

논문 2011-48TC-1-2

# 서해상에서의 계절에 따른 통신 성능 분석

## (Communication Performance Analysis according to Seasons in West Sea)

김주호\*, 북태훈\*, 배진호\*\*, 팽동국\*\*, 이종현\*\*\*, 김성일\*\*\*\*

(Juho Kim, Tae-Hoon Bok, Jinho Bae, Dong-Guk Paeng, Chong-Hyun Lee, and Seongil Kim)

### 요약

수중에서의 다중 경로 특성은 검파 및 통신을 수행하는데 있어 열악한 환경을 제공한다. 다중 경로 특성은 바닷물의 온도, 염도 등의 다양한 인자가 결합되어 발생된다. 본 논문에서는 서해안 백령도 남방 지점에서 과거 10년간 측정된 데이터를 기반으로 계절에 따른 대표 수직음속분포를 구하였다. 음선 추적(Ray Tracing)기법을 이용하여 계절에 따른 고유음선(EigenRay)을 계산하여 채널 임펄스 응답을 추정하였다. 추정된 채널 모델을 기반으로 수심 20m이하의 낮은 수심에서의 통신 성능을 분석하였다. 사용된 변조 방식은 BPSK이며 시역전(Time-Reversal) 처리를 했을 경우와 하지 않았을 경우에 따른 통신 성능을 분석하였다. 모의 실험결과 계절에 따라 성능의 차이가 매우 큰 것을 확인하였고 시역전 처리 유무에 따른 성능의 편차도 크다는 것을 확인하였다. 제안된 모의 실험결과는 향후 서해에 적합한 탐지 및 통신 시스템 설계를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

### Abstract

Communication environments in the context of underwater channel are characterized to be bad by the characteristics of multipath. Multipaths are affected by various factors e.g. the temperature and the salinity of the ocean. In this paper, the representative sound speed profiles were calculated in the southern part of Baengnyeoung island so that the eigen-ray paths with the channel impulse responses were determined using the average sound speed profile of last decade. The performance of underwater communication was analyzed using the BPSK modulation and time reversal method. The significant differences of results were shown according to the change of season and carrier frequency by using computer simulation. In addition, improved performance is obtained using preprocess channel impulse response for the better comparison of two cases of summer and autumn.

**Keywords :** EigenRay, Time-Reversal, Underwater communication, BPSK

### I. 서론

수중에서는 전자기파가 큰 감쇠를 겪기 때문에 신호의 전달을 위해서는 육상에서와 달리 음파를 사용하게 된다. 수중환경을 채널로 볼 때 음파의 전달경로는 수

신 신호의 크기 및 시간지연 등에 영향을 미치므로, 채널을 특성을 결정짓는다고 할 수 있다. 수중에서 음파의 전달은 방사, 굴절, 회절, 산란 등의 복잡한 물리적 현상을 겪게 되는데, 특정한 경계조건 내에서 거리 비종속 환경을 가정한다면 음파의 전달 경로는 주로 음속의 수직 분포에 영향을 받는다. 음속은 수온 및 염분과 압력의 함수로 표현되므로 수온 및 염분의 수직분포를 안다면 해당 경계내의 음파의 전달경로를 예측할 수 있다. 수중에서 음파 전달의 또 다른 특징은, 음파 전달에 영향을 미치는 인자들이 시간에 따라서 변하는 특성을 갖는다는 것이다. 때문에 음파 전달경로 또한 시 변동 특성을 갖게 된다. 수중환경의 시 변동 특성으로 인한

\* 학생회원, \*\* 정회원, \*\*\* 정회원-교신저자, 제주대학교

(Jeju National University)

\*\*\*\* 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD100014DD)

접수일자: 2010년12월19일, 수정완료일: 2011년1월13일

음파 전달 변화에 대해서는 많은 연구가 진행되어왔다.<sup>[1-2]</sup>

서해와 같은 천해에서는 특히 계절에 따른 수온변화가 두드러지게 나타난다. 수심이 얕기 때문에 계절에 따른 기온의 변화가 수심의 넓은 층에 걸쳐 영향을 미치기 때문이다. 동해에서는 잠수함의 활동가능성이 크기 때문에 수중표적의 탐지 및 수중채널과 통신성능에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>[3-4]</sup> 그에 비해 서해의 통신환경에 관한 연구는 미진한 실정이다. 이에 본 논문에서는 서해에서 계절에 따른 수중 통신성능 변화에 관한 연구를 실시하였다. 고유음선모델을 이용하여 음속 수직분포에 따른 채널을 추정하였으며 주로 수심 20m이하의 낮은 수심에서의 통신 성능을 분석하였다.

## II. 수중 음향 채널

### 1. 수직음속분포

계절 변화에 따른 서해의 수중환경 변화를 알아보기 위해 한국해양자료센터(KODC)에서 해당지점의(그림 1) 최근 10년간 수온 및 염분 자료를 획득하였다.<sup>[5]</sup> 획득한 자료를 이용하여 계절별 평균 수온 수직분포를 구하였고 그림 2의 좌측 상단에 나타내었다.

봄철과 겨울철은 음속의 분포가 수심에 따라 큰 변화를 보이지 않는 것을 확인할 수 있다. 봄철의 경우 저층의 음속은 평균 1475.0m/s이고 수심 30m이상 지점부터 서서히 증가하기 시작하여 표층에서는 저층에 비해 약 6m/s정도 빠르며 최대 표준편차는 표층에서 3.7m/s이다. 겨울철의 경우는 전 수심에 걸쳐 평균 1474.0m/s이고 50m이하에서 표준편차가 크며 최대 2.5m/s이다. 여

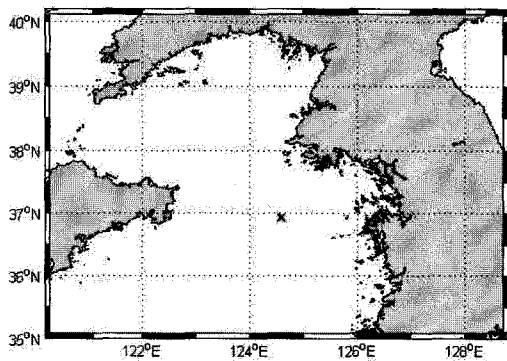


그림 1. 데이터 획득 정점(x표시, N36.925° E124.58°)  
Fig. 1. Data acquisition point

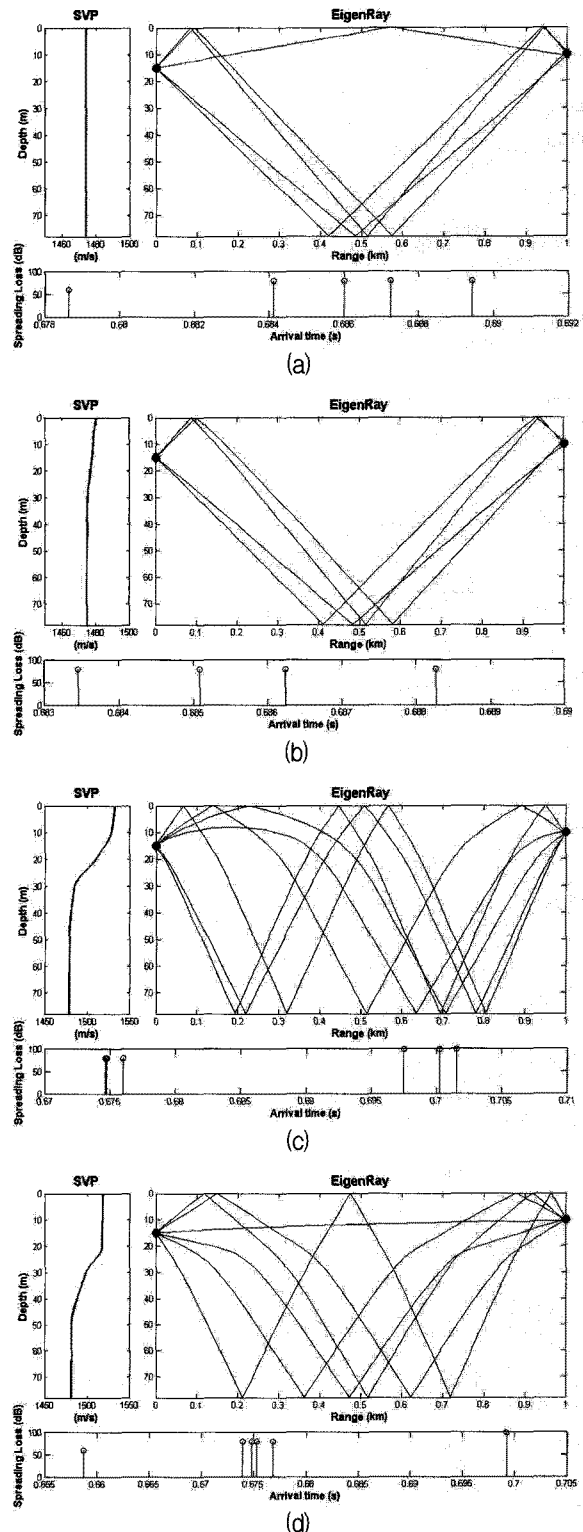


그림 2. 해당 정점에서의 계절별 평균 음속 수직 분포와 그에 따른 고유음선 및 추정된 채널 임펄스 응답(a:겨울(2월), b:봄(4월), c:여름(8월), d:가을(10월))

Fig. 2. Eigenray path and expected Channel impulse according to averaged SSP of each season (a:Winter(Feb), b:Spring(Apr), c:Summer(Aug), d:Autumn(Oct)).

름철의 경우 평균기온의 상승과 동시에 표층의 수온이 상승하므로 표층 30m이상에서 급격한 정(positive)의 기울기를 갖는 수온약층이 생성된다. 표층의 평균음속은 1532.6m/s이며 저층과 비교 했을 때 약 53.8m/s 빠르다. 가을철의 경우 수온약층이 20~50m부근에 위치하며 표층에서는 기온의 감소로 표층의 수온이 낮아지면서 수심 20m부근까지 두터운 혼합층이 생기게 된다. 혼합층 내부의 평균음속은 약 1518m/s 이며 최대 표층 편차는 수심 31m에서 10.5m/s이다.

## 2. 고유음선 경로 및 채널응답

음파전달 경로를 추정하기 위하여 벨홉(Bellhop)모델을 이용하여 고유음선(Eigen ray)을 계산하였다. 표층에서의 통신환경을 고려하기 위해 수신기와 송신기의 수심을 각각 15m와 10m로 설정하였으며 거리 비 종속 환경을 가정하고 수심은 78m, 송수신기의 거리는 1km로 설정하였다. 신호의 주파수는 2kHz이며 해저면은 밀도 2070kg/m<sup>3</sup>를 갖는 단층으로 설정하였다.

고유음선 계산 결과를 그림 2. 우측 상단에 나타내었다. 봄과 겨울철의 음파 전달경로는 서로 비슷한 경향을 보이거나 표층에서 음속이 소폭 증가하는 봄철은 겨울철에서 볼 수 있는 표층반사정분을 볼 수 없다. 겨울철의 경우는 음선의 간격을 달리하면 직접파의 경로도 확인할 수 있다. 여름철의 경우 수심 30m 내에서 급격한 정(positive)의 기울기를 가지기 때문에 음속이 하향 굴절되며 대부분 해저면에 반사된 후 도달하게 되고 그에 따른 음파의 감쇠현상 때문에 수신신호의 진폭이 크게 감소하게 된다. 가을철의 경우 수심 20m 부근까지 생성된 두터운 혼합층으로 인하여 표층에 음향 도파관이 형성되게 된다.

고유음선이 결정되면 음선 정보를 통하여 채널 임펄스응답을 얻을 수 있는데 이를 그림 2의 하단에 나타내었다. 직접파가 발생하는 가을의 경우 전달손실이 적고 전달거리가 짧아 잔향음이 수신되기 약 15ms 전에 강한 신호가 수신되었다.

수심 20m내외에서 통신을 하는 경우 혼합층의 유무가 음선의 전달 경로에 큰 영향을 줌으로 인해 채널 임펄스응답이 크게 달라진다는 것을 알 수 있는데 본 논문에서는 이점을 주목하여 서해에서 채널의 계절변동 중 여름철과 가을철의 채널변화에 따른 수신 성능을 비교 분석하였다.

## III. 모의실험 및 결과

### 1. BPSK 변조 및 복조

통신 성능 분석을 위해 BPSK 변조 방식을 사용하는 시스템을 모의하였다. 송신단에서는 이진신호의 복조가 행해지는데 BPSK 변조에는 두 개의 서로 다른 위상에 이진코드 0 또는 1을 할당하여 사용한다.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(\omega t + \theta_1) & \text{for binary 1} \\ A \cos(\omega t + \theta_0) & \text{for binary 0} \end{cases} \quad (1)$$

$\theta_1, \theta_0$ 에는 각각 0과  $\pi$ 를 사용하였다. 수신신호의 복조에는 코히어런트 방법을 사용하였으며 식(4)로 주어지는 상관기 출력y로 해석하였다.

$$y = \int_t^{t+T_b} r(t)s(t)dt \quad (2)$$

여기서 s(t)는 송신신호이며 r(t)는 수신신호이다.

### 2. 시역전 이론

잔향음이 존재하는 채널의 경우 주파수 선택적 페이딩 현상을 갖게 되는데, 계절에 따른 통신성능을 분석하고자 할 때 서로 다른 주파수 선택성을 보인다면 비교가 어려워지므로 주파수 선택성을 경감시키는 방법을 택할 필요가 있다. 본 연구에서는 시역전 기술을 적용하여 다중반사에 의한 전송 성능 저하를 개선하고자 한다. 이 기법은 전송채널의 응답을 추정한 후 수신된 신호와 디컨볼루션한 뒤 복조하여 정보신호를 추정하는 방법이다<sup>[6]</sup>. 먼저 수신된 신호 r(t)는 다음과 같이 모델링된다.

$$r(t) = h(t)*s(t) + n(t) \quad (3)$$

위의 식에서 s(t)는 BPSK로 변조되어 송신된 신호이며 h(t)는 채널의 임펄스 응답, n(t)는 백색가우시안으로 표현되는 잡음이다. 채널을 정확히 안다고 가정하고 잡음의 성분을 무시할 수 있다면 수신신호 r(t)와 채널 응답 h(t)의 디컨볼루션을 통하여 원래의 신호s(t)를 복원할 수 있다.

$$y(t) = r(t)*h(-t) = s(t)*h(t)*h(-t) \approx s(t) \quad (4)$$

결과적으로는, 채널에서 잔향음으로 인해 발생되며 인접 심볼 간섭(Inter Symbol interference)를 유발시키는 각각의 정보신호의 부엽(side lobe)이 감소되고 주엽

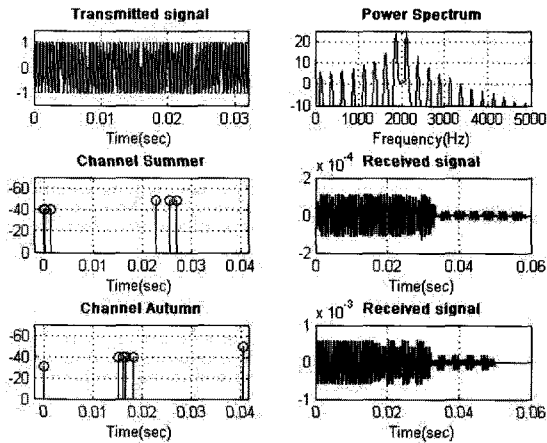


그림 3. 송신신호와 송신신호의 스펙트럼, 여름철과 가을철 각각의 임펄스 응답과 그에 따른 수신신호.

Fig. 3. Time signal and power spectrum of transmitted Signal and Channel impulse response with received signal in each case of summer and autumn.

(main lobe)이 증폭되어 주엽신호에 대한 다중반사 간섭신호비가 증가하고 동시에 주파수 선택성이 경감된다. 이 방법은 채널 임펄스 응답을 얼마나 정확히 추정하느냐에 달려 있으나 본 논문에서는 정확한 예측을 하였다고 가정하여 모의실험을 실시하였다.

4. 모의실험 구성

고유음선 모델링으로 추정된 채널 하에서 BPSK 변조방식을 사용하는 통신 시스템의 성능을 확인하기 위해 모의실험을 수행하였다. 반송주파수를 1kHz~3kHz까지 500Hz 간격으로 변화를 주어가면서 통신 성능을 비교해 보았다. 송신신호는 250bps의 전송속도를 가지며 송신단과 수신단 모두 100kHz의 표본화율을 갖는다. 성능의 평가를 위해 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 통하여 신호대 잡음비(Eb/No)에 따른 비트오류율(BER: Bit Error Rate)을 계산 하였다.

송신신호와 송신신호의 스펙트럼 그리고 여름철과 가을철의 채널 임펄스 응답과 8비트의 신호를 보냈을 경우의 수신신호를 그림 3에 나타내었다.

5. 모의실험 결과 분석

가. 여름철과 가을철의 수신 성능 분석

여름철과 가을철의 수직음속분포 변화가 통신성능에

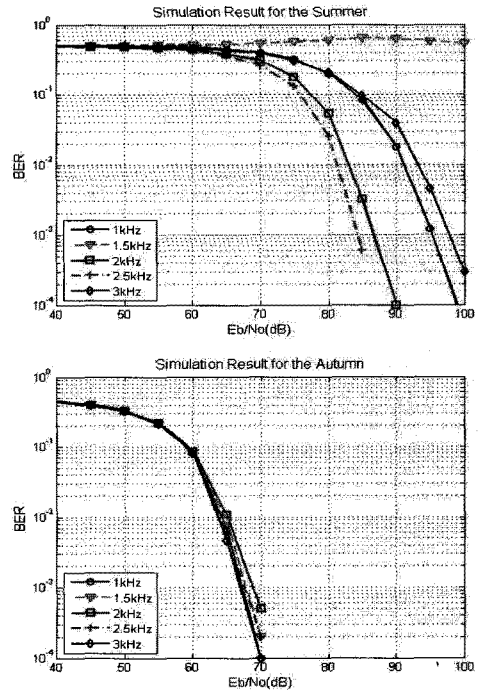


그림 4. 여름철 신호대 잡음비에 따른 반송파의 주파수 별 비트오류율(위) 가을철 신호대 잡음비에 따른 반송파의 비트오류율(아래)

Fig. 4. Bit error rate(BER) according to Signal to Noise ratio(Eb/No) (upper) BER according to EbNo(lower).

미치는 영향을 분석하기 위해 반송주파수를 1kHz에서 3kHz까지 500Hz 간격으로 변화시켜가며 수신 성능을 확인해 보았다. 그 결과 표층에 음향 도파관이 형성되는 가을철의 경우 비트오류율이 주파수에 따라 큰 변화를 보이지 않는 것에 비해 여름철의 경우 주파수에 변화에 따라서 비트 오류율이 달라지는 양상을 보인다(그림 4). 이는 여름철 음속 수직분포로 인해 생성되는 채널이 복잡한 다중경로로 인한 페이딩 현상을 발생시켜 주파수 선택적인 특성을 갖기 때문으로 생각된다. 가을철의 수중 채널에서도 역시 다중경로성분이 존재 하지만 해저면에서의 반사 등으로 에너지를 잃지 않은 직접파의 진폭이 다중경로 반사파의 진폭보다 약10dB가 크기 때문에 상대적으로 잔향음의 영향을 덜 받게 된다. 그림 5 에서 서로 다른 반송파에 대한 수신신호의 스펙트럼을 비교하였다. 상단의 그림은 직접파가 우세한 가을철의 수신신호이며, 하단의 그림은 직접파가 없는 여름철의 수신신호이다. 가을철의 경우 송신단에서 신호대 잡음비가 75dB이고, 여름철의 경우는 신호대 잡음비가 90dB이다. 경우에 따라 잡음의 영향으로 신호의 스펙트럼을 분간하기 어려우므로 잡음의 영향을 없애기 위하

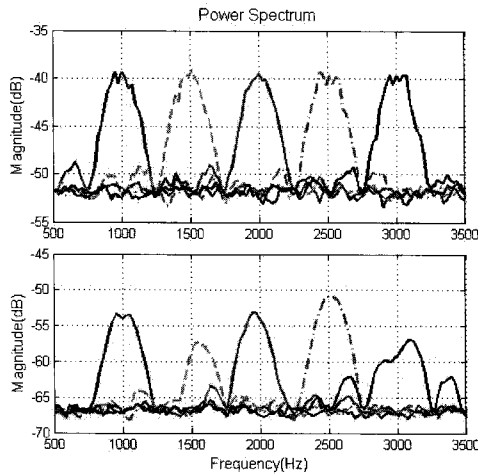


그림 5. 가을철 수신신호의 반송주파수에 따른 스펙트럼(위) 여름철 수신신호의 반송주파수에 따른 스펙트럼(아래)

Fig. 5. Power spectrum of received signal according to carrier frequency in autumn (upper) Power spectrum of received signal according to carrier frequency in summer (upper).

여 송신신호의 매 32ms마다 스펙트럼을 취하였고, 100개의 구간을 평균하였다. 여름철의 경우 수신 신호는 가을철의 수신신호에 비해 파워가 작을 뿐 아니라 주파수 선택성의 영향을 크게 받는 것을 확인할 수 있다.

나. 수신성능 개선실험

앞 절의 모의실험에서 여름철과 가을철의 수신 성능을 분석하였으며, 가을철에 비해 여름철이 잔향음의 영향을 크게 받는다는 것을 확인하였다. 잔향음은 해저면에서의 손실이 크기 때문에 수신 감도가 떨어질 뿐만 아니라 다중경로 성분으로 인한 인접심볼 간섭현상으로 수신 성능을 저하시킨다. 따라서 실제 잔향음이 많은 수중 환경에서는 충분한 보호 지연시간이 필요하나 이는 전송율을 떨어뜨리게 한다. 이러한 잔향음의 영향을 보상하기 위해 앞에서 고찰한 시역전 방법을 이용하였다.

앞 절의 실험에서 잔향음의 영향을 상대적으로 많이 받았던 여름철 환경에 이 기법을 적용한 후 그 결과를 그림 6에 나타내었다(그림 6). 앞장에서 실험된 결과(그림 4)와 비교해 보았을 때, 채널응답이 보상된 신호를 이용하여 복조한 결과 주파수 선택적 페이딩 현상을 비교적 잘 극복하는 것을 확인하였다.

채널응답을 보상하지 않았을 때 가장 낮은 수신 성능을 보였던, 반송파가 1.5kHz인 경우에 대해 수신신호의

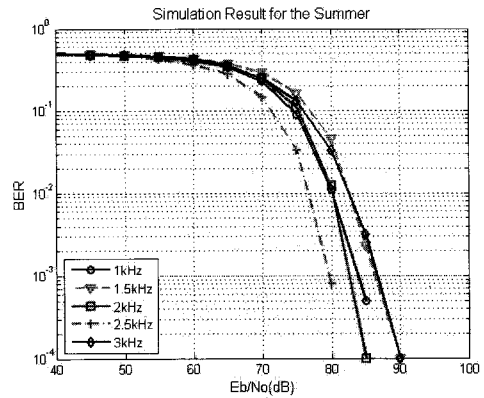


그림 6. 여름철 통신환경에 시역전기술을 적용한 후의 신호대 잡음비에 따른 주파수별 비트오류율  
Fig. 6. Bit error rate(BER) according to signal to noise ratio( $E_b/N_o$ ) after applying time reversal method in each case of carrier frequency in summer.

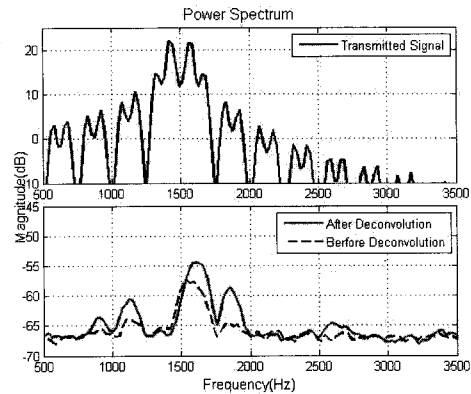


그림 7. 반송주파수 1.5kHz인 송신신호의 스펙트럼과 수신신호의 스펙트럼(채널 보상 전(점선), 채널보상 후(실선)).  
Fig. 7. Power spectrum of the transmitted signal and received signal(before (dashed line) and after(solid line) deconvolution of channel) which has 1.5kHz carrier frequency.

스펙트럼 변화를 비교해 보았다. 그림 7의 상단은 송신신호의 스펙트럼이고 하단은 수신 신호의 스펙트럼이다. 하단의 점선으로 표시된 것은 수신단에서 채널응답을 적용시키지 않았을 경우이고, 실선으로 표시된 것이 채널응답을 보정한 결과를 나타낸 것이다. 앞 장에서 고찰한 것과 같이, 수신신호에 채널임펄스 응답을 디컨볼루션 위한 결과 신호의 세기가 증폭되어 잡음의 영향을 극복할뿐 아니라 상대적으로 다중반사 간섭 신호비를 감소시켜 수신 성능을 향상시키는 결과를 확인하였다. 마지막으로 채널응답을 보정한 경우와 그렇지 않은 경우에 따른 여름철과 가을철의 통신 성능을 반송주파수가 1kHz, 1.5kHz, 2kHz일 때를 각각 비교하여 그림 8

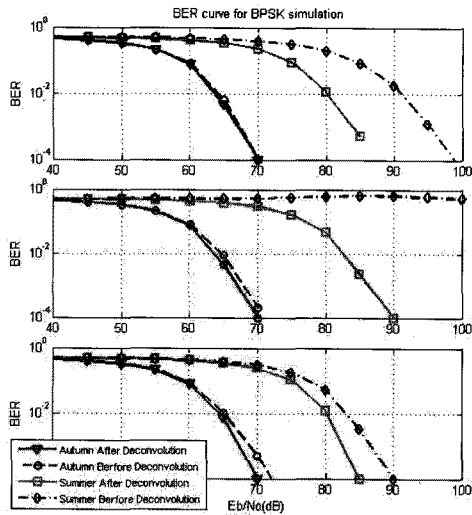


그림 8. 주파수별 계절변화에 따른 통신성능변화 (상):1kHz, (중):1.5kHz, (하):2kHz  
 Fig. 8. Difference of performance according to season variation and carrier frequency.

에 나타내었다. 채널응답을 보상했을 때 가을철의 경우 수신 성능의 향상 폭이 크지 않으나, 여름철의 통신성능은 보상하지 않을 때에 비해 크게 향상되었다. 가을철의 경우는 직접파에 비해 다중경로 성분이 매우 작기 때문에 향상 폭이 적은 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

서해는 수심이 비교적 낮아 수온이 기온에 영향을 많이 받으므로 음속의 수직분포가 계절변동에 크게 변화하는 특성을 보인다. 수직음속분포의 변화는 음파 전달 경로에 영향을 미치게 되어 수중 통신 채널의 변화를 초래한다. 본 논문에서는 서해 백령도 남방해역의 최근 10년간 수온, 염분데이터를 가지고 각 계절의 평균음속 분포를 구하였으며 이를 가지고 고유음선모델에 적용하는 방법으로 수중채널을 추정하였다. 송신기 수심 15m, 수신기 수심 10m로 두고 1km 거리에서의 통신을 모의하였으며 잔향음의 영향을 줄이기 위해 시역전 방법을 적용하였다. 가을철의 경우 혼합층이 발달함에 따라 표층에서 음파채널이 형성되었으며 그로인해 상대적으로 수신강도가 센 직접파가 수신되었으며 비교적 잔향음의 영향을 덜 받는 것을 확인하였다. 여름철의 경우 표층에서 중층까지 급격한 수온약층의 형성으로 표층에서의 음파는 대부분 해저면 방향으로 굴절되며 그로인해 많은 잔향음들이 수신되었다. 잔향음들은 그 것들의 상호

작용에 의해 신호의 인접심볼간섭(ISI) 현상을 발생시키며 주파수 선택성을 보인다. 여름철 환경에 채널효과를 보상하여 수신하였더니 잔향음의 영향이 감소되는 것을 확인 하였으며 이를 통해 여름철과 가을철 표층에서의 통신성능을 비교하였다. 그 결과 여름철에 비해 대략15dB정도의 신호대 잡음비 이득을 볼 수 있다는 것을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 오선택, 나정열, 오택환, 박정수, 나영남, 김영규 “한국 동해에서 토모그래피용 신호를 이용한 음파 도달 시간의 시변동성”, 한국음향학회지 v.20, no.5, pp. 92-99, 2001년
- [2] 나영남, 김영규, 최진혁, 심태보, “대륙붕 해역에서의 주요 해양현상과 수중음파의 음장변화 고찰”, 한국음향학회 하계학술발표대회 논문집 제19권 1호, pp.237-240, 2000년
- [3] 서석, 이찬길, “해양 음향 토모그래피에서 M-시퀀스를 이용한 해양 음향 채널 분석”, 한국음향학회지, v.23, no.1, pp.24-29, 2004년
- [4] 최동현, 김현수, 김남리, 김성일, 정재학, “동해 천해 환경에서 수심에 따라 변화하는 위상 변동의 특성과 상관관계 분석”, 한국음향학회지, v.29, no.3, pp. 165-172, 2010년
- [5] 한국해양자료센터, 해양관측자료 / 정선해양관측자료, [http://kodc.nfrdi.re.kr/page?id=obs\\_04\\_01](http://kodc.nfrdi.re.kr/page?id=obs_04_01)
- [6] 이의형, 김기만, “BFSK 변조를 이용한 수중 음향 통신의 실험적 고찰” 한국음향학회지, v.22, no.5, pp. 418-424, 2003년

저 자 소 개



김 주 호(학생회원)  
 2010년 제주대학교  
 해양산업공학 학사.  
 2010년~현재 제주대학교  
 해양정보시스템공학과  
 석사과정.  
 <주관심분야 : 수중음향, 수중통신>



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

<주관심분야 : 수중음향, 음파산란, 신호처리, 수중통신>



배 진 호(정회원)-교신저자  
 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 소나 신호처리, 항해 시스템>



팽 동 국(정회원)  
 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, 수중통신>



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>



김 성 일(정회원)  
 1986년 서울대학교  
 해양학과 학사.  
 1988년 서울대학교  
 해양학과 석사.  
 2002년 University of California,  
 San Diego 박사.

1990년~현재 국방과학연구소 연구원,  
 한국음향학회 이사, 편집위원.

<주관심분야 : 수중음향학>