

## 한국 천해 수온구조에서의 능동소나 성능 특성 연구

김원기<sup>\*,1)</sup> · 배호석<sup>1)</sup> · 손수욱<sup>1)</sup> · 한주영<sup>1)</sup> · 박정수<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 해양기술연구원

### A Study of Performance Characteristics for Active Sonar in Korean Shallow Seawater Temperature Structures

Won-Ki Kim<sup>\*,1)</sup> · Ho Seuk Bae<sup>1)</sup> · Su-Uk Son<sup>1)</sup> · Jooyeong Hahn<sup>1)</sup> · Joung-Soo Park<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Maritime Technology Research Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 28 April 2021 / Revised 22 June 2021 / Accepted 20 August 2021)

#### Abstract

It is obvious that understanding the effects of shallow water environment of Korea is very important to guarantee the optimal performance of active sonar such as monostatic and bistatic sonar. For this reason, in this paper, we analyzed the detection performance characteristics for various depth deployments of sonar in summer, winter and water temperature inversion environments, which environments are frequently observed in shallow water of Korea such as the Yellow sea. To analyze only effects of water temperature structures on target detection performance, we applied range independent conditions for bottom, sea surface and water temperature characteristics. To understand the characteristics of detection performance, we conducted transmission loss and signal excess modeling. From the results, we were able to confirm the characteristics of detection performance of active sonar. In addition, we verified that operation depth of transmitter and receiver affects the detection performance. Especially in the water temperature inversion environment, it was confirmed that the shadow zone could be minimized and the detection range could be increased through bistatic operation.

Key Words : Shallow Water(천해), Active Sonar(능동소나), Monostatic(단상태), Bistatic(양상태)

#### 1. 서론

수중에서 표적을 탐지하기 위해서는 음향기반의 소나(SONAR; SOUNd Navigation And Ranging)를 주로 이

용한다. 이러한 소나는 수온구조 등 해양환경에 영향을 받는 수중의 음파전달 특성에 의해 성능이 다르게 나타난다<sup>[1]</sup>. 소나는 표적의 방사소음을 이용하는 수동소나와 송신기를 이용하여 음파를 발생시키고 표적의 반향 신호를 수신기를 통해 획득하는 능동소나로 분류할 수 있다. 또한 능동소나는 송·수신기가 단일 소나에 함께 존재하는 단상태(monostatic) 소나와 송·수

\* Corresponding author, E-mail: konekee@add.re.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

신기가 분리되어 거리와 심도를 다르게 운용할 수 있는 양상태(bistatic) 소나로 분류할 수 있다<sup>[2]</sup>. 수심이 깊은 대양의 환경 특성을 가지고 있는 동해에서의 소나관련 연구는 다양하게 수행되어오고 있다. Kim et al. (2015)은 동해 난수성 소용돌이가 장거리 음파전달에 미치는 영향을 분석하였으며<sup>[3]</sup>, Kim and Choi (2020)은 난수성 소용돌이가 수상함 운용 소나의 탐지 성능에 미치는 영향을 분석하였다<sup>[4]</sup>. Lim et al. (2010)은 동해 수온구조에서의 선저부착형 소나 운용에 있어서 음영구역을 최소화하는 방안에 대한 연구를 진행하였다<sup>[5]</sup>. Son et al. (2019)은 양상태 운용에 있어 음원의 위치에 따른 영향을 분석하여 최적 음원 위치를 찾는 연구를 진행했지만<sup>[6]</sup>, 함정이나 잠수함 등에서 운용하는 소나와는 개념이 다르다. 최근에는 능동소나의 성능에 큰 영향을 주는 잔향음에 대한 연구도 일부 진행되었다. 특히, Jung et al. (2010)은 동해에서의 소나 심도에 따른 해저면 잔향음에 대해 통계적 분석을 수행하였다<sup>[7]</sup>. 외국의 경우 다양한 해양환경에서의 잔향음 연구가 진행되고 있다<sup>[8,9]</sup>.

황해와 같은 국내 천해환경은 동해에 비해 수심이 매우 낮고, 수온구조 등 해양환경이 동해와는 다르다. 따라서 소나의 성능 특성도 매우 다를 것으로 판단된다. 하지만, 국내 천해에서의 소나운용에 대한 연구는 동해의 경우와 비교해 많지 않으며, 특히 능동소나의 탐지성능에 대한 연구는 매우 부족한 실정이며, 주로 수중통신 및 잔향음 등에 관한 연구가 진행되었다. Son et al. (2015)은 황해에서 후방 산란강도 측정 연구를 수행하였지만, 이 또한 단상태 소나만을 대상으로 하였다<sup>[10]</sup>. Kim et al. (2016)은 황해와 남해에서의 수중통신과 관련한 해상실험과 반송주파수에 따른 상관대역폭 분석을 수행하였다<sup>[11]</sup>. 능동소나 탐지성능과 관련된 연구로는 Kim et al. (2015)의 음원 심도에 따른 수온역전층의 영향을 관측 자료를 이용한 연구가 있으며<sup>[12]</sup>, Oh et al. (2019)은 수온역전층이 선저부착형 능동소나의 탐지성능에 미치는 영향을 분석한 연구가 있다<sup>[13]</sup>.

황해와 같은 한국천해에서의 능동소나 음탐성능은 경계면(해수면, 해저면) 특성과 잔향음 및 음속구조에 큰 영향을 받는다<sup>[14]</sup>. 그러나 이러한 분석은 동해에 비해 연구가 활발히 이루어지지 못했다. 특히 황해의 계절 별 수온구조에 대한 영향 분석이 충분하지 못하고, 이와 관련한 양상태소나의 음탐특성 분석 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 특히 시공간적 변화에

대한 분석뿐만 아니라 천해환경에 따른 양상태 소나에 대한 연구가 매우 절실한 상황이다. 본 연구에서는 한국 천해환경에서의 수온특성에 따른 능동소나 성능을 분석하기 위해 자주 관측되는 수온구조를 고려한 소나 성능분석을 수행하였다. 여름 및 겨울의 수온구조는 국방과학연구소에서 보유하고 있는 해양환경 DB의 8월과 2월의 대표적인 수온구조를 활용하였으며, 수온역전구조는 황해에서 투하식 수심 수온 기록계(XBT; Expandable Bathy Thermograph)를 통해 2015년 5월에 관측한 자료를 이용하였다. 각 환경에 따른 음파전달 특성을 파악하기 위해 음선 모델링 기반 전달 손실 분석과 음원과 수신기 심도에 따른 단상태 및 양상태 능동소나의 탐지성능 특성을 파악하기 위해 잔향음 및 신호초과 모델링 분석을 수행하였다. 수온구조에 따른 탐지성능 분석을 효과적으로 수행하기 위해 수심이 일정하고, 거리에 따른 환경변화가 없는 거리 독립환경을 가정하였다.

## 2. 음파전달 특성

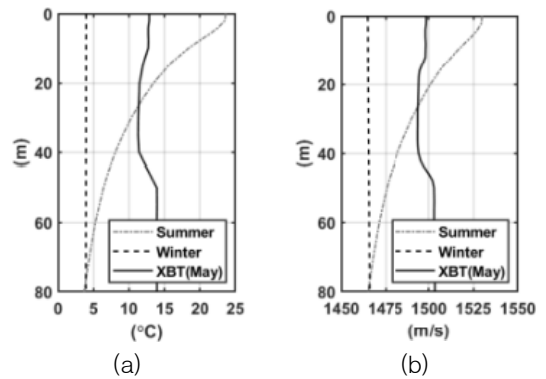


Fig. 1. (a) Temperature and (b) sound speed profiles for summer(dotted gray), winter(dotted black), and temperature inversion(solid black)

우리나라의 천해는 수심이 깊지 않고 시공간적으로 변화가 큰 것이 특징으로<sup>[15]</sup> 음파전달 특성을 복잡하게 하는 요인이 된다. Fig. 1은 이번 연구에 활용한 심도 별 수온 및 음속으로 여름 및 겨울은 국방과학연구소에서 보유하고 있는 해양환경 DB의 8월 15일과 2월 15일 황해자료이고, XBT 자료는 2015년 5월 황해에서 관측한 값이다. 겨울에는 약 4 °C의 등수

온 구조를 보이고 있다. 그러나 여름에는 약 24 °C 에서 약 4 °C 까지 수심이 깊어짐에 따라 음의 기울기를 갖는 수온구조를 보인다. 이러한 수온구조는 국내 천해에서 여름에 많이 관측되는 계절적 특성이다<sup>[16]</sup>. 5 월 XBT 관측 자료에는 수온에 따른 3개의 층으로 뚜렷이 구분된다. 심도 약 15 m 까지 첫 번째 층과, 약 15 m ~ 50 m 에 수온이 가장 낮은 두 번째 층이 존재하고 50 m 이후에 다시 수온이 높은 세 번째 층이 존재한다. 일반적으로 수온은 수심이 깊어짐에 따라 낮아지지만, XBT 자료와 같이 수온이 깊은 심도에서 다시 증가하는 수온역전현상(TI; Temperature Inversion)은 해류의 영향 등 다양한 원인에 의해 발생하며<sup>[17]</sup>, 국내에서 연중 수시로 관측되고 있다<sup>[18,19]</sup>. Fig. 1(b)의 음속구조에서도 수온의 영향으로 유사한 구조를 보이고 있다<sup>[20]</sup>.

Fig. 1과 같은 해양환경에서의 음파전달 특성을 파악하기 위해 음선기반<sup>[21]</sup> 전달손실 모델링을 수행하여 분석하였다. 수온구조 의한 음향환경 특성만을 분석하기 위해 수심 80 m 의 거리독립 환경을 가정하였다. 거리는 보안문제로 인해 최대 모델링 거리를 기준으로 정규화하여 나타내었다. 주파수는 개발 중인 소나를 고려하였으며, 해수면과 해저면 특성은 황해를 고려하여 Table 1과 같이 설정하였다. 모델링에서 해수면의 영향은 고려된 해상상태에 대한 풍속과 파고로 변환되어 적용되었고<sup>[22,23]</sup>, 해저면 특성은 해당 저질의 입자크기를 바탕으로 퇴적물의 밀도, 감쇠계수, 음속으로 변환되어 모델링에 적용되었다<sup>[24,25]</sup>.

Table 1. Modeling parameters

frequency	Bottom type	Sea states
0.0 kHz	Silty sand	2

Fig. 2는 Fig. 1의 여름 수온구조에 대한 전달손실 모델링 결과로서 음원 심도에 따른 음파전달 특성의 변화가 뚜렷이 확인된다. 음원 심도가 5 m 일 경우에는 강한 하향 굴절과 해수면/해저면 반사가 뚜렷이 확인되고, 음원 심도가 60 m 일 경우에는 음파가 수온이 높은 해수면까지 도달하지 못하고 해저면을 따라 전파된다. 따라서 Fig. 2(b)와 같이 여름환경에서 음원의 심도가 깊으면 해수면으로 음파가 잘 전파되지 않아 얕은 층에 음영구역이 발생하여 표적탐지에 불리하지만, 깊은 심도의 표적탐지에는 유리하다.

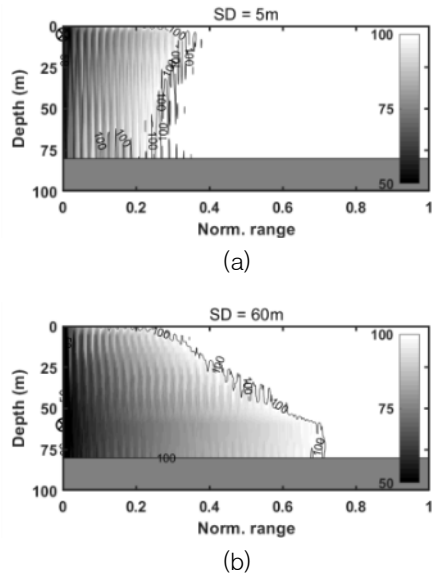


Fig. 2. The transmission loss sections for summer. Source is located in depth of (a) 5 m and (b) 60 m, respectively

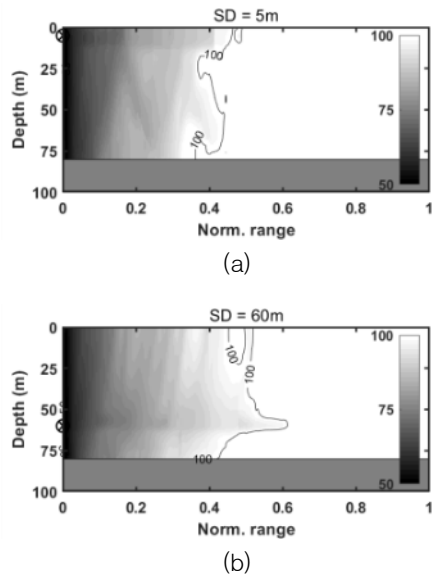


Fig. 3. The transmission loss sections for winter. Source is located in depth of (a) 5 m and (b) 60 m, respectively

겨울환경에서는 심도 변화에 따른 수온변화가 적기 때문에 음원의 심도에 따른 음파전달 특성 변화는 매

우 작으며, 음파가 수층 전체에 잘 전파하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 3). 이러한 특성은 여름의 음파전달 특성과는 뚜렷이 구분된다.

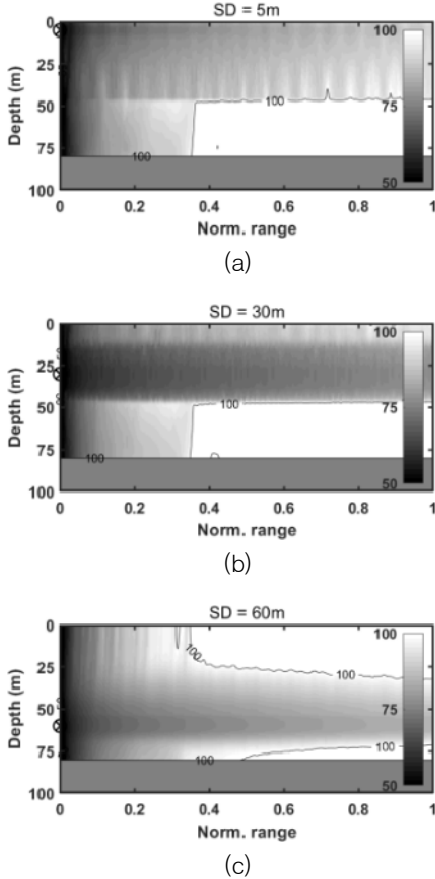


Fig. 4. The transmission loss sections for temperature inversion. Source is located in depth of (a) 5 m, (b) 30 m and (c) 60 m, respectively

Fig. 4는 수온역전환경에 대한 전달손실 특성이다. 수온구조에서 뚜렷이 확인되는 3개의 수층 영향으로 도파관이 잘 발생하여 음원 심도에 따른 음파전달 특성이 달라지는 것이 확인된다. 음원이 심도 5 m에 존재할 경우에는 심도 약 50 m 까지 음파가 잘 전달되어 전달손실이 작다. Fig. 4(b)의 음원의 심도가 30 m 인 경우에는 음파가 두 번째 층을 따라 주로 전파한다. 음원 심도가 60 m 일 경우에는 음원과 가까운 거리에서는 전 층 전파가 일부 일어나지만, 주로 음원 심도를 따라 전파하는 특성을 보인다(Fig. 4c).

음원의 심도에 따른 음파의 전달특성은 등 수온구조를 갖는 겨울을 제외하고 수온이 심도에 따라 급격히 변화는 여름과 수온역전환경에서는 음원 심도에 따라 음파전달 특성이 크게 달라지고, 음영구역의 발달 특성도 달라진다.

### 3. 능동소나 탐지성능 특성

동일한 위치에 송신기와 수신기가 존재하는 단상태의 경우에는 단일 심도에 대한 음파전달 특성이 반영될 것이다. 그러나 송신기와 수신기의 위치가 다른 양상태의 경우에는 두 개 심도에 대한 음파전달 특성이 복합적으로 영향을 주기 때문에 탐지성능 분석이 어려울 수 있다. 본 논문에서는 송·수신기 심도에 따른 능동소나의 탐지성능 특성을 분석하기 위해 신호초과 모델링을 수행하였다. 능동소나의 신호초과는 능동 소나방정식을 통해 계산할 수 있다(식 1).

$$SE = SL - TL_1 - TL_2 + TS - [NL(RL) - DI + DT] \quad (1)$$

여기서  $SE$ 는 신호초과,  $SL$ 은 음원준위,  $DI$ 와  $DT$ 는 지향지수와 탐지문턱,  $NL(RL)$ 은 소음준위(잔향음준위)이며,  $TL$ 은 전달손실을 의미한다. 음원과 수신기가 같은 위치일 경우  $TL_1$ 과  $TL_2$ 는 같다. Fig. 1의 해양환경에서의 능동소나 탐지성능 특성을 분석하기 위해 식 (1)을 이용하여 송·수신기 심도에 따른 신호초과 모델링을 수행하였다. 전달손실은 음파전달 특성분석과 같은 방법으로 계산하였다. 송신기로부터 방사된 음파가 해수면, 해저면, 수층 체적 등의 다양한 경로를 거쳐 수신되는 음파의 시간에 따른 총합을 통해 계산할 수 있는 잔향음은 탐지성능에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 송신기에서 경계면까지의 전달손실, 경계면에서 수신기까지의 전달손실, 경계면에서의 반사 및 양상태 산란을 고려할 수 있는 음선 기반의 양상태 잔향음 모델을 적용하였다<sup>[20]</sup>.  $SL$ ,  $DI$  및  $DT$  등 소나성능과 관련된 변수들은 현재 개발 중인 소나들의 값들을 참조하였으며, 주변소음은 황해에서의 관측 값을 참고하여 적용하였다.

천해에서 잔향음은 탐지성능에 큰 영향을 주며, 음파전달 특성과 마찬가지로 수온구조, 해저면 및 해수면 특성 등에 영향을 받는다. 본 연구에서는 거리독립 환경에서 수온구조와 소나심도에 따른 잔향음 특성을

분석하였다. Fig. 5는 수온구조별 소나 심도에 따른 정규화된 잔향음 준위 변화를 나타낸 그래프이다. 계산된 잔향음 값은 동일한 값으로 정규화하였고, 시간도 정규화하여 상대적인 비교만을 수행하고자 하였다. Fig. 5(a)의 여름의 경우로 시간 20에서 송·수신기의 심도가 60 m 일 경우, 잔향음이 약 1.5를 보이지만, 심도가 5 m로 감소하면, 1이하의 값을 보인다. 이것은 소나심도가 깊으면 해저면 도파관의 효과로 잔향음도 긴 시간동안 형성되는 것으로 판단된다. 소나심도가 얇으면 잔향음이 크게 발달하지 않는 것을 알 수 있다.

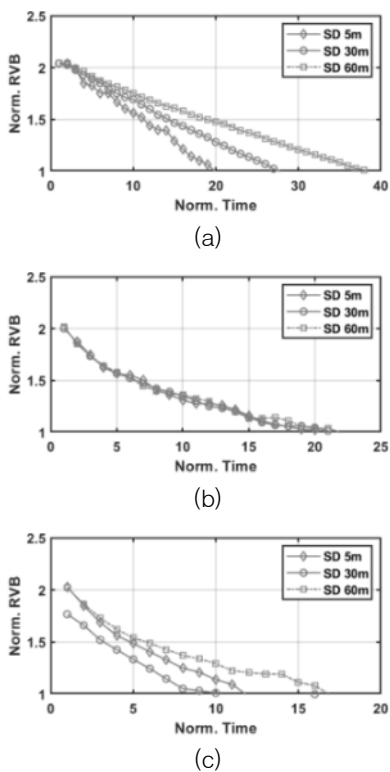


Fig. 5. The Normalized reverberations values for (a) summer, (b) winter and (c) temperature inversion environments. SD represents sonar depth

Fig. 5(b)의 겨울에는 심도에 따른 수온변화가 적어진 층에 음파가 전달되는 특성으로 인해 잔향음 또한 송·수신기 심도 영향이 크지 않다. Fig. 5(c)의 수온역전환경의 경우에는 송·수신기가 5 m, 30 m 심도에 위치한 경우가 60 m 심도에 비해 잔향음이 비교적 짧은

거리에서 약해지는 것을 볼 수 있다. 이는 송·수신기 심도 5 m 및 30 m 에서는 심도 60 m 에 비해 해저면에 의한 영향을 적게 받는 것으로 판단된다.

보다 직관적인 탐지성능 분석을 위해 수온구조에 따른 음파전달 특성과 잔향음 특성을 반영하여 신호초과 모델링을 수행하였다. 거리와 신호초과 값은 특정 값을 기준으로 정규화를 적용하였다. 해저면 특성 및 해수면 특성은 Table 1과 같다.

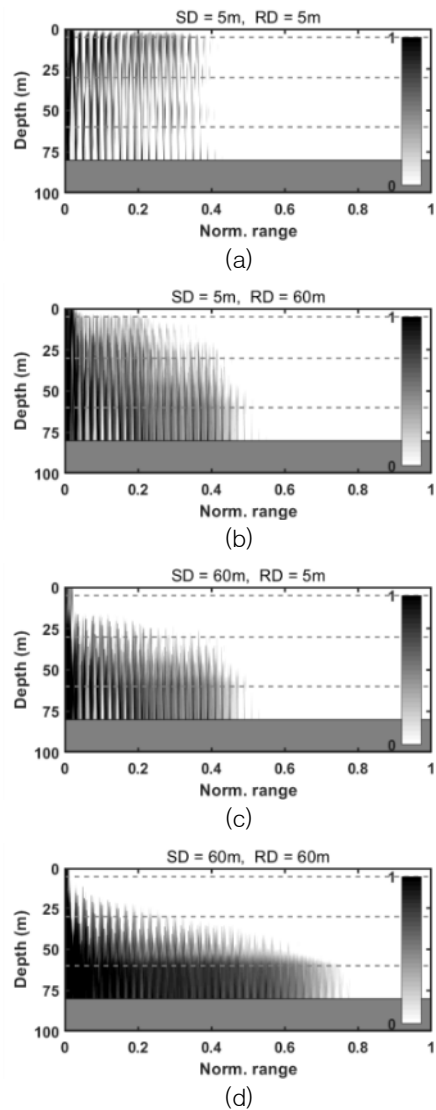


Fig. 6. The signal excess sections for summer environment. SD and RD represent source and receiver depth, respectively

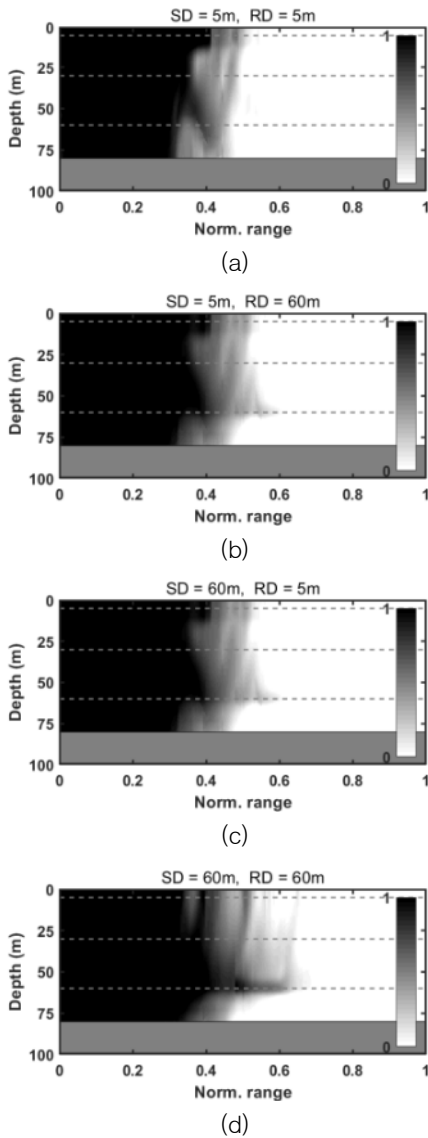


Fig. 7. The signal excess sections for winter environment. SD and RD represent source and receiver depth, respectively

Fig. 6은 여름환경에 대한 신호초과 모델링 결과로서 흰색은 0 미만을 나타내고, 검은색으로 갈수록 신호초과 값이 큰 것을 의미한다. 송신기와 수신기의 심도가 5 m로 같으면, 음영구역이 뚜렷하게 발생하지 않지만, 수온구조에 따른 강한 하향굴절로 인해 경계면 반사 증가로 인한 손실이 증가해 탐지거리가 상대적으로 짧다. 송·수신기 심도가 60 m로 깊으면, 신호

초과는 해저면을 따라 발생하고 해수면 부근에는 음영구역이 발생한다. 또한 해수면 반사가 줄어들어 손실이 감소하여 탐지거리는 증가한다. Fig. 6(b)와 6(c)의 송신기와 수신기 심도가 다른 경우에는 두 심도에 대한 음파전달 특성이 복합적으로 작용한 것으로 보인다. 또한, 송신기의 심도가 5 m인 경우에 상대적으로 신호초과가 해수면 가까이까지 발생하는 것으로 보아 정성적이지만 송신기의 심도 영향이 수신기의 심도 영향보다 큰 것으로 판단된다.

Fig. 7은 겨울환경의 신호초과 모델링 결과이다. 등수온구조의 특성으로 인해 송·수신기의 심도에 따른 탐지거리 변화는 적다. 따라서 겨울에는 소나 운용심도 변경에 따른 탐지성능 향상은 어려울 것으로 판단된다.

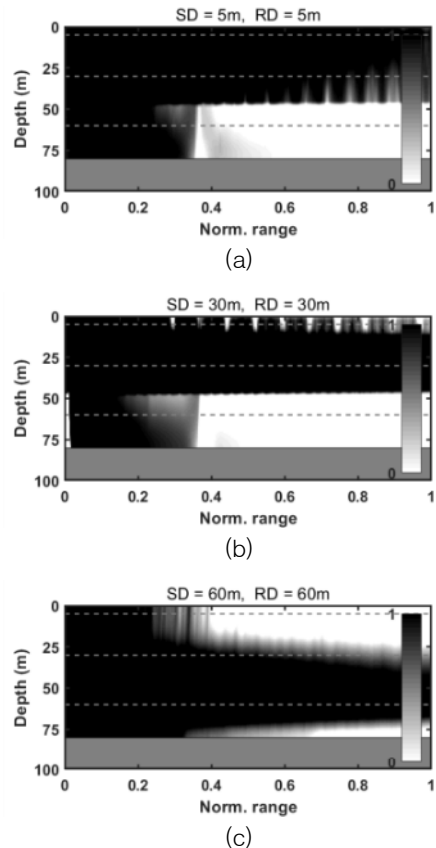


Fig. 8. The signal excess sections for temperature inversion environment in case of monostatic operation. SD and RD represent source and receiver depth, respectively

Fig. 8과 9는 수온역전환경에서의 신호초과 모델링 결과로 각각 송·수신기 심도가 같은 단상태와 송·수신기 심도가 다른 경우인 양상태 소나에 대한 신호초과 모델링 결과이다. 단상태 소나의 경우 음파가 해당 심도에 형성된 도파관을 따라 주로 전파되어 해당심도에 신호초과가 크게 발생한다(Fig. 8). 가까운 거리에서는 일부 음파가 전 층에 전파하여 신호초과가 발생하지만 반사손실로 인해 그 거리는 짧다.

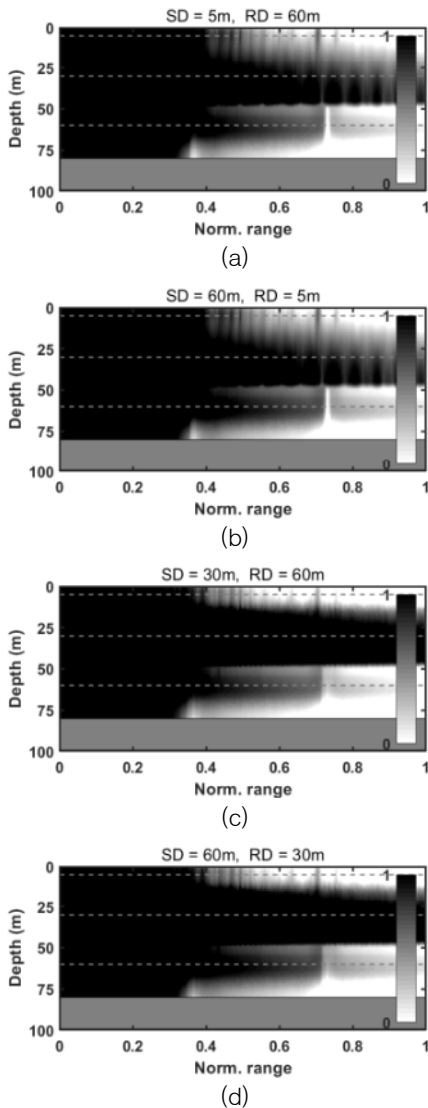
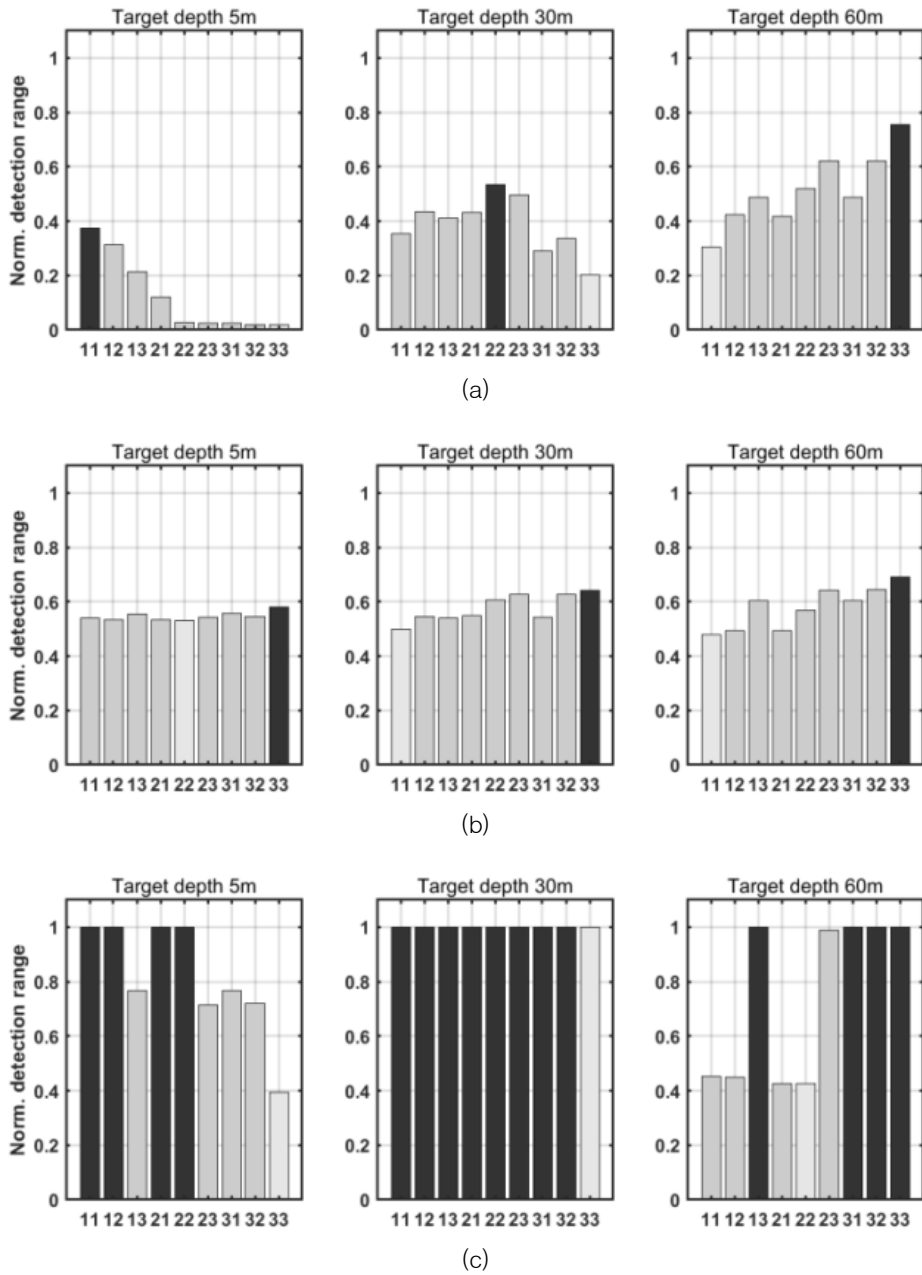


Fig. 9. The signal excess sections for temperature inversion environment in case of bistatic operation

일정거리 이상에서는 소나 심도 외에 음영구역이 뚜렷하게 발생하여 해당심도에 위치한 표적탐지에 불리하다. 이러한 탐지특성은 Fig. 4의 음원심도 별 음파전달특성과 일치한다. 송·수신기의 심도가 다른 양상태의 경우인 Fig. 9를 보면, 단상태의 경우와는 달리 음영구역이 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 또한 단상태에 비해 음영구역이 감소하고 다양한 심도의 표적에 대해 긴 탐지거리를 보인다. 따라서 수온역전환경에서는 양상태 운용이 탐지거리를 증가시킬 수 있다.

Fig. 10은 여름, 겨울 및 수온역전환경에서의 표적심도 별 탐지거리를 비교한 그래프이다. 세로축은 정규화된 탐지거리를 나타내고, 가로축은 송·수신기 심도를 1 ~ 3까지의 숫자로 대체해 표현하였다. 숫자 1은 5 m, 2는 30 m, 그리고 3은 60 m 를 나타낸다. 예를 들면, 11은 송·수신기의 심도가 5 m 이고, 23은 송·수신기의 심도가 각각 30 m 와 60 m 를 의미한다. 그래프에서 가장 어두운 색은 탐지거리가 가장 긴 송·수신기 심도 조합을 나타내고, 가장 밝은 색의 그래프는 탐지거리가 가장 짧은 심도 조합을 나타낸다. 결과를 보면, Fig 10(a)의 여름에 표적심도가 5 m 인 경우에는 탐지거리가 모든 심도조합에서 매우 짧다. 표적심도가 30 m 로 깊어지면, 탐지거리가 다소 증가하고, 표적심도가 60 m 로 깊어지면 탐지거리가 길어진다. 이러한 탐지거리 변화 특성은 음파전달특성과 잘 부합한다. 여름의 표적심도 별 탐지거리가 가장 긴 경우는 단상태 경우(11, 22, 33)로 표적심도가 유사한 심도의 단상태가 유리한 것으로 판단된다. Fig. 10(b)의 겨울의 경우에는 등 수온구조의 영향으로 대부분의 경우가 탐지거리가 유사한 것을 알 수 있다. 심지어 어두운 색으로 표시된 탐지거리가 가장 긴 경우와 밝은 회색으로 표시된 탐지거리가 가장 짧은 경우의 차이가 크지 않다. 다만 표적심도가 깊고 얇은 송·수신기 심도일 경우에는 탐지거리가 다소 감소함을 알 수 있다. Fig. 10(c)의 수온역전환경의 경우에는 송·수신기 심도에 따른 도파관 영향으로 인해 표적심도에 따라 탐지거리 변화가 뚜렷한 것을 알 수 있다. 표적심도가 5 m 일 경우에는 송·수신기 심도가 5 m 와 30 m 로 구성된 조합에서 탐지거리가 가장 긴 것을 알 수 있다. 그러나 송·수신기 중 하나라도 심도가 60 m 인 경우에는 탐지거리가 감소함을 알 수 있다. 특히, 33으로 표시된 송·수신기 심도가 각각 60 m 인 경우에는 탐지거리가 매우 짧아지는 것을 알 수 있다. 표적심도가 30 m 인 경우에는 대부분의 송·수신기 심도



1 = 5 m, 2 = 30 m, 3 = 60 m  
 ex) 11 = source depth 5 m, receiver depth 5 m

Fig. 10. The normalized detection range for (a) summer, (b) winter, and (c) temperature inversion environments. Dark gray bars indicate maximum detection range cases, and light gray bars indicate minimum detection range cases



조합에서 탐지거리가 매우 우수한 것을 알 수 있다. 심도가 60 m 인 33으로 표시한 송·수신기 조합에서도 탐지거리가 가장 짧은 것으로 분석되지만, 그 차이는 크지 않다. 표적심도가 60 m 인 경우에는 송·수신기 중 하나라도 60 m 에 존재할 경우 탐지거리가 우수한 것으로 분석되며, 그렇지 않은 경우에는 탐지거리가 감소함을 알 수 있다. 송·수신기의 심도가 5 m 와 60 m 인 13의 경우에 다양한 심도의 표적에 대해 우수한 탐지거리를 보이고 있다. 따라서 수온역전환경에서 탐지거리를 측면의 탐지성능을 향상시키기 위해서는 양상태 소나 운용이 효과적임을 알 수 있다.

#### 4. 결론

황해와 같이 수심이 깊지 않은 국내 천해의 대표적인 수온구조에서의 능동소나 성능 특성 분석은 동해와는 달리 많은 연구가 진행되지 않았다. 본 논문에서는 천해환경에서의 능동소나 운용심도에 따른 탐지성능을 분석하기 위해 국내 천해에서 자주 관측되는 여름, 겨울 및 수온역전환경에 대해 잔향음 및 탐지거리 분석을 수행하였다. 잔향음 분석 결과를 정리하면, 여름에는 송·수신기 심도가 증가하면 해저면 도파관 영향으로 인해 잔향음이 강하게 발달하는 것을 알 수 있으며, 등 수온구조를 갖는 겨울의 경우에는 소나 운용심도에 따른 잔향음 변화는 크지 않는 것으로 확인되었다. 수온역전환경에서는 소나 운용심도가 해저면에 가까워질수록 잔향음이 강하게 발달하는 것을 알 수 있다. 탐지거리 분석결과를 정리하면, 여름환경에서는 얕은 심도의 표적에 대해서는 탐지거리가 짧아지고, 깊은 심도의 표적은 소나 운용심도를 깊게 하면 탐지거리가 증가한다. 겨울환경에서는 수온구조의 변화가 적어 소나 운용심도에 따른 탐지거리 변화가 적고, 다양한 심도의 표적에 대해 유사한 탐지거리를 보인다. 수온역전환경에서는 얕은 심도의 표적은 낮은 소나 운용심도에서, 깊은 심도의 표적은 깊은 소나 운용심도에서 탐지거리가 증가한다. 또한 송·수신기 심도를 다르게 운용하면 다양한 심도의 표적에 대해 탐지거리 측면에서 우수한 탐지성능을 보인다. 이러한 양상태 운용에 따른 탐지특성은 여름과 겨울보다 수온역전환경에서 잘 나타난다.

본 논문의 연구결과는 등 수심과 거리에 따라 동일한 수온구조로 가정하고 임의의 소나 운용심도에 대

한 분석을 수행하였다. 또한 송·수신기 심도가 다른 양상태 조건만을 고려하였다. 따라서 향후에는 본 연구결과를 바탕으로 국내 천해환경의 시공간적 변동성과 실제 천해에서의 소나 운용조건을 고려한 거리·심도 양상태 소나 운용을 포함한 능동소나 잔향음 및 탐지성능 분석 관련 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

#### References

- [1] S. Lim, J. Yun, Y. Kim, and S. Nam, "Variability of Underwater Sound Propagation in the Northern Part of the East Sea," Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 52-61, 2007.
- [2] D. Lee, J. Nam, T. Jung and K. Lee, "Source Information Estimation Using Enemy's Single-Ping and Underwater Geographic Information in Non-Cooperative Bistatic Sonar," Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 13, No. 2, pp. 196-203, 2010.
- [3] W. Kim, C. Cho, J. Park, J. Hahan and Y. Na "Effects of Warm Eddy on Long-range Sound Propagation in the East Sea," The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 34, No. 6, pp. 455-462, 2015.
- [4] H. Kim and J. Choi, "A Study on the Detection Performances of the Integrated Sonar System Operated by Surface Vessel in the Mesoscale Eddy in the Southwestern East Sea," Journal of the Korea Society for Naval Science & Technology, Vol. 3, No. 1, pp. 20-45, 2020.
- [5] S. Lim, Y. Han and C. Jang, "Minimization of Shadow Zone for Hull Mounted Sonar," Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 13, No. 2, pp. 211-217, 2010.
- [6] S. Son, D. Jung, S. Cho, J. Kim and J. Park, "A Simulation Study of Sensor Deployment under Various Environment Conditions for Effective Operation of Bistatic Active Sonar," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 377-377, 2019.
- [7] Y. Jung, K. Lee, W. Seong and S. Kim, "Ocean

- Bottom Reverberation and its Statistical Characteristics in the East Sea,” The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 38, No. 1, pp. 82-95, 2019.
- [8] D. D. Ellis, J. Yang, J. R. Preston and S. Pecknold, “A Normal Mode Reverberation and Target Echo Model to Interpret Towed Array Data in the Target and Reverberation Experiments,” IEEE J. Ocean Eng., Vol. 42, No. 2, pp. 344-361, 2017.
- [9] J. R. Preston, “Reverberation at the Mid-Atlantic Ridge During the 1993 ARSRP Experiment Seen by R/V Alliance from 200-1400 Hz and Some Modeling Inferences,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 107, No. 1, pp. 237-259, 2000.
- [10] W. Son, S. Son, J. W. Choi, S. Cho and S. Jung, “Measurements of Monostatic Bottom Backscattering Strengths in Shallow Water of the Yellow SEa,” The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 34, No. 6, pp. 444-454, 2015.
- [11] M. Kim, K. Kim, S. Jin, T. Im, S. Kim and H. Ko, “Underwater Channel Environment Analysis in West Coast and South Coast by Carrier Frequency,” Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences 2016 Proceedings, pp. 1220-1221, 2016.
- [12] W. Kim, J. Park, J. Hahn, and Y. NA, “Temperature Inversion Effects of Sea Water on Sound Propagation in the Northern East China Sea,” JASK Annual Conference Proceedings, pp. 41-41, 2015.
- [13] R. Oh, Y. Kim, H. Kim, J. W. Choi and W. Kim, “Analysis of Detection Performance of Hull Mounted Sonar in Sound-Speed Inversion Layer in the Yellow Sea,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 345-345, 2019.
- [14] S. Kim, S. You, J. Choi, D. Kang, J. Park and D. Lee, “Target Signal Simulation in Synthetic Underwater Environment for Performance Analysis of Monostatic Active Sonar,” The Journal of the Acoustical Society of Korea, Vol. 32, No. 6, pp. 455-471, 2013.
- [15] J. H. Kim, T. H. Bok, J. H. Bae, D. K. Paeng, C. H. Lee and S. I. Kim, “Communication Performance Analysis According to Seasons in West Sea,” Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea-Telecommunications, Vol. 48, No. 1, pp. 9-15, 2011.
- [16] H. Ichikawa and R. Beardsley “The Current System in the Yellow and East China Seas,” Journal of Oceanography, Vol. 58, pp. 77-92, 2002.
- [17] C. Lee and D. Koo, “Effects of Water Temperature Inversion on the Stratification Variation in October and December in the South Sea of Korea,” Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 15, No. 3, pp.165-171, 2009.
- [18] H. Kim, H. Yoon and S. Yang, “Inversion Phenomena of Temperature in the Yellow Sea,” Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, Vol. 18, No. 2, pp. 91-96, 1982.
- [19] H. Kim and S. Yug, “Inversion Phenomena of Temperature in the Southern Sea of Korea,” Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, Vol. 16, No. 2, pp. 111-116, 1983.
- [20] R. J. Urick, “Principles of Underwater Sound 3rd Edition,” McGraw-Hill Book Company, New York, 1983.
- [21] H. Weinberg and R. E. Keenan, “Gaussian Ray Bundles for Modeling High-Frequency Propagation Loss under Shallow-Water Conditions,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 100, No. 3, pp. 1421-1431, 1996.
- [22] R. Coates, “An Empirical Formula for Computing the Beckmann-Spizzichino Surface Reflection Loss Coefficient,” IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, Vol. 50, No. 4, pp. 522-523, 1988.
- [23] F. Jensen, W. Kuperman, M. Poter and H. Schmidt, “Computational Ocean Acoustics,” New York, 1993.
- [24] R. P. Chapman and J. H. Harris, “Surface Backscattering Strengths Measured with Explosive Sound Sources,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 34, No. 10, pp. 1592-1591, 1962.
- [25] K. V. Mackenzie, “Bottom Reverberation for 530- and 1030- cps Sound in Deep Water,” J. Acoust. Soc. Am., Vol. 33, No. 11, pp. 1498-1504, 1961.
- [26] H. Weinberg, “CASS Roots,” in Proc. MTS/IEEE OCEANS Conf., Vol. 2, pp. 1071-1076, 2000.