

논문 2006-43SC-3-7

# 수중 통신을 위한 QPSK 초음파 송수신기의 설계

## ( Design of QPSK Ultrasonic Transceiver For Underwater Communication )

조 내 현\*, 김 덕 영\*\*, 김 용 득\*\*\*, 정 연 모\*\*\*\*

( Nai-Hyun Cho, Duk-Yung Kim, Yong-Deuk Kim, and Yunmo Chung )

### 요 약

본 논문에서는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식을 이용하여 수중 통신을 위한 우수한 성능의 초음파 송수신기를 설계하였다. 송신 장치에서는 전력 증폭기를 통해서 송신 센서를 구동하여 최대 음압 187dB re 1 $\mu$ Pa/V@1m 레벨까지 수중에서 정지 영상 정보를 송신하였다. 수신 장치에서는 수중을 통해 받은 신호를 100kHz의 샘플링 주파수로 디지털 변환하고 검파 및 디코딩 과정을 거친 정보가 송신된 영상 정보와 일치함을 확인하였다. 이 논문에서 제시한 시스템의 최대 통신가능 거리는 1.17Km이며 이 거리에서 정지 영상 전달상의 어려움을 극복하기 위해서 이를 보완할 수 있는 송수신 센서 및 회로 개발의 주요 변수를 도출하고 구현하였으며 이를 분석하였다. 기존 대부분의 수중 통신은 음성 신호를 전달하였으나 본 논문에서는 정지 영상 정보를 전달하기 위한 효율적인 수중 통신 시스템을 구축하였다.

### Abstract

In this paper, we propose an excellent ultrasonic transceiver system based on a QPSK modulation technique for underwater communication. The transmitter sends a still image at the level of 187dB re 1 $\mu$ Pa/V@1m through a power amplifier by driving an ultrasonic sensor. The receiver performs digital conversion at the 100kHz sampling frequency, demodulation and decoding process for the image sent from the transmitter through the underwater communication. We have shown that the processed image at the receiver is almost the same as the original one. The maximum detection distance of the system proposed in this paper is approximately 1.17km. To cope with the difficulties of transmission loss, this paper proposes, implements and analyzes important parameters of sensors and circuits used in the system. Most of the underwater communication has focused on the transmission of audio signal, but this paper suggests an efficient underwater communication system for still image transmission.

**Keywords :** QPSK modulation/demodulation, still image, ultrasonic sensor, maximum detection distance.

\* 정회원, 경희대학교 대학원 전자공학과  
넥스원퓨처(주) 수중연구소  
(Dept. of Electronic Engineering, Kyung Hee University),  
\*\* 정회원, 아주대학교 대학원 전자공학과,  
넥스원퓨처(주) 수중연구소  
(Dept. of Electronic Engineering, AJOU University)  
\*\*\* 정회원, 아주대학교 정보통신대학  
(College of Information Technology, AJOU University)  
\*\*\*\* 정회원, 경희대학교 전자정보대학  
(College of Electronics & Information, Kyunghee University)  
※ 본 연구는 산업자원부의 민군 겸용 기술 개발 사업인 초음파를 이용한 수중 영상 정보 전송 기술 개발(과제번호:00010592)의 연구지원으로 이루어졌음.  
접수일자: 2005년6월4일, 수정완료일: 2006년5월1일

### 1. 서 론

일반적으로 수중에서 정보 전달을 위해서는 반송 주파수가 10kHz 이상의 초음파를 이용한다. 능동소나(active sonar)에서는 탐지 물체에 대한 거리, 방위 및 속도를 파악하기 위해서는 일정 폭의 펄스 신호를 송신하고 여기에 반사되는 수신 신호를 처리하여 필요한 정보를 파악한다<sup>[1]</sup>. 그러나 수중에서 영상 정보를 전송하기 위해서는 대량의 데이터를 연속적으로 보내야 하므로 디지털 통신 방식을 이용한다. 디지털 통신을 위한 변조 방식에는 전송 데이터에 따라 반송 주파수를 변화시키는 FSK (Frequency Shift Keying), 반송파의 진폭

을 변화시키는 ASK(Amplitude Shift Keying)와 반송파의 위상을 변화시키는 PSK(Phase Shift Keying)가 있다. 수중에서는 신호 전송 채널의 협대역 및 초음파 센서의 제한된 물리적 특성으로 인해서 광대역을 요구하는 FSK 변조방식보다 협대역에 효율적인 PSK 변조방식이 많이 사용된다. 최근까지 개발된 국내 수중 영상 전송 시스템에 대한 개발 사례를 보면 최대 통신 거리는 200m이다<sup>[7]</sup>. 이와 같이 짧은 통신 거리를 연장하기 위해서 본 논문에서 제시한 시스템에서는 정지 영상 정보를 수중에서 최대 1.17 km까지 10kbps의 속도로 전송할 수 있었으며 실험을 통해 이를 확인하였다.

## II. QPSK 송수신 장치 설계 및 구현

여기에서는 수중 통신을 위한 QPSK 송수신 장치의 설계 및 구현을 위한 설계 방안을 제시 하였다.

### 1. QPSK 송신 장치

초음파 송신 센서를 구현하기 위해서 DSP(Digital Signal Processing) 보드내의 메모리상에 미리 저장한 영상 정보를 QPSK 신호 처리 알고리즘에 의해 발생시킨다. 아날로그 신호로 변환하여 저역 통과 필터 및 전력증폭기를 통하여 초음파 송신센서를 구동하는 과정을 그림 1에 나타내고 있다<sup>[1][7]</sup>.

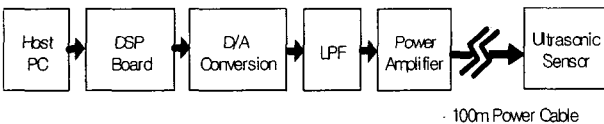


그림 1. QPSK 송신 장치  
Fig. 1. QPSK Transmitter.

#### 가. 송신 신호 처리

여기에서는 QPSK 송신 신호 발생을 위한 알고리즘 및 신호 대역에 대하여 설명한다.

##### (1) QPSK 신호 발생

디지털 영상정보를 신호 매핑(mapping)과정에서 NRZ (Non Return To Zero) 신호로 변환한다. 즉, 0은 1로, 1은 -1로 변환하며 I(In Phase) 채널, Q (Quadrature Phase) 채널로 나누고 PSF(Pulse Shaping Filter)를 통과하여 송신 신호 대역폭을 제한한다. PSF는 심볼간의 간섭, 즉 ISI(Inter Symbol Interference)를 줄이기 위해서 RCF를 사용한다<sup>[9]</sup>. 그 후, QPSK 변조하



그림 2. 송신 신호 처리 알고리즘  
Fig. 2. Transmitting signal processing algorithm.

여 200kHz의 주파수로 D/A 변환한다. 이를 그림 2에 나타내었다.

I채널과 Q채널의 데이터 열을 각각 I데이터와 Q데이터라 한다. I(n)과 Q(n)에 반송주파수가 25kHz인 CoswTs와 SinwTs를 곱한 후 합성하면, 2개의 BPSK(Binary Phase Shift Keying)신호를 더한 결과가 된다. 이를 도식적으로 표현하면 그림 3과 같다<sup>[1]</sup>.

따라서 QPSK 신호의 출력 x(nTs)는 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

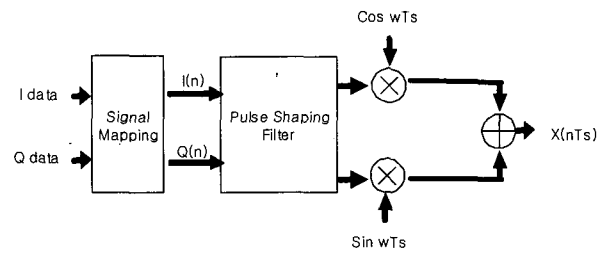


그림 3. QPSK 신호 발생  
Fig. 3. QPSK Signal generation.

$$x(nTs) = A[I(n)\cos wTs + Q(n)\sin wTs] = A\cos[wTs - \theta(nTs)] \quad (1)$$

##### (2) QPSK 송신 신호 시뮬레이션 및 정상도

임의의 송신 패킷(packet)내에서 5개의 I데이터와 Q데이터가 각각 01, 11, 11, 00, 01일때, 진폭은 일정하고 위상이 각각 변화하는 것을 그림 4와 그림 5에서 확인할 수 있다.

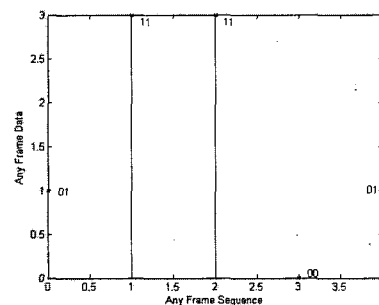


그림 4. 송신 데이터(I, Q)  
Fig. 4. Transmitting data(I, Q).

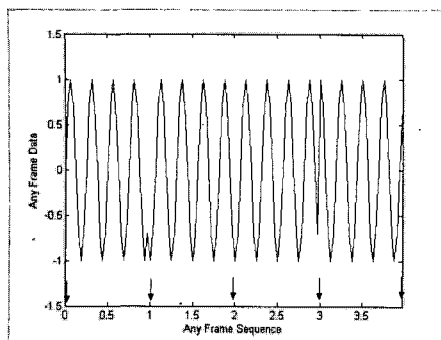


그림 5. QPSK 변조 신호  
Fig. 5. QPSK Modulation signal.

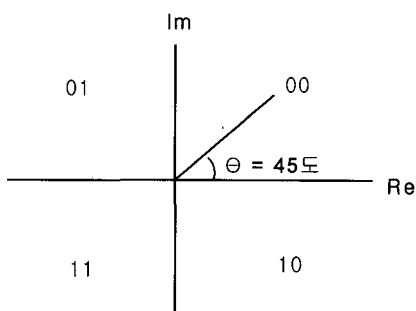


그림 6. QPSK 신호 성상도  
Fig. 6. QPSK Signal constellation plot.

송신 데이터에 따라 QPSK 변조 신호가 90도(degree) 간격으로 위상차를 표현하는 신호 성상도(constellation plot)를 그림 6에서 나타내었다.

나. 송신 장치

여기에서는 제작된 송신 센서의 물리적 특성과 이를 전기적으로 구동하기 위한 전력 증폭기의 설계 방안에 대해서 설명한다.

(1) 송신 센서

개발된 송신센서의 송신 전압 감도(transmitting voltage response) 및 빔 패턴(beam pattern)등의 물리적 특성을 측정 하였다. 측정을 위한 수신 센서로는 하이드로폰(B&K 8103)을 이용하여 데이터를 획득하였다 [6].

측정 결과에 따르면 송신 전압 감도는 141.5dB re 1μ Pa/V @1m이다. 입력 신호의 주파수 대역(25kHz±4kHz)내에서 위상 특성은 선형적으로 측정되어 송신 QPSK 신호를 왜곡 없이 전송할 수 있었다. 25kHz의 주파수에서 송신 센서의 지향성을 파악하기 위한 빔 패턴 특성을 그림 7에 나타내었다. ±3dB 기준으로 약 ±35도이고 여러 개의 송신 센서를 1/2파장 간격으로 배열

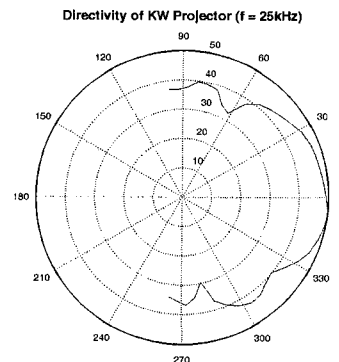


그림 7. 송신 센서의 빔 패턴  
Fig. 7. Beam pattern of transmitting sensor.

하여 지향성을 개선 할 수 있다.

실제 실험에 적용된 송신 센서의 수평 및 수직 빔 패턴은 송신 센서 7개를 정육각형으로 배열(hexagon array)하여 ±3dB기준으로 약 ±20도이다.

(2) 송신 전력 소모 인자 검증

송신 센서를 해상 실험에 적용할 경우에 센서와 전기 케이블을 연결하고 고전력(high power)을 공급해야 한다. 따라서 전기 케이블의 길이에 따른 소모 전력의 변화량을 먼저 검증하고 추정하여야 한다. 표 1의 Power(W)는 실험 조건에 따라 변화하는 종속 변수인 소모 전력을 나타낸다. 이 때, 독립 변수는 송신 센서의 종류에 따른 임피던스 Ztd(A, B, C)와 케이블 길이 Cable(C1, C2)이다. 여기에서 전력 증폭기의 전원 전압 및 입력 신호의 크기는 일정하게 유지한 상태이다.

주 효과 분석그래프(main effect plot)를 그림 8에서

표 1. 소모 전력의 측정 실험  
Table 1. Experiment for required power.

Ztd	Cable	Power(W)
A	C2	11.13
B	C1	28.75
B	C2	10.88
C	C1	28.32
C	C2	10.55
C	C2	10.52
A	C2	11.11
B	C1	28.21
B	C2	11.17
A	C1	29
A	C1	28.76
C	C1	28.13
A type :	1,170Ω	C1 : 100m
B type :	1,180Ω	C2 : 30m
C type :	1,200Ω	

표 2. GLM 분산 분석  
Table 2. GLM Analysis of variance.

General Linear Model: Power(W) versus Ztd, Cable						
Factor	Type	Levels	Values			
Ztd	fixed	3	A B C			
Cable	fixed	2	C1 C2			
Analysis of Variance for Power(W), using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ztd	2	0.78	0.78	0.39	9.93	0.012
Cable	1	932.98	932.98	932.98	2.4E+04	0.000
Ztd*Cable	2	0.05	0.05	0.03	0.65	0.555
Error	6	0.24	0.24	0.04		
Total	11	934.05				

Main Effects Plot - Data Means for Power(W)

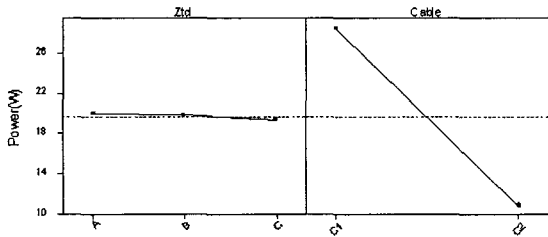


그림 8. 주 효과 영향 분석도  
Fig. 8. Main effect plot of required power.

나타내었다. 25kHz의 저주파수 임에도 불구하고 센서 종류 보다는 케이블의 길이가 소모 전력에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

GLM(General Linear Model)방식의 분산 분석에 의해서 95%의 신뢰도 기준으로 두 인자 독립 변수의 유의함(significance)을 표 2에서 분석하였다. 분석 결과, Ztd의 확률값(P-value)은 0.012이고 Cable의 확률값은 0.00으로서 둘 다 소모 전력에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 센서의 종류 및 케이블간의 교호작용(interaction effect)의 확률값은 0.555로 소모 전력에 영향을 주지 않는 것으로 분석된다<sup>[5]</sup>.

분석 결과, 송신 센서는 소모 전력에 크게 영향을 주지 않으나 빔 패턴 특성이 양호한 C type(Ztd=1,200 Ω)으로 선정한다. 케이블 길이는 고전력을 소모하지만 수십 50m이상 센서를 위치시키기 위해서 C1(100m)으로 선정한다. 전력 증폭기의 전력 용량을 결정하기 위해서 케이블 자체만을 그림 9에 나타낸 바와 같이 z1 및 z2 임피던스로 모델링 한 후, 회로 분석을 통해 소모 전력을 계산 후 전력 증폭기를 설계한다.

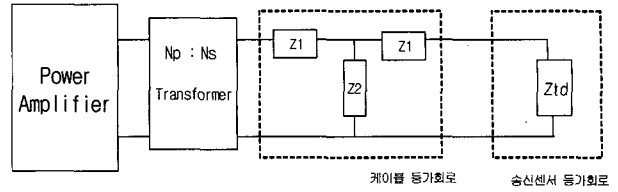


그림 9. 케이블의 등가회로 연결(1차 제작)  
Fig. 9. Connection of the modelled cable.

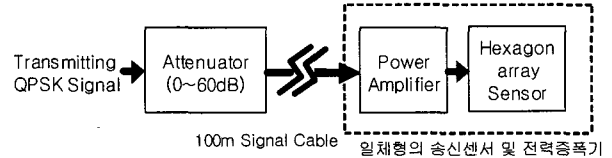


그림 10. 송신부 하드웨어(2차 제작)  
Fig. 10. Hardware configuration of transmitting circuit.

(3) 송신부 설계

케이블을 전기적 등가 회로로 모델링 하기 위해서 먼저 케이블의 양단을 단락하고 측정된 임피던스와 개방하고 측정된 임피던스를 알아야 한다. 측정된 임피던스를 기준으로 그림 9에 나타난 바와 같이 z1 및 z2 를 계산하고 전압 및 전류 방정식에 의해서 케이블과 송신 센서의 소모 전력을 계산한다<sup>[4]</sup>. 트랜스포머의 코일 권전비(turn ratio)는 2차측 전압 및 코아(core)의 전력 용량을 고려하여 2.7로 결정한다. 여기서 1차 권전수 Np는 21이고 2차 권전수 Ns는 58이다. 송신 센서의 임피던스 Ztd에 해당하는 회로를 구성하여 100m 케이블 양단에 병렬로 연결하고 소모 전력을 측정하여 등가 회로의 적합여부를 확인하였다.

그러나 개발 단계에서 전력 증폭기의 제한된 용량을 효율적으로 활용 할 필요가 있었다. 따라서 그림 10과 같이 전력 증폭기와 정육각형 배열의 송신 센서를 직접 연결하는 방식으로 설계를 변경 하였다. 그 후 100m 신호케이블을 전력 증폭기의 입력단에 연결하여 신호를 공급하였다. 또한 0 - 60dB 범위 내에서 이득 제어가 가능한 감쇄기를 사용하였다.

이상의 설계 과정을 거쳐서 제작된 전력 증폭기로 송신 센서를 전기적으로 구동하여 측정 결과, 최대 송신 음압은 약 187dB re 1μPa/V@1m이었다<sup>[1]</sup>.

2. QPSK 수신 장치

여기에서는 QPSK 변조 신호를 수신하여 신호처리하는 과정, 전달 손실 및 수신신호 탐지 레벨에 대하여 설명한다.

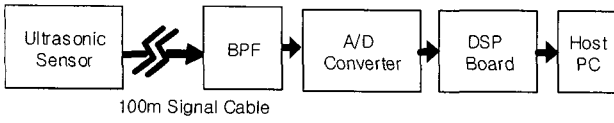


그림 11. QPSK 수신 장치  
Fig. 11. QPSK Receiver.

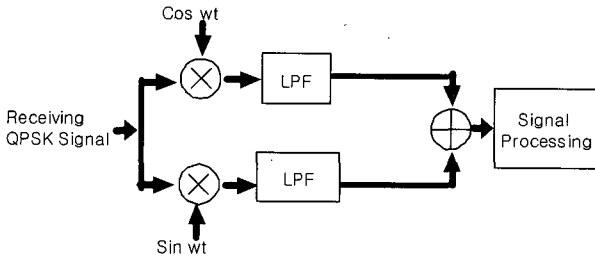


그림 12. QPSK 수신 신호 처리  
Fig. 12. QPSK receiving signal processing.

가. 수신 신호 처리

수중 채널을 통하여 입력된 음향 신호를 1/2파장 간격으로 연결된 8개의 수직 선배열 센서를 사용하여 전기적 신호로 변환한다. 대역 증폭회로로써 증폭 후, 각각의 신호를 100kHz의 샘플링 주파수로 A/D 변환한다. DSP보드에서 복수개의 DSP에 의한 병렬처리를<sup>[10]</sup> 통한 QPSK 신호검파, 빔 형성, 적응 등화기등의 알고리즘을 수행하여 복원된 정보가 모니터상에 나타난다<sup>[1][7]</sup>. 이를 그림 11에 나타내었다.

(1) QPSK 수신 신호 처리

A/D 변환된 수신신호를 DSP보드에서 각 패킷별로 수행되는 알고리즘 처리과정은 나타나면 그림 12와 같다. 샘플링 주기는 10 μsec이며, 저역 통과 필터는 선형 특성의 FIR(Finite Impulse Filter) 필터이다<sup>[1]</sup>.

(2) 전달 손실

수중에서 음파를 송신할 경우에 흡수계수 및 거리에 따른 전달 손실이 발생한다. 전달되는 음파가 구면 형태(spherical spreading)로 전파된다고 가정 할 때, 전달 손실은 식(2)과 같이 추정 할 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$TL = 20\log(r) + ar \quad (2)$$

여기서 r은 전달 거리 a는 송신 주파수에 해당하는 흡수계수를 의미한다. 전달 손실은 최대로 1km 전송 시 약 64dB이다.

(3) 수신 신호의 탐지 레벨

실해역 실험을 위해서 해상에서 송수신 센서의 수심

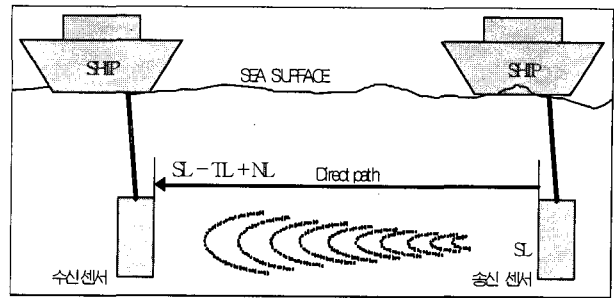


그림 13. 실해역 시험 환경  
Fig. 13. Experiment environment for sea-test.

표 3. 신호 탐지 레벨 관련 추정 변수  
Table 3. Estimation variables to signal detection level.

추정변수	추정치
배경잡음 레벨(ambient noise level), ANL	40dB (그림22)
수신장치잡음 레벨(receiver noise level), RNL	40dB (10logB)
전체잡음 레벨(total noise level), NL	80dB (ANL+RNL)
최소탐지 레벨(minimum detection level), DL	90dB (NL+10dB)
전달손실(transmission loss), TL	64dB (그림20)

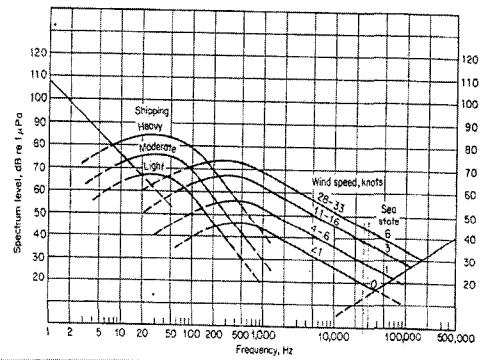


그림 14. 평균 배경 잡음  
Fig. 14. Average ambient noise level.

은 전체 수심의 중간 정도로 유지하고 송수신 장치를 탑재한 실험 환경은 그림 13과 같다.

이 때, 송수신 센서간의 거리(direct path)는 약 1km 이다. 송수신 센서의 빔 형성 및 수신 장치의 등화기 알고리즘에 의해서 해저면과 수면의 다중 경로에<sup>[8]</sup> 의한 음파간섭이 제거된다고 가정한다. 앞 장의 (3)송신부 설계에서 고찰한 바 같이 최대음압 SL은 187dB이다. 또한 표 3에 나타난 바와 같이 SL은 전송거리 1km에 따른 전달 손실 TL에 의해서 64dB 감쇄되어 123dB (187dB - 64dB)가 수신센서에 도달된다. 따라서 수신 장치에서는 33dB의 (123dB - 90 dB) 여유가 있다. 여기서 90dB는 표 3의 최소탐지 레벨인 DL이다. 수신센서로 입력된 이후의 신호 레벨을 계산하면 18dB(123dB - 190dB + 86dB - 1dB)이다. 여기서 -190dB는 적용된 수직 선배열 센서의 수신 전압 감도(receiving voltage

sensitivity)이며, 86dB는 전치 증폭기의 이득이고 -1dB는 수신 케이블의 추정 손실이다.

18dB(실효치 전압 : 7.94V)정도의 신호 레벨이면 신호 처리를 위해서 충분한 크기라고 생각할 수 있다. 그러나 수중에서 송수신 센서의 방향 불일치, 빔 패턴의 불균일성, 배경 잡음의 증가 등의 요인으로 인해서 약 20dB의 이득 여유를 가져야 한다. 해상 상태에 따라 평균적으로 수중에 존재하는 배경 잡음 레벨을 주파수 대역별로 나타낸 것이 그림 14이다<sup>[3]</sup>.

나. 수신 장치

여기에서는 제작된 수신 센서의 물리적 특성과 수신부 관련 회로 설계에 대하여 설명한다.

(1) 수신 센서

개발된 수신센서의 수신 전압 감도 및 빔 패턴 등의 물리적 특성을 측정하기 위해 무향수조에서 송신센서(B&K 8105)를 이용하여 신호를 인가하고 수신 센서의 데이터를 획득하였다<sup>[6]</sup>. 측정결과 수신 전압감도는 -197.7dB re 1V/ $\mu$ Pa@1m이다. 위상 특성은 선형적으로 측정되어 QPSK 신호를 왜곡 없이 수신할 수 있었다. 25kHz의 주파수에서 수신 센서의 지향성을 파악하기 위한 빔 패턴 특성을 나타낸 것이 그림 15이고,  $\pm 3$ dB 기준으로 약 25도이다.

실제 실험역 시험에 적용된 수직 선배열 센서는 개별 센서 8개를 수직 방향으로 1/2 파장 간격으로 연결하여 제작하였다. 수직 빔패턴은  $\pm 3$ dB 기준으로 약  $\pm 10$ 도이며, 수신 전압 감도는 -190dB re 1V/ $\mu$ Pa@1m이다.

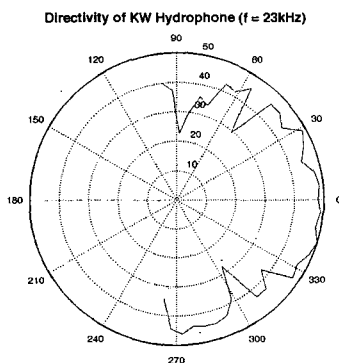


그림 15. 수신 센서의 빔 패턴  
Fig. 15. Beam pattern of receiving sensor.

(2) 전치 증폭기

전치 증폭기는 수신센서의 미약한 음향 신호를 증폭

하고 대역 통과 필터로 전달함으로써 신호 대 잡음비를 개선하는 역할을 한다. 전압 이득은 86dB이다<sup>[1]</sup>.

(3) 대역 통과 필터

QPSK 수중 통신 요구 사양을 만족하기 위하여 주파수에 따라 위상이 선형적으로 증가하는 특성을 가진 능동차 필터이다<sup>[1]</sup>.

III. 실험 및 분석

지금까지 본 논문에서 제시한 설계 개념에 따라서 제작된 시스템을 무향 수조에서 실험하여 기본 기능을 확인하였다. 실험역 실험에서는 송수신 센서의 통신 도달 거리는 870m 및 1.17km 까지 QPSK 신호가 정상적으로 수신되는 것을 확인하였다<sup>[1]</sup>.

본 논문에서 설계 및 제작된 송신시스템과 수신 시스템 각각을 그림 16에서 나타낸다.

송수신 센서의 통신 거리 870m에서 시간과 주파수 영역의 QPSK 검파 신호를 그림 17에서 보여준다. 25kHz의 대역에서 신호 대 잡음비의 차이는 대략 8dB이며, 신호 패킷별로 검파 신호와 배경 잡음이 섞여있는 것을 관측 할 수 있다.

송수신 센서는 둘다 지향성을 지니므로 방향이 서로 일정한 각도 이내로 일치할 경우, 앞 장의 (2) QPSK 송신신호 시뮬레이션 및 정상도 에서 설명한 바와 같이 수신 데이터가 사분면에 각각 집중되어 나타난다. 이를 그

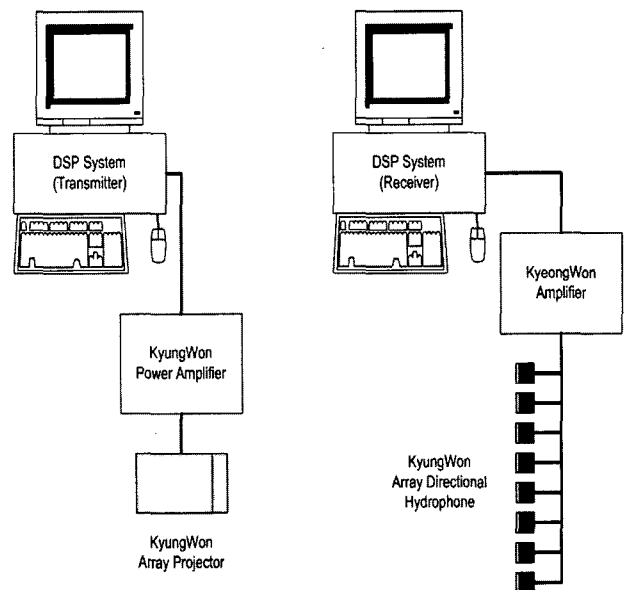


그림 16. QPSK 송수신 장치  
Fig. 16. QPSK Transmitter and receiver.

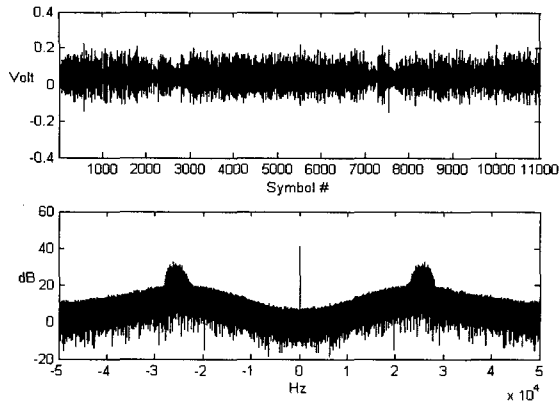


그림 17. QPSK 검파신호  
Fig. 17. Demodulated QPSK signal.

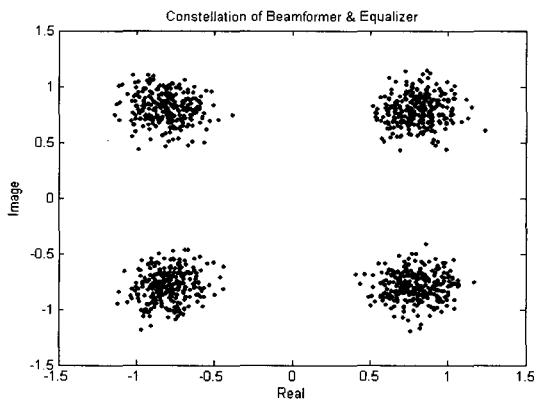


그림 18. 검파 신호의 성상도(센서 방향 일치)  
Fig. 18. Constellation plot of demodulated signal.

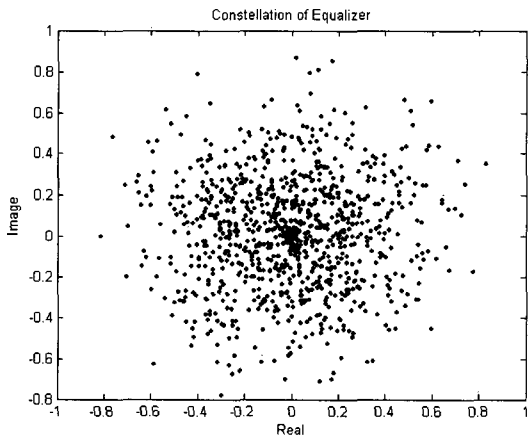


그림 19. 검파 신호의 성상도(센서 방향 불일치)  
Fig. 19. Constellation plot of demodulated signal.

림 18에 나타 내었다. 즉, 수신 상태가 양호한 것을 알 수 있다. 그러나 실험도중 송수신 센서의 방향이 조류 혹은 기타의 영향으로 벗어나는 경우가 있다. 이러한 경우 수신데이터가 정상도가 사분면에 정확히 나타나지 않고 원점을 중심으로 퍼져있는 것을 그림 19에서 알 수 있다.

표 4. 수신 장치의 전압 및 수신음압  
Table 4. Receiving voltage and acoustic level.

회차	측정전압(V)	수신음압(dB)
1	5.0	105
2	0.8	89
3	2.5	99
4	5.0	105
5	1.25	93
6	4.0	103

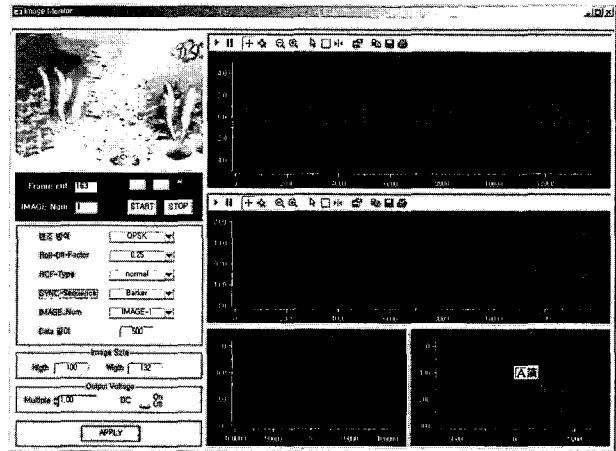


그림 20. QPSK 수신장치의 화면  
Fig. 20. Display of QPSK receiver.

또한 송수신 센서의 통신거리 1.17km까지 QPSK 신호전송 시, 수신 장치의 전압과 수신음압을 표 4 에서 나타낸다. 앞 장의 (3) 수신 신호의 탐지 레벨 에서 고찰한 바와 같이 123dB 정도의 수신 음압을 예측하였으나 6회의 실험을 통해서 89dB - 105dB 범위로 측정되었다.

수신 장치에서는 받은 영상 정보를 그림 20의 좌측상단에서 확인 가능하고 GUI(Graphical User Interface)화면을 통해 각종 수신 신호 정보를 보여준다.

#### IV. 결 론

본 논문에서 제시한 QPSK 초음파 송수신 장치를 통하여 10kbps의 전송 속도로 정지 영상 전송이 가능하다는 것을 확인하였다. 특히, 수중에서 1.17km까지 신호 전달상의 어려움을 극복하기 위해서 전달 손실을 보완 할 수 있는 송수신 센서 및 회로 개발의 주요 설계 변수를 도출하였다. 또한 이를 시스템 개발에 적용하고 해상 실험 환경에서 최적의 영상 정보 수신을 위해서 이득을 적절히 조절하는 것이 운용상 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구에 적용된 초음파 송수신 센서는 경원 웨라이트(주)에서 개발하였고, 특성 시험은 한국 해양 연구원의 무향 수조에서 실시하였음.

## 참고 문헌

- [1] 산업자원부, “초음파를 이용한 수중영상 정보전송 최종보고서”, 산업자원부, 별첨 5-7쪽, 2004년 9월.
- [2] 한국산업기술평가원, “민군겸용기술개발 계획서”, 한국산업기술평가원, 5-7쪽, 2002년 11월.
- [3] Robert J. Urick, “*Principle Of Underwater Sound*”, McGraw-Hill, pp. 208-212, 1983.
- [4] 박송배, “교류회로이론”, 문운당, 415-420쪽, 1990년 1월.
- [5] 이레테크 미니탭사업부, “MINITAB 실무완성”, 이레테크, 14장 26-35쪽, 2000년 4월.
- [6] 이경우, 권재환, 소형중, “광대역 초음파 수중음향특성을 얻기위한 3단 음향임피던스 매칭기법”, 해상무기체계 발전 세미나(국방과학연구소), 제5회, 376-382쪽, 2004년 6월.
- [7] 박종원의 6인 “QPSK 방식을 이용한 수중영상 정보전송 시스템의 DSP 구현 및 실험실 구현”, 한국음향학회지, 제3권, 117-124쪽, 2004년.
- [8] D. Kilfoyle and A. Baggeroer, “*The state of the art in underwater acoustic telemetry*”. IEEE J. of Ocean Eng, 25, pp. 4-27, Jan. 2000.
- [9] J. Proakis, “*Digital Communications*”, McGraw Hill, 1893.
- [10] H. Ko, “*A High Performance Parallel Architecture for Adaptive Beamforming*”, Dept. of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC, 1995.
- [11] 서울대학교 생산기술 연구소, “전자용용”, 1장 1-15쪽, 1988년 3월.



저 자 소 개



**조 내 현(정회원)**  
 1987년 금오공과대학교  
 전자공학과 학사  
 2001년 경희대학교  
 전자공학과 석사  
 1987년 2월~1992년 3월 한진중공  
 업(마산) 전자설계 기사

2004년 8월 경희대학교 전자공학과 박사과정  
 수료  
 1992년 4월~2004년 6월 LG이노텍(주)  
 시스템연구소 책임연구원  
 2004년 7월~현재 넥스원퓨처(주) 수중연구소  
 책임연구원  
 <주관심분야 : 컴퓨터구조 및 SOC, 신호처리, 전  
 력전자>



**김 덕 영(정회원)**  
 1982년 광운대학교 전자통신  
 공학과 학사  
 1994년 아주대학교  
 전자공학과 석사  
 1997년 10월~1997년 12월 정보통  
 신기술사 및 전기통신기  
 술사 취득

2002년 8월 아주대학교 전자공학과 박사과정  
 수료  
 1984년 8월~2004년 6월 LG이노텍(주)  
 시스템연구소 책임연구원  
 2002년 9월~2004년 초음파를 이용한 수중  
 영상정보 전송기술 개발 과제책임자  
 2004년 7월~현재 넥스원퓨처(주) 수중연구소  
 수석연구원  
 <주관심분야 : 초음파통신, DIGITAL통신, 광통  
 신, 전력전자>



**김 용 득(정회원)**  
 1971년 연세대학교  
 전자공학과 학사  
 1973년 연세대학교  
 전자공학과 석사  
 1978년 연세대학교  
 전자공학과 박사

1979년 8월~1980년 9월 미국 Stanford 대학교  
 연구교수  
 1983년 4월~1997년 11월 (주)인켈, 종합연구소  
 연구교수  
 1994년 1월~1998년 3월 ITS 연구기획단  
 전자부문총괄 연구위원  
 1979년 8월~현재 아주대학교 정보통신대학 교수  
 <주관심분야 : ATM 네트워크, 멀티미디어 시스  
 템, ITS>



**정 연 모(정회원)**  
 1980년 경북대학교 공학학사  
 1982년 KAIST 공학석사  
 1992년 미국 미시간 주립대학교  
 공학박사  
 1982년~1987년 경제기획원  
 전산처리관

2004년 5월~2004년 12월 산업자원부 산업기술  
 로드맵 전문위원  
 1992년~현재 경희대학교 전자정보대학 교수  
 <주관심분야 : VLSI설계 및 CAD, 병렬처리 시물  
 레이션, 컴퓨터구조>