

# 수중 센서 네트워크에서 저전력 통신을 위한 변조 기법의 적용성 연구

준회원 장 철 희\*, 한 정 우\*, 정회원 김 기 만\*, 이 성 로\*\*

## A Study on The Modulation Method for Low Power Communication in Underwater Sensor Network

Chulhee Jang\*, Jeongwoo Han\* *Associate Members,*  
Kiman Kim\*, Seong Ro Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 PSK(Phase-Shift-Keying) 변조와 PPM(Pulse Position Modulation) 방식의 혼합형이라 볼 수 있는 PSSK(Phase Silence Shift Keying) 변조 방식을 수중 통신에 적용한 결과를 제시한다. 수중 통신 시스템의 성능은 수중 채널 특성에 영향을 많이 받는다. 특히, 잔향 및 다중 경로(Multi-path)로 인한 지연 확산은 데이터 전송 시 인접 심벌간의 간섭(ISI : Inter Symbol Interference)을 발생시켜 통신의 성능을 저하시킨다. 또한 수중 센서 네트워크인 경우 그 운용 환경의 특수성으로 인해 전력 효율적인 측면도 시스템 구성의 중요한 고려 요소가 된다. PSSK 변조 방식은 2개의 직교 심벌을 전송하는 방식으로 한 주기 내에 silence 구간을 사용함으로써 전력 사용을 절반으로 줄일 수 있다. 이로 인해 변조 심벌간의 거리를 늘려 BER(Bit Error Rate) 성능을 향상 시킬 뿐만 아니라 송신 전력을 낮추어 전력 효율적인 측면의 성능 향상도 기대 할 수 있다. 근거리 해상 실험 결과 QPSK 변조 방식인 경우 BER이  $3.19 \times 10^{-1}$ 이였으며, PSSK인 경우 BER이  $2.89 \times 10^{-1}$  이었다.

**Key Words** : Underwater Communication, Multi-Path, ISI, PSSK

### ABSTRACT

In this paper, we propose the result of PSSK(Phase Silence Shift Keying) modulation scheme that is mixed PSK(Phase Shift Keying) modulation and PPM(Pulse Position Modulation) method. The performance of underwater communication systems are influenced underwater channel characteristics. In particular, delay spread can make ISI(Inter Symbol Interference) because of reverberation and multi path. It degrade the performance of the communication system. Also underwater sensor networks consider about power efficient due to the particularities of their operating environment. PSSK modulation method transmit two orthogonal symbol and using silence period in a period so it can reduce the power. Increasing the distance of between modulation symbols, to enhance the performance of BER(Bit Error Rate) as well as to improve power efficient. The result of sea trial, QPSK modulation BER is  $3.19 \times 10^{-1}$  and PSSK modulation BER is  $2.89 \times 10^{-1}$ .

### I. 서 론

수중 통신은 과거 군사적 목적을 위해 제한적으로

사용하였으나 최근 해양에 대한 관심이 고조되고 해양 탐사나 해저 자원 탐사가 활발해지면서 그 활용 분야가 확대되었다. 그러나 수중 통신에서 고속 데이터

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다. (계약번호 UD100002KD)  
 \*\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1021-0 001).  
 \* 한국해양대학교 전파공학과 DSP 연구실(beasthee@hanmail.net) \*\* 목포대학교 정보전자공학과(srlee@mokpo.ac.kr)  
 논문번호 : KICS2011-02-097, 접수일자 : 2011년 2월 7일, 최종논문접수일자 : 2011년 5월 23일

전송을 위한 송·수신단에 대한 연구는 육상의 전파 통신과는 달리 상대적으로 적은 상태이다. 수중 통신은 매질 특성상 전파 대신 음파를 사용해야 하며, 시스템의 성능은 채널의 특성에 의해 좌우된다. 수중 채널의 경우 전달 과정에서 잔향 및 다중경로 전달 등에 의해 수신 신호가 크게 왜곡된다. 수중에서 고속 데이터 전송을 위하여 수중 통신 채널 특성을 결정하는 해수면, 해저, 수심 등의 시공간 변화에 의한 다중경로 특성이나 도플러 확산이 시스템의 설계에 고려되어야 하며 특히 천해에서의 다중경로는 해수면의 시변 산란에 의해 도플러 확산파가 직접파에 혼합되어 통신 채널의 특성을 좌우한다. 특히 다중경로 수신된 신호의 경우, 수신 신호의 인접 심벌간의 간섭(ISI : Inter Symbol Interference)을 발생시켜 통신 시스템의 성능을 저하시킨다. 이러한 수중 통신 채널의 특성 때문에 과거에는 FSK(Frequency Shift Keying) 등과 같은 비동기 위상(non-coherent) 변조 기법을 이용하여 수중 통신 시스템을 구현하였다. 그러나 미국 WHOI(Wood Hole Oceanographic Institution)에서 PSK(Phase Shift Keying) 기법을 이용한 수중 통신의 결과를 발표한 이후로 PSK나 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 등과 같은 동기위상(phase-coherent) 디지털 변조 기법을 활용한 수중 통신 시스템 연구가 활발히 진행되었다<sup>1-3)</sup>. 최근 수중 통신에서 센서 네트워크를 위한 저전력 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그중 PPM(Pulse Position Modulation) 기법과 기존 FSK, PSK 기법 등의 결합을 통해 전력효율을 개선하는 방법의 연구가 진행되고 있다<sup>4,5)</sup>.

본 논문에서는 PSSK(Phase Silence Shift Keying) 변조 기법을 이용하여 수중 센서 네트워크 시스템의 요구사항 중 하나인 수중 채널 환경에서의 저전력 통신의 적용성 및 성능을 검증하기 위하여 모의실험과 해상 실험을 수행하였다.

## II. PSSK 전송기법

PSSK 변조 방식은 기존 PSK 변조 방식의 한 종류로 볼 수 있으며, PSK의 대역 효율적 측면과 PPM, FSK, OOK(ON-OFF Keying) 변조의 전력 효율 측면을 모두 고려한 방식이다. PSSK는 PSK 신호 주기를 심벌 주기와 silence 주기로 나누어 신호의 전력을 감소시키기 때문에 전력 효율적인 측면을 높일 수 있다. 또한, PSK 신호의 주기를 나누기 때문에 변조 레벨을 낮출 수 있으며 PSK에 비하여 SNR(Signal to Noise Ratio) 성능을 향상시킬 수 있다<sup>6)</sup>.

### 2.1 PSSK 변조 방식

PSSK 변조 방식은 PSK 신호를 2개의 직교 심벌로 전송하는 방식이다. 그림 1은 8-PSSK의 성상도를 나타낸 것이다. 8-PSSK는 하나의 심벌에 위상을 이용하여 전송하지만 8-PSSK는 2개의 4-PSK를 직교하여 전송하는 방식을 이용한다. 이처럼 PSSK는 첫 번째 비트 정보를 이용하여 반주기 신호 2개로 나누며  $(\log_2 M) - 1$  비트의 PSK 신호를 전송한다. 그림 2는 PSSK의 심벌 주기를 나타낸 것이다.

T의 심벌 주기를 1/2로 나누고 첫 번째 비트 정보를 이용하여 심벌의 위치를 결정한다. 심벌의 주기가 절반으로 줄었기 때문에 대역폭이 2배로 증가하지만, M-ary PSK를 M/2-ary PSK 2개로 나누기 때문에 심벌간의 해밍 거리가 확보되며 이 때문에 생기는 silence 주기로 인해 신호 전력을 3 dB 감소시킬 수 있다. 또한 silence 주기는 갑작스럽게 위상이 180°로 변화하는 것을 방지해 준다<sup>7)</sup>.

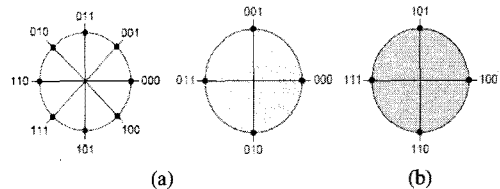


그림 1. 성상도, (a) 8-PSK, (b) 8-PSSK  
Fig. 1. Constellations, (a) 8-PSK, (b) 8-PSSK

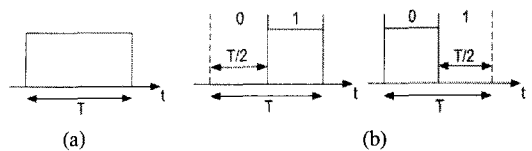


그림 2. 심벌 구간, (a) 8-PSK, (b) 8-PSSK  
Fig. 2. Symbol Duration, (a) 8-PSK, (b) 8-PSSK

### 2.2 PSSK 송·수신 시스템

PSSK 신호는 다음과 같이 정의 된다.

$$p_m(t) = \text{Re}(I_m \alpha(t) + Q_m \beta(t)) \exp[j(2\pi f_c t + \theta_m)]$$

$$, 0 \leq t \leq T$$

$$I_m = \begin{cases} 1, & 0 \leq m \leq M/2 - 1 \\ 0, & M/2 \leq m \leq M - 1 \end{cases}$$

$$\alpha(t) = u(t) - u(t - 0.5T),$$

$$\beta(t) = \alpha(t + 0.5T)$$
(1)

식에서  $\text{Re}\{c\}$ 는 복소수  $c$ 의 실수 부분,  $\exp[\cdot]$ 는 지수함수,  $f_c$ 는 반송파 주파수,  $\theta_m = 2\pi \text{mod}(m, 0.5$

$M/0.5M$ 으로 변화한다.  $Q_m = \text{mod}(I_m, 1)$ 이다. 따라서  $\theta = 4\pi/M$ 으로 변한다.  $I_m$ 과  $Q_m$ 은 신호 주기내의 심벌 위치를 나타내고,  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$ 는 스텝 함수로 반송파를 심벌 위치에 맞춰주고  $\alpha(t)$ 는  $\beta(t)$ 이 지연된 것이다.

$$p_m(t) = (I_m \cos \theta_m) \alpha(t) \cos 2\pi f_c t - (I_m \sin \theta_m) \alpha(t) \sin 2\pi f_c t + (Q_m \cos \theta_m) \beta(t) \cos 2\pi f_c t - (Q_m \sin \theta_m) \beta(t) \sin 2\pi f_c t \quad (2)$$

따라서 전송되는 신호  $p_m(t)$ 는 식(2)와 같이 정의되며,  $I_m$ 과  $Q_m$ 의 값에 의하여 서로 다른 2개의 심벌은 직교성을 유지하게 된다.

그림 3(a)는 PSSK의 송신기 구조를 나타낸다. 직렬-병렬 변환기를 이용하여 하나의 심벌에 3비트를 가지는  $\log_2 M$  열로 정렬 시킨다. 첫 번째 비트를 이용하여 silence 구간을 결정한다. 예를 들어 첫 번째 비트가 0이면  $I_m = 1$ ,  $Q_m = 0$ 이 되며, 첫 번째 비트가 1이면  $I_m = 0$ ,  $Q_m = 1$ 이 된다. 송신 신호  $P_m(t)$ 는 PSK 변조된 신호와 심벌의 위치 정보를 가지고 있는 신호의 곱으로써 전송된다. PSSK의 대역효율은 PSK의 1/2이 되는데 그 이유는 심벌의 주기를 T/2로 감소시켰기 때문이다. PSSK의 수신기 구조는 그림 3(b)와 같이 동기방식을 사용한다.

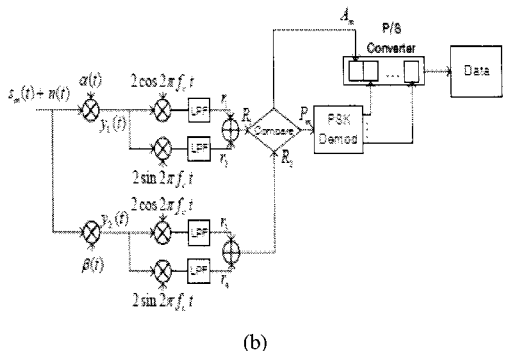
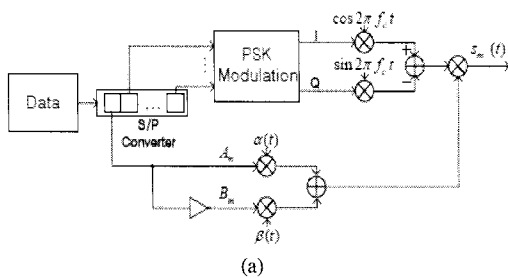


그림 3. PSSK 송·수신기, (a) 송신기, (b) 수신기  
Fig. 3. PSSK transceiver, (a) transmitter, (b) receiver

### 2.3 PSSK 시스템의 전송 효율

그림 2에서 보는바와 같이 PSSK 통신 시스템은 PSK 통신 시스템과 달리 데이터가 전송되는 각 심벌마다 무음 구간이 존재한다. 이로 인해 전송신호의 전력을 3 dB 감소시키는 효과를 가지게 된다. 또한 그림 4(b)와같이 PSSK 변조에서 위상이 180° 변화하는 경우는 총 64가지의 위상 변화 중 단 4가지의 경우만 존재하므로 180° 위상 전이할 확률이 QPSK에 비해 낮다. 이러한 특징으로 인해 back-off 이득이 발생한다<sup>[2]</sup>. 그림 5는 QPSK 변조 신호와 PSSK 변조 신호의 전력 스펙트럼을 비교한 그림이다. 결과를 비교해 보면 PSSK 변조기법의 전력스펙트럼이 QPSK 변조기법에 비해 약 4 dB 정도 낮은 것을 확인할 수 있다.

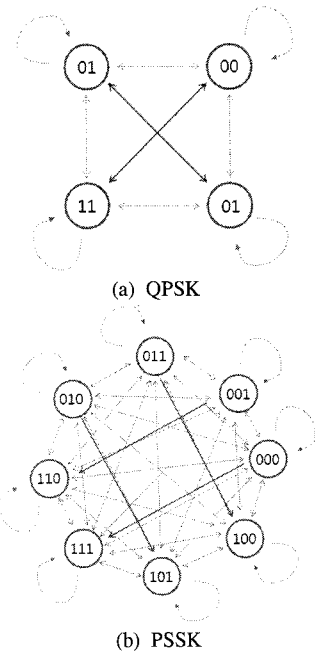


그림 4. 변조기법 (a) QPSK, (b) PSSK  
Fig. 4. Modulation technique, (a) QPSK, (b) PSSK

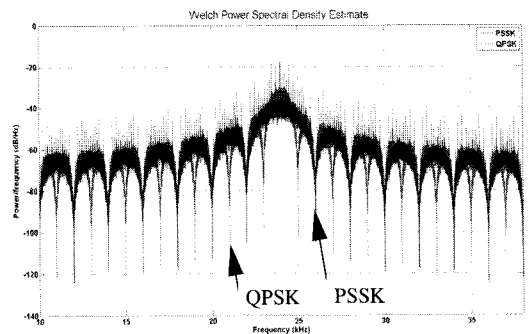


그림 5. 변조기법에 따른 전력 스펙트럼  
Fig. 5. Power spectrum by modulation techniques

### III. 수중 통신 채널 특성

#### 3.1 수중 채널 환경

일반적으로 음파의 속도는 공기 중에서는 340 m/s, 수중에서는 1450~1540 m/s, 해저에서는 1500~2500 m/s로 알려져 있다. 수중 환경에서 음파 신호는 수심, 수온, 전송거리, 해수면의 변화, 해저면의 상태 등으로 인해 다양하며 복잡한 특성을 가진다. 특히 천해의 경우 해수면과 해저면의 반사 및 다중경로를 포함한 다양한 특성으로 수중통신의 성능 저하를 일으킨다. 또한 운용 환경의 특성상 수중 센서 네트워크인 경우 한번 설치하면 전원 교체가 어렵기 때문에 오랜 시간 사용이 가능하도록 소모 전력을 최소화해야 한다<sup>3)</sup>.

#### 3.2 수중통신 오차 유발 요인<sup>8)</sup>

##### 3.2.1 잡음(Noise)

수중 환경에서의 잡음은 크게 인공 잡음(man-made noise)과 주변 잡음(ambient noise)으로 나눌 수 있다. 전자는 주로 펌프 기어등과 같은 기계류 소음을 나타내는 반면, 후자는 조수간만, 해류, 폭풍, 바람, 지진, 비 등으로 인한 유체역학(hydrodynamics)에 관련된 소음이다. 이는 수신단의 이용 가능한 거리, 대역폭, SNR을 결정한다.

##### 3.2.2 다중 경로(Multi-Path)

음향 신호의 다중 경로 전파는 인접 심벌간의 간섭을 발생시켜 수중 통신 성능의 극심한 저하를 가져온다. 다중경로의 구조는 링크의 구성에 따라 달라진다. 일반적으로 수직(vertical)채널의 경우 짧은 시간의 퍼짐이 생기는 반면, 수평(horizontal)채널의 경우 매우 긴 다중경로 확산이 생길 수 있다. 확산의 정도는 깊이와 송·수신기 간 거리의 함수로 나타난다.

##### 3.2.3 도플러 확산(Doppler spread)

도플러 확산은 송·수신단의 움직임이나 파도로 인해 수면에서 신호 반사 지점의 움직임에 기인한다. 이는 수니부에서 많은 인접 심벌들 사이의 간섭을 일으키는 원인으로써, 수중 통신 성능의 저하를 가져온다. 대역폭과 심벌 구간 사이의 곱이 대역폭과 심벌 구간 사이의 곱이 1보다 작으면 무시할 수 있으나 1보다 크면 무시할 수 없다.

##### 3.2.4 전달 손실(Path Loss)

수중 환경에서 전송 손실은 크게 감쇄와 기하학적 확산(geometric spreading)으로 나눌 수 있다. 전자는

주로 음향에너지가 열에너지로 변화하는데서 발생하는 것으로 거리와 주파수에 따라 증가한다. 후자는 파면(wavefront)의 퍼짐에 의해 생겨나는 손실이며, 천해의 경우 원통형 확산(cylindrical spreading)이 대양에서는 구형 확산(spherical spreading)이 발생한다. 이는 주파수와는 독립적으로 거리에 따라 증가한다.

### IV. 모의 수중 실험 및 결과

본 논문에서는 부산 앞 바다에서의 잔향 및 다중 경로(Multi-path)의 특성을 파악하기 위해 아주 짧은 펄스인 burst 신호를 송신한 뒤 수신한 신호를 이용하여 수중 채널 특성을 분석하였으며, 여기서 얻어진 수중 채널 임펄스 응답을 이용하여 모의실험을 수행하였다. 실험 환경은 그림 6과 같이 수심 5 m, 송·수신기 수면으로 부터 1.5 m, 그리고 송·수신기 사이의 거리는 12 m로 하였다. 수중채널의 임펄스 응답을 얻기 위해 burst 신호를 수회에 걸쳐 송·수신 하였으며, 수집된 채널 임펄스 응답의 평균을 구하여 모의실험에 사용하였는데 그림 7에 나타내었다.

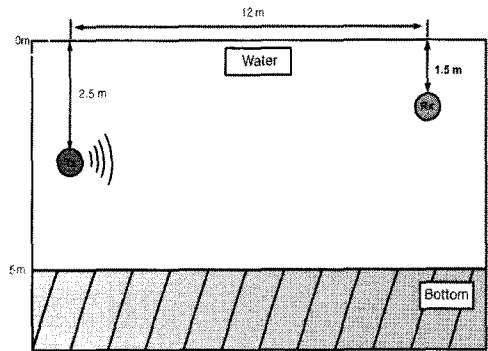


그림 6. 채널 추정을 위한 실험 환경  
Fig. 6. Experimental environment for channel estimation

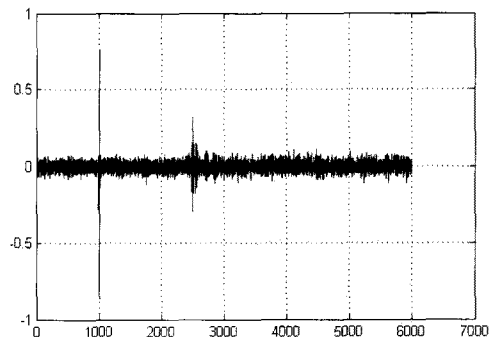


그림 7. 측정된 임펄스 응답  
Fig. 7. Measured impulse response

본 논문에서는 데이터 전송 품질을 눈으로 쉽게 확인하기 위해 영상 데이터를 사용하였으며, 일반적으로 영상의 품질을 평가하기 위해 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 이용한다. SNR을 구할 때에는 신호 전력과 잡음전력을 이용하는데 이때 전력은 평균 전력을 의미한다. 반면 PSNR의 경우 평균전력을 취하지 않고 최대 전력을 이용하여 SNR을 구하게 되며, 식 (3)과 같이 표현 될 수 있다. 이 식에서 분모항은 두 영상의 데이터에 대해 동일한 위치에서의 분산으로 오차 제곱 평균(Mean Square Error : MSE)를 의미하며, 분자는 원본 영상 신호의 전력의 자승을 의미한다.

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{Max_I^2}{MSE}\right) = 20\log_{10}\left(\frac{Max_I}{\sqrt{MSE}}\right) \quad (3)$$

본 논문에서는 QPSK와 PSSK의 성능 비교를 위해 동일한 채널 임펄스 응답으로 모의실험을 수행하였으며, 모의실험의 기본 파라메타는 다음과 같이 반송파 24 kHz, 샘플링 속도 192 kHz 그리고 전송율 3 kbps로 설정하였다. 모의실험에 사용한 전송데이터는 그림 8과 같이 100×70 크기를 갖는 그레이 이미지이다. 그림 9는 QPSK기법의 모의실험 결과 그림이며, 그림 10은 PSSK 기법의 모의실험 결과 그림이다. 이때 채널 코딩이나 등화기(equalizer)와 같은 기법들은 적용하지 않았으며, 시간 동기화는 완벽하다고 가정하였다. 통신 방식 별 모의실험 결과를 비교하였을 때, QPSK는 총 56,000개의 데이터 중 6,479개로 BER(Bit Error Rate)이 약  $1.14 \times 10^{-1}$  이었으며, PSSK인 경우에는 6,869개로 약  $1.22 \times 10^{-1}$ 로 유사한 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 또한 PSNR을 비교한 결과 QPSK의 경우 9.37 dB이며, PSSK의 경우 9.11 dB였다. 그러나 PSSK 기법의 경우 그림 2에서 보는바와



그림 8. 원본 영상  
Fig. 8. Original image

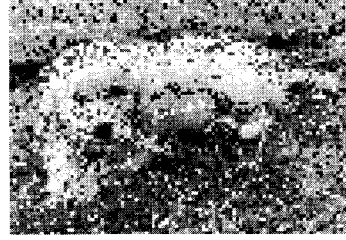


그림 9. QPSK 전송 결과  
Fig. 9. Result of QPSK transmission

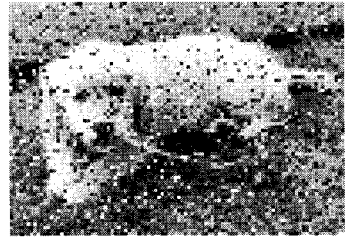


그림 10. PSSK 전송 결과  
Fig. 10. Result of PSSK transmission

같이 한 심벌의 신호 중 절반에만 PSK 신호를 송신하고 절반은 silence 구간으로 처리하였다. 즉, PSK 신호 전송이외에 Pluse position 형태로 신호를 송신하기 때문에 기존 PSK보다 전력 효율적인 측면에서 개선된 결과를 보여준다. 일반적으로 8-PSSK 전력 이득은 QPSK 보다 약 6 dB 향상을 보인다고 알려져 있다<sup>[3]</sup>.

## V. 수중 통신 실험 및 결과

수중 채널에서 PSSK 변조 기법의 적용성 및 성능을 검증하기 위하여 QPSK기법과 PSSK기법의 수중 음향 통신 실험을 부산 앞 바다에서 수행하였다. 그림 11은 실험 주변 해역 사진이며, 실험의 채널 환경은 그림 12와 같이 수심 6 m, 송·수신기는 수면으로부터 2.5 m, 그리고 송·수신기 사이의 거리는 20 m로 하였다. 실험 시 주변에 두 척의 배 엔진과 근처에 매립공사로 인한 소음이 존재하였으며, 바람 및 주변에 항해하는 배로 인한 너울성 파도가 존재하였다. 실험을 위한 파라메타는 표 1과 같다.

실험에서 변·복조는 PC를 이용 하였으며 수신 신호의 심벌 동기화를 위해 송신 신호의 앞 단에 preamble block을 삽입하였다. D/A 컨버터(Digital to Analog Converter)를 거친 신호는 power amplifier를 통해 증폭되어 송신 센서를 통해 전송되며, 수신부에서는 아날로그 필터를 거친 다음 A/D 컨버터(Analog to Digital Converter)를 통해 PC로 저장하였

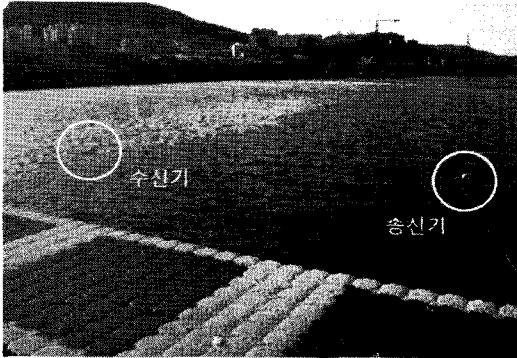


그림 11. 실험 사진  
Fig. 11. Experiment view

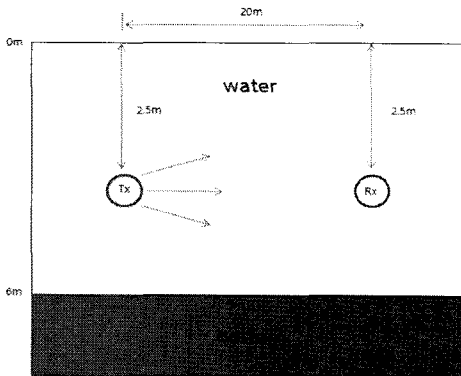


그림 12. 실험 환경  
Fig. 12. Experiment environment

표 1. 실험 파라메타.  
Table 1. Experiment parameters.

송신기	ITC-1001
수신기	B&K-8103
전송속도	1 kbps
전송데이터	100×70 gray scale image (56,000 bit)
Carrier/ Sampling(kHz)	24 / 96

다. 수신 신호의 검출 및 동기에는 preamble block의 자기 상관을 이용하여 수행하였다.

PSSK 기법의 경우 PSK 기법과는 달리 신호를 구성하는데 있어 silence 구간이 존재하며, 이러한 silence 구간에 의해 기존의 PSK 기법과 비교했을 때 전력의 효율성 향상이라는 장점을 가지게 되어 수중 센서 네트워크 시스템에 적용하는데 커다란 장점을 가진다. [1]에 따르면 silence 구간으로 인해 8-PSSK 전력 이득은 QPSK 보다 약 6.9 dB 향상되며, 대역폭

사용량은 약 25%, 전송 파워와 back-off 값에서는 각각 3 dB와 1.5 dB 이득을 얻을 수 있다 [5-7,9-12]. 그림 13은 해상 실험을 통해 수신부에서 수신한 데이터를 송신 신호와 비교한 그림이며, 그림 14는 QPSK 변조와 PSSK 변조의 수신 신호의 전력 효율성을 비교한 그림이다. 그림 13을 보면 수중 채널의 영향으로 인해 데이터 신호 구간의 왜곡뿐만 아니라 무음 구간에 다중 경로로 인한 이전 신호의 간섭 및 수중 채널의 배경잡음의 영향으로 인해 신호가 크게 왜곡되는 것을 확인할 수 있다. 그림 14를 보면 QPSK 변조기법의 경우 전력 스펙트럼이 약 -48 dB에 존재하며 비해 PSSK 변조 기법의 경우 약 -41 dB에 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 [1]에서 확인할 수 있는 전력 이득 6.9 dB에 근접한 결과인 6 dB 이상의 전력 이득이 있음을 확인할 수 있었다.

실험에 사용된 원본 영상은 그림 8과 같으며 그림 16은 QPSK를 전송 속도 1 kbps, 그림 17은 PSSK를

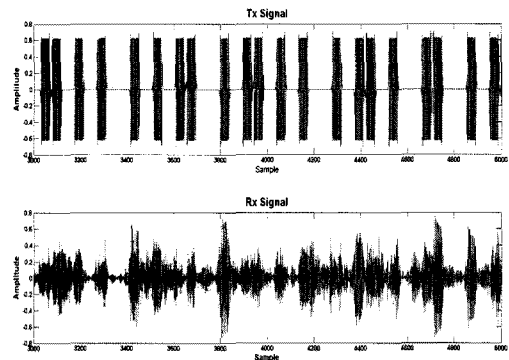


그림 13. 송·수신 신호의 비교  
Fig. 13. Comparison of transmission signal and received signal

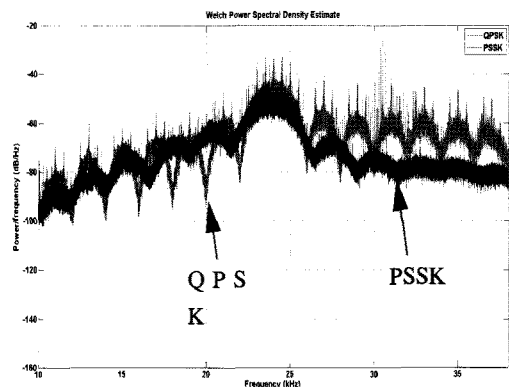


그림 14. 수신 신호의 전력 스펙트럼  
Fig. 14. Power spectrums of received signal

전송 속도 1 kbps일 때의 실험 결과 그림이다. 이때 송·수신기 사이가 비교적 근거리이고, 고정되어 있을 것을 감안하여 주파수 오프셋 복원 및 채널 추정은 적용하지 않았다.

실험 분석 결과 QPSK인 경우 총 56,000개의 데이터 중 12,840개로 BER이 약  $3.19 \times 10^{-1}$ 이고, PSSK인 경우는 13,205개로 BER이 약  $2.36 \times 10^{-1}$ 인 결과를 얻었으며, PSNR을 비교한 결과 QPSK의 경우 약 6.4 dB이며, PSSK의 경우 약 6.3 dB로 측정되었다. 두 결과를 비교해 보면 두 변조 기법이 거의 유사한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그 이유로는 PSSK 기법의 경우 신호 파형의 포지션 유무, 즉 silence 구간의 위치에 의해 데이터의 일부를 전송하며, 신호가 존재하는 구간에서는 일반적인 PSK 변조를 하기 때문에 통신 성능적인 관점에서는 PSK와 유사한 성능을 나타내게 된다. 하지만 그림 14에서 보는 바와 같이 PSSK 변조기법의 수신신호가 QPSK 변조기법의 수신 신호에 비해 약 7 dB 정도 전력 효율이 뛰어나다는 것을 확인할 수 있다.

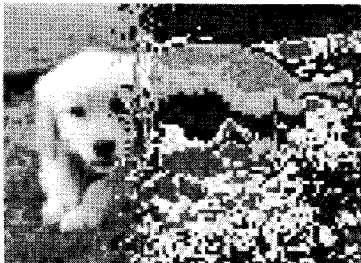


그림 15. QPSK(1kbps) 결과  
Fig. 15. Result of QPSK(1kbps)

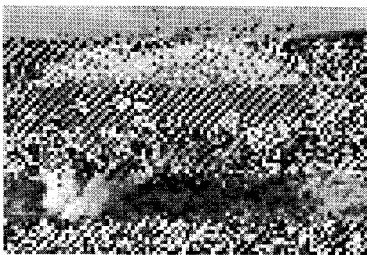


그림 16. PSSK(1kbps) 결과  
Fig. 16. Result of PSSK(1kbps)

## VI. 결론

본 논문에서는 수중 센서 네트워크 시스템에 적용 가능한 저전력 통신을 위해 PSSK 기법에 대한 연구

를 하였다. 송·수신단이 근거리인 영역에서 모의실험 및 해상 실험을 수행한 결과 전력 효율적인 측면에서는 기존 PSK보다 효율적인 성능을 나타내면서도 기존의 PSK와 유사한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

향후 연구 내용으로는 PSSK를 위한 주파수 오프셋 보상과 채널 추정 및 등화기에 대한 연구가 필요하며 통신 거리의 증가 및 전송속도 증가에 대한 방법도 연구가 되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

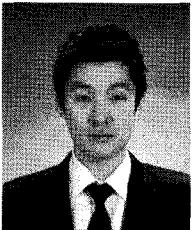
- [1] A. Baggeroer, "Acoustic telemetry - an overview," *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol.9, No.4, pp.229-235, Oct., 1984.
- [2] Daniel B. Kilfoyle and Arthur B. Bagge roer, "The state of art in underwater acoustic telemetry," *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol.25, No.1, pp.4-27, Jan., 2000.
- [3] M. Suzuki and T. Sasaki, "Digital acoustic image transmission system for deep sea research submersible," *IEEE Oceanic Eng. Conf.*, pp.567-570, Newport, Oct., 1992.
- [4] 한정우, 손윤준, 김기만, "수중에서 OFDM 변조를 이용한 음향 통신의 성능분석," *한국항해항만학회지*, 제34권, 10호, 2010. 12.
- [5] Jung-Yeol OH, Jaw-Hwan Kim, Hyung-Soo Lee, and Jae-Yong Kim, "PSSK modulation scheme for high-data rate implantable medical devices," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol.13, No.3, May 2010.
- [6] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 2001.
- [7] D. K. Kim and H. S. Lee, "Phase-silence-shift-keying for power-efficient modulator," *IEICE Trans. Communication s*, Vol.E92-B, No.6, pp.2324-2326, June. 2009.
- [8] S.Coatelan and A.Glavieux, "Design and test of a coding OFDM system on the shallow water acoustic channel," *OCEANS'95. MTS/IEEE Challenges of Our Changing Global Environment Conference Proceedings*, Vol.3, pp.2065-2070, 9-12 October 1995.
- [9] 최재훈, 손종원, 유흥균, "전력 효율을 개선하는

새로운 PSPM 변조 방식,” 한국통신학회논문지, 제35권, 8호, 2010. 8.

- [10] B. Hashem and M. S. El-Hennawey, “Performance of the pi/4-DQPSK, and QAM modulation schemes in mobile radil with multipath fading and nonlinearities,” IEEE Trans. Veh. Tech., Vol.46, No.2, pp.390-395, May 1997.
- [11] R. Raich and G. t. Zhou, “Analyzing spectral regrowth of QPSK and OQPSK signals,” in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process., Vol.4, pp.2673-2676, May 2001.
- [12] H. Furukawa, K. Matsuyama, T. Sato, T. Takenaka, and Y. Takeda, “A  $\pi/4$ -shifted DQPSK demodulator for a personal mobile communications system,” in Proc. IEEE Int. Symp. Pers., Indoor Mobile Radios Commun., pp.618-622, 1992.

장 철 희 (Chul Hee Jang)

준회원



2008년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)

2008년 3월~현재 한국해양대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> 수중통신, DSP, 마이크로프로세서 하드웨어 구현

한 정 우 (Jeong Woo Han)

준회원



2007년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)

2009년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)

2009년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> 수중통신, DSP,

마이크로프로세서 하드웨어 구현

김 기 만 (Ki Man Kim)

정회원



1988년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 8월 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1995년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1996년 8월 연세대학교 의과대학 의용 공학교실(Fellow)

1996년 9월~현재 한국해양대학교 전파공학과 교수  
<관심분야> 수중통신, 소나 신호처리, 3차원 음향제어, 채널추정, DSP 및 CPLD 구현

이 성 로 (Seong Ro Lee)

정회원



1987년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업

1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사

1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사

1997년 9월~현재 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템, 생체인식시스템