

---

# 초계함용 HMS(Hull Mount Sonar)를 이용한 어뢰방어시스템 연구

김희언\* · 김영길\*\*

Torpedo defense system research using  
HMS(Hull Mount Sonar) of PCC(Patrol Combat Corvette)

Hee-earn Kim\* · young-kil Kim\*\*

---

본 연구는 해군 전력증강 사업으로 진행 된 연구 과제로서, 과제 완수를 위하여  
지원하여 주신 관계부처에 감사드립니다.

---

## 요 약

초계함(천안함급)에 탑재 된 HMS(Hull Mount Sonar) 장비는 능동모드에 적합하도록 설계 되어 있다. 이에 센서 및 시스템 특성이 어뢰 탐지 주파수 대역에 적당하도록 구성되어 있지는 않다. 이에 초계함에 장착 된 기존 HMS 장비를 이용한 어뢰탐지 기능 구현을 위하여, 초계함 함 별 입력 특성을 분석하고, 입력 주파수 신호에 대한 역보상 회로 설계, 입력 신호 크기에 따른 AGC(Auto Gain Control) 기능 구현 및 함별 신호특성에 따른 대역설정 기능을 통하여 함정 별 특성 및 운용환경 특성에 맞는 어뢰방어시스템을 구현하였다.

## ABSTRACT

HMS(Hull Mount Sonar) equipment mounted on PCC(Patrol Combat Corvette) is suitably designed for active mode, and the specific character of sensor or system is not appropriate for the frequency range to detect a torpedo. In this article, in order to implement the function of detecting torpedoes with HMS of existing PCC, I will analyze the feature of input signals each PCCs and design a circuit to compensate reversly for the input signal in certain frequency. And also, I will suggest the most adequate torpedo defense system suitable for the special operating environment and the charateristic of naval vessels, implementing functions such as AGC of input signal and fixing the frequency range of different input signals per different warships.

## 키워드

어뢰음향대항체계, 선체부착형고정소나, 필터, 자동이득조정

## Key word

TACM(Torpedo Acoustic Counter Measure), HMS(Hull Mount Sonar), Filter, AGC(Auto Gain Control)

---

\* 정회원 : LIG넥스원  
\*\* 종신회원 : 아주대학교 (교신저자, ykkim@ajou.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 23  
심사완료일자 : 2012. 06. 06

## I. 서론

Sonar를 이용한 어뢰음향 대항체계는 센서로부터 신호를 측정하여 수신된 데이터에 대하여 주파수 특성을 확인하여 어뢰신호인지 확인하고 경보하는 기능을 가지고 있다. 이러한 이유로 어뢰음향 대항체계의 경우 수동 기능의 소나를 사용한다.

북한의 어뢰공격으로 침몰한 천안함급 함정인 초계함에는 능동소나 장비로 구성된 HMS (Hull mount sonar) 장비가 탑재되어 있다. 따라서, 시스템이 능동 송신 주파수에 적합하도록 설계 되어 있으며, 이는 어뢰 탐지 주파수 대역과는 상이하어 어뢰 경보 시스템에는 적합하지 않은 부분이 있다.

천안함 사태 이후 함의 생존성을 높이기 위하여 어뢰 대항 체계에 대한 요구가 높아지게 되었으며, 기존 센서 시스템을 가지고 어뢰방어체계를 설계하도록 요구사항이 발생하게 되었다. 이에 기존 함에 장착된 장비의 특성을 분석하여 어뢰 음향대항체계의 신호처리가 적절하게 동작될 수 있도록 시스템을 구성하는데 연구의 목적이 있다.

## II. 센서 신호 분석

천안함급 초계함에 장착된 HMS 센서의 경우 주파수 대역이 능동 운용 주파수에 최적화 되도록 설계 되어 있다. 하지만 능동 운용주파수 대역은 어뢰신호 탐지에 사용되는 주파수 대역과는 상이 한 대역을 사용한다.

그림1은 표준 송신기 NICP Model TR-225를 사용하여 함에 장착된 센서 간의 수신응답특성을 측정된 데이터이다. 가로 축이 주파수고 세로 축이 dB값을 표시하고 있으며, 각 측정 주파수별 편차 값을 실선을 통해 표시 하였다. 주파수및 측정 수치는 보안 관계상 생략 하였다. 측정된 신호의 특징은 하위 주파수 영역에서는 센서 수신 특성이 떨어지고 함정의 자체 노이즈 성분이 크게 발생 되는 것을 볼 수 있다. 이런 이유로 하위 주파수에서의 측정값은 함정의 노이즈를 포함하여 측정 되었다.

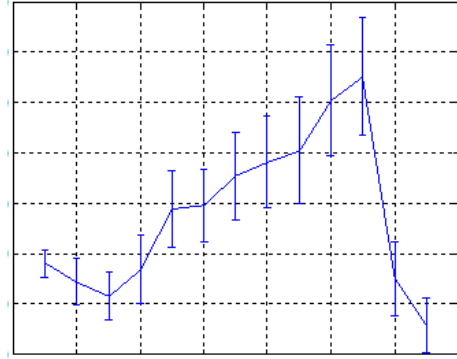


그림 1. HMS 센서 신호 측정결과  
Fig. 1 HMS Sensor measurement

센서에서 입력되는 수신 데이터의 시간영역 파형을 보면 해상상태에 따라 비주기적으로 큰 신호가 입력되어 들어오는 것을 볼 수 있다.

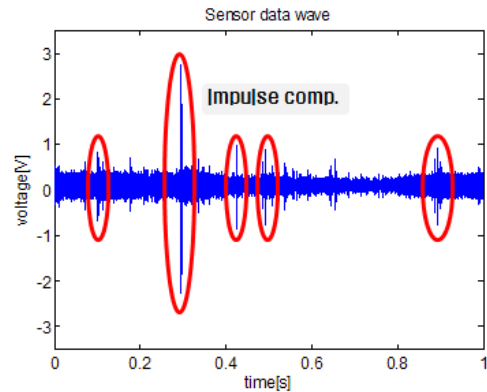


그림 2. 시간영역 입력 신호  
Fig. 2 Input signal in Time domain

또한, 해상 상태에 따라 입력레벨이 변경되며, 외부 신호 및 장비의 입력 조건 등에 따라 30~40dB 이상의 입력신호의 변화가 생기는 것을 볼 수 있다.

HMS 센서에서 입력되는 신호의 경우 입력 신호가 송신 운용 주파수에 적합하게 설계되어 있고, 우리가 필요로 하는 어뢰 탐지 주파수 대역에 대해서는 신호가 감쇄 하는 특성을 보여 주고 있다. 이에, 어뢰탐지 주파수 대역 내에서의 주파수 신호에 대한 출력 크기 편차가

30~40dB 정도의 편차를 나타내 주고 있다. 이는 어뢰 신호 탐지 주파수 대역에서 ADC의 입력 범위에 대한 다이내믹 레인지를 줄이는 역할을 한다. 이렇게 입력신호의 변동폭이 크고 입력 주파수 대역에 대해 주파수간의 편차가 크므로 입력신호 레벨을 결정하는데 어려움이 있다.

또한 HMS 장비는 능동 소나 장비로 능동 신호 발생 시 큰 신호가 발생된다. 일반적인 능동소나 시스템 설계시는 Active 신호 발생 모듈과 연동하여 능동 신호 발생 시점에 맞춰 게인값을 변경하는 TVG(Time variable gain) 방식을 적용하여 송신 구간에서 gain 값을 최소로 하는 시스템을 적용한다. 그러나 여기서 제작하려 하는 시스템의 경우 HMS 장비로부터 송신 신호 발생 구간에 대한 별도의 신호를 받을 수 없도록 구성되어 있다.

이에 어뢰음향 대항체계의 성능을 향상 시킬수 있도록 어뢰탐지 주파수 대역의 주파수 구간 별 보상 회로 설계, 해상상태 및 외부 입력레벨 변화에 따른 AGC(Auto gain control) 시스템 적용, 함 자체 발생 잡음 제거하는 기능 등을 구현 할 필요가 있다.

### III. 입력 필터단 설계

입력 필터단은 가변되는 입력 신호의 크기를 일정한 크기로 증폭하기 위한 가변 증폭단, 신호의 주파수 특성을 보정하기 위한 필터단 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 24bit ADC로 구성된다.



그림 3. 입력단 구성  
Fig. 3 Input circuit diagram

센서의 입력신호를 보면 송신 운용주파수에 적합하도록 설계 되어 있으며, 어뢰음향대항체계에 사용되는 주파수 대역에서는 주파수가 증가함에 따라 큰 신호가 나오는 것을 알 수 있다. 이에, 사용 주파수 대역에서 센서의 주파수에 따른 크기를 일정하게 하기 위한 역보상 회로가 필요하다.

특정 주파수 신호를 인가 하고 측정된 센서 출력 신호

의 출력 특성은 그림 4와 같다. 역보상 회로는 측정된 센서 출력 신호의 기울기를 역으로 보상하는 회로로 구성하였다.

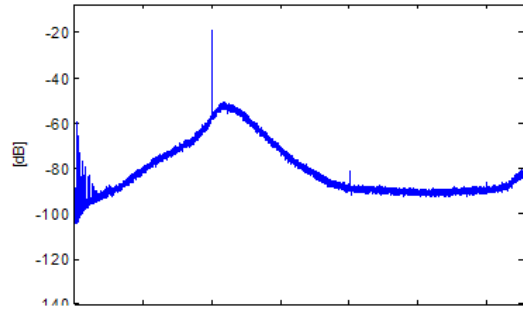


그림 4. 센서 신호 출력 특성  
Fig. 4 Sensor signal output characteristics

역보상 커브를 만들기 위해서는 위상 변위가 적은 Bessel Filter를 적용하였다. 만족스러운 주파수 보상 특성을 얻기 위하여 2차 Low pass filter를 3단으로 구성하였다. 입력신호는 F1 kHz, F2 kHz Low Pass Filter를 넣어 주파수간의 다이내믹 레인지를 얻은 후단에 가변이득기를 넣고 F3 kHz의 LPF를 넣었다. 마지막 F3 LPF는 AD 컨버터의 aliasing filter도 겸하게 하기 위하여 bessel filter가 아닌 bufferworth filter를 사용하였다.

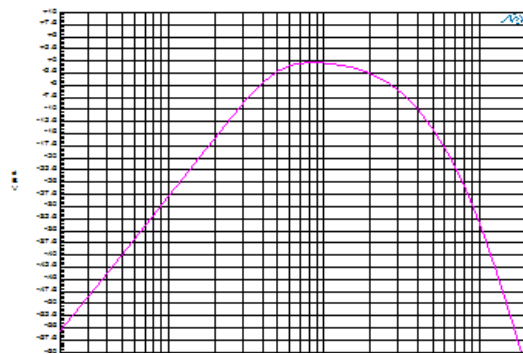


그림 5. 주파수 역보상 회로 주파수 특성  
Fig. 5 Characteristics of Frequency compensator

가변이득회로의 경우 일반적인 VGA 앰프에 많이 사용되는 곱셈기를 이용한 부품의 경우 온도에 따라 감쇄

특성이 달라지는 특성을 갖는다. AD602는 저항값의 변경에 의하여 이득을 가변하는 회로이므로 온도 변화에 따른 성능변화가 적고, 증폭도에 대한 선형성도 우수하며, Full gain 변화에 대해 40dB/μ의 응답특성을 갖는다. 한 개의 AD602에는 40dB의 가변 이득을 갖는 VGA가 2개 내장되어 있어, 이를 직렬 연결시 80dB의 변화가 가능하다. 본 시스템의 경우 입력 가변폭을 고려하여 0.5dB 간격의 gain 스템을 갖고 64dB 변경 범위를 갖는 VGA 시스템이 되도록 적용하였다.

#### IV. Auto Gain Control 설계

HMS 센서에 입력되는 신호의 크기는 해상상태 및 주변 상황에 따라 가변적으로 변경된다.

AGC는 필터단의 ADC값을 입력받아 FPGA를 사용하여 실시간 적용하도록 구성하였다. AGC에서의 Gain 값은 당시의 전체적인 해상 상태나 운항에 따른 함의 잡음 준위 상태에 적응하기 위한 것이지 순간적으로 발생하는 신호에 반응 하도록 구성 되어 있는 것은 아니다. Gain 적용 주기가 너무 빠르거나 Gain의 변화량이 클 경우 신호처리 단에서 환산된 입력 데이터 값이 왜곡 되는 현상을 볼 수 있었다. Gain 적용 주기는 4msec 단위로 0.5dB 값이 변경되도록 하였으며, 4msec 단위로 데이터를 저장 평균 내어 이전 평균 값에 반영하는 방식을 사용하였다. AGC의 알고리즘은 그림 6과 같다.

AGC의 상한 경계값과 하한 경계값은 해상 시험시의 입력데이터 레벨을 측정하여 설정하였다. 해상입력 신호가 비주기적인 임펄스 신호가 입력 되므로 필요한 신호가 왜곡 되지 않는 레벨을 고려하여 선정하였다. FPGA로 구현된 AGC 로직은 ADC의 입력값에 대해 rms 전압값을 산정하여 적용하도록 하였다.

AGC에 적용된 수식은 다음과 같다.

$$V_m(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_m^2(n)}, N=128 (\text{약 } 4\text{msec}),$$

$$m=1, \dots, M(M:\text{채널개수})$$

$$V_{rms}(k) = \max V_m(k)$$

$$\hat{V}_s(k) = \lambda \times \hat{V}_s(k-1) + (1-\lambda) V_s(k), \lambda = 0.5$$

AGC 기능은 각 채널별 rms 값을 추정 후 그중에서 최대값을 추출한다. rms 최대값을 지수 적분하여 누적 rms 값을 산출하여 Gain 값을 적용 하였다. 이 Gain 값은 다음 Gain 값 산정에 영향을 미치는 구조이므로 순간적인 입력의 변화가 아닌 해상 상태의 변화에 따른 Gain 값이 적용 될 수 있도록 하였다.

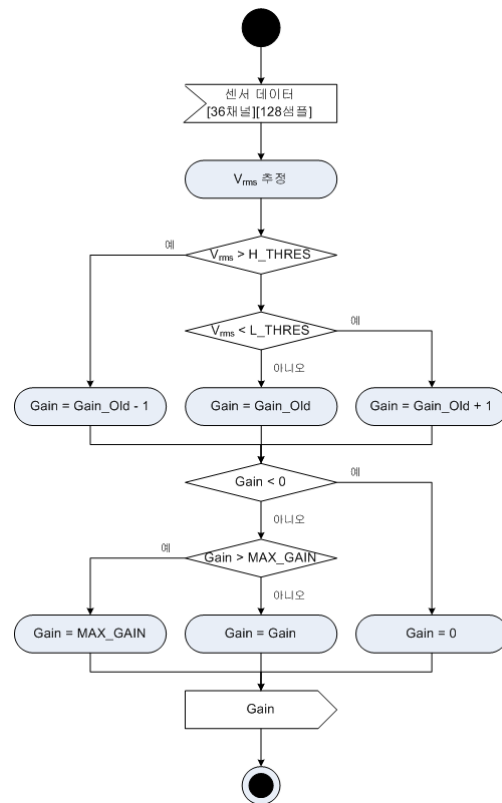


그림 6. AGC 로직 흐름도  
Fig. 6 AGC logic flow diagram

AGC 계산을 위한 FPGA는 Xilinx사의 Virtex-5 계열 FPGA를 사용하였으며 ADC로부터 AD된 데이터를 입력받아 4msec 단위로 128개의 sample 데이터를 입력 받아 계인값이 변경되도록 하였다. FPGA 사용 로직량은 다음과 같다.

표 1. FPGA 자원 사용량  
Table. 1 FPGA resource usage

내용	사용량
Slice Register	2263
LUTs	6788
BUFG/BUFGCTRLs	1
DSP48E1s	2

각 센서의 Gain 적용은 모두 동일하게 적용하며 각 센서별 적용 AGC 게인 값을 산출한 후 최소 gain 값을 적용하여 신호의 왜곡이 발생하지 않도록 하였다.

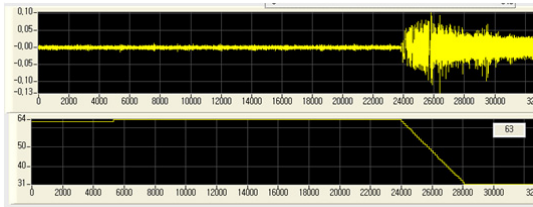


그림 7. AGC 동작 상태  
Fig. 7 AGC operating status

그림7의 상단 그림은 Time 데이터 영역이고 하단은 적용되고 있는 gain 값을 나타내고 있다. 송신 신호와 같은 큰 신호가 발생 되었을 때 입력레벨에 맞추어 gain 값이 변경되어 적용되는 것을 확인할 수 있다.

### V. 자함 소음 제거

초계함의 경우 함의 운항에 따른 자함 소음이 발생하게 된다. 이러한 자함 소음 중 어뢰 탐지 주파수 대역과 같은 대역에서 발생하는 소음은 어뢰탐지 주파수 대역 선택 및 어뢰탐지에 영향을 주게 된다. 다음의 그림은 측정된 자함 소음 성분을 보여 준다.

자함 노이즈 제거 방법은 입력된 데이터에 대해 방위별 빔형성 수행 후 FFT 처리된 주파수 영역에서 수행하였다. 고정적으로 생성되는 자함 신호에 대해 선택하여 해당 잡음 톤과 인접 톤 신호와의 경계점을 확인하여 노이즈 주파수 톤 성분의 가장 작은 신호크기로 해당 자함 노이즈 신호를 마스킹 처리 하였다.

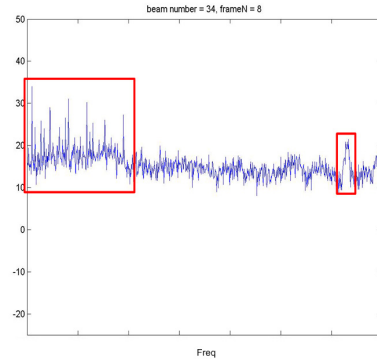


그림 8. 자함 잡음 신호 입력 형상  
Fig. 8 Ship's self-noise signal

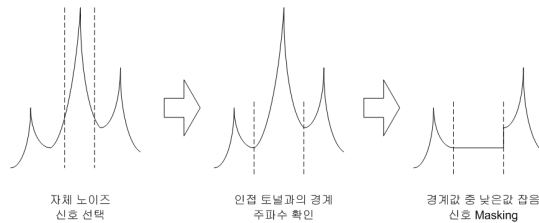


그림 9. 잡음 주파수 제거 절차 개념도  
Fig. 9 Concept of noise frequency removal procedure

### VI. 결론

초계함에 장착된 센서 및 HMS 장비는 장비의 운용 특성 상 능동 주파수에 적합하도록 설계되어 있다. 어뢰방어 성능 향상을 위하여 능동 운용 주파수에 적합하게 구성된 센서 및 HMS 장비의 출력 신호를 어뢰 탐지 주파수에 해당하는 주파수 대역에 적합하도록 변경할 필요가 있다. 사용주파수 대역에 대한 역보상 필터 회로를 설계하여 어뢰 탐지 주파수 대역에서의 주파수 특성을 높게 나타낼 수 있도록 구성하였다.

주변 해상 환경 및 설치 환경에 따른 입력 범위의 변동에 따라 최대 성능을 발휘할 수 있는 신호의 입력 범위를 확보하기 위하여, AGC 로직을 삽입하였다. 또한 타 장비에서 S/W 적으로 처리되던 AGC 로직을 FPGA로 처리하여 Gain 적용에서 발생될수 있는 딜레이를 최소화시킬 수 있었다.

어뢰 탐지는 어뢰와 관련 된 주파수 성분을 확인하여 어뢰를 탐지하는 구조를 가지고 있다. 어뢰경보 시스템의 경우 사용 주파수 대역 범위에서 어뢰 신호 주파수와 비슷한 형태를 가지며 출현하는 자함 노이즈에 의해 장비의 오작동 및 성능 저하가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 어뢰 탐지 주파수 대역 내에서 발생 되어 입력되는 함정 노이즈 및 장비 노이즈 신호를 제거할 필요가 있었다. 이에 고정적으로 발생하는 자함 노이즈 성분에 대해 입력 주파수에서 제외하는 로직을 추가 하여, 고정적으로 자함 노이즈가 발생하는 주파수 대역에 대해서도 어뢰 탐지 주파수 대역으로 사용할 수 있도록 하였다.

이러한 개선의 결과로 실어뢰를 이용한 어뢰 발사 탐지 시험을 수행 시 성공적인 결과를 나타 낼 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 해군 전력증강 사업으로 진행 된 연구 과제로서, 과제 완수를 위하여 지원하여 주신 관계부처에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- [1] A. D. Waite, "SONAR for Practising Engineers", JOHN WILLEY & SONS,LTD, Third Edition, pp. 86-88, 2002.
- [2] 정재훈, "TACM PCC HMS 필터반 개발 완료 보고서", 이오닉코리아, pp. 5-13, 2011.
- [3] ANALOG DEVICES, "Dual, Low Noise, Wideband Variable Gain Amplifiers, AD600/AD602", p. 12, <http://www.analog.com>, Rev.F

#### 저자소개



김희연(hee-aern Kim)

아주대 전자공학과 학사  
아주대 전자공학과 석사  
LIG넥스원 (현재)

※관심분야: SONAR, Embedded system, DSP, FPGA, HMS



김영길(Young-kil Kim)

고려대 전자공학과 학사  
한국과학기술원 석사  
ENST(프랑스) 박사  
아주대 전자공학과 교수(현재)

※관심분야: RFID Platform, Embedded system, 초음파 의료기기, Mobile 의료정보 시스템