

초음파 센서를 이용한 수중통신기에 관한 연구

A Study on the Underwater Communication system of Ultrasonic Transducer

김동현, 오승재, 황현석, 송준태

Dong Hyun Kim, Seung Jae Oh, Hyun Suk Hwang, Joon Tae Song

성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

Abstract

Underwater acoustic communications have made considerable advances in the past decade. The purpose of this paper is to achieve the underwater communication by ultrasonic sensors and to investigate conditions of good underwater acoustic communicators. As a result of this experiments, the ultrasonic sensors, MA40E7R/S, made by Nicera can be used as ultrasonic transducers for underwater communication using AM(Amplitude Modulation) signal and Transmission Loss is 17.328[dB] at 65[cm]. To make a good underwater communicator, proper diameter of disk PZT transducers is the one of most important factors, because radiation of acoustic wave depends on proper diameter of transducers and the transmission loss strongly depends on the spreading loss.

Key words(중요용어) : Underwater communication, Ultrasonic Transducer

1. 서론

수중에서 정보를 전달하기 위한 노력은 수중에 음원을 설치하고 이를 청진기등을 이용하여 탐지하는 것부터 시작되었다. 1912년 Fessenden은 수중음원을 통해 Morse부호를 송수신하여서 선박상호간의 통신소통을 가능하게 하였고, 1917년 프랑스의 Paul Langevin은 석영의 압전현상을 이용하여, 초음파측심기를 제작하였다^[1]. 지금까지 초음파는 신호적인 응용면에서 탐상기와 어군탐지기를 중심으로 또 동력적인 응용면에서는 가공기와 세척기를 중심으로 개발되어 왔다. 하지만 최근 해양에서 그 동안의 단편적인 정보 교환 활동의 한계는 들어났고, 정밀도를 요하는 수중작업시 수중통신기의 필요성이 높아지면서 선진국에서는 다양한 각도의 수중통신기의 개발이 이루어 지고 있다.^[2] 수중통신기는 지금까지의 단순한 신호전달이 아닌 음성자체가 전달되는 통신기를 말하며, 이를 위해서는 음성을 초음파로 변환하는 변조장치와 변환된 신호가 수중에서

전달될수 있도록 하는 전기-기계에너지변환자가 필요하다. 대표적인 전기-기계에너지 변환자로는 초음파 센서가 있으며, 주로 압전물질로 제작한다. 현재 통상적으로 사용되고 있는 압전 물질로는 전기-기계 결합계수가 큰 PZT 계열의 압전 세라믹이주를 이루고 있다. 일반적인 PZT응용 초음파 센서는 중심주파수를 기준으로 협대역의 주파수 감응 범위를 가지고 있다. 따라서 초음파 구동을 위한 신호원의 변조방식으로는 주파수 가변폭이 적은 방식이 요구되어지며 통신방식중 반송파의 주파수가 일정하게 유지되는 AM(Amplitude Modulation)방식이 주로 사용되고 있다.^[3]

본 연구에서는 우수한 수중통신기의 조건을 찾아내기 위하여 PZT계열의 초음파센서를 통해 AM신호를 송수신할 수 있는 수중통신기를 제작하고 음파의 전달 및 감쇄 요인을 조사하였다.

2. 실험방법 및 실험장치

실험은 중심주파수가 40KHz이고 방수처리가 되어

있는 초음파 센서를 사용하였고, 반송파 및 신호파형의 발생을 위한 발진기 및 AM신호로의 변환을 위한 변조기와 증폭회로등을 직접 제작하였다. 전파상태의 확인을 위해서는 폭30.3cm 길이 91cm, 높이 45.5cm의 수조에서 65cm의 간격을 두고 초음파센서를 위치시켰고 변조시킨 초음파신호를 송수신하여, 그 결과 파형을 관측하였다. 송신기의 말단, 즉 초음파 센서의 입력단에는 음성대역의 신호, 즉 정보신호의 상위 V_{pp} 에 6.5[V]의 전압이 걸리도록 증폭기를 조정하였으며 Lecroy 9314AM Quad 400MHz Oscilloscope로 측정한 결과 파형은 그림.1과 같다.

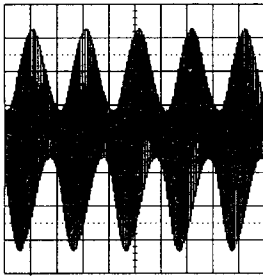


그림 1. AM변조된 송신기의 출력파형[0.5ms/1V]
Fig 1. Waveform of transmitter

2.1 초음파 센서

초음파센서에 주로 사용되는 압전 세라믹은 음향 임피던스가 매우 커서 임피던스 부정합으로 인한 어려움이 많고 이러한 음향부정합을 해소하기 위하여 전파매질과 초음파센서사이에 정합층을 넣어 사용하며 그 제조방식에 따라 그 특성을 달리한다. 본 실험에서는 일본 Nicera사에서 제작된 MA40E7R/S 방수형 초음파센서를 사용하였으며, 중심주파수는 40.04[KHz]였고 중심주파수에서의 임피던스를 측정해본 결과 송신발진자의 경우 0.896K Ω 정도의 임피던스를 얻었다.(HP 3520 LCR Hi Tester, 40KHz) 아래는 센서의 일반적 특성 및 외형이다.

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	0.2-0.3m

. Sensitivity : 0dB = 1V/ μ var
. Sound Pressuer : 0dB= 2 \times 10⁻⁴ μ var

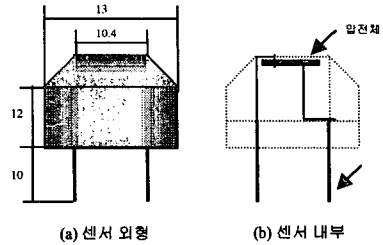


그림 2. MA40E7R/S의 외형 및 내부
Fig 2. Shape of MA40E7R/S

2.2 AM 변조방식 및 회로제작

정보신호 및 반송파는 Wein Bridge발진회로의 형태로 R과 C를 조정하여 1KHz 및 40KHz의 정현파 신호를 만들었으며, 반송파의 경우, 센서의 중심주파수로의 조정을 위하여 가변저항을 이용, 약 5KHz 정도의 가변폭을 가질수 있도록 제작하였다. 신호의 변조는 BJT 1단증폭회로를 이용, 정보신호를 BJT의 Emitter측에 연결하여 정보신호의 크기에 따라 Bias의 레벨을 변화시켜 진폭변조가 가능하도록 하였다. 증폭기 출력단의 센서 연결시 센서의 임피던스가 0.9[K Ω]정도로 작으므로 emitter follower회로를 중간에 연결하여 출력전달 효율을 높였다.

복조회로의 경우는 R-C band pass filter의 원리를 이용하여 반송파주파수를 정보신호에서 분리하였고, 이후 정보신호와의 비교를 위해 정보신호와 같은 전압레벨로 증폭하였다. 아래는 회로의 구성을 간략히 블록도로 나타낸 것이다.

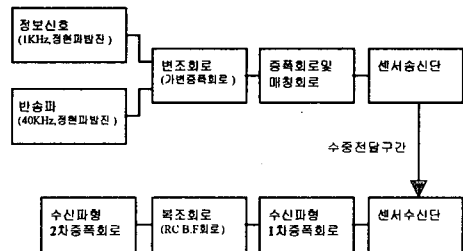


그림 3. 신호 변복조 과정의 블록도
Fig 3. Block diagram of modulation and demodulation of signal

2.3 실험 장치

실험장치는 그림.4와 같이 길이 91cm, 폭 30.3cm, 높이 45.5cm의 일반 유리 수조를 사용하였고, 센서

를 고정할수 있는 받침대를 나무와 아크릴을 이용하여 제작하였다.

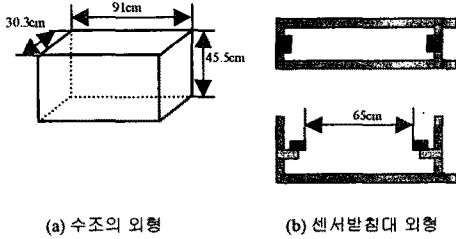


그림 4. 수조 및 센서받침대의 외형
Fig 4. Shapes of a water tank and a stay of sensor

수조의 폭이 좁고 재질이 유리로 되어 있어 반사파의 영향이 클것으로 예상되어, 수조의 바닥 및 벽면은 흡음제를 이용하여 반사파의 영향을 최소화하였다. 흡음제의 음성대역의 주파수별 흡음률은 아래와 같다.

표 2. 흡음제의 주파수별 흡음률(음성대역)
Table 2. The Sound Absorbability of the Absorbent at Each Frequencies

주파수	200	250	500	1000	1250	2000
흡음률	0.54	0.64	0.82	0.89	0.92	0.88

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 손실에 관한 수치적 해석

음파는 수중을 전파함에 따라 지연되고 왜곡되며 약해진다. 일반적으로 음파의 전송손실(Transmission Loss)은 양적으로 음원으로부터 기준거리의 음압에 대한 비율의 관계로 표현되어진다^[4]

전송손실(Transmission Loss)은 음파의 발산(Spreading)에 의한 손실과 감쇄(attenuation)에 의한 손실분의 합으로 표현된다. 발산에 의한 손실은 기하학적 현상으로 음파가 음원으로부터 퍼져나감에 따라 생기는 통상의 손실분을 말하며, 센서의 방사특성을 고려해보면 발산에 의한 손실은

$$TL_{spreading} = 20 \log \left(\frac{50}{360} r \right) = 20 \log (0.138 r)$$

(r : distance from the sound source)

이며, 감쇄에 의한 손실분은 흡수(absorption), 산란

(scattering), 그리고 음파채널밖으로의 누설등을 모두 포함하며 아래의 식과 같이 표현된다.

$$TL_{attenuation} = ar \times 10^{-3}$$

a는 base를 10으로 하는 지수적 감쇄계수를 말한다. 그리고 음파가 전파매질인 물을 통과할 때 생기는 음파의 감쇄손실계수는 아래의 식으로 표현될수 있으며 전파매질이 물이고 센서의 중심주파수 40KHz로 발진시켜 송신시킬 경우, a는 0.7735×10^{-6} 이 된다.^[4]

$$a = \frac{16 \pi^2}{3 \rho c^3} \left(\mu_s + \frac{3}{4} \mu_v \right) f^2$$

a : intensity absorption coefficient [cm⁻¹]
 μ_s : shear viscosity coefficient (0.01for water)
 μ_v : volume viscosity coefficient
 (the ratio μ_v / μ_s has the value 2.81 for water)
 ρ : density [g/cm³] (about 1 for water)
 c : sound velocity (about 1.5×10^3 [cm/s])
 f : frequency (Nominal Frequency 40[KHz])

실험과 같이 음파가 수중에서 65cm 전파한 경우, 발산에 의한 손실 및 감쇄에 의한 손실을 모두 고려하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있으며, 전송손실은 약 19.06dB정도 감쇄가 일어나며 그 손실분을 확인하여 보면, 감쇄에 의한 손실보다 발산에 의한 손실이 대부분을 이루고 있음을 알수 있다.

$$TL = 20 \log (0.138 r) + ar \times 10^{-3}$$

$$= 19.056 + 50.2775 \times 10^{-9} \approx 19.06 \text{ [dB]}$$

3.2 수신파형의 분석

수신단에서의 파형은 전체적으로 60[Hz]의 저주파 잡음을 가지고 있는 파형이었고, 결합 Capacitor를 연결하여 저주파 노이즈를 제거한 파형은 정보신호의 Peak 입력시 Vpp= 880[mV]인 수신파형을 얻을수 있었으며,(그림.5 참조)저주파노이즈는 60Hz의 전원전압에 의해 동작되는 실험실내 장비에 의해 발생된 것으로 고려되어진다.

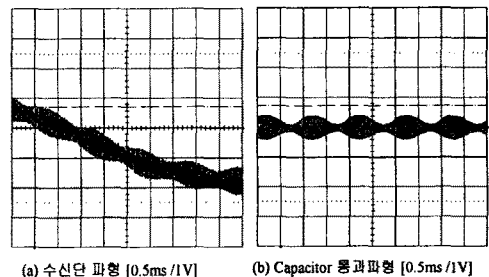


그림 4. 수신단의 파형 및 결합 Capacitor 통과파형
Fig 4. Waveforms at the end of a receiver

and after capacitor

음파전달의 손실율을 계산하기 위한 reference전압은 6.47[V](1cm의 거리에서 측정)로 입력과 큰 차이가 없었으며 이를 이용하여 감쇄정도를 계산하여 보면

$$TL = 20 \log \frac{V_0}{V_1} = 20 \log \frac{6470}{880} = 17.328 [dB]$$

이었고, 이는 이론적 계산치보다는 1.73[dB]가 낮은 수치였으며, 센서의 전기-기계 에너지 변환상에서 생기는 손실부분등을 고려하여 보면, 실제 오차는 더욱 커질 것이다. 하지만 음파 손실의 기준으로 계산된 방사각은 센서의 지향특성(radiation)을 참조하여 계산되었고 이는 센서의 음파 수신시 임계값 이상의 음파전달이 이루어지는 각으로, 실제 음파의 방사와는 조금의 차이가 있다. 원판형 압전체의 경우, 음파의 방사패턴은 압전체의 지름과 파장과의 상관관계에 따라 결정되어지며, 전체방사각에서 일정하지 않은 지향특성이 나타난다. 결국 이러한 원판형 압전체의 방사특성이 오차의 원인이 된 것으로 고려되어지며, 수치적해석에서처럼 음파전달시 손실의 주요원인이 음파의 발산에 의한 손실이었음을 증명해 준다. 즉 나온 특성의 수중통신기의 제작을 위해서는 이와 같은 현상이 고려되어 용도에 맞게 원판형 압전체의 크기를 결정해야 할 것이다.

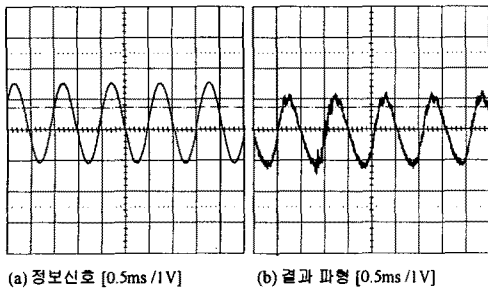


그림 5. 입력신호(정보신호) 및 복조된 결과파형
Fig. 5. Wave form of the Input Signal and the Demodulated Signal

위의 과정을 통해 수신된 신호는 1차중폭후 1차 RC 필터회로를 통해 고주파부분을 제거하였고 이후 2차 중폭시키어 입력된 정보신호와 전압레벨을 같게 하였고 입력신호와 결과파형은 그림.5와 같다. 그림에서 보듯이 단순한 1차 RC 필터회로를 통해서도 충분히 복조가 가능할 정도로 깨끗한 파형을 수

신할 수 있었다. 물론 고주파성분이 완전히 제거되지 않아 잡음성분을 확인할수 있지만 통신의 가능성은 보이는데는 충분하였다.

4. 결론

본 논문을 통하여 협대역의 주파수 특성을 가진 초음파센서를 이용하여, 음성대역의 신호를 초음파 센서의 중심주파수로 변조후 송수신하여보고, 이의 수신파형을 분석하여 통신이 가능함을 확인하였고, 이론적인 음파의 손실량의 계산 및 실험을 통하여 손실의 원인이 음파의 매질 전파에 따른 감쇄보다는 발산이 주원인 된다는 것을 확인할 수 있었다.

실험의 결과를 통하여 수중통신기 제조에 있어서 용도에 따른 좋은 전파특성을 얻기위해서는 압전체의 크기를 조정하여 사용방사각을 변화시키는 것이 중요하다는 것을 알수 있었다.

참고문헌

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