

선체운동 평가를 위한 다목적 계측시스템 개발에 관한 연구

김철승* · 이윤석** · 공길영*** · 정창현**** · 김대해***** · 조익순*****

* 목포해양대학교 교수, **, *** 한국해양대학교 교수, ****, ***** 한국해양대학교 대학원생, ***** 고베대학 외국인 연구자

A Study on the Development of Multi-Purpose Measurement System for the Evaluation of Ship Dynamic Motion

Chol-Seong Kim* · Yun-Sok Lee** · Gil-Young Kong*** · Chang-Hyun Jung**** · Dae-Hae Kim*****
· Ik-Soon Cho*****

* Professor, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

** , *** Professor, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

****, ***** Graduate School of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***** Foreign Researcher, Kobe University, kobe 658-0022, Japan

요약 : 본 연구에서는 선박의 항해 안전성과 정박 중인 선박의 계류 안전성 평가에 기초가 되는 선체운동 평가를 위한 다목적 계측시스템을 개발 하는데 있다. 다목적 계측시스템은 선박에 탑재되어 외력에 의해 발생하는 동적 동요를 계측 및 분석하기 위해 상하, 좌우, 전후방향의 가속도량을 측정하는 3축 가속도 계측기를 포함하여, 방위 센서, 2축 경사계 및 초음파 변위계로 구성하였다. 선박의 항해 및 계류 안전성을 종합적으로 평가하기 위해서는 특정 센서를 이용, 선체운동을 실시간으로 측정하여 내항성능 평가 시스템과 항해 또는 정박 중인 선박의 상태에 관한 선박 데이터베이스 시스템을 이용하여 평가한다. 개발된 다목적 계측시스템은 해상에서의 전복사고 분석, 선박 출입항 통제, 부두에서의 하역작업 통제, 조선소에서의 내항성능 및 안전설계에 있어서도 적용이 가능하리라 본다.

핵심용어 : 항해 안전성, 계류 안전성, 내항성능 평가, 동적동요, 다목적 계측시스템

Abstract : In order to evaluate the safety of navigation at sea and the safety of mooring on berthing, it is necessary that the wave and wind induced ship dynamic motion should be measured in real time domain for the validity of theoretical evaluation method such as sea-keeping performance and safety of mooring. In this paper, the basic design of sensors is discussed and some system configurations were shown. The developed system mainly consists of 4 kinds of sensors such as three-dimensional accelerator, two-dimensional tilt sensor, azimuth sensor and two displacement sensors. Using this measuring system, it can be obtained the 6 degrees of freedom of ship dynamic motions at sea and on berthing such as rolling, pitching, yawing, swaying, heaving, surging under the certain external forces.

Key words : Safety of navigation, Mooring Safety, Sea-keeping performance, Ship dynamic motion, Multi-purpose measurement system

1. 서 론

해양사고의 주요한 유형은 충돌, 기관손상, 화재·폭발, 좌초 그리고 전복·침몰사고와 절단사고가 대부분을 차지한다. Table 1에서 보듯이 이러한 해양사고를 방지하기 위한 노력과 선박 자동화의 일환으로 기존의 장비가 보다 최신화 되고 또한 새로운 장비가 개발 되고 있다.

차세대를 지향하는 조선 및 항해 기술의 과제는 선박이 출항지에서의 적화작업으로부터 기항지에서의 하역작업까지 고도의 안전성과 신뢰성을 유지하면서, 최적의 항로와 속력을

택하여 가장 경제적인 해상 수송을 수행하는 고 신뢰도 지능화 선박을 연구·개발하는 것이다.

이러한 고도의 안전성 및 신뢰도를 확보할 수 있는 지능화 선박의 자동운항시스템을 개발하기 위해서 반드시 해결해야 할 중요한 과제는, 선박이 해상을 항해함에 있어 어느 정도의 운항 속도로 항해해야 하는 것인가와 선박의 종합적인 항해 안전성이 어느 정도인가를 정량적으로 판단하는 것이다. 그리고 만약 선박이 특정 기상 또는 해상 상태에서 하역작업 또는 항해가 위험하다고 판단되는 경우, 그 위험 상태가 어떤 요소로 인해 유발되었으며 어떤 조치를 어떻게 얼마만큼 취해야

* 대표저자 : 김철승 (정회원) cskimu@mmu.ac.kr 061)240-7307

** 종신회원, lys@bada.hhu.ac.kr 051)410-4474

*** 종신회원, gykong@hhu.ac.kr 051)410-4273

**** 정회원, eli-j@hhu.ac.kr 051)410-4206

***** 정회원, sun2hae@bada.hhu.ac.kr 051)410-4765

***** 정회원, 018d974n@yo4.kobe-u.ac.jp +81-90-3675-8105

선박의 안전을 확보할 수 있는가 하는 것이다.

따라서 본 연구의 최종적인 목표는 선박의 항해 안전성과 정박 중인 선박의 계류 안전성 평가 시에 중요한 자료인 외력에 따른 선체운동 평가를 실시간으로 계측하는 선박 탑재형 다목적 계측시스템을 개발하는데 있다.

Table 1 Solutions for the safety of navigation

Objective	Type of Information	Nautical Equipment
Reducing the risk of collision	Traffic situation	Radar(ARPA) AIS
Reducing the risk of grounding	Sheltered waters	GPS ECDIS Echo sounder
Reducing the risk of heavy weather damage	Weather condition and operational limits	Weather routing Ballasting system MMS

2. 관련 연구 동향

황천 등과 같은 비교적 거친 해상상태에서 특정 항로에 운항 중인 선박의 안전성을 내항성능 이론을 이용하여 항해 안전성을 평가하고 있다. 또 최근 항해 안전성 관련 연구는 충분한 이론적인 연구 성과를 기초로 기존 내항성능 평가 방법에 대한 문제점을 개선·보완하여, 실선에서 임의의 한 요소만을 계측하여 선박 전체의 항해 안전성을 평가하는 항해안전성 종합 평가시스템(공 외, 2004; 공, 2001; 조 외, 2000)을 구축하여 본격적인 실선 실험을 준비하고 있다. 이러한 항해안전성 종합 평가시스템은 그 동안 선박 운항자의 감각적인 면에서 정량화된 평가요소로 채택하기 쉬운 상하가속도의 1/3 유의치를 계측하여, 다른 평가 요소와의 상관관계를 도출하여 선박의 종합적인 내항성능을 평가하는 시스템이다.

한편 계류 안전성은 특정 부두에 계류하여 하역작업을 수행하고 있는 선박이 파랑, 바람, 조류 등과 같은 외력 하에서 수반되는 선체의 동적 동요를 해석하여 선체동요에 따른 한계 하역치의 설정 및 계류 한계 외력 등을 이론적 방법으로 접근하여 평가하는 연구(Kubo et al., 1994; Ueda et al., 1990)가 진행되어져 왔다. 최근 계류 안전성 관련 연구는 신항만 신설이나 전용부두의 설계 시에 외력에 따른 계류 선박의 동적 동요를 해석(김 외, 2005)하여 그 결과를 부두 시설물이나 방충재 등의 최대허용하중 설계에 이용하고 있다.

이러한 항해 안전성 및 계류 안전성 평가에 있어 가장 중요한 요소는 외력에 따른 선체의 동적 동요를 정량적인 방법으로 분석하여, 외력의 크기와 방향 그리고 선형에 따라 일반화하는 일이라 할 수 있다. 그 동안 항해 및 계류 안전성과 관련해서 수많은 연구들이 이론적인 접근 방식을 기초로 수치 시뮬레이션 또는 수리 모형 시험을 중심으로 진행되어 이론적인 부분에서 어느 정도 가시적인 성과가 있었다고 사료된다. 앞

으로의 과제는 이러한 이론적 연구를 실선에 적용하여 그 연구 결과를 검증한 후 선박의 운항자가 직접적으로 활용할 수 있도록 실용화 하는 작업이라 할 수 있다.

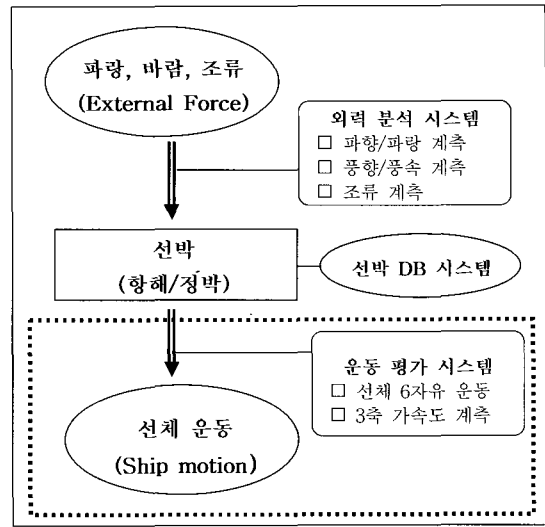


Fig. 1 Total safety evaluation system

3. 다목적 계측시스템의 개발

선체 운동 계측을 위한 다목적 계측시스템은 선박에 탑재하여 파랑, 바람, 조류에 의해 발생하는 선체 운동을 특정 센서를 이용하여 실시간으로 측정하고자하는 시스템이다. 선박의 항해 및 계류 안전성을 종합적으로 평가하기 위해서는 Fig.1과 같이 외력을 정량적으로 분석할 수 있는 외력 분석 시스템, 항해 또는 정박 중인 선박의 상태에 관한 선박 데이터베이스 시스템, 그리고 외력에 의해 발생하는 선체 운동을 계측하는 운동 평가 시스템이 갖추어져야 한다. 다목적 계측 시스템은 Fig. 1의 운동 평가 시스템의 일부분에 해당되며, 외력 분석 시스템 및 선박 DB 시스템은 선박 측에 탑재된 각종 장비 또는 관련 자료와 상호 연계해야 하므로 향후 관련 시스템을 추가 보완해 나갈 예정이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 다목적 계측시스템은 다음과 같은 기능을 수행 할 수 있는 시스템이어야 한다.

- 선내 탑재 가능한 시스템
- 항해/정박 중인 선박의 선체 운동 계측이 가능한 시스템
- 실시간 영역에서 데이터 저장 및 디스플레이가 가능한 시스템

따라서 다목적 계측시스템은 Fig. 2와 같이 선체 운동이 계측 가능한 센서를 탑재한 H/W와 계측한 데이터를 자동 저장 및 분석하는 S/W로 구성한다. 선내에 탑재할 H/W 장치는 항해 또는 계류 안전성 평가에 이용될 수 있도록 상하가속도, 좌우가속도, 전후가속도, 방위계, 경사계 및 변위계 등으로 구성된 센서를 사용한다. 저장 및 분석용 S/W는 H/W와 연결되어 계측 데이터를 PC에 직접 저장, 분석 및 디스플레이가 가능해야 한다.

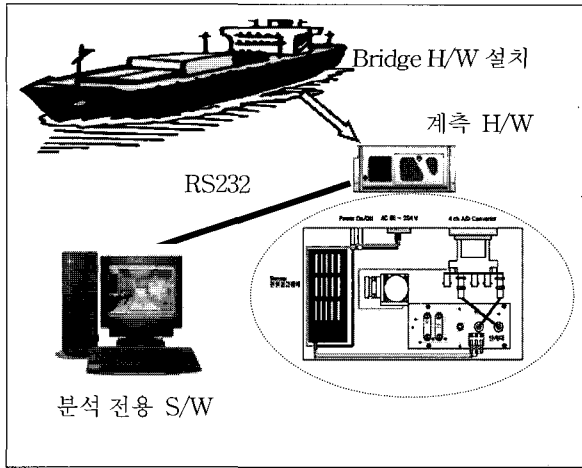


Fig. 2 Configuration of measurement system

외력에 따른 선체 6자유도 운동(Rolling, Pitching, Yawing, Surging, Swaying, Heaving)과 항해 안전성에 활용되는 가속도를 계측하기 위한 다목적 계측시스템 개발에 이용된 센서는 3축 가속도계, 2축 경사계, 방위계와 2개의 변위계이다. Table 2에 각 센서에 대한 상세를 나타낸다.

다목적 계측시스템의 H/W는 Fig. 3의 내부 구성도와 같이 각종 센서(가속도계, 경사계, 변위계, 방위계), 전원공급장치, DAQ 보드로 구성되며 PC의 분석 S/W와 데이터 통신이 가능하도록 설계하였다.

4. 다목적 계측시스템의 구성

4.1 계측시스템의 H/W

선체 운동 계측을 위한 다목적 계측시스템의 개발을 위한 본 연구에서는, 선체에 탑재되어 외력에 의해 발생하는 동적 동요를 계측 및 분석하기 위해 상하, 좌우, 전후방향의 가속도량을 측정하는 3축 가속도측정기를 포함해 방위 센서, 2축 경사계 및 초음파 변위계가 이용된다. Fig. 4에 각종 센서들의 사진들을 제시하며, Fig. 4의 변위계를 제외한 모든 센서들은 직접 H/W 내부에 장착된다.

Table 2 Details of sensors

Sensors	Configurations
3-Dimensional Accelerometer	크기 또는 중량 : 78grams 최대 계측 범위 : 3G 출력신호 : 4~20mA 제조사 : SEIKA
2-Dimensional Tilt Sensor	크기 또는 중량 : 98x64mm 최대 계측 범위 : -90°~90° 출력신호 : 4~20mA 제조사 : SEIKA
Displacement Sensor	크기 또는 중량 : 160.5x47.5mm 최대 계측 범위 : 600~6000mm 출력신호 : 4~20mA 제조사 : Leuze electronic
Azimuth Sensor	크기 또는 중량 : 74x74mm 최대 계측 범위 : 0~359.9° 출력신호 : NMEA 0183

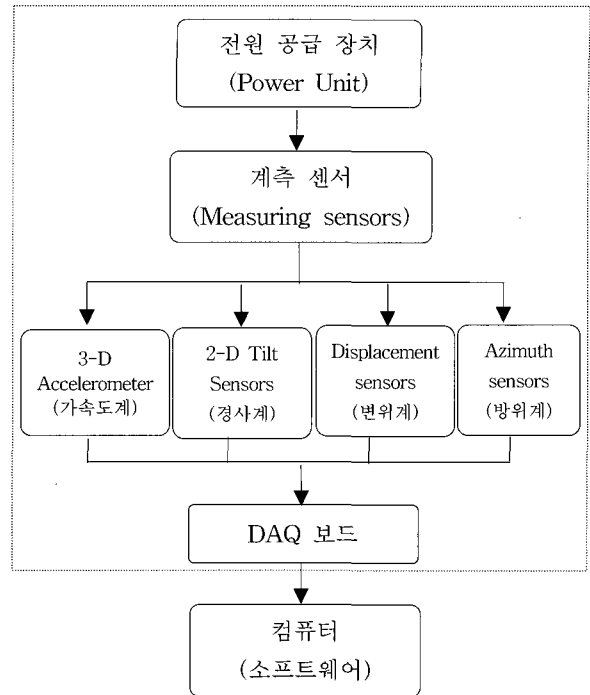


Fig. 3 Internal flow charts of hardware system

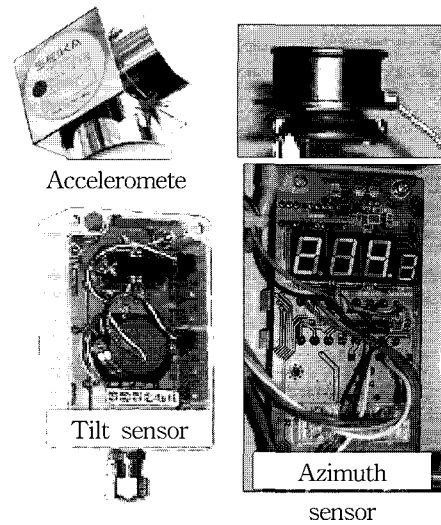


Fig. 4 Picture of each sensors

계측시스템의 내부 구성을 보면, Fig. 5와 Fig. 6에서 보듯이 외부로부터 전원을 인가받아 소정의 전압 레벨로 변환시키기 위한 전원공급 장치와 6자유도 운동을 계측하기 위한 각종 센서 등으로 구성된다. 또한 센서로부터 수집되는 아날로그 신

호를 디지털 신호로 변환하거나 관련 신호를 컴퓨터로 전송하는 DAQ(Data Acquisition) 보드와 외부와의 데이터 통신을 위해 연결되는 단자대(RS232)로 구성된다.

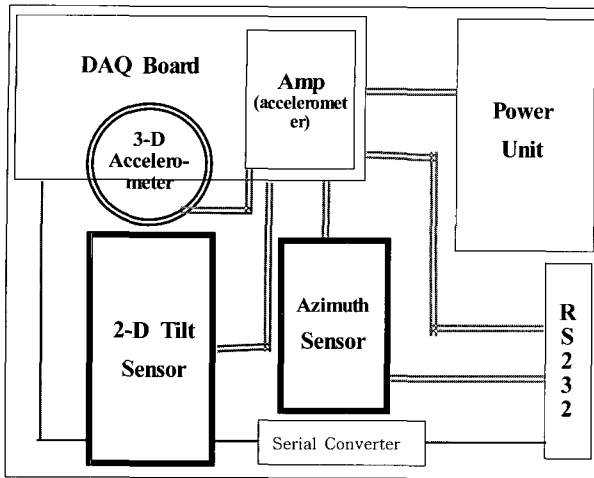


Fig. 5 Configuration of measuring device

DAQ 보드의 주요 기능은 각 센서들을 통해 감지된 각종 출력 신호를 디지털신호로 변환하여 그 신호를 단자대를 통해 컴퓨터로 전송 후 계측치를 S/W로 분석 가능토록 변환하는 AD컨버터 기능을 포함하고 있다. 본 연구에서는 사용한 DAQ 보드는 SDQ-AD16EX 보드로 특별한 전용 드라이버 없이 사용할 수 있고 고속의 직렬 통신이 가능하다. 이러한 신호처리 방식을 통해 각 센서별로 상이한 출력 신호 형식(전류, 전압 출력)을 디지털 신호로 가공하여 외부와 통신이 가능한 RS232로 연결함으로써 컴퓨터의 S/W로 계측 데이터를 직접 제어할 수 있다.

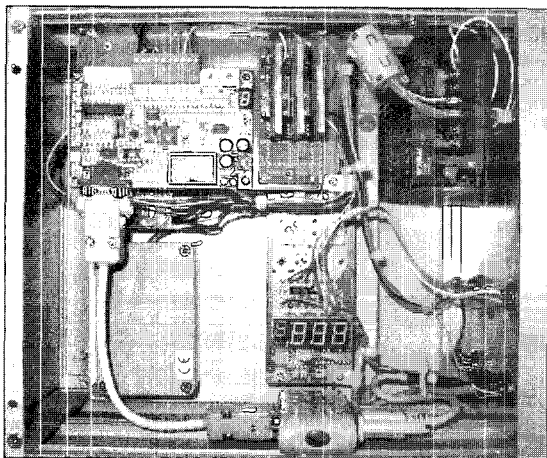


Fig. 6 Real model of hardware system

실제 구축한 계측시스템의 H/W는 크기가 작아 쉽게 이동 설치할 수 있으며, 선교 또는 기타 선내 특정 장소에 직접 설치 가능하다. 또한 설치 장소로는 선체운동의 중심점이 되어야 하나 설치가 쉬운 선교에 설치하여 계측한 후에 설치 장

소와 선체 운동의 중심점과의 좌표값을 이용하여 계측 값을 보정하여 분석할 계획이다. 이러한 물리적 장치를 통해 수집된 정보는 DAQ 보드를 통해 분석 S/W와 데이터 통신이 가능하며, S/W상에 저장 또는 분석된 자료들은 내항성능평가 이론을 바탕으로 구성된 안전성 평가 프로그램을 통해 선박의 항해안전성 평가에 이용되거나 계류 안전성 평가 기준치로 활용될 수 있다.

4.2 분석 S/W

계측시스템의 분석 S/W는 RS232 단자대를 통해 PC와 연결되어 실시간으로 수집된 각종 센서 정보들을 저장하거나 분석한다. 본 계측시스템의 분석 S/W는 Visual Basic으로 작성되었으며, RS232 통신을 위한 수신부는 2개의 채널로부터 데이터를 입력받을 수 있도록 구성되었다. 또한 DQA 보드로부터 수집된 데이터의 전송속도가 115200 Bps인데 비해서 방위 신호는 4800 Bps(NMEA 0183)의 속도로 데이터를 전송하므로 이 두 채널간의 데이터 전송속도 차가 시스템의 성능에 영향을 미치지 않도록 비동기 방식의 RS232 데이터 수신부를 구성하였다. 또한 계측시스템은 1개의 USB 포트로 PC와 인터페이스 되므로 타 장비 또는 소프트웨어에 사용되어 질 수 있다. 그리고 계측 H/W로부터 수집된 데이터는 별도의 외부 데이터로 저장되므로 이 데이터를 이용하여 별도의 프로그램을 구성할 수도 있으며, 타 시스템에 필요한 자료를 제공할 수도 있다.

분석 S/W는 우선 환경설정 파일(CFG File)을 사용하여 선체운동 각 계측 센서의 초기화(각 센서의 영점조정)를 수행한다. 그리고 초기화가 완료되면 DAQ 보드를 통해 변환된 각 센서들의 디지털 출력 정보를 지정한 특정 파일에 일정 간격 동안 저장하면서 동시에 프로그램에 의해 설정된 최대치 및 최소치 범위에 상응하는 값으로 변환되어 모니터 화면상에 시계열 데이터로서 표시된다.

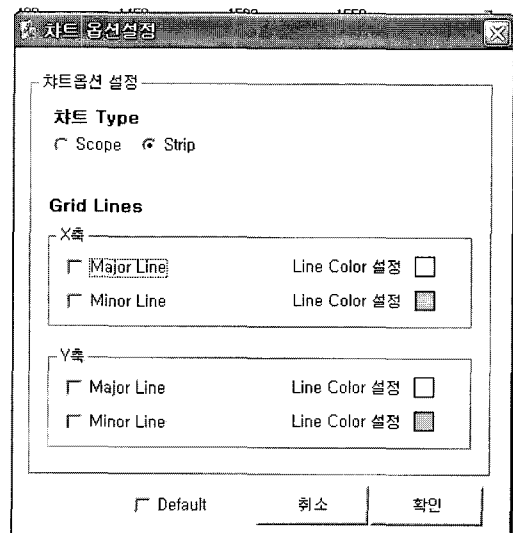


Fig. 7 Chart option screen

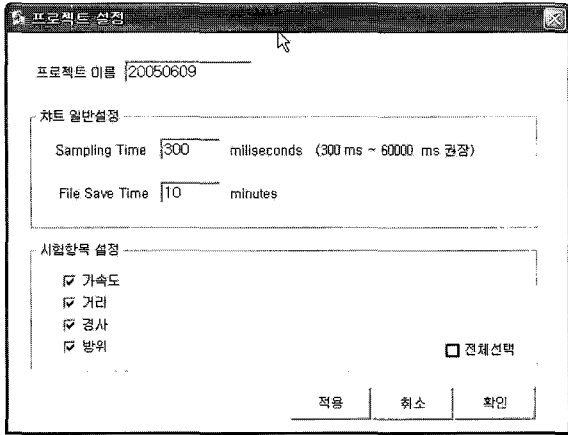


Fig. 8 File saving and sampling time setting

분석 S/W는 초기 환경 설정을 통해 각 센서별로 계측 환경을 별도로 지정하거나 다른 프로젝트로 관리할 수 있다. 또한 Fig. 7과 Fig. 8과 같이 프로젝트명, Sampling Time, File Save Time 및 시험항목 설정이 가능하고, 차트 옵션을 통해 계측 스크프의 차트 스타일을 설정하여 사용자와의 GUI (Graphical User Interface)가 용이하도록 하였다.

Fig. 8에 각 센서로부터의 출력된 디지털 정보를 파일로 저장 또는 샘플링 시간을 설정하는 아이콘 화면을 제시하고, Fig. 9에 센서로부터 계측된 각종 계측치를 표시하는 화면을 일례로 제시한다.

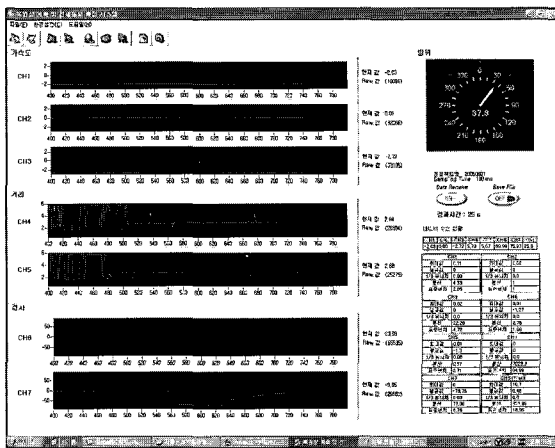


Fig. 9 Monitoring and analysis program

Fig. 9에 나타난 시스템의 프로그램은 실시간으로 가속도, 변위계, 경사계, 방위계에 대한 계측치의 표시는 물론 특정 시간 간격 동안의 평균치, 분산치 및 1/3 유의치를 자동적으로 분석하여 각 계측 시간에 대한 계측치를 파일에 저장할 수 있다.

Fig. 10은 센서들로부터 얻은 정보를 내항성능 평가 시스템에 적용하여 선박의 위험도를 계산하여 나타낼 최종 화면으로, 그 당시 선박의 위험 정도를 알 수 있고 또한 침로 및 속력에 따라 위험 정도가 얼마인지를 표시할 것이다. 따라서 선박운항

자는 Fig. 10과 같은 선박의 위험도 평가 결과 화면을 통해 항행 선박이 위험구역에 가까워지면 현재의 침로나 속력을 변경하여 그 위험 상황을 적절히 피할 수 있다. 또한 기상 예측에 따른 임의의 과고를 입력하면 앞으로 선박에 미칠 위험 정도를 미리 파악할 수 있는 기능을 추가로 구현할 예정이다.

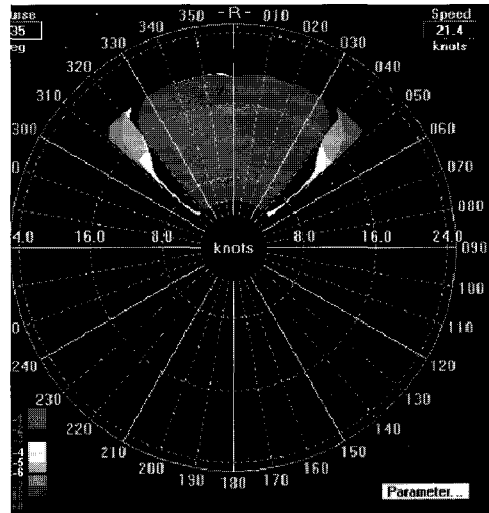


Fig. 10 The display screen of navigational safety

또한 저장된 실시간 데이터를 필요에 따라 차후에 보다 구체적인 분석 및 현상 해석이 가능하도록 Fig. 11과 같이 불러내어 각 시간대별 실시간 데이터 파형만을 원하는 센서 정보를 선택하여 확인 할 수 있도록 프로그램을 제작했다. 또한 비교적 안정적으로 계측된 특정 영역만을 선택하여 지정된 범위 내의 평균치, 분산치 및 유의치를 제공하도록 하는 기능을 추가했다.

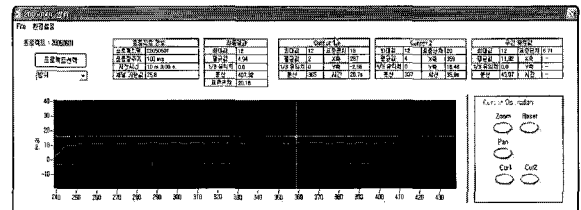


Fig. 11 Replay function of saved file

4.3 계측시스템의 특징

본 연구에서 개발한 항해 또는 정박 중인 선박의 선체 동요 계측을 위한 다목적 계측시스템은 물리적 센서 부분과 분석 S/W로 구성되며, 물리적 센서 부분을 선내에 휴대하여 간편하게 설치할 수 있는 실용화를 구현하였다. 다목적 계측시스템의 주요 특징만을 정리하면 다음과 같다.

- 총 8개의 Channel 및 그래프 지원
- 총 4종류의 센서 (가속도계, 변위계, 경사계, 방위계) 지원
- 실시간 통계치 분석 : 최대값, 평균값, 1/3 유의치, 분산, 표준편차

- USB 인터페이스를 제공하여 PC와의 인터페이스가 용이
- DAQ 보드 사용에 따른 고속의 직렬 통신 방식 채택
- Replay 기능을 통해 과거 History 조회 가능
- 계측 데이터의 특정 범위를 설정하는 영역 설정 지원을 통해 구간별 통계치 및 분석이 가능
- 모니터링 그래프의 Zoom, Pan기능 및 2개의 커서 지원을 통한 다양한 Data 검출이 가능

5. 결 론

개발된 다목적 계측시스템은 항해 또는 정박 중인 선박의 외력에 의해 수반되는 선체의 동적 동요에 대한 정량화된 데이터 수집이 가능하다. 또한 최대치, 평균치, 분산치, 1/3 유의치 등과 같은 통계 분석 방법을 통해 해상과 같은 특수한 환경 하에서 발생하는 선체의 동적 동요에 대한 주요 운동 특성을 심층적으로 분석 및 평가할 수 있을 것으로 사료된다. 더불어 실선 계측 자료는 항해 안전성 평가 또는 계류 안전성 평가에 대한 이론적 연구 결과와 상호 비교 검토가 가능할 것으로 사료된다.

그리고 단순한 데이터 수집이 아니라 사용자가 설정한 형태의 데이터 수집이 가능하므로, 관련 데이터에 대한 가공 및 활용이 자유로워 다방면으로 응용이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 개발된 다목적 계측시스템은 해상에서의 전복사고 분석, 선박 출입항 통제, 부두에서의 하역작업 통제, 조선소에서의 내항성능 및 안전설계에 있어서도 적용이 가능하리라 본다.

앞으로는 개발된 계측시스템을 실제 선박에 탑재하여 다양한 환경 하에서 계측을 수행하고, 계측 과정에서 수반되는 각종 문제점 및 성능 개선을 실시할 것이다. 또한 다양한 계측 결과를 수집하여 통계 처리를 수행하여 관련 이론 연구 결과와 상호 비교 분석을 실시할 것이다. 그리고 향후 다목적 계측시스템을 보다 확장하여 외력 요소들을 자동적으로 계측 가능한 외력 분석 시스템은 물론 선박 DB 시스템과 연동하여 종합 안전성 평가시스템을 구축 할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 공길영, 이상민, 김철승 (2004), "선박 탑재형 내항성능 평가시스템 개발(I)", 한국항해항만학회지, 제28권, 제1호, pp.1~8.
- [2] 공길영 (2001), "선박의 종합내항성능 평가 정보시스템 개발에 관한 연구", 한국항해학회지, 제25권, 제3호, pp.247~256.
- [3] 김세원, 이중우, 국승기, 이윤석 (2005), "부산신항 2-3단계 컨테이너부두(4선석) 민간투자시설 사업 용역 보고서", pp.7-1~7-36.
- [4] 조익순, 이충로, 김순갑 (2000), "선박 탑재용 종합내항성능 평가시스템 개발을 위한 기초적 연구", 한국항해학회지, 제20권, pp.103~111.
- [5] Kubo, M. and Sakakibara, S. (1994), "Evaluation Method for Operation Efficiency of Cargo Handling and Advanced Safety Ship Mooring System", Bulletin of the 28th Permanent International Association of Navigation Congress, pp.99~105.
- [6] Ueda, S. and Shiraishi, S. (1990), "The Allowable Ship Motions for Cargo Handling at Waves, Report of the Port and Research Institute", Japan, Vol. 27, No. 4, pp. 3~61.

원고접수일 : 2005년 10월 10일

원고채택일 : 2005년 12월 27일