

논문 2011-48TC-1-5

# 수중통신채널에서 채널코딩을 이용한 송수신 깊이별 에러오율 비교 연구

( Comparison of The BER Performance Using Channel coding  
Depending on The Transmitter-receiver depth in The Underwater  
Channel )

이 덕 수\*, 심 태 보\*\*

( Ducksoo Lee and Taebo Shim )

## 요 약

수중에서의 통신은 수중채널의 잔향음이나 소음특성에 영향을 받으며, 다중 음파 경로 등으로 인하여 신호의 지연 현상이 발생하게 된다. 이로 인해 신호는 왜곡되고 송수신시에 많은 오류를 발생시키기 때문에 오류정정을 위한 채널코딩이 필요하다. 본 논문에서는 수신된 신호의 오류를 정정할 수 있는 채널코딩 방법에 대하여 연구하였다. 이 채널코딩 방법을 이용하여 송수신 깊이별로 성능을 비교 분석하였다. 변조방식으로는 QPSK, 부호화율로는 1/2 code rate를 사용하였고 길쌈부호화를 사용하였을 때 성능이 향상되었다.

## Abstract

Underwater communication is affected by reverberation and noise characteristics of the underwater channel and time delay takes place by multipath. Hence, Signal is distorted and a lot of error is generated in the transmitting/receiving by multipath effects, so a channel coding for error correction is required. We propose a channel coding algorithm which is possible to correct error of received signal. We compare and analyze BER(bit error rate) performance depending on the depth of each transmitter-receiver using channel coding algorithm. QPSK was used as a modulation method, and 1/2 code rate convolution coding was used as a coding rate. A convolution coding method shows increase of BER performances.

**Keywords:** BER, Underwater channel, Channel coding, Multipath, Modulation

## I. 서 론

수중 무선통신은 1990년대 초반까지 수십 bps(bits per second)정도의 낮은 전송률을 갖고, 위상동기가 필요 없는 FSK (Frequency Shift Keying) 등의 비 위상 동기 (non-coherent) 전송에 대한 연구가 주류를 이루었다. 그러나 수중음향신호처리기술의 발전과 이를 뒷받침 할 수 있는 강력한 연산능력을 갖는 하드웨어의

발달에 힘입어 상대적으로 높은 전송효율을 갖는 MPSK(M-ary Phase Shift Keying) 및 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 등의 위상동기 (Coherent) 전송에 대한 연구가 최근에 주류를 이루고 있다.<sup>[1,4]</sup>

최근 수중 무선통신 기술은 위상동기 방식을 사용하여 200-20,000 bps사이의 전송율과 0.06-50 km 정도의 전송거리에서 사용가능한 시스템들이 개발되었다.<sup>[1]</sup> 그리고 전송 시스템의 성능을 향상시키기 위한 연구가 미국을 비롯한 수중통신기술 선진국에서 활발히 진행중에 있다. 한편, 국내에서는 한국해양연구원에서 7.4km 거리에서 10,000bps의 전송속도를 갖는 QPSK 송수신 시

\* 학생회원, \*\* 정회원, 숭실대학교 정보통신공학과  
(Department of Information & Telecommunication  
Engineering, Soongsil University)

접수일자: 2010년12월19일, 수정완료일: 2011년1월13일

힘을 하였다.<sup>[2]</sup>

수중통신채널을 통해서 전달되어지는 자료는 명령, 제어, 음성, 그리고 영상자료 등으로 구분할 수 있다. 이 중 음성통신의 경우에는 특징파라미터를 전송하는 다양한 보이스 디코딩(Voice Decoding) 방법에 의하여 1Kbps 이하의 전송율과  $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 의 낮은 BER에서도 가능하나 수중센서에 의해 수집된 자료전송의 경우에는 수십 Kbps와  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 의 상대적으로 높은 BER을 요구한다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 채널코딩 방법을 사용하여 BER 성능을 높이고 송수신 깊이별로 BER성능을 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 논문에서 사용한 부호화와 음속 프로파일에 대하여 설명하고 III장에서는 수중통신채널 모델링 하며, 채널 코딩 방법을 사용하여 송수신 깊이별 성능을 분석한 다음 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

## II. 이 론

### 1. 통신 시스템 블록도

그림 1은 통신시스템 블록도를 나타낸다. 소스코딩과 채널코딩을 거쳐 변조를 하고 수중채널을 통과한 신호는 복조과정과 채널코딩과 소스코딩의 반대과정을 거친다.

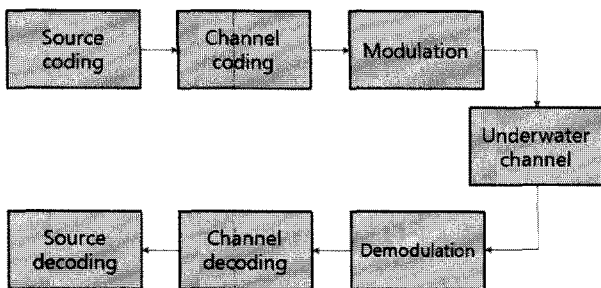


그림 1. 통신시스템 블록도  
Fig. 1. Block diagram of communication system.

### 2. 채널 코딩

채널 코딩은 데이터 전송에 있어서, 채널에서 발생하는 잡음에 의한 오류를 수신측이 검출 혹은 정정할 수 있도록 원래의 데이터에 새로운 데이터를 덧붙이는 방법을 말하며 오류 제어 코딩(ECC : Error Control Coding)이라고도 한다. 보통의 채널 코딩에 있어서 오류 검출 또는 오류 정정을 위한 능력은 본래의 데이터

에 약간의 비트를 덧붙임으로써 얻어진다. 채널 코딩의 주된 문제는 채널 상에서 발생하는 오류를 어떻게 하면 적은 비트를 추가하여 방지할 수 있는가 하는 것이다. 수중에서 효과적인 통신을 위해서는 한정된 주파수를 사용하면서도 시스템의 BER 성능이 우수하고 수중채널 변동에 적응적으로 대처할 수 있는 기법이 적용되어야 한다. 본 논문에서는 채널 코딩 기법중 하나인 길쌈 부호화기법을 사용한다.<sup>[8]</sup>

### 가. 길쌈 부호화

길쌈 부호화는 채널 코딩 알고리즘의 일종으로 메모리를 갖고 있다. 부호화때 현재의 입력 신호에 과거의 일부 신호를 함께 활용한다.

길쌈 부호화의 일반 다항식은

$$g^{(k)}(x) = 1 + \sum_{i=1}^M w_k^{(i)} x^{(i)} \quad (k=0, \dots, n-1) \quad (1)$$

로 표시된다. 여기서 코드율은 다음과 같다.

$$r = \frac{l}{n(l+M)} \approx \frac{1}{n} \text{ (bits/symbol)} \quad (2)$$

이때 l은 메시지 비트의 수가 되고 n은 modulo-2 덧셈기의 수, M은 플립플롭의 수가 된다. 본 논문에서는 부호화율을 1/2을 사용하고 복호화 과정에서는 비터비 복호기를 사용한다.

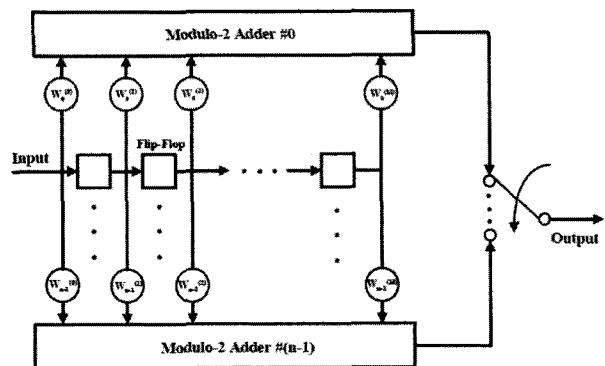


그림 2. 길쌈 부호화기  
Fig. 2. Convolution encoding.

### 3. 음속 프로파일

수중통신채널에서 음속 프로파일은 매우 중요하다. 그 이유는 음속 프로파일에 따라서 음파 경로가 결정되고 수중통신채널을 형성하기 때문이다. 이 음속 프로파

일은 수온, 염도, 깊이에 따라 크게 바뀐다. 본 논문에서는 (3)식을 이용하여 음속 프로파일을 결정하였다.<sup>[9]</sup>

$$c = 1449 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.0003T^3 + (1.39 - 0.012T)(S - 35) + 0.017D \quad (3)$$

c : 음속(Sound Velocity)

T : 수온(Temperature)

S : 염도(Salinity)

D : 깊이(Depth)

### III. 실험

#### 1. 수중통신채널 형성

본 논문에서는 국립수산과학원(NFRDI) 09년 6월 동해 수온자료를 이용하여 SVP(Sound Velocity Profile)

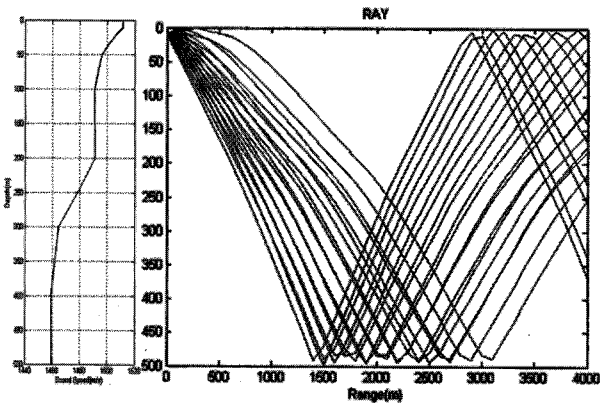


그림 3. 음속구조와 음선  
Fig. 3. SVP and Ray.

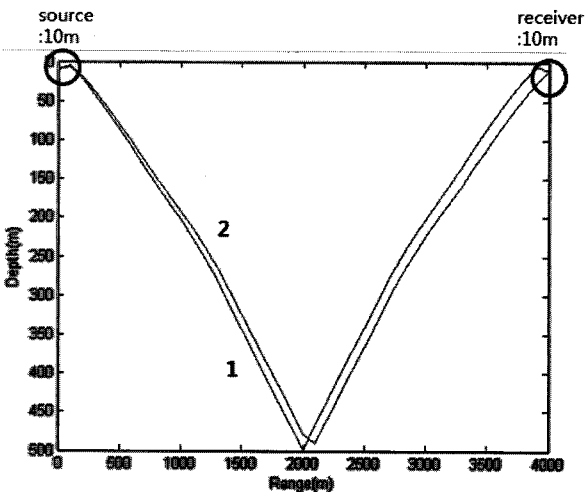


그림 4. 고유음선  
Fig. 4. Eigen ray.

표 1. 10m-10m Eigen ray 결과값

Table 1. Eigen ray result value in 10m-10m.

Number	Arrival Time(s)	Top Banks	Bottom Banks	Length (m)	Arrival Amplitude	Normalized Amplitude
1	2.78749	1	1	4127.3	0.00029598	0.660614
2	2.78961	2	1	4132.6	0.00033635	0.750726

를 얻었다. 이 자료를 Ray theory를 이용하여 수중통신채널을 시뮬레이션 하였다.

그림 3에서 보는 것과 같이 송신단과 수신단 사이의 거리는 4km, 송신단 수심은 10m, 수신단 수심은 10m로 정하였다. 음속구조에 따라 음선이 이동하는 것을 볼 수 있다. 그림 4는 송신기에서 수신기에 도달한 음선을 나타낸다.

표 1은 다중경로로 수신기에서 수신한 값이며, 도달시간, 해수면과 해저면의 반사회수, 음선의 이동거리를 나타내고 이들 값을 이용하여 신호세기를 정규화 하였다.

#### 2. 길쌈부호화 성능 분석

변조방식은 좋은 BER성능을 나타낸 QPSK를 사용하였고 채널 코딩은 길쌈 부호화를 사용하였다. 길쌈 부호화를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 결과는 그림 5와 같다.

BER을  $10^{-3}$ 으로 고정하였을 때 길쌈부호화를 사용하지 않았을 때보다 길쌈 부호화를 사용하였을 때 약 3dB 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다. SNR이 작

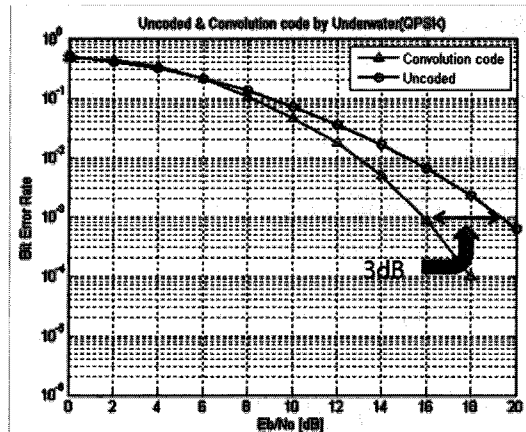


그림 5. 길쌈부호화와 코딩 사용하지 않았을 때의 성능 비교

Fig. 5. BER performance by convolution coding and Uncoded.

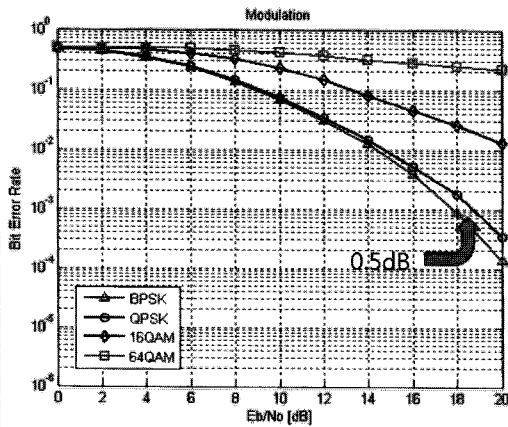


그림 6. 변조 방식별 성능 비교  
Fig. 6. BER performance by modulation.

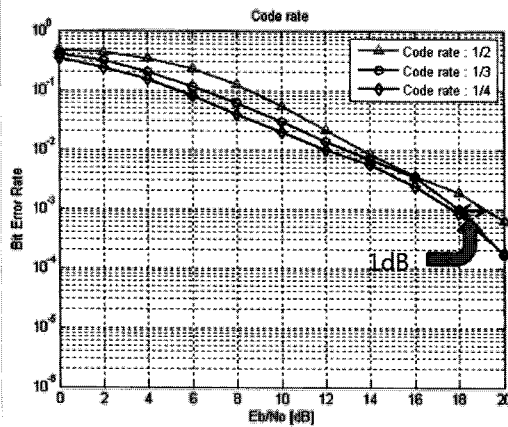


그림 7. 부호화별 성능 비교  
Fig. 7. BER performance by code rate.

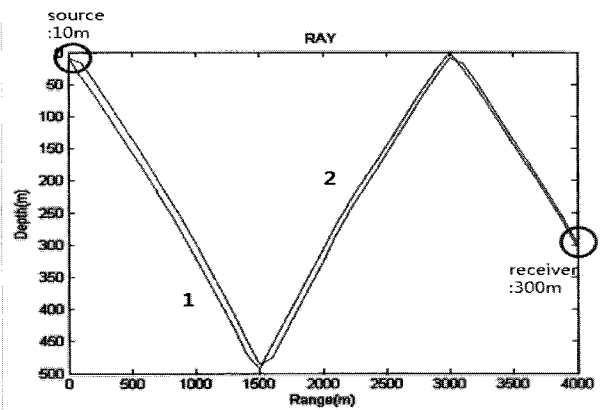
을 때는 큰 성능 차이가 없지만 SNR이 커질수록 길쌈 부호화를 사용하였을 때 성능이 좋아지는 것을 볼 수 있다.

길쌈부호화를 사용하였을 때 변조방식별 성능 비교 결과는 그림 6과 같다. BER을  $10^{-3}$ 으로 고정하였을 때 BPSK는 QPSK보다 약 0.5dB정도 성능이 좋다. 16QAM, 64QAM은 BPSK, QPSK와 비교 했을 때 성능이 급격하게 떨어진다.

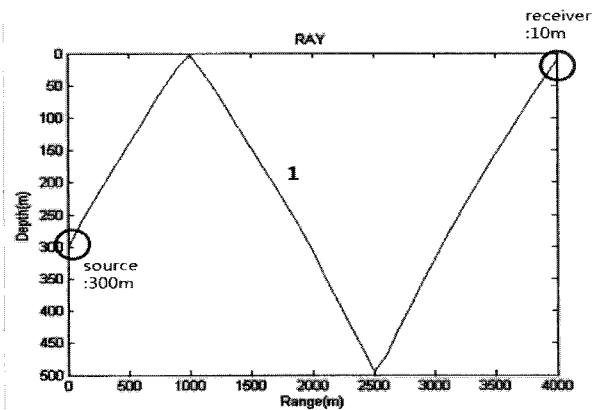
길쌈부호화를 사용하고 변조방식으로 QPSK를 사용하였을 때 코드율별 성능 비교결과는 그림 7과 같다. BER을  $10^{-3}$ 으로 고정하였을 때 1/3 부호화가 1/2 부호화보다 약 1dB 성능이 좋았고 1/3 부호화와 1/4 부호화의 성능 차이는 거의 없었다. 부호화율을 높일수록 성능이 좋아지지만 1/3 부호화율 이상에서는 성능이 좋아지지 않는다.

### 3. 송수신 깊이별 성능 분석

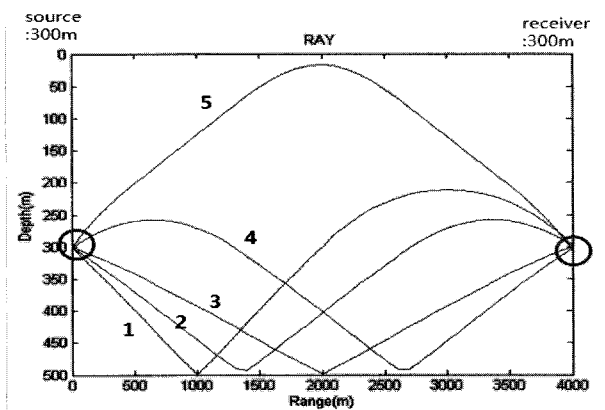
앞의 실험 결과를 반영하여 변조방식은 좋은 BER 성능을 나타낸 QPSK를 사용하고 채널 코딩은 길쌈 부호화를 사용하였다. 실험 환경은 앞의 실험과 동일한 위치, 동일한 환경에서 송수신 깊이별로 성능 분석을 하



(a)



(b)



(c)

그림 8. 깊이별 고유음선  
(a)10m-300m (b)300m-10m (c) 300m-300m

Fig. 8. Eigen ray by Tx-Rx depth.

표 2. 깊이별 Eigen ray 결과값  
Table 2. Eigen ray result value by depth.

Tx-Rx Depth	Number	Arrival Time(s)	Top Bunks	Bottom Bunks	Length (m)	Arrival Amplitude	Normalized Amplitude
10-300	1	2.83918	1	1	4206.51	0.0002523	0.728409
	2	2.84114	2	1	4211.07	0.00023731	0.685143
300-10	1	2.83805	1	1	4205.03	0.00024753	1
300-300	1	2.75411	0	1	4050.07	0.00021974	0.253048
	2	2.75487	0	1	4032.69	0.00051109	0.588569
	3	2.75291	0	1	4019.95	0.00037758	0.434815
	4	2.75486	0	1	4032.68	0.00051675	0.595085
	5	2.71286	0	0	4045.58	0.00018698	0.21532

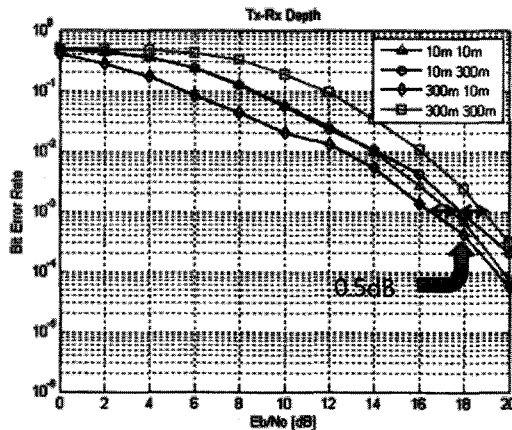


그림 9. 깊이별 성능 비교  
Fig. 9. BER performance by Tx-Rx depth.

었다. 송수신 깊이는 10m-10m, 10m-300m, 300m-10m, 300m-300m로 설정하였다.

표 1과 마찬가지로 각 송수신 깊이별 고유음선의 결과값을 표 2에 나타내었다. 10m-300m, 300m-10m, 300m-300m 경우 각각 2개, 1개, 5개의 고유음선이 생긴다.

송수신 깊이별로 성능 비교한 결과는 그림 9와 같다. BER을  $10^{-3}$ 으로 고정하였을 때 송수신 깊이가 300m-10m는 10m-10m, 10-300m일 때 보다 약 0.5dB 성능이 좋았다. 10m-10m, 10-300m는 300m-300m일 때 보다 약 0.5dB 성능이 좋았다. 10m-10m와 10-300m에서는 성능 차이를 보이지 않았다. 이는 송수신 깊이별로 성능의 차이가 있었다고 볼 수는 없다. 다중경로가

1개일 때 성능이 제일 좋고 2개일 때 다음으로 성능이 좋았으며 5개일 때 성능이 가장 좋지 않았다. 이것으로 보아 다중경로가 많아질수록 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결 론

수중에서 효율적인 통신을 위해서는 다중 음파 경로, 잔향 등으로 인하여 신호의 지연 현상을 극복할 수 있는 통신기술이 중요하다. 본 논문에서는 통신시스템에서 에러를 극복하고 정정할 수 있는 채널코딩을 이용하여 BER성능 개선에 적합한 코딩 방식을 연구하였다. 그리고 채널 코딩을 적용하여 송수신 깊이별로 성능 분석을 하였다. 길쌈부호화를 사용하였을 때 길쌈부호화를 사용하지 않았을 때 보다 약 3dB 성능이 향상되었고 변조방식으로는 QPSK, 부호화율로는 1/2 code rate를 사용할 때 데이터 양이 크게 늘지 않으면서 좋은 성능을 유지할 수 있었다.

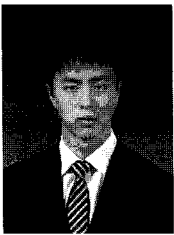
송수신 깊이별로 성능을 분석한 결과 송수신 깊이가 300m-10m일 때 성능이 가장 좋았지만 송수신 깊이가 성능을 결정한다고 할 수는 없었다. 음속구조와 송수신 깊이에 따라 다중경로의 영향으로 인한 신호지연이 얼마나 발생하였는가가 성능에 영향을 끼친다고 할 수 있다. 앞으로 다중경로의 영향을 포함하여 성능에 영향을 주는 요소들에 대한 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. Kilfoyle and A. Baggeroer, "The state of the art in underwater acoustic telemetry," IEEE J. of Oceanic Eng. Vol. 25, no. 1, pp. 4-27, Jan. 2000.
- [2] 임용곤 외, 수중무선통신 시스템 개발 보고서, 한국해양연구원, 2006.12.
- [3] Simon Haykin and Michael Moher, "Analog and Digital Communications Second Edition", 한티미디어, p 471~477. 2007.
- [4] Jin-Woo Jung, Taeho Shim, "Performance Analysis of an Underwater Acoustic Communication System Combining AMC and STBC Techniques", Journal of Acoustic Society of Korea. Vol.26, No.3E, 97-103, Dec 2007.
- [5] 이덕수, 심태보, 김영규, 김형록, "채널코딩을 이용한 수중통신채널에서의 에러오율 성능향상 기법 연구", 2010년도 대한전자공학회 하계학술대회 제 33권 1호. 25~28쪽, 2010년.

- [6] 정진우, 조진수, 신기철, 심태보, “수중데이터 통신 시스템에서 ARQ를 이용한 적응변조 기법”, 한국음향학회지, 제26권, 제1(s)호, p.159~162, 2007.
- [7] 김락훈, 주국경, 김덕영, 심태보, “수중음향채널에서 STBC MIMO 시스템 적용 기법”, 한국음향학회지, 제26권, 제1(s)호, p. 155~158, 2007.
- [8] 김남수, 김민혁, 박태두, 김철승, 정지원, “수중통신 채널에서 다중경로 극복을 위한 오류정정부호에 대한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지 제33권 제5호, p.738~745, 2009
- [9] Robert J. Urick, “Principles of underwater sound 3rd edition”, Peninsula Publishing, p113, 1983.

— 저 자 소 개 —



**이 덕 수**(학생회원)  
 2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업  
 2010년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사 과정  
 <주관심분야 : 수중음향통신, 수중음향 신호처리>



**심 태 보**(정회원)  
 1974년 서울대학교 문리대 졸업  
 1980년 서울대학교 문리대 대학원 석사 졸업  
 1986년 미국 Louisiana주립대학교 박사 졸업

1986년~2005년 국방과학연구소 해양/음향 연구실장. 해양기술부장.  
 해군무기체계 개발본부 본부장 역임  
 2005년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 교수  
 <주관심분야 : 수중음향 모델링, 수중음향 신호처리, 수중음향 통신, 수중음향 영상처리>