

# 선박 거주구 진동(ISO6954:2000)의 평가 방법에 대한 고찰

## An Investigation on the Assessment Method of Ship's Vibration Concerning Habitability(ISO6954:2000)

김준성\* · 김태연\*\* · 이일오\*\*\* · 이돈출†  
**Kim, Junseong, Kim Taeun, Lee, Iloh and Lee, Donchool**

**Key Words** : ISO6954:1984, ISO6954:2000, ISO2631-1, ISO2631-2, Ship habitability vibration (선박 거주구 진동), Diesel engine (디젤 엔진)

### ABSTRACT

ISO6954:2000 (Mechanical vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships) has taken effect as the governing body for vibration regarding habitability due to ship vibration. However, ISO6954:2000, when compared ISO6954:1984 (the first draft of ISO6954), needs to clear some deficiencies concerning convenience and reliability during field applications. In this paper, ISO6954:1984 and 2000 are evaluated on their suggested assessment method of ship's vibration in the future.

## 1. 서 론

화석연료에 의해서 생산된 동력을 선박에 사용하는 대략적으로 1830년대로 볼 수 있으며, 이러한 동력을 사용하기 시작하면서 선박이 점점 대형화되었다. 이어 20세기 초 디젤엔진이 주 동력원으로 선박에 보급됨에 따라 추진 축계의 비틀림 진동에 대한 원인 규명으로부터 시작하여, 디젤엔진을 기진원으로 한 선체진동에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔으며 오늘에 이르고 있다. 그 중의 하나로 선체진동을 정량적으로 평가하기 위하여 ISO6954:1984가 만들어졌으며 이 기준은 주로 기계적인 구조진동에 국한된다. 20세기 말에 접어들면서 사회전반에 걸쳐 생활이 윤택해지고 수준이 높아짐에 따라 선박에 승선하는 승객과 종사자들 모두 진동에 대한 관심과 보다 큰 안락감이 요구되어 많은 연구들이 진행되어 왔다. 따라서 육상의 건물

이나 운송 수단에 적용해오던 인체 진동의 기준인 ISO2631을 기본으로 ISO6954:2000이 새로이 제정되어 현재 10년 이상이 경과되었다. 그러나 ISO TC108의 간사국인 독일과 일부 국가를 제외하고 대부분 국가와 전문가들이 아직도 이 새로운 규정을 사용하지 않고, 기존 ISO6954:1984을 계속 사용하면서 부정적인 견해를 가지고 있다. 저자들의 경험으로도 이 새로운 규정은 실제 선박에 적용하기가 어려울 뿐 아니라, 이 기준에 적합한 측정기와 시스템을 개발 구축한다 할지라도 진동 전문가 입장에서 여러 가지 어려움에 봉착해 왔었다. 특히 이 평가 결과로부터 진동의 원인과 대책을 강구하 기란 현실적으로 쉽지 않았다.

본 논문은 지금까지 ISO6954:2000의 사용상 문제점들을 검토하고, 앞으로 진행될 새로운 규정인 ISO20283-5의 제정에 앞서서 수정 반영해야 할 부분들을 제안하기 위하여 정리 요약하였다.

## 2. ISO6954(1984, 2000)의 고찰

### 2.1 ISO6954:1984

Fig. 1은 ISO6954:1984의 선박 거주구 진동의 한계값을 보이며, 주파수 영역을 기초로 하여 선체 구조 진동에 대한 개념이 명확하여 선박을 건조하는

† 교신저자; 이돈출, 목포해양대학교 기관시스템공학과

E-mail : ldcvib@mmu.ac.kr

Tel : 061-240-7219

\* 목포해양대학교 기관시스템공학부

\*\* 선박안전기술공단

\*\*\* 현대 삼호중공업

조선소와 선주 사이에 크게 논란이 되지 않았다. 그리고 현재까지도 이를 많이 사용하고 있다. 다만 선박 거주구 진동이 인체에 미치는 영향이 규정에 포함되지 않았으며 주요 특성은 다음과 같다.

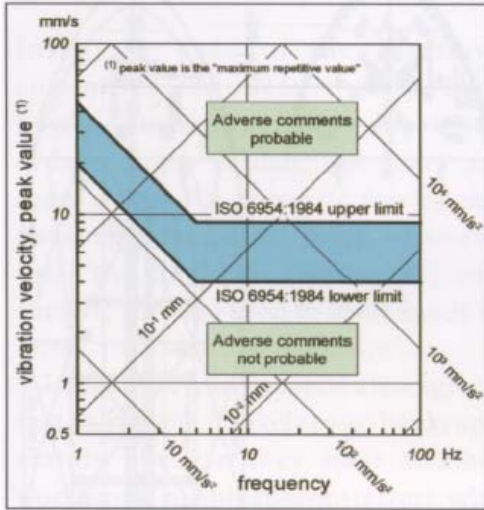


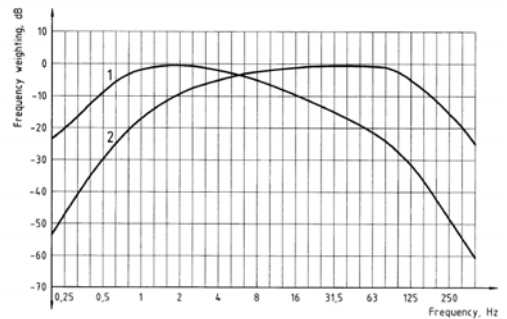
Fig. 1 ISO6954:1984 vibration limits

- 1) 진동 속도 기준으로 9 mm/s (zero-to-peak) 이상의 진동은 불편, 4 mm/s peak 이하의 진동은 불편이 없는 수준으로 규정하고 있고 진동 측정 및 분석에 있어 주파수 분석에 의해서 편리하고 구조적, 기계적인 진동에 대한 개념이 확립되어 있다. 그리고 적용대상의 선박이 수선간장 100 m 이상으로 소형선은 제외되어 있다.
- 2) 5, 6실린더를 갖는 저속 2행정 디젤엔진에서 발생하는 주기관의 2차 불평형 우력을 기진원으로 선박 거주구의 전·후진동이 종종 발생할 수 있다. 이 진동은 대부분 3 Hz 이하로 5 Hz 이하의 가속도 규정에 의해서 규제를 받기 때문에 상당한 설계마진과 함께 유연성은 있지만 최근 디젤엔진의 상용 회전수 (slow steaming 포함)가 계속 내려가면서 기계적인 손상 차원에서 이 규정은 추가 검토가 필요하다.
- 3) 구조진동이 인체에 미치는 원인이 규정되어 있지 않다. 다만 이를 선주사에서 요구할 경우 원 신호로부터 또는 분석된 FFT 결과로부터 후처리 과정을 통해서 평가하여야 하는데 큰 불편함은 없다.
- 4) 조선소와 선사간에 파고율 (crest factor)에 이

견이 있을 수 있지만<sup>(6)</sup> 이보다는 선주사에서 선박 건조시 계약서에 상한값 (통상적으로 9 mm/s)과 하한값 (4 mm/s) 사이의 조정 (예 : 6 mm/s)값을 명시함으로써 큰 분쟁 없이 처리가 가능하며 지금까지 이 방법이 사용되어 왔다.

## 2.2 ISO6954:2000

ISO6954:2000에서는 선박 진동이 인체에 미치는 영향을 고려하기 위하여 인체 진동의 규정인 ISO2361-1, 2을 반영하였다. 기본적으로 예측된 진동은 Fig. 2와 같이 거주구 가진 주파수에 가중 필터가 사용되어 왔다. 주요 특징으로는 6 Hz를 기준으로 이 이하는 가속도 그리고 이 이상은 속도에 가중치가 높다. Fig. 3은 ISO2631-1에 관련되어 있으며 진동이 인체 피폭의 에너지에 관련되어 있다는 가정하에서 나온 결과로 가중치를 고려한 값이 상부 점선이다. 피폭 시간 의존성에 대한 연구결과를 표시한 것은 아래 점선이며, 여기서 인체의 피폭 시간과 가속도를 나타내고 있으며 24 시간 피폭을 기준으로 0.25 m/s<sup>2</sup>이다. 이러한 기준과 연구 결과들을 바탕으로 Table 1이 제정되었다고 볼 수 있다. 그리고 여기서 A는 객실, B는 승무원 거주지역이고 C는 작업공간이며, ISO6954:2000의 주요 특징은 다음과 같다.



Key  
1 Based on acceleration as input quantity  
2 Based on velocity as input quantity

Fig. 2 Frequency-weighting curves, band limitation included (schematic)

- 1) 기존의 복수 주파수 성분 진동 평가 불능 문제 해결을 위해 주파수 가중치가 적용된 overall 값을 사용한 단일 평가치에 의해서 진동을 평가 하도록 하고 있다. 따라서 예측 결과에 대한 중간 과정이 생략되어 진동에 대한 원인 파악 등을 세우기가 어렵고, 선박의 크기와 중

류 및 목적에 따른 적용 기준이 없어 소형선에서 상당한 혼선이 될 수 있다.

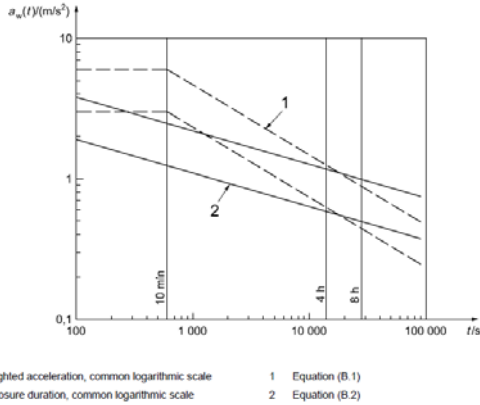


Fig. 3 Health guidance caution zones

**Table 1** Overall frequency-weighted rms values from 1 Hz to 80 Hz given as guidelines for the habitability of different areas on a ship

Unit Acceleration (velocity)	Area classification		
	A (Passenger cabins)	B (Crew accommoda tion)	C (Working areas)
	mm/s <sup>2</sup> (mm/s)	mm/s <sup>2</sup> (mm/s)	mm/s <sup>2</sup> (mm/s)
adverse comments probable	143 (4)	214 (6)	286 (8)
adverse comments not probable	71.5 (2)	107 (3)	143 (4)

- 장비개발업체와 측정자의 입장에서 이러한 전용 장비와 S/W를 개발한다 하더라도 1)을 만족하기 위하여 주파수 분석 결과와 옥타브 분석과 함께 표시할 수 있지만 사용자가 현장에서 매우 번거롭게 되고 기능과 적응성이 떨어지게 된다.
- 중전 ISO6954:1984를 기준으로 5 Hz이하에서 가속도와 속도의 가중치를 분석해 보면, 구조 및 기계진동 차원에서 영향력이 적은 가속도 성분은 1에 접근하고 영향력이 큰 속도 성분은 1보다 현저하게 적게 되어 순수한 인체 진동 관점에서 합리적이지만, 선박의 안전과 기계진동 평가 차원에서 오히려 실효성이 떨어지게 된다. (대부분 선급에서 제시한 평가 기

준은 2.5 Hz 이하의 저주파에서 변위로 규제) 4) 2), 3)을 분석해 보면 기계구조진동과 인체 진동을 동시 만족할 수 있는 현장 시스템의 구현은 현실적으로 어려울 수밖에 없으며, 분리 적용하는 것이 보다 효율적이다. 또한 적용대상의 선박에 소형과 특수 선박들은 제의 규정이 추가로 필요하다.

### 3. 실 선박 거주구 진동의 측정과 검토

Fig.4는 47k 석유 제품 운반선의 선체상부 전·후 방향 진동으로 Fig. 5에 보인 바와 같이 ISO20283-2 규정에서 추천하는 진동 측정점에서 수행하였다. 이 선박의 주기관은 6실린더의 저속 2행정 기관 (6S60MC, 9,840 kW X 127rpm)으로 주진동 차수는 6차이며 주기진원은 크랭크축의 중진동과 일부 엔진의 H-모멘트로 판단된다.

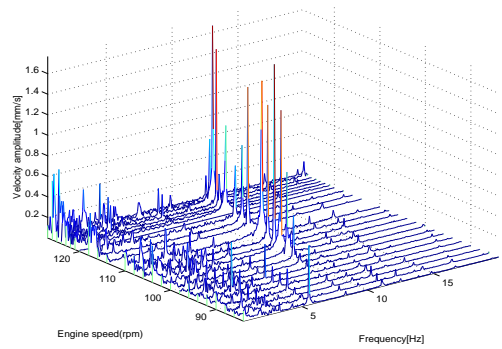


Fig. 4 Velocity of the navigation bridge vibration for 47k product carrier at longitudinal direction

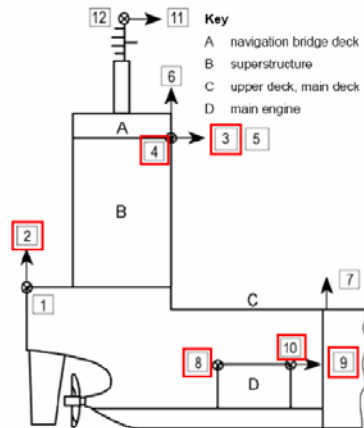


Fig. 5 Check points for hull and engine vibration based on ISO20283-2

최대 회전수에서 진동주파수는 12.7 Hz로 비교적 낮은 주파수 영역이며, 속도에 대한 가중치도 0.911로 ISO6954:2000에 적용해도 문제가 되지 않는다. 그러나 평가는 비틀림 진동과 같이 운전금지구역을 제외한 광범위한 회전수에서 만족해야 하고, 저자들의 경험상 2차 불평형 우력에 의해서 선체진동이 일어나는 70~80 (2.33~2.66 Hz) rpm에서 가중치는 0.44로 낮아져 신뢰성이 떨어질 수 있다. 더구나 최근 주 기관의 최대 상용 회전수가 70rpm이하로 떨어지고 ‘slow steaming’엔진이 증가하면서 이러한 저주파진동이 선박의 안전과 기계류의 내구성에 문제가 될 수 있다.

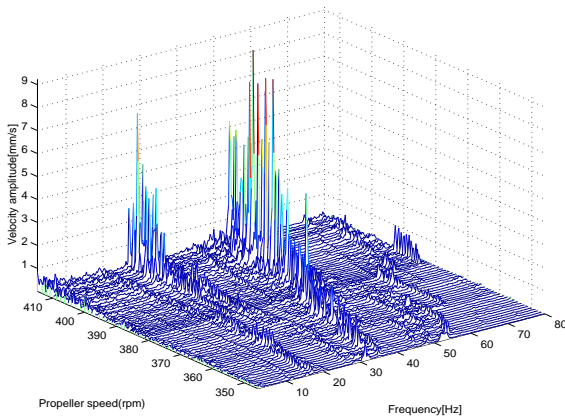


Fig. 6 Velocity of the navigation bridge vibration for 25m trawler fishing boat at longitudinal direction

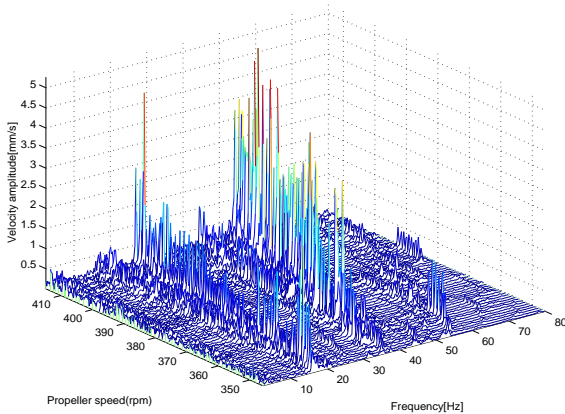


Fig. 7 Velocity of the navigation bridge vibration for 25m trawler fishing boat at transverse direction

Fig. 6과 Fig. 7은 선박의 수선간장이 25 m인 원양어선의 거주구에서 각각 전·후, 좌·우 진동 계측

결과를 보인다. Fig. 6을 보면 프로펠러 회전수 415 rpm에서 프로펠러 날개수인 4차 성분에 의한 진동이 일어나고 있으며, 역시 390 rpm 부근에서 63 Hz의 구조진동에 대한 공진이 일어나고 있는데 공진 피크는 구조적으로 보강 또는 초기 강도를 약하게 설계하더라도 쉽게 공진점을 변경할 수 없는 선박 자체만의 특성이었다. Fig. 7은 프로펠러의 날개 차수 (4차)와 날개 2배수 차수 (8차)의 기진력에 의한 진동이 심하다. 이 결과들로부터 거주구와 선미까지의 거리가 가깝게 위치하고 프로펠러의 기진력이 선내 거주구에 직접 전달되고 있어 선박의 구조상 진동이나 공진을 피하기가 매우 어렵다. 따라서 이러한 소형선박에까지 ISO6954:2000을 적용하는 충분히 검토해 볼 필요가 있다.

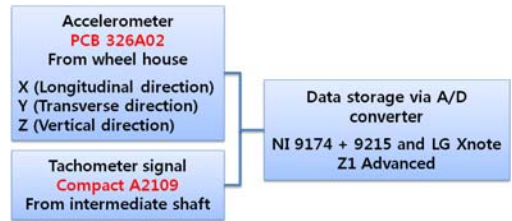


Fig. 8 Schematic diagram for hull vibration measurement

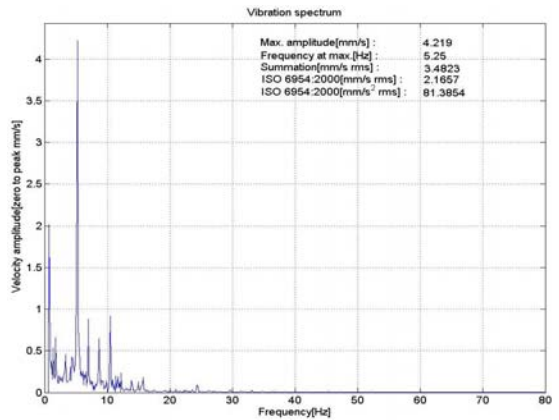


Fig. 9 Vibration spectrum at wheel house, 105 rpm, longitudinal direction

Fig. 8은 10,100 TEU 초대형 컨테이너선 (주 기관 : 12Rt-flex96C-B, 68,640 kW × 102 rpm)의 선체 진동 계측을 위한 장비의 구성도이며, 이로부터 시마진 (sea margin)을 고려한 최대연속출력인 105 rpm에서 계측한 결과들을 Fig. 9~13에 보인다. 우선 조타실에서 측정된 전·후 방향의 진동 스펙트

럼을 Fig. 9에 보이며 주기진원은 주 기관의 크랭크 축에서 발생하는 3차 성분의 추력 변동력으로 판단된다. 여기서 ISO6954:2000에 따라 가중치를 고려하여 계산해보면 속도는 2.17 mm/s이고 가속도는 81.38 mm/s<sup>2</sup>이다.

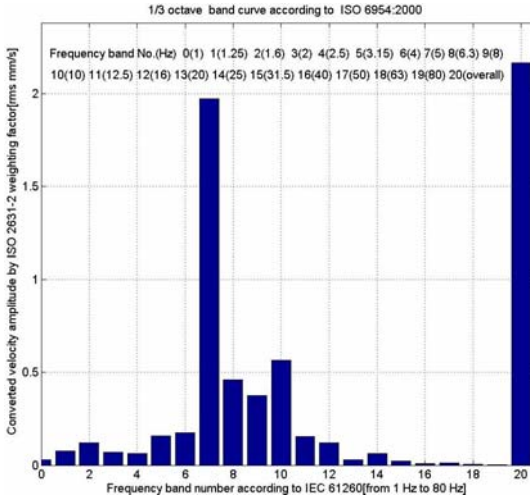


Fig. 10 1/3 octave band diagram of velocity at wheel house, 105 rpm, longitudinal direction

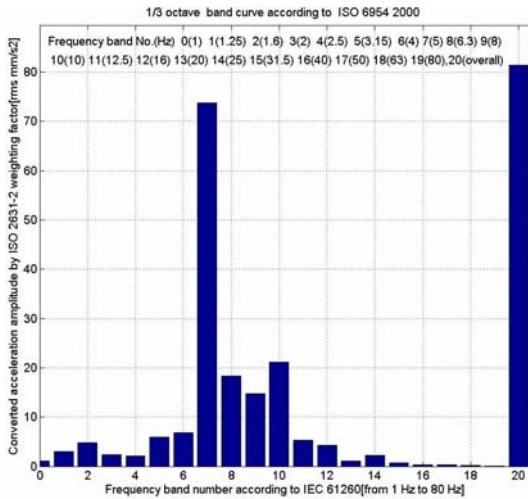


Fig. 11 1/3 octave band diagram of acceleration at wheel house, 105 rpm, longitudinal direction

이 결과만을 보고 진동에 대한 원인 분석이 사실상 어렵다. 이 분석은 ISO6954:2000를 위하여 Fig. 9, 10과 같이 속도와 가속도를 1/3옥타브 분석의 결과를 제공하더라도 밴드간의 폭이 크기 때문에 상당한 집중과 경향이 있어야만 진동의 원인과 기진원 분석이 가능하다. Fig. 12는 조타실의 좌·우 방

향진동으로 3차 성분의 전·후 진동과는 다르게 엔진의 4차, 5차 X-모멘트에 의한 4차, 5차 성분인 7 Hz, 8.75 Hz성분의 진동이 우세하다.

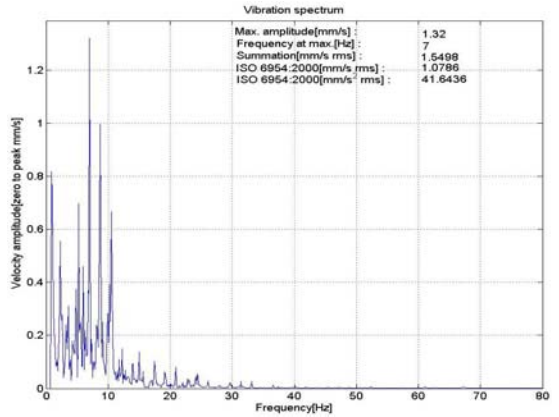


Fig. 12 Vibration spectrum at wheel house, 105 rpm, transverse direction

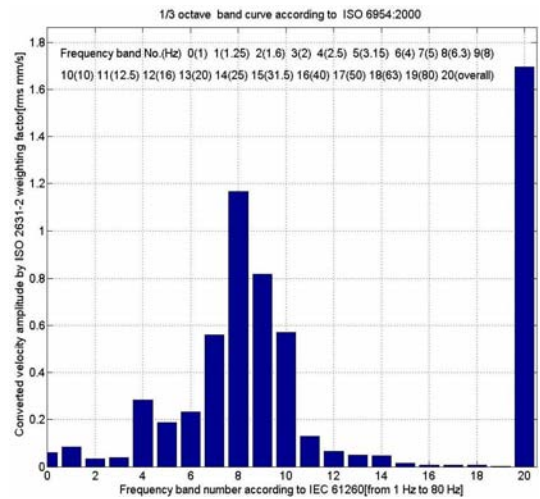


Fig. 13 1/3 octave band diagram of velocity at wheel house, 105 rpm, transverse direction

상·하 방향진동은 Fig. 15에 보이며 주 진동 차수는 6차 성분이며 비틀림과 종 진동에 주 기진원이 다. 또한 한 점의 위치에서 센서가 3축인 경우가 아니면 3방향 (x, y, z)을 동시 측정하는 것은 선체구조상 어려울 뿐만 아니라 새로운 ISO20283-2 (Fig. 5 참조)의 규정에도 부적합하다. 그리고 전체적으로 각각의 방향에 가중치를 고려하고 합성할 경우 단순하게 인체 진동의 평가에는 적합하지만, 그 값 자체가 내포하고 있는 진동 자체의 물리적 특성을 대표하기가 어렵다.

여기의 그래프들은 ISO6954:2000의 기준과 비교

하기 위해 장비를 통해 받은 선체 진동의 원신호 (raw data)를 후처리 하여 얻은 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 실제 시운전이나 거주구 진동 테스트를 위한 현장에서 그 진동 크기를 한 눈에 보기 위해서는 이와 같은 그래프를 계측과 동시에 확인하는 것이 유리하다.

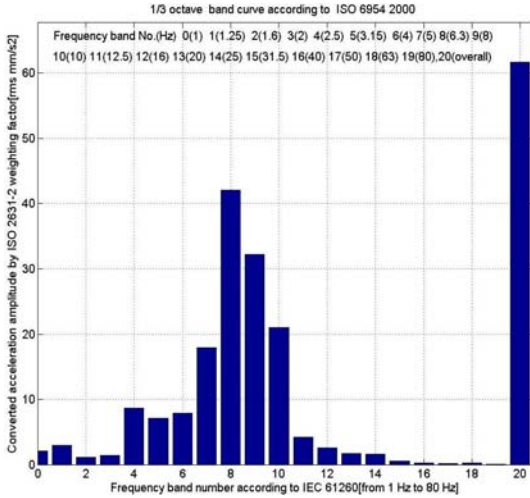


Fig. 14 1/3 octave band diagram of acceleration at wheel house, 105 rpm, transverse direction

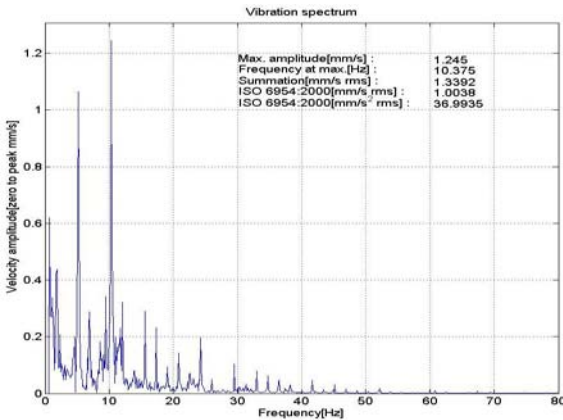


Fig. 15 Vibration spectrum at wheel house, 105 rpm, vertical direction

하지만, ISO6954:2000은 선체 진동의 원신호에 주파수 가중치를 적용함으로써 실시간으로 두 스펙트럼을 확인하는 것이 번거롭다. 따라서 거주구 진동을 위한 전용장비를 만들 수는 있지만 보다 손쉬운 계측을 위해 선체 진동과 거주구 진동을 고려한 인체 진동을 서로 나누어서 평가하는 것이 바람직하다

선박의 종류는 다양하며 ISO6954:1984에서는 선박의 수선간장이 100 m 이상인 선박에 대한 규제였으나 ISO6954:2000으로 개정이 된 후에는 선박의 크기에 규정이 없다. 따라서 소형선박까지 적용해야 하며 이 경우 엔진 보다 프로펠러 날개의 기진력에 의존하며 비교적 주파수 대역이 높고 구조 진동의 공진점을 바꾸기가 어렵다. 또한 대형 선박은 주로 저속 2행정 디젤엔진을 주기관으로 사용하기 때문에 엔진 기진력에 의해 주로 10 Hz 이하의 비교적 낮은 주파수 영역의 영향을 받고 있다. 따라서 ISO6954:2000에 제한한 주파수 범위 1~80 Hz는 합리적이라고 생각한다. 그리고 1 Hz이하의 주로 선체의 운동에 의한 진동으로 IMO등에서 별도로 규정 (뱃멀미에 대한 규정) 접근할 수 있고 기계 진동과는 거의 관계가 없다. 개정되는 진동의 제한값은 속도와 변위를 병행하는 것이 바람직할 것 같다.

따라서 속도에 대하여 하한 주파수는 Fig. 16과 같이 진동이 감지될 수 있는 능력에 기초하여 설정하는 것이 바람직하며, 이 이하는 가속도가 아닌 변위로 규정할 경우 2~3 Hz사이의 값이 바람직하다.

종합적으로 분석해보면 ISO와 같은 국제 표준이나 다른 선급에서 제공하는 규정들은 기술이나 제품을 제공하는 제작사와 사용자가 충분한 이해 관계 내에서 좀더 편리하게 만들어지는 것이 바람직하다. 진동을 측정하고 규정하는 주 목적은 진동이 적은 선박을 건조하여 선내 거주자에게 편의를 제공하고 해상에서 안전을 확보하는 것이 주 목적이 되어야 한다. 그리고 그 평가방법은 기능과 유용성에 있어야 하고, 명확하여 선박의 제작사와 사용자 간의 편리성을 고려하여 객관적으로 사용할 수 있어야 한다.

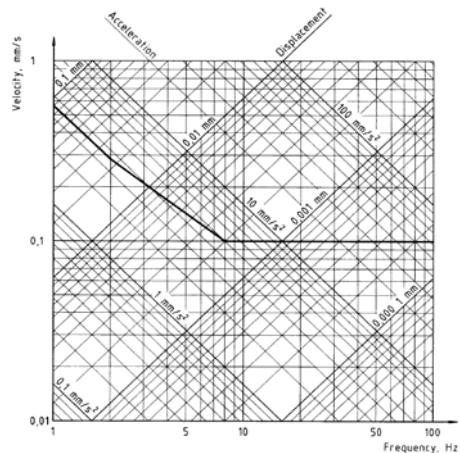


Fig. 16 ISO6954:2000 Human sensitivity curve

현재 선박 진동 규정에 대한 규격인 ISO20283이 Part3까지 완료가 되어 있고 ISO20283-5에 선체 진동에 대한 규정이 앞으로 규정될 것으로 예상된다. 기본 주파수는 기존 ISO6954:2000에서 제시한 1~80 Hz 내에서 그리고 주파수의 분해능 단위는 0.125 Hz 이하가 바람직하다. ISO20283-5에서는 주파수 대역 별로 나누어 순수하게 거주주의 구조 기계진동만으로 규정하고, 거주구에 맞는 인체 진동 부분은 별도의 규정이 필요 또는 후 처리에 의한 평가방법 등을 부속서로 규정하는 것을 바람직하다.

#### 4. 결 론

국내·외 조선소와 선사는 지금까지 ISO6954:2000을 선박에 적용함에 있어 측정방법과 평가 방법에 많은 어려움과 함께 논란을 겪어 왔으며 주요 선급조차도 이를 적용하지 않고 있고 새로운 규정인 ISO20283-5를 제정해야 할 시점에 와있다. 따라서 지금까지 문제점을 개선하여 통일된 규격으로 모두가 다 공감할 수 있고 편리하게 사용할 있는 규정이 되기 위하여 다음과 같은 적합한 방법들을 제안한다.

- 1) 선박진동과 인체 진동의 평가를 단일규격과 절차에 의해서 수행하는 것은 현실적으로 부적합하고 바람직하지 않으며 서로 분리하여 평가하는 것이 바람직하다. 따라서 인체 진동에 대해서는 선체진동을 측정하는 과정에서 원 (Raw) 신호를 ISO2631-1에 적합하게 저장 보존하여 후 처리과정을 통해서 별도로 평가할 수 있는 ISO규정 또는 이 규정 내에서 별도의 부칙에 의해서 규정하는 것이 바람직하다.
- 2) 선박의 진동 계측과 평가에 대한 ISO규격은 현재 ISO20283-5에서 진행될 것으로 예상되며 이 절차에 의해서 선박의 진동은 기계 진동인 가진원이 80 Hz로 종전에 평가되어 왔던 속도를 기준으로 하되 추진기관의 원동기로 초 저속 엔진들이 등장함에 따라 속도제한에 대한 하한치를 2.4 Hz이하(차후 조정할 수 있음)에서는 선박의 구조적인 안전성 확보와 선박에 설치된 각종 기기를 보호하는 차원에서 변위 (예 : 0.6 mm 이하)로 규정할 것을 제안한다. 또한 ISO6954:2000을 계속 반영하기를 원한다면 옥타브 대신에 스펙트럼에 가중 필

터를 적용하여 각각의 방향 별로 단 진폭과 overall을 동시에 제한하는 것도 가능할 것으로 판단된다 (Fig. 9, 12, 15의 overall 값 참조).

- 3) 적용대상의 선박의 크기를 정하는 것이 바람직하며, 일반적으로 IMO규정이 적용되는 등급 중의 하나인 총톤수 400톤 이상의 선박을 조선소와 선사의 동의 하에 의해서 정하는 것이 바람직하다.

#### 참 고 문 헌

- (1) ISO6954, Second edition 2000-12-15, Mechanical vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regards to habitability on passenger and merchant ships.
- (2) ISO2631-2, Second edition 2003-04-21, Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part2:Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz).
- (3) Marco Biot, 2010, New for old? ISO debates revamp of noise standard, The Naval Architect, March, pp. 48~51.
- (4) Taek-Kun Nam, Deug-Bong Kim, Don-chool Lee, 2010, A Study on the Construction of Vibration Measurement System and Evaluation of Vibration Related Habitability on the Training-Ship, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 16, No. 1, pp. 115~120.
- (5) ISO2361-1, Second edition 1997-05-01 Amendment 1 2010-07-01, Mechanical vibration and shick - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part1:General requirements.
- (6) Soo-Mok Lee, Won-Hyun Kim, Jong-Gug Bae, 2004, Evaluation of shipboard vibration under revised ISO 6954 standard, Proceedings of the Annual Autumn meeting, SNAK, Sancheong, 20-22 October, pp. 635~639.
- (7) Byoung-Ook Kim, Su-Hyun Choi and Bong-Man Jin, 2004, A Study of ISO6954:2000(E) in Containership, KSNVE Autumn Conference, pp. 705~708.