

特別講演

船體振動應答의 評價

金 極 天*

1. 序 言

主機關, 프로펠러, 波浪등 다양한 起振源과 構造 system 및 船內諸裝置의 복잡성으로 인하여 振動이 없는 船舶을 건조한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 振動應答 크기를 가급적 최소화하고, 이를 중요 構造 部材의 疲勞破壞, 機械·計器·器具類의 性能保全, 예민한 貨物의 安全 및 乘務員 또는 乘客의 快適生活·作業環境保全 관점에서 평가하여 허용 여부를 판단하게 된다.

振動制御 즉, 振動應答振幅 또는 振動應力의 許容值以下로 억제하는 일은 設計과정에서의豫防的方法과 建造後 實船計測과의 分析·評價에 근거한 事後對策의 方法을 경행해서 수행하게 되는데, 防振設計는 크게 보아서 共振回避設計와 振動應答許容值設計로 구분된다.

振動制御를 위하여 事後對策의 方法이 불가피하게 요구된다는 것은 船體振動解析에 관한 state-of-the-art 가 아직도 만족할 만한 수준에 이르지 못하고 있는 탓이다. 實船計測·分析은 직접적인 문제해결 뿐만 아니라 解析精度向上을 도모하기 위한 일반적 資料를 마련한다는 점에서도 중요하다. 振動이 없는 배를 건조 할 수 없는 한 공인된 적정한 振動許容值基準이 요구된다(Fig. 1 참조).

本稿에서는 우선 船體振動應答의 解析에 있어서 당면하고 있는 문제점을 개관하고, 振動應答評價에 관한 일반론적 기본사항을 소개한다.

2. 振動應答解析의 문제점

현재 船體振動應答解析의 計算精度는 實值基準 誤差係數가 0.5~1.0 정도만 되어도 좋은 편이라고 생각되고 있는 실정이다. 振動制御가豫防的防振設計에 의해 만족스럽게 수행되려면 前記 誤差係數가 0.1 이내 정도로 개선되어야 할 것이다. 計算精度向上을 도모하는 일이 이와 같이 어려운 과제로 되고 있는데는 起振力의

評價, subsystem 상호간의 聯成效果, 起振力傳達機構, 減衰機構 등의 구체적 규명 및 이들을 적정하게 고려하는 解析모델링 방법의 개발, 附加水質量 등 system parameter의 평가에 있어서 아직도 해결되지 못하고 있는 문제들이 많기 때문이다. 이들 문제점들 중에서 특히 중요한 사항을 기술한다.

2.1 起振力

프로펠러의 表面傳達起振力은 船體高次振動 또는 船尾振動의 主起振源이므로 이의 근원인 變動壓力의 推定計算方法을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 非定常空洞現象 등 복잡한 문제들을 취급하기 때문에 計算精度는 아직도 만족스럽지 못하다. 따라서 振動應答解析에 있어서 計算值에 대하여 그 크기 및 位相을 어떻게 고려하여 入力하느냐가 문제된다. 또 表面傳達起振力과 軸傳達起振力의 複合作用의 평가와 起振力作用部分의 構造解析 모델링方法도 문제된다. 후자는 起振力增幅現象을 고려하는 전자에서 중요하다.

최근 디이겔엔진이 大口經·長行程·小數槳린더·低回轉速度化 추세에 있기 때문에 1,2次 不平衡모멘트, guide-force 모멘트 등이 起振力으로서 크게 주목되고 있다. 엔진이 선정되면 起振力 자체는 엔진 제작자로부터 비교적 정확한 자료를 공급받을 수 있다. 다만, guide-force 모멘트로 인한 엔진架構振動의 反力이 船體 및 上部構造에 전달되고 또 軸系振動에 의해增幅된 힘이 船體에 傳達되는데 이를 起振力의 傳達機構에 대한 규명은 아직도 매우 미흡한 상태이다.

2.2 主船體와 主要 substructure system의 聯成

船體振動應答解析에 있어 가장 중요한 과제가 上部構造의 振動應答推定이다. 上部構造의 前後振動固有振動數는 船體上下振動의 高次振動數領域에 있기 때문에 그 振動特性에는 양자의 복잡한 聯成現象이 나타난다. 따라서 應答크기는 減衰特性뿐만 아니라 聯成效果에 의해서도 미묘한 변화를 갖는데 현재의 應答解析方法으로서는 이와 같은 현상을 模似하기 어렵다.

主船體와 船底構造의 聯成現象도 중요한 문제인데 특히 接水영 항의 적정한 취급이 아직도 만족스럽지 못하다.

* 본 내용은 1988년도 대한조선학회 추계특별강연회에서 발표된 내용임

* 正會員, 서울대학교 공과대학

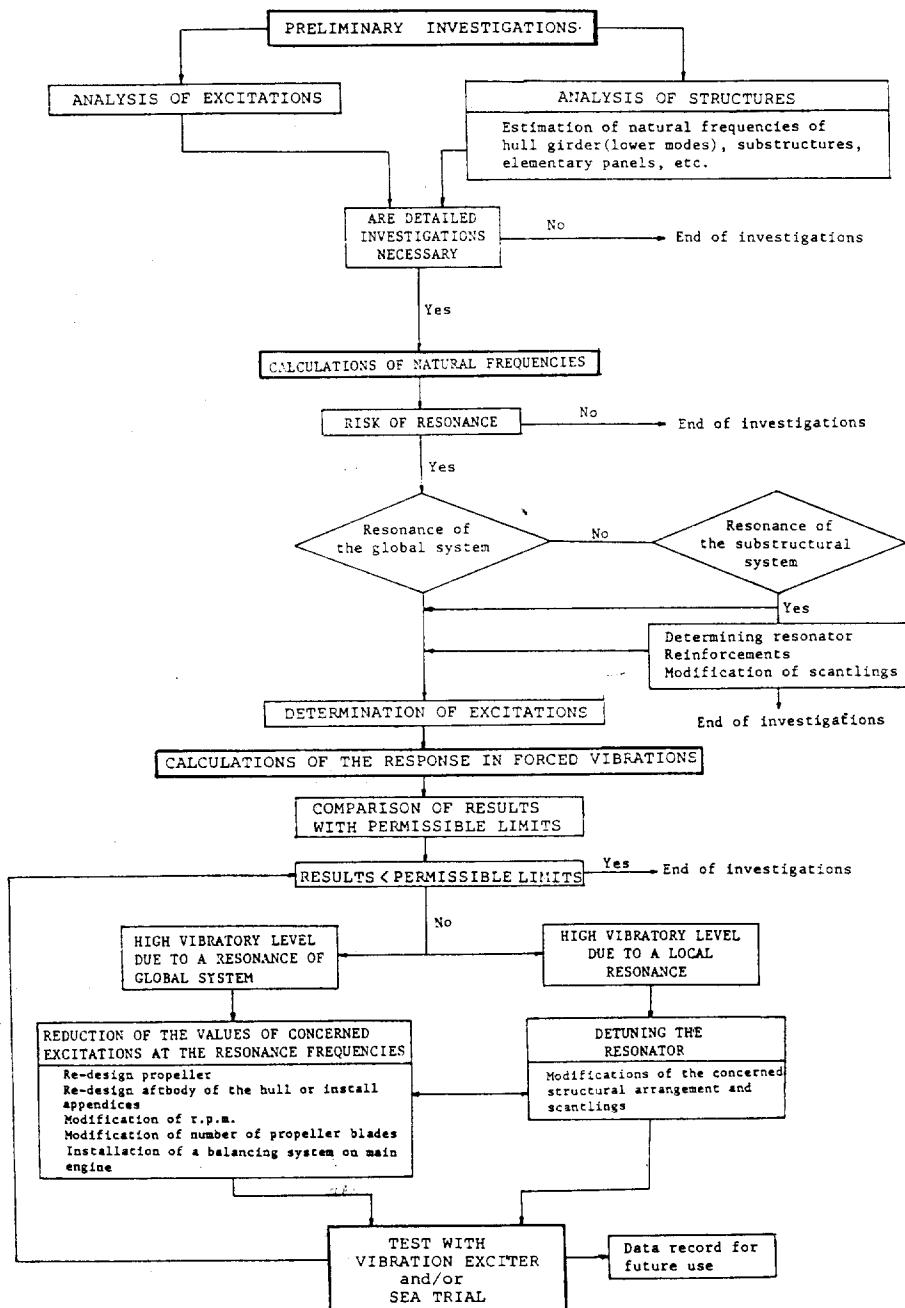


Fig. 1 An example of the procedure to investigate ship vibrations

船體後部는 프로펠러의 表面傳達起振力이 직접 작용하는 船尾端部, 機關室構造, 二重底, 上甲板上의 연돌 및 上部構造로 구성될 뿐만 아니라 推進軸系, 機關架構 등 엔진起振力を 船體에 傳達하는 起振源이 있다.

따라서 變動水壓을 직접 받는 팬넬의 振動特性, 軸傳達起振力과 엔진起振力에 대한 軸系 및 엔진架構의 振動特性의 적정한 평가, 베팀대, 엔진베드 등 傳達부분의 적정한 모델링이 중요한 과제이다.

2.3 起振力의複合作用

선박의 항해때는 엔진 및 프로펠러 起振力이 복합적으로 작용하여 또 각각은 여러가지 次數의 成分으로 구성되고 있다. 이와같이 起振力이 서로 다른 위치에서 복합적으로 작용하기 때문에 船舶의 항해中에 나타나는 振動應答은 不規則性이 심하다. 따라서 起振力에 대해 位相관계 및 傳達機構 등이 적정하게 평가될 수 있는 應答解析方法이 모색되어야 한다.

2.4 減衰

船體 低次振動數領域의 應答解析에 있어서는 보類推모델링에 의한 定式化 과정에서 이론적으로 構造部材 内部減衰와 外部減衰를 합당하게 산입할 수 있다. 有効要素法에 의한 解析에 있어서는 減衰매트릭스를 儻性매트릭스와 剛性매트릭스의 線形組合 즉, 比例減衰로 취급하는 方法이 사용될 수 있다. 그러나 實際計算에 있어서는 減衰比 또는 比例減衰에 있어서의 比例係數를 實船實驗으로 얻은 modal 對數減衰率 data로부터 도출하게 되는데, 이의 기준 data들은 離散性이 커서 그 활용이 매우 어려운 실정이다. 예로서 제 8 차 ISSC(1982년) Technical Committee II.4가 마련한 guidelineo Fig. 2와 같은데, 이의 上, 下界線을 길이 279m 콘테이너선의 6節共振應答까지 적용한 예에서 2배 이상의 振幅차이를 보인다.

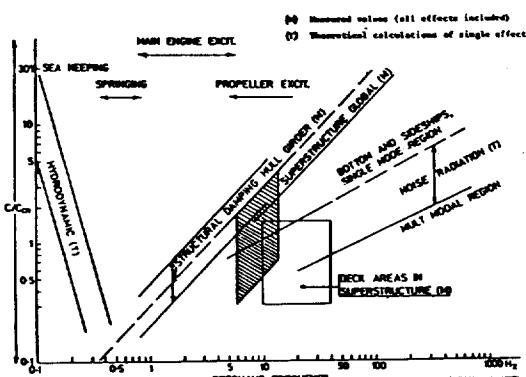


Fig. 2 Damping values for design calculations of global and local vibration as a function of resonant frequency: ISSC-1982 guideline

3. 振動應答의 評價

앞 장에서 振動應答解析의 計算精度는 아직도 誤差係數 0.5~1.0 정도에 머물고 있고, 이를 향상시키기 위해 해결되어야 할 주요 문제점들이 무엇인가를 기술

했다. 결론적으로 현재로서는 만족스러운 振動制御를 위해 實船計測과 이의 分析·評價를 필요로 할 수 밖에 없다.

여러가지 様態의 振動과 이들이 초래하는 다양한 영향을 고려할 때 振動應答의 計測·分析·評價는 최소한 主船體, 上部構造 등 주요 substructure system, 局部的構造 또는 部材, 主機 및 補助機械, 推進軸系, 計器·器具類, 사람에 대한 영향 등의 범주로 구분하여 수행되는 것이 관례이다. 이와 같은 구분은 어디까지나 편의적인 것이고, 각각은 起振源의 간접효과, 振動에너지의 傳達徑路, 각 항목의 傳達函數 등에 의해 상호밀접한 상관관계를 가진다. 振動應答이 매우 큰 경우란 起振力이 크고 減衰가 작은系가 공진상태에 놓일 때이다. 따라서 振動制御의 기본 지침은 起振力減少, 主機 및 프로펠러의 常用運轉範圍를 고려한 共振回避, 減衰機構의 도입 또는 應答크기의 억제를 위한 특별한 대책의 마련이다.

3.1 主船體 및 上部構造

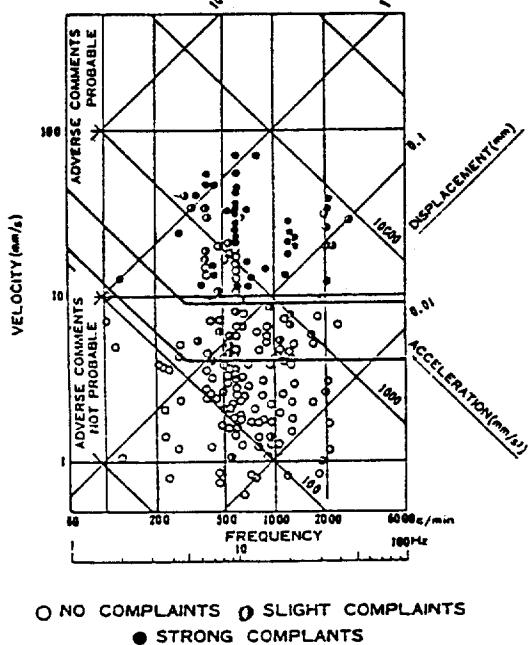
主船體와 上部構造는 거대한 일체구조이기 때문에 評價 관점은 서로 달라도 計測·分析은 분리될 수 없다.

대표적인 계측점들에서 계측된 應答크기와 설계과정에서의 계산결과와의 상호부합성을 확인하는 것이 첫째 목적이고, 둘째 부합성이 양호하면 防振設計 전반에 걸친 기본적 사항들이 타당하다고 간주될 수 있다.

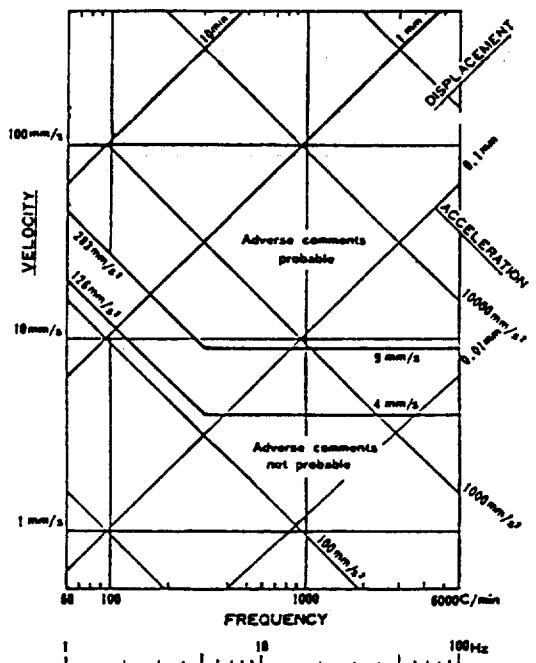
船體振動應答의 객관적 평가와 일관성있는 data 축적을 위하여 國際標準機構(ISO)가 計測法 및 報告樣式에 대한 guideline 즉, ISO 4867 "Code for the Measurement and Reporting of Shipboard Vibration Data (1984)"를 마련해 놓고 있다.

이 code는 主機 및 프로펠러 起振力과 이로 인한 主船體 및 上部構造의 振動에 관한 것인데, 서로 다른 船舶에 대한 計測 data比較를 위하여 試驗狀態, 計測方法, 計測點, 分析해야 할 내용, 報告樣式 등을 규정하고 있다. 計測點에 대해서는 船體의 각 부분에依 주機 및 軸系의 振動, 프로펠러 上部의 變動水壓 등의 계측도 권고하고 있어 보통 商船에 대한 기술적 문제점에 관련된 data는 충분히 얻을 수 있는 내용이다.

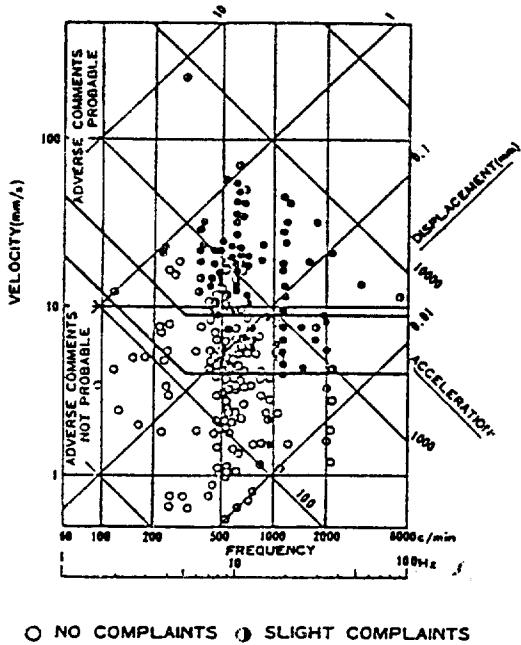
ISO 4867에 의거한 계측결과를 바탕으로 한 船體振動應答의 綜合評價를 위하여 許容基準으로서 ISO 6954 "Guidelines for the Overall Evaluation of Vibrations in Merchant Ships (1984)"가 마련되어 있다. 이 基準의 특성은 Fig. 3에 보인 바와 같이 upperline과 lowerline을 경계로 하여 3영역으로 되어 있는 점인데 upperline 위쪽은 문제가 발생하는 영역, lowerline 아래쪽



(a) Vertical vibration data collected



(c) Guidelines for the evaluation of vertical and horizontal vibration in merchant ships (peak values)



(b) Horizontal vibration data collected

Fig. 3 ISO 6954

은 안전한 영역, 그 중간은 문제가 될 수도 안될 수도 있는 영역이다.

ISO 4867 및 ISO 6954는 振動應答量으로서 振動세기 (severity of vibration)의 peak值(maximum repetitive amplitude)를 채용하고 있어 振動세기 자체의 평가에는 좋으나 항해 중에 나타나는 振動應答의 불규칙성을 고려할 때 設計개선 목적을 위해 計算值와의 대응 관계를 검토해야 할 경우에 어려움이 있다.

3.2 局部構造 또는 部材

局部構造 또는 部材는 局部的 起振源이 없는 한 船體振動에 의해 起振되며, 局部的 剛性 또는 集中重量物의 特性으로 인하여 해당부위의 船體振動보다 매우 더 큰 振動應答을 나타내는 경우가 많다.

局部構造 또는 部材의 振動應答評價는 振動附加應力, 機械・計器・器具 등의 機能的 損傷, 사람에 대한 영향, 인접 計器・器具에 대한 振動에너지 傳播 등의 관점에서 논의된다.

構造部材의 피로파괴나 龜裂 발생은 材料特性에 대한 의존성이 크고 또 應力集中 등 구조적 상세설계와도 크게 유관하다.

ISO는 앞에서 기술한 ISO 4867에 준하는 code 즉, ISO 4868 "Code for the Measurement and Reporting of Local Vibration Data of Ship Structures and Equipments(1984)"를 마련해 놓고 있다. 이를 마련한 취지는 ISO 4867과 같고 또試驗條件 및 報告樣式 등도 ISO 4867과 대동소이하다.

3.3 主機, 補機 및 軸系

機械類의 振動은 自體起振力으로 인한 機能的舉動과 環境의起振으로 인한 舉動으로 구분하여 分析·評價되어야 한다. 機械自體의 振動에 대해서는 각각의 제작자가 사전에 제시하는 許容界限를 기준으로 해서 평가하는 것이 관례이다.

回轉數 10~200rps인 大型回轉機械에 대해서 ISO가 ISO 3945 "Mechanical Vibration of Large Rotating Machines with Speed Range from 10 to 200rps-Measurement and Evaluation of Vibration Severity in Situ(1985)"를 마련했다. 또 西獨의 國家基準 VDI 2056도 많이 활용되고 있어 Table 1에 이들을 함께 보였다.

軸系振動의 경우 振動to 오크 및 비특수振動附加應力이 중요시 되며 船級協會마다 이에 대한 許容基準值를 명시하고 있다. 縱振動과 橫振動에 대해서도 guideline를 제시한 예들이 있다. 軸系振動에너지가 推力베어링 또는 船尾管ベ어링을 거쳐 船體構造로 傳達되는 문제도 관련 system의 振動特性에 조감하여 검토·평가되어야 한다.

3.4 計器·器具類

環境振動에 대한 耐振性能이 문제된다. 耐振性能試驗은 振動試驗臺에서 행하는데, 試驗方法은 두가지 유형으로 구분된다. 즉, 汎用 計器·器具는 어떤 振動數領域에 걸쳐 일정 振動速度下에서 균등한 시간동안 시험하게 되고, 特定 振動環境에서 사용될 제품인 경우에는 실제 振動環境의 模似下에 시험하게 된다. 특히 自動制御 system用 計器·器具에 대해서는 船級協會가 耐振性能基準을 마련해 놓고 있다.

3.5 人體에 대한 영향

船內에서 사람은 全身이 振動하는 환경에 노출된다. 따라서 이와 같은 環境振動에 대한 사람의 感覺, 作業

Table 1 Vibration Severity Criterion for Rotating Machines

| RMS Velocity, mm/s | | | |
|--------------------|---------------------------------|---|---|
| 45 | | | Not permissible |
| 28 | | | Not permissible |
| 12 | | | Not permissible |
| 11.2 | | | Just tolerable |
| 7.1 | | | Just tolerable |
| 4.5 | | | (*) |
| 2.8 | Just tolerable | Allowable | Allowable |
| 1.8 | Allowable | Good | Good |
| 1.12 | Allowable | Good | Good |
| 0.71 | | | Large machines operating at speeds above foundation natural frequency. (e.g. Turbo-machines) |
| 0.45 | Good | Medium machines 15~75 kW or up to 300 kW on special foundations | Large machines with rigid and heavy foundations whose natural frequency exceeds machine speed. |
| 0.28 | Small machines, up to 15 kW. | | |
| 0.18 | | | |
| | | Rigid Support | Flexible support |
| | | (*) 4.6 mm/s | |
| | | ISO 3945 | |
| | | (10 ~ 200 rps) | |
| | | VDI 2056 | |

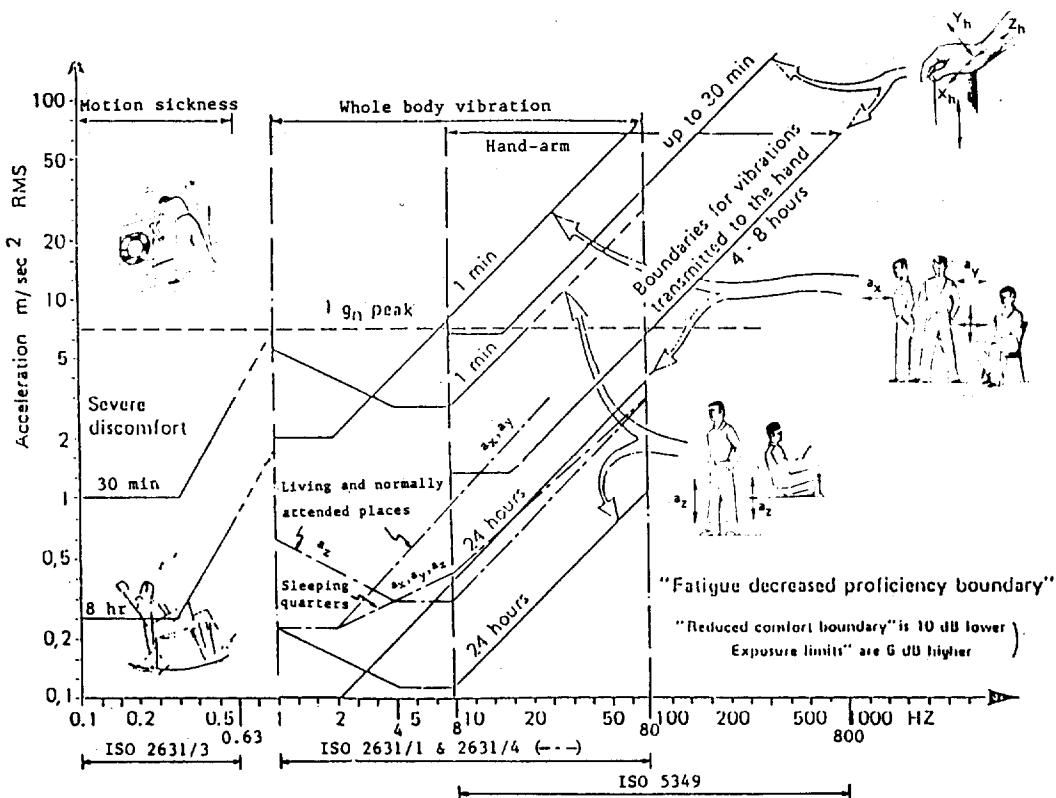


Fig. 4 Tolerances for human body vibration

能率, 身體安全 등의 관점에서 평가되어야 한다.

3.1절에서 船體振動의 綜合評價를 위한 許容基準으로 ISO 6954가 마련되어 있음을 기술했다. 현재로서는 ISO 6954가 만족되면 사람에 대한 영향도 크게 염려되지 않는 것으로 양해되고 있다.

ISO 6954는 ISO 4867 및 ISO 4868과 더불어 ISO/TC 108/SC 2/WG 2(船舶振動作業委員會)에 의해 마련된 것이다. 한편 이와 거의 동시에 ISO/TC 108/SC 4에 의해 ISO 2631 “Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration” 제정작업이 추진되어 현재 ISO 2631/1 : “Part 1. General Requirements”, ISO 2631/2 : “Part 2. Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration and Shock in Buildings”, ISO 2631/3 : “Part 3. Evaluation of Exposure to Whole-body Z-axis Vertical Vibration in the Frequency Range 0.1 to 0.63”, ISO 2631/4 : “Part 4. Evaluation of Crew Exposure to Vibration on Board Sea-going Ships”이 마련되었다.

ISO 2631/4는 적접적으로 船員에 대한 것인데 그 특징은 다음과 같다.

(1) 評價振動量은 rms 加速度가 소망스러우나 rms 速度로서도 무방하다. (2) 計測은 사람에게 振動을 전달하는 위치에서 행함을 원칙으로 하나, 실제적 목적에는 床面上의 적당한 위치에서 행할 수 있다. (3) 人體應答特性을 1~80Hz 사이에서 X, Y, Z 3방향에 대해 규정하고 있다. (4) 振動에 대한 露出時間의 영향을 고려한다. (5) 評價 level을 露出界限, 疲勞・能力減退界限 및 快適減退界限의 3단계로 구분하고 있다. ISO 2631/3은 배밀미 관점에서 船體運動의 크기를 측정하는 기준으로 이용될 수 있다. 또 ISO/TC 108은 ISO 5349 “Mechanical Vibration-Guidelines for the Measurement and the Assesment of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration(1986)”을 마련하였는데, 이는 船員의 機械操作 手作業環境의 評價基準으로서 유용하다.

船體振動의 綜合評價에는 ISO 6954를 적용하고, 사

람에 대한 영향의 평가만을 필요로 할 경우에는 ISO 2631/1 및 2631/4, ISO 5349 등을 적용하는 것이 보다 합리적이라 말할 수 있다. Fig. 4에 ISO 2631/1, -/3, -/4 및 ISO 5349의 개요를 보였다.

ISO 6954제정의 근거가 된 實測 data를 보면 (Fig. 3 참조) 中間域에 不平件數가 꽤 많이 포함되어 있다. 특히 水平振動에 대해서 그리하다. 따라서 中間域은 보편적으로 용인될 수 있는 船內振動環境을 반영하고 있다고 생각할 수 있다. 실제 문제로서 lowerline을 만족시키는 일은 매우 어렵고, 조선계약에 있어서는 中間域에서 許客值가 합의되어야 하는데 논란이 많이 있을 수 있다. 또 upperline과 유관하여 B.V., Dn V 등 독자적인 guideline을 마련해 놓고 있는 船級協會들이 있음도 유의해야 할 일이다.

4. 結 言

船舶의 振動應答 許客值에 대한 규제는 앞으로 날이 갈수록 더욱 더 엄해질 추세이다. 따라서 防振設計 기술의 향상이 시급한데, 精度 높은 振動應答解析方法이 확립되기까지는 해결되어야 할 과제가 많고, 評價 method도 보다 더 합리적으로 다듬어져야 할 실정이다. 이와 같은 일들을 위해서는 實船實驗 data의 菲集·分析·評價에 의존할 수 밖에 없는 내용들이 너무도 많다. 造船會社 상호간의 조직적이고 적극적인 협력이

절실히 요구된다. 현재, 日本에서는 七大造船所의 共同究研로 “無振動 高品質船舶의 開發” 연구사업이 진행되고 있다.

參 考 文 獻

- [1] Bureau Veritas, Building and Operation of Vibration-Free Propulsion-Plants and Ships, B. V. Report NR 207 SMSE, 1987.
- [2] Veritec-Dn V., Vibration Control in Ships, 1985.
- [3] Nippon Kaiji Kyohei, Guide to Ship Vibration, 1984.
- [4] ISO 6954: Guidelines for the Overall Evaluation of Vibrations in Merchant Ships, 1984.
- [5] ISO 4867: Code for the Measurement and Reporting of Shipboard Vibration Data, 1984.
- [6] ISO 4868: Code for the Measurement and Reporting of Local Vibration Data of Ship Structures and Equipments, 1984.
- [7] ISO 2631: Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibrations, 1985.
- [8] ISO 5349: Mechanical Vibration-Guidelines for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration, 1986.