

M-계열 송신 신호를 이용한 다중 경로 해양 환경에서의 해저면 설치 선배열 센서의 2차원 위치 추정

Two-dimensional Localization of Array Elements Placed on a Sea Floor Using M-sequence Signal in Multipath Ocean Environment

오 택 환*, 나 정 열*, 석 동 우*
(Taek-Hwan Oh*, Jungyul Na*, Dong-Woo Suk*)

*한양대학교 지구해양학과

(접수일자: 2002년 7월 10일; 수정일자: 2002년 10월 1일; 채택일자: 2002년 10월 14일)

본 논문은 다중경로 해양환경에서의 수중 음향을 이용한 수중 설치 선배열 수신기의 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 위치 추정을 위한 음원과 수신기 사이의 다중경로에 따른 도달시간은 M-계열 송신 신호 및 정합 필터를 사용하여 계산하였으며, 음원과 수신기 사이의 수평거리는 음선 이론에 모델을 사용하여 계산하였다. 또한 모의 실험 및 해상 실험 자료 분석을 통해 제안된 알고리즘을 검증하였다.

핵심용어: 선배열 수신기 위치 추정, 다중 경로 효과, M-시퀀스, 동해

투고분야: 수중음향 분야 (5.7)

This paper proposes an algorithm for estimating positions of array elements placed on a sea floor using acoustic signal in multipath ocean environment. The positions of array elements are estimated by using the travel times of m-sequence signal influenced by the multi-paths environment. The horizontal distance between source and receiver calculated based on the ray model. The proposed paper the algorithm is verified by both simulation data and field experiment in the East Sea.

Keywords: Localization of array elements, Multi-path effect, M-sequence, The East sea of Korea

ASK subject classification: Underwater acoustics (5.7)

I. 서 론

수중 음향 장비를 사용하여 해양 관측시 송-수신기의 정확한 위치 파악이 선행되어야 한다. 최근 해양 관측을 위해 선배열 수신기를 사용하는 빔형성 (beamforming) [1] 및 정합장 처리 (matched-field processing) [2]에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 성능 향상을 위해 정확한 선배열 수신기의 설치 형태 및 각 수신기 위치 정보가 요구된다.

수중에서는 육상에서 사용되는 위치 추정 방법인 DGPS (differential global positioning system) 등과 같

은 위성 항법 장치를 사용할 수 없다. 따라서 최근 수중 음향을 이용한 수중 설치 수신기의 위치 추정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 [3, 4].

수직 선배열 (vertical line array) 수신기의 위치 추정 방법은 음향학적인 방법과 비음향학적인 방법으로 구분할 수 있으며, 음향학적인 방법은 각 수신기로부터 수신된 신호의 상관성을 비교하여 추정하는 방법과 트랜스폰더 (transponder) 등과 같은 배열 위치 추정 시스템 (AELS: array element localization system)을 이용하는 방법 등이 있다. 비음향학적인 방법은 선배열 수신기에 설치된 보조 센서 (inclinomometer)를 사용하는 방법이다 [5]. 비음향학적인 방법은 선배열 수신기의 시간적 움직임 및 상대적 공간 움직임을 파악할 수 있으나 각 센서의 정확한 설치 위치 파악이 어려우며, 해저면에 고정 설치된 선배

책임저자: 오택환 (booster@hanyang.ac.kr)
425-791 경기도 안산시 사1동 1271번지
한양대학교 지구해양학과 해양음향연구소
(전화: 031-400-4154; 팩스: 031-406-6458)

열 수신기의 위치 추정이 어렵다.

해저면에 설치된 수평 선배열 (horizontal line array) 및 트랜스폰더의 위치 추정 방법은 기준 음원으로부터 방사된 신호의 음파 전달 시간 (acoustic travel time)을 이용하여 추정하는 방법, 시험선 자이로의 함방위 데이터를 음향 신호와 함께 사용하여 추정하는 방법, 음향 신호의 수신 상태가 양호한 두 센서의 데이터와 센서간의 기선 측량을 통한 기하학적인 추정 방법 등이 있다[6].

일반적으로 수신기 위치 추정을 위해서 보조 수신기를 사용하여 보조 수신기로부터의 상대적 위치를 추정한다. 이때 보조 수신기의 절대 위치 파악을 위한 실험이 추가 실시되어야 한다. 또한 일반적인 수신기 위치 추정시 음원과 수신기 사이의 해양 매질에 의한 음파의 반사 및 굴절과 같은 다중경로의 영향을 고려하지 않고 수신기의 위치를 추정함으로써 다중경로 환경에서의 장거리 수신기 위치 추정시 그 성능이 저하된다.

수중에서 음파 전파는 음속의 기울기에 의한 굴절 및 해수면, 해저면 반사에 의한 다중경로의 영향을 받는다. 다중경로는 수신신호의 도달 시간 확산 현상과 같이 음파 도달시간을 변화시킨다. 장거리 음파 전달시 음원과 수신기 사이의 수직 수평적 음속 변화가 심하여 다중경로에 의한 영향이 증가하여 수중 설치 수신기 위치 추정 성능이 크게 저하된다. 따라서 수중에 설치된 음향 장비의 장거리 모니터링을 위해 해양의 다중 경로에 대한 영향이 고려된 위치 추정 방법에 대한 연구가 요구된다[7].

본 논문은 다중 경로 환경에서 음파의 전달 시간을 이용한 해저면 설치 수평 선배열 수신기의 2차원적 위치 추정 알고리즘을 제안하며, 제안된 알고리즘의 해상 적용 가능성 검증을 위해 2000년 10월 21일 동해시 부근 해역에서 실시된 m-계열 (maximal-length sequence) 송신 신호를 사용한 음향 실험 자료를 분석하였다. 이때 범형성 및 정합장치 처리의 오차 보정을 위한 수평 선배열의 설치 형태 및 각 수신기 사이 간격을 중점적으로 분석하였다.

본 논문의 II장에서는 수평 선배열 위치 추정 알고리즘 및 모의 실험 결과를 서술하고, III장에서는 동해 해상 실험 및 자료 분석에 관하여 서술한다. 마지막의 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 위치 추정 알고리즘 및 모의 실험

2.1. 해저면 설치 수신기 위치 추정 알고리즘

해양 탐사를 위해 수중 음향 선배열 수신기 설치시 해

수 유동의 영향에 의해 계획된 위치에 정확하게 설치하기 어렵다. 수신기 설치시 발생한 위치 오차는 선배열 신호 분석 성능을 저하시킬 수 있기 때문에 설치된 수신기의 정확한 위치 파악을 위한 추가적 실험이 요구된다. 그러나 일반적으로 사용되고 있는 음향학적 위치 추정 방법은 기하학적 수평거리를 사용함으로써 근거리 위치 추정시 그 성능이 우수하나, 정거리 위치 추정시 다중경로에 의한 영향에 의해 위치 추정 성능이 저하된다. 따라서 본 논문에서는 다중경로 환경의 수중 설치 수신기의 위치 추정을 위해 음향 모델 정보를 사용한 수신기 위치 추정 방법을 제안한다.

일반적으로 해저면에 설치된 수신기의 위치 추정은 음파 전달시간을 이용하여 기준 음원과 수신기 사이의 수평 거리를 측정함으로써 가능하다. 수신기의 위치는 n 개의 기준 음원을 중심으로 하는 구면의 교점으로 나타낼 수 있으며 n 번째 음원의 위치 (x_n, y_n, z_n) 에서 수신기까지의 기하학적 경사거리 r_n 는 식 (1)과 같이 표현 가능하다.

$$r_n = \sqrt{(X - x_n)^2 + (Y - y_n)^2 + (Z - z_n)^2} \quad (1)$$

여기서 (X, Y, Z) 는 수신기의 좌표표를 의미한다. 만약 수신기에 설치된 수심 센서 정보로부터 수신기의 설치 수심 d 를 알 수 있다면, 그림 1(상)에서와 같이 음원을 수신기 수심으로 투영하여 동일한 수심 상의 좌표로 음원과 수신기를 표현할 수 있으며, 추정하고자 하는 미지수의 수를 감소시켜 위치 추정 알고리즘을 단순화할 수 있다. 또한 수중에서 음파 전파시 발생하는 다중경로에 의한 영향을 무시할 수 있는 경우 기하학적 경사거리 r_n 을 식 (2)와 같이 수평거리 r_n' 으로 간략화할 수 있으며, 또한 음속 C_0 및 도달 시간 t_n 의 관계식으로 표현 가능하다. 따라서 음원 및 수신기 위치와 기하학적 거리에 대한 관계식 (1)은 동일한 수심에서의 관계식 (3)과 같이 단순화할 수 있다.

$$r_n' = \sqrt{r_n^2 - d^2} = \sqrt{(C_0 \times t_n)^2 - d^2} \quad (2)$$

$$\sqrt{(C_0 \times t_n)^2 - d^2} = \sqrt{(X - x_n)^2 + (Y - y_n)^2} \quad (3)$$

즉, 추정된 수신기의 위치는 그림 1(하)에서와 같이 여러 음원 위치 (x_n, y_n) 을 원점으로 하며 거리 r_n' 을 반지름으로 하는 원들의 교점이 된다.

해양에서 음파 전달 경로는 다중 경로에 의한 음파의 반사 및 굴절 효과를 포함하며, 이로 인해 음파 도달시간의 변화를 발생시켜 기하학적 수평거리 r_n' 산출시 오차

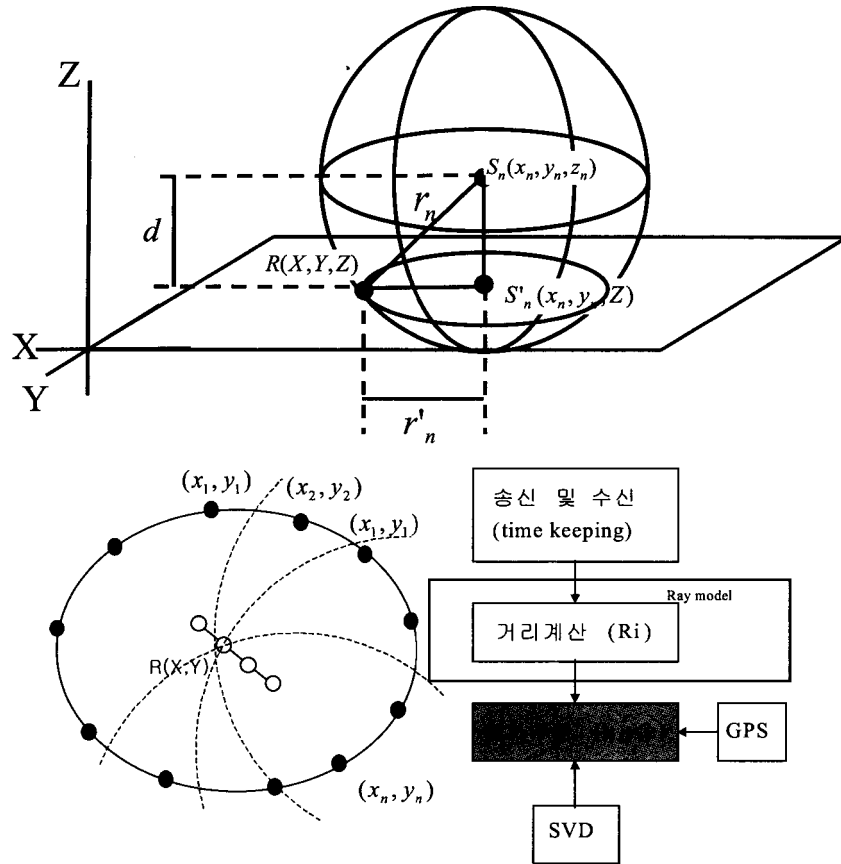


그림 1. 수중센서 위치 추정 알고리즘 모식도
 Fig. 1. Diagram of the algorithm for array elements localization.

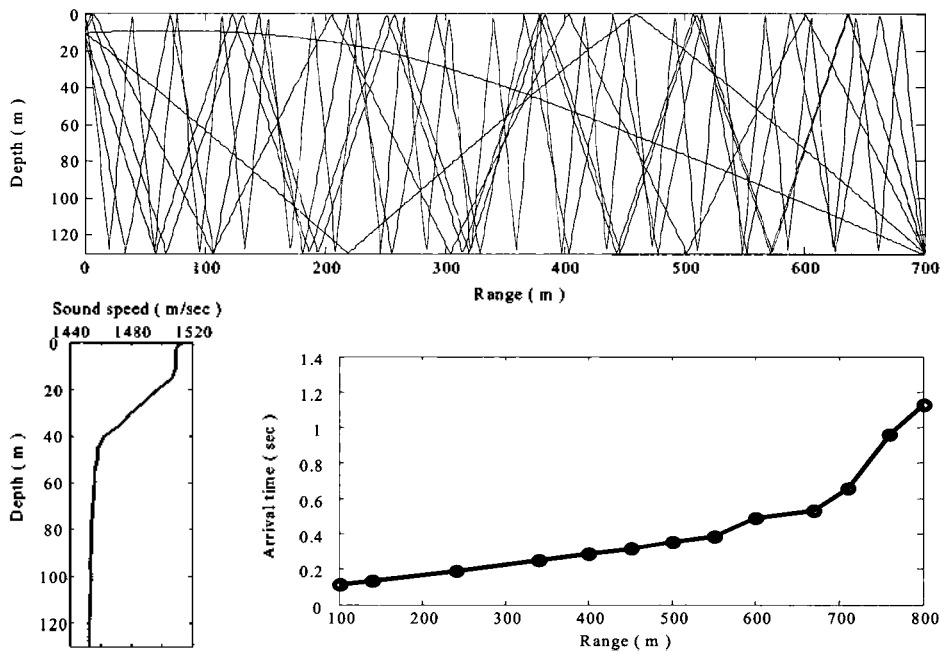


그림 2. 고유 음선 및 음선 모델에 의한 수평거리와 도달 시간 상관 그래프
 Fig. 2. Eigenrays and curve showing the horizontal distance and the arrival time.

의 원인이 된다(그림 2(상)). 이와 같은 오차를 보정하기 위해 본 논문에서 제안된 알고리즘은 다중경로의 영향을 고려한 음선 모델인 Ray 모델[8]을 사용하여 기하학적 수평거리 r_n' 을 산출한다. 모델에 의한 수평거리 r_n' 산출을 위해 음원과 수신기 사이의 수평거리와 음파 도달시간 상관 그래프를 사용한다(그림 2(하)). 수평거리 및 도달시간 상관 그래프는 음원과 수신기 사이의 수평 거리에 따른 다중 경로에 의한 영향이 고려된 음파의 최초 도달시간을 나타낸다. 도달시간 상관 그래프의 산출을 위해 Ray 모델을 사용하여 음원과 수신기 사이의 수평거리를 변화시키며 고유음선을 계산하였으며, 모델에 의해 계산된 고유음선 중 음원과 수신기 사이의 각 수평거리에 대한 최초 도달 고유음선 정보를 사용하여 각 수평거리별 최초 음파 도달시간을 계산하였다. 즉 도달시간 상관 그래프를 통해 신호로부터 분석된 음파 도달시간에 대한 음원과 수신기 사이의 수평거리를 역으로 추정할 수 있다. 그림 2에서 수평거리 550 m 이후의 기울기 변화는 음파의 반사 및 굴절에 의한 영향 때문이다.

일반적으로 실험 오차에 의해 음원 (x_n, y_n) 을 중심으로 하는 모든 원은 한 점에서 교차하지 않는다. 따라서, 음원의 위치로부터 수평거리 r_n' 을 이용하여 수신기의 위치를 추정하는 문제는 추정하고자 하는 미지수보다 관측식의 수가 많게 되므로 Over-determined system의 역문제가 되며, 이와 같은 역문제의 최적해 산출을 위해 최소자승법(least square estimator) 또는 특이치 분해 방법(singular value decomposition method)을 사용할 수 있다[9]. 본 논문에서 제안된 위치 추정 알고리즘은 수신기 위치 추정을 위해 특이치 분해법을 사용하였다.

2.2. 모의 실험

제안된 알고리즘의 검증에 위해 기준 음원을 수신기 주변에 원형 배치한 경우에 대한 해저면 설치 수신기 위치 추정 모의 실험을 실시하였다. 모의 실험을 위해 가정된 해양 환경은 수심 130 m, 음원 수심 7 m이며, 모의 실험을 위해 사용된 음속 자료는 국립해양조사원 동해 105 정선의 제 3 정점 자료의 21 (1975~1995)년간 평균 자료이다. 해양에서 음파 전파시 음속 구조에 따른 다중경로의 영향이 고려된 수신 신호는 음향 모델을 사용한 고유음선(eigenray) 정보를 사용하여 모의하였다. 또한 송신 신호는 정확한 도달시간 계산을 위해 m-계열 신호로 가정하였으며, 해상 실험시 발생할 수 있는 DGPS의 위치 오차 및 도달시간을 이용해 계산된 음원과 수신기

사이의 수평거리 오차를 고려하기 위해 DGPS 위치 및 수평거리에 임의의 오차를 포함하였다. 이때 고려된 DGPS 위치 및 수평거리 오차 범위는 ± 50 m 이하이다. 모의 실험 결과(그림 3(상))의 +기호는 원형 배치된 기준 음원의 위치를 나타내며, 가운데 •기호는 추정된 수신기의 위치를 나타낸다. 100회 실시된 모의 실험 결과 추정된 수신기 위치의 오차 범위는 기준 수신기 위치로부터 수평거리 약 5 m 이내임을 알 수 있었다. 또한 여러 개의 수신기의 위치 추정 모의 실험(그림 3(하))에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 음원의 수평위치 오차와 도달시간 산출에 의해 발생한 수평거리 오차가 각각 50 m 이내로 형성된다면, 여러 개의 수신기의 위치를 수평거리 오차 5 m 이내에서 정확하게 추정할 수 있음을 알 수 있다.

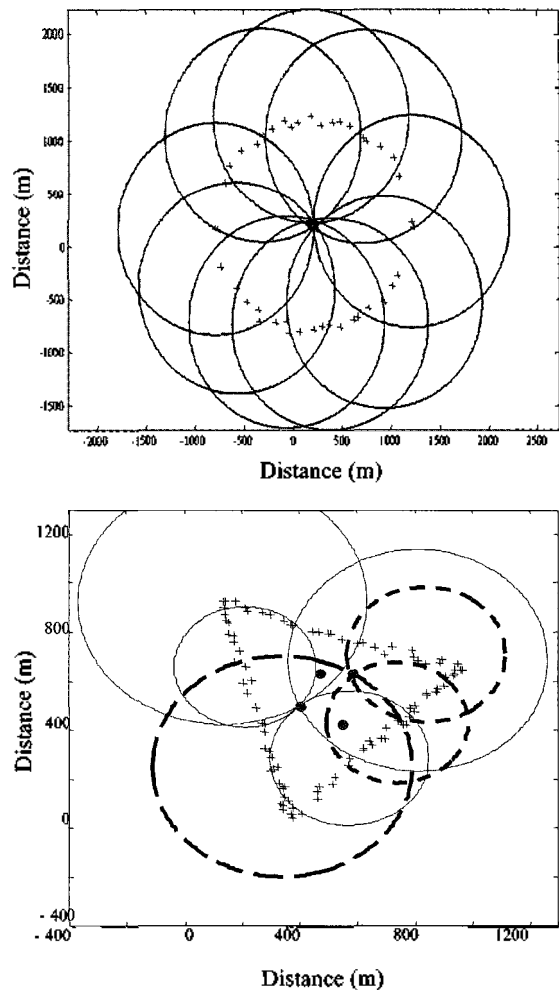


그림 3. 해저면 설치 수신기 위치 추정 모의 실험 결과
Fig. 3. Simulation result of the receiver positions.

III. 해상 실험 및 자료 분석 결과

3.1. 동해 해상 실험의 개요

2000년 10월 21일 동해시 부근 수심 132 m 해역에서 해저면 설치 수평 선배열의 각 수신기 위치 추정 실험이 수행되었다. 해상 실험시 기준 음원을 위해 여러 개의 음원을 사용할 수 없었기 때문에 여러 위치에서의 기준 음원 효과를 얻기 위해 시험선을 사용해 음원을 예인하였다. 음원의 예인시 음원 예인에 따른 도플러효과와 영향이 발생하지 않도록 음원을 수심 7 m에서 평균 3~4 노트(knot)의 저속으로 원형 예인하였다. Ray 모델을 이용해 다중경로에 의한 영향을 고려하기 위한 음속 구조는 XBT를 사용하여 관측하였으며, DGPS를 사용하여 음원의 이동 경로를 관측하였다. 위치 추정을 위해 사용된 선배열 수신기는 25개의 무지향성 수신기로 구성되어 있으며, 이 가운데 19개 수신기의 위치를 추정하였다. 각 수신기 사이 간격은 표 1에 나타내었다.

해저면 설치 수신기의 위치 추정을 위한 해상 실험 모식도는 그림 4와 같다. 해수의 움직임에 의한 선배열의 위치 변화를 최소화하기 위해 2개의 앵커(anchor) AN-1, AN-2를 선배열 양쪽에 설치하여 해저면에 고정하였으며, 이때 수신기의 선형을 최대한 유지하기 위해 AN-1을 설치 후 장력을 유지하며 AN-2를 설치하였다. 수신신호는 RF 송수신기를 사용하여 시험선으로 실시간 전송되었으며, 대역통과 여파기(bandpass filter)를 사용하여 5~1000 Hz 대역의 신호만을 디지털 녹음기에 기록하였다.

송신 신호는 정확한 도달 시간 계산을 위해 m-계열 신호를 사용하였다. 송신 주파수는 400 Hz이며, 송신신

표 1. 선배열 수신기의 각 수신기 사이 수평 거리
Table 1. Horizontal distances between array elements.

구분	선배열(m)	구분	선배열(m)
1~2	2.5	10~11	2.5
2~3	2.5	11~12	5.0
3~4	2.5	12~13	5.0
4~5	2.5	13~14	5.0
5~6	2.5	14~15	5.0
6~7	2.5	15~16	5.0
7~8	2.5	16~17	10.0
8~9	2.5	17~18	10.0
9~10	2.5	18~19	20.0

표 2. 음원의 송신 신호 특성
Table 2. Characteristics of the transmitted signal.

송신 주파수	400 Hz
송신 대역폭	100 Hz
송신 펄스 폭	4
송신 펄스 폭	150 msec
송신 주기	2 sec

호의 세부 특성은 표 2와 같다. 송신 신호는 다중 경로에 의한 수신 신호의 확산을 고려하여 2초 간격으로 송신하였다.

3.2. 자료 분석 및 결과

복조 상관기를 이용한 펄스 압축방법을 이용하여 수신 신호의 음파 도달 시간을 분석하였다. 이를 위해 샘플링 주파수는 송신 주파수의 정수배인 6 kHz를 유지하며, 저주파수대역 통과 필터(low-pass filter)를 통과시킨 후

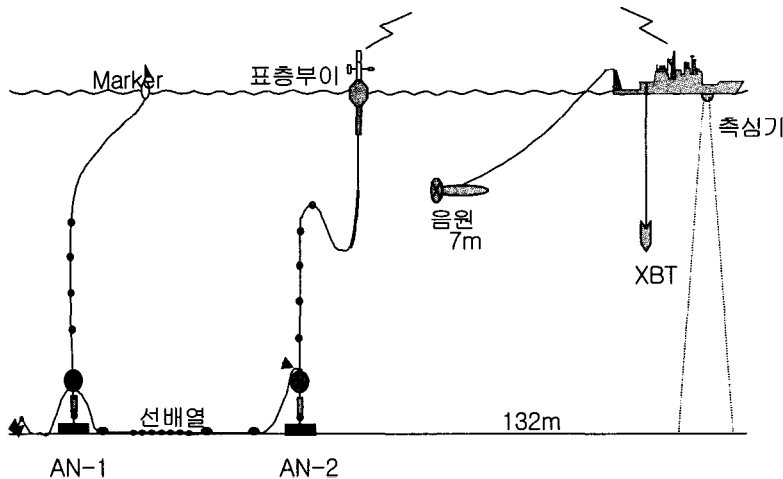


그림 4. 동해 해상 실험 장비 설치 모식도
Fig. 4. Schematic diagram of the experiment in the East Sea of Korea.

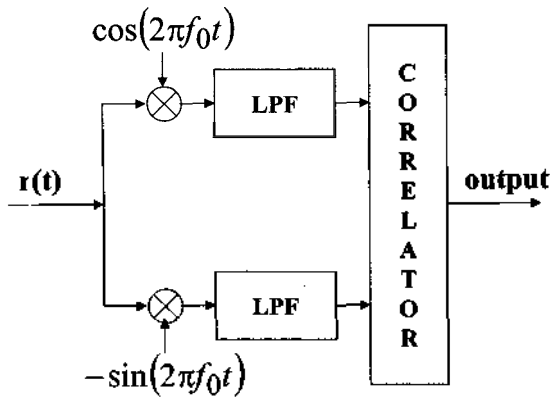


그림 5. m-계열 신호의 정합 필터링
 Fig. 5. Diagram of the matched filter processing for m-sequence signal.

정합 필터 (matched filter) 방법 (그림 5)을 사용하여 신호 도달 시간을 계산하였다[10,11]. 위상 변조된 m-계열 신호의 사용은 신호대 잡음비 (SNR)가 낮은 해양 환경에서 정확한 음파 도달 시간 계산이 가능하다[12].

음원과 수신기 사이의 수평거리는 음향 모델에 의한 수평거리와 음파 도달시간 상관 그래프를 이용해 추정하였으며, 고유음선 정보 계산시 사용된 음속자료는 해상 실험시 관측된 XBT 음속 자료이다 (그림 2).

DGPS 자료 분석 결과 음원이 타원 이동하였음을 알 수 있으며, 이때 각 음원 위치에서의 음파 도달 시간 변위는 약 0.23~0.42초 사이임을 알 수 있다 (그림 6). 도달시간 분석 결과 음원과 수신기 사이의 수평거리가 약 700 m 이하임을 알 수 있으므로, 거리 독립 (range independent) 해양

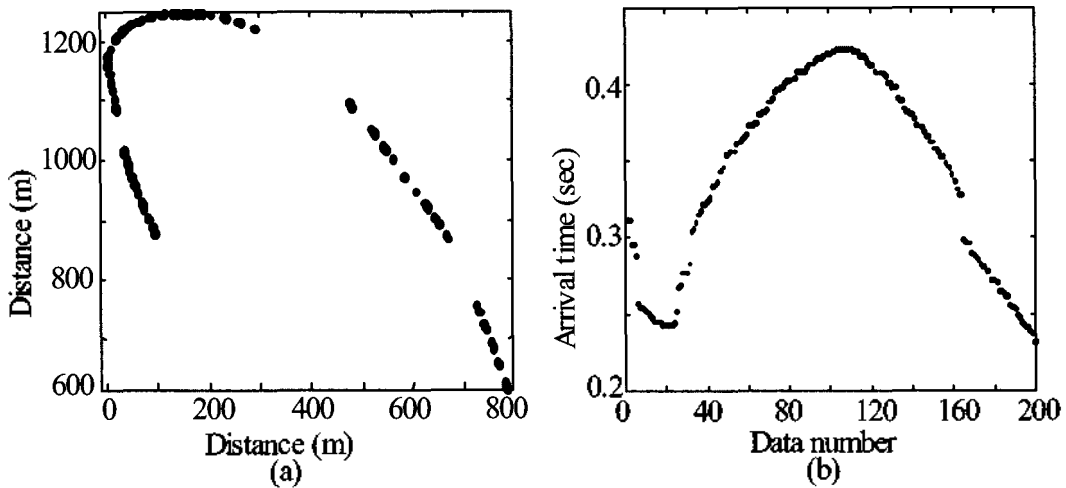


그림 6. 음원의 이동경로 (a) 및 음파 도달 시간 (b)
 Fig. 6. Moving path of the source (a) and the pattern of the arrival time (b).

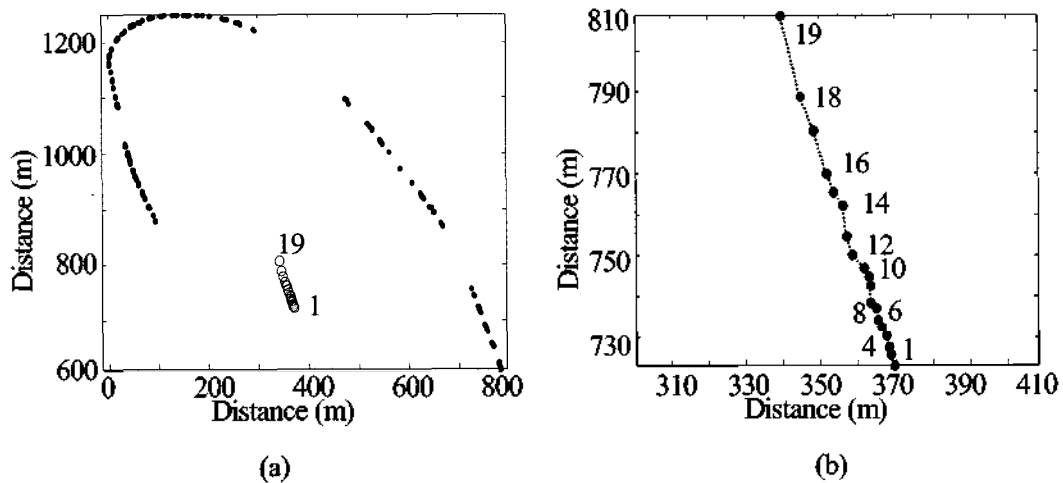


그림 7. 음원의 위치 및 선배열 추정 위치 (a), 선배열 수신기 설치 형태 (b)
 Fig. 7. Positions of the sources and the array (a), estimated shape of the array on a sea floor (b).

환경으로 가정하여 수평거리와 음파 도달시간 상관 그래프를 작성하였다. 모델 입력자료로 사용된 수신 자료는 음향 측심기에 의해 측정된 평균 수신 자료로 132 m이다.

자료분석 결과 그림 6에서와 같이 신호 수신 단절 현상이 발생하였음을 확인할 수 있다. 이와 같은 수신신호 단절 현상은 음원과 수신기 사이의 거리가 가까워 시험선의 소음에 의해 송신신호의 신호대 잡음비가 현저하게 낮아져 정합필터 (matched filter)에 의한 상관값이 낮아졌기 때문이라 판단된다. 따라서 본 논문에서는 수신신호 특성이 비교적 양호한 신호만을 선택하여 위치 추정에 사용하였다.

해저면 설치 선배열 수신기의 위치는 선택된 수신신호와 DGPS에 의해 관측된 음원의 위치 정보를 사용하여 본 논문에서 제안된 알고리즘을 사용하여 추정하였다. 선배열 수신기의 설치 모양 및 설치 위치 추정은 선배열 수신기의 각 구성 수신기의 위치를 독립적으로 추정한 후 각 수신기 위치 자료를 이용하여 추정하였다.

수신기 위치 추정 결과 해저면에 설치된 선배열 수신기는 음원의 타원 이동 경로의 중심 부근에 위치하였음을 알 수 있으며, 선배열 수신기의 설치 형태는 비교적 선형에 가까움을 확인할 수 있다 (그림 7).

동해상 실험에서 수신기 설치 수심이 132 m였기 때문에 실제 해저면에 설치된 수신기의 설치 모양 및 각 수신기의 위치를 직접적으로 측정할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 각 수신기 사이의 거리 오차 및 빔형성에 의한 신호 수신각 분석과 같은 간접적 방법을 사용해 제안된 알고리즘의 성능을 검증하였다.

수신기 위치 추정 성능 검증을 위해 추정된 각 수신기의 사이 거리는 선형 보간법에 의한 기하학적 직선 거리로 계산하며, 설치 전에 측정된 각 수신기의 사이 거리와

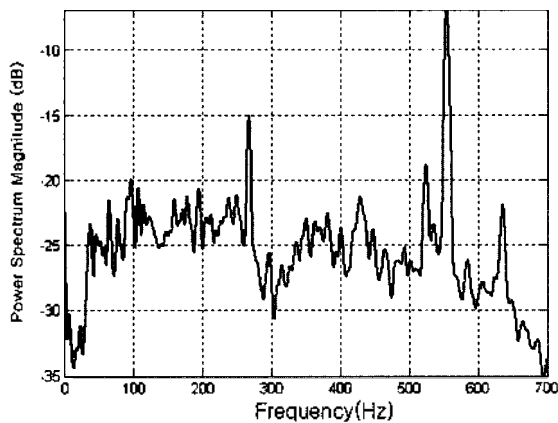


그림 8. 수신신호의 파워스펙트럼
Fig. 8. Power spectrum of the received signal.

비교하여 그 오차를 분석하였다. 또한 빔형성에 의한 신호 수신각 분석을 위해 시험선에 의한 방사소음의 수신각 분석을 실시하였다. 일반적으로 빔형성 분석시 각 수신기 사이의 거리 오차는 빔형성 분석의 신호 수신각 성능을 저하시키는 원인이 된다[13]. 선박 신호 분석 결과 266 Hz 및 560 Hz 주기의 신호 특성이 나타남을 알 수 있다 (그림 8). 수신각 분석이 가능한 주파수 266 Hz 신호의 수신각 분석을 위해 수신기 사이 간격이 2.5 m인 10개의 수신기를 사용하였다[14].

추정된 각 수신기의 사이 거리 오차 분석 결과 오차 범위는 표 3을 통해 0.079~2.155 m임을 알 수 있으며, 수신기 3-4, 6-7, 8-9, 13-14, 15-16, 16-17의 사이 거리는 설치 전 측정된 각 수신기 사이 거리에 비해 길게 나타났다. 이와 같은 오차는 설치 후 해수의 유동에 의한 선배열 수신기의 이동, 음원의 위치 오차 및 각 수신기 위치에 대한 정확한 수심을 고려하지 못하였기 때문에 나타난 오차로 판단된다.

각 수신기 사이 거리 오차 분석에 의한 알고리즘 성능 검증은 설치된 수신기의 각 설치 수심 및 음원의 위치 오차 등과 같은 실험 오차에 의해 매우 제한적 검증만이 가능하다.

제안된 알고리즘의 추가 성능 검증을 위해 신호 수신각 분석을 통한 알고리즘 성능검증을 실시하였다. 이를 위해 그림 6의 음원 이동 경로와 동일하게 이동한 시험선의 DGPS 위치 정보와 추정된 각 수신기의 위치 정보 및 추정

표 3. 다중경로가 고려된 각 수신기 사이의 수평거리
Table 3. Estimated horizontal distances of the array elements with multi-path effect.

	HLA의 실제 Hydrophone 간격 (m)	HLA Hydrophone 간격 추정치 (m)	오차 (m)
Ch.1~2	2.5	2.163	0.337
Ch.2~3	2.5	1.659	0.841
Ch.3~4	2.5	3.114	-0.614
Ch.4~5	2.5	2.362	0.138
Ch.5~6	2.5	1.770	0.730
Ch.6~7	2.5	3.149	-0.649
Ch.7~8	2.5	1.710	0.790
Ch.8~9	2.5	4.155	-1.655
Ch.9~10	2.5	2.389	0.111
Ch.10~11	2.5	2.032	0.468
Ch.11~12	5.0	4.572	0.428
Ch.12~13	5.0	4.921	0.079
Ch.13~14	5.0	7.155	-2.155
Ch.14~15	5.0	4.059	0.941
Ch.15~16	5.0	5.060	-0.060
Ch.16~17	10.0	10.746	-0.746
Ch.17~18	10.0	9.087	0.913
Ch.18~19	20.0	20.260	-0.260
Total	90.0	90.362	-0.362

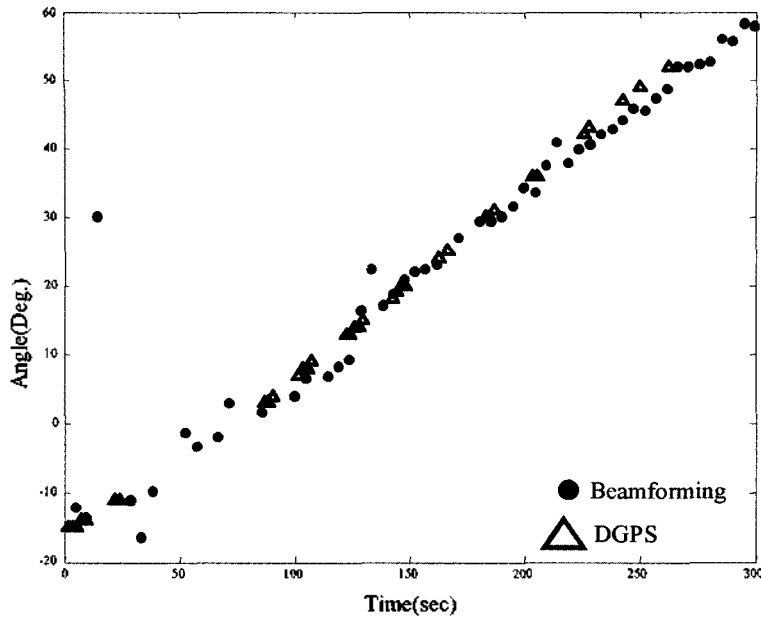


그림 9. DGPS 및 빔형성 기법에 의한 신호 수신각 분석
 Fig. 9. Analysis of the received angles obtained by beamforming and DGPS.

된 수신기 사이 간격 정보를 사용하였다. 알고리즘 성능 검증에 위한 수신각 분석은 추정된 위치와 시험선의 DGPS 정보를 사용하여 시험선의 신호 수신 각을 계산한 후 추정된 각 수신기의 위치 정보와 추정된 수신기 사이 간격 정보를 사용하여 빔형성 방법을 통해 신호의 수신각을 추정한다. 일반적으로 수신기 사이의 간격 오차는 빔형성 방법에 의한 신호 수신각 추정 성능을 저하시키므로 시험선의 DGPS 정보로부터 계산된 수신각과 빔형성 방법에 의해 추정된 수신각을 상호 비교하면 제안된 수신기 위치 추정 알고리즘의 성능을 검증할 수 있다.

시험선 DGPS 정보에 의한 수신각과 빔형성에 의한 수신각을 분석한 결과 음원과 수신각 분석 오차는 약 10도 이내로 나타났다 (그림 9). 이와 같은 수신각 오차는 음원기 수신기로부터 약 200 m의 근거리에서 위치했을 때 증가하며, 700 m 이후에서는 오차가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 예안된 음원의 실제 위치와 DGPS에 의해 관측된 음원의 위치가 상이하기 때문으로 추정된다. 수신각 분석을 통한 검증 결과 제안된 알고리즘을 통해 다중 경로 환경에서의 수신기 위치 추정이 가능함을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 해저면 설치 선배열 신호처리 성능 향상을 위해 각 수신기 사이의 수평거리 오차 보정을 위

한 수신기 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 여러 음원과 수신기 사이의 수평거리를 사용한다. 또한 음파 전파시 음속의 기울기에 의한 굴절과 해수면 및 해저면 반사에 의한 다중경로 해양 환경에서의 수신기 추정 성능 향상을 위해 음원과 수신기 사이의 수평거리를 음향 모델을 이용하여 계산하였다.

제안된 알고리즘 검증을 위해 수행된 동해상 실험 자료

표 4. 다중경로가 고려되지 않은 각 수신기 사이의 수평거리
 Table 4. Estimated horizontal distances of the array elements without multi-path effect.

	HLA의 실제 Hydrophone 간격 (m)	HLA Hydrophone 간격 추정치 (m)	오차 (m)
Ch.1~2	2.5	2.898	0.398
Ch.2~3	2.5	1.676	-0.824
Ch.3~4	2.5	2.787	-0.287
Ch.4~5	2.5	2.605	-0.105
Ch.5~6	2.5	1.907	0.593
Ch.6~7	2.5	2.975	-0.475
Ch.7~8	2.5	1.982	0.518
Ch.8~9	2.5	4.157	-1.657
Ch.9~10	2.5	2.468	0.032
Ch.10~11	2.5	2.256	0.244
Ch.11~12	5.0	4.564	0.436
Ch.12~13	5.0	4.806	0.194
Ch.13~14	5.0	7.611	-2.611
Ch.14~15	5.0	3.961	1.039
Ch.15~16	5.0	4.806	0.194
Ch.16~17	10.0	11.023	-1.023
Ch.17~18	10.0	8.976	1.024
Ch.18~19	20.0	20.522	-0.521
Total	90.0	91.979	-1.979

분석사 수신 7 m에서 예인된 음원의 위치 오차를 정확하게 고려하지 못하여 제안된 알고리즘의 성능이 저하되었으며, 음원과 수신기 사이의 수평거리가 약 700 m 이내에 위치하여 다중경로에 의한 영향이 크지 않았기 때문에 다중경로를 고려하여 추정된 수신기의 위치와 다중경로를 고려하지 않은 수신기의 추정 위치가 크게 다르지 않았다 (표 4).

그러나 모의 실험 및 해상 실험 자료 분석 결과 본 논문에서 제안된 위치 추정 알고리즘을 사용해 다중경로 해양 환경에서의 해저면 설치 수신기의 장거리 위치 추정이 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안된 위치 추정 알고리즘을 사용하여 심해 선배열 수신 시스템의 설치 위치 추정 및 시간에 따른 설치 모양 변화를 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 수중음향특화연구센터 및 한양대학교 과학 기술 장학금의 지원을 받아 수행되었으며, 현장실험을 위해 참여했던 국방과학연구소 연구원 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. R. O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech house, Boston, Chap. 2, 51-72, 1991.
2. A. Tolstoy, *Matched Field Processing for Underwater Acoustics*, Singapore: World Scientific, Chap. 1, 1-10, 1993.
3. 박희영, 김인의, 오원천, 윤대회, 이충용, "소나 시스템을 위한 어레이 형상 추정 기법의 성능 비교 및 개선," 한국음향학회지, 20 (4), 12-16, 2001.
4. 조요한, 조치영, 서희선, "비선형 선배열 형상 추정을 위한 반복 다항 근사화 기법," 한국음향학회지, 20 (8), 74-80, 2001.
5. W. S. Hodgkiss and D. E. Ensberg, "Comparison of acoustic and non-acoustic methods of vertical line array element

- localization," *Proc. OCEANS'95 MTS/IEEE Conf.*, 2, 1296-1302, 1995.
6. 이상국, "수중운동 추적체계의 수중센서 상대좌표 추정 기법 연구," 국방과학 연구소 기술 보고서, 9-11, 1997.
7. S. E. Dosso and G. H. Nrooke, "High-precision array element localization for vertical line arrays in the arctic ocean," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 23, 365-379, 1998.
8. J. B. Bowlin, *Ocean Acoustical Ray-Tracing Software Ray*, WHOI, 1992.
9. W. Menke, *Geophysical Data Analysis: Discrete inverse theory*, Academic press, Inc., Chap. 7, 119-125, 1984.
10. R. L. Peterson, R. E. Ziemer and D. E. Borth, *Introduction to Spread-Spectrum Communications*, Prentice Hall, New Jersey, Chap. 3, 89-148, 1995.
11. 오선택, 나정열, 오택환, 박정수, 나영남, 김영규, "한국 동해에서 토모그래피용 신호를 이용한 음파 도달시간의 시변동성," 한국음향학회지, 20 (5), 92-99, 2001.
12. 이찬길, "토모그래피용 신호의 발생 및 매질에 의한 변형해석 연구," 국방과학 연구소 보고서, 23-42, 2000.
13. 오택환, 오선택, 박정수, 나정열, "음향 신호를 이용한 해저면 설치 선배열 센서의 정밀 위치 추정," 2000년 한국음향학회 학술 발표대회 논문집, 20 (1(s)), 653-656, 2000.
14. 도경철, "주파수 영역에서의 디지털 빔형성기 설계," 국방과학 연구소 기술보고서, 22-33, 1989.

저자 약력

- 오택환 (Taek-Hwan Oh)
 - 1993년 3월~2000년 2월: 한양대학교 지구해양학과 (이학사)
 - 2000년 3월~2002년 2월: 한양대학교 지구해양학과 (이학석사)
 - 2002년 3월~현재: 한양대학교 지구해양학과 (박사과정)
 - * 주관심분야: 수중음향 신호처리, 수중소음, 정합장 처리, 해양음향 토모그래피
- 나정열 (Jungyul Na)
 - 1968년: 서울대학교 기상학과 (이학사)
 - 1972년: 미국 플로리다 주립대학교 해양학과 (이학석사)
 - 1976년: 미국 플로리다 주립대학교 해양학과 (이학박사)
 - 1977년~1986년: 국방과학연구소 책임연구원, 수중음향실장
 - 1996년~1997년: 한국음향학회 회장
 - 1986년~현재: 한양대학교 과학기술대학 지구해양학과 교수
 - * 주관심분야: 수중음향
- 석동우 (Dong-Woo Suk)
 - 1991년 12월: 미시간 대학교 지질학과 (박사)
 - 1995년 3월~현재: 한양대학교 지구해양학과 부교수
 - * 주관심분야: 해양지질, 자율항