

# 진동계측 시스템의 구축과 실습선 내 거주성에 미치는 진동 평가에 관한 연구

남택근\* · 김득봉\*\* · 이돈출\*\*\*

\*, \*\*\* 목포해양대학교 기관시스템공학부, \*\* 목포해양대학교 실습선

## *A Study on the Construction of Vibration Measurement System and Evaluation of Vibration Related Habitability on the Training Ship*

Taek-Kun Nam\* · Deug-Bong Kim\*\* · Don-Chool Lee\*\*\*

\*, \*\*\* Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

\*\* Training ship, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요 약** : 선박에서의 주요한 진동발생 원인으로는 주기관과 프로펠러에 의한 것이다. 이러한 가진원으로부터 발생한 진동은 선박에 탑재된 장비의 내구성에 악영향을 미치고, 선박의 승조원에게도 불쾌감 등의 나쁜 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 선박에서 발생하는 진동을 계측하기 위한 시스템을 구축하였고 실제 실습선의 거주공간에서 발생하는 진동을 계측하였으며, 계측된 진동을 바탕으로 ISO6954:2000E에 의거하여 거주성 평가를 행하였다.

**핵심용어** : 선박, 진동, 주파수, 계측, 거주성, 옥타브밴드

**Abstract** : *Vibration on the ship was generated mainly by main engine and propeller. The vibration which is generated from the ship has an effect on durability of ship's machinery and it also has an evil influence on the working conditions for crew. In this research, vibration measurement system to measure ship's vibration was built and vibration signals using acceleration sensors were measured from an accomodation space of training ship. An evaluation of vibration with regard to habitability was also discussed and the evaluation process followed the guidelines of ISO6954:2000E.*

**Key Words** : *Ship, Vibration, Frequency, Measurement, Habitability, Octave band*

### 1. 서 론

본 연구는 선박에서 발생하는 진동이 선박의 탑승객 및 승조원에게 미치는 영향을 거주성 기준에서 살펴보고자 하였다.

선박에서의 진동은 바람, 파도 등을 포함한 다양한 가진원에 의해 발생하고 대표적인 가진원은 주 기관과 프로펠러를 들 수 있다. 이러한 진동은 기기의 내구성을 저하시켜 유지보수 주기를 단축시키고 동시에 선박에 승선하는 승객 및 승조원에게도 육체적·정신적인 불쾌함을 제공하여 선박 운용의 효율성을 저하시키기도 한다.

진동이 인체 및 거주성(Habitability)에 미치는 영향을 연구

한 기존연구를 살펴보면, 박(2005)은 농업용 트랙터와 RV자동차의 승차 시 운전자에게 전달되는 진동이 척수에 미치는 영향에 대해 연구하였으며, 최(2003)는 FRP소형선박의 선체진동 및 소음에 대한 ISO와 DNV허용기준과 적합도를 비교 평가하고 있다. 하지만 이러한 기존 연구는 ISO6954:2000E 기준의 계측조건을 반영하지 않고 있다. 한편 유(2007)는 여객선과 실습선을 대상으로 진동을 계측하고 가속도 측정값과 평균값으로 각 측정 구역에 대한 진동한계치와의 비교를 행하고 있다. 김(2008)은 소음과 진동에 의한 거주성 평가를 행하고 있으나, 진동계측 시스템의 명확한 메카니즘이 명시되어 있지 않고 계측한 진동성분에 대한 1/3옥타브 밴드 분석이 적용되지 않았다.

본 연구에서는 선박에서 발생하는 진동신호를 측정하기 위한 계측시스템을 구성하고, 진동신호를 효율적으로 계측할 수

\* 대표저자 : 정희원, tknam@mmu.ac.kr, 061-240-7225

있는 프로그램을 구축하였으며, 계측된 진동신호를 바탕으로 ISO6954:2000E에서 제시한 거주성 평가를 행하였다.

진동계측용 센서로는 가속도센서를 사용하였고, 소프트웨어는 NI(National Instruments)사의 LabVIEW를 이용하여 센서로부터 신호획득 및 신호상태 감시, 계측된 데이터에 대한 주파수 분석이 가능하도록 하였다. 진동 계측 선박으로는 목포해양대학교의 실습선 새유달호를 대상으로 하였으며, 선박 내의 공간을 세 구역으로 크게 나누어 계측을 실시하였다.

계측데이터는 진동계측 소프트웨어를 활용하여 주파수분석을 실시하였고, ISO6954:2000E에서 제시한 주파수 가중치를 고려한 1/3옥타브 분석을 행하였다.

## 2. 진동계측시스템의 구축

### 2.1 시스템의 구성

선박 내에서 발생하는 진동신호에 의한 거주성을 평가하기 위해 진동계측 시스템을 Fig. 1과 같이 구성하였다. 진동계측 시스템의 주요한 구성요소는 3축 가속도 센서(감도 101mV/g), USB타입의 A/D모듈과 UI(User Interface : 신호저장 및 샘플링 레이트 설정)이다.

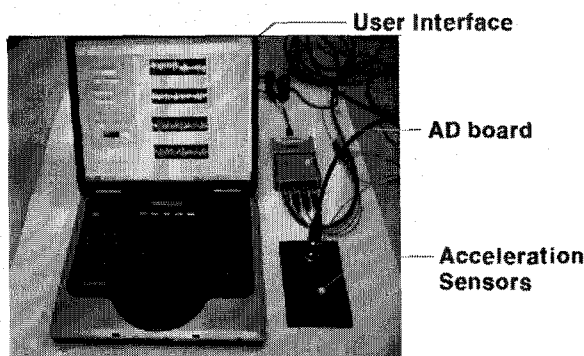


Fig. 1. Configuration of vibration measurement system.

가속도 센서로부터의 신호는 USB타입의 A/D모듈(NI사 cRIO 9233)을 이용하여 획득하고, 그래픽프로그램으로 분류되는 LabVIEW프로그램을 이용하여 신호의 저장 및 주파수 분석을 할 수 있는 UI를 구성하였다(곽, 2007).

Fig. 2는 진동계측소프트웨어의 실행화면(UI)을 나타내고 있고, 데이터획득을 위한 샘플링 레이트(S/s), 데이터 저장 시간, 적분회수 등을 설정할 수 있도록 하였다. 적분회수는 3장에서 언급하는 거주성 평가 시 가속도에 의한 가중치와 속도에 의한 가중치를 적용할 수 있도록 가속도센서로부터의 신호를 2회까지 적분할 수 있도록 하였다. UI화면상에서 실시간으로 각 채널에 입력되는 시간 신호 값과 주파수 분석결과를 확인할 수 있다.

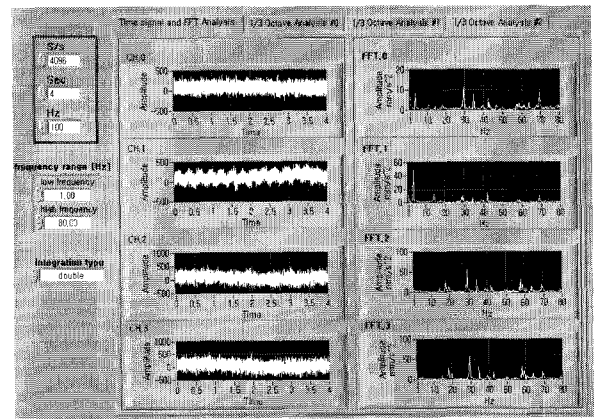
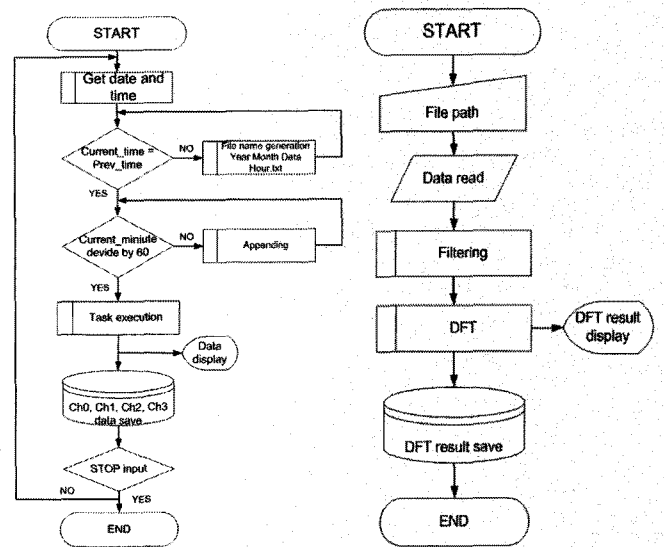


Fig. 2. User interface.

Fig. 3은 데이터의 저장과 처리를 위한 흐름도를 나타내고 있다. ISO6954의 기준에 의하면 진동신호는 최소한 60초 이상으로 하고, 중요 주파수 성분이 2Hz 아래에 있을 경우에는 120초 이상의 취득시간이 필요하므로 데이터를 설정한 주기(시간 및 분)에 따라 획득할 수 있도록 하였다.

Fig. 3(b)는 데이터 처리 과정을 나타낸 것으로 획득한 데이터를 필터링을 거쳐 주파수 분석을 할 수 있도록 한 것이다.



(a) data save process

(b) signal conditioning

Fig. 3. Flowchart of data processing.

## 3. 진동신호의 계측 및 분석

### 3.1 진동신호 계측

진동신호의 계측은 실제 목포해양대학교 실습선 새유달호에서 실시하였고, ISO6954:2000E에서 제시하고 있는 계측조건 (Table 1) 하에서 계측을 실시하였다.

Table 1. Measurement conditions by ISO6954:2000E

No.	Conditions
1	Free-route test on a straight course
2	Constant representative engine output
3	Sea states 3 or less
4	Full immersion of the propeller
5	Water depth not less than five times the draught of the ship

Table 2는 실습선의 주요 사양을 나타내고 있다.

Table 2. Specification of SAEYUDAL

Items	Specification
L.O.A	102.7m
Breadth	14.5m
Depth	3645ton
Main engine	Ssang Yong B&W MCR 3970ps
Propeller	3060 mm, 4 blades

Fig. 4는 계측대상인 실습선의 외관과 주요한 계측지점 및 좌표계를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 선수방향을 x축, 선수기준 우현을 y축, 수면기준 수직방향을 z축으로 설정하였다.

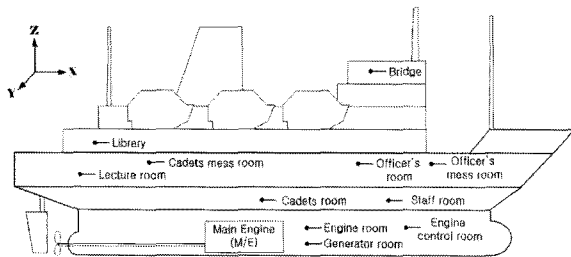


Fig. 4. Measuring points and coordinates.

ISO6954에 의거한 계측 구역을 설정하기 위해, 사관침실, 부원침실, 학생침실, 강의실 등을 A구역으로, 선교, 기관제어실, 학생식당을 B구역으로, 기관실, 발전기실을 C구역으로 분류하였고, 13개소에서 측정을 실시하였다. 단, ISO6954에 규정에 의하면 A구역은 승객침실, B구역은 승조원 거주 공간, C구역은 작업공간으로 구분하고 있다.

### 3.2 진동신호 분석

진동신호의 분석은 다음과 같은 과정을 거치게 된다. 먼저 가속도센서를 통해 얻어진 신호는 주파수 분석(DFT, Discrete Fourier Transformation)을 행하고, 주파수 별 진동데이터는 rms값으로 다시 계산된다(한국선급, 1997). 이 값은 다시 주파수 별 가중치를 곱해서 계산을 하고 최종적으로 1/3옥타브 밴드 다이어그램으로 출력된다(양, 2006). 1/3옥타브 밴드의 경

우 최고주파수, 최저주파수 및 중심주파수를 각각  $f_u, f_l, f_c$ 라고 하면 최고주파수와 최저주파수와의 관계는

$$f_u = 2^{\frac{1}{3}} f_l \quad (1)$$

가 되고, 중심주파수  $f_c = (f_l f_u)^{\frac{1}{2}}$ 와 (1)의 관계로부터  $f_c = 2^{\frac{1}{6}} f_l$ 이 얻어진다. 따라서 최저주파수, 최고 주파수와 중심주파수와의 관계는 각각 다음 식으로 표현된다.

$$f_l = 2^{-\frac{1}{6}} f_c \quad (2)$$

$$f_u = 2^{\frac{1}{6}} f_c$$

Fig. 5는 계산과정에서 반영되는 주파수 별 가중치 곡선(ISO 2631-2)을 나타내고 있다. x축은 주파수 영역이고 y축은 가속도에 대한 가중치를 Gain[dB]으로 나타낸 것이다. 대상 주파수 영역은 0.2Hz~400Hz(Nominal frequency기준)이다.

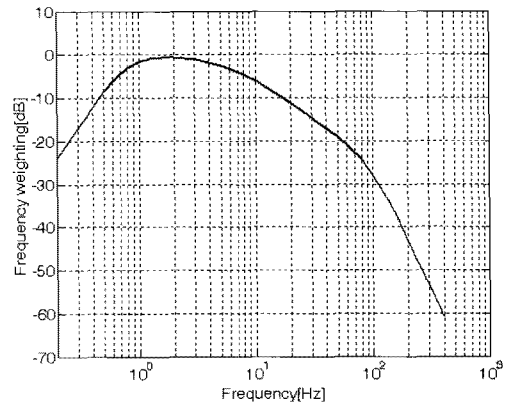


Fig. 5. Frequency weighting curve.

Table 3은 ISO6954에 규정된 각 구역(A : 승객침실, B : 승조원 구역, C : 작업 공간) 별 진동신호의 한계치를 나타내고 있다. Table 3의 값은 1Hz~80Hz사이의 진동신호에 주파수 별 가중치를 최종적으로 반영한 것이다.

Table 3. Habitability : Frequency weighted r.m.s values from 1Hz to 80Hz

Area classification					
A		B		C	
$mm/s^2$	$mm/s$	$mm/s^2$	$mm/s$	$mm/s^2$	$mm/s$
143	4	214	6	286	8

실습선의 각 계측지점에서 Table 1의 조건을 고려하여 진동신호를 계측하였고, Fig. 6~Fig. 8은 계측신호 분석결과를

나타낸다. 단, Fig. 6~Fig. 8의 신호분석결과는 z축의 진동 신호에 대한 것이고, 이는 x, y, z축 방향의 진동 신호를 비교했을 때 z축의 성분이 주요하게 나타났기 때문이다.

Fig. 6은 A구역으로 정한 학생침실(15호실)에 대한 주파수 분석결과(Fig. 6(a))와 가중치를 고려한 1/3옥타브 밴드 다이어그램(Fig. 6(b))을 나타내고 있다.

Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이 최대 진동값, 최대진동 발생 주파수, 주파수 가중치를 고려한 진동값을 계산해서 분석자가 발생 진동의 특성을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

Fig. 6(b)의 x축 숫자는 주파수밴드번호(Frequency band number)를 나타낸 것으로 주파수 밴드 0~19는 중심주파수 1Hz~80Hz에 대응된다. 최대진폭은 58 Hz에서  $434mm/s^2$ 이 발생하고 있고, ISO2631-2에 의거한 주파수별 가중치를 두어 계산한 값은  $33.3mm/s^2$  이다.

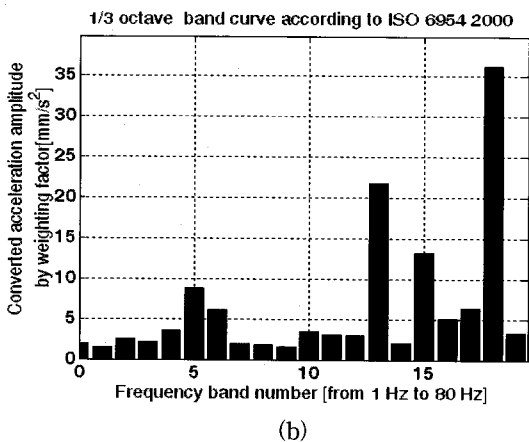
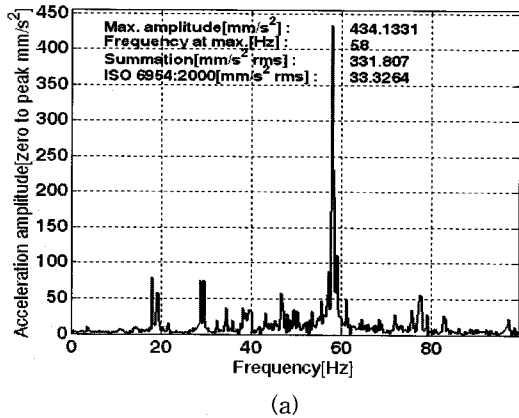


Fig. 6. Vibration spectrum and 1/3 octave band diagram at cadet room #15.

Fig. 7은 B구역으로 정한 학생식당에 대한 주파수 분석결과와 가중치를 고려한 1/3옥타브 밴드 다이어그램을 나타내고 있다. 최대진폭은 43Hz에서  $133mm/s^2$ 이 발생하고 있고, ISO2631-2에 의거한 주파수별 가중치를 두어 계산한 값은  $30.4mm/s^2$  이다.

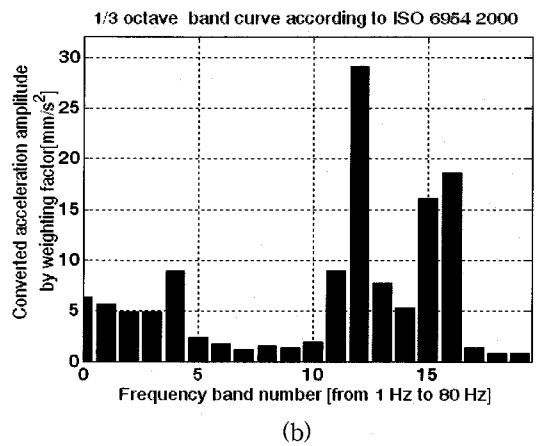
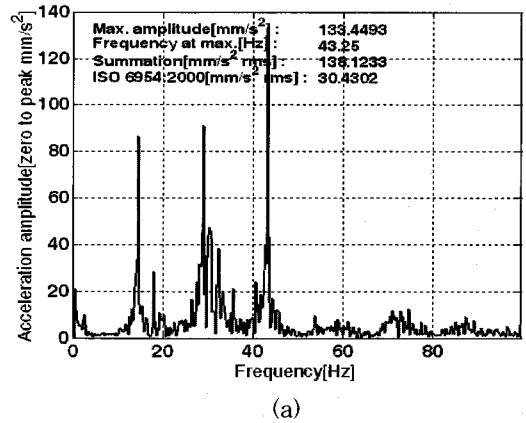
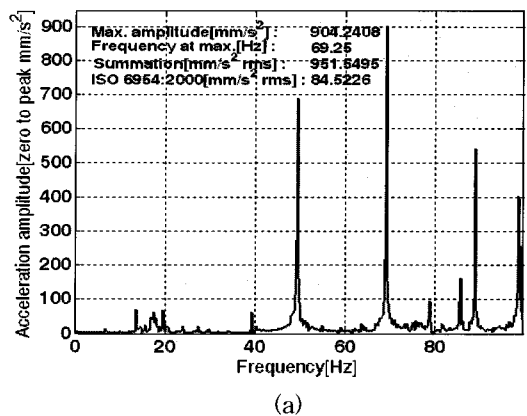
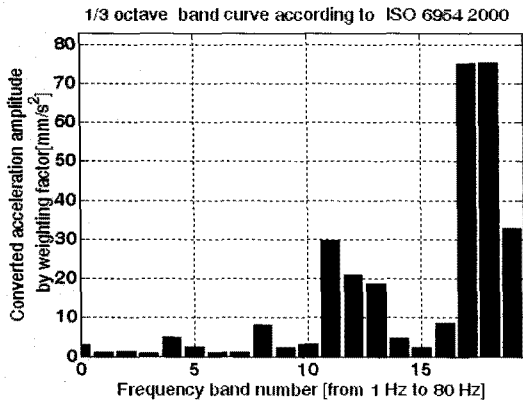


Fig. 7. Vibration spectrum and 1/3 octave band diagram at crew mess room.

Fig. 8은 C구역으로 정한 발전기실에 대한 주파수 분석결과와 가중치를 고려한 1/3옥타브 밴드 다이어그램을 나타내고 있다. 최대진폭은 69Hz에서  $904mm/s^2$ 이 발생하고 있고, ISO2631-2에 의거한 주파수별 가중치를 두어 계산한 값은  $84.5mm/s^2$  이다.





(b)

Fig. 8. Vibration spectrum and 1/3 octave band diagram at generator room.

### 3.3 진동신호 분석 결과

실습선을 A구역, B구역, C구역으로 구분하여 진동신호를 계측하고 계측신호를 분석하여 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

Fig. 9는 A구역에 대한 rms값을 나타내고 있으며, x축의 1~6은 각각 5호 학생침실, 15호 학생침실, 28호 학생침실, 33호 학생침실, 강의실과 도서관을 의미한다. 15호 침실과 28호 침실의 진동이 다른 곳에 비해 높게 계측되었으나 ISO에서 정한 A구역의 진동신호 상한치  $143mm/s^2$ (하한치  $71.5mm/s^2$ )를 초과하지 않고 있는 것을 알 수 있다.

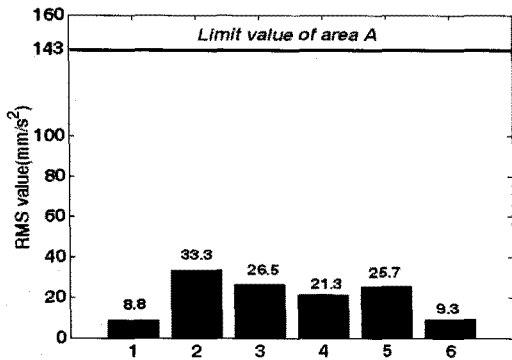


Fig. 9. Vibration analysis result at area A.

Fig. 10은 B구역에 대한 rms값을 나타내고 있으며, x축의 1~4는 브리지, 기관제어실(ECR), 사관식당, 학생식당을 의미한다. 학생식당의 경우  $30.4mm/s^2$ 의 진동이 발생하고 있으나 B구역의 진동신호 상한치  $214mm/s^2$ (하한치  $107mm/s^2$ )를 초과하지 않고 있다.

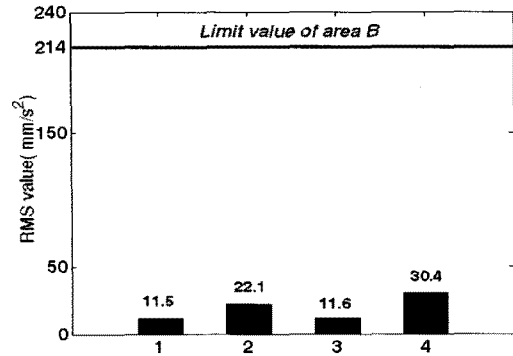


Fig. 10. Vibration analysis result at area B.

Fig. 11은 C구역에 대한 rms값을 나타내고 있으며, x축의 1~2는 기관실과 발전기실을 의미한다. C구역의 경우 기관실  $50.8mm/s^2$ , 발전기실  $84.5mm/s^2$ 의 진동이 발생하고 있어 다른 구역에 비해 진동이 심한 상태이지만, C구역의 진동신호 상

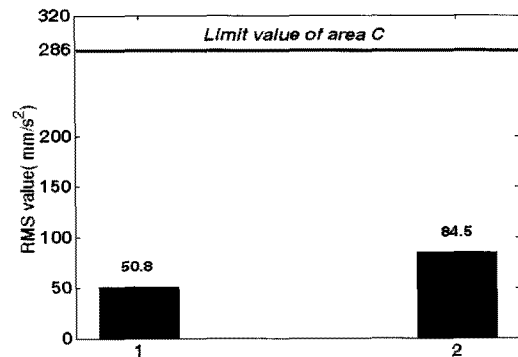


Fig. 11. Vibration analysis result at area B.

한치  $286mm/s^2$ (하한치  $143mm/s^2$ )를 초과하지는 않고 있다.

실습선의 거주구역 및 작업공간을 세 구역으로 분류하고, 각각의 구역에서 발생하는 진동신호를 바탕으로, 방향별 진동 신호의 크기를 나타내면 Fig. 12와 같다.

x, y, z축 벡터 크기를 진동 신호 값의 크기에 비례하도록 나타내었으며, 이를 살펴보면 선수, 선미, 기관실에서는 y, z축 방향으로 큰 진동이 발생하고 있고, 브리지에서는 x, z축에 비해 y축 방향으로 큰 진동이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 한편 보트갑판에서는 y, z축에 비해 x축의 진동이 크게 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

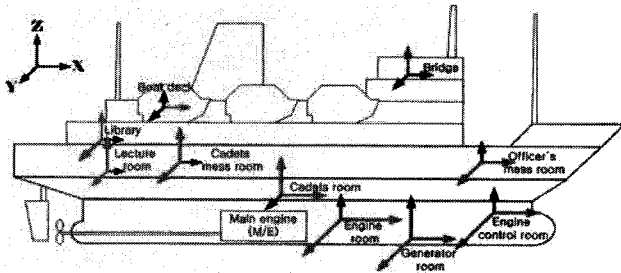


Fig. 12. Vibration analysis result on the training ship.

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 연구결과를 얻을 수 있었다. 먼저, 가속도 센서, A/D모듈 및 신호 처리 소프트웨어를 구성하여 선박에서 발생하는 진동신호를 계속할 수 있는 진동계측 시스템을 구축하였다. 아울러 개발된 진동신호 계측 시스템을 활용하여 실제 선박(실습선)에서의 진동신호 계측과 신호에 대한 주파수 분석을 행하였다.

다음으로 ISO 2631-2에 의거하여 각 주파수 별 가중치를 반영하여 진동 신호값을 계산하였고 동시에 최대 진동값, 최대 진동 발생 주파수를 출력하여 분석자가 발생 진동의 특성을 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

상기의 연구결과를 활용하여 실습선의 각 구역에서 발생하는 진동신호를 계측하였고, 그에 대한 분석결과는 다음과 같다.

- 1) 학생침실구역 및 식당 등(A구역으로 분류)에서 발생하는 진동 성분은 대부분 z축 방향의 성분이었다.
- 2) 선미측의 보트갑판에서는 x축 방향의 진동 성분이 강하게 나타났고, 기관실 부근에서는 y, z 축 방향의 성분이 강하게 계측 되었다.
- 3) 가장 강한 진동신호는 기관실과 발전기실에서 계측되었으나 ISO의 허용기준을 만족하고 있는 것을 알 수 있었다.

#### 사 사

이 논문은 2008~2009년도 호남지역 Sea Grant 사업단 연구개발사업 ‘소형 선박을 위한 제진 기술 개발’과제의 지원으로 진행되어진 연구임

#### 참 고 문 헌

[1] 곽두영(2007), 컴퓨터 기반의 제어와 계측, Ohm사, pp. 257-323.  
 [2] 김득봉(2008), 실습선 새유달호의 소음과 진동에 의한 거주성 평가에 관한 연구, 목포해양대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 45-74.

[3] 박민수(2005), ISO2631-5에 의한 전신 진동 평가 및 예측에 관한 연구, 인제대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 3-17.  
 [4] 양보석(2006), 기계설비의 상태 감시 및 진단, 인터비전, pp. 5-25.  
 [5] 유영훈(2007), 선박의 선내 진동에 의한 승선 환경 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제13권, 제4호, pp. 107-112.  
 [6] 최한규(2003), 소형선박의 진동과 소음 특성에 관한 연구, 부경대학교 대학원 박사학위 논문, pp. 16-50.  
 [7] 한국선급(1997), 선박진동·소음제어지침, pp. 445-476.  
 [8] ISO6954:2000(2000), Mechanical vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships, pp. 1-8.

원고접수일 : 2009년 12월 28일

원고수정일 : 2010년 02월 19일 (1차)

: 2010년 03월 15일 (2차)

게재확정일 : 2010년 03월 24일