

## 

大韓造船學會論文集  
第 31 卷 第 2 號 1994 年 5 月  
Transactions of the Society of  
Naval Architects of Korea  
Vol. 31, No. 2, May 1994

# 속력시운전 데이터 계측 및 분석 시스템 개발

한만철\*

## On the Development of Speed Trial Data Measurement and Processing System

by

Man-Cheol Han \*

### 요 약

본 연구에서는 개인용 컴퓨터와 신호변환기를 사용한 데이터 취득 및 분석 시스템을 개발하였다. 선박의 속력시운전시 계측되는 축마력, 축회전수, 선속등의 데이터는 여러가지 요인에 의해 변동폭이 크기 때문에 시운전이 수행되는 동안의 어느 한 순간의 값을 대표값으로 할 수가 없다. 변동폭이 큰 데이터의 대표값을 얻기 위하여 본 고에서는 이동평균 개념을 도입하였으며 이동평균값이 변하는 추이도 실시간 그래프로 보여준다. 현재는 8 채널 데이터를 동시에 처리할 수 있고, 분석된 데이터의 저장 및 프린트도 가능하다. 프로그램은 윈도우 환경에서 개발되어 사용자의 편리를 도모하고 향후의 확장이 쉽도록 하였다.

개발된 시스템은 속력시운전 뿐만 아니라 다른 분야 - 선박의 조종시험시 주요 데이터의 변하는 추이를 기록, 엔진의 현팅문제의 검사, 진동의 스펙트럼 분석 등 - 에도 유용하며 이들 분야에 대한 실선에서의 적용 예를 보였다.

### Abstract

A data acquisition and processing system, using an IBM PC, an A/D converter, and a printer, has been developed to monitor rapidly and significantly varying signals. The system takes live signals and computes and displays the trend of the moving averages of the signals in real time.

The system has been applied to monitor the shaft horsepower and revolution and the speed of ships for their speed trial. The reliable interpretation of the measured data using moving average can eliminate unnecessary arguments between the owner and yard on the performance of the newly built ships.

Other applications of the system - inspection of engine hunting, providing data for ship maneuvering analysis, vibration data analysis, extending to the ship performance monitoring system - are also demonstrated and discussed.

발표일자 : 1993년도 대한조선학회 추계연구발표회('94.11.12)

접수일자 : 1993년 12월 3일, 재접수일자: 1994년 3월 2일

\* 정회원, 대우조선공업(주)

## 1. 서론

선박의 시운전시 계측되는 데이터중 축마력은 계약보중 사항인 배의 속력과 연료소모율의 산정시 기준이 되므로 선속, 엔진회전수와 함께 정확한 계측이 요구된다. 특히 측정된 값들이 선속 및 연료소모율 보증값의 압계점에 있을 경우에는 계측치의 정밀도와 신뢰도에 대해 선주와 조선공간에 많은 논쟁이 있어 왔다.

일반적으로 알려진 축마력의 계측방법은, 엔진의 Indicator Diagram 이용 (B&W 엔진), 엔진의 Load Indicator 이용 (Sulzer 엔진), 엔진 Shop-Test 결과와 시운전시의 엔진상태를 비교, 그리고 추진축에서 회전수와 토크를 계측하여 축마력을 계산하는 방법 등이 있다. 이들중 축의 회전수와 스트레인 게이지를 사용한 토크를 추진축에서 직접 계측하는 토션미터를 이용하는 방법이 이론적으로나 기술적으로 가장 신뢰성이 있다고 평가되고 있다. 토크는 선박 시운전시 항상 계측해야 하는 비틀림진동 데이터이기도 하다. 선박의 속력의 계측은 예전에는 마일포스트를 사용하였으나 요즘은 전파의 위상차를 이용하는 스피드미터가 사용되고 있다.

그런데 이들 데이터는 주기관 실린더에서의 주기적인 폭발, 프로펠러의 회전, 선체운동이나 파도등 여러가지 요인에 의해 짧은시간 동안에도 일정하지 않고 변동폭이 매우 커지게 된다. 따라서 속력시운전 등 어떤 시험이 수행되는 동안의 축마력, 선속, 엔진회전수 등을 어느 한 순간에 읽은 값으로 대표할 수는 없다고 할 수 있다.

본 연구에서는 개인용 컴퓨터와 계측신호의 변환을 위한 A/D 변환기를 사용한 데이터 취득 및 분석 시스템을 개발하였다. 변동폭이 큰 데이터의 대표값을 얻기 위하여 이동평균 개념을 도입 하였으며 이동평균 값이 변하는 추이를 실시간 그래프로 보여준다. 현재는 8 채널 데이터를 동시에 처리할 수 있고 취득한 데이터의 저장 및 프린트도 가능하다. 선박의 속력시운전 때에는 토션미터와 스피드미터로 부터 축마력, 축회전수 및 선속 신호를 받아 분석 처리를 하였다. 프로그램은 IBM-PC의 윈도우용으로 개발되어 사용자의 편리를 도모하고 향후의 확장이 쉽도록 하였다.

개발된 시스템은 속력시운전 뿐만 아니라 데이터의 계측 및 분석이 필요한 다양한 분야에 응용 될 수 있다. 선박의 선회나 긴급정지등 조종시험 때에 축마력과 선속 등이 변하는 추이를 정확히 알 수 있으며

로 선박의 조종성능 해석에 유용한 데이터를 제공한다. 본고에서는 선박의 선회시 계측된 데이터의 예를 보였다. 엔진의 헌팅문제의 검사와 선박진동의 스펙트럼 분석 등에도 유용하며 실선에서의 적용 예를 보였다. 또한 선박자동화 장비의 하나인 선박성능 모니터링시스템 제작의 기반을 마련했다 할 수 있으며 이에 대한 검토를 하였다.

## 2. 속력시운전 데이터의 특성 및 계측

### 2.1 데이터의 특성

디젤엔진에서 축을 통해 프로펠러로 전달되는 축마력 혹은 축에 작용하는 토크는 여러가지 외부 요인들 때문에 계속적으로 큰 폭으로 변화하게 된다. Fig. 1은 한 예로써 11만톤급 살물선의 속력시운전시에 계측된 축마력, 축회전수 및 선속 데이터를 보여 주고 있다. Fig. 1(a)는 1초 동안의 축마력 데이터의 변화이고, Figs. 1(b)-(d)는 다음 절에서 설명할 각 데이터의 이동평균이 10분 동안 변하는 추이를 보여주고 있다.

Fig. 1(a)에서 변동폭이 큰 사인과 성분은 엔진의 각 실린더에서의 주기적인 폭발에 기인하며 프로펠러의 회전에 의한 고주파 비틀림진동 성분도 섞여 있음을 알 수 있다. Figs. 1(a)와 (b)에서 볼 수 있는 서서히 변하는 저주파 성분의 원인은 선체운동과, 바람, 조류, 파도등의 외부요인, 그리고 엔진의 속력을 제어하는 조속기의 특성, 타의 사용 등 여러가지 요인이 있을 수 있다.

Fig. 1(a)에서 보면 축마력 데이터가 평균은 약 2.5V, 최대와 최소는 각각 2.68V, 2.32V 이므로 변동폭이 평균의 약  $\pm 7\%$  정도가 된다. 환산계수를 고려하면 평균마력은 약 13,000hp 이고 변동폭은 약  $\pm 900\text{hp}$  라고 할 수 있다. 즉 순간의 마력은 읽는 시점에 따라서 이정도의 오차가 생길 수 있다. 실제 시운전시에는 어떤 시험기간 - 속력시운전, Endurance Test 등 - 동안에 마력에 해당하는 전압 값을 여러번 읽어서 이의 평균값을 구하게 되는데 빠르게 변하는 값을 손으로 처리하게 되므로 그 신뢰도가 떨어지게 된다.

Fig. 1(d)는 축마력과 축회전수와 함께 계측된 선속데이터를 보여주고 있다. 그림에 두개의 "I" 로 표시된 구역이 속력시운전을 한 약 4분간 인데 속력이 계속 변하고 있음을 알 수 있다. 따라서 선속데이터도 어떤 순간값을 대표값으로 사용하기는 곤란하다. 참고로 Fig. 1(d)의 속력데이터는 데이터 취득시 전

압레벨을 맞추기 위해서 실제에서 10Konts를 뺀 값이다. 속력데이터가 변하는 가장 큰 이유는 선박의 피칭운동이라고 할 수 있다. 즉 피칭운동이 선속에 더해져 다음장에서 설명할 스피드미터에서 계측하는 전파의 위상차에 영향을 미치게 된다.

따라서 시간에 따른 축마력, 축회전수, 선속의 변화가 빠르고 비교적 크기 때문에, 어떤 순간에 읽은 값을 이들의 대표값으로 하기는 곤란하다. 그러므로 이들 데이터를 추가로 처리할 수 있는 방법의 필요성이 대두된다. 본고에서는 다음장에서 설명할 이동평균을 사용하여 대표값을 구하였다. 축마력은 계약보증 사항인 선속과 연료소모량의 기준이 되는 중요한 데이터이기 때문에 부정확한 데이터의 사용은 선주와 조선소 사이에 논쟁의 불씨가 된다고 할 수 있다.

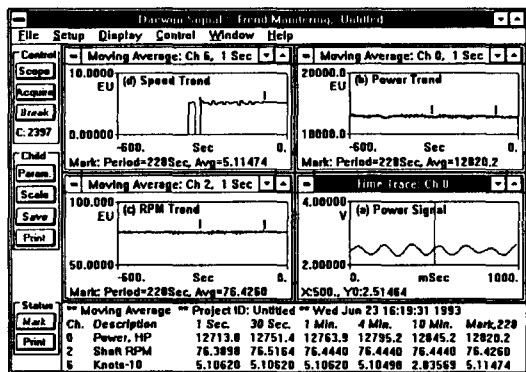


Fig. 1 Real-time monitoring of the shaft power, rpm, and ship speed during the speed-trial of a ship

## 2.2 데이터의 계측

축으로 부터 축마력을 1차로 계측하는 장비는 Autodata 1200A 토션미터 [1]를 사용하였다. Fig. 2는 이 장비의 기능 블록선도를 보여주고 있다. Fig. 2에서 중간 왼쪽 부분은 축에 붙어서 축과 함께 돌아가는 스트레인게이지와 전원공급 및 Modulator 회로로 구성된 회전모듈이다. 그리고 중간 오른쪽 부분은 계측된 데이터의 값을 보여주는 분석기모듈이다. 이들 두 모듈 사이의 전원공급과 계측된 데이터의 전송은 원형안테나를 통해서 이루어진다. 전송된 스트레인 데이터는 분석기모듈에서 토크에 비례하는 전압으로 변환되고, 별도의 채널로 받은 축회전수 데이터를 함께 사용하여 축마력에 비례하는 전압신호를 만들게 된다. 여기서 계측된 토크 데이터는 축의 비

틀림진동을 분석하는데도 쓰이게 된다.

스트레인게이지를 사용하여 토크를 계측하는 원리는 다음과 같다. Fig. 3에서 보면 축에 토크가 작용할 때 축 표면에서는 축방향과 45°를 이루는 방향으로 인장응력이 작용하게 되고 이와 직각 방향으로 압축응력이 작용하게 된다. 따라서 축과 45°로 부착된 4개의 스트레인게이지에서 서로 마주보는 한 쌍은 양(+)의 스트레인이 걸리고 다른 쌍은 음(-)의 스트레인이 걸리게 된다. 그리고 이들 4개의 스트레인게이지로 휘스톤브릿지(Wheatstone Bridge)를 구성 하므로써 작은 스트레인의 변화에도 민감하게 비례하는 전압신호를 얻을 수 있다. 이 신호를 분석기에서 처리하여 토크의 크기에 비례하는 전압신호가 생성된다.

속력시운전시 선속의 계측은 Anritsu사의 Model AS313 스피드미터 [2]를 사용하였다. 이 장비는 지상과 선상에 설치하는 두개의 모듈로 구성 되는데 위상조절된 전파를 사용하여 두 모듈 사이를 왕복한 전파의 위상차를 계측하므로써 선박의 속력 및 직선 항해거리를 알게된다.

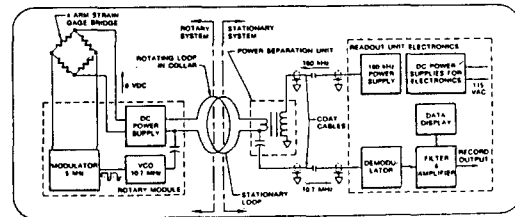


Fig. 2 Block diagram of the Autodata 1200A torsion meter

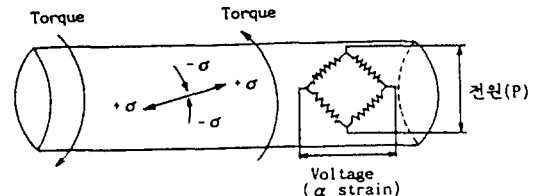


Fig. 3 Torque measurement using strain gauges

## 3. 이동평균

속력시운전시 측정하는 데이터들은 변동폭이 크고 또한 잡음이 섞이게 되므로 순간의 값만을 읽는 것으로는 오차가 크게되며, 어떤 시험기간 동안의 대표값

을 알기 위해서는 평균값을 사용하여야 할 것이다. 그러나 여기서 단순한 평균값을 사용하면 시험기간 동안과 그 전후에 데이터가 변하는 추이에 대해서는 알 수가 없다. 또한 원상태의 데이터는 궤적을 화면에 그리더라도 변동폭이 크기 때문에 그 추이를 파악하기가 어렵게 된다.

따라서 본 계측 분석 시스템의 개발에서는 데이터의 평균값과 추이를 모두 알 수 있는 이동평균(Moving Average)을 사용하였다. Fig. 4에서 보면, 데이터는 시간에 따라 연속적으로 흘러가고 여러 평균주기에 대한 평균값들은 매초마다 정해진 주기만큼의 가장 최근의 데이터를 사용하여 새롭게 계산한다. 즉 이동평균에서는 매 1초마다 가장 오래된 1초 간의 데이터를 버리고 새로 취득한 1초간의 데이터를 추가하여 평균값을 새로 계산하게 된다.

Figs. 1(b)-(d)는 실선시운전에서 이와 같이 계측 처리된 10분 간의 축마력, 축회전수와 선속데이터의 1초 주기 이동평균의 추이를 보여주고 있다. 아울러 Fig. 1의 밑부분의 표에는 1초 부터 10분 까지도 다섯 가지의 평균주기에 대한 현 시점에서의 이동평균 값이 나와있다. 이동평균의 추이는 실시간으로 처리되어 컴퓨터 화면에 그려진다. 따라서 본고에서 사용한 이동평균은 특정 시점의 대표값을 줄 뿐만 아니라 전 시운전 기간을 통하여 주요 데이터를 항상 모니터링 하는데도 사용된다.

한편, 정해진 평균주기 이외에 현장에서 사용자가 시험의 시작과 끝을 지정하여 평균값을 추가로 계산할 수도 있다. 예를들면 Fig. 1의 각 그래프에 표시된 두개씩의 "I" 표시는 각각 속력시운전을 시작한 시점과 끝낸 시점을 나타낸다. 그래프를 보면 이 시간동안 대상선박의 축마력은 12.820hp, 축회전수는 76.4rpm, 선속은 15.2Knots 임을 알 수 있다.

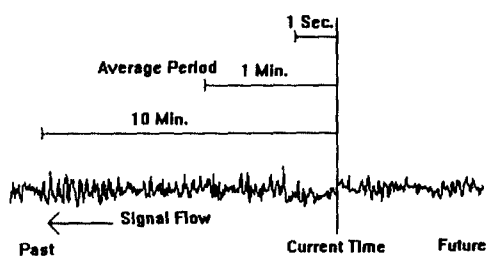


Fig. 4 Moving average of the incoming signal

#### 4. 계측 분석 시스템의 개요

##### 4.1 Hardware 구성

개발된 계측 분석 시스템은 Fig. 5에 보인 바와 같이 개인용 컴퓨터(IBM-PC), Analog to Digital (A/D) 변환기 [3], 프린터의 장비와 A/D변환기를 조종하여 데이터를 받아 처리하는 프로그램으로 구성되어 있다. Fig. 5에서 축마력과 축회전수 데이터는 시운전시 설치되는 토션미터 [1]로 부터 그리고 속력신호는 전파스피드미터 [2]로 부터 얻게된다. 또한 휴대의 편리성을 도모하기 위하여 컴퓨터는 노트북 컴퓨터를 사용하였다. 사용된 A/D 변환기는 8개의 입력단자를 갖고 있고, 최대 샘플링속도는 250KHz, 분해능(Resolution)은 12 bit이며 컴퓨터의 두개의 DMA 채널을 사용하여 연속 데이터 취득이 가능하다.

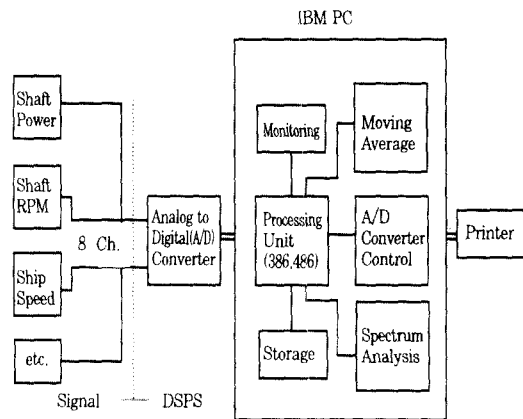


Fig. 5 Block diagram of the developed monitoring system

##### 4.2 프로그램 개요

A/D 변환기를 제어하여 데이터를 취득하고 분석 처리 하는 프로그램 [4][5][6]은 IBM-PC의 윈도우에서 수행되도록 작성되었다.

Fig. 6은 프로그램의 메뉴구조를 보여주고 있다. File 메뉴에서는 데이터의 저장 및 프린트를 한다. Setup 메뉴에서는 데이터 취득과 관련된 각종 변수 - 데이터 갯수, 샘플링 속도, 주파수 범위 등 - 와 데이터 입력채널과 갯수, 전압범위, 단위 환산계수 등을 결정한다. Display 메뉴에서는 취득된 데이터를 그려줄 데이터창을 만든다. Fig. 1의 예에서는 네개의 데이터창을 볼 수 있으나, 이것을 원하는 갯수 만

크 늘리거나 혹은 크기를 바꾸는 것도 쉽게 할 수가 있다.

각 데이터창에서 분석될 데이터의 종류는 Fig. 7과 같은 대화상자(Dialog Box)에서 선택한다. 앞서의 File과 Setup 메뉴에서 필요한 각종 변수들도 모두 이와 같은 대화상자를 통하여 하도록 되어있다. Control 메뉴에는 데이터 취득을 시작하고 끝내는 기능이 있다.

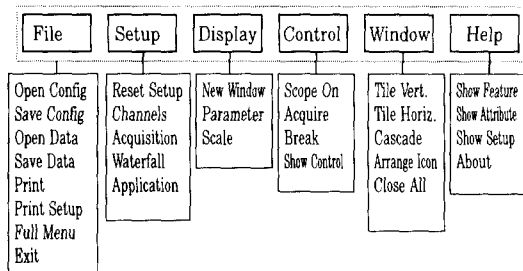


Fig. 6 The structure of the main menu for the monitoring system

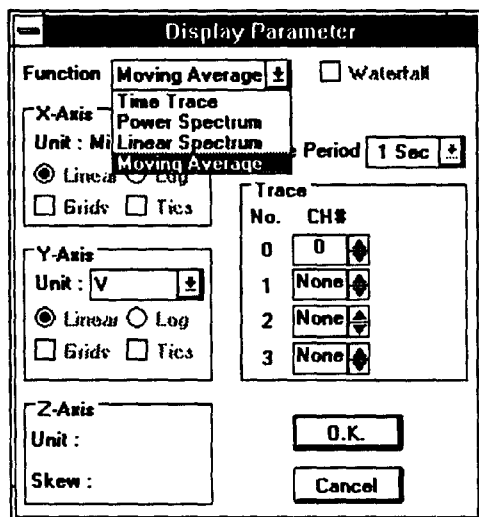


Fig. 7 The dialogbox for selecting display parameters

## 5. 기타 분야에의 응용

### 5.1 조종성능 해석

최근들어 국제해사기구(IMO)에서는 선박의 조종성능 기준을 제정하여 향후 건조되는 선박에 적용하기 위한 준비를 하고 있으며 따라서 선박의 조종성능의 추정에 관한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고

있다.

본 고에서 개발된 시스템은 실선에서 선회, 지그재그, 혹은 긴급정지 후진 등의 조종성능시험이 진행되는 동안 정확한 축마력 및 선속 등의 시간에 따른 변화를 기록해 줌으로써 조종성능 연구에 유용한 자료를 제공할 수 있다. Fig. 8은 예로써 선박의 선회시 계측한 축마력 및 축회전수의 추이를 보여주고 있다. 선회를 하는 동안 축회전수는 약간 불안정은 하였지만 평균적으로는 일정하게 유지되고 있는 반면 축마력은 뚜렷한 감소와 증가후 원 상태로 복귀되는 경향을 보이고 있다. 그리고 시스템의 잉여 입력채널에 조종시험시 선박의 위치(GPS 사용), 방위각 및 자세 등의 데이터도 함께 분석할 수 있다. 실선시운전에서 수집된 이와같은 데이터는 조종성능해석의 검증 등에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

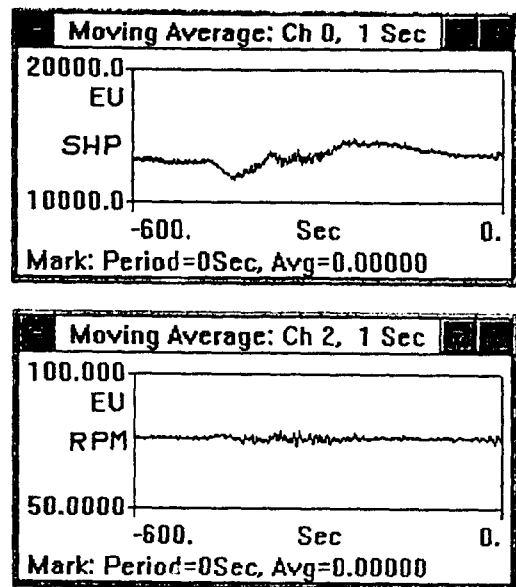


Fig. 8 The trend of the shaft power and revolution while turning of a ship

### 5.2 엔진 헌팅검사

선박의 엔진에서 헌팅(Hunting)은 엔진의 회전수가 일정치 않고 계속 변하고 있는 현상을 말한다. Fig. 9는 한 예로써 실선의 시운전시에 계측된 전형적인 헌팅현상을 보여주고 있다. 즉 축회전수가 매우 빨리 변하고 있으며 최대와 최소 퍼크 때의 회전수가 15rpm 까지 차이가 나고 있음을 알 수 있다.

헌팅은 주로 조속기의 조정이 잘못되어 있을 때 발

생한다. 특히 조속기가 기계식에서 전기유압식으로 바뀌어 가면서 헌팅문제의 발생빈도가 늘었다고 할 수 있다. 헌팅문제의 발견과 조속기의 조정시에 축회전수를 모니터링 하므로써 본고에서 개발된 시스템이 매우 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

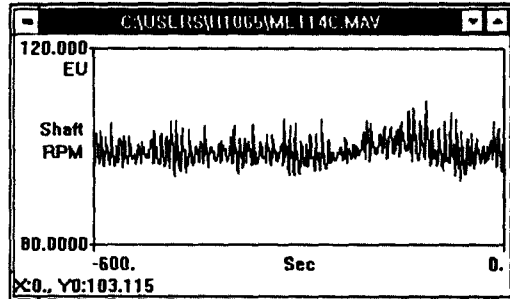


Fig. 9 An example of a hunting problem detected during the sea-trial of a ship

### 5.3 진동의 계측 분석

Fig. 10은 개발된 시스템을 선박진동의 계측 분석에 이용한 예를 보여주고 있다. 이 그림은 시운전시에 선체에서 계측된 진동데이터와 스펙트럼 분석결과를 보여주고 있다. 스펙트럼에서 두개의 큰 피크는 각각 엔진의 실린더차수와 프로펠러의 2차 성분 주파수에 해당한다.

일반적으로 시운전시에 선박진동을 계측 분석하기 위해서는 Recorder, Oscilloscope, Signal Analyser, GPIB Board, PC 등 여러장비와 장비간의 데이터 교환, 결과의 정리 및 보고서 작성 등을 위한 프로그램이 다양하게 필요하다 [7]. 그런데 본고에서 개발된 시스템은 선박진동의 계측 분석을 위한 위의 여러장비와 프로그램들의 기능을 이미 대부분 수행하고 있다고 할 수 있다.

### 5.4 선박성능 모니터링시스템

선박성능 모니터링시스템 [8]은 최적의 선박 운항 조건을 찾기위해 축마력, 선속, 연료소모량, 연료온도 등의 데이터를 실시간으로 계측 분석하는 시스템으로 채택하는 선박이 점차로 늘어나고 있는 추세이다. 엔진성능은 시간 마력당 연료소모량, 선체성능은 시간 마력당 운항거리, 그리고 종합성능은 연료소모량당 운항거리의 지수로 나타낼 수 있다. 이들 지수를 실시간으로 분석 하므로써 최적의 연료온도, 트림, 발라스트 배수량 등을 찾아 경제적인 선박운항을 가능케 한다. 또한 위의 기본적인 데이터 이외에 터

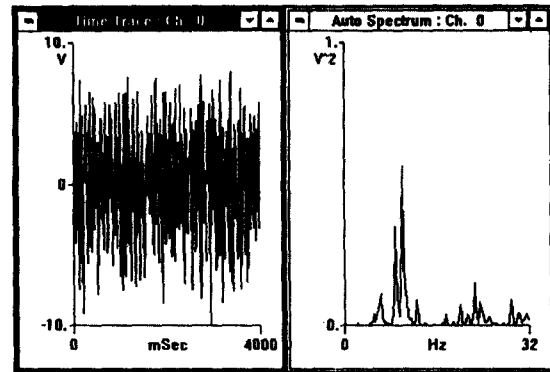


Fig. 10 Spectrum analysis of a vibration signal

빈, 발전기, 보일러, 냉동 플랜트등 에너지를 소모하는 선내의 각종 보조기기들에도 같은 시스템을 적용하는 경우가 증가하고 있다. 본고에서 개발된 시스템은 계측하는 데이터의 이동평균을 실시간 분석 하므로써 순간값을 분석하는 일반 선박성능 모니터링 장비들 보다 더 신뢰성 있는 데이터 분석이 된다고 할 수 있다.

## 6. 결 론

선박의 속력시운전시 계측이 필요한 축마력, 축회전수, 선속 등 변동폭이 크고 빠른 데이터의 이동평균을 실시간으로 계측 분석 하는 시스템을 개발하므로써 데이터의 모니터링 및 속력시운전 수행의 신뢰도를 높였다.

개발된 계측 분석 시스템이 조종성능해석, 엔진의 헌팅검사, 진동의 계측 분석 그리고 선박성능 모니터링 시스템 등에도 유용하게 쓰일 수 있음을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Autodata 1200A Torsion Measurement System: Operation and Service Manual, Acurex Autodata, U.S.A., 1982.
- [2] Instruction Manual for Model AS313A Vessel Speed Measuring System, Anritsu Co., Japan, 1992.
- [3] 1992 Product Handbook: Data Acquisi-

- tion, Data Translation, Inc., U.S.A., 1992.
- [4] 한만철, "Daewoo Signal Processing System 사용자 Manual", 연구보고서, 대우조선공업(주), 1993
- [5] Microsoft Windows Software Development Kit V.3.1: Programmer's Reference, Microsoft Co., U.S.A., 1992.
- [6] Global Lab Data Acquisition Library: User Manual and Application Programming Interface, Data Translation, Inc., U.S.A., 1992.
- [7] 한만철, 김진태, "글로벌 진동 계측 및 처리 자동화를 위한 시스템 개발(I)", 연구보고서, 대우조선공업(주), 1992.
- [8] Chieftain 100: Ship Performance Monitor (Catalog), Shell Seatex.