

# 단기선(SBL) 음향위치 시스템의 정도 개선

박해훈\* · 윤갑동\*\*

## Improvement of the Accuracy of Short Baseline Acoustic Positioning System

*Hae-Hoon Park · Gab-Dong Yoon*

..... < 目 次 > .....	
요약	III. 시뮬레이션
Abstract	IV. 실측 음향위치의 정도 개선
I. 서 론	V. 결 론
II. 비컨 방식의 단기선(SBL) 음향 위치시스템	참고문헌

### 요 약

수중음향 위치시스템은 해상뿐만 아니라 수중 표적의 위치 측정에 널리 쓰이고 있다. 최근에 이러한 시스템은 해양 시설물의 설치나 수중 구조물의 검사 등 여러 분야에서 응용되고 있다. 그러나, 이들 시스템은 잡음이 섞인 수신 신호와 파랑에 의한 측정 선박의 불규칙한 운동 등으로 인하여 위치 오차를 포함하고 있기 때문에, 이 논문에서는 위치의 정도를 높이기 위하여 단기선(SBL) 음향위치 시스템에 칼만 필터를 적용시켰다. 필터에 의해 결정된 최적 위치는 원래의 잡음이 섞인 위치보다 개선된 것을 시뮬레이션과 기존의 실측 자료를 이용하여 비교 확인하였다.

### Abstract

Underwater acoustic positioning systems have been extensively used not only in surface position fixing but also in underwater position fixing. Recently, these systems have been applied in the field of installation and underwater inspection of offshore platforms etc. But in these systems are included the fixing errors as results of a signal with noise and irregular motion of vessel by ocean waves.

In this paper to improve the accuracy of the position fixing a Kalman filter is applied to the short baseline(SBL) acoustic positioning system. The optimal position obtained by the Kalman filter is compared with the raw position and it is confirmed that the former is more accurate than the latter.

\*釜山水産大學校 水産物理學科

\*\*釜山水山大學校 水産物理學科

I. 서 론

수중음향 위치 시스템(Milne, 1983)은 해저에 설치된 트랜스폰더나 비컨 같은 기준점을 이용하여 해면과 수중 물체의 상대적인 위치를 구하는 곳에 쓰이고 있다. 이러한 위치 시스템은 1960 년대 전후에 미사일의 낙하 지점의 위치를 원거리에서 파악하거나, 1963 년 수심 2500m 에서 실종된 미국 핵잠수함 Thresher 호를 찾기 위해 사용된 것으로 처음 보고되었다. 최근에 이러한 위치 시스템들은 외해의 플랫폼의 검사나 해저 조사, Dynamic positioning, 다이버 및 무인 잠수정을 이용한 수중탐색 분야 등에 이용되고 있으며, 또, 줄의 양끝점 사이의 상대위치는 수중 줄의 장력을 측정하는 데도 응용될 수 있다(Park, 1993). 해저 기준점에 대해 선박의 위치를 결정하는 데는 대표적으로 세 가지의 음향위치 시스템이 있다.

그것은 단기선(SBL : short baseline), 초단기선(SSBL : supershort baseline) 및 장기선(LBL : long baseline) 시스템으로서, 수신 센서의 설치는 단기선과 초단기선 시스템에서는 선체에 3 개 이상의 센서를 설치하고, 해저에 1 개의 비컨(또는 트랜스폰더)를 설치하며, 장기선 시스템에서는 선체에 1 개의 센서와 해저에 3 개 이상의 트랜스폰더를 설치한다. 또, 위치를 구하는 데는 단기선과 장기선 시스템에서는 시간차를 이용하고, 초단기선 시스템에서는 위상차 또는 위상비교를 이용한다. 위치의 정도면에서는 장기선, 초단기선, 단기선의 순으로 정도가 높지만, 사용면에서 장기선 시스템의 경우 해저 트랜스폰더의 교정에는 상당한 시간이 소요되는 반면에, 단기선 및 초단기선 시스템은 사용의 간편함과 기동성에서 잇점이 있다. 또, 이들 시스템들은 결합되어 사용되기도 한다(中西, 1988 ; Roberts, 1985).

이 시스템들에 의한 위치는 잡음이 섞인 수신 신호와 파랑에 의한 선체의 동요 등으로 인하여 오차를 포함하고 있다. 이러한 위치 오차를 개선시키기 위하여 초단기선 음향위치 시스템에 필터가 적용된 바 있는데 (박과 윤, 1992 ; Park and Yoon, 1990), 본 논문에서는 단기선(SBL) 음향위치 시스템에 칼만 필터를 적용시켜서, 이것을 시

물레이션과 기존의 실측 자료를 이용하여 위치 오차가 개선되는 것을 살펴보고자 한다.

II. 비컨 방식의 단기선(SBL) 음향 위치시스템

여기서는 단기선 음향 위치시스템을 Milne(1983)로부터 간단히 소개한다.

Fig 1. 의 X-Z 평면으로부터 선박과 해저의 기준점 사이의 상대위치는 선박이 비컨 위에 수직으로 있을 때 식 (1)과 같이 주어진다.

$$R_3 - R_1 = v(t_3 - t_1)$$

$$x = zv(dt_1)/D1 \dots\dots\dots (1-1)$$

단, z=해면으로부터의 수중 비컨의 깊이  
v=수중 음속

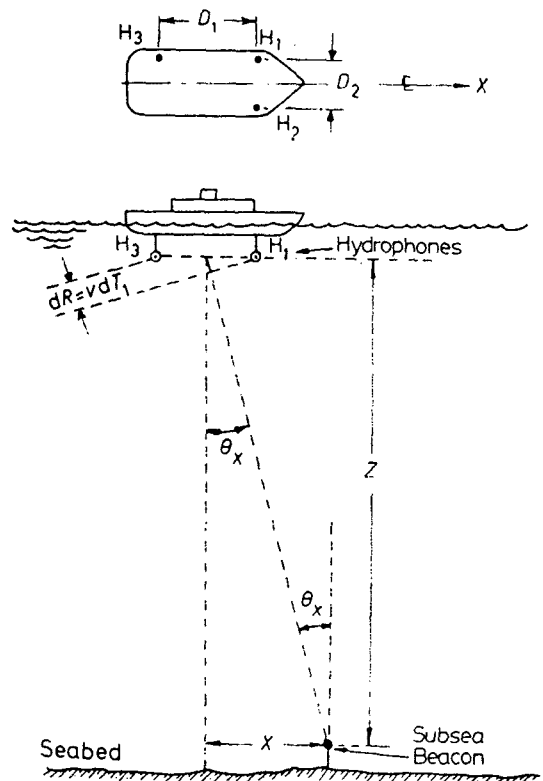


Fig 1. 2-D geometry in XZ plane for short baseline beacon configuration (After Milne, 1983 ; Van Calcar, 1969)

$t_i$ =i번째 하이드로폰에 수신된 음파의 도착시간  
 $R_i$ =i번째 하이드로폰과 비컨사이의 거리  
 $D1$ =하이드로폰 1, 3 사이의 간격  
 $dt_1$ =하이드로폰 1, 3 사이의 도착 시간차

마찬가지로 Y-Z 평면의 경우는 다음과 같이 된다.  
 $y = zv(dt_2)/D2 \dots\dots\dots (1-2)$   
 단,  $D2$ =하이드로폰 1, 2 사이의 간격  
 $dt_2$ =하이드로폰 1, 2 사이의 도착 시간차

### III. 시뮬레이션

비컨이나 트랜스폰더에 의한 신호로부터 결정되는 측정 선박과 잠수조사선의 상대 위치는, 잡음이 섞인 수신 신호와 측정 때 가해진 음속 및 해양파에 의한 선박의 불규칙한 운동 때문에 일반적으로 오차를 포함하고 있다. 이 절에서는 잡음이 섞인 측정에 기초를 둔 상대위치의 최적 위치를 칼만 필터를 적용하여 추정한다.

위치는 비컨의 깊이와 두 쌍의 청음기 사이의 음파의 도착 시간차로부터 구해진다. Fig 2. 은 시뮬레이션의 개략도를 나타내고 있다.

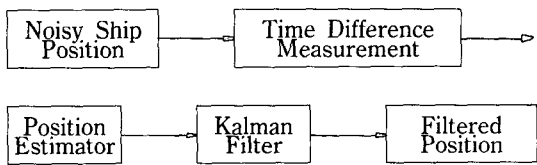


Fig 2. Block diagram of the simulation.

x, y 좌표계에서 각 좌표축 상에서의 선박의 상대 위치, 속도, 가속도를 나타내는 신호 변수로서 시간 n 때의 신호를 열벡터인  $X(n)$  으로 정의하자. 측정은 직교 좌표상에서 위치를 측정하는데 식 (1) 에 의한 관측위치를 열벡터  $Y(n)$  으로 표시하자. 여기에는 앞에서 말한 부가적인 잡음이 포함되어 있다. 또, 바다에서 일정한 속도로 전진하는 선박은 6 자유도 운동을 하게 된다. 이 선박의 움직임은 세 개의 병진 성분(surge, sway, heave)과 세 개의 회전 성분(roll, pitch, yaw)으로

구성되어 있다. 선체가 좌우 대칭이고 거칠지 않은 해상 상태에서 제약을 받지 않은 일반적인 선체에 대해서 종운동(surge, heave, pitch)은 횡운동(sway, roll, yaw)에 대해 연성운동을 하지 않는다(Beck, 1989; 原口, 1990). 따라서, 칼만 필터에서 x, y 방향의 오차는 이 경우에 서로 독립인 잡음으로 취급할 수 있다. 그리고, 선체 운동 중 Rolling 과 Pitching 에 의한 영향은 기기에 의해 자동적으로 보정시킬 수 있으므로, 본 연구에서는 평면 위치와 관련된 surge 와 sway 운동의 영향만이 위치오차 요인의 대상이 된다.

선박이 2 차원 평면상을 등속도 운동을 한다고 가정하면, 이의 동역학은 다음의 6 차 선형 방정식으로 쓸 수 있으며(Usagawa, 1987; 張, 1988), 상태 방정식에서 계수 A 는 천이행렬을 나타낸다.

상태 방정식 :  $X(n) = A X(n-1) + w(n-1)$   
 관측 방정식 :  $Y(n) = C X(n) + v(n)$   
 ..... (2)

단,  $w(n)$ ,  $v(n)$  는 잡음으로서 Gauss 분포를 한다고 가정하며,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & T & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad w(n) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ w1(n) \\ 0 \\ 0 \\ w2(n) \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad v(n) = \begin{bmatrix} v1(n) \\ v2(n) \end{bmatrix}$$

$T$ =샘플링 간격 (sampling interval).

위의 상태 방정식에 대한 칼만 필터의 알고리즘(Bosic, 1979)은 다음 식으로 나타내진다.

추정기 :  
 $\hat{X}(n) = A\hat{X}(n-1) + K(n)[Y(n) - CA\hat{X}(n-1)]$   
 ..... (4)

필터 이득 :

$$K(n) = P1(n) C' [C P1(n) C' + R(n)]^{-1}$$

단,  $P1(n) = AP(n-1) A' + Q(n-1)$

오차 공분산 행렬 :

$$P(n) = P1(n) - K(n) C(n) P1(n)$$

단,  $R(n) = E[v(n) v(n)']$

$$Q(n) = E[w(n) w(n)']$$

$$P(n) = E[\{X(n) - \hat{X}(n)\} \{X(n) - \hat{X}(n)\}']$$

' = 전치 행렬

$E[ ] = [ ]$ 의 기대값.

$\hat{X}(n) = X(n)$ 의 추정값.

시뮬레이션에서 평균 위치는 x, y 축 상에서 10 m, -10m, 수심은 170m 로 하였고, 관측잡음 v(k)는 Gauss 분포를 한다고 가정하였으며, 공분산 행렬(Q)은 다음과 같이 가정하였다(Allen and King, 1988).

$$Q(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-30} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{-30} \end{bmatrix}$$

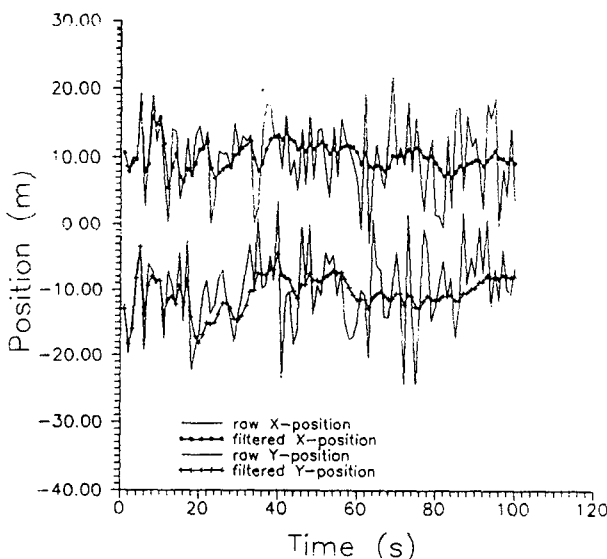


Fig 3. Comparison of the simulation results.

Fig 3. 는 원래의 잡음 섞인 위치와 필터 처리된 위치를 보이고 있다. Fig. 3 에서 알 수 있는 바와 같이 시간이 지남에 따라 필터 처리된 위치는 평균 위치에 접근하면서 위치오차의 분산이 감소하고 있다.

#### IV. 실측 음향위치의 정도 개선

이 장에선 단기선에 의한 실측 음향위치의 오차를 줄이기 위해 측정자료에 칼만 필터를 적용시켰다. 사용된 자료는 트랜스폰더 방식으로서 청음기 4 개를 평면으로 배열하여 순차적으로 초음파를 발사시켜 거리를 측정한 후, 단기선 방법에 의해 수심별(1, 1.5, 2m)로 표적의 위치를 2차원적으로 구한 崔와 辛(1991)의 실험 결과이며, Fig 4.(崔와 辛의 Fig.14, 1991)는 그 위치 오차특성이다. 그림에서 각각의 원은 위치오차의 68.3%를 나타내는 확률원이다.

이 트랜스폰더 방식은 앞의 비컨 방식과는 다른 방법으로 위치를 구하나, 崔와 辛(1991)의 자료를 앞장에서 논한 필터 알고리즘으로 처리할 수도 있다. Fig 4. 는 동일한 센서들의 배열에서 수심별로 얻은 자료이므로 2 차원의 평면 위치만을 고려할 때 한 자료로써 사용할 수 있으며, 이를 통합하여 x, y 의 각 방향별로 위치 오차를 나타내면 Fig 5. 의 점선과 같고, 이때의 표준편차는 모두 11.6cm 이었다. x, y 의 각 방향별로 공분산 행렬의 값을 앞에서와 같이 두어 칼만 필터를 적용시킨 결과는 Fig 5. 에 실선 기호로 나타나 있다. 이 Fig 5. 에서 보는 바와 같이 잡음 섞인 위치에 필터링을 함으로써 위치 오차가 개선된 것을 실제 자료를 통해 확인하였다.

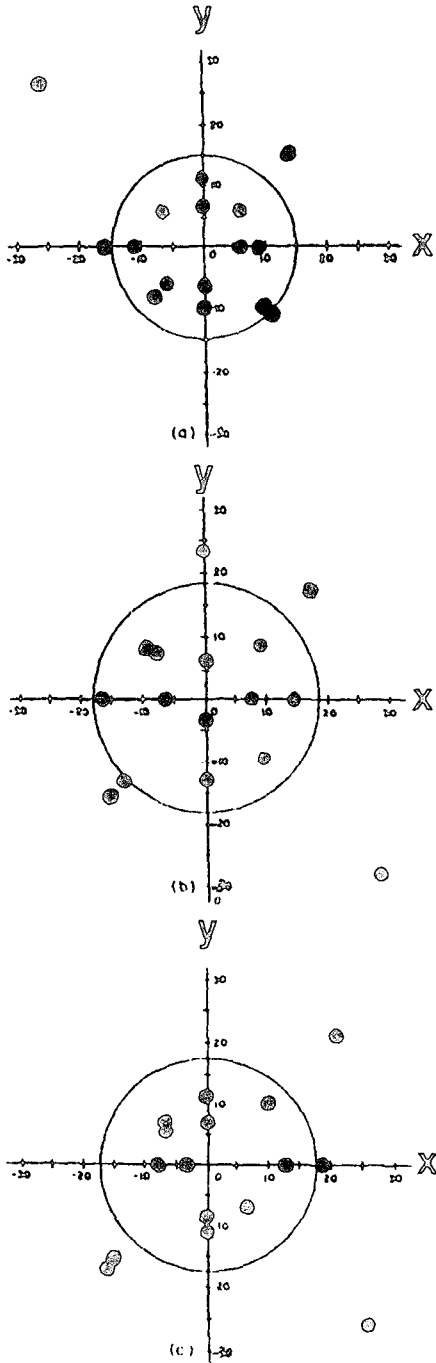


Fig 4. The deviation error between the actual position and the position by transducer (After Choi and Shin, 1991).  
 (a) : depth of 1m (b) : depth of 1.5m (c) : depth of 2m

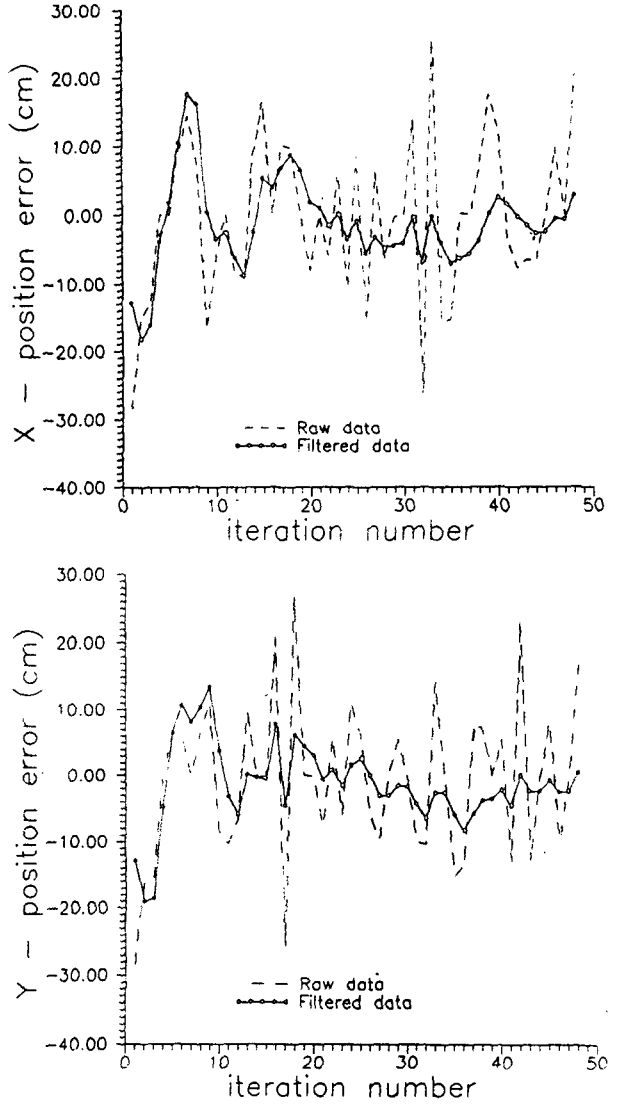


Fig 5. Comparison of the position error of raw and filtered data.  
 (a) position error in x-direction (b) position error in y-direction

### V. 결 론

해저의 기준점을 이용한 수중 음향위치 시스템은 해면과 수중 표적과의 상대적인 위치를 구하거나 해양 작업 및 수중 탐색에 쓰이고 있다. 단기선 시스템은 시간차를 이용하여 위치를 결정하

게 되나, 잡음이 섞인 수신 신호와 측정 때 가장 된 수중 음속 및 해양파에 의한 선박의 불규칙한 운동 때문에 측정 위치에 오차가 포함되어 있으므로, 여기서는 단기선(SBL) 음향위치 시스템의 정도를 개선시키기 위해, 칼만 필터를 적용하여 위치를 최적추정하였다. 즉, 필터 처리된 위치는 원래의 잡음 섞인 위치보다 오차가 감소되는 것을 시뮬레이션과 기존의 실측 자료를 통하여 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- 박해훈, 윤갑동 : 2 단 칼만 필터를 이용한 초단기선(SSBL) 음향위치 시스템. 韓國音響學會誌, 11(5), pp. 12~17 (1992).
- 原口富博 : 光學式運動計測裝置による模型船の6運動計測結果について. 日本航海學會論文集 83, pp.21~28 (1990).
- 張允碩 : Kalman 필터 알고리즘을 이용한 수중 이동 음원의 궤적추정. 부산수산대학교 석사학위논문 (1988).
- 中西俊之 : 6500m 潜水調査船システム用水中音響航法裝置について. 航海 98, pp. 84~95 (1988).
- 崔漢圭, 辛亨鎰 : Multi-Beam 超音波振動子の水中遠隔制御에 관한 研究. 韓國漁業技術學會誌 27(1), pp. 31~40 (1991).
- Allen, M.R. and L. A. King : An Adaptive Two Stage Kalman Structure for Passive Undersea Tracking. IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-36, pp. 3~9 (1988).
- Beck, R.F. : Motions in Waves and Controllability, In Principles of Naval Architecture. Second revision. Volume III, V.L. Lewis, ed., The Society of Naval Architects and Marine Engineers, pp. 41~45 (1989).
- Bozic, S.M. : Digital and Kalman Filtering, Edward Arnold, London, pp. 115~119 (1979).
- Milne, P.H. : Underwater Acoustic Positioning Systems, Gulf Publishing Company, Houston, 284p (1983).
- Park, H.H. : A Tension Measurement Method of a Towing Cable or a Buoy Cable. Ocean Engineering (U.K.), Vol. 20(2), pp. 163~170 (1993).
- Park, H.H. and G.D. Yoon : Improvement of the Accuracy of Supershort Baseline Acoustic Positioning System by Kalman Filter, Bull. Korean Fish. Soc. 23(6), pp. 451~456 (1990).
- Roberts, J.L. : A Multimode Acoustic Position Indicator for Greater Accuracy and Reliability, Proc. 17th Ann. Offshore Technology Conference, Houston, pp. 313~321 (1985).
- Usagawa, T., S. Nishimura, M. Ebata and J. Okda : Analysis of a moving sound source-Orbit estimation using microphone array-, J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 8, pp. 23~28 (1987).