

# 상용 워크스테이션의 방진

°이재홍\* · 박혁성\* · 권병현\*\* · 안광철\*\* · 박영필\*\*\*

## Isolation of a Commercial Workstation

Jaehong Lee, Hyuksung Park, Byunghyun Kwon, Kwangchul An, Youngpil Park

### ABSTRACT

Normal operation of a workstation in a ship must be secured under any circumstances. Rugged workstation has been imported and there have been many difficulties in maintaining that system such as high cost, delayed after-service and etc. For that reason, a commercial workstation is decided to replace the rugged workstation. But as there is no anti-vibration design in the commercial workstation, a passive vibration isolation system consisted with oil damper and spring is applied. Through theoretical study and experiments, the proposed vibration system is proved to work effectively and make the commercial workstation be able to be used in a ship.

### 1. 서론

함정탑재용 Workstation은 다양한 진동 및 충격 하에서도 장비의 정상동작이 보장되어야한다. 하지만 기존의 함정용 Rugged Workstation은 고가이고, 고장시 신속한 교체가 원활하지 못하는 등 몇 가지 문제점이 있다. 또한 Rugged Workstation 기술은 매우 배타적으로 몇몇 선진국 기업에의해서만 독점되어 왔으며 그 기술에의 접근이 어려워 현재까지 기술적으로 종속되어왔다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 상용 Workstation을 사용할 수 있지만, 설계단계에서 진동의 영향을 고려하지 않았기 때문에 외부의 진동에 매우 취약하다. 장비운용시 진동으로인한 오동작은 위급한 상황에서는 매우 치명적이며, 상용 Workstation을 함정에 탑재할 때 반드시 해결해야 할 기술적 문제이다.

본 연구에서는 함정내에서 Workstation이 정상적인 동작을 할 수 있도록 외란에 의한 영향을 최대한 억제하기위해 오일댐퍼와 스프링으로 이루어진 방진기구를 설계 및 제작하며, 방진성능을 확인

하기위해 관련규격에의한 환경시험을 실시한다.

### 2. 상용 Workstation 의 내진 시험

HDD(하드디스크), FDD(플로피디스크), 메인보드가 장착된 상용 workstation의 내진성을 확인하기위해 4~50 Hz 구간에서 가진실험한 결과, 1.2 g의 가속도로 가진시 메인 보드는 정상적인 동작을 하였으나, HDD에서는 오동작이 발생하였다.

HDD의 내부 구조는 Fig. 2.1과 같다.

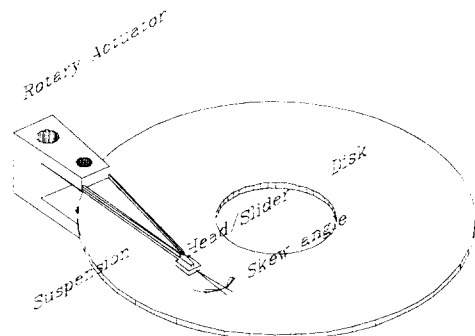


Fig. 2.1 Schematic Diagram of Hard Disk

진동이나 충격에 의해 헤드와 디스크의 접촉이

\* 연세대학교 공과대학 기계공학과 대학원

\*\* LG 정밀 (주) 연구개발 6그룹

\*\*\* 연세대학교 공과대학 기계공학과

발생할 경우 데이터의 손상을 유발하고, HDD의 수명에 큰 영향을 줄 수 있다.

그러므로, HDD에서 중요한 것은 헤드와 디스크의 상호작용이다.

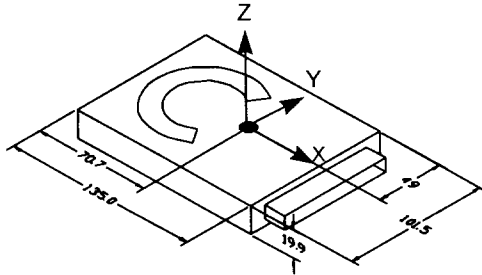
Pretest의 결과도 HDD의 독취부가 외란에 의해 파손된 것으로 사료되어 이에 대한 방진 대책이 요구된다.

메인보드는 Pretest결과 HDD와 비교했을 때 진동에 의한 손상 가능성이 적어서 Air Spring으로 방진하였다.

### 3. 방진부해석

#### 3.1 질량 중심과 질량관성모멘트

방진의 대상인 HDD와 FDD의 개략적 형태 및 물성치는 다음과 같다.



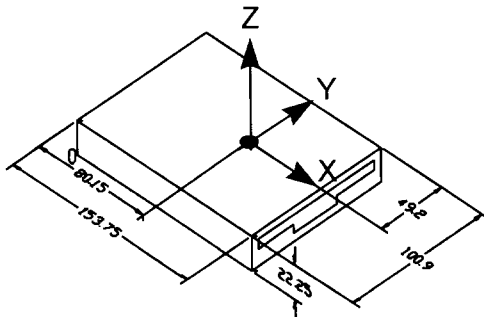
질량 : 0.56kg

$$I_{ZZ} = 0.0013 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{XX} = 0.00050 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{YY} = 0.00087 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Fig. 3.1 Schematic Diagram of HDD



질량 : 0.44kg

$$I_{ZZ} = 0.0012 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{XX} = 0.00039 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{YY} = 0.00089 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Fig. 3.2 Schematic Diagram of FDD

### 3.2 스프링

#### 3.2.1 스프링 상수

다음과 같은 스프링 상수를 갖는 6가지 스프링을 설계 제작하였다.

Table 3.1 Spring Constants for Experiment

스프링 종류	스프링 상수 (N/m)
1	465.95
2	160.53
3	117.71
4	414.05
5	302.30
6	199.92

#### 3.2.2 설치시 스프링 상수의 변화

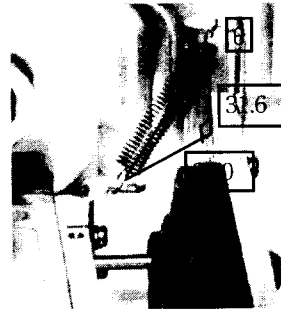


Photo 3.1 Spring Installation

스프링설치시 수직으로 설치되지 않고, 연직면에 대하여  $\theta$  만큼 기울어져 설치 된다. 3번 스프링의 경우, 기하학적 관계에 의하여  $\theta$  를 구하면 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{22}{31.6} = 0.6082 \text{ rad}$$

수직방향의 스프링 상수는 다음과 같다.

$$k' = k \cos \theta = 117.71 \cdot \cos 0.6082 = 96.605 \text{ N/m}$$

### 3.3 댐퍼

Fig. 3.3은 방진에 사용한 댐퍼의 단면도이다. 사선 부분은 부틸등의 고무재질로 되어있으며 그 내부에는 오일이 있다. 댐퍼의 스프링 상수는 고무재질의 경도등과 관련 있으며 댐핑계수는 오일의 점도등과 관련이 있다.

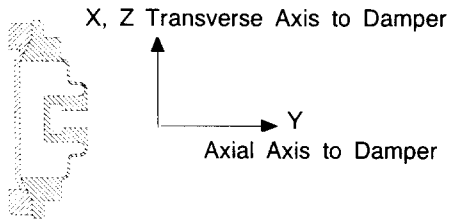


Fig. 3.3 Cross-Sectional Diagram of Oil Damper

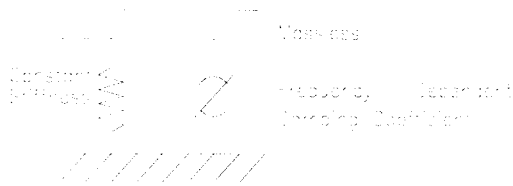


Fig. 3.4 Damper Model

사용 댐퍼를 Fig. 3.4에 나타낸 것 처럼 일정한 스프링 상수와 주파수에 따라 변하는 댐핑계수를 갖는 모델로 가정하였다.

댐퍼의 스프링 상수는 방진부에 대한 모달실험 결과를 이용하여 구한다.

HDD나 FDD의 실장착시 외란은 전방향에 걸쳐 작용한다. 따라서, Damper의 특성 또한 전 방향에 걸쳐 구한다.

### 3.3.1 축방향의 댐핑계수 측정

Photo 3.2에서와 같은 실험 장치를 구성하여 축 방향의 댐핑계수를 측정하였다.

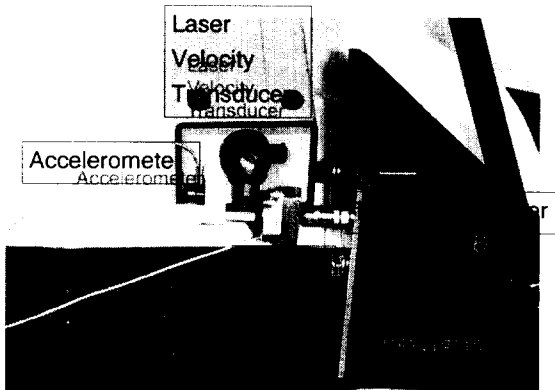


Photo 3.2 Close View of Axial Damping Coefficient Measurement

축방향 실험의 결과는 다음 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Measurement Result of Axial Damping Coefficient

종류 \ 주파수	10	13	18	20	28	35
5 Hz	51.818	59.719	62.262	73.138	96.908	86.491
10 Hz	36.806	40.789	44.915	54.323	70.292	70.730
15 Hz	30.374	33.643	36.683	46.895	54.753	57.523
20 Hz	27.783	30.128	33.617	41.274	46.715	50.351
50 Hz	20.346	22.098	23.541	26.251	32.580	33.648

(단위: 속도 = m/sec, 힘 = N, 댐핑계수 = N/m/sec)  
 댐퍼의 종류에 적힌 숫자 10, 13, 18, 20, 28, 35들은 댐퍼의 오일 점도를 지칭하며 각각 10,000cSt, 13,000cSt, 18,000cSt, 20,000cSt, 28,000cSt, 35,000cSt를 나타낸다.

### 3.3.2 측면방향의 댐핑계수 측정

측면방향의 실험 구성은 Photo 3.3과 같다.

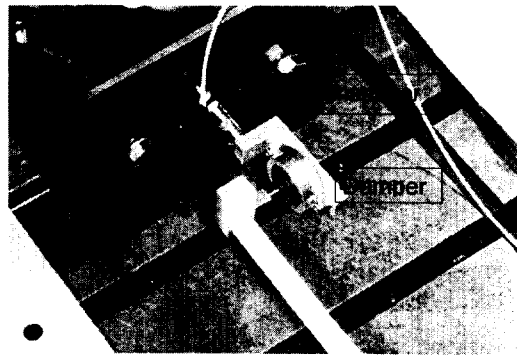


Photo 3.3 Close View of Transverse Damping Coefficient Measurement

측면방향 실험의 결과는 다음 Table 3.3과 같다.

Table 3.3 Measurement Result of Transverse Damping Coefficient

종류 \ 주파수	10	13	18	20	28	35
5 Hz	56.334	57.182	67.812	75.172	82.074	109.82
10 Hz	40.757	40.706	48.256	51.353	55.588	68.322
15 Hz	29.844	30.209	35.719	40.670	46.835	51.686
20 Hz	24.665	25.077	29.747	33.551	35.903	38.117
50 Hz	18.035	18.264	21.460	22.943	29.179	28.739

(단위: 속도 = m/sec, 힘 = N, 댐핑계수 = N/m/sec)

이상의 실험 결과를 그래프로 정리하면 Fig. 3.5와 같다.

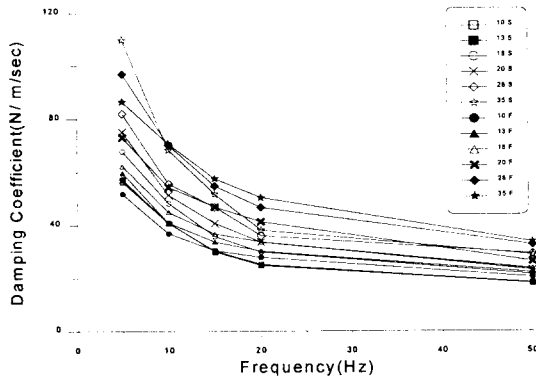


Fig. 3.5 Measurement Result of Damping Coefficient

### 3.3.3 실험결과 해석

오일 점도가 커질수록 댐핑계수는 모든 주파수에 대해서 전체적으로 증가하며, 가진주파수가 증가할수록 댐핑계수가 감소한다. 후자의 특성은 방진설계에 있어서 고정댐핑계수를 갖는 댐퍼보다 주파수특성이 유리한 것이다. 이는 일반적으로 공진점 부근의 주파수에서는 댐핑계수가 클수록, 공진주파수의  $\sqrt{2}$  배 이상에서는 댐핑계수가 작을수록 전달율이 작아지기 때문이다.

## 4. 방진부의 모달실험

일반적으로 진동 절연 특성을 좋게하기 위해서는 스프링 상수를 가능한한 작게하여 고유진동수를 낮게하고, 댐핑계수도 공진주파수 근방에서는 크게, 공진주파수보다 고주파수에서는 작게하여야 한다. 특히 내 충격성을 좋게하기 위해서는 고주파 영역에서 댐핑계수가 낮아야 한다.

따라서, 실험에서는 가장 낮은 스프링 상수를 갖는 3번 스프링과, 대상계에 가장 적절한 댐핑계수를 갖는 댐퍼10을 선정하여 실험하였다.

HDD 및 FDD는 모든 방향으로 진동하므로 각 방향에 대하여 전달율을 측정한다.

실험장치의 구성은 다음과 같다.

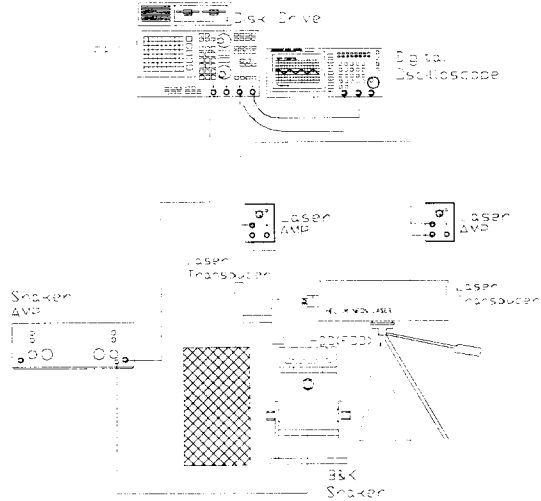


Fig. 4.1 Schematic Diagram of Modal Test in Z-direction

### 4.1 HDD(Z방향)의 전달율

실험에서 측정한 HDD의 상하 방향의 전달율은 다음과 같다.

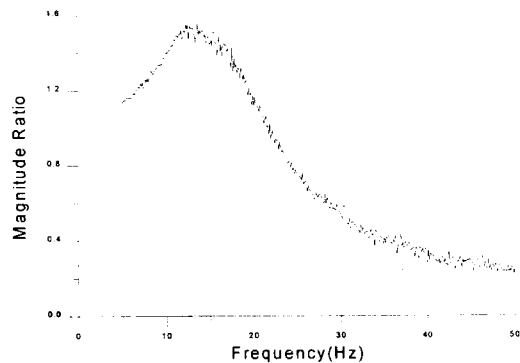


Fig. 4.2 Z-Direction Transmissibility of HDD in the case of Damper Type 10

### 4.2 FDD(Z방향)의 전달율

실험에서 측정한 FDD의 상하 방향의 전달율은 다음과 같다.

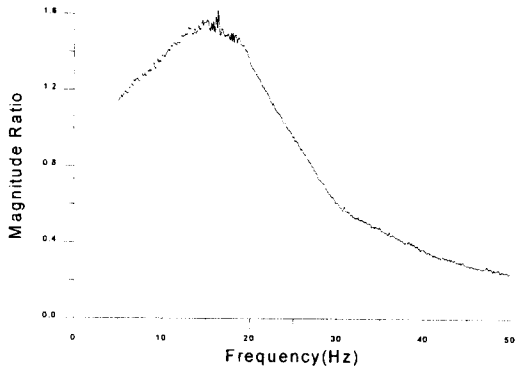


Fig. 4.3 Z-Direction Transmissibility of FDD in the case of Damper Type 10

### 4.3 해석

공진주파수일 때의 전달율이 가장 크므로, 최대값을 알기 위하여 공진주파수와 그 때의 전달율을 정리하면 다음과 같다.

Table 4.1 Magnitude Ratio of HDD and FDD at Damped Natural Frequency

		더미질량	×				○	
			댐퍼 없음	10	35	10	35	
Z방향	HDD	고유진동수	4.0	14.5	19.0	10.9	14.5	
		전달율	50.0	1.52	1.35	1.62	1.51	
	FDD	고유진동수	4.1	15.5	17.0	11.0	12.5	
		전달율	32.5	1.55	1.26	1.7	1.51	
X방향	HDD	고유진동수	3.4	12.5	18.5	10.0	12.5	
		전달율	15.5	1.59	1.4	1.55	1.45	
	FDD	고유진동수	3.6	14.0	20.0	10.0	13.8	
		전달율	15.0	1.5	1.4	1.65	1.37	
Y방향	HDD	고유진동수		12.5				
		전달율		1.34				
	FDD	고유진동수		12.0				
		전달율		1.29				

(단위, 고유진동수 = Hz)

HDD(Z방향)실험으로부터 구한 댐퍼10의 스프링 상수는 다음과 같다.

$$k_{damper} = 1210.7 \text{ N/m}$$

Dummy Mass가 없는 댐퍼10의 경우에 대하여  $\frac{\omega}{\omega_n}$  을 축으로 전달율 그래프를 그리면 다음과 같다.

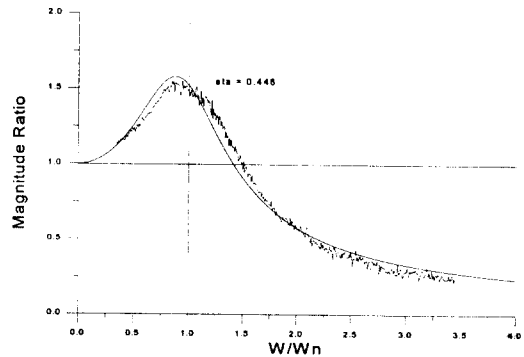


Fig. 4.4 Z-Direction Transmissibility of HDD in the case of Damper Type 10

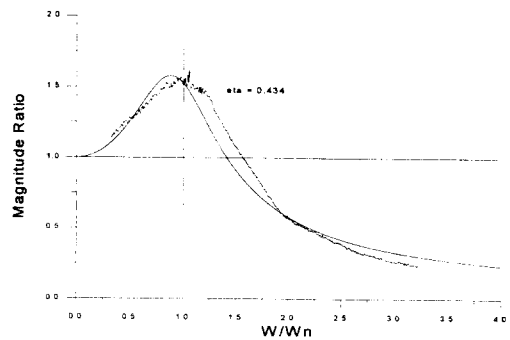


Fig. 4.5 Z-Direction Transmissibility of FDD in the case of Damper Type 10

공진주파수에서 동일 전달율을 보이는 고정댐핑계수와 비교해 보면, 공진주파수의 2배 주파수를 기준으로 저주파에서는 동일 전달율을 보이며, 고주파에서 감소된 전달율을 보인다. 이는 단품실험에서 확인한 주파수에 따라 변하는 댐핑계수를 갖는 댐퍼 특성이 반영된 것이다.

### 5. 환경시험

방진설계한 상용 Workstation이 목표규격에 적합한지를 판단하기 위해 환경시험을 실시하였다.

방진설계한 HDD 및 FDD의 실장착모습이 Photo 5.1과 Photo 5.2에 나타나 있다.

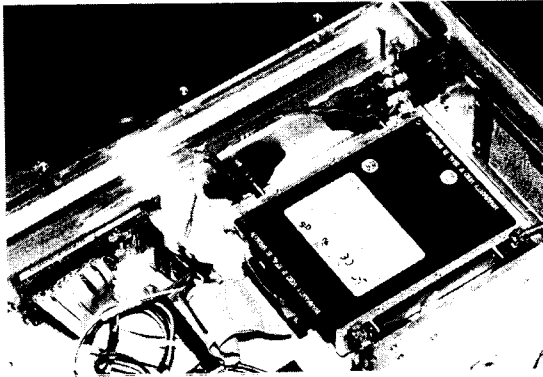


Photo 5.1 Close View of Installed HDD

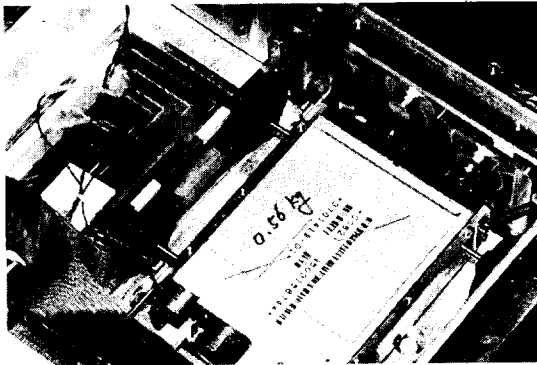


Photo 5.2 Close View of Installed FDD

Table 5.1 Ship Board Sine Vibration Profile

Frequency Range	Single Amplitude Displacement (in).
4 to 15	0.030 +/- 0.006
16 to 25	0.020 +/- 0.004
26 to 33	0.010 +/- 0.002
34 to 40	0.005 +/- 0.001
41 to 50	0.003 +/- 0.000

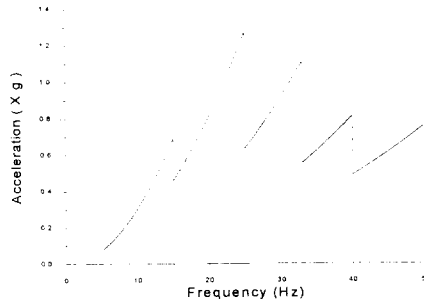


Fig. 5.1 Operating Vibration Profile

## 5.1 환경시험 규격

### 5.1.1 진동시험규격

진동시험의 목적은 Workstation을 함정에 장착하여 사용함에 있어서, 해상상태 및 함정의 기동용 프로펠러에 의해 발생하는 진동환경에서 Workstation의 생존 및 정상적인 동작여부를 판단하기 위함이다.

시험은 MIL-STD-167-1, TYPE I의 Environmental Vibration의 요구 조건을 만족해야 한다. 이 방법은 X, Y, Z의 3축에 대해서 진동시험을 실시하며, EUT는 함정에서 설치조건과 동일하게 시험기구를 만들어서 진동장비에 설치하고 진동 시험을 3축에 대해서 각각 실시한다.

이 때의 가진 규격은 Table 5.1 및 Fig. 5.1 과 같다.

### 5.1.2 충격시험규격

충격시험의 목적은 Workstation을 함정에 장착하여 작전을 수행함에 있어서 외부의 고속 충격 (High Impact) 환경에서 Workstation의 생존 및 정상적인 동작여부를 판단하기 위함이다.

기준은 MIL-STD-810E에 의해 11 msec동안 15G의 충격을 주는 것이다.

## 5.2 Workstation 진동 시험

Workstation의 진동시험 모습을 Photo 5.3에서 보이고 있다.

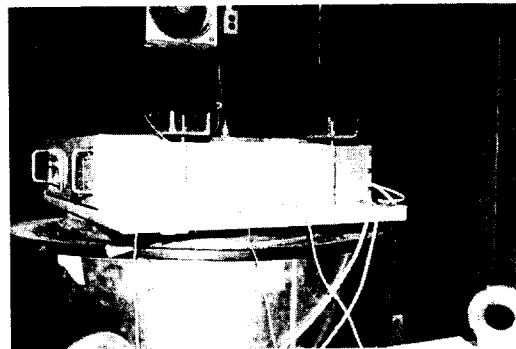


Photo 5.3 Vibration Test of Workstation in Z direction

Workstation 진동시험의 실가진 Profile을 Fig. 5.2에서 보이고 있다. 진동 시험동안 Workstation 이 정상적으로 작동하였다.

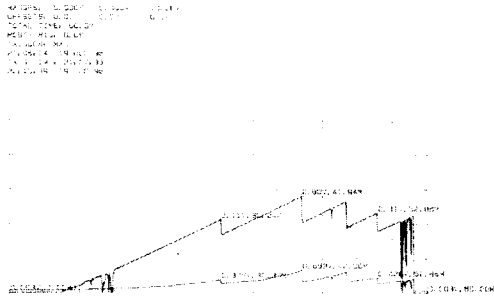


Fig. 5.2 Vibration History of Workstation in Z direction

### 5.3 Workstation 충격시험

Workstation의 충격시험 모습을 Photo 5.4에 보이고 있다.



Photo 5.4 Shock Test of Workstation

Workstation에 가해진 충격파형이 Photo 5.5에 나타나 있다.  
높이 방향의 한 Grid가 5G를 나타낸다.  
Workstation이 정상적으로 동작하였다.

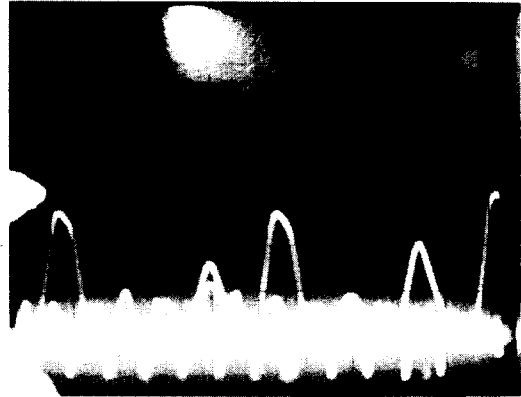


Photo 5.5 Shock History of Workstation

## 6. 결론

본 연구에서는 함정에 상용 Workstation을 탑재 시 발생하는 진동문제를 해결하기 위하여 방진시스템을 설계하였으며, 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Workstation의 부품중 메인보드는 외란에 비교적 강건하였고, HDD와 FDD는 외란에 취약하였으며, 방진시스템의 설계 및 적용으로 이의 해결 방안을 제시하였다.
2. 오일 댐퍼를 대상계에 설치시 대상계의 운동을 고려하여, 축방향과 측면 방향 모두 댐핑계수를 측정하였고, 방향에 따른 이방성을 확인하였다.
3. 상용 Workstation의 기존 부품을 변경하지 않고 방진 설계만 적용하여 기존의 Rugged Workstation을 대체할 수 있도록 하였으며, 이는 MIL SPEC의 환경시험을 통해 확인하였다.

## 참고 문헌

1. Dave S. Steinberg, "Vibration Analysis for Electronic Equipment", Wiley-Interscience
2. MIL-STD-167-1, TYPE I
3. MIL-STD-810E