

서호선 차일환  
연세대학교 전자공학과

An underwater communication by AM technic

Ho Seon Seo Il Whan Cha  
Yonsei University, Dept. of Electronic Eng.

A B S T R A C T

An underwater communication technic using AM modulated ultrasonicwave was studied. The experiment were performed in the anechoic water tank with 60KHz carrier wave and the frequency response of the system by demodulated signals were measured varing the degree of modulation ( 50,75 and 100% ) and the distance between transmitter and receiver ( .5,1 and 1.5m ).

The bandwidth of transmitted signals was limited by the acoustic characteristics of ultrasonic transducer, and the measured was in the range of 100Hz-10KHz.

As the result, it was found out that this kind of system is applicable to the underwater speech communication.

1. 서론

해양 개발, 원격 탐사 등에 있어서 수중과 수중, 또는 수중과 해상 사이에서 정보를 교환할 수 있는 통신 시스템은 필수적인 것이다.

물을 매체로 하여 전달될 수 있는 수단 가운데 전달 손실이 적고 비교적 효율이 높은 초음파 (ultrasonic wave) 는 transducer의 특성에 의해 대역폭의 제약을 갖고 있다. (1)

또한 해상 및 수중의 특성에 따라 전달되는 주파수도 결정이 된다. (2)

본 연구에서는 비교적 낮은 주파수의 초음파 (60 KHz)를 carrier로 하여 가청 주파수 (20 Hz ~ 20 KHz)를 Amplitude Modulation 방식으로 전송할 때의 거리, 변조도에 따른 특성을 측정 분석하였다. 실험 결과, 수신된 주파수 특성은 10 KHz 까지  $\pm 3$  dB의 분포를 가졌고 신호의 크기는 거리에 따라 변화하며 그 형태는 음원의 방사 pattern에 의해 결정됨을 확인하였다.

2. 본론

(1) Piezoelectric transducer (3)

다음의 그림 1은 압전형 초음파 변환기의 등가회로이다.

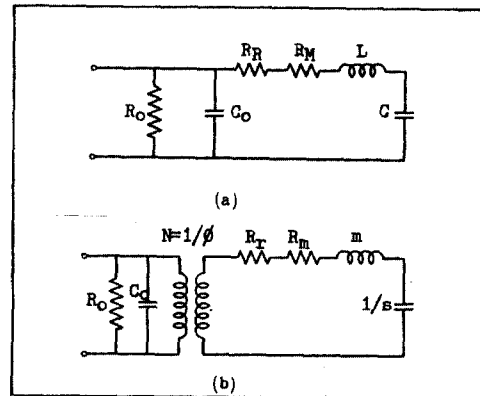


그림 1. 압전형 변환기의 등가회로  
(a) 전기적 등가회로 (b) 전기·기계 등가회로

그림에서  $R_m$ 은 transducer의 mounting에 의한 constraints 손실이고  $m$ 은 transducer의 실효 질량,  $s$ 는 매질의 stiffness,  $\phi$ 는 변환계수이다. transducer의 차단 admittance  $Y_E$ 와 운동 admittance  $Y_M$ 은 다음의 식(1),(2)로 각각 나타낼 수 있다.

$$Y_E = \frac{1}{R_o} + j\omega C_o \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_M = \frac{\phi^2}{Z_m + Z_r} \quad \dots\dots\dots (2)$$

식(2)의 운동 admittance는 식(3)과 같이 복소함수로 나타낼 수 있다.

$$Y_M = G_M + jB_M = \frac{1}{(R_R + R_M) + j(\omega L - 1/\omega C)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

이 운동 admittance는 복소평면상에서  $1/(R_R + R_M)$ 을 반경으로 하는 원의 궤적을 갖는다.

변환기가 물속에 있을 때의 운동 admittance의 지경  $D_w$ 는 다음의 식으로 주어진다.

$$D_w = \frac{1}{R_R + R_M} \quad \dots\dots\dots (4)$$

변환기가 공기 중에 있을 경우 공기의 특성 임피던스  $P_o C_o$ 가 물에 비해 작으므로  $R_R \approx 0$ 이 되어 공기 중의  $D_A$ 는 식(5)가 된다.

$$D_A = \frac{1}{R_M} \quad \dots\dots\dots (5)$$

그림 1(a)에서의 전기음향적 효율은 전체 power에 대한  $R_R$ 에서 소비되는 파워의 비에 의해 식(6)이 된다.

$$\eta = \frac{R_R + R_o}{(R_R + R_M)(R_R + R_M + R_o)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

식(6)에서 보던 매질의 특성 impedance와 기계적인 damping에 의해 효율이 결정됨을 알 수 있다. 또한 transducer의 quality factor  $Q$ 는

$$Q = \frac{\omega L}{R_R + R_M} \quad \dots\dots\dots (7)$$

이며, 이것은 motional admittance의 전기적인  $Q$ 이다.

실제에 있어서 transducer의  $Q$ 는 매우 큰 값. 즉 bandwidth가 좁은 특성을 갖기 때문에 구동하

는 power는 특정 주파수가 되는 경우가 많다. 또 transducer에 damping을 가하여  $R_M$ 을 증가시켜  $Q$ 값을 작게할 수도 있으나 이러한 경우에는 식(6)으로 주어지는 효율의 저하를 일으키게 되므로 적절한 trade-off가 요구된다.

(2) Amplitude Modulation Circuit (4)

AM 변조된 신호는 식(7)로서 표현된다.

$$x_c(t) \triangleq A_c \cos \omega_c t + m x(t) A_c \cos \omega_c t \\ = A_c [1 + m x(t)] \cos \omega_c t \quad \dots\dots\dots (7)$$

이때 변조된 진폭은 식(8)과 같이 linear function이다.

$$A_c(t) = A_c [1 + m x(t)] \quad \dots\dots\dots (8)$$

여기서  $m$ 은 modulation index이며 이러한 기능은 회로적으로 Analog Multiplier를 사용해 실현할 수 있다.

Analog Multiplier는 그림 2와 같이 Log Amp와 summer, antilog Amp로써 구성되며 두 입력  $e_1$ 과  $e_2$ 에 의한 출력  $e_0$ 은 다음의 식(9)로 된다.

$$e_3 = k_1 (\ln e_1 + \ln e_2) = k_1 \ln e_1 e_2 \quad \dots\dots\dots (9-a)$$

$$e_0 = k_2 \ln^{-1} \frac{e_3}{k_1} = k_2 e_1 e_2 \quad \dots\dots\dots (9-b)$$

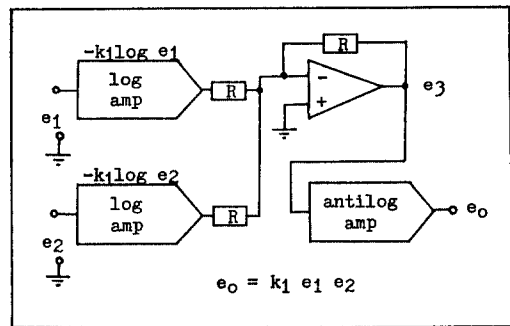


그림 2. Analog Multiplier

이와같은 circuit function에 의해 AM modulator를 구성하는 경우, 변조되는 신호의 dc 성분과 크기에 의해 결정된다.

(3) 실험 및 결과 고찰

그림 3은 본 연구의 실험장치의 구성도이다. function generator에 의해 발생하는 60 KHz의 carrier 주파수는 sine generator (B & K 1023)에 의한 신호에 의해 AM변조된 뒤 0.5 W의 출력을 갖는 power amp를 거쳐 압전형 transducer (60 KHz 공진)를 사용한 hydrophone (B & K 8104)

에 연결되었다. 발생된 초음파는 1 m × 1 m × 2 m 크기의 무향 수조 (anechoic water tank)를 거쳐 같은 transducer에 의해 수신된 다음 frequency analyzer (B & K 2120)으로 증폭하여 demodulator를 통해 신호를 검출했다. 검출된 신호는 1/3 octave의 B.P.F (B & K 1617)로 filtering하여 level recorder (B & K 2307)에 기록되도록 했다.

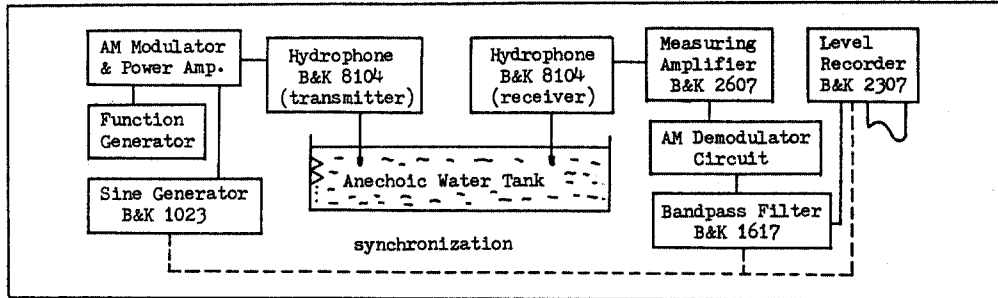


그림 3. 실험장치 구성도

이와같은 장치에서 sine generator와 B.P.F 및 level recorder를 synchronize시켜 10 Hz ~ 20 KHz까지의 신호에 대해 변조도를 50%, 75%, 100%씩, hydrophone의 거리를 50 cm, 1 m, 1.5 m로 변화시켜 가며 그 결과를 기록하였다. 그림 4는 그 실험 결과의 일예이다.

실험 결과 수신된 파의 이득은 변조도에 의한 것 보다는 거리에 따른 음파의 감쇄에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있었으며, 무지향성인 hydrophone의 특성에 의해 방사되는 파가 구면파의 성질을 갖는다는 것을 나타냈다. 전달주파수 대역은 약 10 KHz까지로서 음성 대역이 cover 되었다.

3. 결 론

초음파를 이용한 AM방식의 수중 통신은 transducer의 특성에 의해 그 전달 주파수 대역이 결정되며 높은 주파수의 carrier는 수중에서의 음파의 감쇄로 인해 제약을 받는다.

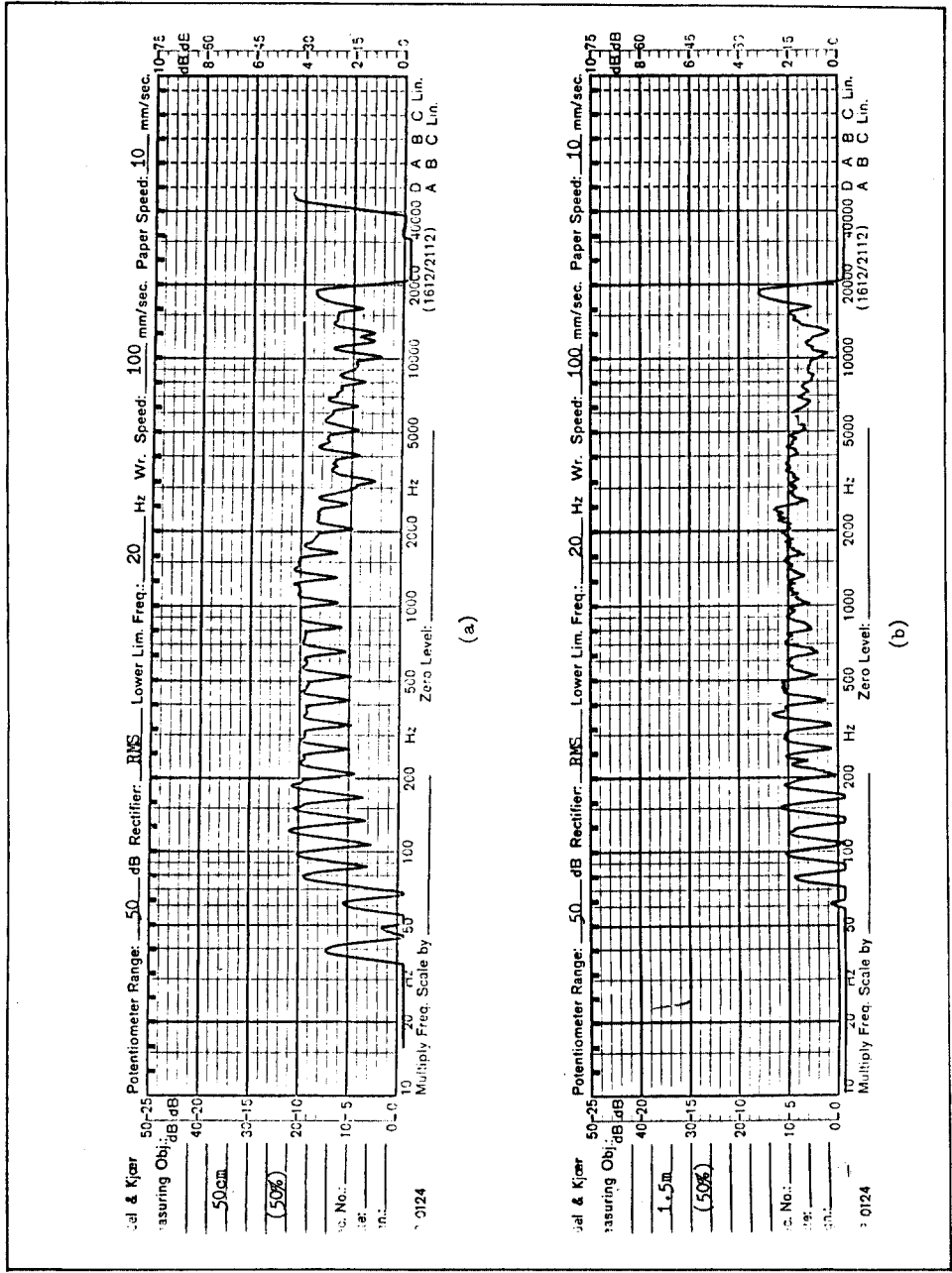
음성 신호 전달을 전제로 하는 수중 통신은 음성 신호의 bandwidth (100 ~ 4 KHz)와 transducer의 quality factor를 감안할 때 수십 ~ 수백 KHz의 초음파 carrier를 필요로 하며, 본 연구에서 관찰된 transducer의 방사 특성의 영향을 효율적으로 처리하기 위해서는 transducer를 array로 배열하

여 음향에너지의 낭비를 억제해야 한다.

본 연구에서 이용된 방식은 기존의 SONAR (Sound Navigation & Ranging) 장비와 병용이 가능하며 근거리의 음성신호 통신에 적합하다.

\* 참 고 문 헌

- 1) 丹羽 堯, "초음파 제측", 일본, 昭晃堂
- 2) R. J. Urick, "Principles of underwater sound", New York, McGraw-Hill
- 3) 차일환, "음향공학기론", 서울, 한신문화사
- 4) A. B. Carlson, "Communication systems", New York, McGraw-Hill



(a)

(b)

그림 4. 실험 결과  
 (a) 거리 50 cm, 변조도 50 %  
 (b) 거리 1.5 m, 변조도 50 %