

매설된 선배열 음향센서를 이용한 표적 위치추정 성능향상 기법 연구

A Study to improve a Target Localization Performance using Passive Line Arrays
buried in the Seabed

양인식*
Yang, In-Sik

ABSTRACT

The target localization using the line arrays buried in the seabed is a difficult problem due to the complex sea bottom characteristics and need to compensate the wave propagation effect to localize the target accurately. Sound speed mismatch in the seabed causes a bias in the target bearing estimation and induces the localization error.

In this paper we describe a target localization method with improved accuracy of target bearing and localization by calibration the sound speed in the seabed. The proposed algorithm is verified through the ocean data.

주요기술용어(주제어) : Target Motion Analysis(표적 기동 분석), Target Localization(표적 위치 추정), Internal Wave(내부파), Sound Velocity Profile(음속 분포), Ambiguity area(모호 영역), Preformed Beam(PFB : 지향 빔)

1. 서론

한반도 주변국들의 잠수함 및 잠수정과 같은 위협 수중 세력은 주요 군사/산업 시설이 밀집하고 국내외 물동량의 대부분을 수용하는 선박들이 출입하는 주요 항만 시설이 심각한 위협 대상이 되고 있다.

항만 감시를 목적으로 한 수동 소나 시스템은 2조 이상의 선배열 센서를 항만 입구에 매설하여 항만으로 침투하는 적의 수중 세력에 대하여 탐지/추적/위

치 추정을 하고, 주변 대잠 세력에 정보를 제공하는 수중 조기 경보를 수행하는 시스템이다. 또한 3조를 해저에 매설하여 전 방위의 표적 탐색 및 위치 추정이 용이하도록 설계하였다. 그러나 선배열 센서가 매설되어 있는 해역의 매질에 따른 음파전달 특성과 해양 환경은 표적 추적 오차를 유발시키며, 부정확한 표적 위치 추정의 원인이 된다.

항만으로 침투하는 세력에 대한 정확한 표적 탐지, 위치 추정 및 기동 분석을 위해서는 매설 해역의 음파전달 특성 및 매설로 인한 오차 원인 분석과 이에 대한 보정이 필수적이다.

본 논문에서는 3축의 해저 고정형 선배열 센서에 대하여 매설 센서 해역의 해양 환경에 적합한 표적

† 2005년 4월 29일 접수~2005년 6월 7일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : insic@add.re.kr

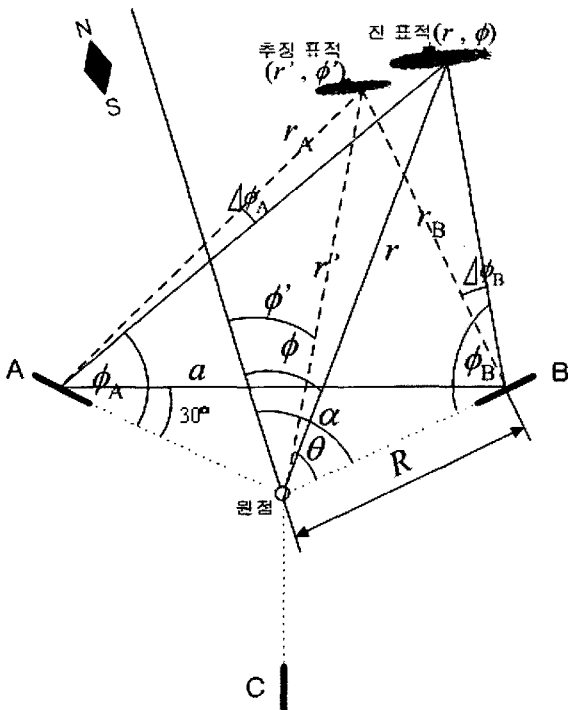
위치 추정 기술을 제안하였다. 이를 위하여 4차례에 걸친 해상 실험 자료를 이용하여 위치 추정 오차를 유발시키는 원인을 분석하고, 각 축별 음속 보정을 수행하였다.

2장에서는 위치 추정 알고리즘과 표적 기동 분석 필터에 대하여 기술하였으며, 3장에서는 위치 추정 오차 분석 및 위치 보정 과정을 기술하였다. 4장에서는 보정된 위치 추정을 이용한 해상 실험 적용 결과를 기술하였고, 5장에서는 결론을 기술하였다.

2. 표적 위치 추정 및 기동 분석

본 연구에서는 그림 1과 같이 'Y' 형태로 배치된 세 축의 선배열 센서를 고려하였으며, 각 센서 배열을 A축, B축, C축이라 명명하였다.

그림 1에서 표적의 방위각(ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C)는 각 축에서 탐지 및 추적된 결과 값이다. 각 축은 표적의 방위를 초기화하고, 추적 필터를 통하여 시간에 따



[그림 1] 표적 위치 추정

라 변하는 표적의 방위를 갱신하여 시각 k 에서의 $[\phi_A(k), \phi_B(k), \phi_C(k)]$ 를 산출한다. 계산된 3축의 방위각 중에 한축의 방위각 정보는 표적 방위에 end-fire 영역에 위치하므로 일반적으로 표적의 위치에 따라 2축의 방위 정보를 이용하여 방위각을 이용한 직선의 교점으로부터 표적의 위치를 추정하고, 필요시 3축의 방위 정보를 이용하여 표적의 위치를 추정한다. 그러나 실제 해양 환경에서 표적의 위치를 추정할 경우, 매설 센서의 위치 오차, 표적의 방위 및 거리에 따른 빔 폭 및 음파 전달 특성 변화 등으로 인하여 각 축별 방위 오차가 발생한다.

초기의 표적 위치는 두 축 이상의 표적 방위각을 이용한 직선이 교차하는 교차점에서의 거리(r) 및 방위(ϕ)로서 표적의 위치를 산출하지만, 방위 오차를 유발시키는 변수들로 인하여 식 (1), (2)와 같이 삼각형 제2코사인 법칙에 의해 표적(r', ϕ')의 위치를 추정한다.

$$r' = \sqrt{R^2 + r_B^2 - 2Rr_B \cos(\phi_B - \Delta\phi_B)} \quad (1)$$

$$\phi' = \alpha - \theta \quad (2)$$

$$\text{where, } \theta = \sin^{-1}\left(\frac{r_B}{r'} \sin(\phi_B - \Delta\phi_B)\right)$$

이 때, 추정된 표적의 위치는 거리 오차 $\Delta r(r-r')$ 와 방위 오차 $\Delta\phi(\phi-\phi')$ 를 포함한다. 표적의 방위 오차 $[\Delta\phi_A, \Delta\phi_B, \Delta\phi_C]$ 는 식 (3)과 같이 표현되며, 오차 발생 원인은 $f[\cdot]$ 로서 표현된다.

$$[\Delta\phi_A, \Delta\phi_B, \Delta\phi_C] = f[(\Delta x, \Delta y), \Delta b, \Delta c] \quad (3)$$

표적 방위 오차 발생 원인으로서는 매설 센서의 위치 오차($\Delta x, \Delta y$), 빔 폭에 의한 오차(Δb) 및 해저 매질의 음파전달특성 변화(Δc)에 의한 오차 등이다. 위 식 (1)~(3)로부터 산출한 구좌표계의 초기 표적의 위치(x, y)는 2차원 평면의 직교좌표계로 변환하여, 등속도 모델로 가정한 추적 필터를 이용하여 시간에 따라 갱신된다. (x_k, y_k) 는 시각 k 에서의 표적의 위치 좌표이며, (\dot{x}_k, \dot{y}_k) 는 (x_k, y_k) 의 변화량이다. 표적 이동을 등속도로 가정하면, 시각 k 에서의 상태

벡터는 $X_k = [x_k \ y_k \ \dot{x}_k \ \dot{y}_k]$ 로 정의된다. 이 때, 표적의 위치 갱신을 위하여 식 (4)와 같이 표현되는 칼만 필터를 이용하였다. F_k , H_k 는 표적의 위치 좌표를 갱신하기 위한 상태 천이 행렬, T 는 적분시간이며, w_k , v_k 는 각각 가우시안 랜덤 분포를 갖는 공정 잡음과 측정 잡음이다. 또한 Z_k 는 시각 k 에서의 측정치이다.

$$X_{k+1} = F_k \cdot X_k + w_k$$

$$Z_k = H_k \cdot X_k + v_k \tag{4}$$

where, $F_k = \begin{pmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$,

$$H_k = [1 \ 1 \ 0 \ 0],$$

식 (4)로부터 갱신한 표적의 위치 정보는 매 시점에서 산출한 위치 측정치와의 연계 과정을 통하여 $k+1$ 상태의 위치 정보로 표적의 위치를 최종 갱신한다. 표적 갱신 정보를 이용하여 표적의 위치 (x_k, y_k) 뿐만 아니라, 속력 $(\sqrt{\dot{x}_k^2 + \dot{y}_k^2})$ 과 침로 $(\tan^{-1}[\dot{x}_k/\dot{y}_k])$ 를 산출하여 표적 기동 분석(Target Motion Analysis)을 하게 된다.

3. 표적 위치 오차 원인 분석 및 오차 보정

이론적 근거를 두고 산출한 표적 방위 및 위치는 식 (3)의 오차 발생 원인들로 인하여 정밀한 표적 위치 추정이 제한된다. 이러한 방위 오차를 유발시키는 원인은 매우 다양하지만, 크게 방위별 빔 폭에 따른 모호 영역에 의한 방위 오차, 센서 매설로 인한 음속 오정합에 의한 방위 오차가 있다. 빔 폭에 따른 모호 영역에 의한 방위 오차는 설계된 장비가 가지는 오차로서 이론적 거리별 오차 크기를 의미하며, 허용 가능한 최소 오차가 된다. 센서 매설로 인한 음속 오정합에 의한 방위 오차는 각 센서가 매설된 위치의 음속과 장비에 적용된 음속이 불일치하여 발생하는 것으로 원인 분석을 통하여 보정이 가능하다.

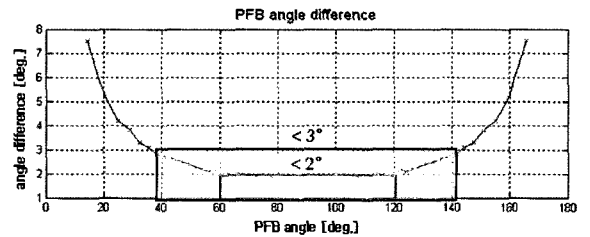
가. 이론적 표적 위치 오차 범위

표적 거리/위치별 이론적 오차 범위를 계산하기 위하여 빔 폭에 따른 모호 영역에 의한 방위 오차는 장비의 PFB(Pre-formed Beam)에 따른 방위각 차를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

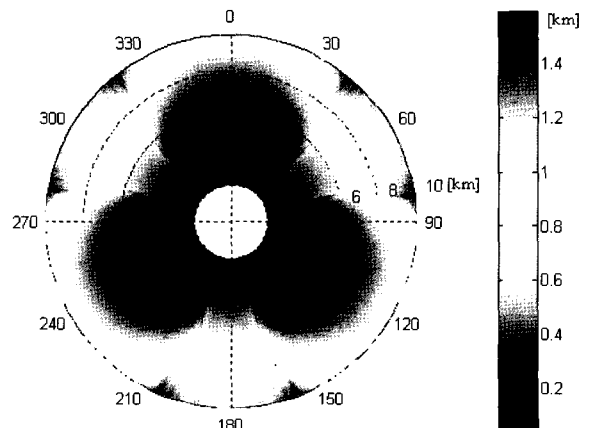
각 축의 표적 탐지 방위각 차는 그림 2와 같이 표적 방위에 따라 빔 폭이 다르게 나타난다. 가로축은 방위각이며, 세로축은 지향 빔이 갖는 빔 폭을 나타낸다. 그림 2와 같이 90°를 broadside 영역으로 볼 때, 60°~120° 영역에서는 2°이하의 빔 폭을 보이며, 점차 end-fire영역으로 갈수록 빔 폭이 최대 7°이상으로 넓어진다. 이는 표적 방위의 이론적인 위치 추정 오차 범위를 의미한다.

그림 3은 선배열 센서 감시 영역내의 거리별, 전방위에 대하여 빔 폭에 따른 모호 영역의 크기를 나타낸 것이다.

대체로 거리에 따른 표적 위치의 모호 영역은 실제 거리의 10%이내이며, 각 축의 end-fire영역에서는



[그림 2] PFB에 따른 방위각 차



[그림 3] 전방위 모호 영역 분석

10%이상인 구간이 발생하지만, 이 때 모호 영역의 중심은 10km를 벗어난 영역으로서 대체로 원점을 기준으로 10km까지는 실제 거리의 10%이하 모호 영역을 갖는다.

표적 방위 및 거리에 따른 이론적인 오차의 영향은 방위에 비해 거리에 따라 크게 나타나며, 오차 범위는 10km이내를 기준으로 10%이하의 오차를 갖는다. 최대 오차 범위는 식 (5)와 같이 근사화된다.

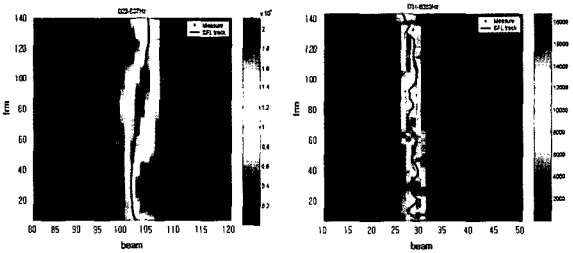
$$\Delta r [km] \cong 0.01r^2 \quad (5)$$

나. 표적 위치 오차 분석

매질 음속의 오정합은 신호처리기 빔형성기의 시간 지연 값의 오정합에 의해 발생하는 것으로 센서 매설로 인한 내부파에 의한 음속 변화 및 해저 매질 특성에 의존한다.

내부파는 시공간적인 음장의 위상 변화로서, 바람의 압력차와 매설 센서가 위치한 천해에서와 같이 수온약층의 밀도 불연속으로 인하여 발생한다. 이러한 현상은 음파 도달 시간과 신호 강도를 불규칙하게 변화시켜 표적 탐지 방위 교란을 유발하는 원인이 된다^[1].

그림 4는 해상 실험 결과로서 방위 추적이 정상인 경우와 불안정한 경우를 비교한 것이다. 모의 신호의 특정 주파수에 대한 BTR(Bearing Time Record)로 가로축은 빔 영역이며, 세로축은 갱신 시간에 따른 샘플이다. 그래프의 ‘*’의 측정치와 흑색 실선의 방위 추적 결과를 겹쳐 추적 성능을 분석하였다. 그림 4(a)와 같이 표적이 위치한 빔에서 신호 강도가 일정한 경우에는 정상적인 방위 추적이 가능하며, 방위 오차



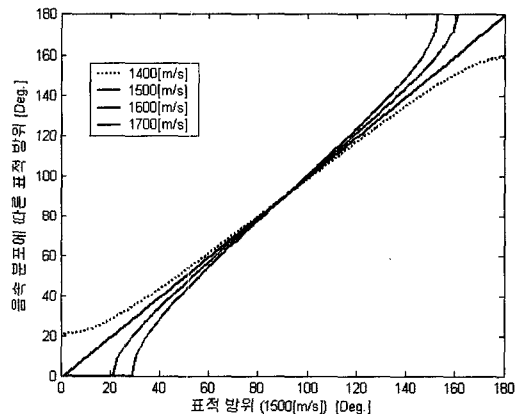
(a) 정상인 경우 (b) 불안정한 경우

[그림 4] 방위 오차 원인 분석

가 1°이내이지만, 그림 4(b)와 같이 표적이 빔의 침투치가 찌그러져 불안정하게 좌, 우로 흔들리는 경우 최대 5°이상의 방위 오차를 발생시킨다. 이러한 현상은 해상실험 기간 중 간헐적으로 나타났으며, 원인은 해양 환경에서의 불규칙한 음파 전달 특성으로 인한 내부파(internal wave)의 영향으로 분석된다^[2]. 그러나 내부파는 간헐적으로 발생하며, 주기성을 찾기 어려워 확률적으로 예측이 불가능하므로 본 연구에서는 장비의 특성을 고려하여 오차 보정을 위한 요소에서 제외하였다.

매질에 따른 음속 변화는 센서 매설로 인해 발생하며, 센서가 매설된 위치의 해저 매질특성에 영향을 받는다^[3,4]. 해저 매질의 특성 따른 음파 전달 특성에 관한 연구는 지음향 및 해저 지질 분석을 위해 폭넓은 연구가 진행되어 오고 있으며, 음파전달 속도는 매질 특성에 따라 1440~1900m/s의 구간으로 알려져 있지만, 실제 매설 해역의 정확한 음속을 찾기는 어려운 실정이다^[5]. 이러한 매질 음속은 신호처리기의 입력 변수로 사용되어, 방위각 계산 산출시 직접적인 영향을 준다.

그림 5는 음속 오정합에 따른 방위 오차 경향을 분석한 결과이다. 빔 형성의 시간 지연 값($\tau = d \cos \theta / c$)은 센서간의 거리(d), 음속(c)의 함수이며, 센서 수와 간격은 장비의 설계 과정에서 결정되는 요소이지만, 음속은 운용 해역 및 해저 매질 등의 영향을 받으므로 방위 및 표적의 위치 오차를 줄이기 위해서 운용



[그림 5] 음속의 오정합에 따른 오차 경향

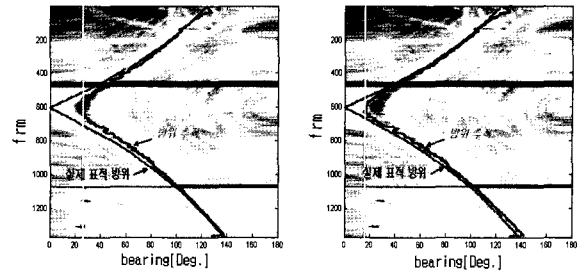
해역 특성에 적합한 음속 추정 이 필요하다.

다. 해상실험을 통한 오차 보정

각 센서별 매설 해역 특성에 적합한 음속 추정을 위하여 4회의 해상 실험을 수행하였다^[6,7]. 2회 해상 실험은 고정 음원을 이용하였으며, 오차 패턴을 위한 실험적 모델을 만들었다. 나머지 2회 해상 실험은 이동 음원을 이용하였으며, 각 축별 전 방위에 대한 패턴 분석과 보정에 적용되었다. 성능 분석은 각 축별 표적 방위 추적 결과를 이용한 위치 추정 결과와 실제 표적의 위치를 비교, 분석하였다.

해상 실험에 사용된 표적은 모의 신호 발생기(ST-II)를 이용하였고, 실험적 모델을 생성하기 위해 적용된 음속값은 1500m/s이다. 그림 6과 같이 9개의 고정 위치에 표적을 두고 실험하였다. 모의 신호 발생기로부터 방사되는 신호에 대한 방위 추적 결과와 실제 표적 방위를 비교하였고, 방위 오차와 표준 편차를 분석하였다. 축별 표적 방위 오차의 경향 분석을 위해 방위 바이어스와 표준 편차는 Root Mean Square Error(RMSE)를 이용하여 산출하였다.

그림 6의 검은색 실선은 각 축에서 9개의 고정 표적의 위치를 본 실제 표적 방위이며, A축의 추적 방위 평균 오차와 표준 편차는 적색, B축은 청색, C축은 흑색으로 나타내었다. 각 축별 오차 경향을 분석한 결과, C축은 평균 오차 및 표준 편차가 0.5°이하



(a) 음속 1500m/s (b) 음속 1600m/s
[그림 7] 음속에 따른 표적 추적 성능 분석(B축)

로 추정된 방위각이 정확하여 매설 센서의 위치 좌표가 거의 정확함을 알 수 있다. A축은 위치에 따라 차이는 있지만, 실제 표적 방위에 비해 평균 약 1°의 방위 오차를 가지며, A축을 기준으로 위쪽은 '-', 아래쪽은 '+'의 오차 경향을 보인다. B축은 A축에 비해 평균 오차가 1°이상으로 위치에 따라 불안정하게 나타나며 원점을 기준으로 안쪽으로 평행 이동한 경향을 보이며, 최대 3°이상의 오차가 발생한다.

실험적 모델로부터 A축, C축에 비해 방위 오차가 큰 B축을 중심으로 음속 보정을, A축은 평균 오차로 나타난 1°의 바이어스 보정을 실시하였다.

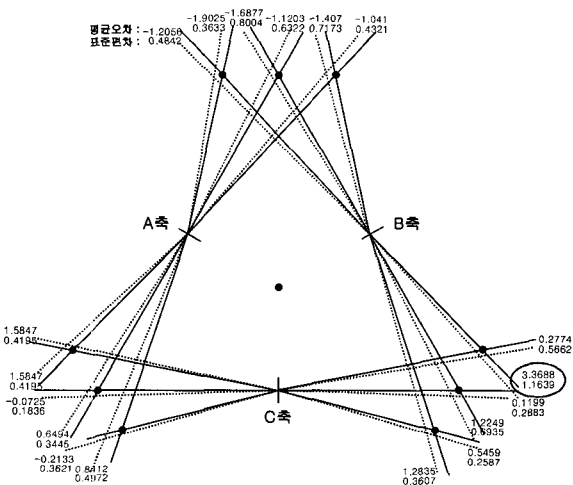
그림 7은 해상실험 결과를 이용하여 음속에 따른 표적 추적 성능 결과를 나타낸 예이다. 가로축은 방위각, 세로축은 시간 프레임이다. 그림에서 음속 보정을 통하여 실제 표적 방위에 근접하고 있음을 알 수 있다. 이는 매질 음속에 따른 음속의 오정합에 의한 원인이므로 최소 오차를 가지는 음속 산출을 위한 오차 보정이 필요하다.

B축에 대한 음속 오정합에 의한 방위 오차의 최소가 되는 음속을 찾기 위해 식 (6), (7)을 이용하여 1400~1700m/s 구간에서 평균 오차(Q(i))를 최소화하는 음속값(\hat{c})을 산출하였다.

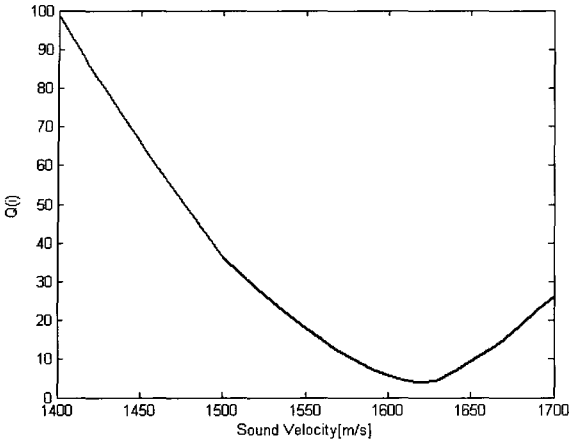
$$\hat{c} = \underset{i}{\operatorname{argmin}} Q(i) \tag{6}$$

$$Q(i) = \sum_{n=1}^N [f(n) - p_i(n)]^2 \tag{7}$$

where, $1400 \leq i \leq 1700$



[그림 6] 실험적 모델



[그림 8] 최적의 음속값(\hat{c}) 산출 결과(B축)

$N(n=1,2,3,\dots,N)$ 은 데이터 샘플 수이며, $f(n)$ 은 n -th 데이터 샘플에서의 실제 표적 방위이며, $p_i(n)$ 은 음속 i 에서 n -th 데이터 샘플에서의 방위 추적 결과이다.

식 (6), (7)로부터 그림 7의 B축 선배열 센서의 방위 오차를 최소화하기 위한 최적의 음파전달속도는 그림 8과 같이 계산되어, 최적의 음파전달속도(\hat{c})는 1620m/s임을 확인하였다.

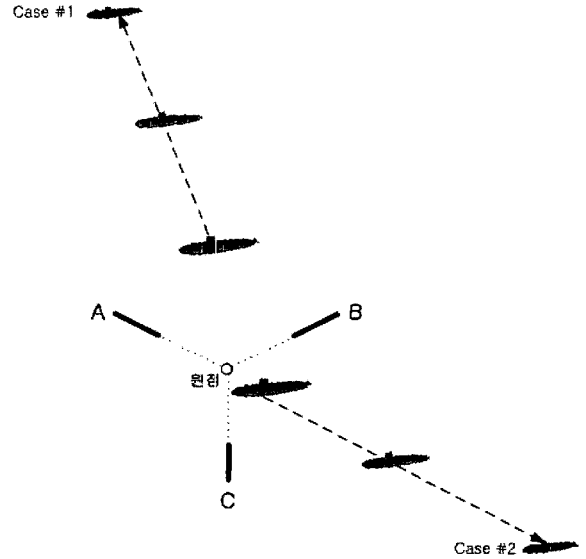
A축, C축은 실험적 모델과 위 과정을 통하여 최적의 음속값이 1500m/s임을 확인하였다.

4. 해상실험 결과 고찰

해상 실험 결과를 바탕으로 각 축별 방위 오차 보정 변수를 적용하여 두 가지 경우에 대하여 표적의 위치 추정 성능을 비교하였다.

첫 번째는 그림 9와 같이 A축과 B축을 기준으로 북서 방향 4kts의 일정한 속력으로 이동하는 경우에 대하여 축별 오차 경향 분석 및 오차 보정 결과를 이용하여 표적의 위치 추정 성능을 비교하였으며, 두 번째는 B축 C축을 기준으로 남동 방향으로 이동하는 표적에 대하여 표적 위치 추정 성능을 비교하였다.

A축은 실험적 모델을 바탕으로 음속 1500m/s와 평균 오차 바이어스 1°를 보정하였으며, B축은 음속의 오정합에 따른 오차를 줄이기 위해 식 (6), (7)을



[그림 9] 실험 요도

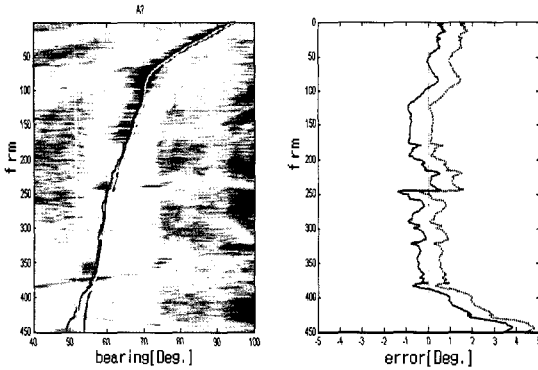
이용하여 1620m/s로 음속을 변경하여 위치 추정 성능을 비교하였다. C축은 음속 1500m/s에서 평균 오차와 표준편차가 0.5°이하이므로 보정하지 않았다.

가. Case (1)에 대한 성능 고찰

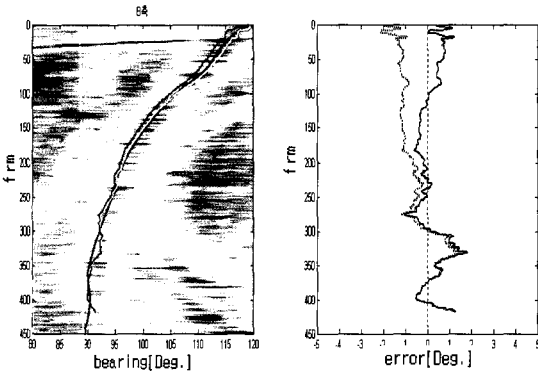
Case (1)은 A축과 B축의 표적 방위 추적 결과를 이용하여 표적의 위치를 추정하였다. 원점을 기준으로 A축 바깥쪽을 0°로 두고, 시계방향으로 ϕ_A 가 계산되어 표적은 A축을 기준으로 약 90°에서 55°의 방위 변화를 보인다. B축은 A축과 같이 원점을 기준으로 B축 바깥쪽을 0°로 두고, 시계방향으로 ϕ_B 가 계산되어 실제 표적 방위는 240°에서 270°로 방위 변화를 보인다. B축은 선형 배열을 가지므로 실제 표적 방위의 대칭 방위의 데이터를 이용하여 비교하였다.

그림 10은 A축, B축 방위 추적 결과를 실제 표적 방위와 비교한 것이다. 그림 10(a)는 A축 방위 추적 결과이며, 그림 10(b)는 B축 방위 추적결과이다.

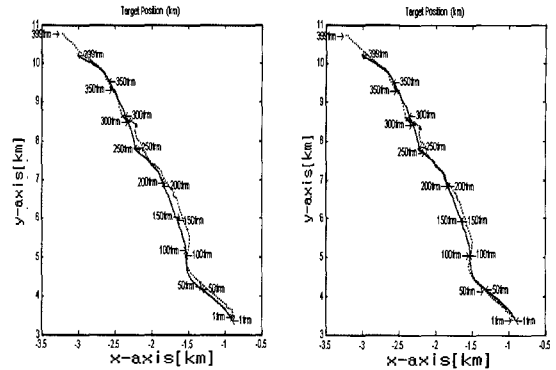
그림 10(a)의 왼쪽 그림에서 흑색 실선은 실제 표적 방위각이며, 청색 실선은 평균 오차 오바이어스 보정 전의 방위 추적 결과이며, 흰색 실선은 실험적 모델로부터 얻어진 평균 바이어스를 보정한 후의 방위 추적 결과이다. 보정 전과 보정 후의 방위 추적 결과를 실제 방위값과의 차를 우측 그림에 비교하였



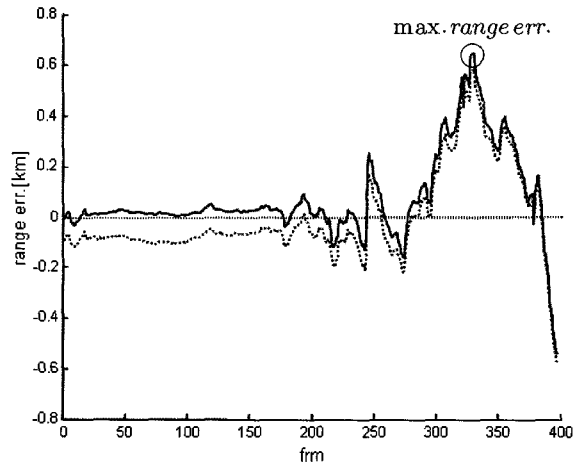
(a) case (1)의 A축 방위 추적 결과



(b) case (1)의 B축 방위 추적 결과
[그림 10] case (1)의 방위 추적 결과



(a) 보정 전 (b) 보정 후
[그림 11] case (1)의 표적 위치 추정 결과



[그림 12] case (1)의 표적 위치 추정 결과

다. 우측 그림의 점선은 보정 전의 오차이며, 실선은 보정 후의 오차 결과이다. 평균 방위 오차는 보정 전 1.02°에서 보정 후 0.66°로 보정 전에 비해 향상된 결과를 보인다.

그림 10(b)의 왼쪽 그림에서 청색 실선의 음속 보정 전과 흰색 실선의 보정 후의 결과를 흑색 실선의 실제 표적 방위와 비교하였다. 우측 그림의 점선은 보정 전의 오차이며, 실선은 보정 후의 오차 결과이다. 평균 방위 오차는 음속 보정 전 0.85°에서 보정 후 0.46°로 보정 전에 비해 평균 오차가 0.39°의 향상된 방위 추적 결과를 보인다.

그림 11은 A축, B축 방위 추적 결과를 이용하여 점선으로 표현된 표적의 위치 추정 결과를 실선의 실제 표적 위치와 비교하였다.

그림 11에서 알 수 있듯이 오차 보정 후의 결과는

250프레임 이내의 구간에서 보정 전에 비해 향상된 결과를 보인다.

그림 12는 그림 11의 위치 추정 결과와 실제 표적 위치에 대하여 각 시간 프레임별 보정 전과 보정 후의 거리 오차에 대한 수치적인 분석 결과이다. 점선은 보정 전의 위치 오차이며, 실선은 보정 후의 위치 오차를 나타낸다.

그림 12에서 최대 거리 오차는 약 10km지점에서 0.59km에서 0.65km로 보정 후 0.06km의 거리 오차가 늘어났지만, 전체 샘플에서의 평균 위치 오차는 보정 전의 평균 0.13km에서 0.10km이하로 위치 추정 성능이 향상되었다.

나. Case (2)에 대한 성능 고찰

Case (2)는 B축과 C축의 표적 방위 추적 결과를 이용하여 표적의 위치를 추정하였다. 원점을 기준으로 B축은 약 160°에서 80°로 방위 변화를 보인다. C축은 원점을 기준으로 C축 안쪽을 0°로 두고, 시계방향으로 ϕ_c 가 계산되어 실제 표적 방위는 20°에서 110°로 방위 변화를 보인다. B축은 case (1)과 같이 1600m/s로 음속 보정을 하였으며, C축은 실험적 모델을 바탕으로 평균 오차 및 표준 편차가 거의 없기 때문에 바이어스나 음속 보정을 하지 않았다.

그림 13은 B축, C축 방위 추적 결과를 실제 표적 방위값과 비교한 것이다. 그림 13(a)는 B축 방위 추적 결과이며, 그림 13(b)는 C축 방위 추적 결과이다.

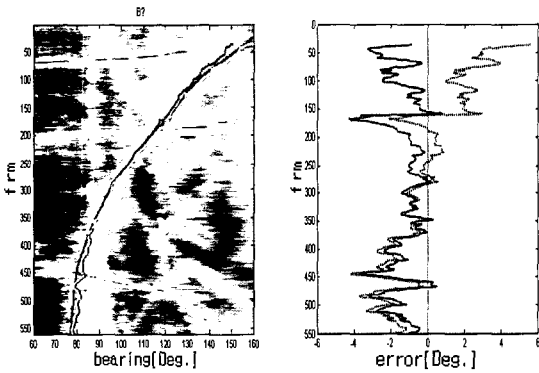
그림 13(a)의 왼쪽 그림의 흑색 실선은 실제 표적의 방위각, 청색은 보정 전의 표적 방위이며, 흰색 실

선은 보정 후의 표적 방위이다. 우측 그림의 점선은 보정 전의 오차이며, 실선은 보정 후의 오차 결과이다. B축 평균 방위 오차는 보정 전 1.57°에서 보정 후 1.29°로 보정 후 향상된 결과를 보인다. 그림 13(b)의 C축 방위 추적 결과는 평균 방위 오차가 실험적 모델과 유사한 1°이내의 오차를 가지므로 보정을 하지 않았다.

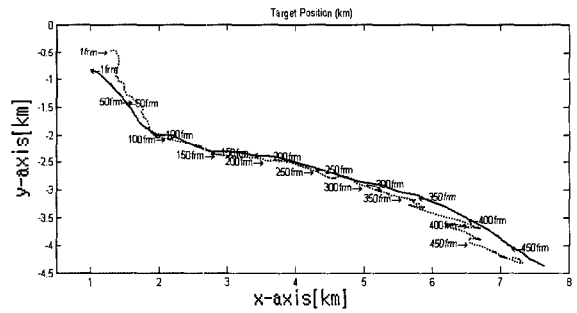
그림 14는 B축, C축 방위 추적 결과를 이용하여 위치 추정한 결과이다. 그림 14(a), (b)의 점선은 보정 전, 후의 표적 위치 추정 결과이고, 실선은 실제 표적 위치 값이다.

그림 15로부터 평균 위치 오차는 보정 전 0.043km에서 보정 후 0.022km로 0.021km의 위치 오차가 줄어들었으며, 최대 거리 오차가 발생하는 약 8km지점에서 보정 전 0.396km에서 보정 후 0.258km로 0.138km의 위치 추정 성능 향상을 볼 수 있다.

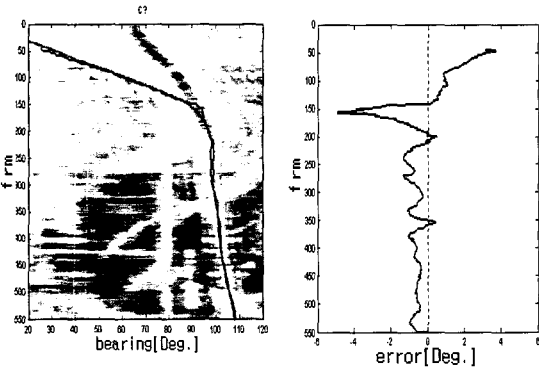
위치 추정 성능 향상은 해상 실험을 통하여 검증하였고, 오차 보정 전과 보정 후의 표적 방위 추적 및



(a) case (2)의 B축 방위 추적 결과

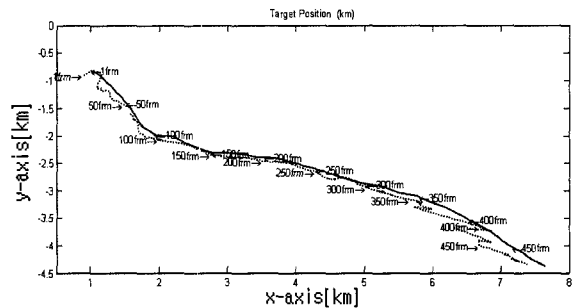


(a) 보정 전



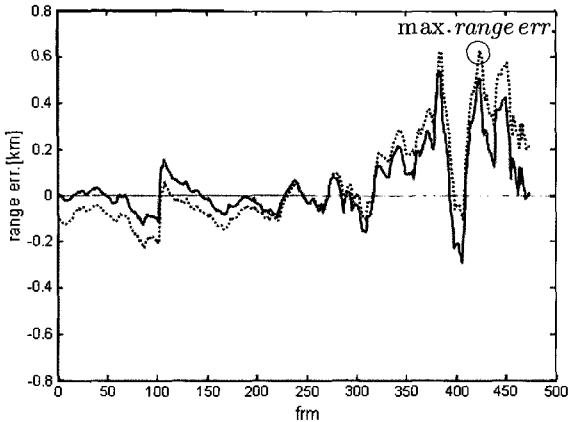
(b) case (2)의 C축 방위 추적 결과

[그림 13] case (2)의 방위 추적 결과



(b) 보정 후

[그림 14] case (2)의 표적 위치 추정 결과



[그림 15] case (2)의 표적 위치 추정 결과

[표 1] 표적 위치 추정 성능 결과표

실험명	오차 평균		보정 전	보정 후
case(1)	방위 추적	A축	1.02°	0.66°
		B축	0.85°	0.46°
	위치 추정	평균	0.13km	0.10km
		최대	0.59@10km	0.64@10km
case(2)	방위 추적	B축	1.57°	1.29°
		C축	0.81°	0.81°
	위치 추정	평균	0.043km	0.022km
		최대	0.40@8km	0.26@8km

평균 위치 추정 성능은 표 1과 같다.

표 1에서 위치 추정 성능은 오차 보정 전에 비해 평균 오차는 약 50%, 최대 오차는 약 40% 향상되었음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 고정형 선배열 센서를 이용하여 매설 센서 해역에 적합한 표적 위치 추정 기법을 연구하였고, 표적의 위치 오차의 이론적 크기와 오차 원인을 분석하였다. 또한 해상 실험 결과를 이용한 실험적 모델을 바탕으로 바이어스 보정 및 매설 센서 해역의 음파전달 특성 보정을 통하여 불규칙한 해양 환경에 강인한 표적 위치 추정 기술을 제안하였다.

참고 문헌

- [1] 박창주 외 3명, “연안 내부파에 의한 음파 전달 영향”, 해상무기체계발전세미나. 2002.
- [2] Steven F. and Roger O., “Horizontal array beamforming in an azimuthally anisotropic internal wave field”, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 114, No. 1, July 2003, pp.131~144.
- [3] 박정수 외 2명, “위탁연구보고서(천해 해저면 설치 능수동 소오나의 음파 전달 특성 연구)”, 국방과학연구소, NSDC-408-040242, 2004. 2.
- [4] 나영남 외 2명, “한국 동해에서 내부파에 의한 음향신호의 간섭”, 국방과학연구소, NSDC-413-000349, 2000. 3.
- [5] 이치원 외 31명, “위탁연구보고서(체계설치해역의 탄성파층서 및 심부시추자료획득)”, 국방과학연구소, NSDC-408-040241, 2004. 2.
- [6] 양인식 외 3명, “해상시험 결과 보고서 I(문무체계 선배열음탐장비 1차, 2차 해상시험)”, 국방과학연구소, NSDC-301-050229L, 2005. 2.
- [7] 양인식 외 3명, “해상시험 결과 보고서 II(문무체계 선배열음탐장비 3차, 4차 해상시험)”, 국방과학연구소, NSDC-317-050230L, 2005. 2.