

해저면 반사신호의 선 배열 소나 방위 오차 해석

Estimation of bearing error of line array sonar system caused by bottom bounced path

오래근,¹ 구본성,¹ 김선효,¹ 송택렬,¹ 최지웅,^{1†} 손수욱,² 김원기,² 배호석²

(Raegeun Oh,¹ Bon-Sung Gu,¹ Sunhyo Kim,¹ Taek-Lyul Song,¹ Jee Woong Choi,^{1†} Su-Uk Son,² Won-Ki Kim,² and Ho Seuk Bae²)

¹한양대학교 해양융합공학과 해양음향공학연구실, ²국방과학연구소

(Received March 2, 2018; revised April 12, 2018; accepted November 22, 2018)

초 록: 선 배열 소나는 배열 이득으로 인해 단일 소나에 비해 상대적으로 음압이 낮은 표적 신호일 경우에도 방위 추정이 가능한 장점이 있다. 하지만 선 배열 소나에서는 표적의 방향을 나타내는 표적 방위각과 음파의 다중경로에서 발생하는 수직각의 영향으로 방위 오차가 발생하며 이로 인해 수신 신호로부터 표적 방위를 추정하는데 어려움이 존재한다. 수중의 음파 전달 환경에 의해 발생하는 다중경로는 각 경로별로 상이한 수직각을 가지므로 이러한 특성이 선 배열 소나의 방위 추정에 미치는 영향에 대해 고려할 필요가 있다. 본 논문에서는 선 배열 소나에서 다중경로의 영향으로 인해 발생하게 되는 방위 오차를 확인하며 해저면 반사 경로에서 수직각에 의한 오차를 모의하여 환경에 따른 방위 오차의 차이를 분석한다. 또한 추정된 방위각에서 거리에 따라 방위 오차를 고려한 예상 표적 방위선을 도출한다.

핵심용어: 선 배열 소나, 방위 오차, 해저면 반사 경로, 수직각

ABSTRACT: The Line array sonar consisting of several hydrophones increases array gain and improves the performance for detecting the direction of the target compared to single hydrophone. However, line array sonar produces the bearing error that makes it difficult to determine the bearing of incoming source signal due to the relation between bearing angle of target and vertical angle of multipath signals. Vertical angles of multipath are varied with the geometry of receiver and target and various underwater environments, therefore it is necessary to consider the bearing error to estimate accurately the bearing of the target. In this study, acoustic modelling was performed to understand the effect of multipath signals on the target signal. The errors of bearing angle estimated from the bottom bounced signals are calculated with several environment. In addition, the expected bearing line, as a function of source-receiver range, compensated for the bearing error is predicted from the estimated bearing angle.

Keywords: Line array sonar system, Bearing error, Bottom bounced path, Vertical angle

PACS numbers: 43.30.Wi, 43.30.Xm

1. 서 론

선 배열 소나는 빔 형성 기법을 통해 표적의 방위를 추정하며, 표적기동분석(Target Motion Analysis, TMA)을 통해 표적의 침로, 속력, 거리 등 추가적인

정보를 도출한다. 선 배열 소나의 방위 추정은 주로 DAS(Delay-And-Sum) 빔 형성 기법이 사용되며 음원으로 부터 발생된 신호가 배열의 각 센서에 도달할 때 발생하는 센서 간 지연 시간의 차이를 이용하여 방위가 추정된다. 해당 기법은 선 배열 소나의 종단(endfire)을 기준으로 좌우 수신신호의 지연시간이 동일하기 때문에 빔 패턴이 대칭적으로 형성되고 좌우 방위 모호성이 발생하는 문제점을 갖고 있다.^[1] 이

†Corresponding author: Jee Woong Choi (choijw@hanyang.ac.kr)
Department of Marine Sciences and Convergence Engineering,
Hanyang University, 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan,
Kyeonggi-do 15588, Republic of Korea
(Tel: 82-31-400-5531, Fax: 82-31-406-6255)

“이 논문은 2017년도 한국음향학회 추계학술대회에서 발표하였던 논문임.”

외에도 선 배열 소나에서 수신되는 신호는 수중에서 반사와 굴절을 통해 수직적인 각도를 포함하여 3차원적으로 수신되기 때문에 수신신호를 2차원적으로 처리하면 좌우뿐만 아니라 원뿔 형태 수신 각도를 모두 동일한 방위각으로 추정하는 문제점이 발생한다.^[2] 최근 들어 심해에서 원거리 표적을 탐지하기 위해 중·저주파 해저면 반사 경로를 이용하는 방법에 대한 관심이 증가하고 있으며 해저면 반사 경로에서 수직각에 의한 방위 오차를 파악하는 것이 중요하다.

선 배열 소나에 수신되는 신호의 수직 성분은 해양환경의 영향에 따라 변동하므로 표적의 방위 추정 시 오차가 발생할 수 있다.^[3] 국내외에서 선 배열 소나의 방위 오차를 언급한 연구는 많으나 이를 해양환경과 연계하여 구체적으로 해석한 연구 결과는 드물다. 따라서 본 논문에서는 음선 추적을 이용하여 해저면 반사 경로의 수직각을 구한 후 표적 방위 및 해양 환경에 따른 방위 오차를 확인하였으며 나아가 해저면 반사 신호를 이용하여 추정된 방위에서 거리에 따른 예상 표적 방위를 산출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 선 배열 소나에서 방위 추정 시 발생할 수 있는 방위 오차에 대해 설명하며, III장에서는 해저면 반사 경로의 수직각에 영향을 줄 수 있는 해저 지형과 수직 음속 구조에 따른 방위 오차를 모의하였다. IV장에서는 해저면 반사 경로로 수신된 추정 방위에서 방위 오차를 고려하여 거리에 따른 예상 표적 방위를 도출하고 실제 표적 방위 추정에 적용 가능성을 검토하였다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 선 배열 소나 방위 오차

2.1 선 배열 소나 특성에 따른 방위 오차

선 배열 소나를 이용한 수신 신호의 방위 추정은 DAS 빔 형성 기법이 주로 사용되고 있다. DAS 기법의 빔 패턴은 좌우 방위 모호성을 가지는 형태로 나타나며 이는 2차원의 빔 패턴만 고려되고 수신 신호의 수직각(vertical angle)은 반영되지 않은 결과이다. 수직각이 존재하지 않기 위해서는 선 배열 소나와 표적의 수심이 동일하고 음속의 변화가 없으며 경계면에서의 반사를 거치지 않아야 한다. 그러나 실제

표적은 수중에서 3차원적으로 운동함에 따라 선 배열 소나와 표적이 동일한 수평면상, 즉 동일 수심에 위치하지 않을 가능성이 높으며, 선 배열 소나에 수신되는 신호 또한 해양환경에 의해 반사와 굴절 현상을 겪으므로 빔 패턴은 3차원으로 고려될 필요가 있다. 3차원 빔 패턴은 원뿔(conical) 형태로 나타나며, 이는 선 배열 소나의 방위 추정 결과가 수신되는 신호의 수평 성분뿐만 아니라 수직 성분의 영향도 받는다는 것을 의미한다.^[2] 즉, 3차원적으로 수직 및 수평 성분을 가지며 원뿔 형태의 방위 모호성이 존재하는 추정 각도를 수평 성분에만 대한 좌우 모호성으로만 가정하게 되면 추정 방위(estimated bearing)와 실제 표적 방위(target bearing) 사이에 오차가 발생하게 된다.^[3] 따라서 본 장에서는 선 배열 소나에 수신되는 신호의 각도를 수직 및 수평 성분으로 구분하고 이에 따른 추정 방위각을 도출함으로써 실제 표적 방위각과의 오차를 분석한다.

선 배열 소나에서 3차원적으로 수신되는 신호는 수평 성분에 해당하는 표적 방위각과 수직각으로 구분할 수 있다(Fig. 1). 표적 방위각과 수직각을 통해 결정되는 추정 방위각의 관계는 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.^[3]

$$\cos(\theta) = \cos(\phi) \times \cos(\mu), \tag{1}$$

여기서 θ 는 추정 방위각이고, ϕ 는 표적 방위각이며 μ 는 수직각이다.

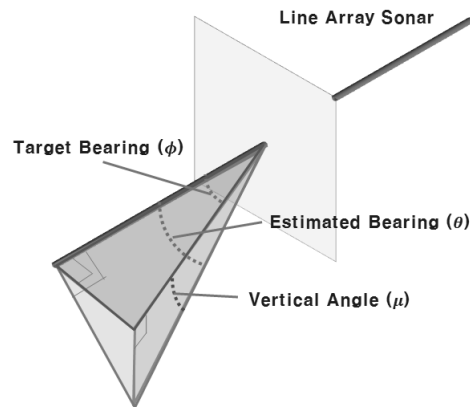


Fig. 1. Schematic representation of target bearing (ϕ), vertical angle (μ) and estimated bearing (θ).

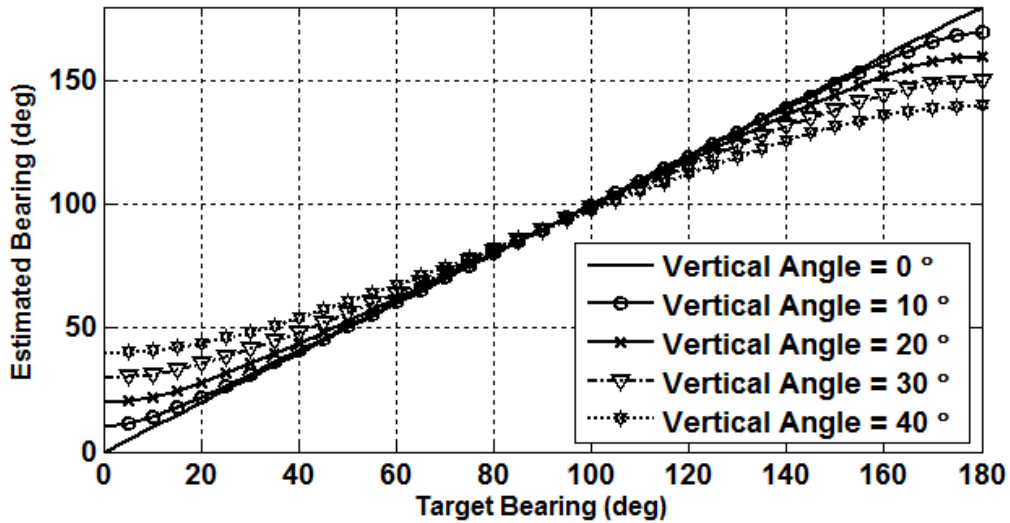


Fig. 2. Relationship between estimated bearing and target bearing as a function of vertical incident angle.

Eq. (1)을 통해 도출된 선 배열 소나의 추정 방위각과 표적 방위각을 비교하여 선 배열 소나에서 발생 가능한 오차를 식별 할 수 있다. 여기에서 표적 방위각은 선 배열 소나의 배열 방향과의 차이를 나타내는 상대 방위각으로 표현되어야 하지만 본 논문에서는 이해의 편이를 위해 선 배열 소나의 배열 방향은 항상 정북(0°)을 향하고 있다고 가정하여 단순히 표적 방위각으로 표현한다. 추정 방위각 도출 시 표적 방위각이 0° , 180° 부근에 근접 할수록 표적 방위각의 코사인 함수 값이 1에 가까워지기 때문에 오차를 발생시키는 수직성분인 수직각의 영향이 증가하고, 표적 방위각이 90° , 270° 부근에 가까울 경우 표적 방위각의 코사인 함수 값이 0에 가까워지므로 수직각의 영향이 감소한다. Fig. 2는 표적 방위각과 수직각에 따른 추정 방위각을 도식화한 결과이다. 수직각이 증가함에 따라 표적 방위각이 0° 또는 180° 인 선 배열 소나의 종단에서 표적 방위각과 추정 방위각의 차이가 가장 크게 발생한다. 또한 90° 또는 270° 인 횡단(broadside)에 위치할 경우에는 차이가 없어진다. 이러한 결과는 수직각이 0° 이고 표적 방위각만 존재하는 경우에는 추정 방위각이 표적 방위각과 동일하지만 실제 해양과 같이 음파의 굴절과 반사에 의해 수직각이 존재하는 환경에서는 추정 방위각은 표적 방위각과 차이가 발생할 수 있음을 의미한다.

2.2 다중경로에 따른 방위 오차

선 배열 소나에 수신되는 음향신호는 해양환경의 영향으로 굴절과 반사를 거치며 직접 경로(direct path), 해수면 반사 경로(surface bounced path), 해저면 반사 경로(bottom bounced path) 등 다양한 경로로 전파된다. 천해 환경은 수평 성분에 비해 수직 성분이 매우 작기 때문에 수직 성분에 따른 방위 오차는 무시할 수 있을 만큼 작다. 따라서 본 연구에서는 수직 성분에 따른 방위 오차가 비교적 크게 존재하는 심해 환경에 대하여 고려한다. Fig. 3은 동해의 전형적인 겨울철 수직음속구조 환경에서 송수신기 수심 150m, 송수신기 거리 5 km, 15 km, 30 km에 대하여 고유음선^[4]을 모의한 결과이다. 송수신기 거리 5 km의 경우에는 경계면 반사가 존재하지 않는 직접 경로와 해수면 반사 경로, 해저면 반사 경로가 모두 존재하고, 15 km의 경우에는 해저면 반사 경로만, 30 km일 경우에는 직접 경로와 해저면 반사 경로만 존재하는 것으로 모의된다. Table 1은 5 km에서 고유음선 추적을 통해 경로별로 구해진 수직각과 표적 방위각에 따른 오차를 나타낸 표로써 해수면, 해저면 반사 경로와 직접 경로에 대해 분석한 결과이다. 이때 수직각은 해수면과 평행한 방향을 기준으로 해수면 방향은 양수로 해저면 방향은 음수로 표현하였다. 각 경로는 상이한 수직각으로 수신되며, Eq. (1)에 의한 추정 방위각 도출 시 표적 방위각에 따라 오차(Error)가

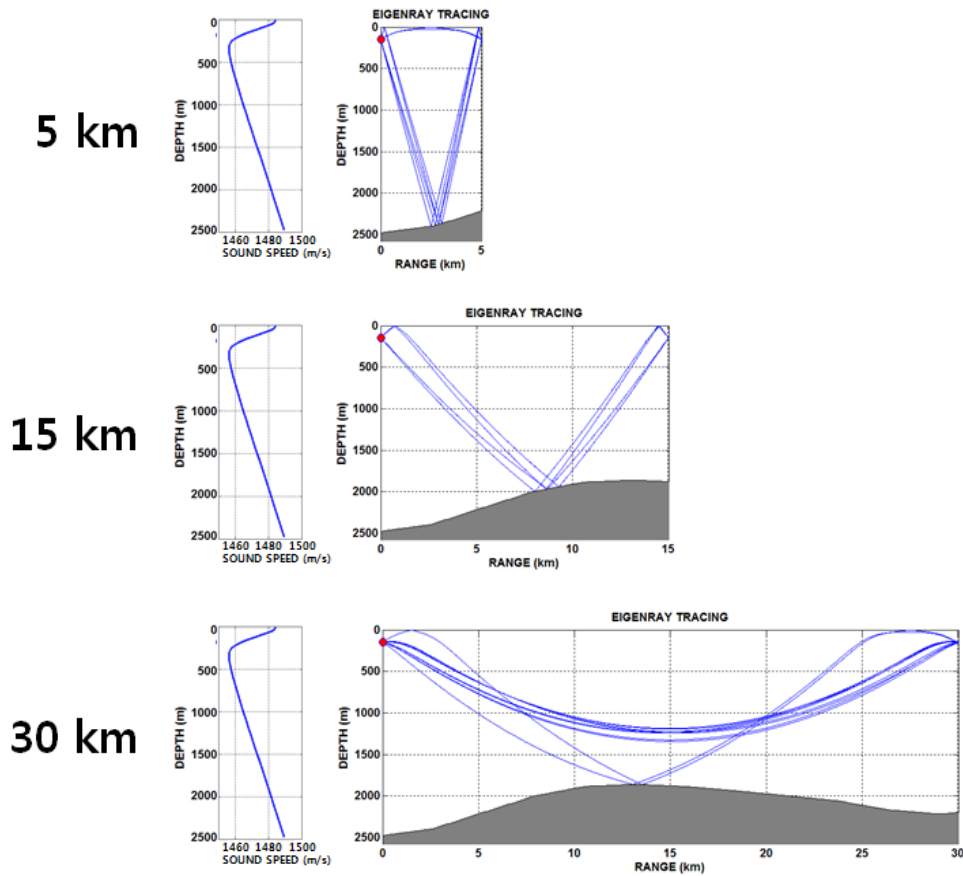


Fig. 3. Eigenray tracing outputs during winter for source-receiver ranges of 5 km (top), 15 km (middle) and 30 km (bottom) in the East Sea.

Table 1. Bearing errors resulting from incoming signals with different vertical angles.

Travel path	Vertical angle (degree, μ)	Target bearing (degree, ϕ)	Estimated bearing (degree, θ)	Bearing error ($\theta - \phi$)
Surface bounced path	+6.2 (+ : downward directivity)	30	30.6	0.6
		60	60.2	0.2
		90	90	0
Direct path	+6.3	30	30.6	0.6
		60	60.2	0.2
		90	90	0
Bottom bounced path	-37.6 (- : upward directivity)	30	46.7	16.7
		60	66.7	6.7
		90	90	0

발생하는 것을 알 수 있다. 경로별 특징을 비교하면 직접 경로는 수층의 음속구조에 의해 굴절을 일으키며 약 6°의 수직각을 갖고, 해수면 반사 경로의 경우 선 배열 소나와 표적의 수심이 거리에 비해 매우 작기 때문에 약 6°의 수직각을 갖는다. 직접 경로와 해

수면 반사 경로는 작은 수직각으로 인해 1° 미만의 방위 오차를 나타내지만, 해저면 반사 경로의 경우 수직각이 약 -38° 이므로 표적 방위각이 30°일 경우 오차가 약 17°까지 발생하는 것으로 나타난다. 이는 선 배열 소나에서 수신중인 신호가 해저면 반사 경

로일 경우 직접 경로 및 해수면 반사 경로에 비해 더 큰 오차가 발생 할 수 있음을 의미한다.

III. 해저면 반사신호 방위 오차 모의 및 해석

심해의 해양환경에서 선 배열 소나에 수신되는 다중경로 신호 중 해저면 반사 경로는 상대적으로 큰 수직각을 가지게 되며 추정 방위각의 오차가 발생할 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 음선 추적을 수행하여 해저면 반사 경로의 수직각을 도출하고 Eq. (1)을 통해 표적 방위각에 따른 추정 방위각을 모의한다. 이때 표적 방위에 따른 방위 오차만을 고려하기 위하여 표적 방위에 대해 음속 구조와 해저 지

형이 동일한 등방성 해양 환경을 모의하며 최종적으로 모의된 추정 방위각과 표적 방위각과의 각도 차이를 계산하여 방위 오차를 계산하였다.

해저면 반사 경로의 음파 전달에 영향을 주는 요소는 크게 해저 지형과 음속 구조가 해당되며 먼저 음속 구조에 따른 방위 오차를 확인한다. Fig. 4는 수직 음속 구조와 수심 2,000 m의 해저면에서 한번 반사된 경로의 음선 추적 결과이다. 음속 구조는 (a) 1,500 m/s의 등속 수직 음속 구조와 (b) 심해의 음속 구조를 간단한 수식으로 모의한 Munk^[5] 음속 구조를 사용하였다. 이때 최소 음속층의 깊이는 400 m로 설정하였다. 선 배열 소나의 수심은 250 m로 가정하였으며 음선 추적을 위해 수직각에 해당하는 빔은 해수면과 평행한 0°부터 해저면 방향으로 80°의 범위에서 3° 간격으로 고려하였고 거리는 0 km~25 km의 범위로 음선 추적을 수행하였다. 표적이 선 배열 소나와 동일한 수심인 250 m에 존재한다고 가정하였을 경우에 등속 수직 음속 구조 환경에서는 약 1 km~25 km 거리의 표적으로부터 수신되는 해저면 반사 경로의 수직각이 각 거리에 따라 약 75°~8°로 모의되었다. 1 km 이하의 거리에서는 수직각이 80° 이상이기 때문에 모의 결과에 포함되지 않는다. Munk 수직 음속 구조에서는 약 1 km~20 km 거리의 표적으로부터 수신되는 해저면 반사 경로의 수직각이 거리별로 약 75°~17°로 모의되며 20 km 이상의 거리에서는 음파가 상향 굴절되어 해저면에 반사되지 않기 때문에 모의에 포함되지 않았다.

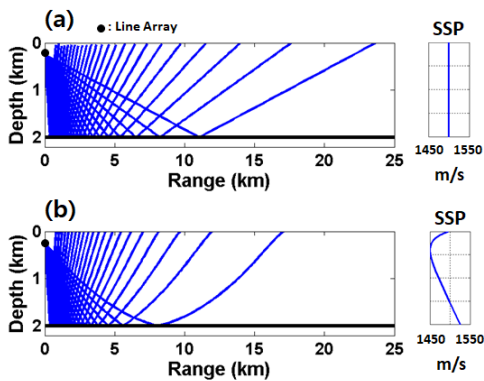


Fig. 4. Ray tracing outputs of bottom bounced path with sound speed profile, (a) constant SSP (1500 m/s), (b) Munk SSP (minimum sound speed at 400 m).

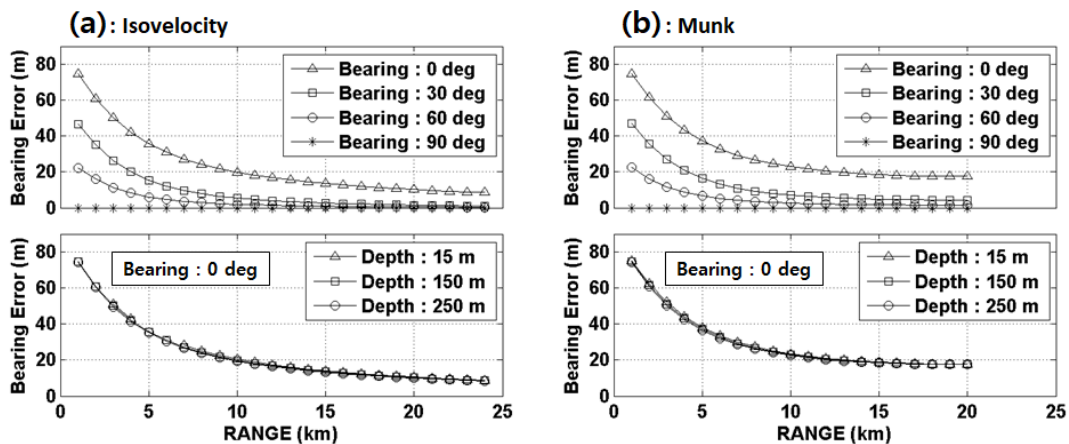


Fig. 5. Comparisons between the (a) simulation results of bearing error for the isovelocity condition and (b) simulation results of bearing error for the Munk profile.

등방성의 환경을 가정하였기 때문에 표적의 거리에 따른 수직각은 각 표적 방위각에서 모두 동일하며 모의된 방위 오차는 Fig. 5와 같다. 위쪽 그림에서 표적 방위가 0°인 경우에 방위 오차는 수직각과 같아지고 90°의 표적 방위각으로 갈수록 방위 오차는 0°에 가까워지는 현상이 잘 모의된 것을 확인 가능하다. Munk 음속 구조로 모의된 (b)에서 20 km 이후의 거리에서는 해저면에 한번 반사된 경로가 존재하지 않는 음영구역에 해당하여 방위 오차가 계산되지 않는다. 또한 Munk 음속 구조에서는 음파의 상향 굴절 효과로 인하여 같은 거리에서 등속 음속 구조일 때보다 큰 수직각으로 수신되며 이로 인해 Munk 음속 구조의 방위 오차가 등속 음속 구조일 경우보다 큰 것을 알 수 있다. 아래 그림은 각 음속 구조에서 표적 수심에 따른 방위 오차를 확인한 결과로 잠수함의 활동 가능 수심을 고려하여 3개 수심(15 m, 150 m, 250 m)의 방위 오차를 비교하였다. 두 음속구조에서 표적 수심에 따른 방위 오차의 차이는 모두 2° 이내로 계산되었으며 선 배열 소나의 측정 방위 오차를 감안하면 표적 수심에 따른 방위 오차 차이는 크지 않은 것으로 모의되었다.

Fig. 6은 수심에 따른 방위 오차를 15° 간격의 방위별로 25 km까지 계산하여 나타낸 그림이다. 1,500 m/s의 등속 음속 구조에서 (a)부터 (c)까지 총 수심이 각각 500 m, 1,500 m, 2,500 m인 환경에 대한 방위 오차 모의 결과이다. 세 그림에서 모두 방위각이 종단에 가까울수록 방위 오차가 커지는 것을 확인 가능하고 총 수심이 깊어질수록 방위 오차의 값이 커지며 1° 이상의 방위오차를 가지는 면적도 넓어지는 것

을 확인 가능하다. 이러한 결과는 음파가 해저면에 반사되어 같은 거리에 도달할 때 총 수심이 깊어질수록 수직각이 커지는 현상이 반영된 결과이다.

IV. 선배열 방위 오차를 고려한 표적 방위선

선 배열 소나에서 최종적으로 얻어지는 표적 정보는 방위정보이며, 이 정보는 선 배열 소나와 표적의 상대적인 위치에서 추정된 방위를 선으로 표시하여 확인 가능하다. 방위선을 모의하기 위하여 북동쪽에서 북쪽으로 변침하는 선 배열 소나와 선 배열 소나로부터 북서쪽 약 5 km지점에서 남쪽으로 기동하는 표적을 가정하고 해양 환경을 적용하여 모의를 수행하였다. 모의에 사용된 해양 환경의 음속 구조는 GDEM^[6]을 통하여 겨울철 동해의 음속구조를 사용하였고 해저 지형 자료는 ETOPO^[7]를 이용하였다(Fig. 7).

Fig. 8은 선 배열 소나에서 직접 경로 및 해수면 반사 경로의 추정 방위각을 표시한 그림으로 시간에 따라 10번의 방위각 추정 결과를 나타낸 그림이다. (a)에서 직접 경로를 통해 추정된 방위의 경우 수직각에 의한 방위 오차가 작기 때문에 방위선 위에 표적이 위치하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 (b)와 같이 선 배열 소나에서 해저면 반사 경로의 신호가 수신되었을 경우에는 추정 방위에 수직각에 의한 방위 오차가 포함되어 추정 방위의 방위선 위에 표적이 존재하지 않는 것을 알 수 있다. 수직각이 포함된 해저면 반사 경로의 추정 방위에서 방위 오차가 고려된 방위선을 구하기 위하여 추가적인 모의를 수행하였다.

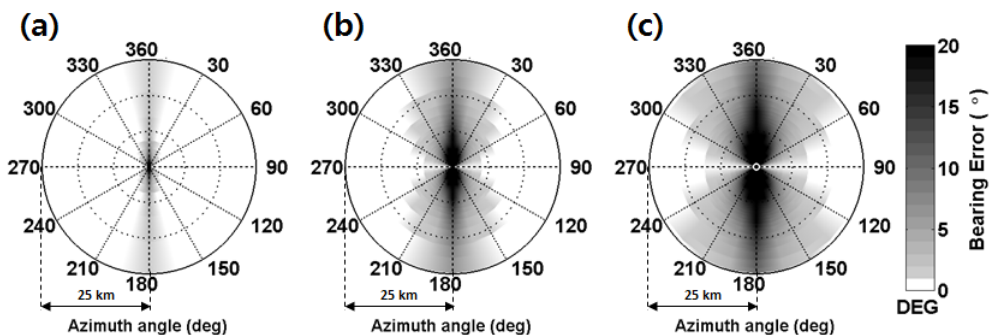


Fig. 6. Simulation results of bearing errors as a function of depth for the isovelocity condition. The total water depths of experimental site are (a) 500 m, (b) 1500 m, (c) 2500 m, respectively.

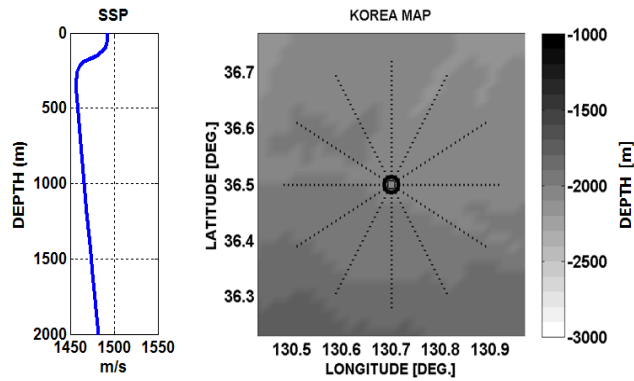


Fig. 7. Sound speed profile and bathymetry of the simulation.

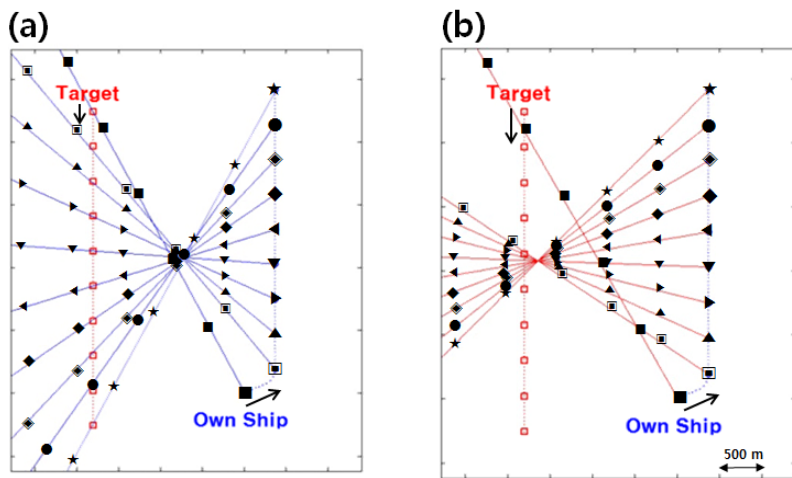


Fig. 8. (a) Example of application of a straight line for the direct path of target signal, (b) example of application of a straight line for the bottom bounced path of target signal.

사용된 음속 구조와 해저 지형에서 선 배열 소나로부터 일정 방위 간격으로 음선 추적을 수행하여 수직각을 구한 후에 Eq. (1)을 적용하면 표적 방위에 따른 해저면 반사 경로의 추정 방위각을 도출할 수 있다. 30° 간격의 표적 방위각으로 추정 방위각을 구한 후 거리에 따른 추정 방위각을 원형 좌표계에 표시하면 Fig. 9(a)와 같이 표현 가능하다. 즉 그림 위의 숫자는 표적 방위각을 의미하며 해당 실선은 표적 방위각으로부터 거리별로 계산되는 추정 방위각을 나타낸다. III장의 결과와 같이 추정 방위각의 방위선들은 선 배열 소나의 종단에 해당하는 방위각 180°, 360°에서 표적 방위와의 차이가 크게 존재하고 횡단에 해당하는 방위각 90°, 270°에서는 추정 방위선과 표적 방위가 일치하여 방위 오차가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 표적 방위 30° 추정 방위선에서

거리가 멀어질수록 방위오차가 작아지는 현상을 확인할 가능하다.

하지만 선 배열 소나에서 얻어지는 각도는 단일의 추정 방위각이다. 따라서 상수에 해당하는 추정 방위각에 따른 표적 방위각을 도출하기 위하여 모델링 결과에서 30° 간격의 추정 방위각을 설정하고, 추정 방위각이 동일한 지점들의 표적 방위각을 원형 좌표계에 표시하면 Fig. 9(b)와 같이 나타난다. 결과적으로 일정한 추정 방위각에서 거리에 따른 예상 표적 방위선을 도출할 수 있다. 그림 위의 숫자는 추정 방위각을 의미하며 해당 추정 방위각에서 거리에 따른 예상 표적 방위각을 실선으로 표현한 그림이다. 수직각에 의한 방위 오차를 포함하기 때문에 180°, 360°의 추정 방위는 존재하지 않으며 예상 표적 방위선도 도출되지 않는 것을 확인할 가능하다. 추정 방위각

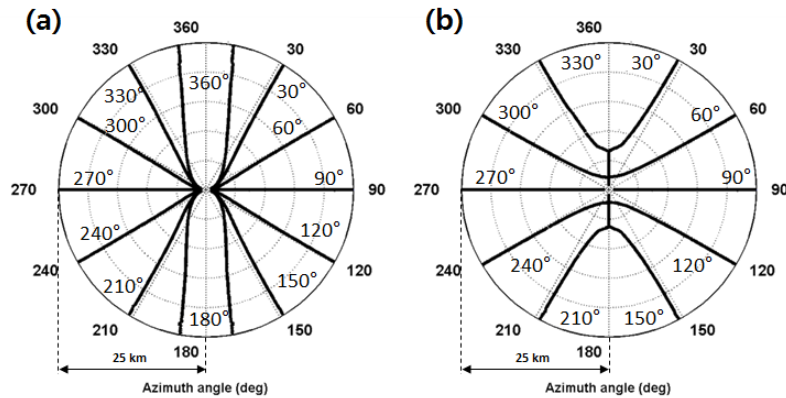


Fig. 9. (a) Estimated bearing line along distance from constant target bearing, (b) expected target bearing line along the distance from the constant estimated bearing.

30°의 예상 표적 방위선은 약 7 km까지는 계산되지 않다가 이후의 거리에서 특정 방위각으로 계산되는 것을 확인 가능하며 이는 약 7 km 이하의 거리에서는 수직각이 30°를 넘어가기 때문에 30°의 추정 방위는 존재할 수 없음을 반영한 결과이다. 즉 해저면 반사 신호에서 추정 방위각을 통해 구해지는 예상 표적 방위선은 추정 방위각의 각도에 따라 선 배열 소나의 위치와 예상 표적 방위선의 시작 지점이 일치하지 않을 수 있음을 알 수 있다. 단 선 배열 소나의 방향에서 표적이 정확히 횡단에 위치하는 90°, 270°일 때는 방위 오차가 존재하지 않기 때문에 선 배열 소나의 위치와 예상 표적 방위선의 시작점이 일치한다.

Fig. 8(b)에서 사용된 해저면 반사 경로의 추정 방위각에 Fig 9(b)의 결과를 적용하면 Fig. 10과 같이 나타난다. 추정 방위각에서 거리에 따른 예상 표적 방위각을 적용한 방위선은 Fig. 9에서 확인한 것과 같이 추정 방위각보다 큰 수직각을 갖는 근거리에서는 표적이 존재할 수 없는 이유로 예상 표적 방위선의 시작 위치와 선 배열 소나의 위치는 일치하지 않는다. 또한 추정 방위가 종단에 가까울수록 표적이 존재 가능한 수직각이 작기 때문에 방위선의 시작점과 선 배열 소나의 거리가 멀게 도출되는 현상이 반영되어 모의 결과에서 변침 후 선 배열 소나는 시간이 지남에 따라 남쪽(■)에서 북쪽(★)으로 기동하지만 방위선은 북쪽에서 남쪽의 순서로 그려지고 있는 것을 확인 가능하다. 결과적으로 표적이 예상 표적 방위선 위에 존재하는 것을 확인 할 수 있으며 해저면 반사 경로의 추정 방위각을 통해 도출된 예상 표적

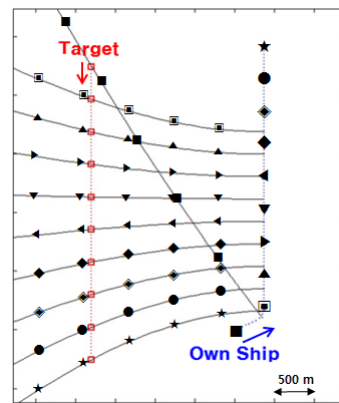


Fig. 10. Example of application of expected target bearing line along the distance from the constant estimated bearing for bottom-bounced paths of the target signal.

방위선을 응용하여 표적 기동 분석 수행이 가능하면 보다 정확한 분석이 가능할 것으로 기대된다.

V. 결론

본 논문에서는 모의된 환경의 선 배열 소나에서 다중경로의 영향으로 인해 발생하게 되는 방위 모호성을 정량적으로 산출하였으며 해저면 반사 경로에서 수직각에 의한 오차를 고려하여 환경에 따른 방위 오차를 분석하였다. 마지막으로 추정된 방위각에서 방위 오차를 고려하여 거리에 따른 예상 표적 방위선을 도출하였다. 모의 결과 상향 굴절이 우세한 음속 구조에서는 방위 오차가 더 크게 나타났으며 해저 지형이 깊어질수록 방위 오차가 크게 나타났

다. 또한 방위 오차를 고려하기 위하여 추정 방위각에서 거리에 따른 예상 표적 방위각을 도출하였으며 도출된 방위선 위에 표적이 위치함을 보였다. 본 논문에서 모의에 사용된 해저 지형과 음속구조는 단순한 환경이므로 복잡한 해양 환경에 적용하기 위해서는 추가적인 검증이 필요할 것으로 생각된다. 결과적으로 해저면 반사 경로의 추정 방위각으로부터 도출된 예상 표적 방위선은 표적의 거리, 침로, 속력 등 추가적인 정보를 분석하기 위한 표적기동분석에 활용 가능할 것으로 기대되며 해저면 반사 경로를 이용하여 표적기동분석이 가능하게 된다면 기존 직접 경로를 이용한 표적기동분석과 비교하여 장거리 탐지가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 국방과학연구소(관리번호: UD170022DD)에서 지원하여 이루어졌습니다.

References

1. A. D. Waite, *Sonar for Practising Engineers*, 3rd ed. (John Wiley and Sons Ltd, UK, 2002), pp. 158-160.
2. F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics AIP Series in Modern Acoustics and Signal Processing* (American Institute of Physics, Melville, New York, 1994), pp. 584-596.
3. J. S. Park, Y. N. Na, and J. W. Choi, "Lline array sonar and method for detecting target bearing of the same" (in Korean), Korea. patent No.10-1257097, 2014.
4. M. B. Porter, "The BELLHOP Manual and User's Guide: Preliminary Draft," Heat, Light, and Sound Research, Inc. (2011).
5. W. H. Munk, "Sound channel in an exponentially stratified ocean with applications to sonar," *J. Acoust. Soc. Am.* **55**, 220-226 (1974).
6. M. R. Carnes, *Description and Evaluation of GDEM-V 3.0*, Naval Research Laboratory, 2009.
7. C. Amante and B. W. Eakins, "Etopo1 arc-minute global relief model: procedures, data, sources and analysis," NGDC, Tech. Rep., 2003.

저자 약력

▶ 오래근 (Raegeun Oh)



2013년 2월: 한양대학교 해양환경과학과 학사
2014년 9월 ~ 현재: 한양대학교 석·박사 통합 과정

▶ 구본성 (Bon-Sung Gu)



2007년 2월: 해군사관학교 전산과학과 학사
2018년 2월: 한양대학교 해양융합과학과 석사
2018년 3월 ~ 현재: 해군대학 교육생

▶ 김선효 (Sunhyo Kim)



2009년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 학사
2011년 2월: 한양대학교 해양환경과학과 석사
2016년 8월: 한양대학교 해양융합과학과 박사
2016년 10월 ~ 2017년 10월: 한양대학교 박사 후 연구원
2017년 11월 ~ 현재: 한양대학교 연구조교수

▶ 송택렬 (Taek-Lyul Song)



1974년 2월: 서울대 공학사
1981년 12월: Univ. of Texas at Austin 석사
1983년 12월: Univ. of Texas at Austin 박사
1974년 5월 ~ 1995년 2월: 국방과학연구소
1995년 3월 ~ 현재: 한양대학교 전자시스템 공학과 교수

▶ 최지웅 (Jee Woong Choi)



1996년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 학사
1998년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 석사
2002년 8월: 한양대학교 지구해양과학과 박사
2002년 11월 ~ 2007년 8월: Applied Physics Lab., Univ. of Washington, USA, Research Associate
2007년 9월 ~ 현재: 한양대학교 해양융합 공학과 교수

▶ 손 수 욱 (Su-Uk Son)



2008년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 학사
2010년 2월: 한양대학교 해양환경과학과 석사
2015년 8월: 한양대학교 해양융합과학과 박사
2016년 9월: 한양대학교 박사 후 연구원
2016년 10월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원

▶ 김 원 기 (Won-Ki Kim)



2007년 2월: 충북대학교 지구환경과학 학사
2009년 2월: 충북대학교 지질과학 석사
2014년 8월: 서울대학교 에너지시스템 공학 박사
2015년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원

▶ 배 호 석 ((Ho Seuk Bae)



2007년 2월: 서울대학교 지구환경시스템 공학부 학사
2011년 2월: 서울대학교 에너지시스템공학부 박사
2011년 3월: 서울대학교 에너지자원 신기술연구소 선임연구원
2011년 11월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원