

논문 2011-48TC-1-3

제주도 서부 해역의 저염수층을 고려한 수중통신 성능

(Performance of Underwater Communication in Low Salinity Layer at the Western Sea of Jeju)

복태훈*, 김주호**, 이종현*, 배진호*, 팽동국***, 방익찬*, 이종길****

(Tae-Hoon Bok, Juho Kim, Chong-Hyun Lee, Jinho Bae, Dong-Guk Paeng, Ig Chan Pang, and Jongkil Lee)

요약

해양에서의 음속은 수온, 염분, 압력에 의한 실험식으로 계산되며 해양에서의 평균 염분은 약 34 psu(practical salinity unit)로 수심이나 수평 거리에 따른 변화가 대부분 수 psu 이하이기 때문에 음속에 크게 영향을 미치지 못한다. 그러나 최근 여름철에 중국 양쯔강 범람에 의해서 24 psu 정도의 저염수가 제주 서부 해역으로 유입되는 사례가 발생하고 있으며 이 저염수는 음속에 영향을 미친다. 본 논문에서는 이러한 환경 변화가 수중통신에 미치는 영향을 분석하였다. 즉, 저염수로 인한 음속구조의 변화를 계산하였고, 저염수층 내에서 송수신 수심과 전달거리를 바꿔가며 음파 전달 경로를 모의하여 통신 채널을 추정하였으며, BPSK(Binary phase shift key) 변조방식을 이용하여 비트 오류율을 계산하였다. 동일한 실험 조건하에 저염수가 없는 경우의 성능을 비교하여, 저염수가 통신 성능에 어떠한 영향을 미치는가에 대해 분석하였다. 저염수는 수심 약 20 m까지의 표층부에서 음속의 기울기를 양의 기울기로 변화시켜 음파 채널을 형성하였고, 표층부에서 대부분의 송수신 신호의 비트 오류율을 감소시키는 경향을 확인하였다. 본 논문의 저염수에 의한 수중 통신 성능에 미치는 영향을 분석한 결과는 정확한 해양 통신 및 탐지 성능분석을 하기 위해서는 해양환경의 변화를 고려하는 것이 매우 중요하다는 것을 시사한다.

Abstract

The sound speed of seawater can be calculated by the empirical formula as a function of temperature, salinity and pressure. It is little affected by salinity because the average salinity is 34 psu and varies within a few psu seasonally and spatially in the ocean. Recently, low-salinity water of 24 psu flows into the western sea area of Jeju Island due to the flood of the Yangtze River in China during summer, affecting sound speed profile. In this paper, it was analyzed how environmental changes affected to the underwater communication - the sound speed of low-salinity water was calculated, and the communication channel was estimated by the simulated acoustic rays while the transmitting and receiving depth and the range were varied with and without the low-salinity layer. And The BER (Bit error rate) was calculated by BPSK(Binary phase shift key) modulation and the effects of the low-salinity water on the BER was investigated. The sound speed profile was changed to have positive slope by the low-salinity layer at the sub-surface up to 20 m of depth, forming acoustic wave propagation channel at the sub-surface resulting in the decrease of most of the BER. Consequently, this paper suggests that it is important to consider changes of the ocean environment for correctly analyzing the underwater communication and the detection capability.

Keywords: 저염수, 수중통신, 비트오류율, 수중음파전달.

* 정회원, ** 학생회원, *** 정회원-교신저자, 제주대학교

(Jeju National University)

**** 정회원, 안동대학교

(Andong National University)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD100002KD)

접수일자: 2010년12월19일, 수정완료일: 2011년1월13일

I. 서론

해양에서의 음파 전달은 송신주파수, 입사각, 빔폭 등 음향학적 변수와 수온/염분 구조, 해수/해저면 상태, 수중 산란체 등 해양 환경 인자에 따라서 변동을 한다^[1].

그렇기 때문에 해양에서의 음파 전달은 각 해역 별 환경 특성을 파악해서 모의실험을 통한 예측이 필수적이다. 이러한 음파 전달은 수중 통신 시스템에서 매우 중요한 요소로서 음파 전달 경로는 수중 통신 환경을 모의하는 데 있어서 우선시 되어야 할 부분이다. 임의의 해역에서 오랜 시간에 걸친 수온 구조의 변화는 음속 구조에 지배적인 영향을 미치고 이는 다시 음파 전달 경로에 영향을 준다. 즉, 장시간에 걸친 음파 전달 경로의 변화를 모의하면 그 해역에서의 통신 환경을 예측하는 기준을 마련할 수 있다. 하지만 특정 시기에 특정 해역에서 해양 환경의 물리적 변화는 이러한 장기 모니터링 시스템을 통해 예측할 수 없는 부분이다. 최근 들어 여름철에 중국 양쯔강의 범람으로 인해 다량의 담수가 해양으로 유입되어 형성되는 저염수 층이 제주 서부 해역에까지 이동하기도 한다. 이러한 현상은 앞에서 언급한 단기적이고 국지적인 해양환경 변화이다. 본 논문에서는 제주 서부 해역에서 정점을 정하여 CTD (Conductivity, Temperature, Depth) 측정을 통해 염분 분포를 확인하였고, 저염수 층의 유무에 따라 음파 전달 경로가 어떻게 바뀌고 이러한 변화가 수중통신 환경에 어떻게 영향을 미치는지 논의하였다.

II. 저염수 환경에서 음파 전달 모의와 통신 성능

1. 저염수 환경

중국 양쯔강 범람에 의한 저염수 성분을 측정하기 위해 2010년 8월에 제주 서부 해역 20개 정점에서 CTD 측정이 이루어졌다. 정점에 대한 좌표는 표 1과 그림 1에서 보는 바와 같다. CTD를 하강/상승시키면서 측정된 자료를 내삽법을 이용하여 1 m 간격으로 추정하고 하강과 상승 두 개를 평균한 값을 사용하였다. 해양에서의 음속(c)은 수온(T , °C)과 염분(S , psu, practical salinity unit), 수심(z , m)에 의한 실험식으로 정의되고 식 (1)과 같다^[2].

$$c(T, S, z) = 1449.2 + 0.016z + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) \text{ [m/s]} \quad (1)$$

수온과 염분의 공간적 변화는 음속의 공간적 변화를 야기하고 음속의 변화는 음이 전달되는 과정에서 굴절을 일으키기 때문에 전달 경로를 예측하는 것이 쉽지 않다. 수온 1 °C 변화 시 음속은 약 4.6 m/s, 수심 1 m 변화 시 0.016 m/s가 변화되고 염분은 수온과의 복합

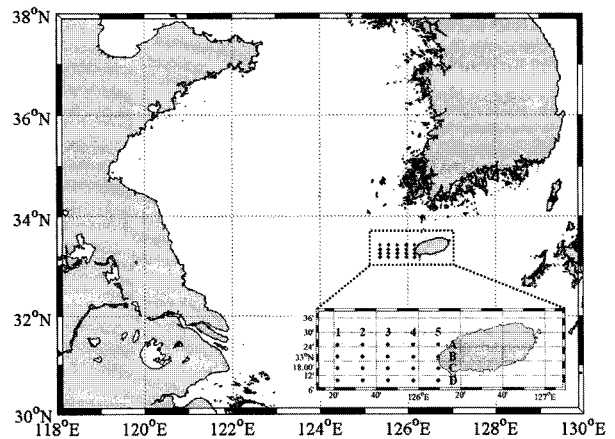


그림 1. CTD(Conductivity, Temperature, Depth) 측정 해역

Fig. 1. Sea area of CTD(Conductivity, Temperature, Depth) measurement site.

표 1. CTD(Conductivity, Temperature, Depth) 측정 정점의 GPS(Global position system) 좌표

Table 1. GPS(Global position system) data of CTD (Conductivity, Temperature, Depth) measurement site.

동경 \ 북위	125° 21' 35"	125° 33' 33"	125° 45' 32"	125° 57' 30"	126° 09' 30"
33° 25'	A1	A2	A3	A4	A5
33° 20'	B1	B2	B3	B4	B5
33° 15'	C1	C2	C3	C4	C5
33° 10'	D1	D2	D3	D4	D5

관계에 있지만 일반적인 해양에서는 30~35 psu에서 크게 벗어나지 않기 때문에 음속에 거의 영향을 미치지 않는다^[3]. 그러나 중국 양쯔강 저염수 유입에 의해 염분이 현저하게 낮아지면 음속에 영향을 미치게 되는데 이 영향을 CTD로 측정된 자료를 이용하여 분석하였다.

2. 음파 전달 모의

음선 추적 기법을 이용한 Bellhop 알고리즘을 이용하여 음파 전달을 모의하였다. 식(2)과 같은 파동방정식에서 일반해 식(3)를 이용하여 헬름홀츠 방정식을 구하고, 그 해를 이용하여 아이코날(Eikonal) 방정식 식(4)을 구할 수 있다.

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2)$$

$$p = \Psi(x, y, z) e^{i\omega t} \quad (3)$$

$$|\nabla \tau|^2 = \frac{1}{c^2(x)} \quad (4)$$

여기서 p 는 음압, c 는 음속, t 는 시간, x, y, z 는 음선의 벡터 성분, ω 는 각주파수, r 는 음파의 파면이다. x 를 임의의 음선 벡터, s 를 음선의 길이로 정의하여 파면에 대한 단위 법선으로 식(5)와 같이 정의된다.

$$\frac{dx}{ds} = c \nabla \tau \quad (5)$$

이를 c 에 대한 함수로 나타내기 위해 s 로 미분을 하고 원통좌표로 변환을 하여 다음과 같은 음선 방정식을 구할 수 있다.

$$\frac{dr}{ds} = c \xi(s), \quad \frac{d\xi}{ds} = -\frac{1}{c^2} \frac{dc}{dr} \quad (6)$$

$$\frac{dz}{ds} = c \zeta(s), \quad \frac{d\zeta}{ds} = -\frac{1}{c^2} \frac{dc}{dz} \quad (7)$$

여기서 r 은 수평거리, z 는 수심, $c\xi(s)$ 와 $c\zeta(s)$ 접선벡터이다. 식(6), (7)에 스넬(Snell)의 법칙을 적용하면 ξ 와 ζ 는 음선 하나에 대해 일정한 값을 갖고, 이를 이용하여 음선 추적이 가능하다¹¹⁾.

정점 C2에서의 CTD 자료와 표 2에서 보이는 환경 인자를 이용하여 음파 전달 경로를 예측하였다. 저염수의 영향을 고려하기 위하여 같은 정점에서 염분의 수직 분포를 34 psu로 고정하고 일반 해역으로 가정하여 음파 전달 경로를 비교하였다.

표 2. 음파 전달 모델 환경 인자

Table 2. Environmental parameters of acoustic wave propagation model.

주파수	10 kHz
여입사각 (Grazing angle)	$\pm 15^\circ$
음선 간격	0.01°
송신 수심	5, 10, 15 m
수신 수심	5, 10, 15 m
총 수심	72 m
수평 거리	1,000, 2,000 m
신호 대 잡음비	0 ~ 110 dB

3. 통신 성능 - 비트 오류율

음선 추적으로 얻은 n 개의 고유 음선들은 전달 시간과 진폭($|h_n|$)과 위상(ϕ)의 정보를 포함하고 있기 때문에 수중 통신을 위한 채널로서의 역할을 한다.

$$h(t) = [h_1 \ h_2 \ \dots \ h_n], \quad h_n = |h_n|e^{j\phi_n} \quad (8)$$

BPSK(Binary phase shift key) 변조 신호를 송신($s(t)$)하고 앞에서 모의된 통신 채널($h(t)$)을 통과시켰을 때의 수신 신호($y(t)$)를 계산하여 송수신 신호 간의 비트 오류율(Bit error rate, BER)을 계산하였다¹⁴⁾.

$$s(t) * h(t) = y(t) \quad (9)$$

III. 모의실험 결과 및 토의

1. 저염수 분포

염분의 수평 분포를 그림 2와 같이 나타내었다. 수심 1, 10 m에서는 염분의 수평 분포가 균일하지 않지만, 수심 20 m에서는 약 32 psu로 균일하다. 수심 1 m에서의 염분 분포를 보면, 남서쪽 부분의 염분이 24 psu 이하의 저염분 상태를 보이고 있고, 같은 해역에서 수심 10 m에서는 28 psu, 수심 20 m에서는 32 psu의 분포를 나타내고 있다. 이는 남서쪽 방향에 존재하는 중국 양쯔강 하류에서 방출된 저염수가 제주도 남서 해역으로 유입되고 있음을 의미한다. 또한 수심에 따라서는 수심 20 m까지의 표층부에만 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 해양에서 염분의 수직 변화는 크지 않기 때문에 10 psu 이상의 염분 변화는 음속에 영향을 미칠 수 있고, 음파 전달 경로가 바뀌게 된다. 한편, 수온은 그림 2(우)에서와 같이 수심에 따른 변화만 있을 뿐 수평적인 변화는 미약하다. 즉, 중국 양쯔강에서 유

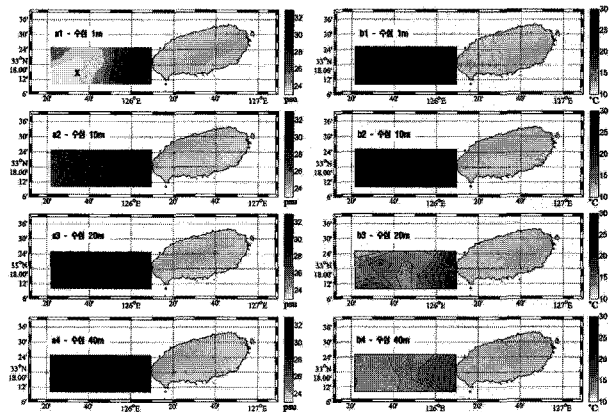


그림 2. 수심(1, 10, 20, 40 m) 별 염분(a1~a4)과 수온(b1~b4)의 수평 분포도

Fig. 2. Horizontal distribution of salinity(a1~a4) and temperature(b1~b4) depending on the depth (1, 10, 20, 40 m).

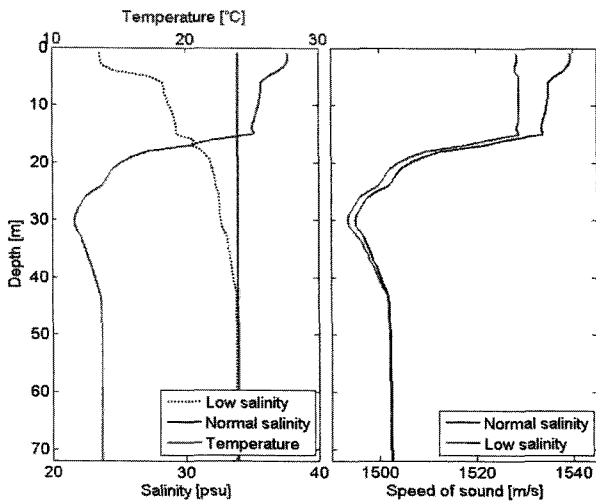


그림 3. 정점 C2에서 수온과 염분의 수직 분포(좌)와 그에 따른 음속 구조

Fig. 3. Temperature and salinity profiles (left) and sound speed profile (right) at the station C2.

출되어 제주로 유입된 수괴는 온도에는 영향을 미치지 못하고 염분에만 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

저염수 유입이 이루어지는 정점 C2에서의 수온과 염분의 수직 구조를 그림 3과 같이 나타내었다. 표층 염분은 약 13 psu이고 수심 20 m까지 급격히 증가하다가 그 이하에서는 점점 변화폭이 작아진다(그림 3(좌)-파란 점선). 이는 저염수에 의한 일시적인 현상이지만 일반 환경에서는 파란 실선과 같이 변화량이 매우 적다. 그렇기 때문에 일반 해역에서 음속은 수온의 변화와 비슷한 양상을 보인다(그림 3(우)-파란 실선). 하지만 저염수에 의해 염분의 수직 변화가 커지면 음속의 변화에 영향을 미치기 때문에 표층 부분에서 음속 기울기가 달라진다(그림 3(우)-빨간 실선). 이러한 현상은 음파 전달에 있어서 매우 중요한 요소로 작용한다. 음속의 기울기가 변하면 굴절률이 달라지고 이로 인해 음파 전달

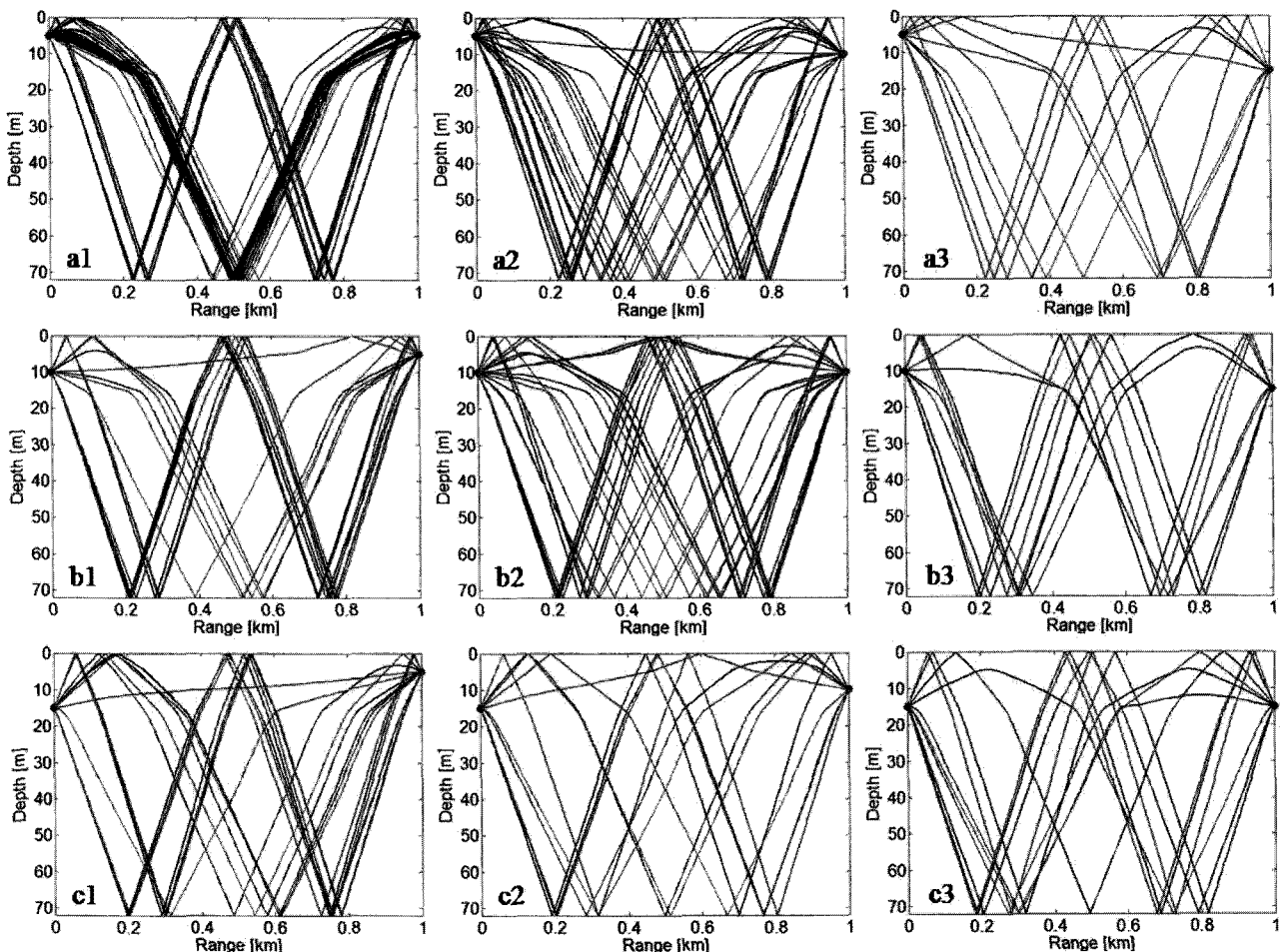


그림 4. 송신 수심 5, 10, 15 m (a, b, c), 수신 수심 5, 10, 15 m (1, 2, 3)의 경우에 1 km 수평 거리에서 음파 전달 경로 - 파란 실선은 일반 염분 분포이고 빨간 실선은 저염분 분포

Fig. 4. Acoustic wave propagation path in the case of source depths of 5, 10, 15 m, receiver depths of 5, 10, 15 m and range of 1 km - blue line for the general salinity and red line for the low salinity.

경로가 바뀌기 때문이다. 즉, 저염수의 유입은 음파 전달 경로를 변화시켜 향후 수중통신환경에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

2. 음파 전달 경로

정점 C2 (그림 2의 x 표시) 자료를 이용하여 음파 전달을 모의하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 저염수 유입 유무(유: 빨간 실선, 무: 파란 실선)에 따라 음파 전달 경로가 변하는 것을 확인할 수 있다. 저염수의 경우, 음속의 기울기가 수심 약 20 m까지는 수심이 깊어짐에 따라 음속이 빨라지는 양상이기 때문에 음의 굴절이 해수면 쪽으로 이루어지고, 저염수가 없는 경우는 반대로 해저면 쪽으로 굴절이 이루어진다. 표층으로 굴절하는 경향은 빠른 음속 층을 통과하기 때문에 수신기에 도달하는 시간이 짧아지고 그에 따라 전달 경로가

짧아지면서 전달 손실이 작아진다. 그림 4-(a1)의 경우 음속 구조가 그림 3(우)의 파란 실선과 같이 저염수가 유입되지 않고 수평 거리 1 km, 송수신 수심 각각 5 m의 환경에서 음파가 지배적으로 전달되는 특징적인 경로가 나타난다. 수신 수심이 10 m로 낮아지면서(a2) 여입사각(Grazing angle)이 양각(+, 해저면 방향)으로 큰 음선들이 검출되다가 15 m로 더 낮아지면서 큰 양의 여입사각 하나만 검출된다. 한편, 수평 거리가 2 km로 늘어나면 이러한 특징적인 현상은 사라진다(그림 5). 결국 송수신 수심과 수평 거리, 음속 구조의 복합적인 관계에 의해 음파 전달 경로는 지배를 받는다. 하지만 수평 거리 2 km의 경우에서도 저염수에 의해 표층의 음속 기울기가 반대로 바뀌어 해수면 반사 신호가 많아지는 현상은 유사하다.

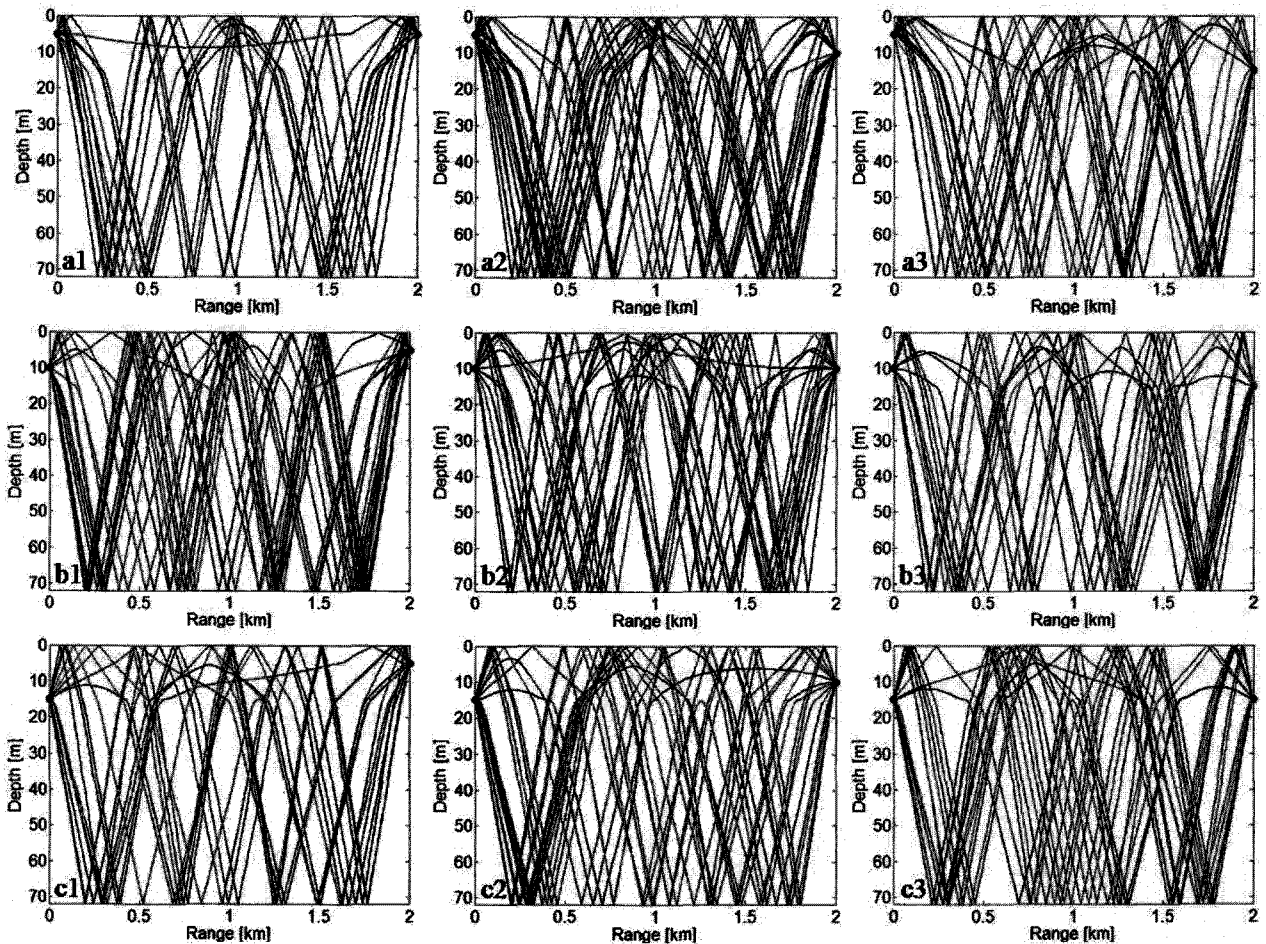


그림 5. 송수신 수심 5, 10, 15 m (a, b, c), 수신 수심 5, 10, 15 m (1, 2, 3)의 경우에 2 km 수평 거리에서 음파 전달 경로 - 파란 실선은 일반 염분 분포이고 빨간 실선은 저염분 분포
 Fig. 5. Acoustic wave propagation path in the case of source depths of 5, 10, 15 m, receiver depths of 5, 10, 15 m and range of 2km - blue line for the general salinity and red line for the low salinity.

3. BER 곡선

수중통신은 육상통신과는 다르게 주변 소음 준위가 상대적으로 크기 때문에 신호 대 잡음비가 매우 낮다. 그렇기 때문에 신호 대 잡음비가 60 dB 이상 상대적으로 높아야 비트의 복원이 이루어진다. 그림 6은 그림 4의 경우에 비트오류율을 나타낸 것이다. a1, b3, c3의 경우를 제외하고 전부 저염수에 의해 비트오류율이 작아짐을 알 수 있다. 저염수에 의해 표층의 음속 기울기가 음(-, 수심이 증가할수록 음속이 감소)에서 양(+, 수심이 증가할수록 음속이 증가)으로 변하면서 음파 전달이 해수면 쪽으로 굴절되는 현상이 두드러지기 때문에 고음속 층을 통과하는 음선이 많아져서 전달 경로가 짧아지고 이에 따라 전달 손실이 작아진다. 그리고 표 3

에서 보는 바와 같이 고유 음선의 개수가 많아지기 때문에 신호 대 잡음비가 좋아져서 비트오류율 또한 낮아진다. 그림 6-a1, b3, c3의 경우는 고유 음선의 개수가 저염수가 없을 때가 현저하게 더 많기 때문에 비트오류율의 양상이 반대로 나타난다. 하지만 그림 6-a2의 경우 표 3에서는 저염수가 없을 때에 고유 음선의 개수가 더 많은데도 비트오류율이 더 높다. 저염수가 없을 때 비트오류율이 더 높은 a3, b1, b2, c1, c2와 비교하면, 각각의 신호 대 잡음비 차이가 20, 20, 20, 15, 20 dB이지만 a2는 10 dB로 상대적으로 더 작다. 이는 a2에서 저염수에 의해 고유 음선개수가 적어지면서 20 dB가 아닌 약 10 dB 정도의 신호 대 잡음비 보상이 이루어졌기 때문이다.

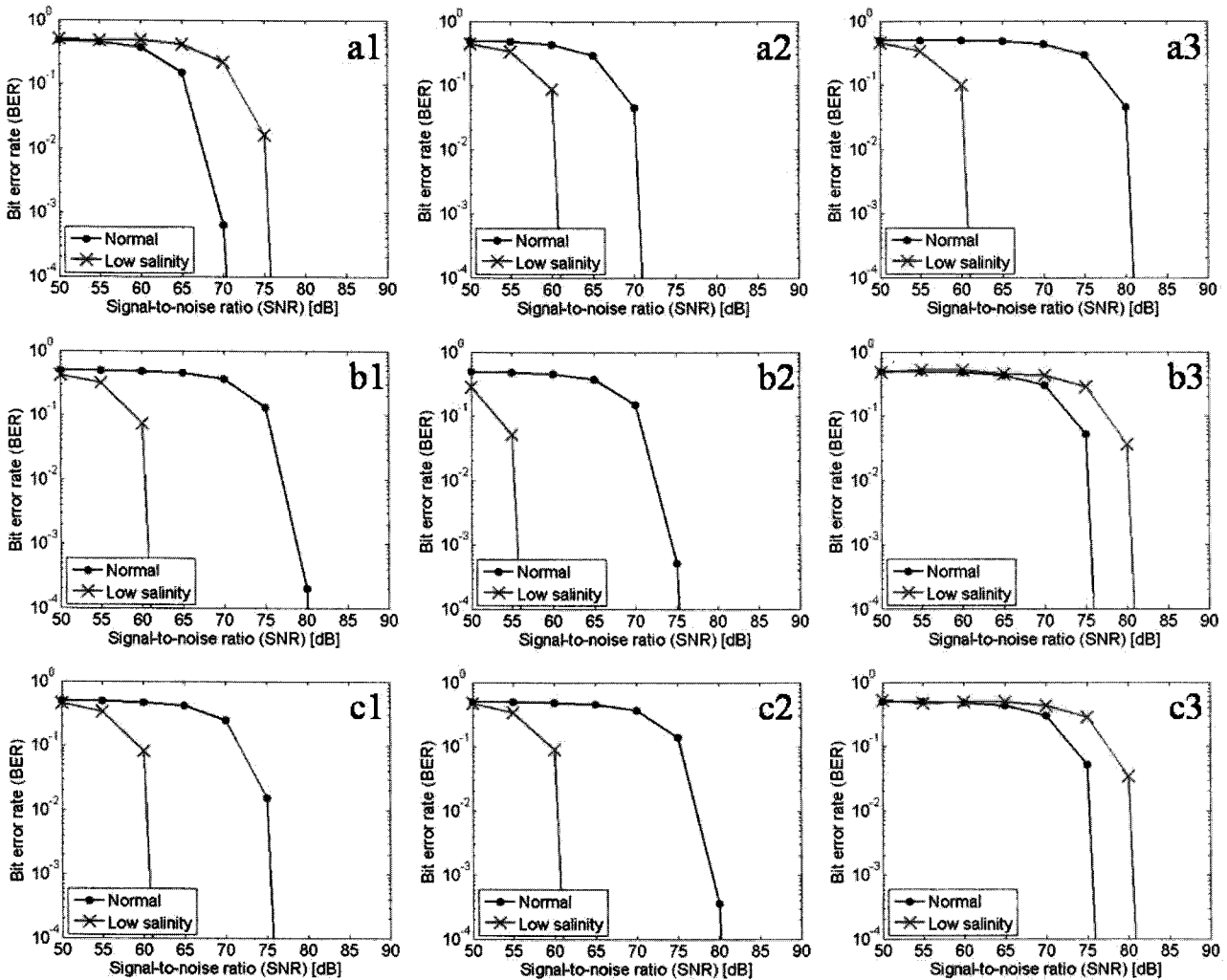


그림 6. 송신 수심 5, 10, 15 m (a, b, c), 수신 수심 5, 10, 15 m (1, 2, 3)의 경우에 1 km 수평 거리에서 신호 대 잡음비에 따른 비트오류율 - 파란 점실선은 일반 염분 분포이고 빨간 x실선은 저염분 분포

Fig. 6. BER(Bit error rate) curve in the case of source depths of 5, 10, 15 m, receiver depths of 5, 10, 15 m and range of 1 km depending on the signal to noise ratio - blue dotted line for the general salinity and red x-line for the low salinity.

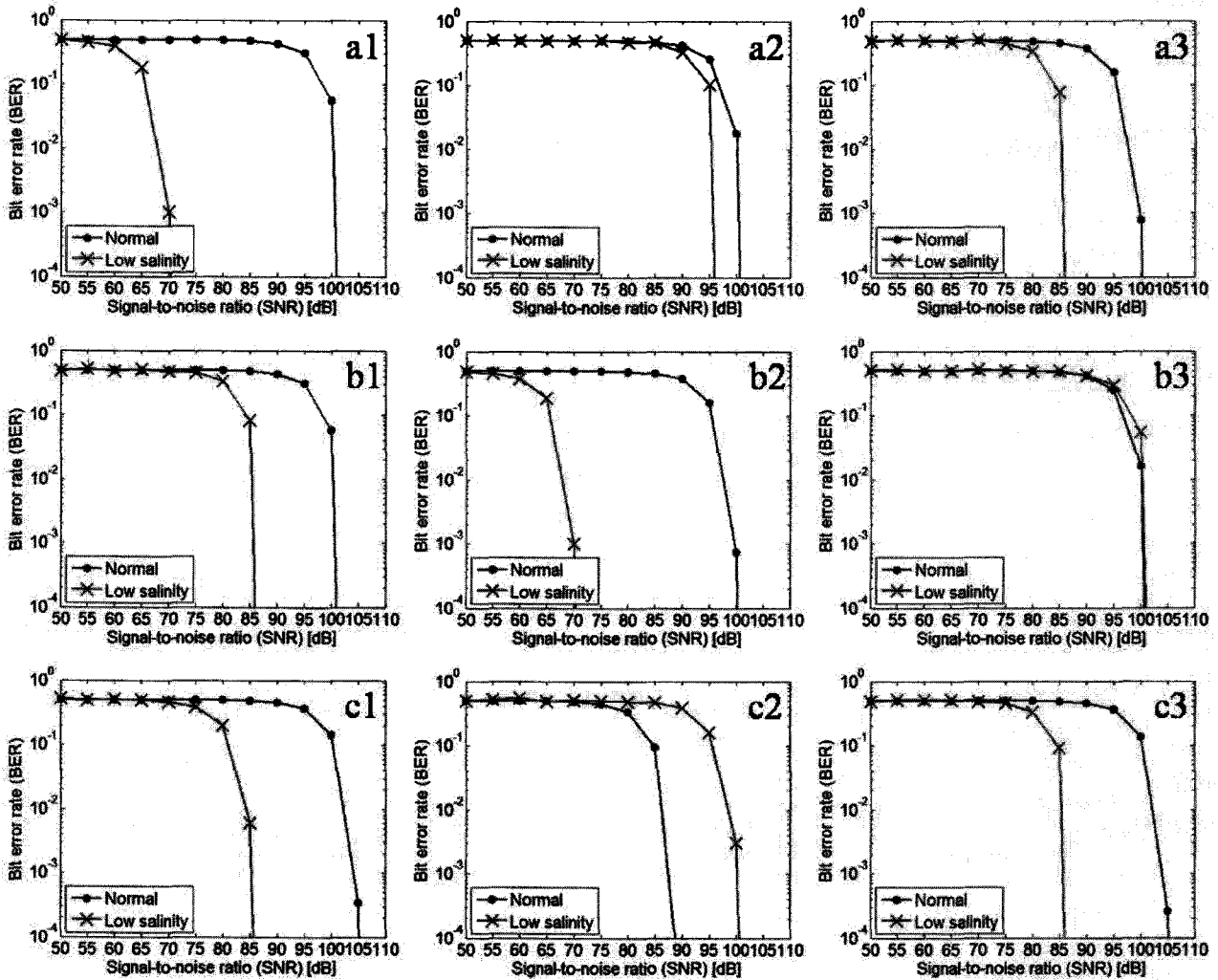


그림 7. 송신 수심 5, 10, 15 m (a, b, c), 수신 수심 5, 10, 15 m (1, 2, 3)의 경우에 2 km 수평 거리에서 신호 대 잡음비에 따른 비트오류율 - 파란 점실선은 일반 염분 분포이고 빨간 x실선은 저염분 분포
 Fig. 7. BER(Bit error rate) curve in the case of source depths of 5, 10, 15 m, receiver depths of 5, 10, 15 m and range of 2 km depending on the signal to noise ratio - blue dotted line for the general salinity and red x-line for the low salinity.

표 3. 그림 4에서 저염수의 유무에 따라 모의된 고유 음선의 개수

Table 3. The number of eigen-ray depending on the low salinity effect in the Fig. 4.

수신 \ 송신	5 m		10 m		15 m	
	유	무	유	무	유	무
5 m	7	32	7	15	8	1
10 m	9	7	14	11	4	6
15 m	9	7	6	4	3	7

수평거리가 2 km로 늘어나면 그림 4, 5에서 나타나는 것처럼 전달 경로가 달라지기 때문에 비트오류율의 양상 또한 달라진다. 그림 7에서 보는 바와 같이, 약 30 dB 큰 100 dB 정도에서 BER 곡선이 떨어지는 것을 알

표 4. 그림 5에서 저염수의 유무에 따라 모의된 음선의 개수

Table 4. The number of eigen-ray depending on the low salinity effect in the Fig. 5.

수신 \ 송신	5 m		10 m		15 m	
	유	무	유	무	유	무
5 m	4	8	11	9	7	10
10 m	9	8	7	11	5	9
15 m	7	7	12	5	9	8

수 있다. 원통형 분산을 고려하여 1,000 m 떨어졌을 때의 전달 손실인 30 dB 만큼의 차이를 보이는 것이다. 저염수 유무에 따라서는 그림 7-b3, c2를 제외하고는 모두 저염수에 의해서 오류율이 작아진다. 하지만 수평

거리가 1 km인 경우와는 다르게 신호 대 잡음비 차이가 크진 않다. 이는 표 4에서 보는 바와 같이 고유 음선의 개수가 현저하게 많아지는 것이 아니기 때문이다. 그림 7-a1의 경우 수평 거리가 늘어나면서 그림 4-a1과 같은 특수한 경우의 전달 경로가 사라지고 저염수에 의해 비트오류율이 낮아지는 현상과 동일한 양상을 나타낸다. 또한 그림 6-a1과 비교하면, 수평 거리가 2배 멀어졌음에도 불구하고 저염수가 있을 때의 비트오류율은 더 낮아진다. 즉, 신호 대 잡음비 약 5 dB 정도의 이득을 볼 수 있다. 음속 기울기가 양으로 바뀌면서 표층 내에 도파관이 형성되는데 송수신 수심 각각 5 m 수평 거리 2 km의 특수한 환경에서 도파관을 통해 전달되는 하나의 고유 음선에 의한 영향으로 판단된다(그림 5-a1). 그림 7-c2는 지금까지 보이는 현상과는 다르게 저염수일 때 고유 음선의 개수가 많은데도(표 4) 비트오류율이 더 높게 나온다. 또한 저염수가 없을 때 고유 음선의 개수가 5개인데 반해 다른 8가지의 경우에는 그보다 많은 고유 음선이 검출되는데도 불구하고 비트오류율은 더 낮게 나온다. 즉, 그림 7-c2에서 저염수가 없을 때 상대적으로 수평 거리가 짧아지면서 신호 대 잡음비가 높아진다고 여겨진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 중국 양쯔강에서 제주 서부 해역으로 유입되는 저염수가 음파 전달에 어떠한 영향을 미치고 수중통신 환경을 어떻게 변화시키는지에 대해 모의실험을 통하여 살펴보았다. 저염수의 유입으로 인해 수심 약 20 m까지의 표층부에서 음속의 기울기 양의 방향으로 변하여 음파 전달 경로를 변화시켰다. 이러한 현상으로 인해 수중통신 성능을 예측할 수 있는 비트오류율의 변화를 초래하였다. 저염수 성분이 해양에 항상 존재하는 것은 아니지만 특정 시기 특정 해역에서의 일시적인 변화는 예측하기 매우 힘든 통신 환경 요소가 된다. 수중통신에 장애가 되는 다중 경로 영향, 주변 소음 준위, 전달 손실 등 환경적 영향뿐만 아니라 본 논문에서 제시된 저염수의 유입에 의한 음파 전달 매체의 물리적 특성 변화를 고려해야함을 보였다. 따라서 향후 통신 시스템 설계 시 저염수의 영향도 고려해야 정확한 통신 성능을 검증할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics*, American Institute of Physics, pp. 149-155, 1993.
- [2] H. Medwin, "Speed of sound in water: A simple equation for realistic parameters," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 58, no. 6, pp. 1318-1319, December 1975.
- [3] J. A. Knauss, *Introduction to Physical Oceanography*, Prentice-Hall, pp. 3-27, 1978.
- [4] A. Paulraj, R. Nabar and D. Gore, *Introduction to Space-Time Wireless Communication*, Cambridge University Press, pp. 32-34, 2003.

저 자 소 개



복 태 훈(학생회원)
 2004년 한양대학교
 지구해양과학과 학사.
 2006년 한양대학교
 지구해양과학과 석사.
 2006년~현재 제주대학교
 해양정보시스템공학과
 박사과정.

<주관심분야 : 수중음향, 음파산란, 신호처리, 수중통신>



김 주 호(학생회원)
 2010년 제주대학교
 해양산업공학 학사.
 2010년~현재 제주대학교
 해양정보시스템공학과
 석사과정.

<주관심분야 : 수중 음향, 수중 통신>



이 중 현(정회원)
 1985년 한양대학교
 전자공학과 학사
 1987년 Michigan Technological
 University 공학석사
 2002년 KAIST 전기 및
 전자공학과 박사

1990년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2000년~2002년 (주) KM Telecom 연구소장
 2003년~2006년 서경대학교 전자공학과 전임강사
 2006년~현재 제주대학교 해양시스템공학과
 부교수

<주관심분야 : 통계학적 신호처리, 적응 배열 시스템, 수중통신, 이동통신 시스템, 디지털 TV, UWB 무선전송기술>

저 자 소 개



배진호(정회원)
 1993년 아주대학교
 전자공학과 학사.
 1996년 한국과학기술원
 정보통신공학과 석사.
 2001년 한국과학기술원
 전자전산학과 박사.

1993년~2002년 (주)대양전기공업 실장
 2002년 한국과학기술원 BK21 초빙교수
 2006년~2007년 텍사스A&M대학교 방문교수
 2002년~현재 제주대학교 해양시스템공학과
 부교수

<주관심분야 : 광신호처리 및 통신, 레이더 및 소
 나 신호처리, 항해 시스템>



팽동국(정회원)-교신저자
 1991년 한양대학교
 지구해양과학과 학사.
 1993년 한양대학교
 지구해양과학과 석사.
 1997년 매사추세츠공과대학교
 해양공학과 석사

2002년 펜실베이니아주립대학교 음향학과 박사.
 1993년~1994년 대우조선 연구원
 1994년~1995년 한국해양연구원 위촉연구원
 1996년~1998년 MIT Research Assistant
 1998년~2002년 Penn. State Univ.

Research Assistant
 2002년~2003년 USC Research Associate
 2003년~현재 제주대학교 해양시스템공학과
 부교수

<주관심분야 : 수중음향, 음파산란, 신호처리, 수
 중통신>



방익찬(정회원)
 1973년 서울대학교
 해양학과 학사.
 1978년 서울대학교
 물리학과 학사.
 1983년 서울대학교
 해양학과 석사.

1988년 플로리다주립대학교 해양학과 박사.
 1978년~1980년 국방과학연구소 연구원
 1978년~1988년 플로리다주립대학교
 박사후연구원

2005년~2007년 국립수산물과학원 해양환경본부장
 1988년~현재 제주대학교 지구해양과학과 교수
 <주관심분야 : 해양순환, 해양기상, 기후변화>



이종길(정회원)
 1984년 부산대학교
 기계공학과 학사.
 1990년 유타대학교
 기계공학과 석사.
 1993년 유타대학교
 기계공학과 박사.

1984년~1989년 국방과학연구소 연구원
 1989년~1993년 유타대학교, Research Associate
 1994년~1994년 현대중공업(주)
 1995년~1998년 국방과학연구소 선임연구원
 1998년~현재 안동대학교 기계교육과 교수

<주관심분야 : Flow induced sound and
 vibration, Underwater acoustic sensor, Fiber
 optic sensor>