자유도 모델의 운동방정식

먼저 Fig. 5와 같이 전술컴퓨터콘솔의 마운트 장착된 바닥을 Z축 방향으로 수직가진하는 경우의 운동 방정식은 다음과 같다.

$$l_1 = 0.225m, l_2 = 0.455m, l_3 = 0.794m,$$

$$l_4 = 0.727m, l_5 = 0.602m$$

$$\begin{aligned} m \ddot{z} &= -K_{14}(z-w) - K_{24}(z-w + l_2\theta) \\ &\quad - K_{34}(z-w + l_5\theta) - C_{14}(\dot{z} - \dot{w} - l_1\dot{\theta}) \\ &\quad - C_{24}(\dot{z} - \dot{w} + l_2\dot{\theta}) - C_{34}(\dot{z} - \dot{w} + l_5\dot{\theta}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I \ddot{\theta} = & K_{1x}(z-w-l_1\theta)l_1 - K_{2x}(z-w+l_2\theta)l_2 \\
 & - K_{3x}(z-w+l_3\theta)l_3 + C_{1x}(\dot{z}-\dot{w}-l_1\dot{\theta})l_1 \\
 & - C_{2x}(\dot{z}-\dot{w}+l_2\dot{\theta})l_2 - C_{3x}(\dot{z}-\dot{w}+l_3\dot{\theta})l_3 \\
 & - K_{1y}(l_3\theta)l_3 - K_{2y}(l_3\theta)l_3 \\
 & - K_{3y}(l_4\theta)l_4 - C_{1y}(l_3\dot{\theta})l_3 \\
 & - C_{2y}(l_3\dot{\theta})l_3 - C_{3y}(l_4\dot{\theta})l_4
 \end{aligned}$$

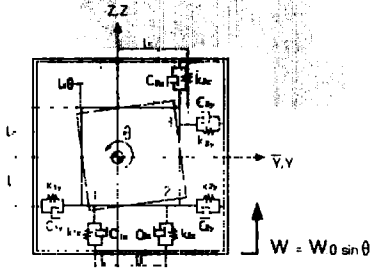


Fig. 5 Schematic diagram of 2 DOF model with Z-direction foundation excitation

전술컴퓨터콘솔의 마운트 장착된 바닥이  $v = v_0 \sin \theta$ 로 수평가진하는 경우의 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 m \ddot{y} = & -K_{1y}(y-v+l_3\theta) - K_{2y}(y-v+l_3\theta) \\
 & - K_{3y}(y-v-l_4\theta) - C_{1y}(\dot{y}-\dot{v}+l_3\dot{\theta}) \\
 & - C_{2y}(\dot{y}-\dot{v}+l_3\dot{\theta}) - C_{3y}(\dot{y}-\dot{v}-l_4\dot{\theta}) \\
 I \ddot{\theta} = & -K_{1y}(y-v+l_3\theta)l_3 - K_{2y}(y-v+l_3\theta)l_3 \\
 & + K_{3y}(y-v-l_4\theta)l_4 - C_{1y}(\dot{y}-\dot{v}+l_3\dot{\theta})l_3 \\
 & - C_{2y}(\dot{y}-\dot{v}+l_3\dot{\theta})l_3 + C_{3y}(\dot{y}-\dot{v}-l_4\dot{\theta})l_4 \\
 & - K_{1x}(l_1\theta)l_1 - K_{2x}(l_2\theta)l_2 \\
 & - K_{3x}(l_3\theta)l_3 - C_{1x}(l_1\dot{\theta})l_1 - C_{2x}(l_2\dot{\theta})l_2 - C_{3x}(l_3\dot{\theta})l_3
 \end{aligned}$$

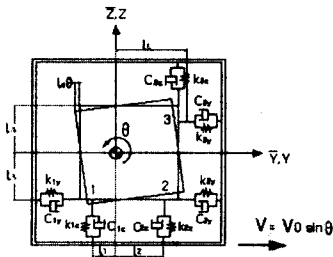


Fig. 6 Schematic diagram of 2 DOF model with Y-direction foundation excitation

### 3-2. 전달함수

각 축으로 계의 운동방정식을 Laplace Transform 하여 전달함수를 구하였고 보데선도로 나타내었다. Fig. 7은 전술컴퓨터콘솔에 대한 Z축으로의 보데선도로서 바운싱과 피칭에 대해 6Hz와 12Hz에서 공진이 나타난다.

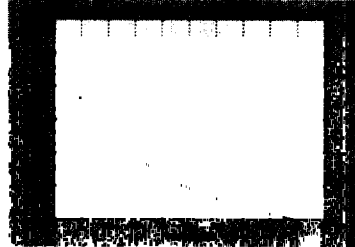


Fig. 7 Bode graph of combat computer console using mounts (Z axis)

Fig. 8은 전술컴퓨터콘솔에 대한 Y축으로의 보데선도로서 바운싱과 피칭에 대해 6Hz와 12Hz에서 공진이 나타난다.

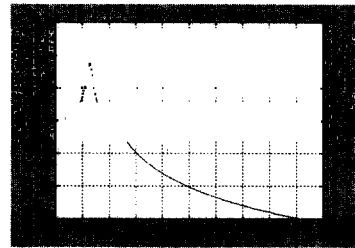


Fig. 8 Bode Graph of combat computer console using mounts (Y axis)

Table 4 Comparison of resonance frequency and transmissibility

		$f_n$ (Hz)	$T_r$
Z axis	Bouncing	6.0	7
	Pitching	12.0	0.6
Y axis	Bouncing	6.0	8
	Pitching	12.0	0.6

### 3-3. 해석

시뮬레이션된 결과 Table 4로부터 강성값(K)과 계의 댐핑계수(C)를 구하여 전술컴퓨터콘솔의 진동 시험 결과를 예측하였다. Fig. 9와 10은 Z축과 Y축에 대한 진동시험 시뮬레이션 결과이다.



Fig. 9 Simulation results of vibration test for combat computer console (Z axis)

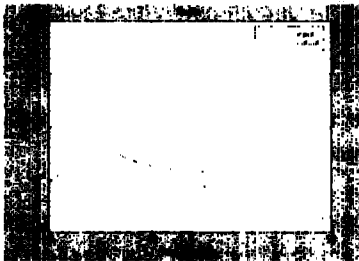


Fig. 10 Simulation results of vibration test for combat computer console (Y axis)

Fig. 11은 환경시험 규격에 따라 20G, 11ms의 충격을 Z축 방향으로 전술컴퓨터콘솔의 바닥으로 입력시 콘솔로 전달되는 감쇠된 충격량의 시뮬레이션이다.

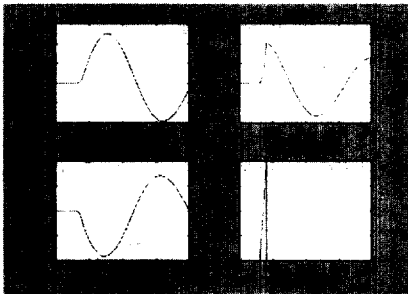


Fig. 11 Simulation of impulse test for combat computer console

#### 4. 환경시험

전술컴퓨터콘솔을 함정에서의 설치조건과 동일하게 시험치구를 제작하여 진동과 충격 시험을 실시하였다. 진동시험은 X,Y,Z 축에 대해서 전자기식(electromagnetic) 가진기인 진동시험기(A340: LE)를 사용하였다.

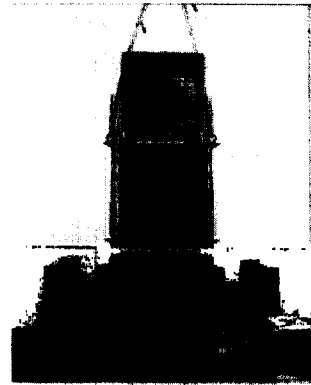


Photo 1 Vibration test of combat computer console in Z direction

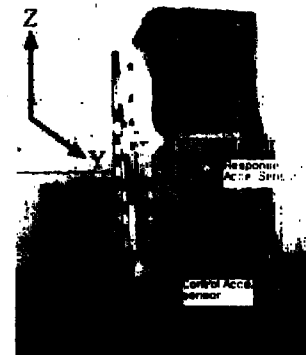


Photo 2 Vibration test of combat computer console in Y direction

전술컴퓨터콘솔 가변주파수 시험시의 profile은 Fig. 12, 13과 같으며 시뮬레이션을 하지않은 X축을 제외한 Y축과 Z축이 시뮬레이션 결과와 동일한 형상을 보이고 있다.

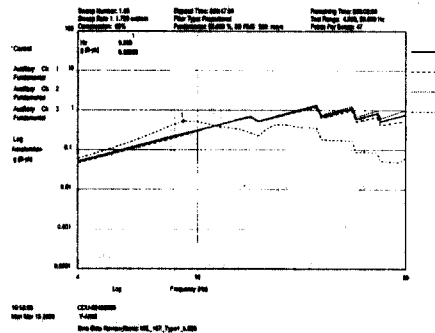


Fig. 12 Vibration history of combat computer console in Y direction

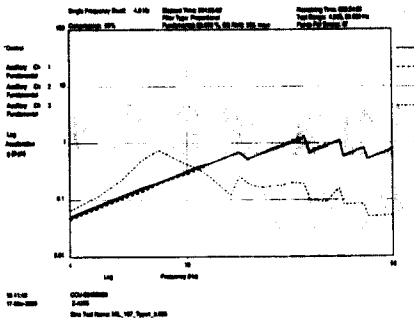
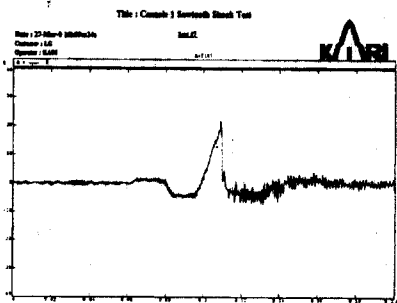


Fig. 13 Vibration history of combat computer console in Z direction

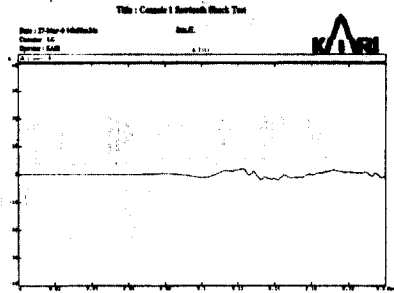
각 축의 가변주파수 시험후 공진주파수 대역에서 내구성시험을 실시한 후 정상 동작 및 형상의 이상이 없음을 확인하였다. 충격시험은 전자기식 가진기인 진동시험기(V994: LDS)를 사용하였으며 그 응답 profile은 Fig. 14와 같다.



Photo 3 Shock test of combat computer console in Z direction



(a) Profile of applied shock



(b) Response of isolated combat computer console

Fig. 14 Shock history of combat computer console in Z direction

### 5. 결론

본 연구에서는 상용 마운트를 사용하여 함정에 장착되는 전술컴퓨터콘솔의 방진 설계를 수행하고 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전술컴퓨터콘솔을 무게중심에 대칭으로 설계하고 stabilizer의 사용으로 계를 2자유도로 해석 하였으며 환경시험결과 정당함을 확인하였다.
2. 본 연구에서 상용의 마운트를 이용한 콘솔의 방진설계로서 함정의 주 진동원인 12~33Hz 대역 및 충격외란의 영향을 회피 할 수 있음을 확인하였다.
3. 본 연구의 결과로 환경에서 오는 외란의 크기를 최소로 하면 일반 상용조건의 부품사용도 가능함을 알 수 있다.

### 참고문헌

1. Dave S. Steinberg, 1973, "Vibration Analysis for Electronic Equipment", Wiley-Interscience
2. Department of Defense(US), 1974, MIL-STD-167-1(SHIPS), TYPE I
3. Department of Defense(US), 1989, MIL-STD-810E
4. Application Selection Guide, Barry Controls Catalogue, "Selection Guide for BARRY CONTROLS Isolators and Mounting Systems
5. Cyril M. Harris, 1990, "Shock & Vibration Handbook"