

선박 진동계측에 관한 국제 동향(ISO 20283)

Mechanical vibration-Measurements of vibration on ships(ISO 20283)

이돈출†·김재승*

D. C. Lee and J. S. Kim

Key Words : Mechanical Vibration(기계진동), Vibration Measurement(진동계측), Evaluation(평가), Merchant Ships(상선).

ABSTRACT

This paper introduces the mechanical vibration-measurements of vibration on ships(ISO 20283). Regulations and guidelines for vibration of hull structures, propulsion machinery and onboard equipments on ship were established mainly by classification societies or International Association of Classification Societies(IACS). The initial draft of ISO 20283 was proposed by USA and based on US military standards. Though these are not suitable to passenger and merchant ships, many experts have felt the need of the ISO regulation for the vibration measurement on ship. Hence, these standards are re-drafted and reviewed by particulate ISO members. In this paper, authors introduce the important agendas and the controversial items during setup of ISO 20283.

1. 서 론

선박과 선내에 탑재되는 각종 기계장치의 진동에 관한 국제적인 규정은 주로 선박검사와 승인업무를 맡고 있는 선급⁽¹⁻²⁾을 포함한 IACS(International Association of Classification Societies)⁽³⁾를 중심으로 제정 및 적용되어 왔다. 또한 일반상선의 거주구, 왕복동 기관, 기어 베어링 등과 관련된 ISO 규정⁽⁴⁻¹¹⁾도 제정되어 있으나 함정과 탑재 장비에 대해서는 우리나라를 포함한 대부분의 국가들에서 미 해군 규격⁽¹²⁻¹⁴⁾등 독자적인 규격을 적용하여 왔다. ISO 20283⁽¹⁵⁻¹⁸⁾의 최초 제안은 이러한 군 규격을 상용화 해보자는 취지에서 미국이 MIL-STD-167 및 740 등 관련 규정을 기본으로 GL(독일 선급), NK(일본 선급), LR(영국 선급), ABS(미국 선급)의 규정을 일부 추가 수정 보완하여 제안하였다. 제안 초기에는 이 규정이 일반상선에 적용하기에는 부적합하여 선박 및 디젤엔진을 생산하고 있는 주요 국가들을 중심으로 반대 입장이 강하였다. 그러나 이러한 진동계측 규정이 국제적으로 필요함을 재인식하고 일반 상선에 적합하게 새로운 초안을 준비하고 검토함으로써 현재는

긍정적인 방향으로 진행되고 있으며, 가까운 장래에 국제적인 규정으로 확정될 것으로 예상된다.

ISO 20283과 관련된 회의는 2002년 미국, 2003년 크로아티아, 2004년 이집트, 2005년 캐나다 그리고 작년 9월에는 독일 함부르크에서 개최되었으며, 금년 4월에 총회와 함께 독일 베를린에서 개최될 예정이다. ISO 20283 내에는 총 4개(Part 1~4)의 세부 규정이 초안으로 진행 중이며 1개(Part 5)의 규정이 추후 준비될 예정이다. 구성은 *Part 1 : General guidelines, Part 2 : Measurement of structural vibration on ships, Part 3 : Pre-installation vibration measurement of shipboard equipment, Part 4 : Measurement and evaluation of vibration of the ship propulsion machinery, Part 5 : Guidelines for the measurement, evaluation and reporting of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships*로 되어 있다.

본 글은 ISO 20283 내의 핵심 내용과 이를 적용함에 있어 문제가 될 수 있는 쟁점 사항들을 정리하여 소개하고자 한다.

2. ISO 20283의 소개 및 주요 협의 사항

Part 1은 본 규정의 일반적인 사항으로서 다른 부분이 모두 완성된 후 제정될 것으로 예상된다.⁽¹⁵⁾

Part 2⁽¹⁶⁾는 선체진동 계측을 다루고 있는 ISO 4867⁽¹⁹⁾과 4868⁽²⁰⁾의 개정본에 해당하는 것으로 현재 거의

† 이돈출, 목포해양대학교

E-mail : ldcvib@mmu.ac.kr

Tel : (061) 240-7089, Fax : (061) 240-7282

* 한국 기계연구원

마무리 단계에 와 있는 상태이다. 고유진동수 계측 등 선체 진동 계측시 본 규정에서 요구하는 해상상태 및 주기관의 운전조건들을 Table 1에 요약하였다. 선체 구조 및 주기관 진동계측 위치는 Fig. 1과 Table 2에 정리하였으며, 선미에 2개소, 거주구 상부에 4개소, 상부 주갑판에 1개소, 엔진상부 프레임에 3개소 그리고 마스트 상부에 2개소로 총 12개소를 표준 계측 위치로 제시하고 있다. 작년 함부르크에서 열린 회의에서 일부 국가는 Fig. 1의 계측 위치 3, 4에서 위치를 좌현에서 중앙으로 옮기자는 제안을 하였다. 이는 기술적으로 적합하지만 일부 선박의 경우 중앙에 접근할 수 있는 통로가 없고 횡 방향으로 센서를 설치하기가 쉽지 않다는 점이 지적되었다. 진동신호 분석 및 저장에 관한 사항은 Table 3에 요약하였다. 계측보고서에는 이론적인 예측결과와 비교하기 위하여 다음 사항들을 포함해야 한다.

- 테스트 중 선박의 전, 후 흡수
- 선미과의 추정파고 혹은 추진기의 입수상태 자료
- 후미 피크 탱크가 설치될 경우 충전상태

Table 1 Measurement condition and manoeuvres for finding natural vibration of ship structures

Description	Requirement
Water depth	More than 5 times of the ship draught
Sea condition	Below sea state 3
Speed range	App. 30 % to 100 % of max. continuous rated power in free route
Speed increments for fixed pitch propeller	Constant speed with 2% step increase or continuous increase over a period not less than 45 min if harmonic order tracking technique used
Speed & pitch increments for cpp	At least 20 standard combinations of propeller rotations and pitches
Data record	Min 60 s for each step

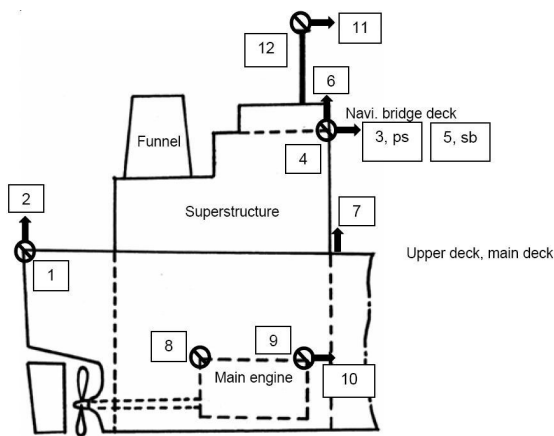


Fig. 1 Illustration of global structural vibration measurement positions for typical merchant ships

Table 2 Global structural vibration measurement positions for typical merchant ships

No.	Location	Direction
1	Stern, portside(ps)	Transverse
2	Stern, ps	Vertical
3	Navi. bridge deck forward, ps	Longitudinal
4	Navi. bridge deck forward, ps	Transverse
5	Navi. bridge deck forward, starboard(sb)	Longitudinal
6	Navi. bridge deck forward, ps	Vertical
7	Superstructure fore, foundation, center line	Vertical
8	Main engine top, aft cylinder frame	Transverse
9	Main engine top, fore cylinder frame	Longitudinal
10	Main engine top, fore cylinder frame	Transverse
11	Main mast top	Longitudinal
12	Main mast top	Transverse

Table 3 Signal acquisition, processing and storage

Description	Requirement
Total calibration	In the field before the measurement
Transducer and signal processing equipment	Frequency range 1 Hz to 80Hz with freq. resolution at least 0.125 Hz
Calculation of frequency spectra	Flat top or Hanning window
Averaging mode	Stable mean averaging mode (i.e. not peak-hold)
Data recording	Use electronically reproducible medium if further analysis required

- 주기관의 톱 브레이싱 설치 여부 및 타입
- 종, 비틀림진동 댐퍼의 설치 여부 및 타입
- 진동 밸런서의 설치여부 및 타입

동 규정의 제정시 가장 문제가 되었던 부분은 진동의 평가기준으로서 대부분의 국가에서 이를 명시하는 것에 대하여 반대하였다. 그 결과 동 규정의 최종 안에는 과거에는 없었던 프로펠러 표면압력 계측방법 등 선박진동 계측의 원칙과 방법에 대한 내용이 주로 기술되어 있다. 다만 부록 D에서 정보제공 차원에서 관널구조의 국부진동 평가에 대하여 간략히 언급하고 있는데 그 내용은 정상 운전속도에서 심한 진동이 의심되는 구조에 대하여는 소음발생 등 특이사항의 관찰조사와 함께 5 Hz부터 100 Hz의 주파수 범위에 대하여 진동계측을 수행하고 계측결과가 Fig. 2에 보인바와 같이 변위 0.25, 속도 30 mm/s, 가속도 20 m/s²보다 낮아야 한다. 30 mm/s를 초과할 경우에는 구조의 손상을 피하기 위해 별도의 조치를 취할 것을 권고하고 있는 정도이다. 물론 국부진동이 구조의 손상보다는 과도한 구조

전달소음 등 또 다른 문제를 일으킬 염려가 있을 경우에는 그에 해당하는 평가기준을 사용할 필요가 있다. 그러나 이 부분은 작년 함부르크 회의에서 집중적으로 재 논의되었는데 선박의 안전을 책임지고 있는 선급의 입장과 조선소 및 엔진제작사의 입장이 서로 달랐다. 엔진제작사 입장에서는 특히 7실린더 이하의 엔진을 주기로 탑재한 선박에서 엔진의 H형 진동의 공진점 부근에서 선체의 국부진동이 심하게 일어날 가능성이 크다. 또한 다른 종류의 엔진 기진력과 프로펠러의 유체 변동력이 선체의 국부진동을 유발할 가능성이 있다. 방진대책으로 판넬의 구조변경 등으로 국부진동을 줄일 수 있으면 다행이지만, 미해결될 경우 선미에 전기 또는 엔진에 기계적인 밸런서 설치 등과 같은 선박 전체의 방진대책이 필요하다. 따라서 엔진의 전 사용구역에서 이 평가 기준을 준수하기란 현실적으로 어려움이 많다. 중재안으로 엔진을 가장 많이 사용하는 MCR(Maximum continuous rating) 또는 NCR(Nominal continuous rating)을 기준으로 평가하는 것을 검토 중이며 미결사항으로 남아 있다.

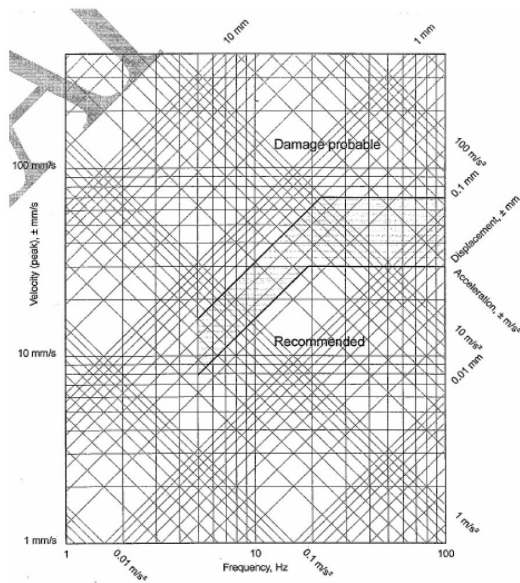


Fig. 2 The assessment levels for local vibration measurement

Part 3은 2006년 4월에 ISO로 제정되어 시행되고 있는 상태이다. 본 규정의 적용 범위는 여객선, 상선, 요트 및 고속선에 적용되는 선내 탑재 장비들에 해당되며 이러한 장비들에서 발생하는 구조전달소음 측정을 위한 가이드라인, 요구 및 절차들이다. 이 규정은 탄성지지계의 특성을 활용하여 장비에서 고유하게 발생하는 구조전달소음의 크기를 계측하는 방법에 초점이 맞추어져 있다. 탄성지지 자체에 대한 실험과 구조전달소음의 전달특성에 대한 평가는 다른 ISO 규정^(21~23)에서 찾아볼 수 있다. 또한 탄성지지 실험과 관련하여 일반 상선에 적합하게 자동차 엔진을 제

외한 선박용 및 산업용 엔진을 취급하는 CIMAC (International Council on Combustion Engines)에서도 이 미 규격⁽²⁴⁾으로 제정되어 있다.

본 ISO 규정은 제정 과정에서 Part 2와 같이 제안국인 미국을 제외한 대다수 국가의 반대 의견에 부딪혀 그 내용이 상당히 완화되어 있다. 즉 제안시에는 미해군 규정을 그대로 사용하는 것으로 되어 있었으나 토의가 진행됨에 따라 구조전달소음이 큰 영향을 미치는 수중방사소음의 상대적인 중요도 등 일반 상선과 군함과의 차이점이 지적된 결과 미해군 규정에 있는 탑재 장비별 구조기인소음의 제한 레벨 조항은 전면적으로 삭제되었다. 다만, 장비의 품질을 나타내는 척도의 하나로 사용될 수 있는 구조기인소음이 선내 환경은 물론 수중 소음의 발생원인으로 작용하여 해양생물의 서식에 미치는 중요성이 점차 부각됨을 감안하여 기본적으로 이의 계측방법에 대한 표준을 마련하고자 하는 의도에서 제정되었다.

구조전달소음의 크기를 가속도 및 속도를 데시벨로 표시할 경우 각각 식(1)과 식(2)와 같이 정의한다.

$$L_a = 10 \log \frac{a^2}{a_o^2} dB \quad (1)$$

여기서 a 는 $r.m.s \text{ m/s}^2$ 이고 a_o 는 10^{-6} m/s^2 이다.

$$L_v = 10 \log \frac{v^2}{v_o^2} dB \quad (2)$$

여기서 v 는 $r.m.s \text{ m/s}$ 이고 v_o 는 10^{-9} m/s 이다.

한편, 대표 가속도(또는 속도) 수준은 모든 계측위치와 방향에서 얻은 결과들로부터 다음 식에 의해 구한 파워 평균값을 나타내고 있으며, 이 값을 구매자와 공급자 간에 사전에 정한 기준 값과 비교하여 기준만족 여부 판단 목적으로 사용할 수 있다.

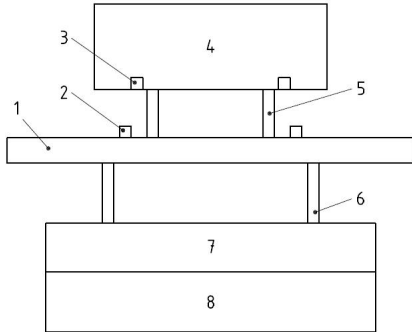
$$L_a = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{ai}} \right] dB \quad (3)$$

여기서 n 은 샘플의 수이고, L_{ai} 는 샘플 i 의 가속도 수준이다.

받침대에 고정지지되거나 큰 강성을 갖는 마운트를 사용하는 장비의 구조전달소음 계측시에는 장비의 지지상태를 본 규정에서 정의하고 있는 구조전달소음 계측시 요구되는 자유조건으로 간주할 수 없으므로 별도의 임피던스 혹은 삽입손실 계측이나 계산을 수행한 후 이 효과에 대한 보정을 해 주어야 한다. Fig. 3은 강성이 큰 마운트를 사용하고 있는 장비에 대하여 마운트의 삽입손실을 구하기 위한 계측 시스템 및 구성도의 예를 보여주고 있다.

본 규정에서 요구하는 장비의 자유 지지조건은 대부분의 장비에 대하여 현실세계에서는 공학적 관점에서 CIMAC에서 제안한 방법 즉, Fig. 4와 같이 장비를 탄성지지시켜 실현시키고 있다. 그러나, 주감속기와 같이 대형이면서 고

정지되는 장비는 자체적으로 탄성마운트도 없을 뿐 아니라 현실적인 견지에서 Fig. 4와 같이 장비를 탄성지지시키기가 곤란하다.



- Key
- 1 subbase, bedplate
 - 2 accelerometers for insertion loss measurement
 - 3 accelerometers on equipment unit
 - 4 equipment unit
 - 5 vendor-supplied mounts
 - 6 soft mounts, about 5 Hz
 - 7 foundation
 - 8 massive concrete testbed

Fig. 3 Test system and configuration for insertion loss measurement

PRINCIPLE OF THE TEST ARRANGEMENT

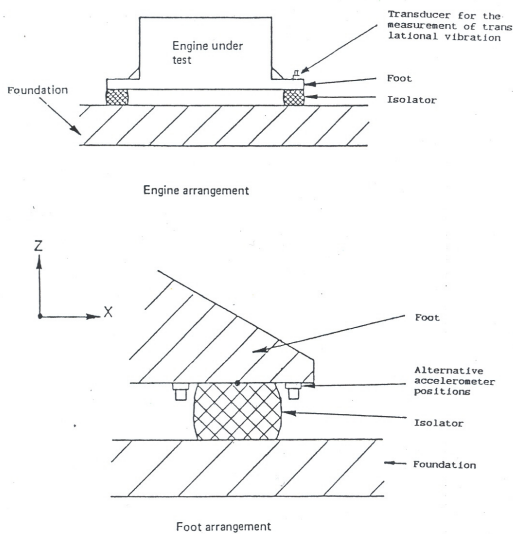


Fig. 4 Transducer position for vibration measurement under test engine

이 때에는 장비 하부 지지대의 임피던스를 계측하여 기록함으로써 추 후 선박에 탑재시 지지조건에 따른 효과를 보정해 줄 수 있도록 하여야 한다. 그리고 구조전달소음 계측시 주파수 밴드는 10 Hz~10 kHz 범위의 1/3 옥타브 분석을 요구하고 있다. 그러나 CIMAC에서는 Fig. 5⁽²⁴⁾와 같이 20 Hz~1 kHz 의 1/3 옥타브분석을 하고 있으며 이와 같

은 이유는 상선에서 사용하는 저속 대형 엔진이나 중고속 디젤엔진을 이용한 발전기의 경우에는 1 kHz 이상에서는 탄성지지를 통해서 선체로 전달되는 구조전달소음이 상대적으로 매우 작기 때문에 판단된다.

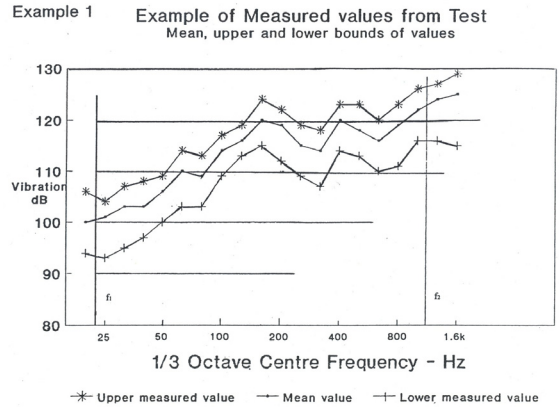


Fig. 5 Example of measured structure-borne noise in engine

Part 4는 선박의 추진장치에 대한 진동계측과 평가에 대한 가이드라인으로, 제안 초기부터 엔진제작사와 조선소 및 선급 그리고 제안자 간에 견해가 서로 달랐다. 주원인으로 일반상선은 저속 2행정 디젤엔진을 적용하고 있는 반면 4행정 디젤엔진을 추진기관으로 사용하고 있는 함정에 적용되는 엄격한 미국 해군 규격이 도입되면서 부터였다. 수정을 위하여 수차에 걸쳐서 방대한 검토 및 수정요청서를 제출하였으나 이들이 거의 반영이 되지 않았고 작년 함부르크회의에서 초안을 재 작성하기로 하였다. 선급 및 IACS를 대표하여 GL이, 그리고 엔진제작사를 대표하여 스위스에 있는 Wärtsilä사(Sulzer)가 주관하여 현재 초안을 마련하여 검토 중이다.

이 초안을 보면 진동실험으로 조선소/제작자, 선주, 선급, 공급자가 협의하여 계측을 위한 적합한 주파수 범위를 협의하도록 하고 있다. 주파수 범위는 선체진동의 80 Hz와 달리 회전부분은 200 Hz, 기어 박스의 가속도 측정은 1000 Hz 정도면 충분할 것으로 예상하고 있다. 그리고 회전계의 트리거(Trigger) 신호는 위상 확인을 위하여 실린더 No. 1의 TDC(Top dead center)을 기준으로 하고 있다. 진동신호 처리 및 분석은 Part 2와 유사하며 장비의 정도는 $\pm 10\%$ 이내로 하고 있다.

진동계측으로 1) 비틀림진동의 경우 직접적인 방법으로 스트레인 게이지에 의해서 응력을 직접 측정하는 방법과 간접적인 방법으로 엔코더(Encoder) 또는 다른 방법(Laser, Gap sensor + F.V. Converter)등을 이용 각속도를 측정을 통한 비틀림진동 계산모델을 통해서 상응되는 응력을 재계산하는 방법 두 가지를 제안하고 있다.

2) 축의 중진동은 베어링 하우징 또는 기초부에 대하여 플랜지의 중 변위를 측정하며, 저속 2행정 엔진의 경우

크랭크축 선단에서 수행하여야 한다. 추력 계측은 직접적인 방법으로 스트레인 게이지 또는 추력킬러에 설치된 장비를 이용하는 방법과 간접적인 방법으로 추력 베어링의 변위 측정과 함께 추력베어링의 종방향 강성을 FE모델에 의해서 계산하여 환산하는 방법이 있다. 또한 추력베어링의 비 회전 부위의 굽힘 응력을 측정하고 FE모델을 이용하여 유사하게 역계산하는 방법도 있다. 선박과 같이 큰 동력이 전달되고 비틀림진동의 영향을 크게 받는 상태에서 추력을 잴다는 것은 대단히 어려운 기술이다. 군함과 같이 특별하게 계측을 할 수 있는 장치가 설치될 경우(연구 또는 계획생산의 검증을 위하여) 수행할 수 있으나, 저속 2행정 엔진과 기어박스 내에 추력베어링이 설치된 경우는 적용할 수 없다. 따라서 일반상선에서는 현실성이 없으며 사고가 발생하여 이를 규명하기 위한 특수한 경우에만 해당된다.

3) 축의 휘둘림 진동은 직접적인 방법으로 스트레인 게이지를 이용하여 측정하는 방법과 간접적인 방법으로 프로브를 90°로 설치하여 축의 변위를 측정한다. 계측은 이론 해석에 의해서 진동의 가진 주파수와 엔진의 상용회전수가 가깝게 위치할 경우만 적용한다. 또한 소구경축과 유니버설 조인트를 설치하여 경사각이 크고 고속으로 회전하는 축의 경우 계측이 필요할 수 있다.

4) 기계 및 그들의 구성이 비-회전부의 구조진동 측정은 가속도계와 속도용 프로브(Probe)로 하고, 필요한 계측 위치는 장비의 타입에 달라진다. 그리고 이들의 대상은 디젤엔진, 기어박스, 축의 베어링 등이다.

3. 결론

한국은 조선 산업의 성장과 함께 선박용 디젤엔진을 포함한 추진시스템 및 각종 조선기자재들을 생산하고 있으며 세계시장의 점유율도 대단히 높은 편이다. 그리고 선박에서 진동과 소음 제어기술은 핵심기술 중의 하나로 기술 및 경제적인 범위 내에서 실현 가능한 ISO 규정을 제정하고 이에 준해서 제품을 설계, 제작하는 것이 바람직하다. 이러한 규정은 이를 준수하기 위한 어려움과 제약조건보다는 오히려 제품의 기술개발과 함께 다른 후발 국가들과 차별화를 통해서 경쟁력을 키울 수 있을 것으로 기대하며, 조선 및 기자재 시장을 계속 유지 발전시켜 나가는데 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 한국선급, 2001, 선급 및 강선규칙 5편과 동 적용지침.
- (2) 한국선급, 1997, 선박 진동·소음 제어지침.

(3) IACS(International Association of Classification Societies), 2005, Requirements concerning Machinery Installations, IACS Rec. 2005.

(4) ISO 6954:2000E, "Mechanical vibration - Guidelines for the measurement, reporting and evaluation of vibration with regard to habitability on passenger and merchant ships"

(5) ISO 2954, "Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery - Requirements for instruments for measuring vibration severity"

(6) ISO 3046-5, "Reciprocating internal combustion engines - Performance - Part 5 : torsional vibrations"

(7) ISO 8579-1, "Acceptance code for gears - Part 1 : Determination of airborne sound power levels emitted by gear units"

(8) ISO Standard, 8579-2 "Acceptance code for gears - Part 2 : Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing"

(9) ISO 10816-1, "Mechanical vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts ; Part 1 : General guidelines"

(10) ISO 10816-3, "Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts; Part3 : Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ"

(11) ISO 10816-6, "Mechanical vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts; Part6 : Reciprocating machines with power ratings above 100 kW"

(12) MIL-STD-167-1, "Mechanical vibrations of shipboard equipment (Type I - Environmental and Type II - Internally excited)"

(13) MIL-STD-167-2, "Mechanical vibrations of shipboard equipment (Reciprocating machinery and propulsion system and shafting) Types III IV and V"

(14) MIL-STD-740B, "Airborne and structureborne noise measurements and acceptance criteria of shipboard equipment"

(15) ISO/PWI 20283-1, "Mechanical vibration - Measurement of vibration on ships - Part 1 : General guidelines", In preparation.

(16) ISO/DIS 20283-2:2007(E), "Mechanical vibration - Measurement of vibration on ships - Part 2 : Measurements of structural vibration on ships"

(17) ISO 20283-3:2006, "Mechanical vibration - Measurement of vibration on ships - Part 3 :

Pre-installation vibration measurement of shipboard equipment”

(18) ISO/PWI 20283-4, “Mechanical vibration- Measurement of vibration on ships- Part 4 : Measurement and evaluation of the ship propulsion machinery”

(19) ISO 4867:1984, “Code for the measurement and reporting of shipboard vibration data”

(20) ISO 4868:1984, “Code for the measurement and reporting of local vibration data of ship structures and equipment”

(21) ISO 10846-1:1997, “Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 1 : Principles and guidelines”

(22) ISO 10846-2:1997, “Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 2 : Dynamic stiffness of elastic supports for translatory motion - Direct method”

(23) ISO 10846-3:2002, “Acoustics and vibration - Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements - Part 3 : Indirect method for determination of the dynamic stiffness of resilient supports for translatory motion”

(24) CIMAC, 1994, “Standard Method for the Determination of the Structureborne Noise from engines”, Paper No. 14.