

## 수중 주파수 선택적 채널에서 주파수 다이버시티의 채널 선택 판정법에 따른 선택 합성법의 성능

이채희<sup>1</sup> · 정현수<sup>2</sup> · 박규칠<sup>3</sup> · 박지현<sup>4\*</sup>

### Performance of selective combining according to channel selection decision method of frequency diversity in underwater frequency selective channel

Chaehui Lee<sup>1</sup> · Hyunsoo Jeong<sup>2</sup> · Kyu-Chil Park<sup>3</sup> · Jihyun Park<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate student, Department of Information and Communication Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

<sup>2</sup>Ph.D. student, Department of Information and Communication Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Information and Communication Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

<sup>4\*</sup>Senior researcher, The Sound Vibration Engineering Research Center, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

#### 요약

본 논문은 수중 주파수 선택적 채널에서 주파수 다이버시티의 채널 선택 판정법에 따른 선택 합성법 (selective combining)의 성능을 평가하였다. 천해 수중 음향 채널은 경계면 반사와 수온 층에 따른 음파 굴절 등의 다양한 환경요인이 결합하여 복잡한 다중경로의 특성을 가진다. 특히, 다중경로에 의한 주파수 선택성 (frequency selectivity)는 통신 채널의 에너지 변동을 발생시키고, 이로 인해 SNR (Signal to Noise Ratio)가 감소하여 통신성능이 저하된다. 본 논문에서는 다중경로의 주파수 선택성에 따른 통신성능 확보를 위해 다수의 채널을 이용하는 주파수 다이버시티 기법을 적용하였다. 각 채널은 4-FSK (Frequency Shift Keying)과 선택 합성법을 적용하였으며, 선택 합성법의 복조 채널 선택 판정을 위해 신호의 최댓값, 평균값 그리고 심벌 비교 판정 (majority decision)을 적용하여 성능을 평가하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, the performance of the selective combining according to the channel selection decision method of frequency diversity is evaluated in the underwater frequency selective channel. The underwater acoustic channel in the shallow sea has a complex multipath characteristic by combining various environmental factors such as boundary surface reflection and sound wave refraction according to the water temperature layer. In particular, frequency selectivity due to multipath causes energy fluctuation in a communication channel, which reduces SNR (Signal to Noise Ratio) and deteriorates communication performance. In this paper, we applied the frequency diversity technique using multiple channels to secure the communication performance according to the frequency selectivity by multipath. For each channel, 4-FSK (Frequency Shift Keying) and selective combining were applied, the performance was evaluated by applying the maximum value, average value, and majority decision of the signal in order to decide the demodulation channel selection of the selective combining.

**키워드** : 수중 음향 채널, 주파수 선택성, 주파수 다이버시티, 선택 합성법

**Keywords** : Underwater acoustic communication, Frequency selectivity, Frequency diversity, selective combining

Received 21 January 2022, Revised 8 February 2022, Accepted 19 February 2022

\* Corresponding Author Jihyun Park(E-mail:bathyun@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6237)

Senior researcher, The sound Vibration Engineering Research Center, Pukyong National University, Busan, 48513 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.3.436>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

천해 수중 음향 채널은 경계면 반사와 수온 층에 따른 음파 굴절 등의 다양한 환경요인이 결합하여 복잡한 다중경로 특성을 나타낸다. 수중 다중경로의 환경 변동요인에는 파고, 조수간만의 차, 해류, 해저면의 매질특성 등에 있으며, 특히 해면의 변동은 전파되는 신호의 진폭, 주파수, 위상 변동에 영향을 준다. 다중경로를 통해 수신된 신호는 서로 다른 지연시간으로 인해 지연확산과 위상의 보강 간섭 (in phase)와 상쇄 간섭 (out of phase)에 따른 페이딩 특성을 나타낸다. 또한, 다중경로에 의한 페이딩은 시간 신호의 상관 시간 (coherence time) 및 채널의 상관 대역폭 (coherence bandwidth)을 제한하고, 심벌 간 간섭 (Inter Symbol Interference, ISI)와 주파수 선택성 (frequency selectivity)가 증가하여 수중 음향 통신 성능을 저하시킨다[1-4].

최근 수중 음향 통신 시스템의 성능향상을 위해 다양한 변조 기법, 다중화 기법, 오류 정정 기법, 등화기법 등이 적용되고 있다. 하지만, 손실, 다중경로, 도플러 효과, 배경 잡음, 통신 채널의 시변성 등의 환경요인에 의해 수중 음향 통신 시스템의 성능은 수십 kpbs로 제한적이다[5,6].

다중경로의 변동에 따른 상관 대역폭 제한과 주파수 선택성의 변동은 수중 통신 시스템의 성능을 저하시키고, 안정적인 정보전송을 방해하는 통신 제한요인이다. 이러한 다중경로 채널에서 다수의 센서와 다수의 주파수 채널을 적용한 다이버시티 기법을 통해 채널 변동에 따른 성능 저하에 대응하고 있다[7,8].

수중 음향 통신에서 단일 센서를 사용하는 주파수 다이버시티는 동일한 정보를 다수의 주파수 채널로 분리하여 전송하는 방식이다. 다수의 채널로 송신된 신호는 수신 단의 합성법에 따라 복원되며, 합성법에는 선택 합성법 (selective combining), 동이득 합성법 (equal gain combining), 최대비 합성법 (maximal ration combining)이 있다. 일반적으로 선택 합성법이 적용될 경우 2.2 dB 이득 개선이 된다. 동이득 합성법과 최대비 합성법은 각각 2.6 dB, 3 dB의 이득이 개선되지만, 신호의 위상 동기화의 어려움과 최대 비율을 결정하기 위한 구조가 복잡하다[9].

본 논문에서는 수중 주파수 선택적 채널에서 주파수 다이버시티의 채널 선택 판정법에 따른 선택 합성법의 성능

을 평가하였다. 채널 특성 분석을 위해 LFM (Linear Frequency Modulation) 신호를 사용하여 지연확산과 주파수 선택성을 분석하였다. 또한, 주파수 다이버시티의 선택 합성법에서 신호의 최댓값과 평균값을 사용한 채널 선택 판정 그리고 심벌의 다수결 판정을 적용한 심벌 비교 판정에 대한 성능을 비교하였다. 성능평가에서 심벌 비교 판정이 상대적으로 우수한 성능을 보였으며, 성능평가의 결과로 채널 보호 구간 (guard band) 변화에 따른 BER (Bit Error Rate)와 이미지 전송성능으로 나타내었다.

## II. 수중 다중경로 채널의 주파수 선택성과 주파수 다이버시티 기법

천해 수중음향 다중경로 채널은 경계면 반사 특성과 수온 층에 따른 음파 굴절 등의 다양한 환경요인이 통신 성능을 결정하는 환경 지배적 통신환경이다. 그림 1과 같이 수중 다중경로 채널에서 대표적인 경로 파는 직접파, 해면 반사파, 해저면 반사파로 구분된다. 이러한 채널에서 직접파를 제외한 해면과 해저면 반사파는 매질의 변동으로 신호의 진폭, 주파수 그리고 위상의 변동을 발생시킨다 [10,11].

수중 다중경로를 통해 전달된 신호들은 각각의 경로를 통해 시간 지연되어, 수신 신호는 지연확산된 형태로 나타난다. 따라서  $k$ 개의 경로가 존재하는 다중경로 채널의 임펄스 응답은 식 (1)과 같이 표현된다[4].

$$h(t) = \sum_{p=1}^k h_p(t - \tau_p) = \sum_{p=1}^k h_p\left(t - \frac{l_p - l_0}{c}\right) \quad (1)$$

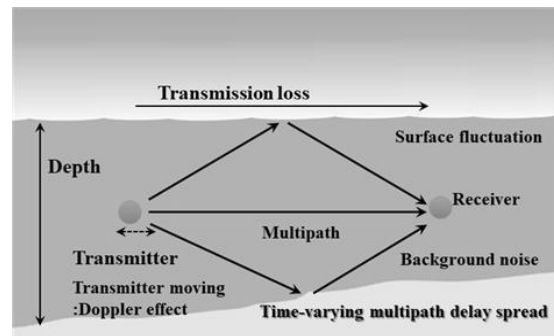


Fig. 1 Underwater multipath channel.

여기서  $h_p$ 는  $p$ 번째 경로의 임펄스 응답,  $\tau_p$ 는  $p$ 번째

경로  $l_p$ 와 직접 경로  $l_0$ 의 시간 차로  $p$ 번째 경로를 통해 수신된 신호의 시간 지연이다.

식 (1)과 같이 다중경로의 임펄스 응답은 각 경로의 임펄스 응답에 대한 합으로 표현된다. 다중경로를 통해 수신된 신호의 최대 지연확산  $\tau_{max}$ 가 심벌의 주기  $T_s$ 보다 크면 심벌 간 간섭이 발생하며, 수신 신호의 왜곡으로 통신성능을 저하시킨다.

수중 다중경로 채널은 시변적 채널로 해면의 변동특성이 매우 높다. 따라서 해면 반사파의 진폭은 해면의 거칠기(roughness)와 파고 등의 영향을 받게 된다. 해면의 거칠기  $K$ 는 식 (2)로 주어진다[12].

$$K = k\sigma \sin\theta_i \quad (2)$$

여기서  $\sigma$ 는 경계면 거칠기의 표준 유효치,  $\theta_i$ 는 수평 입사각,  $k$ 는 파수로  $2\pi f_c/c$ 이다. 만약 거칠기  $K \ll 1$ 이면 해면은 잔잔하지만,  $K \gg 1$ 이라면 해면은 교란하며 반사된 신호는 산란하여 진폭이 감쇄한다.  $K \gg 1$ 인 경우, 직접파를 포함한 수면 거칠기에 따른 수신 음압 진폭  $P$ 는  $\mu < 1$ 에 의해 감소 될 수 있으며 식 (3)과 같다.

$$P = \left(\frac{A}{r}\right) \left[1 + \mu^2 - 2\mu \cos\left(\frac{2khd}{r}\right)\right]^{1/2} \quad (3)$$

여기서  $\mu \sim \exp(-2K^2)$ ,  $r$ 은 송, 수신기 사이의 거리이며  $h$ 는 송신기의 수심,  $d$ 는 수신기의 수심이다.  $\mu$ 가 작을수록 해면 거칠기는 증가하고, 직접파를 상대적으로 크게 수신하게 된다. 따라서 경계면 변동으로 송신 신호의 진폭과 위상이 변하게 되며, 이로 인해 다중경로 파 간의 위상차에 따른 보강 간섭 (in phase)와 상쇄 간섭 (out of phase)가 발생하게 된다. 또한, 다중경로 파 간의 위상차에 비례하게 채널의 주파수 선택성이 변화하게 된다[4,12].

수중 다중경로 채널의 지연확산에 따른 주파수 선택성이 송신 신호에 미치는 영향을 수조 실험을 통해 확인하였다. 2 m X 1.5 m X 1 m의 수조에서 송·수신기의 수심은 0.35 m, 송·수신 거리는 0.7 m로 설정하였다. 그림 2(a)는 4-FSK (Frequency Shift Keying)의 송신 신호이며, 그림 2(b)는 수신 신호이다. 그림 2(c)는 채널의 지연확산 특성으로 20 ms까지 확산하였으며, 그림 2(d)는 수조의 지연확산 채널에서 LFM 신호를 이용하여 주파수 응답 특성을 확인한 것으로 주파수 선택성이 높은 것을

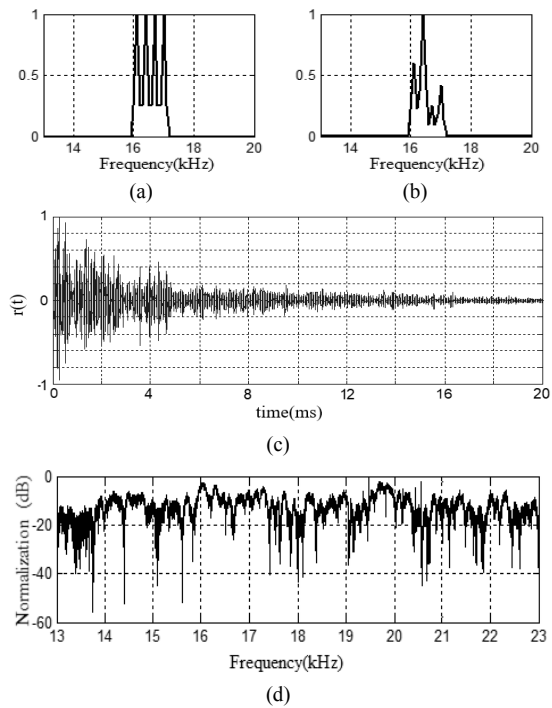


Fig. 2 Frequency selective characteristics in of water tank; (a) transmitted signal, (b) received signal, (c) delay spread, (d) frequency response.

확인할 수 있다. 다중경로 채널에서 그림 2(b)의 수신 신호는 채널의 선택성에 영향을 받아 수신 신호의 왜곡 및 페이딩의 영향을 받는 것을 확인하였다. 이러한 수신 신호의 에너지 변동은 수중 음향 통신의 성능 저하 원인이므로, 수중 음향 채널의 통신 성능향상을 위한 기법으로 다이버시티 기법의 적용이 요구된다.

다이버시티 기법 중 주파수 다이버시티는 동일한 정보를 다수의 독립적인 채널을 통해 전송하고, 독립된 채널로부터 수신된 여러 신호를 결합하여 복원하는 기술이다. 이러한 기법을 사용하면 수중 다중경로 채널의 주파수 선택성과 페이딩의 영향을 감소시켜 통신성능을 향상시킬 수 있다.

다이버시티 기법을 적용한 신호는 수신단에서 합성이 필요하다. 합성법에는 선택 합성법, 동이득 합성법, 최대비 합성법이 있다. 수중 다중경로 채널에서는 신호의 위상 변동과 복잡한 구조로 인해 동이득 합성법과 최대비 합성법의 적용이 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 여러 개의 신호 중 제일 좋은 신호를 선택하는 방법인 선택 합성법을 적용하였다. 선택 합성법은 신호를 선택

하기 위한 판정 방법이 요구되며, 본 논문에서는 신호의 에너지의 최댓값과 평균값을 이용한 판정 방법과 심벌의 다수결 판정 방법의 성능을 분석하였다.

### III. 해상실험 및 결과

수중 주파수 선택적 채널에서 선택 합성법의 판정 방법에 따른 주파수 다이버시티 성능평가를 위해 경남 거제 연안에서 해상 실험을 진행하였다. 실험 구성도와 실험 파라미터는 그림 3과 표 1과 같다. 실험해역의 조수 간만에 의한 수심은 12.5 m ~ 13.5 m로 1 m의 수심이 변화였다. 송신기 (ITC-1001)와 수신기 (B&K 8106)의 수심은 각각 5 m이며, 송·수신 거리는 10 m이다.

실험에서 적용한 변조 방식은 M-ary FSK 기법으로 변조 신호는 식 (4)와 같으며, M은 사용하는 반송파의 개수이다[13].

$$s_{M\text{-ary-FSK}} = A \cos 2\pi(f_c + f_i)t \quad (i = 0, 1, 2, \dots, M) \quad (4)$$

여기서 A는 진폭이고,  $f_i$ 는 정보 데이터에 따라 변화되는 주파수 성분이다. M-ary FSK를 통해 변조된 신호는 비동기 검파와 동기 검파가 모두 가능하다. 본 논문에서는 4개의 반송파 주파수를 사용하는 4-FSK 기법으로 변조하였고, 복조 방식은 비동기 검파 기법으로 대역 통과 필터 (Band Pass Filter, BPF)를 사용하였다.

통신성능 실험에 앞서 채널의 지연확산 특성과 주파수 응답 특성 분석을 위해 13 kHz ~ 23 kHz 대역의 LFM 신호를 사용하여 분석하였다. 그림 4는 채널의 지연확산 특성으로, 그림 4(a)는 3회의 실험 중 1차 실험 전 지연확산 특성으로 직접파 도달 후 3.9 ms에 해면 반

사파가 수신되었다. 그림 4(b)와 4(c)는 2차와 3차 실험 전후의 지연확산 특성으로 직접파 도달 후 2.9 ms에 해면 반사파가 도달되었다. 해지면 반사파는 해저의 매질이 진흙과 모래로 구성되어 높은 감쇠로 인해 감지되지 않았다. 1 m의 수심 변화에 따라 1 ms의 지연차가 발생함을 확인하였다.

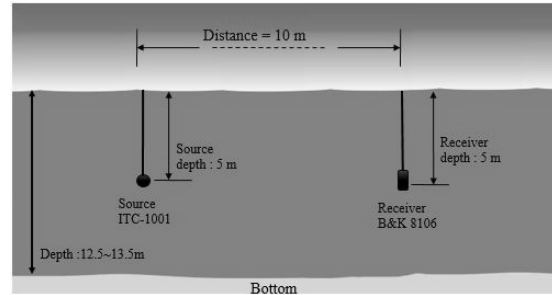


Fig. 3 Experimental configuration.

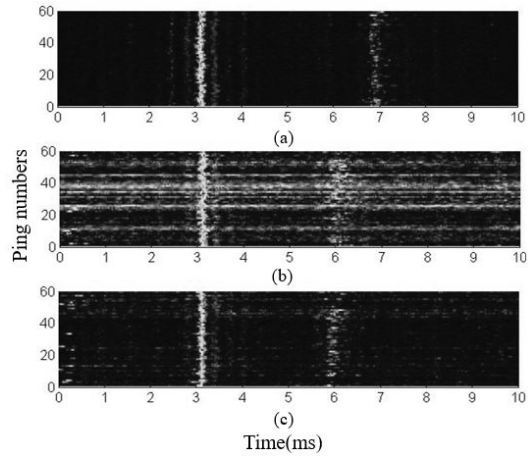


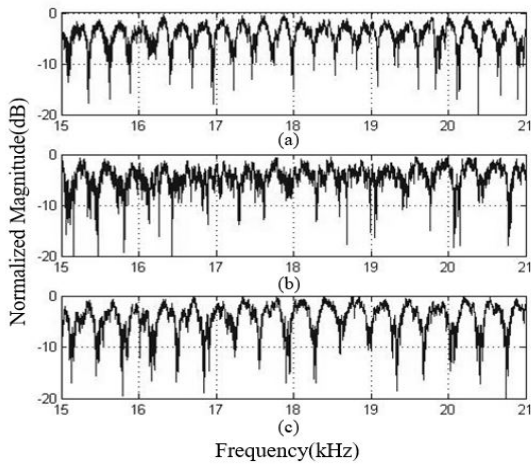
Fig. 4 Multipath intensity profile; (a) experiment 1 (channel guard band 2 kHz), (b) experiment 2(channel guard band 1 kHz), (c) experiment 3(channel guard band 0.5 kHz)

Table. 1 Experiment parameter

Modulation	3CH-4-FSK
Depth (m)	12.5 ~ 13.5
Transmitter and receiver depth (m)	5
Transmitter and receiver distance (m)	10
Guard band (kHz)	2 (1st experiment), 1 (2nd experiment), 0.5 (3rd experiment)
Data rate (bps)	200
Information data (bits)	20000

채널의 주파수 선택성을 분석은 그림 5와 같다. 그림 5(a)는 1차 실험 전 채널의 주파수 응답 특성으로 높은 주파수 선택성을 보이며, 2.5 kHz의 주기적인 페이딩 간격을 확인하였다. 그림 5(b)와 5(c)는 2차와 3차 실험 전후의 주파수 응답 특성으로 수심 변동에 따라 채널의 주파수 선택성이 변화됨을 확인하였다. 특히, 5(b)에서는 높은 주파수 선택성 변화가 확인되었으며, 실험 결과에서 오류율에 영향을 주는 것으로 확인되었다.

주파수 선택성 채널에서 통신성능 향상을 위해 4-FSK



**Fig. 5** Frequency selectivity of channel; (a) experiment 1 (channel guard band 2 kHz), (b) experiment 2(channel guard band 1 kHz), (c) experiment 3(channel guard band 0.5 kHz).

기법에 주파수 다이버시티를 적용하여 이미지 전송실험을 수행하였다. 이미지 전송실험의 파라미터는 표 1과 같으며, 3번의 실험에서 각 채널의 보호 구간을 2 kHz, 1 kHz, 0.5 kHz로 설정하였다.

표 2는 채널의 보호 구간을 2 kHz, 1 kHz, 0.5 kHz의 실험에서 합성법 미적용 복원 이미지와 오류율을 나타내고 있다. 보호 구간이 2 kHz로 넓은 경우 오류율이 0.032, 0.035, 0.04로 가장 낮았다. 반면, 보호 구간이 1 kHz, 0.5 kHz인 경우 이미지 전송성능이 저하되고 오류율이 증가하였다. 이를 통해 수중 다중경로 채널에서 충분한 보호 구간이 설정되지 않으면 오류 발생률이 증가하는 것과 주파수 선택성에 의해 사용 주파수 대역에 따라 오류 특성이 변화하는 것을 확인하였다.

표 3은 선택 합성법을 적용한 주파수 다이버시티 기법에서 채널 선택 판정법에 따른 통신성능 분석표이다.

**Table. 2** Communication performance of a single channel in underwater frequency selective channel.

Channel Guard band	CH1	CH2	CH3
2 kHz			
BER	0.032	0.035	0.04

Channel Guard band	CH1	CH2	CH3
1 kHz			
BER	0.119	0.122	0.121
0.5 kHz			
BER	0.056	0.052	0.049

**Table. 3** Communication performance according to the decision method of selective combining.

Channel Guard band	Max value	Mean	Majority decision
2 kHz			
BER	0.091	0.051	0.007
1 kHz			
BER	0.149	0.119	0.097
0.5 kHz			
BER	0.050	0.023	0.015

첫 번째 선택 판정법은 한 프레임마다 단일 채널의 에너지를 구하여 3개의 채널의 에너지 중 최댓값을 가지는 채널을 선택하여 복조하는 방법으로, BER은 0.091, 0.149, 0.05이다. 보호 구간이 2 kHz, 1 kHz인 경우에는 단일 채널보다 오류율이 감소하였지만, 보호 구간이 0.5 kHz로 좁은 경우에 단일 채널보다 오류율이 증가하였다. 두 번째 선택 판정법은 3개의 채널의 에너지의 평균값을 구한 후 평균값 이상의 에너지를 갖는 채널을 선택하여 복조하는 방법으로, BER은 0.051, 0.119, 0.023이다. 보호 구간이 2 kHz인 경우에는 단일 채널보다 오류율이 증가하였고, 1 kHz인 경우에는 오류율이 비슷하였고, 0.5 kHz인 경우에는 단일 채널보다 오류율이 감소하였다. 이를 통해 보호 구간이 큰 경우에는 최댓값을 사

용한 방식이 성능이 우수하고, 보호 구간이 작은 경우에는 평균값을 사용한 방식이 우수한 것을 확인하였다. 세 번째 판정법은 각각의 채널을 복조하여 나온 3개의 심벌을 비교하여 다수결 판정을 하는 방법으로, BER은 0.007, 0.097, 0.015이다. 가장 성능이 우수한 채널의 BER과 비교하였을 때, 보호 구간이 2 kHz일 때는 0.025, 1 kHz일 때는 0.022, 0.5 kHz일 때는 0.035 감소하였다. 이를 통해 주파수 선택성이 변화하는 수중 음향 통신의 성능향상을 위해 심벌의 다수결 판정법을 사용하는 것이 효과적임을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 수중 주파수 선택적 채널에서 주파수 다이버시티의 채널 선택 판정법에 따른 선택 합성법의 성능을 평가하였다. 수중 다중경로 채널의 주파수 선택성 분석을 통해 해면 및 수심 변화에 따른 주파수 선택적 페이딩의 변화를 확인하였다.

해상 실험을 통해 주파수 선택적 채널에서 주파수 다이버시티의 선택 합성법 판정 방법에 대한 성능을 비교하였다. 선택 합성법에서 최댓값을 사용한 판정법을 적용하면 보호 구간이 넓으면 BER이 감소하였지만, 보호 구간이 좁으면 BER이 증가하였다. 또한, 평균값을 사용하였을 때는 보호 구간이 좁으면 BER이 감소하였지만, 보호 구간이 넓으면 BER이 증가하였다. 심벌 비교 판정법을 적용하였을 경우, 모든 보호 구간에서 미적용 채널보다 BER이 최대 0.035만큼 감소하였다.

본 논문의 실험 결과를 바탕으로 수중 주파수 선택적 채널에서 주파수 다이버시티 기법의 선택 합성법에 심벌 비교 판정법을 적용하여 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (Ministry of Education) NO. NRF-2019R111A1A01063575).

#### References

- [ 1 ] R. S. H. Istepanian and M. Stojanovic, *Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication System*, 1st ed. Boston, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [ 2 ] H. Medwin and C. S. Clay, *Fundamentals of Acoustical Oceanography*, 3rd ed. Cambridge, Academic Press, 1988.
- [ 3 ] J. Kim, J. Park, M. Bae, and J. R. Yoon, "Characteristics of underwater acoustic channel and performance of multi-carrier system in littoral ocean near Busan city," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 12, pp. 2394-2402, Dec. 2017.
- [ 4 ] M. Bae, J. Park, and J. R. Yoon, "Analysis of a fixed source-to-receiver underwater acoustic communication channel parameters in shallow water," *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, vol. 38, no. 5, pp. 494-510, Sep. 2019.
- [ 5 ] R. J. Urick, *Principles of underwater sound*, 3rd ed. New York, McGraw-Hill, 1983.
- [ 6 ] A. Tadayon and M. Stojanovic, "Iterative sparse channel estimation and spatial correlation learning for multichannel acoustic OFDM system," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 44, no. 4, pp. 820-836, Oct. 2019.
- [ 7 ] Y. Cao, W. Shi, L. Sun, and X. Fu, "Frequency diversity based underwater acoustic passive localization," *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 1, Dec. 2021.
- [ 8 ] S. Barua, Y. Rong, S. Nordholm, and P. Chen, "Adaptive modulation for underwater acoustic OFDM communication," in *Proceeding of the OCEANS 2019 - Marseille*, Marseille, pp. 1-5, 2019.
- [ 9 ] T. Xu and L. Xu, *Digital Underwater Acoustic Communications*, 1st ed. Amsterdam, Elsevier Science, 2016.
- [ 10 ] I. Kochanska and J. H. Schmidt, "Estimation of coherence bandwidth for underwater acoustic communication channel," in *Proceeding of the 2018 Joint Conference - Acoustics*, Ustka, pp. 1-5, 2018.
- [ 11 ] I. Kochanska, J. H. Schmidt, and A. M. Schmidt, "Study of probe signal bandwidth influence on estimation of coherence bandwidth for underwater acoustic communication channel," *Applied Acoustics*, vol. 183, no. 697, pp. 1083311-6, Dec. 2021.
- [ 12 ] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, 4th ed, New York, Wiley, 1999.
- [ 13 ] J. G. Proakis, *Digital Communication*, 4th ed. New York, McGraw-Hill, 2001.



**이채희(Chaehui Lee)**

2020년 부경대학교 정보통신공학과 학사  
2022년 부경대학교 정보통신공학과 석사  
※ 관심분야: 수중음향통신, 소나신호처리, 수중로봇제어



**정현수(Hyunsoo Jeong)**

2016년 부경대학교 정보통신학과 공학사  
2018년 부경대학교 대학원 정보통신학과 공학석사  
2020년 부경대학교 대학원 정보통신학과 공학박사  
2020년 현재 부경대학교 대학원 정보통신학과 수료 후 연구생  
※ 관심분야: 수중통신, 영상처리, 딥러닝



**박규철(Kyu-Chil Park)**

1993년 부산수산대학교 전자공학과 공학사  
1995년 부산수산대학교 전자공학과 공학석사  
2000년 일본 오카야마대학교 자연과학연구과 공학박사  
2002년 일본 아키타현립대학 시스템과학기술학부 연구원  
2002년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수  
※ 관심분야: 음향신호처리, 수치해석, 최적화 및 역문제



**박지현(Jihyun Park)**

2000년 밀양대학교 정보통신공학과 학사  
2002년 부경대학교 정보통신공학과 석사  
2008년 부경대학교 정보통신공학과 박사  
2017년~현재 부경대학교 음향진동공학연구소 책임연구원  
2017년~현재 오션플랜 대표  
※ 관심분야: 수중통신, 음향신호처리, 수중로봇제어