

# 선박의 선내 진동에 의한 승선 환경 평가에 관한 연구 (ISO-6954 : 2000(E)의 평가방법에 기초)

유영훈\*

\* 목포해양대학교 기관시스템공학부

## A Study on the Evaluation of the Boarding Environment for the Ship Vibration (on the Basis of ISO-6954 : 2000(E))

Young-Hun Yu\*

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

**요 약** : 선박에서 발생하는 진동은 여객의 안락감을 결정하거나 승조원의 근무환경에 미치는 영향이 크므로 매우 중요하다. 선박에서 발생하는 진동은 선박의 속도를 좌우하는 추진방식의 발달과 가장 밀접한 관계가 있다. 이와 같이 추진력을 발생하기 위하여 선박의 기관실에는 디젤엔진의 연속적인 폭발과정에서 기인하는 강력한 진동이 발생하게 된다. 진동이 인체에 미치는 피해는 생리적인 피해와 심리적인 피해로 발생하게 된다. 진동 환경에 인체가 노출되는 경우, 선내의 진동에 대한 평가는 국제표준화지침인 ISO 6954:2000(E)에 의해 정하고 있다. 본 연구에서는 선박에서 진동이 인체에 미칠 수 있는 영향을 평가하기 위해 ISO 6954:2000(E)에서 규정하는 지침에 의해 선박진동의 영향이 가장 큰 기관실, 기관제어실, 각종선실 및 선교 등에서 발생하는 진동의 크기를 측정 비교하여 평가한다.

**핵심어** : 선내진동, 승선환경, 승객거주구역, 승무원거주구역, 작업구역, 상단체한치, 하단체한치, 기관제어실, 선교

**Abstract** : The vibration generated on shipboard is very important because it greatly affects on the comfortable mind of passenger and working conditions of crews. Shipboard vibration is closely concerned with the development of propulsion method and the type of main engine to decide speed of ship. To make the propulsion power, the main engine of ship have continuous explosion process in engine room, so the shipboard vibration is generated. The shipboard vibration causes the physiological and psychological damages to human body. In the case of the human body exposed to the shipboard vibration, the evaluation of human exposure to whole-body vibration is prescribed in ISO 6954 : 2000(E). In this paper, to evaluate the shipboard working environment, two kinds of vibration levels onboard ship were measured and compared with one another between engine rooms, engine control rooms and wheel house by the regulation of ISO 6954 : 2000(E).

**Key words** : Vibration in ship, Boarding environment, Area for passenger, Working area, Permissible upper limit, Permissible lower limit, Engine control room, Wheel house

### 1. 서 론

선박에서 발생하는 진동은 여객의 안락감을 결정하거나 승조원의 근무환경에 미치는 영향이 크므로 매우 중요하다. 선박에서 발생하는 진동은 선박의 속도를 좌우하는 추진방식의 발달과 가장 밀접한 관계가 있다. 오랫동안 지속되었던 인력 및 풍력에 의한 추진방식이 19세기 이후 기계적 동력을 이용하는 기선이 등장하게 되었다. 최근에는 조선기술의 발달과 함께 초대형의 선박이 건조되어짐에 따라서 고효율의 추진성능을 갖는 동력기계의 조합이 요구된다.

따라서 선박에는 선박의 운용에 필요한 각종 동력을 생산하기 위해서 기관실이 있으며, 기관실에는 주 엔진이 중앙부에 설치되고 주변에는 발전기를 비롯한 각종 보조 기기가 설치되

어져 있다. 일반적으로 선박 기관실의 역할은 그것의 중앙에 설치된 메인엔진에서 발생하는 힘을 최대의 전달효율로 추진기를 회전시킬 수 있도록 제작된다.

이와 같이 추진력을 발생하기 위하여 선박의 기관실에는 디젤엔진의 연속적인 폭발과정에서 기인하는 강력한 진동이 발생하게 된다. 더구나 선박은 강판과 철판의 용접에 의해 구성되므로 선박에서 발생하는 진동은 전달특성이 좋은 강판의 구조를 통하여 이들과 근접되어 있는 사무실 및 거주구역에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 기관실 등에서 작업 중인 승무원뿐만 아니라 선실 및 거주구역에서 생활을 하는 승객은 메인엔진을 비롯한 각종 보조기계에서 발생하는 진동으로 인하여 인체가 피해를 받는 환경에 놓여지게 된다.

진동이 인체에 미치는 피해는 생리적인 피해와 심리적인 피해를 들 수 있다. 심리적인 면에서 진동영향은 개인이 갖고 있는 감정이나 분위기에 의해 크게 좌우되며 개인차가 크다. 반면에 생리적인 피해는 객관적인 심리현상, 호흡, 맥박, 신진대사

\* 대표저자 : 종신회원, yuyh@mail.mmu.ac.kr, 061-240-7103

등의 변화를 의미하며 심리적인 면에 비하여 개인적인 차이가 극단적이지 않다. 그러나 선박의 기관실과 같이 높은 수준의 진동을 발생하는 곳이나 선체진동에서 기본진동의 진폭이 가장 큰 브리지 등에서 일정시간이상 노출되면 순환기계, 자율신경계, 내분비계 등에 생리적인 영향을 미쳐서 성가심, 불쾌감 등의 심리적 영향 및 수면, 업무 등 일상생활에 영향을 줄 수 있다.

특히 선박에서는 이와 같은 진동에 노출되는 기간이 장기화되는 경우 신체에 심각한 타격을 받을 수 있다. 따라서 선박의 건조에는 선박의 선실 및 기관실에서 발생하는 진동을 예측하여 설계하고 건조하는 것이 바람직하다(현과 김, 1996). 또한 이와 같은 진동은 선박이 노후화되는 관점에서 점차 정도가 심각해지는 경향을 보이므로 정기적으로 조사해야 할 필요가 있다.

선박의 진동을 평가하는 관점으로는 여객의 안락성, 승무원의 거주성 및 작업성, 구조부재의 피로파괴발생 및 기계의 성능 보존성 등이 고려대상으로 할 수 있다. 진동의 평가에 대해서 일부 선급이나 조선소에서 독자적인 허용한계치를 제시하고 있으나, 국제적으로 공인된 ISO에서 발행한 지침이 기준으로 된다. 이와 같이 진동 환경에 인체가 노출되는 경우, 선내의 진동에 대한 평가(evaluation of human exposure to whole-body vibration)는 국제표준화지침인 ISO6954:2000(E)에 의해 정하고 있다(ISO, 1997; 2000).

본 연구에서는 선박에서 진동이 인체에 미칠 수 있는 영향을 평가하기 위해 ISO6954 : 2000(E)에서 규정하는 지침을 기초로 하여 선박진동의 영향이 가장 큰 기관실, 기관제어실, 각종선실 및 브리지 등에서 발생하는 진동의 크기를 측정 비교하여 평가하였다.

## 2. 선박진동의 평가

선박 내부에서 발생하는 진동의 허용기준으로는 국제표준화지침인 ISO 6954 : 2000(E)에 의해 평가될 수 있다.

국제표준화지침인 ISO 6954 : 2000(E)는 수선간의 길이가 100m이상 되는 터빈 또는 디젤 구동선박의 주 선체와 상부구조물에서 승무원이 주로 거주하는 구역의 진동종합평가에 적용되고 있다. 규정에서 선박의 거주구역을 A, B, C의 세가지 등급으로 나누어 상단(uncomfortable) 및 하단(comfortable)의 진동 허용치를 제시하고 있다.

Table 1. Vibration criterion of ISO6954:2000(E)

Area Value	Area classification		
	Area A	Area B	Area C
Permissible upper limit	143 mm/s <sup>2</sup>	214 mm/s <sup>2</sup>	286 mm/s <sup>2</sup>
Permissible lower limit	71.5 mm/s <sup>2</sup>	107 mm/s <sup>2</sup>	143 mm/s <sup>2</sup>

where, **Area A** : Accommodation area of passenger  
**Area B** : Accommodation area of crew  
**Area C** : Working area

Table 1의 ISO 6954 : 2000(E)에서 제시한 세 가지 등급에 의한 거주구역을 승객거주구역(Area A), 승무원거주구역(Area B) 및 작업구역(Area C)의 세 등급으로 나누고 각각 진동허용치의 상한기준 및 하한기준을 보인다.

이들의 기준을 평가하고 각 주파수별로 비교하기 위하여 고안된 그래프를 Fig. 1에 보인다. 그림에서 화살표로 표시된 각 등급별 가속도의 범위를 비교할 수 있다. 이 평가는 인체의 거주성에 대한 진동을 수용할 수 있는지 여부의 종합적인 판단이며, 수직, 수평, 종방향에 대하여 각각의 단일 주파수 성분평가에 적용된다.

ISO-6954에서 구하는 진동량은 최대 반복값(MRV : Maximum Repetitive Value)으로 다음 (1)식으로 구한다(한국선급, 1995).

$$MRV_{direction} = C_F \sqrt{2} \times \sqrt{(a_{direction})^2} \quad (1)$$

여기에서  $C_F \sqrt{2}$ 는 파고율이라 불리는 값으로 선박이 운항중인 때 선체의 진동에 직접 영향을 주게 되는 물결과동과의 관계에서 얻어지는 값이다. 따라서 순수정현파의 경우에 파고율이  $\sqrt{2}$ 이므로  $C_F$ 는 최소 1의 값을 갖는다. 그러나 항해 중인 선박의 경우는 물결과동에 의한 직접적인 영향과 함께 프로펠러에서 발생하는 기진력의 진폭변화에 의한 영향이 발생하기 때문에 불규칙한 진동이 발생하게 되므로  $C_F$ 를 1.8로 가정하고 있다(한국선급, 1995).

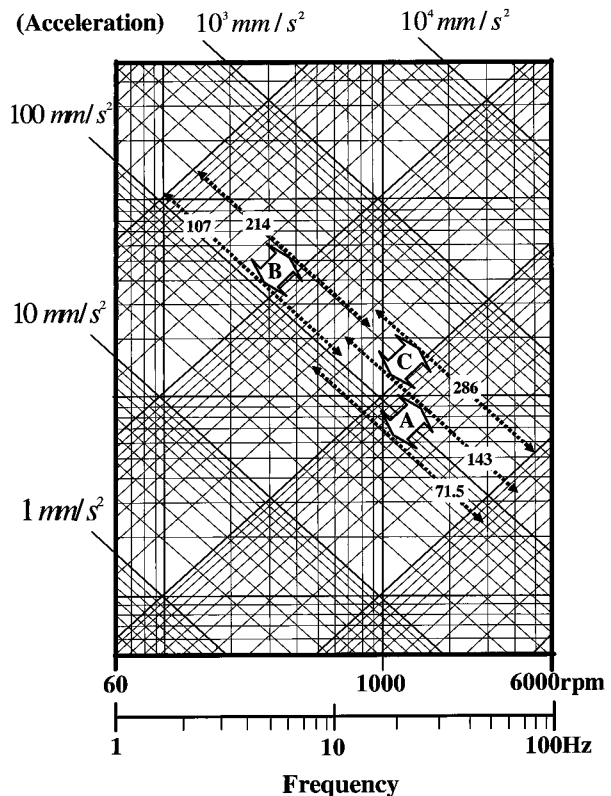


Fig.1. Permissible acceleration ranges for the three kinds of area classified by A, B and C.

### 3. 측정대상 선박의 선정 및 측정방법

#### 3.1 측정대상 선박의 선정

선박 내부의 진동을 측정 및 조사하기위한 대상선박은 승객과 승무원의 생활공간이 충분하며 측정을 위해 비교적 오랜 시간 동안 정기적으로 운항을 지속하는 선박을 선정할 필요가 있다. 따라서 비교적 오랜 시간 항해를 하는 대형의 고속 car-ferry(SEA-WORLD) 및 상선사관 실습선(SAE-NURI)를 선정하였다. car-ferry는 승객수송 및 화물운송을 위하여 매일 정기적으로 운항하고 있으며, SAE NURI는 상선사관의 승선실습으로 정기적으로 연근해안 및 원양실습을 시행하고 있다.

Table 2에 car-ferry와 실습선의 제원을 보인다. 실습선은 1개의 중형의 메인엔진으로 구성되어진 반면에 car-ferry는 고속 항해를 위해 2개의 대형 메인엔진으로 구성되어져 있어서 실습선에 비해 높은 항해속도를 갖는다.

#### 3.2 측정방법

가속도의 측정은 인체에 직접 진동을 전달하는 고체지지물 위에서 수행하여야 하나, 실제 측정에 있어서 계측점은 인체가 직접 접촉하는 선체부분의 바닥에서 하고 방향은 3방향으로 한다. Fig. 2에 인체에 적용된 3방향의 가속도좌표축을 보인다.

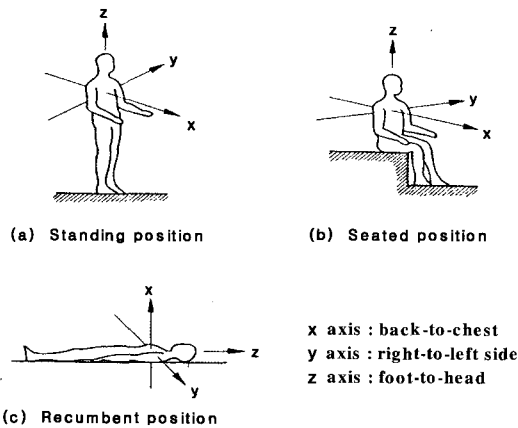


Fig. 2. Three kinds of posture and accelerations in the direction of the x, y, z axes.

Table 2. Specification of ships

Ship name	Car Ferry (SEA WORLD)	Training Ship (SAE NURI)
Gross ton	12,000 ton	4,701 ton
Length	150.8 m	103 m
Breadth	25 m	15 m
Depth	13.3 m	9.9 m
Main engine & Horse power	MISUBISHI MAN 12,000Hp×2	B&W 8S26MC 6,060 Hp
Speed (KTS)	23 knot	16.8 knot
Capacity	1,310 persons	208 persons
Launching date	1987.8.25	2003.12.06

좌표축은 신체의 가슴을 기준으로 등에서 가슴을 지나는 방향을 x축 방향, 오른 팔에서 가슴을 관통하여 왼쪽 팔의 방향을 y축 방향, 발에서 가슴을 관통하여 머리 방향을 z축 방향으로 정의된다.

측정에 사용된 가속도계(acceleration transducer)는 3축 성분의 data를 동시에 취득할 수 있는 3축 가속도계(MMF-KS943-9019)를 사용하였으며, 선실내부에서 가속도계의 설치 방향은 x축 방향이 항상 선수(the bow)를 y축의 방향은 좌현(the portside)을 향하도록 일정하게 하였다. 가속도계의 설치 좌표계를 Photo 1에 보인다.

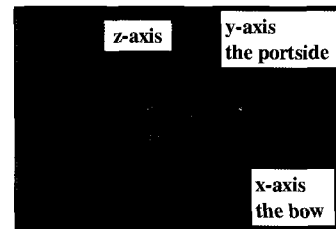


Photo 1. Acceleration transducer and coordinate system.

#### 3.3 측정 위치의 선정

선실내부의 진동 측정위치의 선정은 두 선박에 있어서 선내의 선실 구성이 서로 상이하므로 Table 1에 보인 것과 같이 ISO 6954:2000(E)에서 규정한 3종류의 진동등급으로 선실을 구별하여 각각의 측정위치를 구성하였다. Table 3에는 측정대상 선박에서 선정된 선실을 보인다.

### 4. 선내 진동의 측정 및 평가

Table 1은 국제표준화지침인 ISO 6954 : 2000(E)에 의해 평가되는 선박 내부의 진동의 허용기준에 대하여 상단(permissible upper limit) 및 하단(permissible low limit)의 진동허용치를 제시하고 있다.

Table 3. Selection of measuring points in the vessel by classification area

Classification Area	Measuring points	
	SEA WORLD	SAE NURI
Area A	1st class passenger room	Professor room
	2nd class passenger room	Instructor room
	3rd class passenger room	Student room
Area B	Bridge(1)	Bridge
	Bridge(2)	Training Bridge
	A-Deck	Lecture room
Area C	Engine control room	Engine control room
	Electricity generator room	Electricity generator room
	Engine room workshop	Engine room workshop

4.1 승객 거주구역의 진동레벨 : Area A

승객거주구역으로 구별되는 Area A는 선박의 주 선체와 상부구조물에서 승객이 주로 거주하는 구역의 진동중합평가에 적용되고 있다. 승객거주구역(Area A)에 대하여 규제하는 상단 및 하단 제한경계치는 Fig. 5에서 보이는 주파수-가속도의 관계에서 점선으로 표시한다. car-ferry에서 Area A에 해당하는 구역은 Table 3에 보였듯이 1, 2, 3등급의 여객실 등이 될 수 있으며 실습선의 경우는 교수실, 지도관실 및 학생 침실을 대상으로 하였다.

Fig. 3은 실습선(새누리)의 교수거주구역에서 Fig. 4는 car-ferry의 1등 객실에서 측정된 3방향(x,y,z)의 가속도를 보인다. 전체적으로 z방향 성분의 크기가 x, y 성분에 비해 매우 크다. 이 현상은 선실의 바닥에서 발생하는 전반적인 경우로 평판의 진동과 같이 강성이 가장 약한 z성분의 운동이 가장 크다. 주파수 분석된 가속도성분은 주파수의 배수성분 및 3배수 성분이 주기적으로 발생하고 있다. 특히 car-ferry의 경우는 2기의 대형 주 엔진에 의해 구동되므로 실습선보다 크고 다양한 가속도 성분이 발생하고 있다.

두 선박의 승객거주구역(Area A)에 대한 가속도 성분의 크기를 Fig. 5에 비교하여 보인다. 실습선의 교수실에서 측정되어진 3축 방향의 가속도에 대하여 (x), (y), (z)로 표시하고 car-ferry의 일등여객실(1st class passenger room)에서 측정되어진 3축 방향의 가속도에 대하여 (x), (y), (z)로 나타내었다. 표시된 전체 주파수에서 x 및 y성분의 진동레벨은 크기가 매우 작아서 허용치의 하한치(low limit)에도 미치지 못하여 진동이 없는 안락한

(comfortable)상태를 유지하고 있다. 그리고 대부분의 z성분 또한 상한치(upper limit)를 넘지는 않지만, 특정주파수(실습선 : 13.8Hz, car-ferry:8.3Hz, 25.3Hz)에서 상한 제한치를 초과하는 성분이 있음을 알 수 있다. 이들 진동 성분은 메인엔진의 구동력에 기인하는 구조물의 진동수 성분으로 평판의 제진치리로 쉽게 억제할 수 있다(유와 양, 1995).

Table 4에 이것들을 비롯한 승객거주구역(Area A)에 정의한 선실에 대하여 구하여진 가속도의 값을 비교한다. car-ferry 및 실습선에서 x, y 방향에 대한 각 선실의 진동레벨은 하한의 제한치를 초과하지 않는 안락한 수준으로 판단할 수 있다. z 방향 성분에서 car-ferry의 경우 3등 객실의 진동레벨이 가장 높지만, 2등 칸의 진동레벨이 1등 객실의 진동레벨보다 낮다. 이것은 3등 객실이 기관실에 가장 가깝게 위치하고 있기 때문이며, 1등 객실은 2, 3등 객실 보다 높은 곳에 위치하므로 구조적으로 진동의 영향을 많이 받기 때문이다. 특히, 실습선에서 선정된

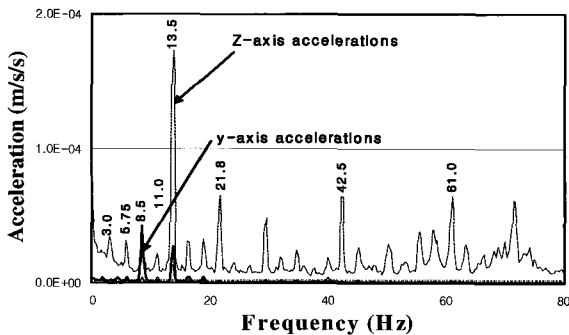


Fig. 3. Accelerations measured on a professor room of SAE-NURI.

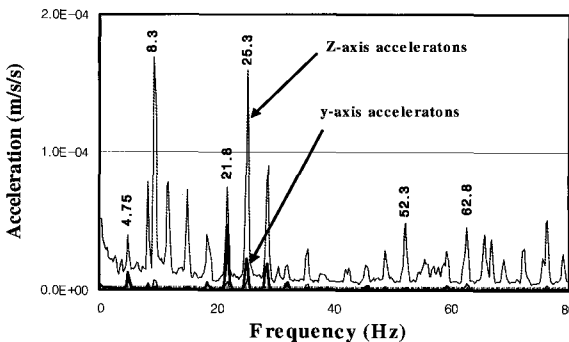


Fig. 4. Accelerations measured on a 1st class passenger room of SEA-WORLD.

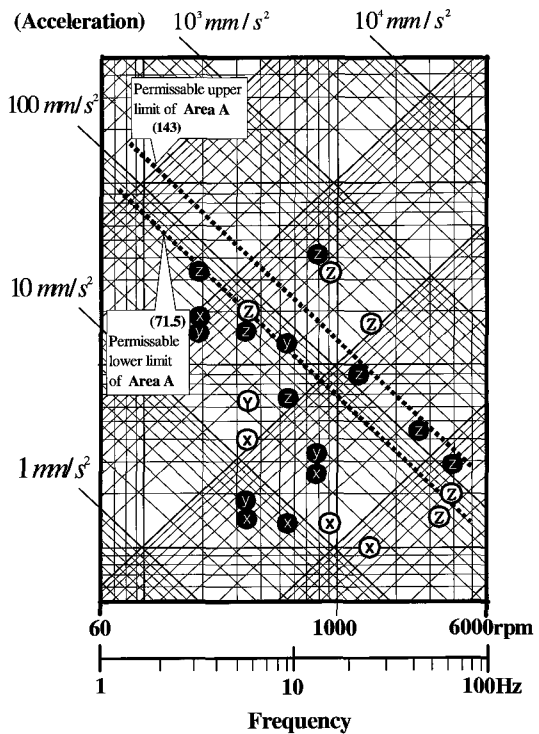


Fig. 5. Relative accelerations measured on a professor room and a 1st class passenger room .

Table 4. Averaged accelerations of Area A

SEA WORLD		SAE NURI	
Classification	Accelerations Ave. mm/s <sup>2</sup>	Classification	Accelerations Ave. mm/s <sup>2</sup>
1st class passenger room	x= 22.6	Professor room	x= 33.6
	y= 59.2		y= 66.3
	z=131.2		z=122.6
2nd class passenger room	x= 21.7	Instructor room	x= 33.9
	y= 55.1		y= 74.2
	z=128.9		z=124.1
3rd class passenger room	x= 45.7	Student room	x= 56.2
	y= 78.8		y= 87.4
	z=141.6		z=144.7

학생 침실의 경우는 학생 침실의 위치가 기관실과 근접한 관계로 z 방향의 가속도 성분이 제한치를 초과하는 높은 진동레벨을 보인다.

4.2 승무원 거주구역의 진동레벨 : Area B

승무원 거주구역 또한 승객 거주구역과 마찬가지로 선박의 주 선체와 상부구조물에서 승무원이 주로 거주하는 구역의 진동 종합 평가에 적용되고 있다. 승무원 거주구역으로 구별되는 Area B는 브리지를 비롯한 업무전용 사무실 등으로 구별되어 승객 거주구역보다 거주여건이 취약하여 진동에 대한 제한치가 완화되어진다. 실습선에서는 강의실, 교육용 브리지 등을 승무원 거주구역으로 선정하여 조사하였다.

Fig. 6은 승무원 거주구역(Area B)에 대한 허용기준을 점선으로 보이고, 승무원 거주구역을 대표적으로 두 선박의 브리지

에서 측정된 가속도 성분을 비교하여 보인다. 브리지는 특성상 주 선체의 상부 선단에 위치하므로 구조적으로 변동이 가장 많고 풍력에 의한 외력의 영향을 받기 쉽다. 실험결과에서 car-ferry는 전반적으로 규제치를 초과하지 않은 우수한 진동레벨을 유지하고 있으나 실습선의 경우 13.5Hz(810rpm)에서 z 방향 성분이 상부 제한치를 초과하고 있다. 이들을 비롯한 승객 거주구역(Area B)에 정의한 선실에 대하여 구하여진 가속도의 값을 Table 5에 비교한다. 실습선에서 Area B로 선정된 강의실의 z방향 진동의 크기가 상한 제한치를 초과하는 것 이외는 모든 부분에서 최적의 환경을 유지하고 있음을 알 수 있다.

4.3 승무원 작업구역의 진동레벨 : Area C

선박 내부의 작업구역으로 구별되는 Area C는 진동레벨이 가장 높은 구역으로 Fig. 7에 보이듯이 선박 내부의 진동의 대하여 상단 및 하단의 진동허용치를 제시하고 있다. Area C의 대표적인 선실로는 기관제어실, 발전기실, 기계공작실 등 주로 기관실구역으로 정의된다.

Area C로 선정된 선실에서 두 선박의 기관제어실에서 측정된 결과를 Table 7에 비교하여 보인다. x 및 y성분은 허용치를 초과하지 않는 진동레벨을 보이는 반면에 z방향 성분은 허용기준의 상한치를 훨씬 초과하는 진동레벨이 발생하고 있다. 기관실에 포함되는 이와 같은 선실은 메인엔진과 가깝게 위치하기 때문에 대부분 높은 진동레벨을 보인다. 특히 기관제어실은 메인엔진의 영향을 최소화할 목적으로 진동절연 등의 장치를 적용하기 때문에 x 및 y방향의 크기는 오히려 브리지의 성분보다 낮음을 알 수 있다. 그러나 z방향의 성분은 메인엔진 폭발에 의한 영향이 근거리에서 전달되므로 진동절연의 장치를 초과하여

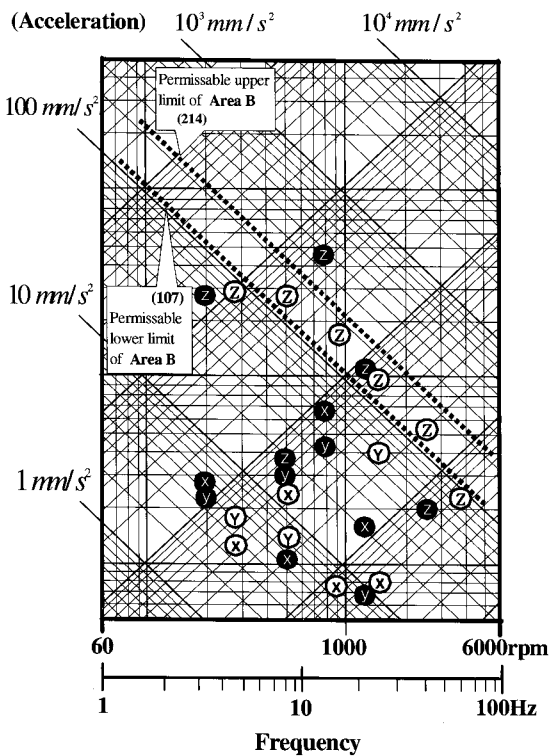


Fig. 6. Relative accelerations measured on the bridge of Area B.

Table 5. Averaged accelerations of Area B

SEA WORLD		SAE NURI	
Classification	Accelerations Ave. mm/s <sup>2</sup>	Classification	Accelerations Ave. mm/s <sup>2</sup>
Bridge(1)	x= 21.6	Bridge	x= 18.5
	y= 29.2		y= 22.9
	z=171.2		z=158.2
Bridge(2)	x= 21.9	Training bridge	x= 18.1
	y= 29.8		y= 22.3
	z=173.1		z=157.6
A-Deck	x= 20.7	Lecture room	x= 25.9
	y= 28.4		y= 57.1
	z=170.7		z=218.2

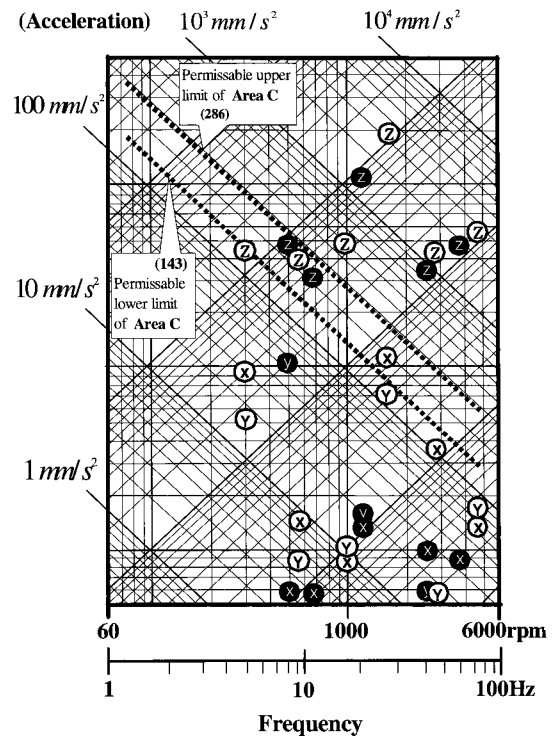


Fig. 7. Relative accelerations measured on the engine control room of Area C.

Table 6. Averaged accelerations of Area C

SEA WORLD		SAE NURI	
Classification	Accelerations Ave. $mm/s^2$	Classification	Accelerations Ave. $mm/s^2$
Engine control room	x=106.5	Engine control room	x= 27.1
	y=107.9		y= 83.0
	z=324.0		z=230.7
Electricity generator room	x=112.4	Electricity generator room	x= 68.2
	y=121.6		y= 85.7
	z=383.9		z=247.1
Engine room workshop	x= 74.2	Engine room workshop	x= 21.7
	y= 98.1		y= 63.9
	z=384.2		z=268.9

과대하게 전달됨을 알 수 있다. 따라서 기관제어실의 설계에서는 x, y성분 보다 z방향의 진동절연 및 제진에 관심을 높일 필요가 있다(유와 양, 1995; 양 등, 1998).

이외의 Area C로 선정된 발전기실 및 기계공작실에 대한 측정결과에서도 유사한 경향을 보인다. 발전기실은 통상 선박의 기저부위에 설치되어지며, 승무원이 상근하지 않는 구역으로 발전기실에서 발생하는 진동은 다른 작업구역에서 보다 높다. 특히 car-ferry의 경우는 20년의 선령과 2기의 대형엔진의 영향으로 3축의 방향에서 실습선보다 큰 진동값을 보인다.

### 5. 결론

국제표준화지침인 ISO 6954 : 2000(E)에 의해 평가되는 선박 내부의 진동의 허용기준에 대하여 승객의 안락감 및 승무원의 승선 근무 환경조사의 관점에서 실측 조사하였다. 실측에 선정된 선박은 대형의 고속 car-ferry와 상선사관 실습선을 대상으로 하였으며, 선실의 각 부분에서 발생하는 진동의 크기를 실측 및 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 승객 거주구역(Area A)에 대한 평가에서 car-ferry 및 실습선의 선실 내부의 x 및 y방향의 진동은 모두 하부 제한치를 초과하지 않은 매우 우수한 수준으로 평가된다. 단, 실습선의 경우 기관실과 근접한 곳에 위치하는 학생침실에서 z방향의 성분이 상단 허용치를 초과한다. 이와 같이 z방향만의 진동을 제어하기위해서 평판 진동을 대상으로 하는 제진처리를 할 필요가 있다.
- (2) 승무원 거주구역(Area B)에 대한 평가에서 두 선박에서 선정된 선실에서 전반적으로 규제치를 초과하지 않은 우수한 수준을 유지하고 있으나 실습선의 경우 강의실의 z방향 성분이 상부 제한치를 초과하고 있다.
- (3) 작업구역(Area C)에 대한 평가에서 두 선박에서 측정 대상으로 선정된 선실이 모두 기관실에 포함되는 관계로 매우 높은 진동레벨을 보인다. 특히 car-ferry의 경우는 선령이 오래된 관계로 메인엔진에서 발생하는 진동이 과다하여 대부분의 작업구역에서 z방향성분은 상한치를 초과하는 진동레벨을 보인다. 반면에 실습선의 경우는 선정된 선실 모두 제한치를 초과하지 않은 작업환경을 유지하였다.

### 참고 문헌

- [1] 양보석, 전상범, 최병근, 유영훈 (1998), 유전알고리즘과 Random Tabu 탐색법을 조합한 최적화 알고리즘에 의한 제진판의 최적설계, 대한기계학회논문집 A권, 제22권, 제7호, pp. 1258-1266.
- [2] 유영훈, 양보석 (1995), 점탄성재진재를 이용한 비구속형 제진강판의 최적설계에 관한 연구, 한국소음진동공학회지, 제5권, 제4호, pp. 493-499.
- [3] 한국선급 (1995), 선박진동·소음제어지침, pp.49-57, pp. 445-510.
- [4] 현명환, 김사수 (1996), SEA법에 의한 선박 고체소음의 전과경로에 대한 해석적 연구, 한국소음진동공학회지, 제6권, 제5호, pp. 575~585.
- [5] International organization of standardization (1997) Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration-part 1 : General requirements, ISO 2631-1-1997/E. International organization for standardization, Geneva.
- [6] International organization of standardization (2000) Mechanical vibration - Guidelines for the measurement , reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships, ISO 6954 : 2000(E).

원고접수일 : 2007 년 10월 30일

원고채택일 : 2007 년 11월 28일