

압전 초음파 센서를 이용한 수중통신에 관한 연구

김동현\*, 우형관\*, 황현석\*, 진홍범\*\*, 송준태\*

\*: 성균관대학교, \*\*: 한국전기연구소

A Study on the underwater communication system of ultrasonic transducer

Dong Hyun Kim, Hyoung Gwan Woo, Hyun Suk Hwang, Hong Bum Jin, Joon Tae Song

\*: SungKyunKwan University, \*\*: Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract-** Simple signs were usually exchanged as the means of underwater communications. As people recently need more informations for underwater activities, necessities of underwater communication systems exchanging human voice are increased. The purpose of this paper is understanding the ordinary characteristics of underwater communication and investigating the necessary conditions for a good underwater communication system by making a basic communication module. The experiment is achieved by applying AM(Amplitude Modulation) which is mainly used for the underwater communication systems and using common ultrasonic transducers. Ultrasonic transducers usually have narrow bandwidth for transducing electrical energy to mechanical energy. For improvement of sound reconstruction, transducers need more bandwidth which covers voice's frequency range, and good linearity characteristics in this frequency range. As underwater transmissions have many factors to distort signals, Amplitude Modulation is not a proper way for underwater communications. Using digital signal by sampling human voice should be a good way for this systems, because digital communication simplify transmitting signals.

3) 적합한 통신방식 및 신호처리에 관한 연구

수중 통신기의 적합한 변환자 개발에 관한 연구는 통신 방식과 서로 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이러한 상호 간의 관계때문에 변환자에 대한 연구는 통신방식에 관한 연구와 병행되고 있다. 또한 지향각을 결정하는 변환자의 형상 및 크기도 중요한 연구 대상중에 하나이다.

장비 디자인 및 구조에 관한 연구로는 잠수부들이 착용하고 있는 산소호흡기와 동시에 착용시, 발생이 용이하도록 하기 위한 마스크의 디자인과 송신기와 수신기의 위치 및 형태를 통하여 성능의 향상을 꾀하기 위한 연구가 외국의 수중통신기 제작사를 중심으로 진행중이다.

통신방식 및 신호처리에 관한 연구로는 개발되어진 변환자의 특성과 전파특성에 따른 통신방식과 회로제작에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 세부적으로 살펴보면, 음원복원도를 높이기 위한 신호처리회로의 개발에 관한 연구와 회로의 단순화를 꾀하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 여러사람이 동일 음역을 사용할 수 있게 하기 위한 다채널화등에 관한 연구도 이루어 지고 있다.

현재 수중통신기는 국내에 제작되지 못하고 있으며, 제작에 관한 연구 역시 거의 이루어 지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 상용화되어 있는 초음파센서를 이용하여, 수중통신기의 기본장치를 제작하고 그 일반적 특성을 관측하여 보았다. 또한 우수한 수중통신기를 제작하기 위한 통신기의 요소 및 통신방식의 요건을 조사하였다.

1. 서 론

수중에서 정보를 전달하기 위한 노력은 수중에 음원을 설치하고 이를 청진기등을 이용하여 탐지하는 것부터 시작되었다. 1912년 Fessenden은 수중음원을 통해 Morse부호를 송수신하여서 선박 상호간의 통신 소통을 가능하게 하였으며<sup>(1)</sup>, 1917년 프랑스의 Paul Langevin은 석영의 압전현상을 이용하여, 초음파 측심기를 제작하였다<sup>(2)</sup>. 지금까지 초음파는 신호적인 응용면에서 탐상기와 어군탐지기를 중심으로 또 동력적인 응용면에서는 가공기와 세척기를 중심으로 개발되어 왔다<sup>(3)</sup>.

해양 생활을 위한 연구활동으로는 주로 Sonar와 어군탐지기등, 대상의 위치 정보를 얻기위한 탐측 장비의 개발이 주를 이루었으나<sup>(4)(5)</sup>, 최근 해양 생활의 폭이 넓어지면서, 그 동안의 단편적인 정보 교환 활동의 한계가 들어나게 되었고, 정밀도를 요하는 수중작업시 수중통신기의 필요성이 높아지게 되었다. 이런 요구들로 인하여 다양한 수중통신기의 개발이 이루어 지고 있다<sup>(6)</sup>. 수중통신기는 지금까지의 단순한 신호전달이 아닌 음성자체가 전달되는 통신기를 말하며, 이를 위한 여러분야의 연구가 진행중이다. 대표적인 연구 분야는 아래와 같다.

- 1) 수중통신기에 적합한 변환자 개발에 관한 연구
- 2) 성능향상 및 착용의 용이함을 위한 장비의 디자인 및 구조에 관한 연구

2. 실험 장치 및 실험 회로

본 실험에서는 AM신호를 송수신할 수 있는 수중통신기의 회로를 제작하고, 방수용센서를 통해 음파를 송수신하여 보았다. 통신기 제작을 위해서는 음성의 수중전달을 위하여 음성을 초음파로 변환하는 변환회로와 전기 에너지를 기계에너지로 변환시키기위한 변환자가 필요하다. 대표적인 전기기계 에너지 변환자로는 초음파센서가 있으며, 수중 사용을 위하여 방수형 초음파센서를 사용하였다. 통신방식으로는 재현이 쉬우며, 전파상태의 확인이 용이하고 현재 제작되고 있는 수중통신기에 사용되고 있는 AM통신방식을 사용하여 구현하였다.

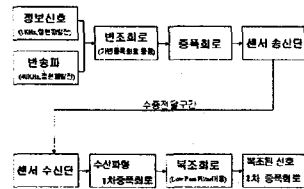
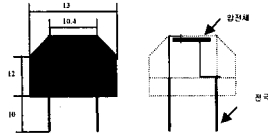


그림 1. 신호 변복조 과정의 블록도  
Fig 1. Block diagram of modulation and demodulation of signal

## 2.1 초음파 센서

초음파 센서에 주로 사용되는 압전 세라믹은 음향 임피던스가 매우 커서 임피던스 부정합으로 인한 어려움이 많고 이러한 음향 부정합을 해소하기 위하여 전파매질과 초음파 센서사이에 정합층을 넣어 사용하며, 그 제조방식에 따라 특성을 매우 달리한다.



a)센서의 외부 b)센서의 내부  
그림 2. MA40E7R/S의 외형 및 내부

Fig 2. Shape of MA40E7R/S

본 실험에서는 수중센서로 널리 사용되고 있는 일본 Nicera사의 MA40E7R/S 방수형 초음파센서를 사용하였으며, 중심주파수는 40.04(KHz)이며 중심주파수에서의 임피던스를 측정해본 결과 송신발진자의 경우 0.896(K $\Omega$ )의 임피던스를 얻었다.

표 1. MA40E7R/S의 특성

Table 1. The Characteristics of MA40E70R/S

| Features             | Water Proof    |
|----------------------|----------------|
| Nominal Frequency    | 40 $\pm$ 1 KHz |
| Sensitivity          | -74dB          |
| Sound Pressure Level | 106dB          |
| Radiation(at -6dB)   | 50'            |
| Detecting Distance   | 0.2 - 3m       |

. Sensitivity : 0dB = 1V/ $\mu$ var

. Sound Pressuer : 0dB= 2  $\times$  10<sup>-1</sup>  $\mu$ var

사용된 초음파센서는 수중내 물질의 형상을 감지하기 위한 Image Scanning용으로 제작된 것이며, 위의 특성표는 Resolution을 9mm로 하였을 때의 수치들이다. 위의 표에 표시된 Detecting Distance도 Scan을 기준으로 했을 때, 산출된 값이다.

## 2.2 실험 장치 및 회로의 구성

송신기는 1KHz와 40KHz의 발진기와 이들 신호의 변조 및 송신을 위한 변조기와 증폭기로 구성되어 있으며, 송신기의 전체적인 구성은 아래와 같다.1KHz는 음성신호의 대표신호로 40KHz는 변조를 위한 반송파로 쓰였다.

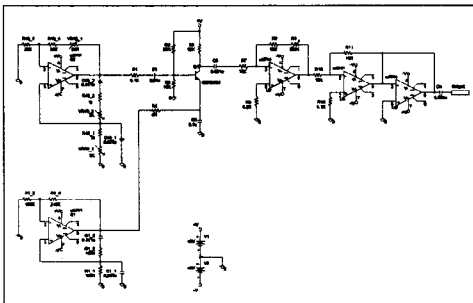


그림 3. 송신기의 회로도

Fig 3. The Circuit of Transmitter

송신기의 회로를 세부적으로 살펴보면, 발진기의 경우, 기본적인 Wien Bridge형 발진기로서 케환회로의 R,C값을 변화시켜, 1KHz 및 40KHz의 발진을 이루었으며, 파형의 Clipping현상을 막기 위하여 가변저항을 이용하여, 이득을 조정하였다. 변조기는 1단 트랜지스터(Q2N3904)증폭기로서 정보신호의 입력에 따라, 바이어스 전압을 변화시켜 반송파신호의 증폭률이 변화되게 하였다. 결과적으로 정보신호의 입력에 따라, 반송파의 증폭도가 바뀌게 되어, 파형의 Envelope이 정보신호의 입력을 따르는 진폭변조신호를 구현하였다. 이후 변조된 AM신호는 OP-AMP(LM741)를 이용하여 증폭시키어 출력하였다.<sup>(7)</sup>

수신기는 저주파 잡음의 제거를 위한 결합 Capacitor와 전송손실에 의해 작아진 신호를 크게하기 위한 1차 증폭기, 정류회로와 RC필터를 이용한 복조회로 그리고 원래의 정보신호와의 비교를 위하여 신호의 크기를 증폭시키는 2차 증폭기로 이루어 졌으며, 그 구성은 아래의 그림과 같다.

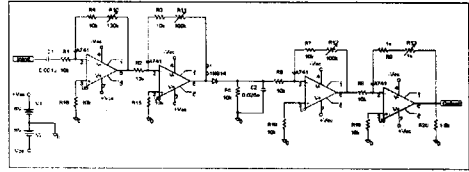
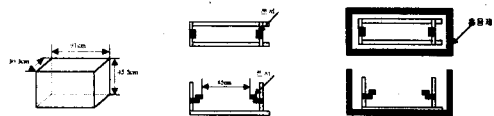


그림 4. 수신기의 회로도

Fig 4. The circuit of recieving set

복조기의 구성은 우선 다이오드(D1N914)를 이용하여 신호를 반파정류한 후, 차단주파수를 10KHz로 갖는 R-C Low Pass Filter를 이용하여 음성신호를 복조하였으며, 수신신호의 증폭을 위한 1차 증폭기 및 복조 신호의 증폭을 위한 2차 증폭기는 모두 LM741를 이단으로 연결하여 구성하였다.

수중에서의 전파 상태를 확인하기 위한 장치로는, 폭 30.3[cm], 길이 91[cm], 높이 45.5[cm]의 유리 수조에 65[cm]의 간격을 두고 아래와 같이 초음파센서를 설치대에 고정하여 실험하였다.



(a)수조의 외형 (b)설치대의 외형 (c)흡음제 설치시의 외형

그림 5. 수조 및 센서받침대의 외형

Fig 5. Shapes of a water tank and a stay of sensor

센서의 설치대는 나무와 아크릴등의 재료를 이용하여 제작하였으며, 흡음제는 흡음실 제작에 사용되는 건설품 흡음제를 사용하였고, 흡음제의 음성대역내 흡음율은 아래와 같다.

표 2. 흡음제의 주파수별 흡음율(음성대역)

Table 2. The Sound Absorbability of the Absorbent at Each Frequencies

| 주파수 | 200  | 250  | 500  | 1000 | 1250 | 2000 |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| 흡음율 | 0.54 | 0.64 | 0.82 | 0.89 | 0.92 | 0.88 |

### 3. 결과 파형 및 고찰

#### 3.1 결과 파형

Lecroy 9314AM Quad 400MHz Oscilloscope를 이용하여 측정된 송신기의 출력 파형은 아래의 그림 6. 과 같다.

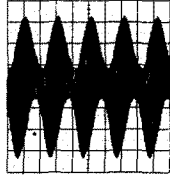
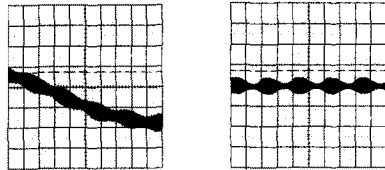


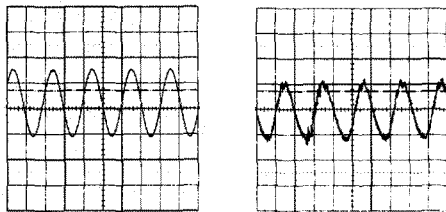
그림 6. 송신기의 출력 파형 (0.5ms/1V)  
Fig 6. The wave form of the transmitter



(a) 매질통과후의 파형 (b) 결합 Capacitor 통과후의 파형

그림 7. 매질통과후의 파형 (0.5ms/1V)  
Fig 7. The Waveforms after transmission

송신단의 최종 출력 파형의 정보신호가 최대일 경우의 Peak입력이 3.37[V]이었을 때, 65cm간 수중전파된 수신파형의 Peak치는 880[mV]로 전달효율은 약 26.11%정도 였다. 또한 수중음파 전달시의 강도에 따른 Linearity를 확인하기 위하여 정보신호의 최대와 최소점에서의 전달효율을 비교하여 보면, 최대점에서는 26.11%의 전달 효율을 보였으나, 최소점에서는 1.5[V]의 송신단 출력파형이 120[mV]로 수신되어 약 8%정도의 전달 효율을 보였다. 이 결과는 센거리에서 측정된 것으로 수중전파의 영향보다는 센서 자체의 Linearity에 의해 영향을 많이 받고 있을 것으로 예측되며, AM변조방식의 특성상, 강도에 따른 Linearity가 좋지 않을 경우, 실제 불규칙한 강도의 다주파 음성의 전파시 왜곡의 원인으로 작용되기 쉽다. 또한 최초의 수신파형은 전체적으로 60Hz의 저주파 노이즈를 가지고 있는 파형이었으며, 원인은 실험실내의 다른 장비들의 전원 진동에 의하여 발생된 잡음으로 고려되어진다.



(a) 입력된 정보신호 (b) 수중통과후 복조된 신호

그림 8. 입력신호(정보신호) 및 복조된 결과파형  
Fig 8. Wave form of the Input Signal and the Demodulated Signal

위의 그림에서 볼 수 있듯이 단순한 1차 RC필터를 통

과한 신호를 입력된 정보신호와 비교하여 살펴보면, 송수신이 충분히 가능함을 육안으로도 확인할 수 있다.

#### 3.2 결과의 고찰

본 실험은 수중통신의 기본적인 특성을 이해하고 우수한 통신기의 제작 조건을 얻기 위하여 시행되었으며, 상용화되어 있는 초음파센서와 현재 통신기 제작에 주로 이용되고 있는 AM방식을 적용한 시험장치를 제작하여, 그 특성을 조사하여 보았다. 음성신호의 대표 신호로 1KHz의 정현파를 이용하여 통신 하였을 경우, 간단한 복조회로만으로도 원신호에 가까운 신호를 복원해 낼 수 있었다. 하지만 전송과정에서 신호는 송신 크기에 따라 일정하게 감쇠되지 않았으며, 이와 같은 현상이 발생하게 된 것은 초음파 변환자의 Linearity 문제와 수중전달과정의 왜곡현상이 주요 원인으로 고려되어 진다. AM통신방식을 이용할 경우, 우수한 수중통신기의 제작을 위해서는 변환자의 특성에 있어서, 공진주파수를 기준으로 음성대역의 주파수 범위내에서 일정한 전기-기계 결합계수를 갖으며, 신호의 크기에 대해서도 일정한 특성을 갖는 변환자의 제작이 필요하다. 또한 회로제작에 있어서는 수중전달시의 왜곡에 따른 보정회로가 필요하다. 하지만 이의 구현을 위해서는 정교한 필터회로와 주파수와 신호의 크기에 따라 증폭율을 변화시킬수 있는 증폭기의 제작이 요구되어지며, 이는 매우 복잡하여 구현이 쉽지 않다. 따라서 신호의 왜곡현상에 대해서 영향을 줄일 수 있는 새로운 통신방식이 요구 되어 진다. 디지털 통신의 경우, 음성을 Sampling 하여 Data화함으로써 전송신호를 0과 1로 한정시켜 전송하게 됨으로 수중통신을 위한 통신방식으로 적합할 것으로 고려된다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] Rober J Urick, "Principles of Underwater Sound/3rd edition", McGraw-Hill Book Company, 1975
- [2] P.Langevin, J.phy. coloque 66, Suppl. No. 11-12 (Novembre-December 1972)
- [3] Lawrence E.Kinsler, Austin R.Frey, Alan B.Coppens, James V. Sanders, "Fundamentals of Acoustics /3rd edition", John Wiley & Sons, 1982
- [4] C.Jin, "A continuous wave method for simultaneous sound velocity and attenuation measurements". American institute of Physics, 1996
- [5] Robert J Urick, "Generalized form of the Sonar Equations, J. Acoust.Soc.Am 34:547(1962)
- [6] James C. Preisig, Woods Hole Oceanographic Institution, "Underwater Acoustic Communications" IEEE Signal Processing Magazine, July 1998
- [7] Stanley G. Burns, Paul R.Bond "Principles of Electronic Circuits,2nd edition", PWS Publishing Company