

## Hull Monitoring System과 實船에의 應用

朴 容 喆\*

### 1. 序 言

근년 造船技術의 급격한 발전으로 船舶의 專用化와 自動化가 해마다 빠른 速度로 이루어지고 있고, 이러한 船內 自動化로 乘船 船員의 수도 크게 減縮하여 運航할 수 있게 되었다.

현재 高性能의 自動化된 航海器機로 어느 정도 正確한 氣象 및 海上狀態에 관한 情報가 즉시 入手될 수 있고, 航海 및 선박의 操縱과 關聯된 여러가지의 便利한 補助裝置가 開發 이용되고 있으나 荒天航海시 파랑 하중에 의한 선체응력, slamming의 影響, 기타 파랑 중에서의 rolling 등 외적 해상 상태에 대한 선체응답(hull response)에 관하여는 정확하고도 실질적인 資料가 아직 만족하게 주어지지 못한 실정에 있다.

과거에는 荒天航海에서의 運航은 船長의 오랜 경험과 숙련에 의하여 행하여져 왔고 이러한 황천황해에서의 航海術이 노련한 船長으로서의 seamanship으로 認定받는 것으로 생각하여 왔다.

그러나 근년 船舶이 초대형화 되고 高速化됨에 따라 船長은 본선을 操縱함에 있어 感을 잡기가 어려워지고 있고, 특히 대형선의 경우 선미부에 있는 bridge에서 선수부에서 일어나는 여러 상황에 대하여는 判斷하기가 매우 어려운 것이 사실이다.

船內 主要 system의 自動化로 乘船 人員이 대폭 減縮된 데다 船舶의 賣船, 船員의 휴가등으로 船員의 交替가 빈번하여 乘船한 船舶의 조정성과 관련된 고유한 특성에 대하여 익숙하지 못한 경우가 허다하다.

따라서 황천황해에서 파랑과 바람에 의한 선체응답(hull response)을 船長의 경험과 감각에 의하여 판단한다는 것은 불가능 할 뿐더러 매우 위험하다고 볼 수 있다.

황천황해에서 입게 되는 주요 손상은 대체로 파랑 하중에 의하여 발생하는 과도한 선체응력에 起因하고 있으며, 또한 황천시의 航海는 심한 船體의 動搖로 인하

여 速力の 低下와 積載貨物의 損傷은 물론 메로는 復原力의 喪失로 전복되는 사고를 발생하는 경우도 있다.

황천시의 海上 狀態에서 선체가 받게 되는 파랑하중과 이에 의한 주요 강력부재의 응력을 모니터(monitor)하고 또한 船體의 動搖(motion)를 모니터하여 이들 hull response data를 船長에게 提供할 수 있다면, 船長은 이러한 정보에 의하면 船速의 감속조정, 針路(heading angle) 변경등을 적절히 함으로서 안전하고도 경제적인 항해를 할 수 있을 것이다.

이와같이 船長으로 하여금 변화하는 海上狀態에 따라 적절히 대응할 수 있도록 선체응답자료를 제공하는 hull monitoring system(船體監視 裝置)은 船舶의 安全運航과 經濟的 運航에 크게 寄與할 수 있다는 생각에서 最近 關聯業界의 큰 關心事가 되고 있다. 本稿에서는 아직은 매우 제한된 범위내에서 활용되고 있으나 장차 開發되어 實用化가 確實視되는 이 hull monitoring system (hull surveillance system이라고도 칭함)의 概要와 應用範圍 및 이에 대한 IACS의 見解등에 대하여 紹介하고자 한다.

### 2. Hull Monitoring System과 安全運航

선박의 海難 사고는 대개의 경우 荒天航海에서 발생하게 되며, 이는 해상에서의 거대한 파랑과 폭풍에 의한 船體의 과도한 응력과 등으로 기인되고 있음은 주지의 사실이다.

선체의 강도는 물론 선박설계시 본선의 운항중에 받게 되는 예상 최대 파랑하중에도 견딜 수 있도록 설계되어 있으나 이는 어느정도 船長의 숙련된 경험과 황천황해시의 침로 및 속력에 관한 적절한 판단능력이 있음을 가정한 것이다.

사실상 황천황해중 선체가 받게 되는 wave bending moment는 船舶의 속력과 파도에 대한 진행방향에 따라서 크게 영향을 받게 되며, 많은 實船 시험資料에 의하면 船速을 줄이고 침로를 적절히 변경함으로써

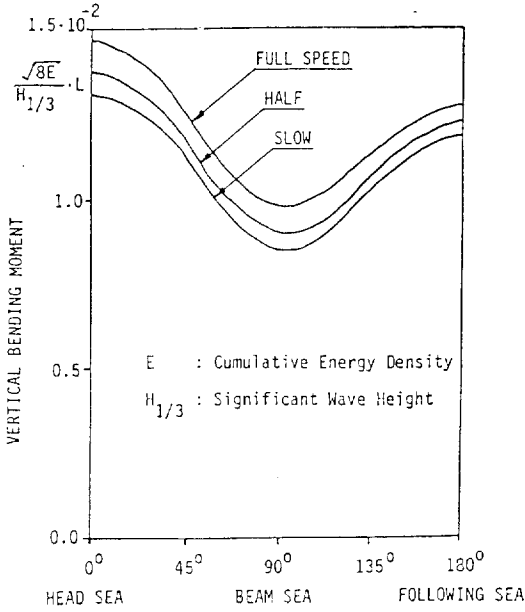


Fig. 1 Moment amidship for a container ship in a typical rough sea-state

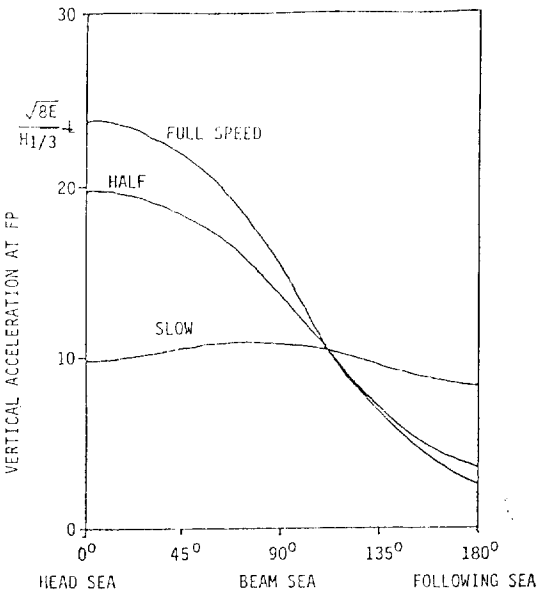


Fig. 2 Vert. acceleration at FP for a container ship in a typical rough sea-state  
 $E$  : Cumulative energy density  
 $H_{1/3}$  : Significant wave height

Wave bending moment를 15~30% 정도까지 減少시킬 수 있음이 立證되고 있다(Fig. 1 참조).

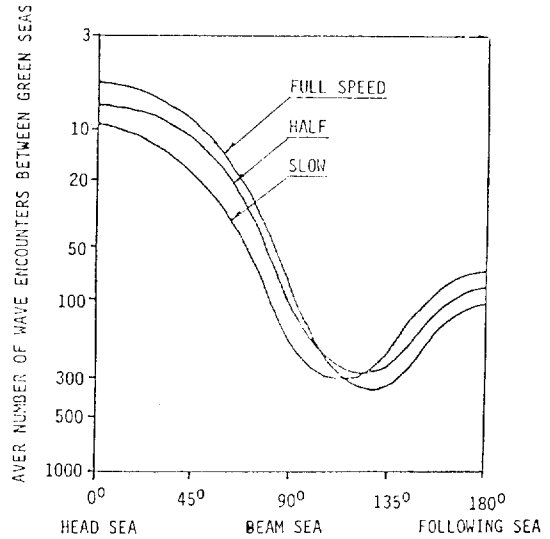


Fig. 3 Average number of wave encounters between green seas over the bow for a container ship in a typical rough sea-state

한편 荒天航海시 과도한 ship motion에 의한 slamming, tank sloshing, green water effect, 기타 선체운동의 加速度로 발생하는 inertia force등에 의한 손상사고는 통계상 선체 縱強度 및 橫強度의 부족에 의하여 발생되는 것보다 훨씬 많은 것으로 분석되어 있다. 그런데 이러한 rough sea에서의 ship motion도 선박의 속력과 침로(heading angle)에 따라서 대폭 減少시킬 수 있다(Fig. 2,3 참조).

또한 ship motion이 減少되면 일반적으로 선체주부의 stress level도 減少될 수 있다.

따라서 선박의 安全과 경제적 운항측면에서 볼 때 海上 상태에 따른 ship motion monitoring은 stress monitoring보다 더욱 중요한 意味를 갖는다고도 볼 수 있다.

### 3. Monitoring System의 構成

Hull monitoring system은 각종 감지기(sensor)를 포함한 測定器機 및 이들 資料를 처리하는 소형 컴퓨터로 構成되어 있다.

측정기기로서는 bending strain gauge, impulse strain gauge, accelerometer, Gyro-roll sensor등이 사용되며, 이들 sensor로서 測된 각종 測定 data는 amplifier, filter등을 통과한 뒤 onboard computer에 내장된

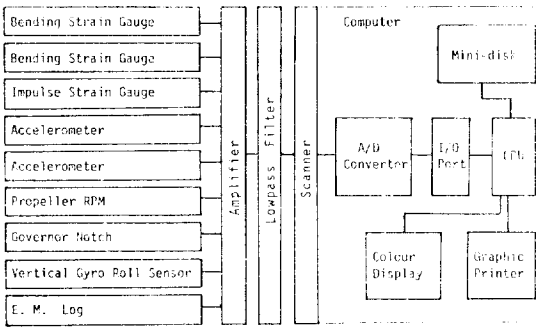


Fig. 4 Block diagram of a monitoring system

program에 의하여 統計解析되어 항해사들이 쉽게 hull response data를 얻을 수 있도록 digital 또는 graphic 으로 CRT에 나타내어진다.

참고로 hull monitoring system의 構成要素를 圖表로 表示하면 Fig. 4와 같다.

Hull monitoring system에서 컴퓨터에 의하여 자료 처리(data processing)되는 項目은 대개 다음과 같다.

- (1) 振幅의 frequency distribution
- (2) 최대치 및 최소치
- (3)  $\sqrt{E}$  ( $E$ 는 누적 energy 密度)
- (4) 周期(period)
- (5) 평균치 및 최대진폭

한편 monitoring system에는 정보장치가 있어야 되는데, 가령 주요 구조 부재의 응력 및 선체운동등 안전운항과 관련된 要素의 계측치가 이미 설정된 한계 level을 초과할 경우에는 warning alarm을 발하는 동시에 CRT상에도 곧 식별이 가능하도록 설계되어야 한다.

이러한 alarm level의 設定은 설계기준으로부터 직접 정하는 것은 신뢰성이 결여되기 쉽기 때문에 선체동요, slamming, 파랑하중등에 대한 理論的인 要素는 물론이거니와 船舶의 종류, 해상 상태등으로 부터 측정된 모든 측정된 자료로부터 경험적으로 결정하는 것이 바람직하다.

다만, 이러한 실신계측에는 많은 費用과 時日이 소요되기 때문에 통계자료로 사용할 만큼 長期 계측한 資料의 入手는 그리 용이하지 않는 것이 문제가 된다.

Hull monitoring system은 이미 언급된 바와 같이 本船의 안전운항을 위하여 항해사가 전적으로 의존하고 있는 것이기 때문에 이 system의 어떠한 사소한 고장이나 결함이 있으면 중대한 事故를 일으킬 수 있다.

따라서 monitoring system에 사용되는 sensor, 電源,

cable은 물론, 자동처리용 computer system등 이를 구성하는 모든 요소들은 완벽한 신뢰성과 내구성이 보장되어야 한다.

또한 計測用 器機의 環境條件(高温, 多濕등을 피하기 위한 空氣調和設備등)과 조작성등에 유의할 필요가 있고, 특히 onboard computer는 防振 防音에도 유의해야 한다.

#### 4. Monitoring System의 應用範圍

현재 hull monitoring system의 일환으로 연구개발되고 있고 점차 實用化가 될 수 있는 分野를 크게 분류하면 다음과 같다.

- (1) Cargo load monitoring
- (2) Hydrodynamic response monitoring
- (3) Operational guidance
- (4) Shipborne accident recording

##### 4.1. Cargo Load Monitoring

최근 화물선에서 널리 사용되고 있는 loading instrument는 cargo loading시 화물, 밸리스트, 연료유등의 하중 data를 입력하여 積荷계산용 software에 의하여 bending moment, shear force, trim, stability등을 계산하는 積荷指針器機로 매우 편리하고 유용하게 사용되고 있다.

그러나 이러한 loading instrument로 구한 값들은 설계자료에 의한 계산치 이므로 실제와는 다소의 차이가 있게 마련이다.

이에 반하여 cargo load monitoring에서는 하역작업이 계속되는 동안, 또는 밸리스트 조정작업중 선체감판의 종방향응력과 기타 주요 강력부재의 應力을 계속 monitor하여 CRT에 표시될 수 있고 그 stress level이 일차 허용기준을 초과하면 자동적으로 警報가 울리게 되어 있다.

따라서 화물의 적하 및 밸리스트 조정작업에 있어 과도한 應力이 발생하는 것을 사전에 예방할 수 있는 효과가 있다. cargo load monitoring system은 대부분 static loading에 관한 사항이므로 개발이 비교적 용이하여 가까운 장래에 이용범위가 확대될 것으로 전망되고 있다.

##### 4.2. Hydrodynamic Response Monitoring

Hydrodynamic response monitoring에서는 항해중 선체의 motion, stress등의 응답자료를 계측 분석하여 각 항목별로 analog 또는 digital data로 CRT에 나타나고, 계측된 응력, 加速度등이 限界値로 설정된 level

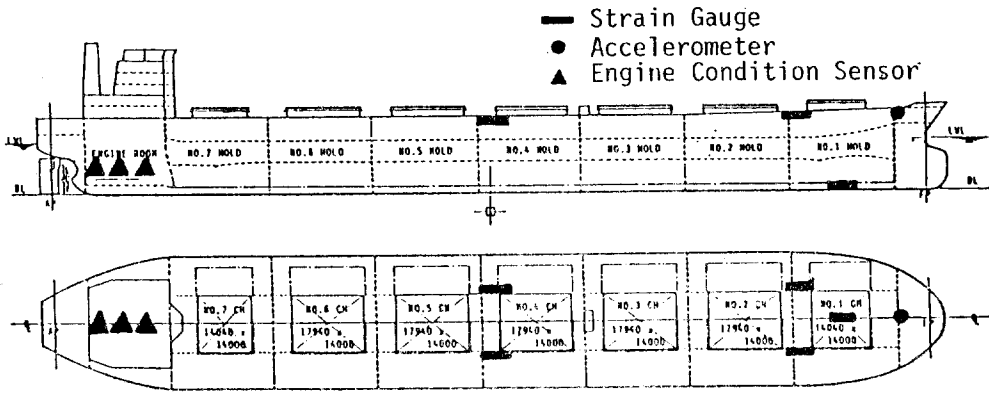


Fig. 5 Arrangements of sensors

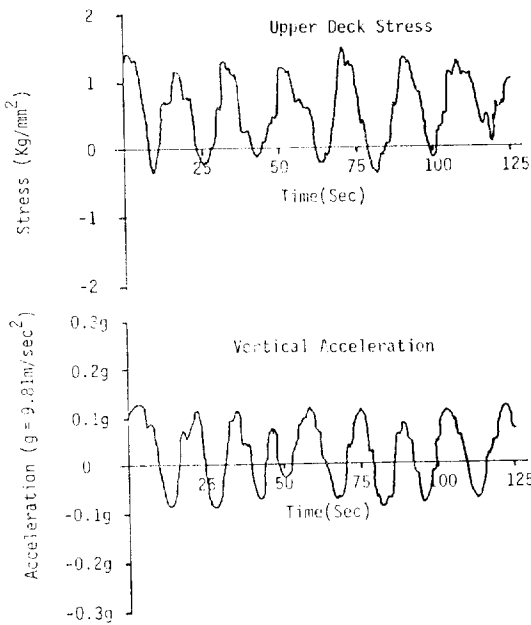


Fig. 6 Example of analog data

을 출력하면 audible 또는 flashing alarm signal이 발하도록 되어 있다.

Hydrodynamic response monitoring에서 측정되는 항목은 대략 다음과 같다.

- (1) 선체 종강도, 횡강도 및 주요부재의 應力
- (2) Tank sloshing, bow slamming등에 대한 hydrodynamic pressure
- (3) Vertical bow acceleration, roll period, roll angle, pitch, heave, green sea effect
- (4) 연료유 소비율, propeller RPM, 速力

Hydrodynamic monitoring system에 있어서 sensor

의 부착위치는 선박의 종류 및 그 구조적 특성을 고려하여 선정하여야 하며 그 數는 필요최소로 합이 바람직하다. 참고로 sensor의 부착위치와 CRT에 나타난 response data의 예로 Fig. 5, Fig. 6에 각각 나타내었다.

### 4.3. Operational Guidance

Hull monitoring system은 이미 위에서 언급한 바와 같이 선체응답에 대한 real time monitoring system과 항천항해에서 해상상태에 따라 最適 速力을 유지하고 적절히 침로를 변경함으로써 경제적인 운항이 가능하도록 하는 guidance를 제공하는 機能으로 구분할 수 있다.

항천항해시 선체의 동요, 선체에 걸리는 종강도, 기타 主機關의 연료 소비 등은 선박의 속력과 파도에 대한 진행 방향(heading angle)에 따라 크게 영향을 받게 됨으로 해상 상태에 따른 최적 속력의 유지 및 침로 결정은 매우 중요하다.

이 operational guidance를 위한 system은 계획항로의 해상상태, 즉 파고, 파도의 週期, 풍속등과 本船의 loading condition, 速力, heading angle등을 입력하면 onboard computer에 내장된 data base(실측자료 및 이론치)에 의하여 본선의 rolling, pitching, heaving 등의 motion과 bow acceleration, slamming등에 대한 예측 data가 CRT에 표시된다.

이와 같이 구하여진 선체응답자료(response data)는 물론 예측치이지만, 이는 실제 이와 유사한 상황에서 hull monitoring system에 의하여 monitor되었던 실적자료들과 비교가 가능하도록 할 수 있다. 또한 逆으로 이러한 실적자료가 풍부하면 본선의 실제 response data로부터 해상 상태(파고 및 파도의 週期)를 추정할 수 있다.

이러한 hull response data와 본선의 계획속력, heading angle 등의 상관관계로 부터 최저 속력과 침로를 구할 수 있다.

위에 설명된 operational guidance system은 computer program의 개발로서 용이하나, 문제는 본선 또는 이와 유사한 동형선의 실제 response data가 장기간에 걸쳐 측정되어야 하고 또한 취항 항로의 해상상태에 관한 관측 data가 충분히 확보되어야 비로소 어느정도 정확한 response level의 豫測이 가능한 것이다.

#### 4.4. Shipborne Accident Recording

Shipborne accident recorder는 항공기에 설치되어 있는 "Black Box"와 유사한 것으로 선박이 해난사고를 입게 되었을 경우, 그 事故의 原因 규명을 할 수 있도록 된 장치로서 사고 당시의 ship motion data, bridge에서 명령하는 通話내용, 기관실의 주요계기에 대한 data, radar information 등이 sensor를 통해서 자동적으로 기록이 되도록 된 것이다.

선박의 해난사고는 衝突, 坐礁, 沈沒, 顛覆 등의 全損事故(total loss)와 기타 부분적인 선체손상 등의 사고로 구분할 수 있는데, 위의 accident recorder는 이 두가지 경우의 사고원인을 모두 파악할 수 있는 기능을 갖어야 할 것이다.

선박이 침몰되는 전손사고의 경우에도 이 accident recorder가 損傷되지 않고 구조될 수 있어야 하는데 이리기 위하여는 외부의 충격 또는 浸水에도 손상을 받지 않도록 특별히 보호된 부이(buoy) 속에 장착되어야 한다. 또한 선박이 침몰되어도 해상에서 이를 쉽게 찾을 수 있도록 이 recorder에서 자동적으로 電波(radio beacon)를 발하는 기능을 갖어야 할 것이다. Accident recorder의 기록은 continuous loop type의 magnetic tape를 사용하게 되는데 船舶의 경우 recording에 필요한 time scale을 어느 정도로 할 것인가가 문제가 된다.

왜냐하면 全損 사고 이외에 황천항해로 인한 선체손상의 경우, 그 사고원인을 알기 위해서는 "Port To Port"항해의 전 기간에 걸쳐 주요부재의 應力, ship motion 등 사고와 관련된 장시간의 항해기록이 남아 있어야 되기 때문이다.

따라서 선박의 경우는 航空機의 경우보다 기록시간이 훨씬 길어져야 한다. 船舶의 海難事故에 대한 발생원인을 규명하기 위하여 기록되어야 할 항목은 대단히 많으나 기본적으로 반드시 필요하다고 고려되는 項目은 다음과 같다.

(1) Ship motion (roll, pitch, slamming 등)

(2) Hull stress(중강도, 황강도, 기타 주요부의 국부강도 등)

(3) Radar display data, echo sounder(충돈, 좌초 등의 해난사고 관련)

(4) Speech recording (bridge에서의 명령, 無線電信, VHF 등)

(5) 주요 system의 alarm

(6) Tank gauge

(7) Time reference

상기 항목중 bridge에서의 명령이나 無線電話 등에 대한 交信내용은 사고원인 규명에 매우 중요한 부분임에 틀림없으나 이러한 통화내용의 기록은 일반적으로 선원들이 저항감을 느끼게 될 것으로 우려되고 있다.

과거 항공기의 경우에도 처음 black box를 설치할 때, pilot들이 대화나 交信내용의 기록에 대하여 많은 거부와 논란이 있었으나, 결국 이해가 된 바 있다.

현재 IMO에서는 수많은 해난 사고에 대한 원인이 확실히 糾明이 되어 있지 않고 있어, 해난사고의 事前豫防에 많은 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다.

따라서 이 accident recorder의 설치를 위한 기술적인 妥當性を 調査 研究하고 있으며, 장차 어느 시점에 가서는 이 accident recorder의 설치를 의무화 하여야 한다는 見解를 갖고 있다.

#### 5. IACS(국제 선급 협회 연합회)의 見解

진술한 바와같이 hull monitoring system은 船舶의 安全운항과 경제적 측면에서 크게 기여할 것으로 믿고 있지만 각 선급협회에서 일차적으로 관심을 갖고 있는 것은 역시 선체구조의 안전성과 관계가 있는 hull stress monitoring system이며, 지난 수년간 이에 관한 研究開發 project를 수행해 오고 있다.

Hull stress monitoring system에 의하여 과도한 응력으로 인한 선체구조의 損傷事故를 방지할 수 있는 것은 물론이거니와 주요 구조부재의 응력을 일정기간 측정함으로써 이 부위의 疲勞 解析을 할 수 있으므로 반복하중을 많이 받는 선체중요부재에 대한 patigue life의 추정이 어느정도 가능하게 된다.

이러한 실측자료는 疲勞荷重에 의한 損傷을 豫防하는데 도움이 될 수 있으며, 船體構造와 관련되는 規則開發에 좋은 자료로 활용될 수 있다.

이 밖에 accident recorder는 선박의 각종 해난사고의 原因규명에 도움이 됨으로, 이러한 사고 분석자료 역시 해난사고의 豫防과 관련 技術規則의 開發에 중요

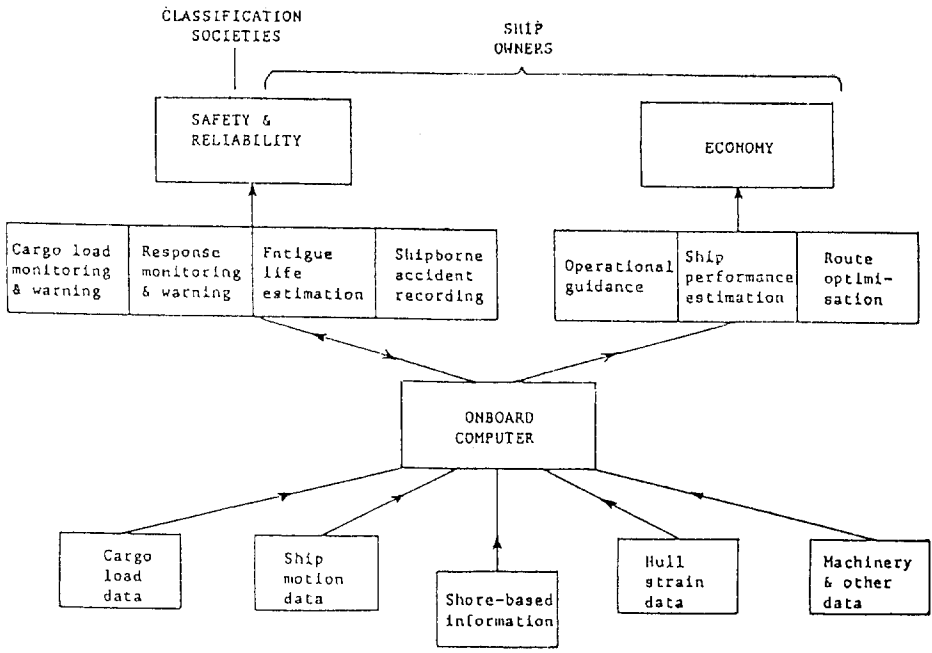


Fig. 7 Hull surveillance systems

한 기초자료가 될 수 있다.

따라서 각 船級協會는 IACS의 선체강도에 관한 working party에서 hull monitoring system이 장착 실용화될 경우 이를 어느정도 범위까지 의무화할 것인가에 대하여 論議하고 있다.

현 단계로서는 아직 개발 단계에 있기 때문에 規定化한다는 것은 시기상조이지만, 장착 실용화될 경우 hull monitoring system이 가져오게 될 船舶의 안전성 및 경제성의 측면에서 기어가 대단히 크므로 入級船舶의 선주에게 이 system의 設置를 권장할 것으로 보고 있다(Fig. 7 참조)

한편 hull monitoring system에서의 정보 장치에 대하여는 다음과 같은 문제점이 예견되므로 유의하여야 한다.

(1) 선원들이 alarm 장치만을 믿고 통상의 경우보다 위험한 상태로 貨物을 적재하거나 또는 무리한 운항을 할 경우를 생각할 수 있으며, 따라서 만일의 경우 alarm장치에 이상이 생기게 되면 매우 위험하다.

(2) 선체구조의 응력 측정범위를 충분히 하지 않고, 일부분에만 국한해서 monitoring하여 운항한다면 어느 부재에는 과도한 응력이 장기간 걸려도 이를 감지하지 못한 채 계속 운항하게 된다.

이렇게 되면 이 부위의 피로수명이 짧아지고 또한

항천항해시 손상을 입게 된다.

6. 結 言

이미 위에서 언급된 바와 같이 hull monitoring system은 船舶의 安全과 경제적 운항을 위한 획기적인 進歩를 가져오게 될 것이 확실시되고 있으나, 이 system에 대한 연구가 불과 10여년 전부터 시작이 되어 널리 실용화되기까지는 상당한 기간이 소요될 것으로 보고 있다.

최근 乘船 船員의 수는 船舶의 자동화로 해마다 감소되고 있고 造船技術의 발전에도 불구하고 海難 사고율은 별로 감소되지 않고 있다. 이러한 점을 감안할 때 hull monitoring system이 早期에 실용화될 것이 바람직하다.

물론 이 分野의 연구개발과 이를 장치하는 데는 상당한 초기투자가 소요되겠지만 선박의 일생 동안 경제적 운항으로 운항비를 대폭 절감하고 각종 損傷 및 海難 사고율을 감소시킬 수 있다는 점을 감안할 때, 이 장치 비용은 충분히 回收될 수 있을 것으로 본다. 따라서 그 전망은 대단히 밝은 것으로 판단되고 있다.

끝으로 우리나라의 조선업계와 관련 研究에서도 이 hull monitoring system의 중요성을 인식하고 우리나라

라도 국적선은 물론 수출선에 대하여도 가까운 장래에 이를 設置할 수 있도록 단계적으로 研究開發에 착수할 것을 기대한다.

### 參 考 文 獻

- [1] Y. Takahashi, "Full Scale Measurements of a Container Ship", PRADS 83-The 2nd International Symposium on Practical Design in Shipbuilding, 1983 Tokyo & Seoul.
- [2] K. Yonekura, "Operation of Large Fully Loaded Industrial Carriers", *Journal of J.S.N.A.*, Vol. 130, Dec. 1971.
- [3] A. Nitta, A. Kumano, K. Suzuki & Y. Tutara, "Hull Strength Monitoring System", (MARIN-TEC CHINA 83 CONFERENCE, SHANGHAI)
- [4] K. Lindemann, "An Evaluation of the Need to Measure Stresses in Practical Hull Surveillance Systems", Veritas Report No. 79-0603, S03-Project, Sept. 1979.
- [5] T. Kitazawa, M. Kuroi & M. Takago, "Critical Speed of a Container Ship in Rough Sea", *Journal of J.S.N.A.*, Vol. 138, Dec. 1975.
- [6] Data Recorder for Ships (IMO, Subcommittee on Safety of Navigation, February 1980).
- [7] Recorder of Operational Data for Ships (IMO, Subcommittee on Safety of Navigation, December 1980).