

# 소형선박용 고속디젤기관의 고장 예측 진단 시스템 연구

## Studies on the Diagnosis System of the High Speed Diesel Engine for the Small Vessels

이기동\*†, 정광교\*, 김원래\*

Ki-Dong Lee\*†, Kwang-Gyo Chung\*, Won-Rae Kim\*

### 요 약

본 연구에서는 소형선박용 고속디젤기관의 고장으로 발생하는 해양사고를 저감하기 위하여 엔진의 상태를 사전에 기관운전자가 알 수 있도록 시스템을 구성하여 기존의 엔진에 이상이 발생하였을 때 가시각경보를 울리는 것보다 한 단계 전에 엔진의 상태를 미리 알 수 있도록 하여, 기관의 고장으로 인한 해양사고 저감에 목표를 두고 과제를 진행하였다. 또한, 대형선박에서 사용하고 있는 고가의 고성능을 발휘하는 고장예측진단시스템은 많이 개발되어 있으나, 영세한 소형어선에 적용할 수 있는 소형의 저렴한 시스템 개발에 최종목표를 두고 1차년도 연구과제를 수행하였다.

※ 핵심용어: 고장진단(Diagnosis System), 해양사고(Marine Casualty), ATmega128

## 1. 서 론

수산업의 장기적인 경기침체로 인하여 어선근무 인력의 노령화 및 전문성 결여 등의 문제가 발생되고, 최근 3년간 발생한 해양사고 1,351건 중 디젤기관의 고장 사고가 362건으로 발생빈도가 가장 높았으며, 기계부품의 재질향상으로 기관의

주요부품(크랭크 축, 실린더 블록, 실린더 라이너, 실린더 커버, 피스톤, 배기터빈 과급기 등)에 대한 사고는 많이 줄어든 반면, 냉각수, 연료유, 윤활유 계통의 각 부위가 디젤기관 사고의 절반을 차지하는 것으로 나타나고 있다.

현재 소형선박에 설치된 경보시스템은 기계장치에 문제가 발생했을 때 경보음 또는 시각적인

\* 선박안전기술공단 기술연구팀

† 논문주저자

신호를 발신하도록 되어 있어, 기계장치의 상태가 어떻게 변하고 있는지에 대하여 전문적인 지식이 없으면 예측하기가 곤란하여, 기계장치에 문제가 생길때까지 방치하여 해양사고로 진행될 우려가 있으므로 사고발생 전 고장이 예측될 때 승선원에 게 조기에 기관상태를 알려줄 수 있는 고장예측진단 시스템의 개발이 필요하다.

대형선박에서 이용되는 고성능의 고장예측 진단시스템은 엔진 메이커 등에 의하여 많이 개발되어 있으나, 가격적인 면이나 시스템의 성능을 고려할 때, 어선원이 쉽게 이용하기에는 어려운 실정이다. 그러므로 냉각수, 연료유, 윤활유 계통을 목표로하여, 저렴하고 사용하기 용이한 소형어선용 고장예측진단 시스템의 개발이 필요하다.

## 2. 연구개발 내용 및 범위

- 고장예측 진단 시스템에 대한 자료조사  
고장예측 진단 시스템의 기술자료를 수집분석하여 적용 가능한 기술자료로 활용하고 고장진단 시스템의 현황을 파악하였다.
- 마이크로 프로세서(AVR 128)를 이용한 고장예측진단 시스템 구성  
rpm, 압력 및 온도센서로부터 출력값을 입력받아 마이크로프로세서를 이용하여 기계장치의 상태를 파악하도록 시스템을 구성하고, 냉각수, 윤활유 및 연료유 계통에 고장발생이 예측될 때, 선박운용자에게 미리 경보를 할 수 있도록 설계하였다.
- 고장 예측진단 소프트웨어 개발  
센서의 출력값을 연산하고 결과 및 alarm 신호를 출력하는 프로그램을 Assembly 언

어로 개발하였다.

- 개발된 시스템의 기능 및 효용성 검증  
시험용 엔진 및 시험 장치에 설치하여 데이터의 입출력 및 시스템의 상태를 계속하였다.

## 3. 고장진단 시스템의 현황

### 3.1 고장예측진단 시스템 이론

#### 3.1.1 전문가 시스템

전문가 시스템은 인공지능 연구분야의 한 분야로서, 전문가가 가지고 있는 지식과 경험들을 컴퓨터 시스템에 입력시켜 지식베이스로 축적하고 사용자의 요구에 의해 추론엔진이 지식베이스를 이용하여 추론을 하고 그 결과를 사용자에게 전해주는 방식이다. 이는 여러 영역의 전문가의 경험과 지식을 체계적으로 컴퓨터에 입력시켜 둬으로써 비전문가들이 전문가를 직접 만나지 않고도 전문가의 지식을 이용할 수 있도록 한다. 구체적인 전문가 시스템의 구조는 필요에 따라 다양하게 조정되지만, 전형적인 구조는 지식베이스, 추론기관, 설명기관, 사용자 인터페이스로 구성되고 각 부분은 아래와 같은 구조를 가진다.

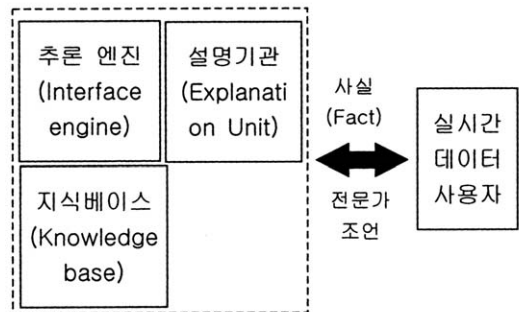


Fig. 1 전문가 시스템 구조

### 3.1.2 상관분석법에 의한 시스템

선박의 이동성으로 인하여 데이터 값들은 같은 부하조건이라도 그 경향은 다르게 나타난다. 즉 덩고 습한 지역이나 춥고 건조한 지역등에서의 운전은 똑같은 부하조건이라도 각종 운전데이터의 경향은 다르게 나타난다. 물론 이동성이 없는 엔진이라도 운전데이터의 경향은 계절이나 날씨와 같이 외적환경변화나 디젤기관내 연소상태 등 내적환경변화에 따라 다르게 나타난다. 또한, 선박의 이동특성 등으로 같은 부하조건이라 하더라도 감시된 데이터의 값이 크게 다르게 나타나는 경우가 많다. 예를 들어 소기 압력이나 과급기의 배기 가스 온도는 부하가 증가함에 따라 높아질 것으로 예상되지만 실제로 그렇지 않은 경우도 발생된다. 이러한 것들은 어느 특정한 조건을 기초로하여 고장진단을 행할 경우에는 내외적인 변화에 따라 오진단을 일으킬 수 있는 요인이 된다.

그러므로 감시된 값들의 상관관계를 파악하여 상호연관성을 정량적으로 표현할 수 있는 방법이 요구되는데, 이러한 상호관계를 나타낼 수 있는 방법이 아래와 같이 표현되는 상관 분석법이다.

$$\rho_{xy} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, -1 \leq \rho_{xy} \leq 1$$

$$\text{단, } Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \cdot$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 = \frac{1}{n-1} (\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\mu_x^2)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2 = \frac{1}{n-1} (\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\mu_y^2)$$

여기서 상관계수  $\rho_{xy}$ 의 값이 클수록 상호연관성이 높은 것으로 판단되어 질 수 있다.

## 3.2 국내·외 개발 현황

현재 선박용 엔진의 운전감시 시스템은 엔진 제작사에 의하여 자사 엔진의 모니터링 및 고장진단을 수행하도록 개발되어 있다. 대형 선박용 엔진을 주로 생산하고 있는 MAN B&W사는 CoCoS-EDS 시스템을 판매하고 있고, Cummins 사는 Insite시스템, Volvo-Penta 사는 PDA를 이용한 Vodia라는 시스템을 개발하여 공급하고 있다. 그러나, 이러한 시스템들을 운영하기 위해서는 컴퓨터 시스템을 기반으로 하여 고장진단 프로그램을 운영하여야 함으로 현재 소형어선의 작업환경 시설수준 및 사용자 환경을 감안할 때 소형어선에서 사용되기에는 현실적으로 많은 어려움이 있다.

### 3.2.1 MAN B&W사의 CoCoS

엔진의 진단기능을 주로 하여 엔진의 상태를 평가할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 자료 로깅기능, 감시기능, 진단 기능으로 구분되어 있다. 엔진의 운전변수를 온라인으로 전송받아 모니터상에서 표현하여 주고 그 측정값을 통해 엔진을 감시하는 기능에 초점을 맞추고 있다. 선박의 특성상 영출력부터 전출력 운전까지의 엔진 특성곡선 감시를 위해 주로 엔진 출력과 RPM 배기압력 및 온도를 상시감시하도록 되어 있다.

### 3.2.2 Cummins사의 Insite

Cummins 사의 Insite 시스템은 PC를 기반으로 하여 엔진에 설치되어 있는 ECM에 저장된 엔진의 운전기록에 Insite 프로그램을 접속하여 엔진의 상태를 점검하도록 되어 있다. Insite 프로그램에서는 엔진의 운전상 문제를 Fault Code로 제

시하고 이 정보가 troubleshooting 정보와 연결 되도록 하여 사용자가 엔진의 문제를 조치할 수 있도록 하고 있다. 또한 엔진의 상태분석을 위한 엔진운전 데이터를 저장하여 제공하고 있으며, ECM의 설정값을 변경할 수 있도록 하고 있다. 그 외에 전기배선도, 센서의 위치도 등의 정보를 제공하여 사용자가 엔진의 전기적 부분을 이해하는데 도움이 되도록 하고 있다.

### 3.2.3. Volvo-Penta 사의 Vodia

Volvo-Penta사에서 개발된 Vodia 시스템은 전문화된 PC 기반의 시스템 대신에 PDA를 이용하여 엔진의 운전 상태를 error code로 확인할 수 있다.

## 4. 해양사고 발생현황

해양사고의 발생현황 조사를 위하여 1997년부터 2006년까지의 지난 10년간 중앙해양안전심판원의 통계자료를 중심으로 사고발생 현황을 살펴보면 다음과 같다.

### 4.1 해양사고 유형별

1997년부터 2006년까지 과거 10년간 해양사고는 총 6,912건 발생하였고 이를 유형별로 보면 기관손상에 의한 해양사고가 25.4%(1,753건)로 가장 많이 발생하였으며, 그 다음으로 충돌 24.4%(1,687건), 좌초 9.5%(658건), 침몰 9.4%(652건) 순으로 발생하여 이들 4개 유형의 사고가 4,750건으로 전체 해양사고 중 68.7%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

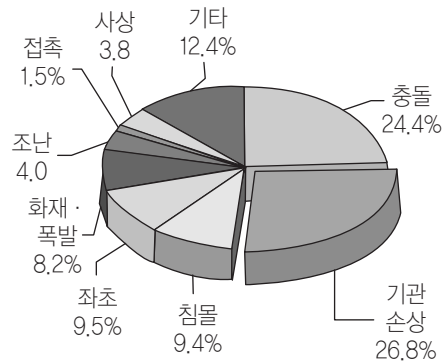


Fig. 2 해양사고 유형별

### 4.2 선박 총톤수별

선박 총톤수별 해양사고 발생현황을 살펴보면 20톤미만급 36.4%(3,245척), 20~100톤급이 35.1%(3,135척), 100~500톤급 10.1%(903척) 순으로 발생하여, 전체 사고척수의 81.6%(7,283척)를 차지하고 있는 500톤급 미만 소형선박에서의 사고가 많이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

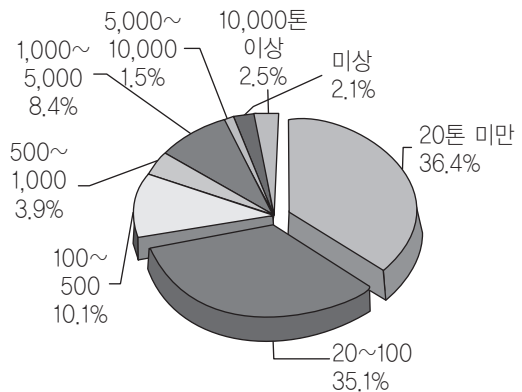


Fig. 3 선박 총톤수별

### 4.3 선박용도별 사고발생 유형

선박의 용도별 · 사고유형별 현황을 살펴보면

모든 용도의 선박에서 충돌 및 기관 손상사고가 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로 침몰, 좌초 및 화재·폭발 등의 순으로 발생하였다. 특히, 사고 선박의 70.9%를 차지하고 있는 어선의 경우는 충돌이 30.7%, 기관손상에 의한 사고가 26.0%를 차지하는 것으로 나타났다.

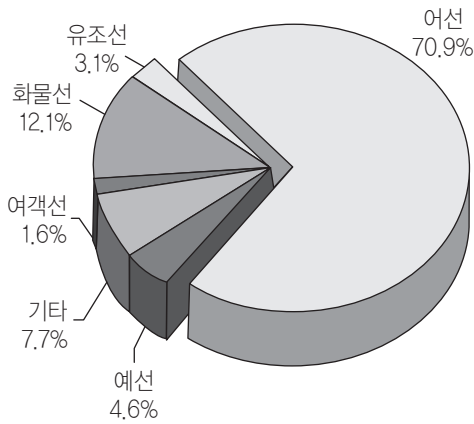


Fig. 4 선도용도별

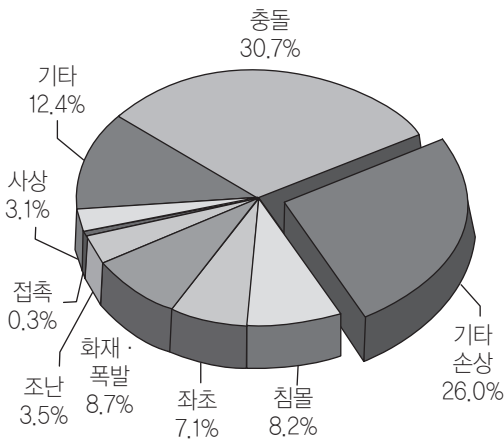


Fig. 5 어선의 해양사고 유형

#### 4.4 해양사고 원인분석

해양사고의 원인은 선원의 운항과실에 의한 사

고가 67.2%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 선박의 정비불량 및 조작미숙이 22.6%, 작업 부주의 등에 의한 사고가 6.3%, 기상 등 불가항력에 의한 사고가 2.1%의 순으로 나타났다.

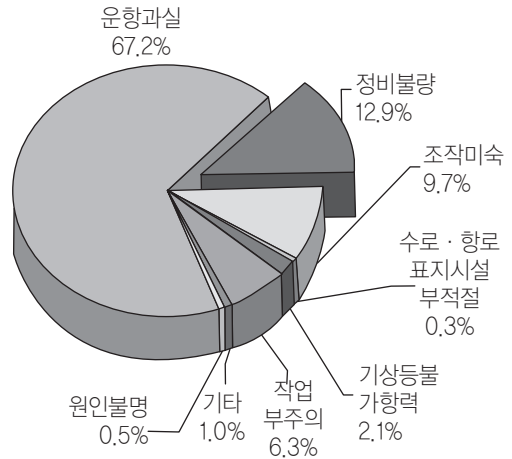


Fig. 6 해양사고 주요원인

앞에서 살펴본 바와 같이 기관고장에 의한 사고가 전체해양사고에 큰 비중을 차지하고 있어, 기관고장 및 정비소홀로 발생하는 사고의 저감을 위한 조치가 필요한 실정이다.

### 5. 계측인자 설정

고장진단 시스템의 구축을 위해 엔진의 상태를 파악하기 위한 센서의 계측위치를 설정하기 위하여, 소형선박용 디젤기관에서 자주 발생하는 사고 부위를 조사하고, 계측인자 설정 시 참고하였다. 기관에서 발생하는 대부분의 사고원인은 기관의 냉각수 계통, 연료유 계통, 윤활유 계통의 보조부분의 결함으로 인하여 발생하는 2차적인 사고형태로 주요현상 및 원인은 다음과 같다.

### 5.1 냉각수 계통

냉각수계통의 사고는 어선의 기관손상사고의 원인 중 가장 높은 부분을 차지하고 있으며, 주요 사고원인은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 냉각수 관리부족과 냉각불량으로 나눌 수 있었다.

첫 번째 냉각수 관리부족의 주요원인은 냉각수를 저급한 부동액이나 부동액 없이 사용하여 냉각수 계통 내부에 기포, 물때, 점식이 발생되어 피스톤 링 마모, 피스톤 굽힘, 밸브 그을림 및 베어링의 부식 등이 발생한다.

두 번째 냉각불량의 주요 사고원인으로는 냉각수 부족, 냉각수 펌프(해수펌프)의 성능저하 등으로 청수냉각기로 해수 공급이 원활하지 못하거나, 과부하 운전 및 청수냉각기의 오손 등을 들 수 있다.

Table 1 냉각수 계통의 주요 사고원인

구분	사고 유형	사고현상	사고원인
냉각수 계통	냉각 불량	· 링마모, 피스톤 굽힘, 베어링 부식 · 열교환기 튜브 내부 막힘과 녹 발생 · 해수펌프 손상 · 냉각수 관장치 누수 · V-BELT 파손	· 냉각수 온도 상승 · 냉각수 지하수 사용 · 부동액 없이 주기 관 사용 · 냉각수 공급부족 · 이물질의 해수흡입구 막음 · 해수흡입구로 이물질 혼입

### 5.2 연료유 계통

연료유 계통에 이물질과 수분은 기관에 상당한 문제를 초래하며, 연료펌프는 연료유자체로 바렐과 플런저에 윤활을 하게 되는데 이러한 수분이나

이물질은 연료펌프 자체의 윤활을 방해하여 연료 펌프 고착이나 연료분사장치의 고착을 유발하는 경우가 많기 때문이다.

Table 2 연료유 계통 사고원인

구분	사고 유형	사고현상	사고원인
연료유 계통	공급 불량	· 연료펌프 및 연료 분사장치 손상 · 연료유 필터 손상	· 연료유 이물질 혼입 · 연료유 수분 혼입

### 5.3 윤활유 계통

윤활유 계통의 사고는 주로 윤활유 펌프 손상, 윤활유 필터 막힘, 파이프 파손에 따른 누유로 인한 윤활공급 불량, 오일 냉각기 튜브 파공, 피스톤 냉각용 윤활유 분사 노즐의 막힘으로 인한 사고가 많았다.

Table 3 윤활유계통의 주요사고현상 및 원인

구분	사고 유형	사고현상	사고원인
윤활유 계통	윤활 부족	· 윤활유 관장치 파손 · 윤활유 펌프 손상 · 윤활유 필터 막힘 · 윤활유 소비량 증가	· 윤활유 공급부족 · 윤활유 이물질 혼입 · 윤활유 냉각수 혼입

### 5.4 계측인자 설정

본 연구에서는 엔진의 감시를 위한 계측인자를 아래 Table 4에서와 같이 압력인자 6가지 온도 인자 4가지, 회전수를 계측하여 시스템의 감시 및 고장예측에 대한 데이터로 활용하고자 한다.



Table 4 계측인자

압력 데이터	냉각수 펌프 입 · 출구 압력
	윤활유 펌프 입 · 출구 압력
	연료유 펌프 입 · 출구 압력
온도 데이터	냉각수 쿨러 입 · 출구 온도
	윤활유 쿨러 입 · 출구 온도
회전수	엔진 RPM

## 6. 시스템 구성

### 6.1 설계개념

시스템 설계개념으로 다음의 7가지를 선정하여 Hardware를 구성하였다.

- 시스템 설계개념
- 냉각수, 연료유, 윤활유 계통의 사고가 절반을 차지
- 센서의 적용은 최소한의 범위로 한정
- 사용 부품은 최대한 저렴한 것을 적용
- 기계적 접점에 의한 단순 Alarm Pannel 배제
- MCU을 이용한 고장 예측진단 기능 개발
- Display는 Graphic LCD를 적용

### 6.2 MCU 선정

Micro Control Unit으로 AVR계열에 속하는 ATmega 128을 선정하였으며 ATmega 128의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- ① 고성능, 저소비전력의 8비트 마이크로콘트롤러이다.

- ② 진보된 RISC 구조를 사용하여 16MHZ에서 평균적으로 16MIPS의 명령처리 속도를 나타낸다.
- ③ 133종의 명령세트를 가지며, 이것들 중 대부분은 1클록 사이클에 실행된다.
- ④ 32개의 범용 레지스터와 많은 I/O제어용 레지스터를 가지고 있다.
- ⑤ 128KB의 ISP방식 프로그램용 플래시 메모리를 가지고 있다.
- ⑥ 4KB의 데이터 저장용 EEPROM을 가지고 있다.
- ⑦ 4KB의 데이터 저장용 SRAM을 가지고 있다.
- ⑧ 외부에 약 60KB의 데이터 메모리를 인터페이스 할 수 있으며, memory-mapped I/O를 가지고 있다.
- ⑨ 6개의 8비트 병렬 I/O포트 및 1개의 5비트 병렬 I/O포트를 가지고 있다.
- ⑩ 2개의 8비트 타이머/카운터와 2개의 16비트 타이머/카운터를 가지고 있다. 이들 타이머/카운터는 2개의 8비트 PWM출력, 6개의 16비트 PWM출력, 출력비교 단자등과 관련되어 동작한다.
- ⑪ 8채널 10비트 A/D컨버터를 가지고 있다.
- ⑫ 2개의 전이중 통신이 가능한 USART 직렬통신 포트를 가지고 있다.
- ⑬ 리셋벡터와 8개의 외부 인터럽트를 포함하여 총35개의 인터럽트 벡터를 가지고 있다.
- ⑭ 64핀 TQFP 또는 64핀 MFLF 패키지가 있다.
- ⑮ ATmega 128은 4.5~5.5V의 전원 전압에서 0~16MHz의 시스템 클록에서 동작한다.

### 6.3 ATmega 128의 외부구조

ATmega 128소자는 64핀의 TQFP패키지가 널리 사용되는데 이것의 외부 구조는 Fig. 7과 같다.

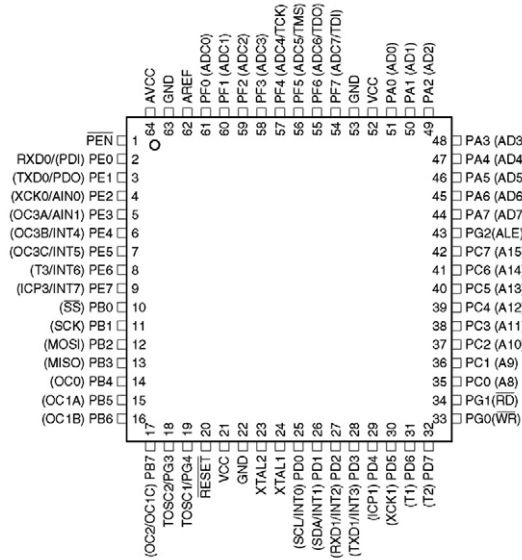


Fig. 7 ATmega 128의 외부구조

### 6.4 시스템 회로 설계 및 제작

Fig. 8은 고장진단 시스템의 마이크로 프로세서 AVR 128과 74LS573의 Latch 및 MAX 232를 이용한 RS232 직렬포트의 회로도이다.

엔진의 각부에 설치되어 있는 센서의 출력값을 PF0~PF7의 AD 컨버터를 통하여 입력을 받도록 설계되어져 있다. 8개의 AD 채널을 통하여 입력된 전압값은 마이크로프로세서에 의하여 연산되고 연산된 결과는 LCD 및 LED 램프 또는 부저로 출력값이 전달되게 된다.

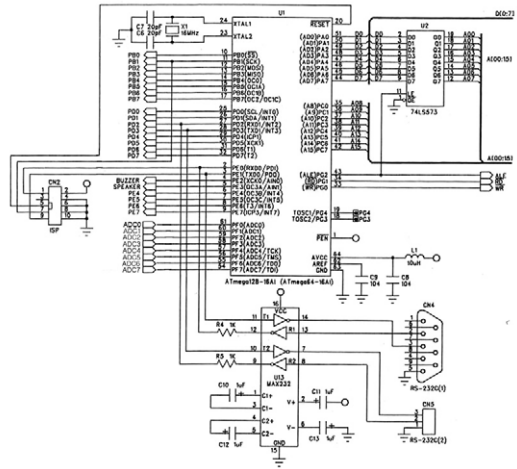


Fig. 8 MCU & RS232C

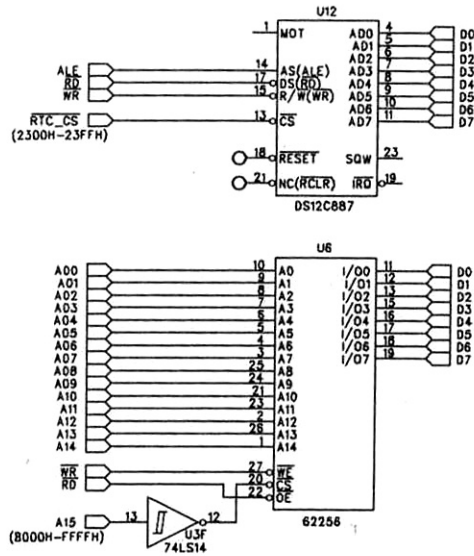


Fig. 9 SRAM & RTC

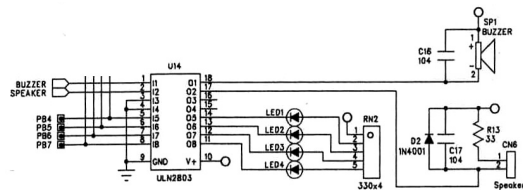


Fig. 10 Alarm 회로



Fig. 9~10은 외부저장 장치 SRAM과 시간 기록을 위한 RTC 및 경보를 위한 회로로서 운전상태에 따른 경보 Lamp 및 Buzzer 계통이다.

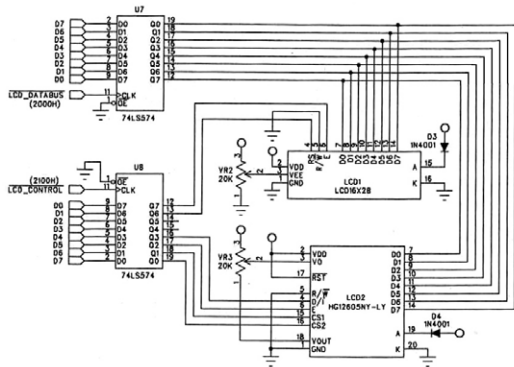


Fig. 11 Text & Graph LCD

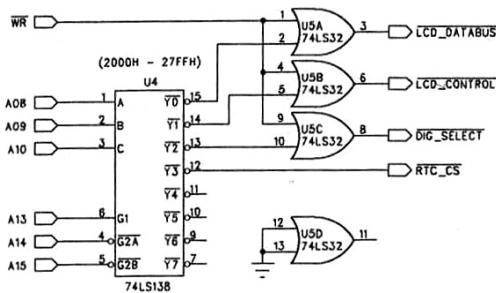


Fig. 12 Decoder

Fig. 11~12는 LCD를 구동하기 위한 회로도이다. 이것은 실선에 탑재하기 위한 것이 아니라 실험용이기 때문에 LCD는 Text용과 Graphic 용의 두가지를 사용할 수 있도록 하였다. LCD의 access를 위하여 74LS138과 74LS32를 이용하여 address decoding을 하였고, 8bit의 data는 buffer 74LS574를 거쳐 LCD로 전송되도록 구성하였다.

위의 회로도를 기본으로 하여 전원회로 및 리셋 회로를 구성하였다. 이 시스템의 기능을 확인하기 위하여 Fig. 13에서와 같이 Bread Board를 이용하여 회로의 이상 유무를 검토하였으며, MCU 부분은 시중에서 구입할 수 있는 KUT-128 MCU 보드를 이용하였다.

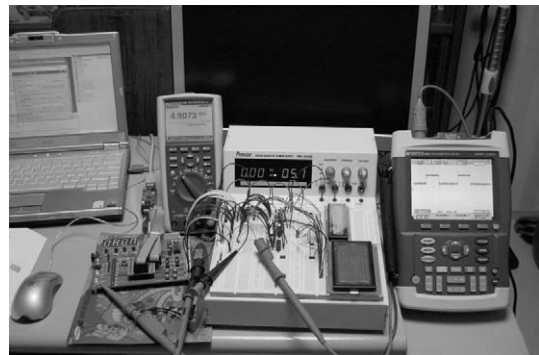


Fig. 13 Bread board 시험

## 6.5 센서

Table 4의 계측인자를 계측하기 위하여 압력 및 온도 센서를 선정하였다. 저가의 시스템을 구성하기 위하여 비교적 값이 싼 자동차용 센서를 이용하였다.

### 6.5.1 온도센서

Fig. 14는 H사의 중형자동차에 사용되는 수온 센서로써 센서내부의 Thermistor는 온도가 올라가면 저항이 감소하고, 온도가 내려가면 저항이 증가되는 부저항 온도계수의 특성을 가지고 있어 Thermistor의 전기적 저항이 변화하면 출력 신호 또한 변화하게 된다.



```
OUT TCNT1H,AL
OUT TCNT1L,AL
```

```
; TCNT2 COUNTER MODE, COUNTING RPM
```

```
LDI AL,0b00000111
OUT TCCR2,AL
LDI AL,0x00
OUT TCNT2,AL
```

```
; -----Initialize OC1A Interrupt-----
```

```
LDI AL,0b00010000
OUT TIMSK,AL
LDI AL,0b00000000
STS ETIMSK,AL
LDI AL,0b00111100
OUT TIFR,AL
LDI AL,0b00000001
STS ETIFR,AL
SEI
```

```
; 생략
```

```
LOOP : RJMP LOOP ; wait interrupt
```

```
; ISR of OC1A
```

```
TIMER1_COMPA:
```

```
; 생략
```

```
LDI LCD_BUFFER,0xC6
CALL LCD_COMMAND

IN LCD_BUFFER,TCNT2
```

```
LDI AL,0x00
OUT TCNT2,AL
LDI AH,0x00
```

```
MOV AL,LCD_BUFFER
CALL LCD_4DEC
```

```
; 생략
```

## 7. 성능 검증

시스템의 A/D 컨버터를 통하여 센서로부터 data를 입력 받아, LCD 모니터, LED 램프 및 부저로 시스템의 상태를 적절히 출력하는 것을 확인하였다.

고장진단 시스템의 성능을 검증하기 위하여, 온도 및 압력의 계측은 실험실의 시험장치를 이용하여 검증하였고, 엔진 rpm 계측의 경우, 실험용 엔진의 크랭크 축단에서 센서를 임시설치하여 rpm의 계측가능 여부를 확인하였다.

## 8. 결 론

본 연구와 관련된 선행연구과제가 우리공단에 서 수행된 바가 없어, 기술수준이 기초적인 단계에 있으나, 고장진단 시스템의 하드웨어설계 및 소프트웨어 개발 원천기술을 본 연구를 통하여 확보하였다. 고가의 고성능을 발휘하는 고장예측 진단시스템은 많이 개발되어 있으나, 본 과제의 주요대상선박이 영세한 소형선박이므로 저가의 소형으로서 기관사고의 예방에 도움을 줄 수 있는 장치개발에 목표를 두고 과제를 진행하였다. 연구의 결과는 추후 실선에 탑재하여 성능을 보완하

고, 우리공단의 주요 업무인 해양안전 및 선박검사에 활용될 수 있도록 지속적인 연구가 필요하며, 통신기능을 추가하여 원격지에서 여러 선박의 엔진을 모니터링 할 수 있는 시스템의 구축도 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- (1) 김영일 외 3명, 통계적분석기법을 이용한 디젤기관의 고장진단 방법에 관한 연구 2005년도 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집
- (2) 천행춘, 유영호 신경회로망을 이용한 디젤기관의 데이터 이상감지 시스템에 관한 연구 2002년 한국선용기관학회지 Vol. 26 No4
- (3) 김영일 외 3명, 상관분석법에 의한 선박기관실 고장진단 시스템 개발 2005년도 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집
- (4) 윤덕용, AVR ATmega128 정복, Ohm 사
- (5) ATmega 128 data sheet
- (6) 백기주 외 2명, 디지털 논리회로와 집적회로 설계, 2008년
- (7) 조용범 외 2명, 실무와 예제를 중심으로 한 OrCAD, 북두출판사, 2005
- (8) 강문상 외3명, 기초 전기전자공학 제6판, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2004년
- (9) 박홍복 외 1명, Lab VIEW 8 그래픽컬 프로그래밍, 2007년
- (10) 현대자동차 NF 쏘나타 정비지침, 2007년
- (11) 현대자동차 NF 쏘나타 전장회로, 2005년
- (12) 장재덕 외 2명, 전자제어엔진공학, 골든 벨
- (13) 박조이 외 2명, 자동차전자제어 엔진 2007년
- (14) 중앙해양안전심판원 해양사고 통계 각년도

이 논문은 선박안전기술공단의 자체연구개발사업으로 이루어진것임을 밝힙니다.