

비균일 음속 다중경로환경에서 선배열 센서를 이용한 근거리 표적의 3차원 위치추정 기법

3-D Near Field Localization Using Linear Sensor Array in Multipath Environment with Inhomogeneous Sound Speed

이 수 형*, 최 병 웅**

(Su-Hyoung Lee*, Byung-Woong Choi**)

*위덕대학교 에너지전기공학부, **경북대학교 전자전기컴퓨터학부

(접수일자: 2006년 4월 20일; 채택일자: 2006년 5월 4일)

최근에 Lee 등은 1차원 수평배열 센서만을 사용하여 다중경로를 통해 들어오는 신호로부터 표적의 3차원 위치를 추정하였다. 그러나 이 기법에서 음속은 수심에 상관없이 일정하다고 가정하였기 때문에 음속이 수심에 따라 다양하게 변화하는 실제 해양환경에서는 그 추정 성능이 현저하게 저하된다. 따라서 본 논문에서는 비균일 음속 환경에 적합한 근거리 표적의 3차원 위치추정 기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 선형의 음속구조를 가지는 근거리 다중경로 환경에서 음파전달 모델을 기반으로 한 위치추정함수를 구성하였으며 이로부터 표적의 방위각, 거리 및 깊이를 3차원 탐색을 통하여 추정하였다. 선형 음속구조 및 실제 환경과 유사한 비선형 음속구조를 적용하여 제안한 기법의 성능을 기존의 기법과 비교, 분석하였으며 기존의 기법에 비해 거리 추정 오차는 최대 100m, 깊이 추정 오차는 50m정도 감소됨을 확인하였다.

핵심용어: 3차원 위치추정 기법, 다중경로, 비균일 음속, 선배열 센서, 음파전달 모델

투고분야: 수중음향 분야 (5.6)

Recently, Lee et al. have proposed an algorithm utilizing the signals from different paths by using bottom mounted simple linear array to estimate 3-D location of oceanic target. But this algorithm assumes that sound velocity is constant along depth of sea. Consequently, serious performance loss is appeared in real oceanic environment that sound speed is changed variously. In this paper, we present a 3-D near field localization algorithm for inhomogeneous sound speed. The proposed algorithm adopt localization function that utilize ray propagation model for multipath environment with linear sound speed profile(SSP), after that, the proposed algorithm searches for the instantaneous azimuth angle, range and depth from the localization cost function. Several simulations using linear SSP and non linear SSP similar to that of real oceans are used to demonstrate the performance of the proposed algorithm. The estimation error in range and depth is decreased by 100m and 50m respectively.

Keywords: 3-D localization, Multipath, Inhomogeneous Sound Speed, Linear Array, Ray Propagation Model

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.6)

I. 서론

수중소나 환경에서 표적의 위치를 추정하는 일은 매우 중요한 분야이며 많은 연구가 진행되어 왔다. 표적에서

발생한 신호는 다양한 전달 경로를 통하여 공간적으로 떨어져 있는 두 개 이상의 센서에 시간지연을 갖고 도달하며, 이를 이용하여 표적의 위치를 추정한다[1-2]. 낮은 신호 대 잡음 비에서도 우수한 위치추정 성능을 얻기 위하여 여러 개의 센서로 배열을 구성하여 사용하며, 일반적으로 등 간격 배열 센서나 평면배열센서를 사용하여 표적의 위치를 추정한다. 일반적으로, 표적의 3차원 위치

책임저자: 이 수 형 (soohyong@uu.ac.kr)
780-713 경상북도 경주시 강동면 유금리 525 위덕대학교
에너지전기공학부
(전화: 054-760-1664; 팩스: 054-760-1669)

추정의 경우에는 기하학적인 제약으로 인해 Y형 센서, 원형배열 센서 등의 2차원 배열 센서들을 사용한다[3-4].

최근에 Lee 등은 수동소나 환경에서 수평 선배열 센서만을 사용하여 다중경로를 통하여 도달하는 근거리 표적의 3차원 위치를 추정하는 기법을 제안하였다[5-6]. 기하학적인 제약으로 인하여 2차원 배열센서를 사용하는 기존의 기법들과는 달리 다중경로환경에서 추정된 신호들의 원추각과 시간차를 통하여 표적의 3차원 위치를 간단하게 추정하였다. 그러나 이 기법에서는 수중에서의 음속이 수심에 따라 일정하다고 가정하였기 때문에 수심에 따라 음속이 변하는 실제 수중환경에서는 표적의 위치를 정확하게 추정하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 수동소나 환경의 수평 선배열 센서를 이용하여 깊이에 따라 음속이 변하는 음속구조 (sound speed profile: SSP)를 가지는 수직 비균일 음속 수중환경에서 다중경로를 통하여 도달하는 근거리 표적신호를 통해 근거리 표적의 3차원 위치를 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 선형의 음속구조를 가지는 비균일 음속 다중경로 환경에서 음파전달모델을 이용한 위치추정 가격함수 (cost function)를 만들고 이를 최대화하는 표적의 거리, 깊이, 방위각을 3차원 탐색을 통하여 추정하였다. 또한, 표적의 위치추정을 위한 탐색에서는 연산량 감소를 위해 Lee의 위치추정 기법의 결과치를 탐색초기값으로 지정하였다.

II. Lee의 위치추정 기법

그림 1은 표적신호가 다중경로를 통하여 해저면에 고정된 수평 선배열 센서에 도달하는 기하학적 구조를 나타낸 것이다. 등간격으로 배치한 M 개의 선배열 센서의 중심을 표적 위치의 기준으로 설정하고, 표적의 위치는 기준에서 바라본 표적의 방위각 β , 기준과 표적과의 수평거리 r , 그리고 표적의 깊이 z 로 설정하였다. 표적에서 발생한 신호가 수면이나 해저면에 반사되는 경우 산란이나 흡수로 인한 신호의 감쇠가 생기며 2회 이상 반사되는 경우 신호의 감쇠가 매우 크므로 이 기법에서 다중경로 모델은 수면에 한 번 반사되는 경우만을 고려하였다. 또한 수중에서의 음속은 수심에 관계없이 일정하다고 가정하였다. 직접경로와 수면 반사경로 사이의 시간지연 τ 는 그림 1에서의 기하적 관계에 의해 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\tau = \frac{1}{c}(r_S - r_D) \tag{1}$$

여기서 c 는 음속이며 r_D 와 r_S 는 직접경로 및 수면 반사경로에서 표적으로부터 센서기준에 이르는 경로의 길이를 나타낸다.

각 경로의 신호는 원추각 θ_n 와 θ_S 를 가지고 센서에 도달하며 각각의 원추각은 식 (2)와 같은 관계식을 가진다.

$$\cos \theta_D = \cos \alpha_D \cdot \cos \beta \tag{2}$$

$$\cos \theta_S = \cos \alpha_S \cdot \cos \beta \tag{3}$$

α_D, α_S 는 각 경로 신호가 센서에 도달될 때의 고각 (elevation angle)이며 β 는 표적의 위치 파라미터인 방위각 (azimuth angle)이다.

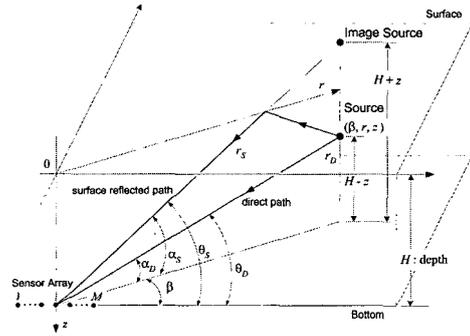


그림 1 해저고정형 선배열 센서와 근거리 표적의 환경
Fig. 1 Geometry of bottom mounted linear array and near field target environment.

위의 다중경로모델에서 각 경로의 시간지연 및 원추각을 통한 관계식을 연립하여 표적의 위치를 추정하며 위치추정 기법은 다음의 3단계로 이루어져있다.

Step 1: 시간지연 (τ)과 원추각 ($\hat{\theta}_D, \hat{\theta}_S$)의 추정.

Step 2: 표적의 위치추정.

표적의 3차원위치 (β, r, z)는 다음 식과 같이 표현된다.

$$z = \frac{c^2 \tau^2 (\cos \hat{\theta}_D + \cos \hat{\theta}_S)}{4H(\cos \hat{\theta}_D - \cos \hat{\theta}_S)} \tag{4}$$

$$r = \frac{1}{2} \sqrt{c^2 \tau^2 + \frac{16H^2 z^2}{c^2 \tau^2} - 4(H^2 + z^2)} \tag{5}$$

$$\cos \beta = \frac{\sqrt{r^2 + (H - z)^2}}{r} \cos \hat{\theta}_D \tag{6}$$

Step 3: 국부탐색.

추정결과의 정확성을 높이기 위해 ML (maximum likelihood)기법을 통한 국부탐색을 수행한다.

III. 비균일 음속환경에서의 Lee 기법의 추정오차 분석

실제 수중환경에서는 해수의 온도, 수압 및 여러 가지 요인들로 인해 음파의 전달 속도가 다양하게 변화한다. 음속이 일정한 경우 음파는 직선의 경로를 통해 전달되지만 음속이 수심에 따라 변화할 경우 음파는 음속이 낮은 쪽으로 굴절되어 곡선의 경로를 통해 전달된다[7]. 이로 인해 실제 수중환경에서의 음파 전달 양상은 수중에서의 음속이 항상 일정하다고 가정하였던 Lee의 위치추정 기법의 가정과는 상반된다. 따라서 음속이 변하는 실제 비균일 음속 환경에서는 기하학적 추정오차로 인해 그 성능이 저하된다.

그림 2에 선형의 음속구조를 가지는 환경에서 모의 실험을 통한 Lee 기법의 추정결과를 나타내었다. 표적은 $\beta = 45^\circ$, $z = 200\text{m}$, $r = 1200\text{m}$ 에 위치하고 있으며 32개 센서로 구성된 선배열 센서는 400m의 해저면에 위치하고 있다. 음속구조는 음속이 수심이 깊어짐에 따라 1480m/sec에서 1500m/sec로 음속이 증가하는 경우와 1500m/sec에서 1480m/sec로 감소하는 경우를 각각 고려하였으며, 각각의 평면에 수직선을 그어서 실제 표적의 위치를 나타내었다. 비균일 음속환경에서 Lee 기법의 거리추정오차는 최대 200m, 깊이 추정오차는 최대 50m 이상으로 비균일 음속환경에서 큰 추정오차를 가짐을 확인할 수 있다.

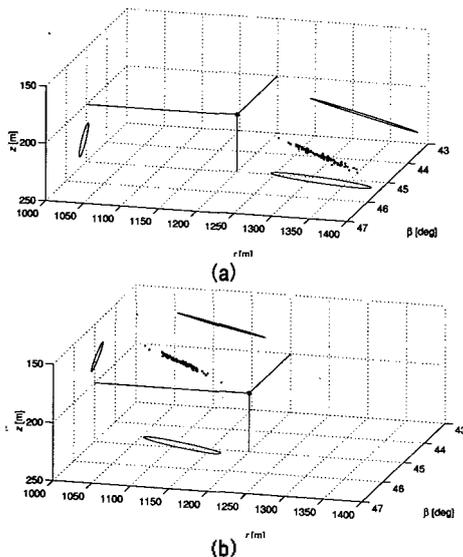


그림 2. 비균일 음속 환경에서의 Lee 기법의 추정 결과 (a) 음속이 증가하는 경우 (b) 음속이 감소하는 경우
 Fig. 2. Localization result of the Lee algorithm for inhomogeneous sound speed. (a) Increasing SSP. (b) Decreasing SSP.

IV. 제안한 비균일 음속 환경에서의 표적 위치추정 기법

본 절에서는 비균일 음속 다중경로 환경에서 선배열 센서를 이용하여 표적의 3차원 위치를 추정하는 기법을 제안하였다. 표적의 3차원 위치는 방위각 β , 수평거리 r , 그리고 깊이 z 로 구성되며 이를 추정하기 위해 비균일 음속환경에서의 음파전달 모델을 구한다.

비균일 음속 다중경로 환경에서 센서를 통해 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$\mathbf{x}(t_n) = \sum_{k \in \{D, S\}} s(t_n - \tau_k) b_k \exp(j\varphi_k) \mathbf{a}(\theta_k, r, z) + \mathbf{e}(t_n) \quad (7)$$

여기서 t_n 은 시간 인덱스 이며 τ_k 는 k 경로를 통해 입사한 신호의 시간지연을 나타낸다. 집합 $\{D, S\}$ 는 각각 직접경로 (direct path)와 해수면반사경로 (surface reflected path)를 나타낸다. b_k 와 φ_k 는 k 경로를 통해서 신호가 전달될 때의 감쇠와 위상의 변화를 각각 나타낸다. $\mathbf{e}(t_n)$ 은 백색 가우시안 잡음이며 $\mathbf{a}(\cdot)$ 는 신호의 방향 벡터로서 센서로 도달하는 신호의 방향 (원추각) θ_k , 표적과 기준센서 사이의 수평 거리 r , 표적의 깊이 z 에 대해서 나타낼 수 있으며 식 (8)과 같이 표현된다.

$$(\theta_k, r_k, z) = \left[e^{-j2\pi f_d \tau_1(\theta_k, r, z)} \dots e^{-j2\pi f_d \tau_M(\theta_k, r, z)} \right]^T \quad (8)$$

여기에서 f_d 는 신호의 중심주파수이며 $\tau_m(\theta_k, r, z)$ 는 신호의 m 번째 센서와 배열센서 중심간의 시간 지연이다.

센서 수신부에서는 식 (7)과 같은 센서 출력신호로부터 직접경로 및 해수면반사경로를 통해 입사하는 신호의 원추각 θ_D , θ_S 와 두 경로 신호의 전달 시간차 τ_{DS} 를 측정할 수 있다[8].

비균일 음속 환경에서는 Lee 기법의 식 (4)~(6)과 같이 측정치 (θ_D , θ_S , τ_{DS})로부터 표적의 위치를 직접 구할 수 있는 관계식의 유도가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 표적의 3차원 위치를 추정하기 위해 탐색 격자 (grid)를 구성한다. 그리고 각 격자마다 음파전달 모델로부터 측정치와 동일한 파라미터인 (θ_{Dj} , θ_{Sj} , τ_{DSj})들을 이론적으로 계산하고 이로부터 식 (9)와 같은 표적 위치추정을 위한 가격함수를 구성한다. 첨자 j 는 탐색 격자의 인덱스이다.

$$(\hat{r}, \hat{z}, \hat{\beta}) = \min_{(r, z, \beta)} (|\tau_{DS} - \tau_{DSj}| + |\theta_D - \theta_{Dj}| + |\theta_S - \theta_{Sj}|) \quad (9)$$

이와 같이 음파 전달 모델에서 j 번째 격자의 위치를 $(r, z, \beta)_j$ 라고 할 때 해당격자의 θ_{Dj} , θ_{Sj} 및 τ_{DSj} 를 구하여 식 (9)와 같이 $(r, z, \beta)_j$ 를 변화시키며 3차원 탐색을 통해 표적 위치 파라미터 $(\hat{r}, \hat{z}, \hat{\beta})$ 를 추정할 수 있다. $(\theta_{Dj}, \theta_{Sj}, \tau_{DSj})$ 는 선형의 음속 구조를 가지는 비균일 음속 환경에서 전달 모델로부터 구한다. 전달모델은 다음과 같이 음파가 전달 되는 수평거리 및 전달시간에 대해 나타낼 수 있다[9].

먼저 수평거리에 대한 음파 전달 모델은 식 (10) 또는 식 (11)로 표현된다.

$$r = \frac{c_{bot}}{g \cos \alpha_D} \left(\sqrt{1 - (c_z / c_{bot})^2 \cos^2 \alpha_D} - \sin \alpha_D \right) \quad (10)$$

$$r = \frac{c_{bot}}{g \cos \alpha_S} \left(2\sqrt{1 - (c_{surf} / c_{bot})^2 \cos^2 \alpha_S} - \sqrt{1 - (c_z / c_{bot})^2 \cos^2 \alpha_S} - \sin \alpha_S \right) \quad (11)$$

각 경로에 대한 음파의 전달 시간은 식 (12)와 식 (13) 및 식 (14)로 표현된다.

$$t_D = \frac{1}{g} \ln \left(\frac{(1 - \sin \alpha_D) c_z}{(1 - \sqrt{1 - (c_z / c_{bot})^2 \cos^2 \alpha_D}) c_{bot}} \right) \quad (12)$$

$$t_S = \frac{1}{g} \ln \left(\frac{(1 - \sin \alpha_S) \left(\sqrt{1 - (c_z / c_{bot})^2 \cos^2 \alpha_S} \right) c_{surf}^2}{(1 - \sqrt{1 - (c_{surf} / c_{bot})^2 \cos^2 \alpha_S})^2 c_{bot} c_z} \right) \quad (13)$$

$$\tau_{DSj} = |t_S - t_D| \quad (14)$$

여기에서 α_D 와 α_S 는 각각 직접경로와 해수면반사경로 신호의 고각 (elevation angle)이며 표적 위치 (r, z) 의 함수이다. c_{bot} , c_{surf} , c_z 는 각각 해저면, 해수면의 음속과 표적이 존재하는 깊이 z 에서의 음속을 나타낸다. g 는 선형 음속 구조의 기울기이다. $g > 0$ 인 경우는 수심이 깊어짐에 따라 음속이 증가하는 경우이고 $g < 0$ 인 경우는 음속이 감소하는 경우이다.

위와 같은 음파 전달 모델이 정의되면 식 (2)와 식 (10), 또는 식 (3)과 식 (11)로부터 원추각 θ_{Dj} 및 θ_{Sj} 를 구할 수 있다. 원추각 θ_{Dj} 는 식 (15)와 같이 유도된다.

$$\cos \theta_{Dj} = \cos \beta \cdot \frac{2grc_{bot}}{\sqrt{(c_{bot}^2 + g^2r^2)^2 - 2(c_{bot}c_z)^2 + (grc_z)^2} + c_z^4} \quad (15)$$

원추각 θ_S 의 경우 식 (3)과 식 (11)로부터 그 관계식의

수학적인 유도가 어렵다. 그러나 α_S 는 r 및 z 의 함수이므로 특정한 r_0 , z_0 에 대한 원추각 θ_S 다음과 같은 수치적 최적화를 통해 구할 수 있다.

$$\tilde{\alpha}_S = \min_{\alpha_i} (|r_0 - r_i(\alpha_i, z_0)|) \quad (16)$$

$$\cos \theta_{Sj} = \cos \beta \cdot \cos \tilde{\alpha}_S \quad (17)$$

식 (16)에서 r_0 는 최적화를 위한 특정한 수평거리이며 r_i 는 식 (11)에서 α_i 를 대입하여 얻은 값이다.

또한 일반적인 탐색기법에서 효율적인 연산 및 성능을 보장하기 위해 초기값의 지정은 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 Lee 기법의 추정 결과를 초기값으로 지정하여 Lee 기법의 추정오차 범위 내에서 탐색함으로써 연산량 감소 및 견실한 추정성능을 가지게 되었다.

V. 모의 실험

5.1. 선형의 음속구조를 적용한 모의 실험

모의실험에서는 비균일 음속환경에서 Lee 기법과 제안한 기법의 위치추정 성능을 비교 분석하였다. 선배열 센서는 등 간격으로 배치된 32개의 무지향성센서를 수심 400m 해저에 배치한 것으로 가정하였다. 표적신호의 중심주파수 f_d 는 100Hz로 설정하였으며, 표본주파수 f_s 는

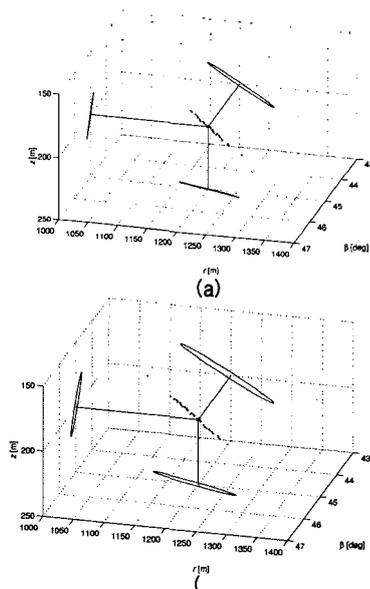


그림 3. 제안한 기법의 위치추정 결과
(a) 음속이 증가하는 경우 (b) 음속이 감소하는 경우
Fig. 3. Localization result of the proposed algorithm.
(a) Increasing SSP. (b) Decreasing SSP.

256Hz로 하였다. 신호 대 잡음비 (SNR)는 0dB로 고정 하였으며 음속구조는 수심이 깊어짐에 따라 음속이 1500m/sec에서 1480m/sec로 감소하는 경우와 1480m/sec에서 1500m/sec으로 증가하는 두 가지 경우를 고려 하였다. 거리에 따른 음속의 변화는 없다고 가정하였다. 위와 같은 환경에서 표적의 방위각은 45°, 표적과의 거리 r 은 1200m, 그리고 표적의 깊이 z 는 200m로 설정 하여 100회의 몬테카를로 (Monte-Carlo) 모의실험을 수행하였다. 3차원 탐색을 위한 탐색격자는 거리 및 깊이 방향으로 1m 간격, 방위각은 0.1°간격으로 구성하였다.

그림 3에 음속이 증가하는 경우 및 음속이 감소하는 비균일 음속 환경에서 제안한 기법의 위치추정결과를 나타내었다. 세 평면에 수직선을 그어 실제표적의 위치를 나타내었으며, 각 평면에는 그 평면을 이루는 두 파라미터에 대한 추정결과의 분산을 타원으로 표시하였다.

그림 2의 Lee 기법을 통한 결과값에서 나타난 추정치의 바이어스(bias)가 그림 3에서는 현저히 감소한 것을 볼 수 있다. 방위각의 추정오차는 0.5°이내이며, 거리추정의 오차는 최대 약 70m, 깊이 추정오차도 최대 30m 이내임을 알 수 있다.

표적 위치에 따른 Lee 기법의 오차 분석 및 제안한 기법의 성능 분석을 위해 표적의 위치를 변화하며 모의 실험을 수행하였다. 그림 4는 표적의 방위각을 30°에서 110°까지 변화시켜가면서 추정오차를 나타낸 결과이다. Lee 기법 및 제안한 기법의 거리추정치와 깊이 추정치의 오차를 각각 나타내고 있으며 추정오차는 제곱근평균제곱오차 (root mean square error: RMSE)로서 나타내었다. 센서 및 표적이 이루는 다중경로 환경은 β 가 90°인 곳을 기준으로 기하적인 대칭을 이루므로 추정

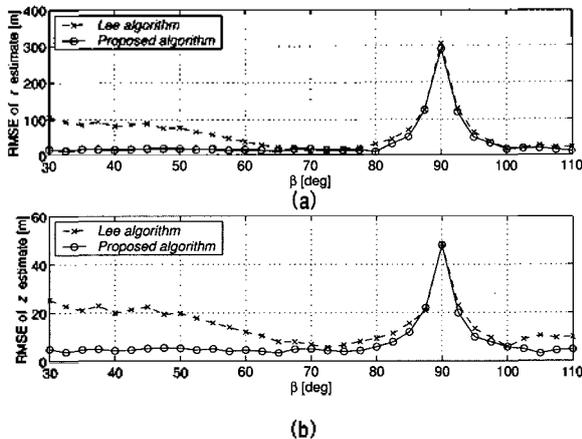


그림 4. β 에 따른 추정 오차 (a) 거리 추정 오차 (b) 깊이 추정 오차
Fig. 4. RMSE with respect to β (Increasing SSP) (a) Range estimate error. (b) Depth estimate error.

결과 또한 90°를 기준으로 유사한 양상을 띠게 된다.

그림 4에 나타난 추정결과에서 Lee 기법의 추정 오차는 방위각이 증가 할수록 감소하는 양상을 볼 수 있는데 이는 방위각이 90°에 가까워 질수록 음속구조에 따른 기하학적 영향을 적게 받기 때문이다. 또한 80°~100°의 방위각에서는 다중경로 효과가 사라져 원추각의 분리추정 및 시간지연 추정이 근본적으로 불가능하므로 두 기법이 전체적으로 큰 오차를 가지고 있음을 볼 수 있다. 그러나 그 이외의 방위각에서는 거리와 깊이의 추정오차가 각각 50m와 10m 이내로서 Lee 기법에 비해서 제안한 기법의 성능이 크게 향상된 것을 볼 수 있다. 표적의 거리가 변하는 경우 표적의 거리가 증가할수록 다중경로 효과가 사라져 원추각의 분리추정 및 시간지연 추정이 근본적으로 불가능하므로 큰 오차를 가지며 그림 5에 그 결과를 나타내었다. 표적의 깊이가 변하는 경우 그림 6에서 나타난 바와 같이 표적의 깊이가 얕아질수록 역시 다중경로 효과가 사라져 큰 추정오차를 가진다.

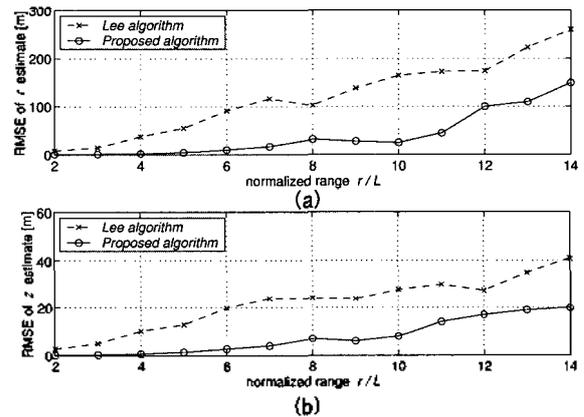


그림 5. r 에 따른 추정 오차 (a) 거리 추정 오차 (b) 깊이 추정 오차
Fig. 5. RMSE with respect to r (Increasing SSP) (a) Range estimate error. (b) Depth estimate error.

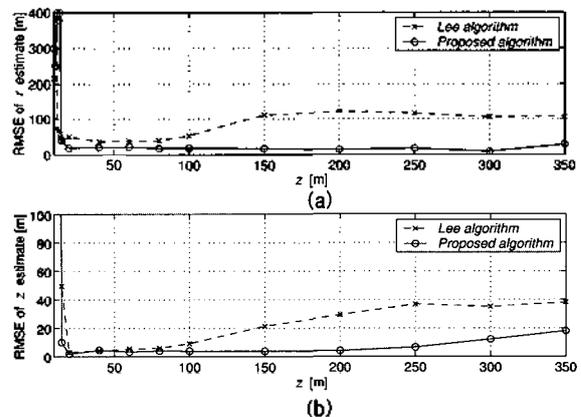


그림 6. z 에 따른 추정 오차 (a) 거리 추정 오차 (b) 깊이 추정 오차
Fig. 6. RMSE with respect to z (Increasing SSP) (a) Range estimate error. (b) Depth estimate error.

5.2. 비선형 음속구조를 적용한 모의 실험

비선형 음속구조를 이용하여 제안한 기법의 성능을 분석하였다. 비선형 음속구조를 제안한 기법에 적용하기 위해서는 이를 선형의 음속구조로 근사화 하여야 한다. 그림 7에 본 모의 실험에서 사용한 비선형 음속구조 및 선형으로 근사화한 음속구조를 나타내었다. 비선형 음속구조는 해수면에서부터 400m 해저까지 음속이 비선형으로 변화하는 구조를 가지고 있으며 이를 근사화한 음속구조는 음속이 1507m/sec부터 1537m/sec까지 선형으로 증가하는 구조를 나타내고 있다. 표적의 위치를 비롯한 모의 실험 파라미터들은 앞의 5.1절과 동일하다. 이를 앞의 4장에서 제안한 기법에 적용하여 표적의 위치를 추정하였다.

그림 8에 Lee 기법 및 제안한 기법을 적용하여 표적의 3차원 위치를 추정한 결과를 나타내었다. 큰 오차를 가지는 Lee 기법에 비해 제안한 기법은 상대적으로 그 오

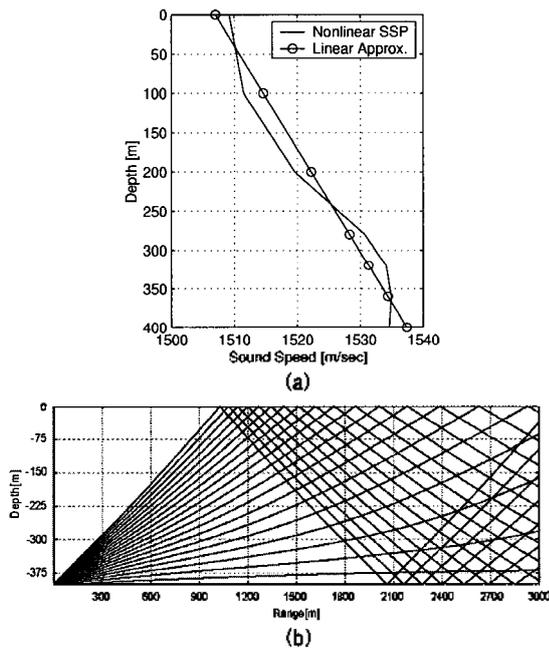


그림 7. 모의 실험에서 사용한 해양 모델 (a) 비선형 음속구조 (b) 음선의 전달 경로
 Fig. 7. Ocean model for this simulation. (a) Non-linear SSP. (b) Ray tracing.

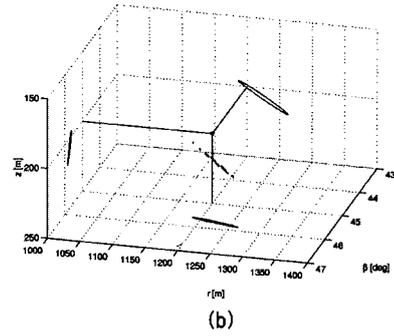
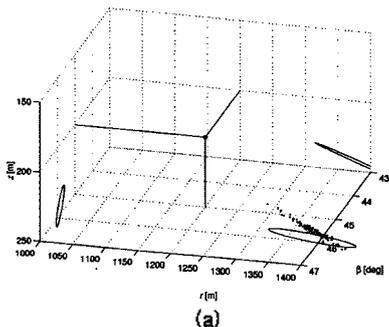


그림 8. 3차원 위치추정결과 (a) Lee 기법 (b) 제안한 기법
 Fig. 8. 3-D localization result (a) The Lee algorithm. (b) The proposed algorithm.

차를 많이 감소시킨 것을 확인할 수 있다. 비선형 음속구조를 선형의 음속구조로 근사화하였기 때문에 전달경로에 의한 오차가 여전히 존재하지만 Lee 기법에 비해 그 오차를 크게 감소시켰으므로 비선형 음속구조를 가지는 실제 해양환경에의 적용 가능성을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 비균일 음속구조를 가지는 다중경로 환경에서 표적의 3차원 위치추정 기법을 제안하였다. 기존의 다중경로 환경에서의 Lee 기법은 고정된 음속을 가정하여 음속이 다양하게 변하는 실제 수중환경에 적용하는데 한계가 있었다. 따라서 본 논문에서는 비균일 음속 다중경로 환경에서 Lee 기법의 추정오차를 정량적으로 분석하였다. 또한 비균일 음속 다중경로 환경에서의 음파의 전달 모델로부터 위치추정 파라미터들을 구하고 (r, z, beta)의 3차원 탐색으로부터 표적의 3차원 위치를 효율적으로 추정하였다. 제안한 기법의 타당성을 검증하기 위해 다양한 환경에서의 모의실험을 통해 제안한 기법을 Lee 기법과 비교 분석한 결과 Lee 기법에 비해 표적의 위치추정 성능이 향상되었음을 확인하였다. 또한 실제 해양환경과 유사한 비선형 음속구조를 적용한 모의 실험에서도 Lee 기법에 비해 제안한 기법이 그 추정 오차가 크게 줄어들음을 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 3차원 표적 위치추정 기법이 음속은 다양하게 변화하는 실제 해양환경에서의 위치추정문제에 그 적용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 국방과학연구소의 육상식별센터를 위한 견실한 표적 특징추출 및 식별에 관한 연구 위탁과제 (NAIMS)에 의하여 지원되었음.

• 최 병 응 (Byung-Woong Choi)



2001년 2월: 경북대학교 공과대학 전자전기공학부 (공학사)
2003년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
*주관심분야: 수중음향신호처리, 표적위치추정, 표적탐지 및 추적

참 고 문 헌

1. D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, *Array Signal Processing: Concepts and Techniques*, (Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993)
2. R. O. Nielson, *Sonar Signal Processing*, Artech House, Inc., Norwood, 1991.
3. C. M. Lee, K. S. Yoon, J. H. Lee and K. K. Lee, "Efficient algorithm for localizing 3-D narrowband multiple sources," *IEE proc. Radar Sonar and Nav.*, **148** (1), 23-26, 2001.
4. J. H. Lee, D. H. Park, G. T. Park and K. K. Lee, "Algebraic path-following algorithm for localising 3-D near-field sources in uniform circular array," *Electronics Letters*, **39** (17) 1283-1285, 2003.
5. S. H. Lee, C. S. Ryu and K. K. Lee, "Near-field source localisation using bottom-mounted linear sensor array in multipath environment," *IEE Proc. Radar, Sonar and Nav.*, **149** (4) 202-206, 2002.
6. 이수형, 류창수, 이준경, "다중경로환경에서 해저고정형 선배열센서를 이용한 근거리표적의 위치추정 기법," *한국음향학회지*, **19** (7) 7-14, Sep. 2000.
7. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, (3rd Ed., McGraw-Hill, 1983)
8. Q. Zhang and J. Huang, "Joint estimation of DOA and time-delay in underwater localization," *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing Conference Proceedings*, 2817-2820, 1999.
9. L. J. Ziomek, *Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing*, (CRC Press, 1994)

저자 약력

• 이 수 형 (Su-Hyoung Lee)



1994년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2001년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2001년 3월~2003년 2월 : 위덕대학교 컴퓨터공학과 강의교수
2003년 3월~2004년 6월 : ㈜비주얼텍 개발실장
2005년 3월~현재: 위덕대학교 에너지전기공학부 전임 강사
*주관심분야: 수중음향신호처리, 표적위치추정, 표적탐지 및 식별