

# HMS(Hull Mounted Sonar) Vertical Scanning 기법을 이용한 근거리 음영구역 최소화

한윤후\*, 임세한\*, 오임상\*, 김성일\*\*, 나정열\*\*\*

\*서울대학교 지구환경과학부, \*\*국방과학연구소, \*\*\*한양대학교 지구해양과학과

## Minimization of short range shadow zone using HMS vertical scanning method

Yunhoo Han\*, Sehan Lim\*, Imsang Oh\*, Seongil Kim\*\*, Jungyul Na\*\*\*

\*School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National university(winghyh@hotmail.com)

\*\*Agency for Defense Development

\*\*\*Dept.of Earth & Marine Sciences, Hanyang University

### 요약

HMS(Hull Mounted Sonar) 운용 시 수중음속구조의 영향에 의한 음파가 경계면(해저면, 해수면)의 반사를 통해서 근거리 음영구역(short range shadow zone)을 발생시킨다(그림 1). 따라서 본 논문에서는 다양한 수중음파탐지 무기체계 가운데 특히 단상태(monostatic) 조건일 때 HMS에 의해 발생하는 근거리 음영구역을 최소화하는 방안을 연구하였다. 즉, 2차원 수중공간(수심-거리)에서 빔형성기법 (beamforming)을 이용한 HMS Vertical Scanning (HMS Verscan) 기법을 제안하여 수치실험을 수행하였다.

수치실험을 위해 HMS 운용환경에 근접한 고주파 음선모델(BELLHOP)과 잔향음 모델(HYREV)을 이용하였다. 그 결과 HMS Verscan 기법은 수평방향의 음파방사에 의해 주로 발생하는 근거리 음영구역으로 해저반사를 통하여 음파를 전달시켰고, 근거리 음영구역에 숨어있는 표적의 탐지가능성을 높였다. 또한 실제 산란환경을 고려한 수치실험 결과에서도 부분적으로 표적이 탐지가 됨으로써 HMS Verscan 기법의 근거리 음영구역의 감소효과를 확인하였다.

### 1. 서론

대잠세력으로부터 잠수함의 최소 탐지확률을 유지하는 최적수심을 'Best depth'라 하고, 통상 음향층심도 하부 약 60m의 음영구역 내에 존재하는 수심을 가리킨다[1]. 이것은 기존 HMS 시스템의 취약점이기도 하다. 즉, 단상태(monostatic) 환경에서 HMS는

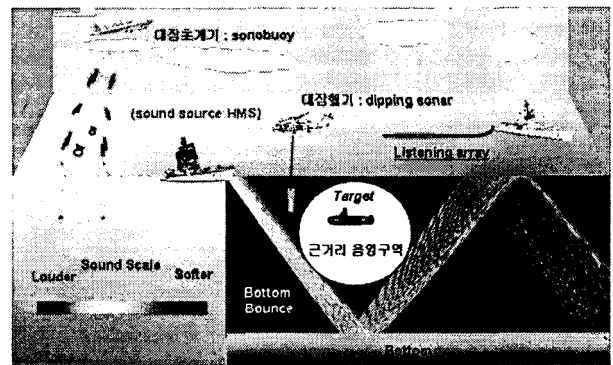


그림 1. Description of short range shadow zone by HMS

음원수심이 얇게 고정되고 수평방향으로만 음파를 방사할 수 있기 때문에 실제 해양에서 음파의 하향 굴절로 근거리 음영구역을 발생시키는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 근거리 음영구역을 최소화 하기 위해 2차원 공간에서의 빔형성기법을 이용한 HMS Verscan 운용 개념을 제안한다. 수치실험을 위해 고주파 음선모델인 BELLHOP과 산란모델인 HYREV를 이용하여 실제 HMS와 유사한 환경에서 HMS Verscan 기법에 의한 근거리 음영구역의 감소효과를 분석하고자 한다.

### 2. HMS Vertical Scanning 개념

독립적인 각각의 트랜스듀서로 이루어진 어레이(Array)에 대해서, 원하는 방향으로 빔(main lobe)을 조향하기 위해서는 각각의 트랜스듀서들의 적당한 위상 혹은 시간 차를 설정한다. 이것을 빔형성기법이라

하고 음파의 송수신 모두에 적용된다[2]. 본 논문에서는 HMS를 선형어레이로 가정했다(그림 2). 어레이의 모든 트랜스듀서들에서 나오는 신호는 처음 기준각인  $\theta$  방향으로 일정한 진폭을 가지는 sine 파(sine wave)의 형태이다. 각 트랜스듀서들의 위상 차를 설정하게 되면 결과적인 신호 값은 다음과 같다.

$$S(\theta_0, t) = \sum_{n=-k}^{+k} s_n(t) \exp(2j\pi n \frac{d}{\lambda} \sin \theta_0)$$

$$= \sum_{n=-k}^{+k} \exp(j(\omega t - 2\pi n \frac{d}{\lambda} \sin \theta)) \exp(jn \frac{d}{\lambda} \sin \theta_0) \quad (1)$$

식(1)은 시간 의존항의 제거와 수학적 전개를 거쳐 계 되면 어레이의 지향성 패턴(directivity pattern)을 식(2)와 같이 나타낸다.

$$D(\theta) \approx \left| \frac{\sin A}{A} \right|^2 \approx \left| \frac{\sin \pi \frac{L_0}{\lambda} \sin \nu}{\pi \frac{L_0}{\lambda} \sin \nu} \right|^2 \quad (2)$$

where,  $A = \pi \frac{L}{\lambda} (\sin \theta - \sin \theta_0)$   
 $L_0 = L \cos \theta_0$

- L : 선형어레이의 길이
- N : 트랜스듀서의 개수  $N = 2k + 1$
- d : 트랜스듀서간의 거리

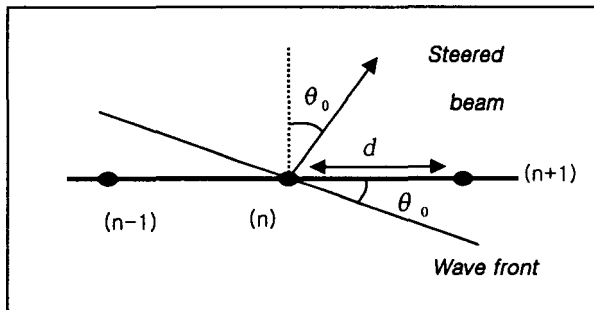


그림 2. Beamforming with a linear array : geometry and notation(Lurton, 2002).

결국 각 트랜스듀서들로 이루어진 선형어레이에서 형성된 빔의 지향성 패턴은  $\theta_0$  의 방향으로 빔조향을 의미한다. 그림 3은 선형어레이를 주파수 10kHz로 설정하고 기준각인  $\theta = 0^\circ$ 에서  $\theta_0 = 20^\circ$ 으로 빔조향 시 지향성 패턴을 보여준다. 본 논문에서 제안하는 HMS Verscan 개념은 빔형성기법을 수직으로 적용하여 HMS로부터 해저면 방향으로 연속적인 ping을 일정한 빔조향각에 따라서 수행하는 것이고, 음파의 해저면 반사조건을 전제로 한다.

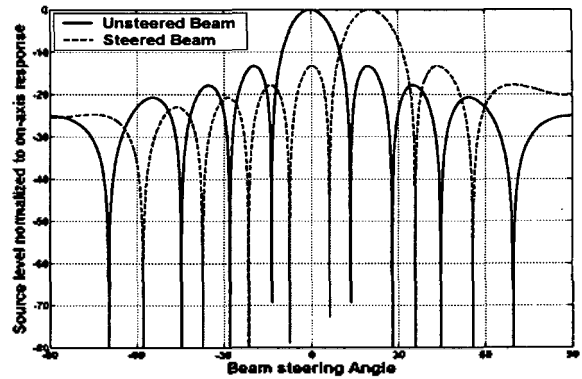


그림 3. The steered linear array directivity pattern for  $\theta = 0^\circ$  and  $\theta_0 = 20^\circ$ .

### 3. 수치실험 및 결과

#### 3.1 음선모델 (BELLHOP)

BELLHOP은 음선이 각 음선에 수직인 방향으로 음장의 가우시안 분포를 갖는 점에 착안하여, 각각의 음선을 가우시안 빔의 중앙음선으로 간주하고 빔장을 계산, 여러 빔들의 중첩으로 전체의 음장을 구하는 방법이다. 이 방법은 특히 음선추적법의 결점인 음영대 (shadow zone)와 caustic에서의 무한 에너지 준위 등을 피할 수 있으며, 파동이론에 의한 접근이 어려운 고주파수, 거리종속 환경에도 효과적이지만, 경계면에서의 음파의 산란계산이 미흡한 것이 단점이다[3]. 수치실험을 위해 실제 HMS의 운용환경과 유사하게 음원수심 6m, 주파수 10kHz, 빔폭  $20^\circ$  등을 입력변수로 하였다. 이때 전체수심은 1550m로 경사가 없고, 저질은 Fine sand, 음속구조는 실제 동해연안의 여름철과 겨울철 20년 평균자료를 거리독립 환경에서 적용하였다.

그림 4는 전달손실 값을 통해 기존 HMS의 근거리 음영구역과 그 곳에 음파가 전달되도록 하는 HMS Verscan 효과를  $0^\circ \sim 60^\circ$ 까지  $20^\circ$  간격으로 보여준다. 이러한 수치실험은 Best depth를 고려한 수심 100m에 수신기 위치를 가정하고 수행되었다.

그림 5는 계절에 따른 HMS Verscan( $5^\circ$ 간격) 시 음원으로부터 직접 방사 된 음파와 첫 번째 해저반사 된 음파 사이의 음영구역 넓이를 보여준다. 그러한 넓이가 입사각의 증가에 의해 점점 감소됨에 따라 경계면(해저면, 해수면)반사를 거친 음파는 빔조향각  $0^\circ$ 일 때의 근거리 음영구역으로 보다 넓게 전달되는 효과를 확인할 수 있다. 겨울철에는 빔조향각  $0 \sim 10^\circ$  사이에 30m 수심의 표층도파관이 형성되어 불규칙한 양상을 보여준다. 여름철과 겨울철의 근거리 음영구역의 넓이는 빔조향각  $35^\circ$  에서 거의 일치하게 된다. 이것은 음속구조의 차이가 음파전달을 다르게

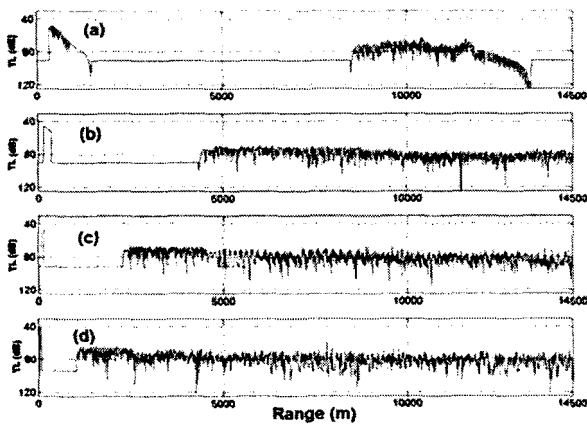


그림 4. Sound propagation and transmission loss for beam steering at angle of (a)0°, (b)20°, (c)40°, (d)60° in short range shadow zone(steering angle 0°).

다르게 하더라도 빔조향각이 커질수록 음선의 경로가 일치하게 된다는 것을 확인시켜 준다. 결과적으로 기존 HMS의 근거리 음영구역 내로 음파전달을 가능하게 하는 HMS Verscan의 효과를 BELLHOP을 이용한 음선추적으로 확인할 수 있었다.

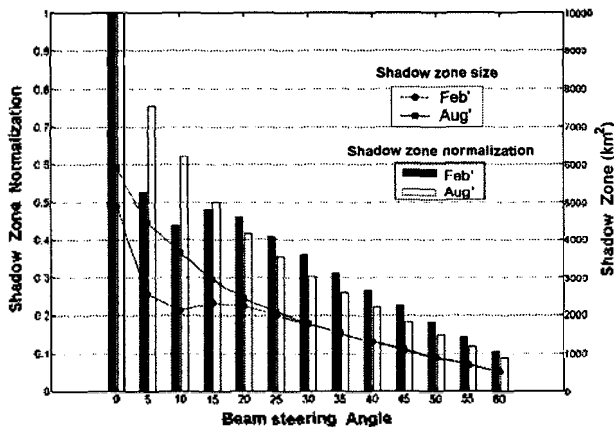


그림 5. Sound propagation into the short range shadow zone (steering angle 0°) by beam steering in Aug' and Feb'.

### 3.2 산란모델 (HYREV)

HMS와 같은 능동소나 운용 시 표적탐지에 제한되는 환경은 주변소음 제한환경과 잔향음 제한환경으로 나눌 수 있다. 기존 HMS의 근거리 음영구역에서 HMS Verscan 실행 시 경계면(해저면, 해표면)에서의 산란은 HMS 시스템의 성능에 중요한 요소로 작용하게 된다. 실제 근거리 음영구역에서의 경험적인 주변소음 준위에 비해 본 논문에서 수행한 수치실험의 잔향음 준위가 훨씬 우세하게 나타났다. 그러므로 음파산란을 고려한 보다 정확한 표적탐지 가능성을 확인하기 위해

한양대학교 해양음향연구실에서 개발한 HYREV (Hanyang university Reverberation model) 모델을 적용하였다. HYREV는 다중경로 확장 모델을 사용하여 고유음선을 계산하고 경계면까지의 음파도달 시간과 입사각 및 전달손실을 파악한 후 경계면에서의 산란 모델인 composite roughness 모델을 이용하여 산란특성을 계산하는 고주파 잔향음 모델이다[4][5].

본 논문에서는 HMS Verscan에 의해 첫 번째 해저반사된 각 음장의 신호이득으로 기존 HMS의 근거리 음영구역 내에서 표적탐지 가능성을 분석하였다. 잔향음 환경에서 신호이득(ASE : Active Signal Excess)은 식(3)과 같다.

$$ASE = (SL - 2TL + TS) - (RL + DT) \quad (3)$$

여기서 SL은 음원준위, TL은 전달손실, TS는 표적강도, RL 잔향음 준위, DT는 탐지한계이다. 모델의 입력자료는 BELLHOP과 같은 모델환경을 설정하였고, 신호이득의 계산에 대한 입력수치는 실제 해군함정에서 운용하는 자료와 유사하게 적용하였다. 식(3)에서 첫 번째 항은 음압준위 즉 신호 값이 되고 두 번째 항은 소음값이 된다. 신호이득이 0 dB 이상이 되면서부터 탐지가 가능하게 된다.

그림 6(a), 6(b)은 HMS ping의 각도가 0°와 30°일 때의 음선추적, 총 잔향음 준위, 음압준위, 신호이득을 보여준다. 기존 HMS 환경에서 표적의 위치를 음원으로부터 5km, 수심 100m로 가정했을 때, 근거리 음영구역으로 인해 표적은 탐지가 안 된다. 하지만 빔조향각이 30°일 때는 해저반사를 통해서 탐지가 된다. 비록 해저반사에 의한 음파의 산란이 3~4초 구간에서 최대이지만 표적반향음의 시간대는 5~6초 구간이므로 잔향음 준위의 감소와 동시에 상대적으로 높은 표적반향음으로 표적탐지가 가능하게 된다.

그림 7(a)은 총수심 1550m, 수신기 수심 100m, 주파수 10kHz, 저질은 sand 환경에서 HMS verscan에 의해 첫 번째 해저반사된 음장에 대한 신호이득의 평균 값과 표준편차를 계절에 따라 나타냈다. 여름철에는 전체 빔조향 구간에서 신호이득의 평균이 0 dB 이상이고 표준편차도 작아서 탐지 가능성이 높다. 하지만 겨울철 빔조향각 0°~40°에서의 신호이득은 첫 번째 해저반사된 음장이 넓게 분산되고 더욱 먼거리로 전달됨에 따라 상대적으로 큰 전달손실로 인해 여름 여름철보다 낮다. 이런 현상은 잔향음이 수심 100m 에서 겨울철에 상대적으로 최대 약 8 dB 높고, 음압준위는 최대 약 4 dB 낮은 수치결과와도 일치한다. 그러나 겨울철 빔조향각 40° 이상에서는 음속기울기 영향을 받은 부엽(side lobe)에 의해 신호이득이 급격히 증가하였다.

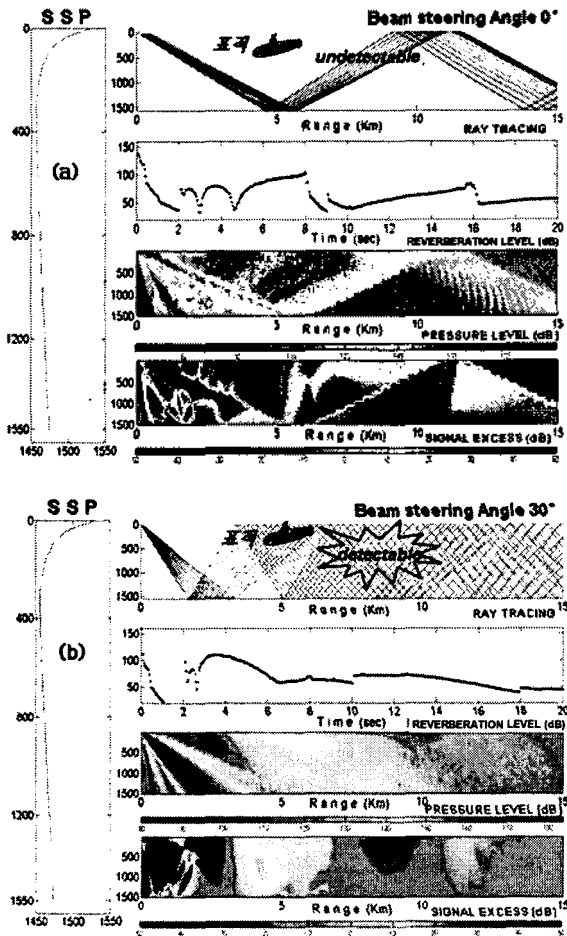


그림 6. Detection prediction by beam steering at angle (a) 0° → (b) 30°.

그림 7(b)은 해저 저질에 따라 HMS Verscan에 의해 첫 번째 해저반사 된 각 음장에 대한 신호이득의 평균과 표준편차를 수신기 수심 100m에서 비교하였다. 이때 총수심은 1000m이다. 퇴적물이 sand 특성에 가까울수록 반사손실이 적어 신호이득이 크고 표준편차는 작아서 탐지가능성이 높게 나타났다. Silty sand 퇴적물의 경우 신호이득이 빔조향각에 따라 부분적으로 0 dB 이상이 됐고, 전반적인 신호이득은 sand와 clay일 때의 중간 값으로 나타났다. 또한 전체적인 신호이득의 변위를 보면 음속기울기의 영향에 비해 저질의 특성에 대한 반사손실이 매우 중요한 변수로 작용함을 알 수 있다. 실제 새가지 저질에서의 수치결과에서도 잔향음은 최대 약 5 dB, 해저면 반사손실은 최대 약 30 dB 차이를 보인다.

결과적으로 제한적인 환경에서의 수치실험이었지만, HMS verscan은 기존 HMS의 한계점인 근거리 음영구역을 음파의 인위적인 해저면 반사의 산란환경에서 감소시키는 장점을 확인할 수 있었다.

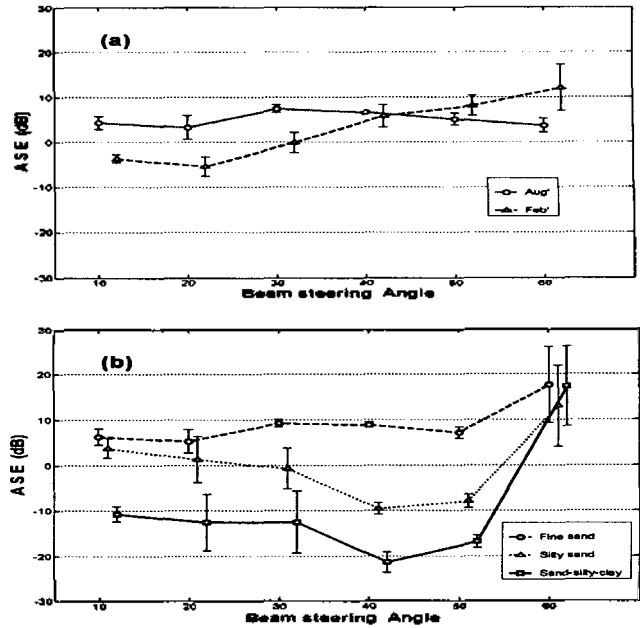


그림 7. ASE of 1<sup>st</sup> bottom reflection sound field by HMS Verscan in short range shadow zone in case of (a) SSP gradient, (b) Bottom sediments.

#### 4. 결론 및 고찰

기존 HMS 운용 시 발생하는 근거리 음영구역의 최소화를 위해 HMS Verscan 기법을 제시하였다. 그 결과 근거리 음영구역 내로 음파전달을 증가시켰고, 그러한 음파의 신호이득은 다른 음속기울기와 저질의 산란환경에서 부분적으로 0 dB 이상의 값으로 나타났다. 따라서 그러한 결과로 근거리 음영구역에서 표적 탐지가능성을 향상시키는 HMS Verscan의 장점을 확인하였다.

향후, 실제 해양에서 다양한 조건의 수치실험으로 더욱 실제적인 HMS Verscan의 효과를 분석할 예정이다.

#### 참고문헌

1. David R. Freiden, "Principles of Naval Weapons Systems," US Naval Institute Annapolis, Maryland, pp. 232~238, 1985.
2. Lurton, X., "An Introduction to Underwater Acoustic," Springer-Praxis publishing Ltd, Chichester, UK, pp. 162~165, 2002.
3. Porter, M. B. and Bucker, H. P., "Gaussian beam tracing for computation ocean acoustic fields," J. Acoust. Soc. Am. **81**, 912-924, 1987
4. 남경완, 최지웅, 윤관섭, 나정열, "잔향음 제한환경 하에서의 탐지거리 예측 분석," 제 4회 해상무기체계 발전 세미나 논문집, pp. 321~325, 2002.
5. 최지웅, 윤관섭, 나정열, 박정수, 나영남, "천해 고주파 잔향음 예측모델," 한국음향학회지, 2002.