

# 능동 음향센서 배열신호의 공간 상관성 측정

## Measurement of Spatial Coherence of Active Acoustic Sensor Array Signal

박정수 · 김형록

(Joung-Soo Park, Hyoung Rok Kim)

국방과학연구소

(접수일자: 2012년 4월 3일; 채택일자: 2012년 5월 2일)

**초 록:** 동해와 남해에서 능동 음향센서 배열 신호를 측정하고, 신호의 공간 상관성을 분석하였다. 주변소음, 표적신호, 해수면과 후방산란 신호, 해상풍, 수직 수온을 25시간 동안 동시에 관측하였다. 남해 측정에서는 분석결과로부터 주변소음의 공간 상관성이 표적신호 보다 매우 낮고, 표적신호는 전체 음향센서에서 0.5 이상의 상관성을 보였다. 동해 측정에서는 해수면 잔향 신호의 공간 상관성은 해수면 입사각이 클때 높고, 상관성이 0.5이상인 무차원화된 배열의 최대길이는 26도의 입사각에서 3.0, 32도의 입사각에서 3.5였다. 배열센서의 형상과 배열성능을 결정하는 기준이 되는 공간 상관성 파악을 위해서는 향후에 다양한 시공간 변동을 포함한 지속적인 관측이 필요하다.

**핵심용어:** 중주파수, 음향센서 배열, 공간 상관성, 주변소음, 잔향음

**투고분야:** 수중음향 분야(5.2)

**ABSTRACT:** Active acoustic array signal was measured in the East Sea and the South sea and spatial coherence was analyzed. The measurement of ambient noise, target reflection signal, sea surface backscattering signals took place including environmental measurements of sea wind, and vertical temperature profiles. The spatial coherence of ambient noise was lower than that of target reflection signal in the South Sea. The spatial coherence of target reflection signal was above 0.5 over all array length. The spatial coherence of sea surface backscattering signal was higher in high incident angle. The maximum non-dimensional array length was 3.0 (26°) and 3.5 (32°) to have spatial coherence above 0.5 in the East Sea. To find a design criteria for array configuration and array performance, more measurements of temporal and spatial coherence will be needed continuously in the future.

**Key words:** Mid-frequency, Acoustic sensor array, Spatial coherence, Ambient noise, Reverberation

**ASK subject classification:** Underwater Acoustics (5.2)

### 1. 서 론

수중에서 한 개의 전방향성 음향센서를 사용하여 음파를 송신하면 모든 방향으로 음파를 보낼 수 있고, 모든 방향에서 수신되는 음파를 수신 할 수도 있다. 반면에 원하는 방향으로만 송신하거나, 원하는 방향의 음향신호를 선별하여 수신하기는 어렵다. 목적에 따라 음파의 송신과 수신 방향성이 필요한 경우에는 일반적으로 여러 개의 음향센서를 일정한 규칙으로 배치한 음향센서 배열을 사용한다. 음향센서

배열 형태는 기본적으로 선형, 평면형, 입체형 등으로 구분할 수 있다. 선형 배열은 음향센서를 직선상에 정해진 간격으로 배치하는 단순한 형태이며, 이를 확장하면 평면형과 입체형 배열 형태를 구성할 수 있다.

수중에서 음향센서를 배열하는 가장 기본이 되는 기준은 송신과 수신 대상이 되는 음파의 파장이다. 즉, 대상이 되는 음파의 반파장 마다 음향센서를 배치 하면 음향 센서간의 신호 상관성이 유지되며 에 일리어싱 없이 송신과 수신 방향을 조절할 수 있다<sup>[1]</sup>. 음향센서 배열의 송신과 수신 방향을 조절하기 위한

\*Corresponding author: 박정수 (js.park@add.re.kr)  
645-600 경남 창원시 진해구 현동 19번지 국방과학연구소  
(전화: 055-540-6311)

기법은 선형 빔형성이 일반적이다. 음향센서 배열의 길이와 크기는 요구되는 빔형성 분해능과 신호의 상관성에 따라 결정되며, 선형 빔형성은 배열된 음향센서가 모두 동일한 음파전달 조건 하에 있어야 한다는 가정을 필요로 한다. 즉, 배열된 모든 음향센서 위치의 음속과 음파의 도달 각이 항상 동일해야 한다. 이러한 가정 하에서 배열이득과 같은 음향센서 배열의 성능이 계산된다. 예를 들면, 이상적인 음파 전달 환경에서 배열이득은 음향센서 수에 비례한다. 이를 수식으로 표현하면 배열 이득은  $10 \log$  (음향센서 개수) 이 된다. 음향센서 배열은 해양환경 및 해양자원 조사, 군사적인 목적을 위해 다양하게 이용되고 있고, 목적에 따라 적합한 배열이득을 갖도록 음향센서 개수와 배열 형태를 달리 적용하여 설계한다.

그러나 음향센서 배열이 사용되는 실제 해양환경은 위에서 언급한 것처럼 단순하지 않다. 공간적으로는 해역과 수심에 따라 서로 달라지는 음속과 수심 때문에 음파전달이 달라진다. 시간적으로는 동일한 해역에서도 계절과 하루 중에도 음속이 계속 달라지고, 내부파와 같이 단주기음속이 바뀌어 음파전달이 변화된다.

해양환경이 시공간적으로 변하면 음향센서 배열에 수신되는 신호의 상관성이 변하고, 결과적으로 배열이득의 변동이 생겨 이상적인 경우의 배열이득보다 낮아지게 된다. 실제 해양환경에서 신호의 공간적인 상관성을 파악하면 음향센서 배열의 설계 배열이득이 최대로 유지되는 음향센서 배열의 간격과 길이를 추정할 수 있는 기준이 된다. 또한 배열신호의 시간적인 상관성은 신호처리 이득을 극대화할 수 있는 적분시간 등을 결정할 수 있다. 배열신호의 시간적인 상관성은 적응 신호처리에서는 replica의 적용시간 결정의 기준이 되며, 수중통신에서는 적응 채널 등화기를 적용할 때도 기준이 된다<sup>[2]</sup>.

해양에서 신호의 상관성에 영향을 미치는 주요 변동 요인은 수온의 시간 변화와 해면파, 내부파 등으로 알려져 있으며, 이와 관련하여 신호의 시간 상관성과 해양학적인 요인의 상관관계 분석에 대한 많은 연구가 진행되었다<sup>[3-5]</sup>. 장거리 심해에서 시간 상관성에 영향을 주는 해양 요인은 내부파가 가장 잘 알

려져 있다<sup>[6,9]</sup>. 천해에서는 시간에 따라 변동하는 해양현상과 해면파의 영향이 일반적이다. 특히 움직이는 해면파에 의한 음파의 산란이 큰 영향을 미친다<sup>[3]</sup>. 시간 상관성은 주파수와도 관련이 있다. 저주파 신호는 내부파 등 진폭 변화가 큰 변동의 영향은 크게 받지만 해면파의 영향은 상대적으로 작게 받는다. 하지만 천해에서 중주파수나 고주파수 신호에서는 변동 진폭이 작은 해면파의 영향이 크게 나타난다.

한국 주변해역은 해양환경의 시공간적인 변화는 매우 크고, 그 변화 양상이 복잡하다고 알려져 있다<sup>[10-12]</sup>. 따라서 한국 주변해역에 적합한 음향센서 배열 형상 결정과 음향신호의 처리 성능 향상 등을 위하여 다양한 운용 조건 하에서 음향센서 신호의 상관성 연구가 필요하다.

다양한 해양환경에 따른 신호의 상관성 연구는 모델링 기법과 현장 측정 방법이 가능하다. 모델링 기법은 해양환경을 입력 조건으로 음파전달 모델링을 수행하고, 그 결과로부터 음향 신호를 재현하여 상관성을 분석한다. 모델링 방법은 입력자료만 있다면 다양한 조건을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 모델링 기법은 해양환경의 변동 요소 모두를 고려하기는 어렵기 때문에 연구에 한계가 있다. 현장 측정 방법은 해양환경의 모든 요소가 측정 신호에 반영되기 때문에 측정 장비에 따라 고정밀 신호의 상관성 분석을 할 수 있다. 그러나 현장 측정은 재현성이 낮고, 시공간적으로 다양한 측정을 하기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 현장 측정은 변동 현상을 파악하고 정량화하는 연구 수행이 가능하기 때문에 모델링 분석의 기초를 제공하고 모델링 결과의 검증 자료로 활용될 수도 있다.

본 논문에서는 남해와 동해에서 중주파수 대역의 음향센서 배열 신호를 측정하고, 신호의 공간 상관성을 분석하였다. 해상풍과 수온구조 등을 함께 측정하여 상관성의 변동을 해석하였다. 또한 수신된 음향 신호에서 소음, 표적, 해수면 잔향음 신호를 분리하여 상관성의 특성을 분석하였다. 해양환경은 다양하고 복잡하기 때문에 2회의 측정만으로 신호의 상관성을 대변할 수는 없으며, 이후에도 지속적인 관측이 이루어져야 한다.

## II. 음향센서 배열 신호 측정

### 2.1 측정

신호의 상관성을 측정하기 위하여 중주파수 대역의 음향센서 배열 장비 (VBeam)를 사용하였다(그림 1). VBeam 장비에는 수직과 수평으로 이루어진 선형 배열이 설치되어 있으며, 각각의 배열은 11개씩의 음향센서로 구성된다. VBeam 장비는 짧은 주기의 신호를 펄스 형태로 송신할 수 있으며, 빔형성 기법을 이용하여 송신 방향을 +/- 45도 범위에서 1도 간격으로 조절할 수 있다. 수직 배열은 송신 방향을 수직으로 조절하고, 수평 배열은 송신 방향을 수평으로 조절한다. 따라서 수직과 수평 배열을 조합하면 원하는 수직과 수평 방향으로 조절하여 송신할 수 있다. 배열의 각 음향센서에 수신된 음향신호를 빔형성 하면 송신과 동일하게 수직과 수평의 임의 방향에서 수신된 신호만 분리하여 분석할 수 있다. 이렇게 하면 방향별 상관성 분석이 가능하다. VBeam의 송수신 가능한 대역폭은 5 ~ 10 kHz 범위이며, 협대역 CW 펄스와 광대역 FM 펄스 형태로 송신할 수 있다. 음원준위는 200 dB/1  $\mu$ Pa이고, 3 dB가 낮아지는 빔폭은 7.8도이다.

음향신호 측정과 동시에 해양환경 자료를 관측하기 위하여 단발성으로 수직 수온 측정이 가능한 XBT (Expendable Bathythermograph)와 고정점의 시간

에 따른 수직 수온구조의 변동을 관측할 수 있는 수온선배열을 사용했다. XBT는 매시간 마다 관측에 사용하고, 수온 선배열은 1분 간격으로 수온을 관측하도록 설정하였다. 풍향과 풍속도 1분 간격으로 관측하였다. 풍향과 풍속은 시간차가 존재하지만 해면 파가 변하는 직접적인 원인이 된다.

#### 2.1.1 남해 실험

2008년 11월에 수심이 약 15m인 진해만 인근 해역에서 음향신호를 측정하였다. 4점 모박한 상태의 선진호에서 VBeam을 6m 깊이에 내리고, 구형 표적을 선진호로부터 약 300m 거리에 6m 수심에 계류하였다. 10ms의 협대역 CW 펄스 신호를 1초 주기로 송신하고 수신된 신호를 저장하였다. 측정은 180초 동안 지속되었다. 송신 빔은 0도로 지향하고 송신하였다. 그림 2는 배열의 중앙에 위치한 21번째 음향센서에 관측된 신호를 나타낸 것이다. 점선 박스로 표시된 0.4초 부근에 표적으로부터 반사되어 수신된 신호를 볼 수 있으며, 나머지 부분은 해수면, 해저면, 체적 등으로부터 반사되어 수신된 잔향음 신호이다.

현장에서 XBT를 사용하여 관측한 수온은 전 층에서 약 13도로 일정한 수온구조를 보였다. 이러한 음속구조에서는 음파의 굴절이 적고, 전체 수심에서 해저면과 해수면 반사가 빈번하게 발생한다.

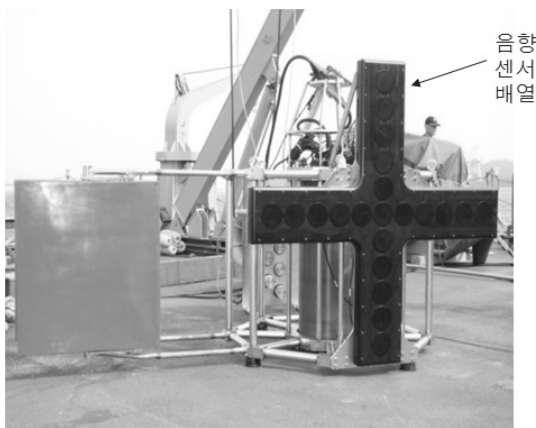


그림 1. 음향센서 배열신호 측정장치 (VBeam)  
Fig. 1. The measurement system (VBeam) for acoustic sensor array signal.

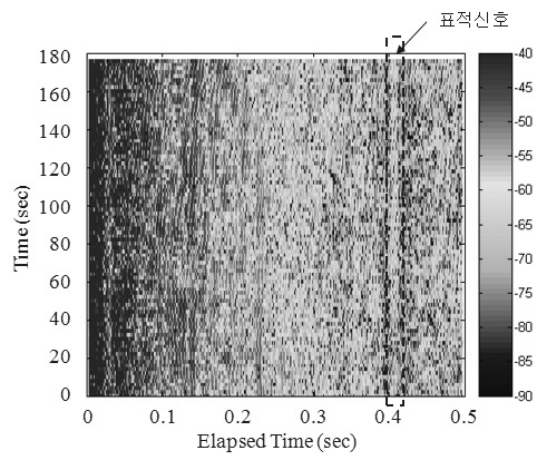


그림 2. 남해에서 VBeam을 사용하여 측정한 음향신호 (ch 21)  
Fig. 2. Measured acoustic signals from the VBeam in the South Sea (ch 21).

2.1.2 동해 실험

동해 실험은 2009년 9월에 동해항으로부터 약 10 km 외해 쪽 영역에서 수행하였다. 수심 약 155 m 인 해역에서 그림 3과 같이 VBeam을 설치하고 음향신호를 측정하였다. 선진호에서 VBeam을 30 m 깊이에 내리고 송신 빔을 해수면 방향으로 26도와 32도로 각각 지향하고 송신하였다. 남해 실험과 동일하게 10 ms 길이의 협대역 CW 펄스 신호를 1초 주기로 송신하고 수신된 신호를 저장하였다. 1시간 간격으로 1분 동안 30개의 펄스신호를 25시간 동안 송수신하였다. 그림 4는 21번째 음향센서에 관측된 신호의 파워를 나타낸 것이다. 해수면으로부터 반사되어 수신된 신호는 점선 박스로 표시된 0.15초부터 0.2초까지이다. 0.3초 부근에는 해저면 반사가 발생하지만 관측

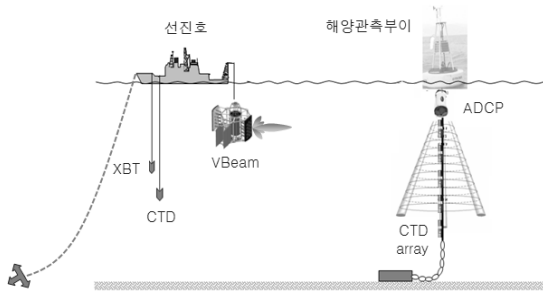


그림 3. 해상 측정실험 배치도 (Vbeam 수심 30 m)  
Fig. 3. Experiment setup in the ocean (Vbeam depth 30 m).

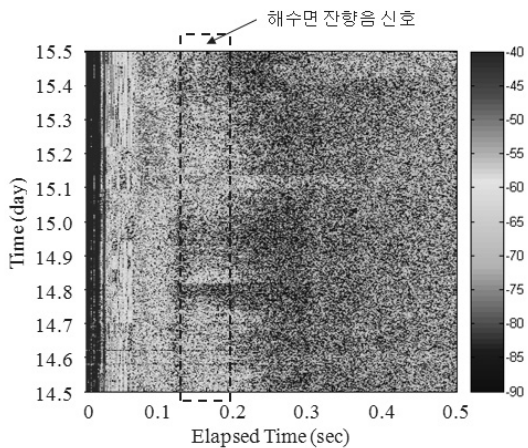


그림 4. 동해에서 VBeam을 사용하여 측정된 음향신호 (ch 21)  
Fig. 4. Measured acoustic signals from the VBeam in the East Sea (ch 21).

신호에서는 거의 나타나지 않았다.

그림 5는 XBT로 관측한 수온 중에서 15일 00:00와 06:00에 측정된 XBT 수온구조이며, 약 30 m까지 강한 음 (-)의 기울기를 보여준다. 이러한 환경에서는 음파가 해저면으로 강하게 하향 굴절할 것이다.

그림 6은 VBeam 위치로부터 약 1 km 떨어진 정점에 설치한 그림 3에 표시된 해양부이에서 관측한 수직 수온의 25시간 동안의 변화를 보여준다. XBT 관

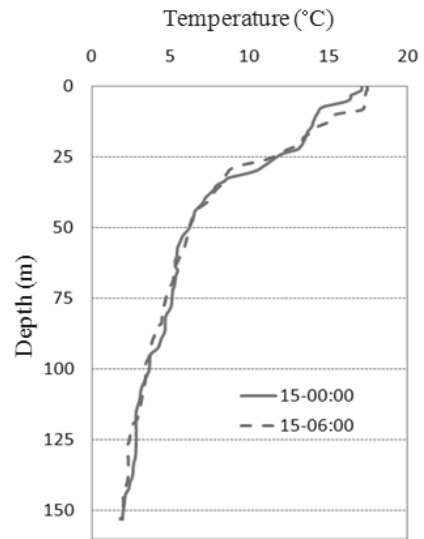


그림 5. 선진호에서 XBT로 관측한 수직 수온구조  
Fig. 5. Vertical temperature structures measured by XBT on R/V SUNJIN.

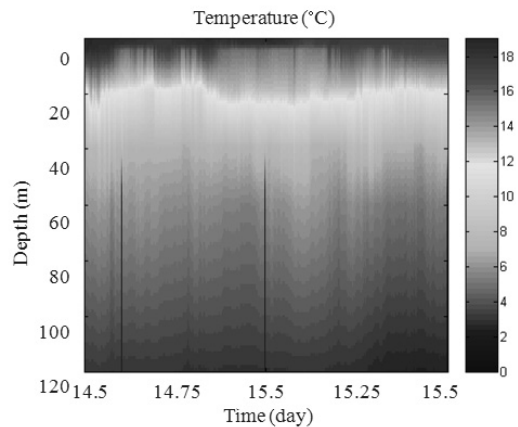


그림 6. 동해 관측 해역의 해양부이에서 관측한 수온구조의 시간에 따른 변화  
Fig. 6. Temporal variation of temperature structure measured from the ocean buoy in the East Sea site.

측 결과에서와 같이 상층에 강한 음의 기울기를 갖는 수온약층이 형성되어 있고, 시간에 따라 수온약층이 15 m~35 m 사이에서 변하고 있다. 14일 16:00 시경에 수온 약층이 가장 낮아지고, 15일 02:00 시경에 가장 깊게 나타났다. 수온 약층의 변화는 수신된 음향신호가 시간에 따라 변하는 원인 중의 하나이다. 특히, VBeam이 수온약층 내부인 30 m에 설치되어 있기 때문에 수온 변동의 영향을 크게 받을 수 있다.

그림 7은 해양부이에서 관측한 해상풍의 풍속을 25시간동안 관측한 자료이며, 시간에 따라 약 3 m/s~13 m/s의 변화를 보여준다. 14일 19:00 시경에 풍속이 가장 약하고, 15일 04:00 시경에 가장 세게 나타났다. 해상풍이 변하면 직접적으로 해면파가 영향을 받고, 해수면으로부터 산란되는 음향신호가 달라지게 된다. 동해 실험에서는 해수면으로 26도와 32도로 송신하였기 때문에 이러한 해상풍에 의한 해면파 변화 영향을 크게 받을 것이다.

동해 실험 자료에서는 해수면 반사 신호의 일관성을 분석하고, 신호 일관성 변화를 수온약층과 해상풍 변화와 비교 분석하였다.

### 2.2 측정 신호 분석

음향센서 배열로 측정된 음향신호의 상관성 분석은 배열의 각 음향센서 사이의 유사성을 계산함으로써 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>. 즉, 첫 번째 음향센서와 인접한 각각의 음향센서 간의 유사성을 계산하면 배열 길이별 유사성의 변화를 나타낼 수 있으며, 이로부터 배열 이득이 높게 유지되는 배열의 길이 등을 추정할

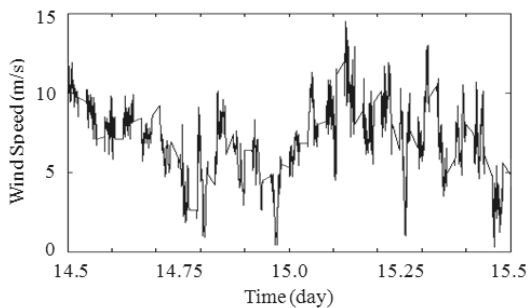


그림 7. 동해 관측 해역의 해양부이에서 관측한 해상풍의 시간에 따른 변화  
Fig. 7. Temporal variation of sea wind measured from the ocean buoy in the East Sea site.

수 있다.

신호의 공간 상관성은 신호의 평균 에너지로 정규화된 신호의 교차상관으로 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$\rho(t, d_i) = \frac{p^*(t, d_0)p(t, d_i)}{\sqrt{[p^*(t, d_0)p(t, d_0)][p^*(t, d_i)p(t, d_i)]}} \quad (1)$$

여기서  $t$ 는 임의의 시간이고,  $d_0$ 는 기준 음향센서 위치,  $d_i$ 는 기준 음향센서와 상관성 비교 대상인 음향센서의 위치이다. 본 논문에서  $d_i$ 는 기준 음향센서와의 거리를 의미하며,  $i = 1, 2, \dots, 11$  까지 변화시키며 상관성을 계산하였다. 첫 번째 음향센서를 기준으로 공간 상관성을 계산하고, 계산 결과는 배열길이(음향센서 거리 ( $d$ )/파장 ( $\lambda$ ))로 정규화하여 표시하였다.

## III. 공간 상관성

### 3.1 주변소음, 표적신호의 공간 상관성 (남해 실험 결과)

주변소음과 표적으로부터 VBeam에 수신된 신호를 각각 분리하여 공간 상관성을 분석하였다. 측정 신호를 식 (1)과 같이 처리하여 공간 상관성을 계산하였다.

그림 8은 VBeam 장비로부터 300 m 거리에 설치된 원통형 표적으로부터 반사되어 0.4초에 수신된 신호

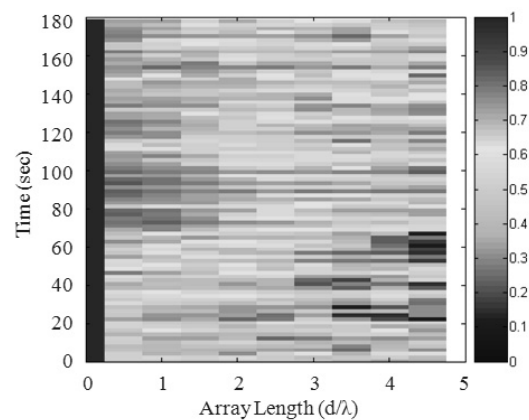


그림 8. 표적신호의 공간 상관성  
Fig. 8. Spatial coherence of target reflection signal.

의 공간 상관성 계산 결과이다. 음향센서 간격이 0일 때의 상관도는 자기상관이므로 1이 된다. 음향센서 간격이 증가하면서 상관도가 낮아지며, 65초까지는 배열길이 2보다 커지면 상관도가 0.5 이하로 낮아진다. 65초 이상에서는 배열길이 4.5가 되어도 상관도가 0.6 이상으로 높게 유지되고 있다. 상관도가 낮은 시간인 0~65초 사이의 수신신호의 신호대잡음비(SNR)가 65~180초보다 낮다는 것을 그림 2에서 볼 수 있다. 즉, 수신신호의 SNR 낮으면 신호의 상관성도 낮아짐을 알 수 있다. 상관성이 높은 65~180초 구간의 상관성은 배열길이 4.5가 되어도 매우 완만하게 낮아지며, 이와 같은 결과는 300m에 고정되어 설치된 표적의 위치 변화가 거의 없기 때문에 판

단된다. 이처럼 180초 동안에도 표적 신호의 SNR과 상관성의 변하고 있음을 알 수 있다. 측정 위치의 수직 수온구조도 단순하지만, 전체 측정 시간인 180초 동안 해양환경의 변동 또한 적었을 것이다. 또한 해상풍도 3m/s 이하로 유지되었기 때문에 상관성의 변동이 환경에 의한 것이라고 하기는 어렵다. 다만, 0~65초 사이에서 상관성이 상대적으로 낮게 나타난 것은 선진호의 침로가 바뀌었을 가능성이 있다. 측정기간 중에 선진호를 4점 묘박한 상태에서 VBeam을 내렸기 때문에 선진호의 움직임이 거의 없었지만, VBeam의 빔폭이 7.8도로 좁기 때문에 선진호의 침로가 조금만 틀어진다면 표적으로부터 빔의 초점이 틀어질 가능성이 있다.

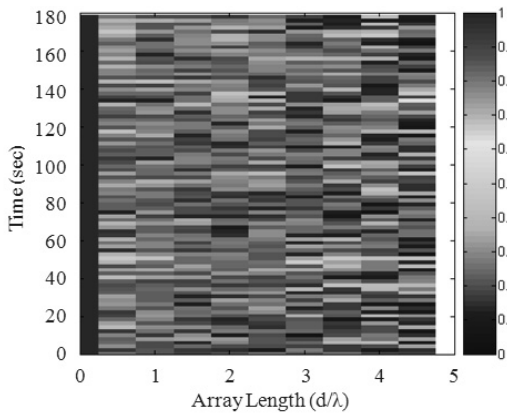
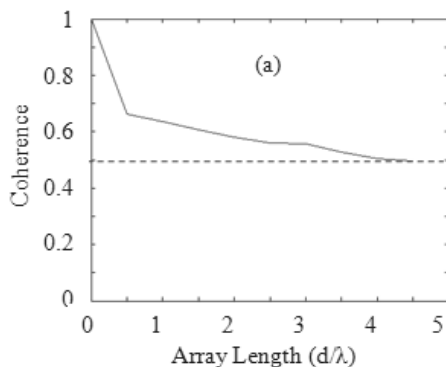


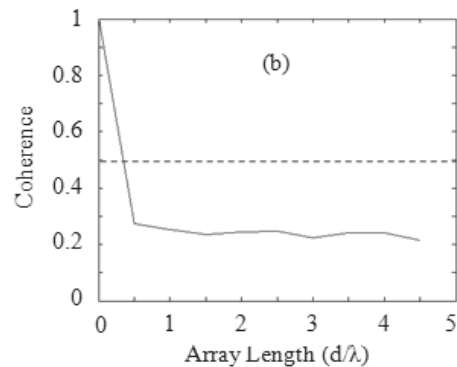
그림 9. 주변소음의 공간 상관성  
Fig. 9. Spatial coherence of ambient noise signal.

그림 9는 표적신호와 잔향음이 없다고 판단되는 소음구간인 0.9초 이후에 수신된 신호의 공간 상관성 계산 결과이다. 분석에 사용한 수평 배열센서는 11개의 음향센서로 구성되어 있으나 수신 상태가 불량한 마지막 센서를 제외한 10개의 음향센서 신호만으로 상관성을 계산하였다. 자기상관을 제외하면 상관성이 모든 배열 길이에서 상관성이 0.3 ( $d/\lambda$ ) 이하로 급격하게 낮아진다.

표적과 주변소음의 공간 상관성을 각각 평균하고, 상관성이 0.5 보다 높은 배열길이를 표시하면 그림 10과 같다. 즉, 0.5 이상의 상관성이 유지되는 배열 길이는 표적의 경우 4.5 ( $d/\lambda$ ), 주변소음의 경우 0.5 ( $d/\lambda$ )이다. 이러한 결과만으로 추정해본다면, 남해



(a) 표적신호의 공간 상관성  
(a) Spatial coherence of target reflection signal



(b) 주변소음 신호의 공간 상관성  
(b) Spatial coherence of ambient noise

그림 10. 남해에서 관측한 공간 상관성의 시간 평균 결과  
Fig. 10. Spatial coherence averaged over time in the South Sea.

실험 환경에서는 배열길이를 4.5 정도 유지하면 표적 신호가 높은 배열 이득을 얻을 수 있다고 할 수 있다.

### 3.2 해수면 잔향음의 공간 상관성 (동해 실험 결과)

해수면의 잔향음은 해상풍의 영향을 받는 해면파의 형태에 영향을 받는다<sup>[13]</sup>. 해면파는 해상풍의 풍향과 풍속의 영향을 받으며 시시각각 그 형태가 달라진다. 해면파의 형태가 음향 신호에 미치는 영향은 사용 주파수와 입사각 등에 따라 달라지며, 해수면 잔향음의 시간 변동은 해저면 잔향음에 비해 크게 나타난다. 따라서 해수면 잔향음의 상관성 또한 시간 변화가 크게 나타나게 될 것이다.

남해 실험 기간에는 해상풍이 3m/s 이하로 일정하게 유지되었기 때문에 해수면 잔향음의 시간 변화가 작았을 것으로 판단하고 분석에서 제외하였다. 25시간 동안의 동해 실험 기간에는 해상풍이 약 3m/s~13m/s 범위에서 변화였고, 측정된 해수면 잔향음에 그 영향이 반영되었을 것으로 판단하고 상관성을 분석하였다. 해수면 입사각을 26도와 32도로 분리하여 측정하고, 측정시간별 해상풍과 입사각별 공간 상관성을 분석하였다.

관측한 해수면 잔향음 수신신호와 해상풍의 관계는 그림 11에서 확인할 수 있다. 수신 신호는 해수면 잔향음 준위로 환산하지 않은 상대 값이다. 그림에

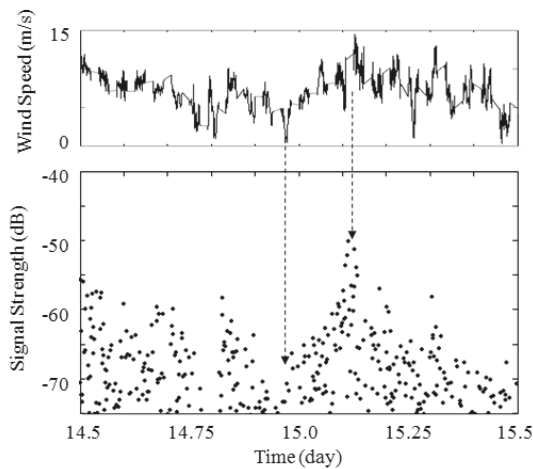


그림 11. 해수면 잔향음 신호와 해상풍속의 비교  
Fig. 11. Comparison of surface reverberation signal and sea wind speed.

서 점선으로 표시한 부분은 해상풍이 13 m/s인 시간과 해상풍이 3 m/s로 낮은 시간이다. 표시한 두 시간대를 비교하면 해상풍이 강할 때 잔향음 수신신호의 세기는 -50 dB이고, 해상풍이 약할 때 잔향음 수신신호의 세기는 -75 dB이다. 두 시간대는 약 25 dB 차이가 있으며 문헌에 나타난 측정 사례와 유사한 차이이다<sup>[14]</sup>. 25시간 동안에 전반적으로 해상풍과 해수면 잔향음의 변화 경향이 서로 유사함을 확인할 수 있다. 남해 실험 결과에서 표적신호의 상관성에서 나타난 것처럼 해수면 잔향음 신호의 강도가 높을수록 상관성이 높게 나타날 것이다.

그림 12는 해수면 입사각이 26도인 측정신호를 식 (1)과 같이 처리하여 공간 상관성을 계산하고, 그 결과를 관측 시간에 따라 배열길이별로 나타내었다. 배열 길이가 0일 때의 상관도는 자기상관이므로 1이고, 배열 길이가 증가하면서 상관도가 낮아진다. 관측 시간에 따른 변화는 해상풍의 변화와 유사하다. 해상풍이 강한 15.1 시경에는 배열길이 5일 때까지 0.5 이상의 상관성을 보이며, 해상풍이 약한 14.8 시경에는 자기상관을 제외하면 0.5이하의 상관성을 보인다. 즉, 해상풍이 강하면 수신신호 강도가 높고, 공간 상관성도 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 해상풍이 강해지면 해수면 잔향음의 강도가 커지기 때문일 것이다.

그림 13은 해수면 입사각이 32도인 측정신호 공간 상관성을 시간에 따라 나타낸 것이다. 입사각이 26인 경우인 그림 12의 결과처럼 시간에 따른 변화는

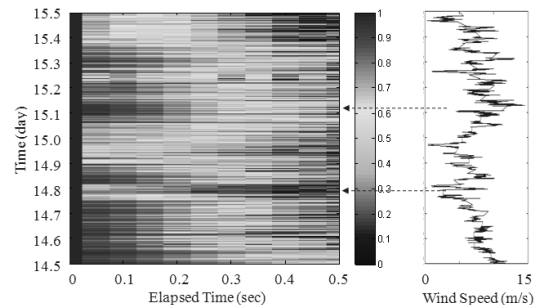


그림 12. 입사각이 26도인 해수면 잔향음의 공간 상관성과 해상풍속의 비교  
Fig. 12. Comparison of sea wind speed and spatial coherence of surface reverberation measured at a grazing angle of 26 degree.

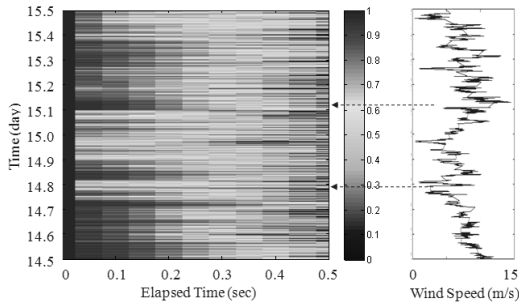


그림 13. 입사각이 32도인 해수면 잔향음의 공간 상관성과 해상풍속의 비교  
 Fig. 13. Comparison of sea wind speed and spatial coherence of surface reverberation measured at a grazing angle of 32 degree.

해상풍의 변화와 매우 유사하다. 즉, 해상풍이 강하면 수신신호 강도가 높고, 공간 상관성도 함께 높아진다. 상관성의 정도는 26도인 경우보다 32도인 경우가 전반적으로 높다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 해수면 입사각이 커지면 해수면 잔향음 준위도 높아지기 때문일 것이다.

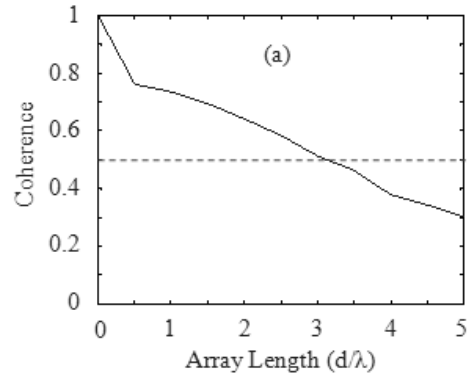
25시간 동안의 모든 해수면 잔향음 신호의 공간 상관성을 평균하고, 상관성이 0.5 보다 높은 배열길이를 표시하면 그림 14와 같다. 그림 14에서 해수면 입사각이 26도인 경우에는 상관성이 0.5 보다 높은 배열길이가 3 ( $d/\lambda$ ) 이고, 해수면 입사각이 32도인 경우에는 3.5 ( $d/\lambda$ ) 이다.

짧은 거리에서 측정된 해수면 잔향음 신호의 시간에 따른 공간 상관성 변화는 해양부이에서 관측한 수온구조의 시간에 따른 변화(그림 6)와 관계가 보이지 않았다.

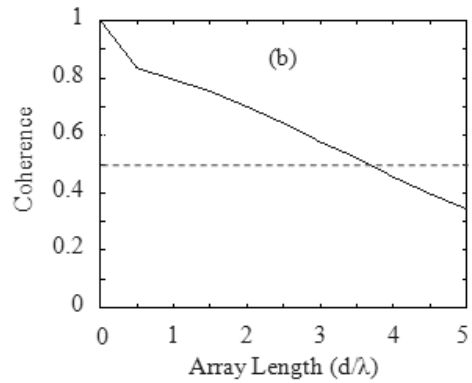
#### IV. 요약 및 결론

남해와 동해에서 중주파수 대역의 음향배열 신호를 측정하고, 신호의 공간 상관성을 분석하였다. 분석 관점은 동일한 조건에서 주변소음, 표적신호의 공간 상관성의 분석, 해상풍과 입사각 변화에 따른 해수면 잔향음의 공간 상관성 분석이다.

남해에서 관측한 주변소음의 공간 상관성은 자기상관을 제외하면 0.3 이하이고, 표적 신호는 전체 길이에서 상관성이 0.5 이상임을 알 수 있다. 즉, 주변소음은 완전한 랜덤 잡음의 성격은 아니지만 최소의



(a) 입사각 26도 신호의 공간 상관성  
 (a) Spatial coherence of signal measured at a grazing angle of 26 degree.



(b) 입사각 32도 신호의 공간 상관성  
 (b) Spatial coherence of signal measured at a grazing angle of 32 degree.

그림 14. 동해에서 관측한 해수면 잔향음의 공간 상관성의 시간 평균  
 Fig. 14. Spatial coherence averaged over time in the East Sea.

배열길이만으로도 주변소음을 억제시키는 배열 효과를 얻을 수 있다. 표적 신호의 배열이득 증가폭이 큰 배열길이는 4.5 ( $d/\lambda$ ) 까지이며, 배열길이가 4.5 ( $d/\lambda$ ) 보다 커져도 배열이득은 조금씩 증가할 것이다.

동해의 해수면 잔향음 신호의 공간 상관성은 해수면 입사각이 클수록 높고, 해수면 입사각이 26도와 32도일 때 상관성이 0.5 이상인 배열길이는 각각 3.0, 3.5 ( $d/\lambda$ ) 임을 알 수 있다. 즉, 빔출력에서 해수면 잔향음 신호를 억제시키기 위해서는 배열길이를 3.5 ( $d/\lambda$ ) 이상 유지해야함을 알 수 있다.

배열센서의 배치 형상과 배열성능의 평가기준이 되는 공간 상관성 파악을 위해서는 많은 관측이 이



루어져야 한다. 이번 결과는 남해와 동해에서 1회씩 실시한 해상 관측으로부터 분석되었으나 향후에 다양한 시공간 변동을 포함한 관측을 지속적으로 실시하여 일반화가 가능한 공간 상관성 파악이 필요하다.

### 참고문헌

1. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, Boston, pp. 51-94, 1991.
2. T. C. Yang, "Measurements of Spatial Coherence, Beamforming Gain and Diversity Gain for Underwater Acoustic Communications," *OCEANS*, 2005.
3. T. C. Yang, "Measurements of temporal coherence of sound transmissions through shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 120, no. 5, pp. 2595-2614, 2006.
4. P. Nielsen, M. Siderius, "Broadband acoustic signal variability in two typical shallow-water regions," *Impact of Littoral Environmental Variability on Acoustic Prediction and Sonar Performance*, Kluwer, pp. 237-244, 2002.
5. R. Headrick, J. Lynch, J. Kemp, A. Newhall, K. Heydt, J. Apel, M. Badiy, C. S. Chiu, S. Finette, M. Orr, B. Paswark, A. Turgot, S. Wolf, and D. Tielbuerger, "Acoustic normal mode fluctuation statistics in the 1995 SWARM internal wave scattering experiment," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 107, pp. 201-220, 2000.
6. J. S. Park, S. Kim, Y. N. Na, Y. G. Kim, T. Oh, and J. Na, "Measurement of Horizontal Coherence Using Line Array in Shallow Water," *J. Acoust. Soc. Kor.*, vol. 22, no. 2E, pp. 78-86, 2003.
7. W. Carey et al, "Mid-Frequency Measurements of Array Signal and Noise Characteristics," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 22, no. 3, pp. 548-565, 1997.
8. 박정수, 김형록, 나영남, 김영규, 최지웅, "중주파수 배열신호의 시간 상관성 측정," *한국음향학회 춘계 학술발표대회*, 2010.
9. 박정수, 김형록, 나영남, 김영규, 최지웅, "중주파수 해수면 후방산란의 공간 상관성 측정," *한국음향학회 춘계 학술발표대회*, 2011.

10. H. Kim, A Study on the internal waves off the East Coast of Korea, Doctoral dissertation, Seoul National University, 2001.
11. Y. Na, M. Jurng, and T. Shim, "Interference of Acoustic Signals Due to Internal Waves in Shallow Water," *J. Acoust. Soc. Kor.*, vol. 18, no. 3E, pp. 9-20, 1999.
12. Y. Na, Y. Kim, J. Park, E. Kim, J. Choi, "Considering of environmental factors affecting the detection of underwater acoustic signals in the continental regions of the East Coast Sea of Korea," *J. Acoust. Soc. Kor.*, vol. 20, no. 2E, pp. 30-45, 2001.
13. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound 3rd ed*, McGraw-Hill, New York, pp. 262-271, 1983.
14. R. P. Chapman, J. H. Harris, "Surface Backscattering strengths Measured with Explosive Sound Sources," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 34, no. 10E, pp. 1592, 1962.

### 저자 약력

#### ▶ 박 정 수 (Joung-Soo Park)



1988년: 한양대학교 지구해양학과 (학사)  
 1990년: 한양대학교 지구해양학과 (석사)  
 2006년: 한국해양대학교 해양개발공학과 (박사)  
 1990년 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원  
 <관심분야> 수중음향

#### ▶ 김 형 록 (Hyoung Rok Kim)



1989년: 서울대학교 해양학과 (학사)  
 1991년: 서울대학교 해양학과 (석사)  
 2001년: 서울대학교 지구환경과학부 (박사)  
 2002년 ~ 2004년: 미국 해군대학원(NPS) 연구원  
 2005년 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원  
 <관심분야> 해양환경예측, 해양내부파, 수중물체탐지, 수중음향환경, 음향 정보융합 등