

소형선박용 기적경고신호 수신·경보시스템 개발

문성배† · 오진석* · 전승환** · 양형선*** · 정은석****

(원고접수일 : 2007년 9월 5일, 심사완료일 : 2007년 11월 2일)

Development of Whistle Signal Reception and Alert System for Small Vessel

Serng-Bae Moon† · Jin-Seok Oh* · Seung-Hwan Jun** · Hyoung-Seon Yang*** · Eun-Seok Jeong****

Abstract : In the last 5 years, collisions of fishing vessels have recorded about 54.6% of the total marine accidents. Specially about 64.0% of these collisions were caused by navigator's negligence of watch keeping during works. The purpose of this paper is to develop vessel detecting system that is able to receive the whistle blast of other vessel and make a warning sound and light when the fishermen can not confirm the approaching another vessel on account of fishing works. It is designed to receive the whistle signal blast by a weather tight microphone. The signal is processed by analog active filter in order to enhance the SNR(Signal to noise ratio). And this microprocessor-based system is programmed to do ADC(Analog to digital converting), FFT analysis, controls of warning sound and light.

Key words : Marine accident, Whistle blast, Microphone, Active filter, Microprocessor, Warning sound and light

1. 서 론

최근 5년간 우리나라 연안에서 발생한 선박 충돌 사고 중 어선이 약 54.6%를 차지하였고, 이 중에서 약 64%가 '경계소홀'이 원인인 것으로 나타났다⁽¹⁾. 이것은 소형선박들이 레이더와 같은 첨단 장비를 탑재하고 있더라도 작업 특성상 적절한 경계가 이루어지지 않기 때문이다. 따라서 어선과 같은 소형선박의 충돌사고를 미연에 방지하기 위해서 소형

선의 구조와 작업특성에 적합한 항해안전 보조 장치를 개발할 필요가 있다.

한편 선박에는 자선의 존재 여부를 간단하게 타 선박에 전달할 수 있는 법정 항해장비인 기적이 있다. 그러나 상대 선박과의 거리, 선박주위의 잡음(雜音), 선박구조(선교의 밀폐상태) 등의 여러 가지 원인으로 기적을 청취에 많은 어려움이 따르고 있다⁽²⁾. 국제해사기구(IMO)에서는 선교가 완전히 폐워된 선박에 대하여 타 선박의 음향신호 수신여

† 교신저자(한국해양대학교 항해시스템공학부), E-mail:msbae@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4280

* 한국해양대학교 선박전자계공학부

** 한국해양대학교 항해시스템공학부

*** 목포해양대학교 전임연구원

**** 한국해양대학교 운항훈련원

부와 같은 개략적인 정보만을 제공할 수 있는 음향 수신장치(Sound Reception System)를 의무적으로 탑재하도록 관련 법규를 개정할 바 있다⁽³⁾. 이것은 기적과 같은 장치를 해양사고의 방지에 필요한 중요한 항해장비로 간주하여 그것에 대한 활용도를 높이기 위한 조치라 할 수 있다. 그러나 '음향수신장치'는 선교가 완전히 폐위되지 않은 소형 어선과 같은 선박에는 적용할 수 없다⁽⁴⁾.

어선과 같은 소형선박은 기관실과 선교가 매우 가깝고 갑판에 많은 어로용 동력장치가 운용되는 등 화물선에 비해 열악한 소음환경을 가지고 있다. 이러한 소음환경으로 인해 소형선박에서는 중요한 항해정보인 기적(Whistle)에 대한 활용도가 낮은 실정이다.

이 연구에서는 일정한 가청주파수 대역으로 발신하면서 접근하는 타 선박의 기적음 신호를 소형선박에서 마이크로폰(Microphone)으로 수신하여 신호처리를 함으로써 자동적으로 타 선박의 기적음 취명 사실을 시각과 청각적인 경보 신호로 모든 승선자에게 알릴 수 있는 시스템을 개발하고자 하는 것이다.

2. 시스템 구성 및 설계

Fig. 1은 이 연구에서 개발한 소형선박용 기적 경고신호 수신·경보 시스템의 전체적인 신호처리 과정 및 구성을 나타낸 것이다. 이 시스템은 크게 신호음 수신부, 아날로그 신호처리부, 소프트웨어 신호처리부 및 표시부로 나눌 수 있다.

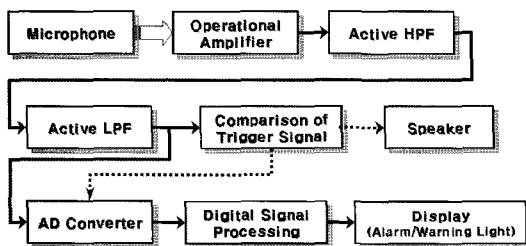


Fig. 1 Signal processing block diagram

2.1 신호음 수신부

마이크로폰(Microphone)인 신호음 수신부는

기적음을 효과적으로 수신하기 위하여 선박의 거주구역이 아닌 외부 갑판에 설치되어 전 방위에서 음향신호를 수신할 수 있어야 하기 때문에 우설(雨雪)과 같은 기상조건에 노출될 수밖에 없다. 이 개발에서는 이와 같은 기상조건을 고려하여 마이크로폰이 내장된 Weather Tight Type의 HDM-020 모델의 수신기를 채택하였다. Fig.2는 이 수신기의 전체적인 모습을 나타낸 것이고, Table 1은 마이크로폰 센서의 특성 및 수신기의 사양을 나타낸 것이다.

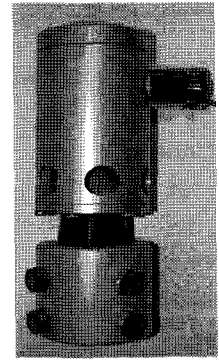


Fig. 2 Microphone

Table 1 Specification of HDM-020

Item	Specification
Type	Dynamic
Input Sensitivity	More than -65dBm
Impedance	600Ω
Frequency Range	60Hz ~ 2.0kHz(-6dB)
IP Grade	IP55
Material	Aluminum
Mounting Type	Pole
Weight	0.9Kg
Dimension	70×230mm(R× H)

2.2 아날로그 신호처리부

2.2.1 증폭기

마이크로폰 출력단의 미세신호를 신호처리에 적절하게 증폭하기 위하여 'LM358'의 연산증폭기를 이용하여 증폭회로를 설계하였다. 1차 증폭기는 약 50dB의 증폭률로 고정하였고, 2차 증폭기는 50kΩ 가변저항을 제환(Feedback)부에 연결하여 시스템 설치장소의 소음환경 및 신호음의 음압에 따라 증폭률을 조정할 수 있도록 하였다. Fig.3은 이 증폭기 회로도를 나타낸 것이다.

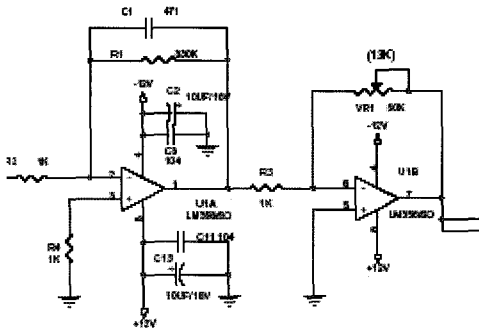


Fig. 3 Circuit diagram of Amplifier

2.2.2 아날로그 필터

증폭된 신호음에는 선박 기계음, 바람 및 파도소리 등의 많은 소음이 혼재하기 때문에 SNR (Signal to noise ratio)을 개선하여 기계음의 탐지성능을 높일 수 있는 아날로그 필터를 설계하였다.

한편 선박기적의 기본주파수 범위 및 최소 음압은 국제충돌예방규칙(International Regulation for Preventing Collisions at Sea)과 선박설비기준에 규정되어 있고, Table 2는 그 성능요건을 나타낸 것이다⁽⁵⁾⁽⁶⁾. 이 연구에서는 기계음의 기본주파수 범위인 70~700Hz를 기준으로 필터의 사양을 결정하였다.

Table 2 Technical details of whistle by regulation

Length of vessel in meters	Limits of fundamental frequency in Hz	1/3rd-octave band level at 1 meter in dB referred to $2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$
200 or more	70 ~ 200	143
75 but less than 200	130 ~ 350	138
20 but less than 75	250 ~ 700	130
less than 20	250 ~ 700	120*, 115**, 111***

* When the measured frequencies lie within the range 180-450Hz
 ** When the measured frequencies lie within the range 450-800Hz
 *** When the measure frequencies lie within the range 800-2100Hz

아날로그 필터는 'LM358'의 연산 증폭기를 이

용하였고, 4차 버터워스(Butterworth) 고역통과필터와 저역통과필터를 설계하였다. 고역통과필터의 통과역주파수(Passband Frequency)는 100Hz, 차단주파수(Cut-off Frequency)는 60Hz로 하였으며 증폭도는 약 13.5dB로 설정하였다. 그리고 저역통과필터의 통과역주파수는 700Hz, 차단주파수는 1kHz로 하였고 증폭도는 약 21.0dB로 설정하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 버터워스 고역통과필터와 저역통과필터의 회로도를 나타낸 것이다.

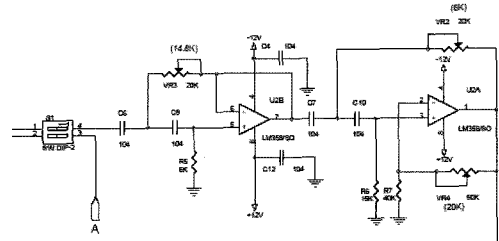


Fig. 4 4-order butterworth HPF

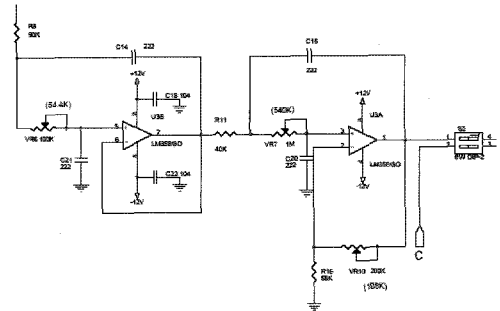


Fig. 5 4-order butterworth LPF

한편 이 연구에서는 선박의 다양한 소음환경을 고려하여 소자에 공급되는 클럭 주파수(Clock Frequency)와 저항값의 변경으로 필터의 특성을 간단하게 조절할 수 있는 고성능 듀얼 스위치드 커패시터 필터(Hight Performance Dual Switched Capacitor Filter)소자인 'LTC1068-50'을 이용하여 고역통과필터와 저역통과필터 회로를 추가로 설계하였다. 이 회로는 증폭회로의 출력단에 설치된 덤 스위치(Dip Switch)를 통하여 분기될 수 있도록 하였다. Fig. 6은 5차 체브셰프(Chebyshev) 고역통과필터의 주파수응답 특성을 나타낸 것으로서, 통과역 주파수는 100Hz, 차단주

파수는 60Hz, 저지역 감쇠율은 약 24dB이며 통과역 맥동(Ripple)은 0.1dB로 설정하였다. 그리고 이 필터소자에 입력되는 클럭 주파수는 5.0kHz로 하였다. Fig. 7은 8차 체브체프 저역통과필터의 주파수응답 특성을 나타낸 것으로서, 통과역주파수는 700Hz, 차단주파수는 1kHz, 저지역 감쇠율은 약 24.8dB로 설정하였으며 클럭 주파수는 8.2kHz로 하였다.

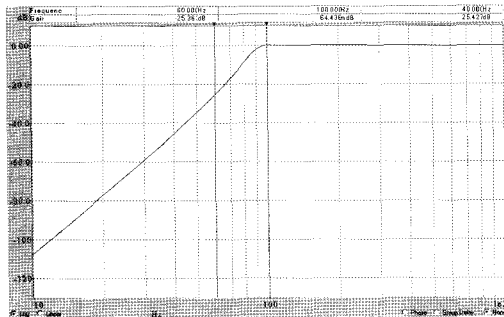


Fig. 6 Frequency response of 5-order chebyshev HPF

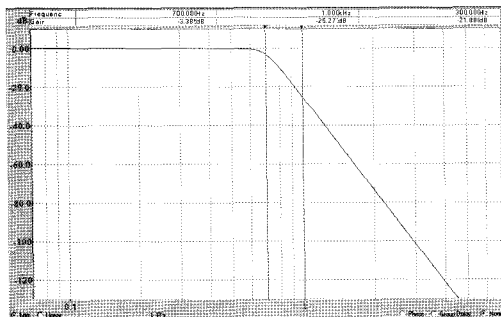


Fig. 7 Frequency response of 8-order chebyshev LPF

2.2.3 슈미트(Schmitt) 및 리미터(Limiter)회로
아날로그 필터로 처리된 신호에 어떤 임계값 이상의 신호가 포함되었을 때 AD변환, 데이터의 저장 등의 소프트웨어처리부 수행에 필요한 트리거(Trigger) 신호가 발생되어야 한다. 이 연구에서는 잡음에 의한 오동작과채터링(Chattering) 발생을 감소시킬 수 있는 슈미트(히스테리시스)회로를 트리거 발생회로로 설계하였다^[7]. 슈미트회로 출력신호가 입력된 마이크로 컨트롤러의 AD변환 단자의 입력범위는 0.0~+5.0V이지만 슈미트회로의 출력전압의 범위는 약 ±11V이기 때문에 리미터

회로를 추가로 연결하였다. 이 리미터회로의 출력단 전압 범위는 0.0~+4.5V가 되도록 설계하였다. Fig. 8은 설계된 슈미트회로와 리미터회로를 나타낸 것이다.

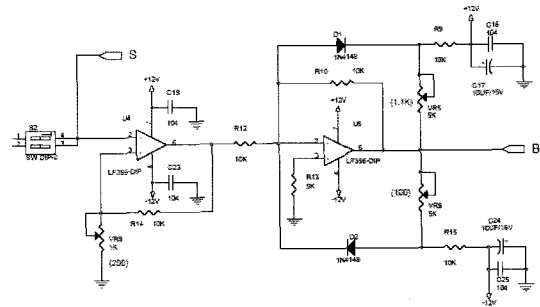


Fig. 8 Schmitt and limiter circuit diagram

2.3 소프트웨어 신호처리부

소프트웨어 신호처리부에서는 마이크로 컨트롤러를 기반으로 AD변환, 기적음 수신여부 결정 및 표시장치를 제어한다.

2.3.1 마이크로 컨트롤러

마이크로 컨트롤러로는 사용이 간편하고 프로그램 및 제어가 용이하며 어셈블리어가 아닌 BASIC 언어로 구동되는 'COMFILE Technology'사의 PICBASIC CPU모듈을 채택하였다. 이것은 프로그램을 프로세서에 기록하는 롬라이터(ROM Writer) 또는 에뮬레이터(Emulator)를 사용하지 않고 컴퓨터의 병렬포트 또는 USB포트를 통하여 직접 기록할 수 있는 특징을 가지고 있다. Table 3은 이 모듈의 주요 사양을 나타낸 것이다.

이 개발에서는 마이크로 컨트롤러의 6개 단자를 이용하였다. 먼저 1번 단자에는 약 5V의 마이크로 컨트롤러의 구동전류가 공급되도록 하였고, 2번 단자에는 초기화(Reset) 버튼을 통하여 약 5V의 전압을 공급하여 마이크로 컨트롤러를 초기 설정상태로 변경할 수 있도록 하였다. 또한 4번과 5번 단자는 아날로그 신호처리부로부터의 신호를 디지털 값으로 변환하기 위한 AD채널로서 4번에서는 리미터회로의 출력단 신호를, 5번은 아날로그 필터회로의 출력단 신호를 AD변환하도록 설계하였다. 11

번 단자는 수신된 음향신호가 기적음으로 판별되었을 때 외부 경보장치를 작동시키는 제어신호를 출력하는 DA채널에 해당한다. 이 경보장치를 작동시키는 High(DC 5V)신호는 일정 시간이 경과하면 Low로 출력되도록 프로그래밍하였다. 그리고 12번 단자는 마이크로 컨트롤러의 운용 상태를 나타내기 위한 것이다. 즉 4번 단자에서의 트리거(Trigger) 이벤트가 발생하기 전에는 시스템이 대기모드(Standby mode)임을 나타내도록 High신호를 출력하여 LED가 점등되도록 하였고, 트리거 이벤트가 발생하면 Low신호를 출력하여 LED를 소등되도록 프로그래밍하였다. Fig. 9는 마이크로 컨트롤러의 입력과 출력단자의 인터페이스 회로를 나타낸 것이다.

Table 3 Specification of PBM-R1 CPU module

Item	내 용
Main processor	PIC16F877
Oscillation frequency	20MHz
Program memory	32K byte
Data memory	8K byte
EEPROM	8K byte
PIN	40pin, DIP Type
AD Converter	10bit, 8 Ch.
DA Converter	8bit, 16 Ch.
Communication	RS232C, 10bit PWM port
VDD Voltage	4.5V - 5.5V
Current Consumption	50mA
Source current of port	25mA
Sink current of port	25mA
Max. current of VSS	300mA
Max. current of VDD	250mA

2.3.2 연산처리부

연산처리부에서는 디지털 데이터로 변환된 신호의 기적음 여부를 판별하게 된다. 마이크로 컨트롤러 4번 단자를 통하여 변환된 이산신호 값과 임계값을 계속 비교하게 된다. 그리고 임계값보다 큰 값이 입력되면 4번과 5번 단자에서 각각 2Kbyte씩 AD변환이 이루어지고 데이터 메모리에 기록되도록 하였다.

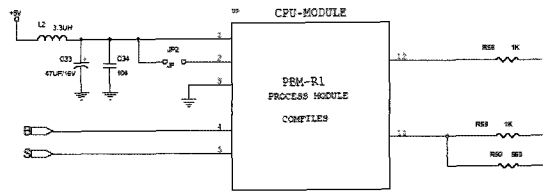


Fig. 9 Interface circuit of micro-controller

먼저 4번 단자의 데이터는 레벨 교차율(Level Crossing Rate) 프로시저를 통하여 1차적으로 기적음 여부를 판별하는데 이용하였다. 이 프로시저의 기준 레벨은 DC 3.0V에 해당하는 정수값으로 설정하였고, 기적음의 중심주파수 대역을 고려하여 전체 관측 영역에서 140~1,400회의 교차가 발생하면 기적음으로 간주하도록 하였다. 그리고 5번 단자에서 변환된 데이터는 FFT(Fast fourier transform)분석을 통하여 신호음의 중심주파수를 연산하여 기적음 여부를 판별하도록 하였다. 그리고 레벨 교차율과 FFT분석에서 모두 기적음으로 판별될 경우만 기적음이 수신된 것으로 간주하고 경보신호를 발신하도록 프로그래밍 하였다.

2.4 표시부

표시부는 타 선박이 발신하는 기적음이 검출되었을 때 승무원에게 그 사실을 시각과 청각적인 방법으로 알려주는 경보장치라 할 수 있다. Fig. 10은 이 장치의 전체적인 모습을 나타낸 것으로서 어선과 같은 소형 선박의 작업 특성상 노천갑판에 설치되기 때문에 수밀구조를 가지는 것으로 하였다. 그리고 Table 4는 이 경보장치의 주요사양을 나타낸 것이다.

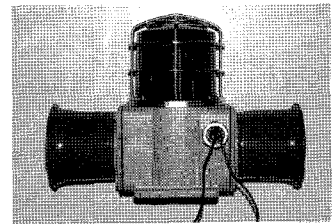


Fig. 10 Warning system

경보장치의 제어는 마이크로 컨트롤러의 DA채널 포트를 통하여 이루어지게 된다. 이 제어신호는 DC 5.0V, 약 25.0mA이기 때문에 고전압, 고전류의 경보장치를 직접 작동시킬 수 없다. 따라서

‘PC817’ 포토커플러(Photo-coupler)와 릴레이(Relay) 소자를 이용하여 제어회로를 설계하였다. 릴레이 코일의 구동 전압은 아날로그 신호처리부의 공급전원인 DC 12V로 하였다.

Table 4 Specification of warning system

Item	Specification
Input Voltage	DC24V
Light Current(Max.)	0.5A
Phone Current(Max.)	1.4A
Bulb	24V, 15W
Volume	113dB × 2
Built-in Sound	5 alarms

3. 시스템 제작

Fig. 11은 이 연구에서 제작한 소형선박용 기적경고신호 수신·경보시스템의 PCB(Print-circuit board)를 나타낸 것으로서 뒷면에 마이크로 컨트롤러가 장착될 수 있도록 구현하였다. 그리고 Fig. 12는 이 시제품의 케이스에 PCB가 장착된 모습을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 13(a)는 시스템 케이스의 전면패널(Panel)의 모습을 나타낸 것으로 전원스위치, 마이크로폰 신호 입력단자, 리셋버튼 및 3개의 LED로 구성되어 있다. 여기서 리셋버튼은 PBM-R1 마이크로 컨트롤러의 2번 리셋단자와 연결되어 있어서 컨트롤러의 시스템을 초기화하는데 사용된다. 그리고 3개의 LED는 이 시스템의 작동상태를 표시하는 것으로서 전원상태와 시스템의 모드를 나타내도록 하였다. Fig. 13(b)는 뒷면 패널의 모습으로서, AC전원 입력단자, 퓨즈(Fuse) 및 경보장치의 DC전원 공급 단자로 구성하였다.

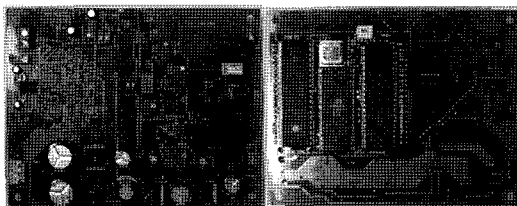


Fig. 11 Front and back side of main board

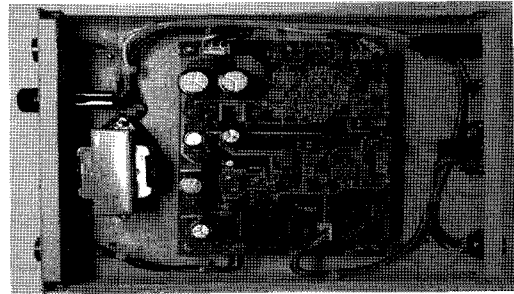
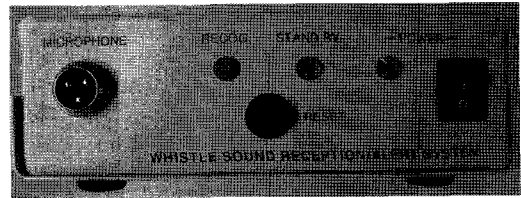
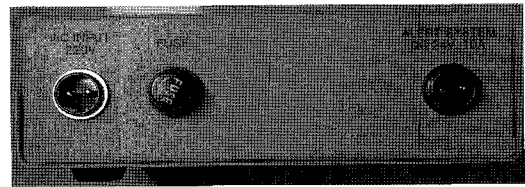


Fig. 12 Inner view of main module



(a) front panel



(b) rear panel

Fig. 13 Design of front and rear panels

4. 실험 및 결과

소형선박용 기적경고신호 수신·경보시스템의 측정 성능을 검증하기 위하여 선박에 시스템을 탑재하여 실험을 수행하였다. 실험 여건상 해상을 항해하는 화물선을 이용하기에는 여러 가지 어려움이 따라 이 연구에서는 총톤수 3,500톤의 실습선 1척과 총톤수 12톤의 연락선 '동해3호'를 이용하였다. 실습선은 한국해양대학교 부두에 접안된 상태에서 선박 전단부에 설치된 공기식 기적(Air Horn)으로부터 기적음을 발신하도록 하였다. 이 기적음의 중심 주파수는 131Hz이고, 음압레벨은 138dB (1/3옥타브밴드)이다. '동해3호'에는 이 연구에서 제작한 소형선박용 기적경고신호 수신·경보시스템을 탑재하여 기적음을 수신하고 경보장치가 작동될 수 있도록 하였다.

마이크로폰은 전 방위에서 음향을 수신할 수 있도록 선박의 최상부에 부착하는 것이 적절하지만 실험을 위하여 임차한 선박의 선체구조를 변경하는 것이 곤란하여 수면으로부터 약 2.5m인 선수부에 경보장치와 함께 임시로 설치하였다. 그리고 이 시스템의 본체는 Fig. 14와 같이 조타실에 설치하였다. 실험 당시 약 20kts의 다소 강한 바람이 북동쪽으로부터 불고 있었다.

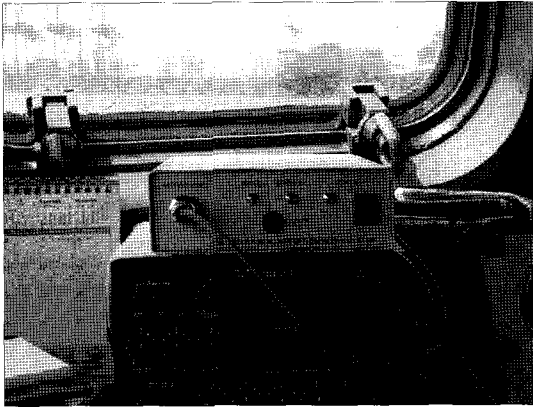


Fig. 14 Installed main module in wheel house of small vessel

실선실험은 Fig. 15에서와 같이 부산 북항의 '감만부두'와 '한국해양대학교 부두' 사이 해상에서 수행하였다. 이 시스템을 탑재한 '동해3호'는 '감만부두' 앞의 A지점에서부터 출발하여 약 1.5해리 떨어져 있는 B지점의 실습선까지 항해하면서 실습선에서 취명되는 기적음을 수신하도록 하였다.

실습선의 기적은 약 138dB의 매우 높은 레벨의 음향신호를 취명하기 때문에 실습선이 접안된 상태에서 자주 기적을 취명하는 것은 실습선 주변에 큰 소음을 발생시킬 뿐만 아니라 항만내 선박교통에 방해가 될 수 있다. 따라서 이 실험에서는 기적음을 5회 약 2분간의 시간 간격을 두고 취명하여 실험을 수행하였다.

실험결과 이 시스템은 정확하게 기적음을 수신하여 시청각적인 경보신호인 경보음을 발신하였고 경광등을 작동시키는 것을 확인할 수 있었다.

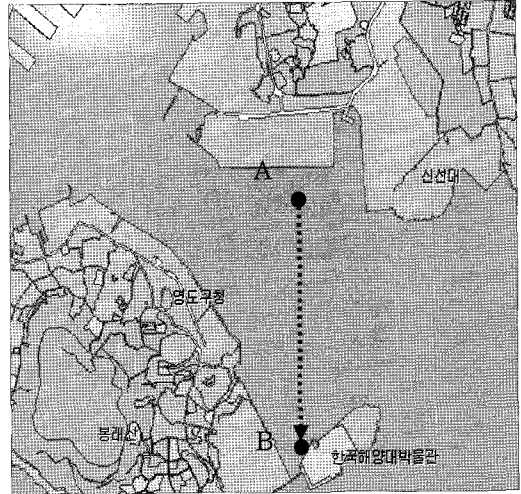


Fig. 15 Performance evaluating test conducted area of Busan port

5. 결 론

이 연구개발에서는 '소형선박용 기적경고신호 수신/경보시스템'이 탑재될 소형선박의 소음환경 및 특성과 기적음의 중심주파수 등을 고려하여 최적의 신호처리계를 설계하였고 시제품을 제작하였다. 그리고 해상실선 테스트를 통하여 이 시스템은 타 선박의 기적음이 취명될 경우 경보시스템이 작동되는 것을 확인하였다.

결론적으로 이 시스템은 어선과 같은 소형선박이 어로작업 등으로 주위에 대한 경계가 어려울 때, 기적을 취명하면서 접근하는 타 선박의 존재 여부를 승무원에게 즉시 시청각적인 방법으로 제공할 수 있기 때문에 해상에서의 선박안전에 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

향후 과제로서 실제 소형선박의 갑판에서 여러 가지 작업이 수행되어 다양한 소음환경에 이 시스템이 노출될 때 그 측정 성능을 검증하고 신호처리계를 보완해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 해양안전심판원, "해양사고통계", 2007.
- [2] S. B. Moon, "Performance Enhancement

of Whistle Sound Source Tracking Algorithm using Time-Scale Filter Based on Wavelet Transform”, International Journal of Navigation and Port Research, Vol.28, No.2, pp.135-136, 2004.

- [3] 구자윤, “새로운 항해장비의 국제적 동향과 IMO 탑재요건”, 한국항해학회지, 제24권, 제4호, pp.320-325, 2000.
- [4] 신철호, “새로운 첨단기기의 도입에 따른 전자항해시스템 교육요목의 설정 방안”, 해양환경안전학회지, 제9권, 제2호, pp.24-25, 2003.
- [5] International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972, Annex III, Technical Details of Sound Signal Appliances.
- [6] 해양수산부고시 제2004-23호, 제89조(기적등), 제2항
- [7] 백주기, 장홍주, “OP-Amp를 이용한 디지털전자회로 설계와 응용실험”, 성안당, 2005.



전승환(田承桓)

1958년생, 1981년 한국해양대학교 항해학과 졸업, 1983년 한국해양대학교 대학원 항해학과 졸업(공학석사), 1994년 동경공업대학 대학원 제어시스템공학과 졸업(공학박사), 현재 한국해양대학교 항해시스템공학부 교수



양형선(梁亨善)

1970년생, 1992년 한국해양대학교 항해학과 졸업, 1999년 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과 졸업(공학석사), 2005년 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 졸업(공학박사), 현재 목포해양대학교 마린시뮬레이션 전임연구원



정은석(鄭殷石)

1967년생, 1990년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 2007년 부경대학교 기계공학부 지능기계전공 박사수료, 2002년-현재 한국해양대학교 운항훈련원 조교수

저 자 소 개



문성배(文聲培)

1968년생, 1991년 한국해양대학교 항해학과 졸업, 1998년 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 졸업(공학석사), 2002년 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 졸업(공학박사), 현재 한국해양대학교 항해시스템공학부 조교수



오진석(吳珍錫)

1960년생. 한국해양대 졸업.공학박사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 조교수. 1996년~현재 한국해양대 교수. 2002년~현재 산학연컨소시엄사업단장. 2003년~2006 영국 K.O.Tech consultant, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장