

음원 위치 추정을 위한 Split Beam 방식에 관한 연구

윤현승*, 김정호*, 김천덕**

*부경대학교 대학원 음향진동공학과

**부경대학교 전기·제어계측공학부

The Study about Split-Beam Method for Estimation of Sound source

Hyun-Seung Youn*, Jung-Ho Kim*, Chun-Duck Kim**

*Dept. of Acoustic & Vibration Eng. Pukyung National Univ.

**Faculty of Electrical & Control Eng. Pukyung National Univ.

1. 서론

split-beam 방식에 의한 어체의 반사강도 측정법은 음향측 내에 분포하는 어체의 위치 및 체장의 측정이 가능하기 때문에 많은 실용화 실험을 거쳐 현재에는 어족 생물의 생태적인 습성이나 군습성 등의 연구에 널리 활용되고 있고 북태평양의 어업 자원 및 한국, 일본, 유럽, 북미국가 등의 주변 수역에 대한 어업 자원 조사에도 널리 이용되고 있다.

split-beam 에코사운더 방식에서는 그림 1에서와 같이 4개의 독립적인 초음파 트랜스듀서군을 선수와 선미, 좌현과 우현에 각각 배열하여 구성된 4분할 진동자를 이용하여 얻어진 어군 echo신호에 의해 해중의 단위 체적 공간에 대한 체적 산란 강도와 어군을 구성하는 개체의 평균반사강도를 구할 수 있다.

본 연구에서는 split-beam 방식의 기초 실험으로 공기중에서 네 개의 마이크로폰을 설치하여 공기중의 음원을 어체에서 반사되어 오는 echo신호로 가정하여 시뮬레이션 실험을 실시하였다.

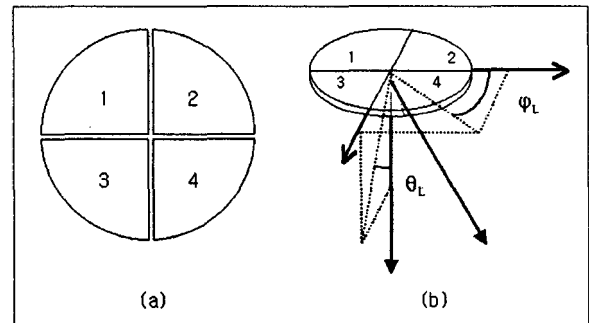


그림 1. split-beam 트랜스듀서의 기본 형태
(a) split-beam 트랜스듀서의 사분면 분할 배치
(b) 사분면에 의한 방위각 검출

2. 기본 원리

2.1. 위상각에 의한 방위각 산출

본 연구에서 사용한 음원 방향 추정에 대해 두 개의 마이크로폰에 의한 추정법의 기본 원리는 다음과 같다.

split-beam을 이용한 위치각도 측정은 다음 식과 같다.

$$\sin(\theta_L) = \omega \cdot \theta_e / d \quad (1)$$

여기서 θ_L 과 θ_e 는 음향축에 대한 음원의 방향각과 위상각이고 ω 는 echo신호의 각주파수, d 는 각 마이크로폰 사이의 중간 길이이다. 위상각은 마이크로폰 간의 실제 중심을 기준으로 입사하는 파의 위상차에 의해 구해지고 방위각은 음향축에서 목표의 방향에 대해 구해진다.

그림 1에서 각 마이크로폰의 음향축이 대하여 θ_L 만큼 벗어난 방향에 음원이 존재하는 경우, 음속을 C , 시간차를 ΔT 라고 하면 좌측과 우측의 대칭 마이크로폰에 각각 수신되는 신호의 거리차는 $C \cdot \Delta T$ 이다. 여기서, echo 펄스파인 수신 신호의 주파수에 대한 파장을 λ 라고 하면, 두 마이크로폰에 수신된 신호의 위상각 θ_e 는

$$\theta_e = \frac{2\pi \cdot C \cdot \Delta T}{\lambda} \quad (2)$$

와 같이 된다. 또

$$C \cdot \Delta T = \frac{C \cdot \theta_e}{\omega} \quad \left(C = \lambda f = \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right) \omega \right) \quad (3)$$

가 되므로 위상각 θ_e 은 식 (1)과 같이 구해진다.

또, 음향축에 대한 음원의 방위각 θ_L 은

$$\begin{aligned} \theta_L &= \sin^{-1} \left(\frac{C \cdot \Delta T}{d} \right) \\ &= \sin^{-1} \left(\frac{\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

이 되고, 만일 $\left(\frac{\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d} \right)$ 의 값이 미소하다면

$$\theta_L \approx \left(\frac{\lambda}{2\pi d} \right) \cdot \theta_e \quad (5)$$

이 되어 방위각 θ_L 은 전기적인 위상각 θ_e 를 측정하면 구할 수 있게 된다.

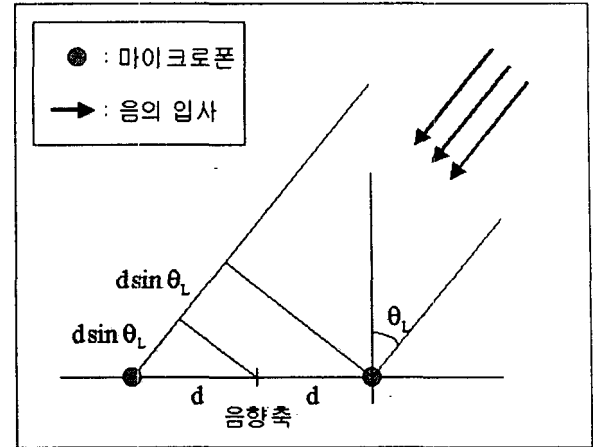


그림 2. 마이크로폰 간격과 입사각에 의한 음의 위상차

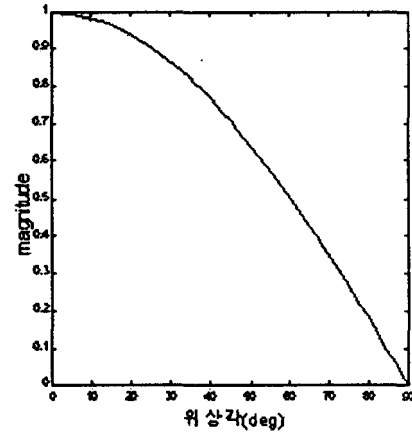


그림 3. 두 마이크로폰에 수신된 신호의 위상차에 대한 두 신호 합인 파워비

따라서, 네 개의 수신용 마이크로폰을 설치하여 음원의 방위각 θ 와 ϕ 를 구할 수 있다.

2.2. 시뮬레이션 실험

각 쌍의 마이크로폰에 도달한 신호의 위상각은 같은 시간의 두 신호를 가산하고, 가산된 신호의 파워를 정규화하여 기준 파워 패턴과 비교하여 구한다.

기준 파워 패턴은 실험과 동일한 조건의 주파수인 정현파에 대하여 시뮬레이션하였다.

음원 방향의 정확한 추정 거리는 split-beam방식의 경우 음의 방사 후 반사파가 되돌아온 시간에 의해 결정되나 본 연구에서는 반사물체를 음원으로 가정하여 방위각만을 고려하였다.

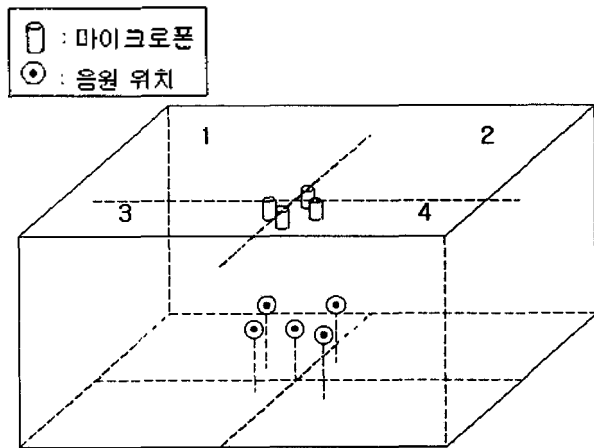


그림4. 음원 방향 추정 실험 배치도

3. 무향실 내 음원 방향 추정

음원 방위각 추정실험은 실제 음원과 측정된 음원 위치를 비교하기 위해 무향실에서 실시하였다. 그림 4는 음향축 상에서 이미 알고 있는 각도 위치에 음원을 놓고 실험하였다. 실험에서 사용주파수는 5kHz인 정현파를 방사하고 음원으로부터 r cm 떨어져 설치한 마이크로폰(B&K, type4135)으로 수신하여 앰프(B&K, type5935)로 폭한 후 DAT (Sony, PC216Ax)에서 녹음하였다.

추정의 순서로써 각 마이크로폰에 수신한 신호를 가산하고 A/D 변환을 거쳐 PC상에서 가산된 신호의 파워에 대한 값을 정규화된 값과 비교하여 방위각을 산출하였다.

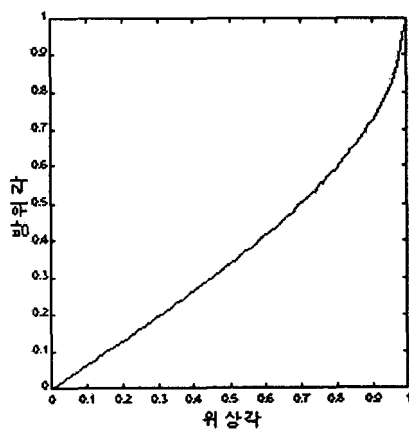
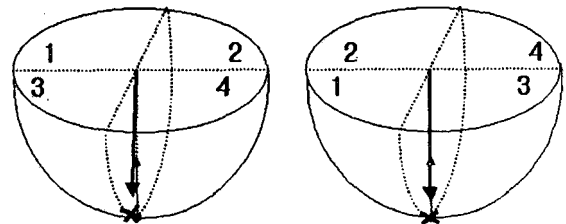
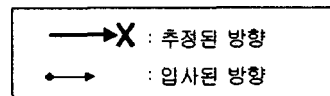


그림 5. 수신된 신호의 위상차와 음원의 방위각과의 비

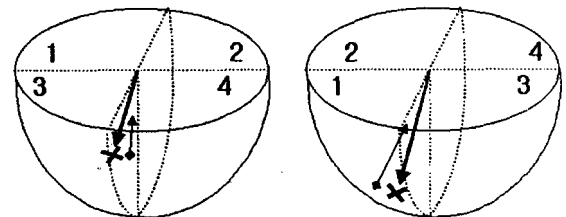
위상각에 대한 방위각의 값을 정규화하여 나타낸 그림 5에 나타내었다. 그림 5와 식(4)을 비교하여 $\left(\frac{\theta_e \cdot C}{\omega \cdot d}\right)$ 의 값이 선형적인 부분이내인 약 15° 이내에서는 추정의 오차가 적게 나타났다.

그 시간차에서 거리차를 계산하고 식(4),(5)에 의해 방위각을 계산하여 결과를 그림 6에 나타내었다.

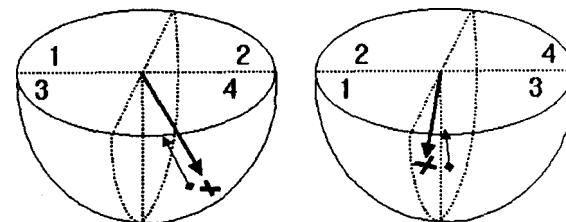
음향축 상($0^\circ, 0^\circ$)에서 음을 방사하였을 때와 임의의 지점인 ($-15^\circ, 15^\circ$), ($15^\circ, 15^\circ$), ($10^\circ, -5^\circ$)에서 방사한 음을 수신하여 그 방위각을 산출한 결과 각각 ($0.67^\circ, 0^\circ$), ($-21.1^\circ, 11.3^\circ$), ($17.4^\circ, 8^\circ$), ($16.3^\circ, 12.7^\circ$)의 값을 얻었다.



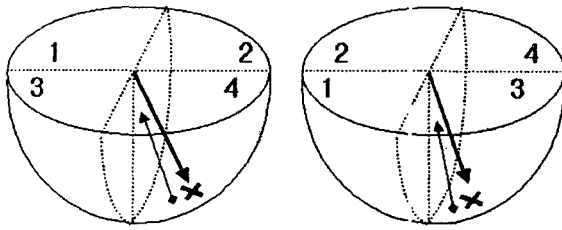
(a) 음원 P($0^\circ, 0^\circ$)에서의 방위각 추정
 $\Rightarrow (0.67^\circ, 0^\circ)$



(b) 음원 P($-15^\circ, 15^\circ$)에서의 방위각 추정
 $\Rightarrow (-21.1^\circ, 11.3^\circ)$



(c) 음원 P($15^\circ, 15^\circ$)에서의 방위각 추정
 $\Rightarrow (17.4^\circ, 8^\circ)$



(d) 음원 P(10° , -5°)에서의 방위각 추정
 $\Rightarrow (16.3^\circ , 12.7^\circ)$

그림 6. 음원의 방위각 추정 실험 결과

4. 결론

본 연구에서는 split-beam 에코 사운더 방식의 기초 연구로써 네 개의 마이크로폰을 이용한 음원의 방위각 추정에 대한 시뮬레이션과 무향실 내에서 실제 실험을 통하여 유효성을 조사하였다. 수신된 신호를 가산하여 그 파워값을 컴퓨터상의 시뮬레이션을 구하고 정규화 값과 비교한 결과 벽면 반사음과 주변 잡음의 영향으로 신호의 왜곡이 발생하고 최대 약 8° 의 오차가 발생하는 등의 문제점이 발생하였다. 그리고 실제음원이 음속 상 15° 이내에서는 방위각 추정이 용이하게 나타났다. 이 결과를 바탕으로 향후 정확한 음원 위치의 추정과 split-beam 트랜스듀서를 이용한 수중에서의 목표 위치 추정을 수행할 것이다.

참고 문헌

- [1] David N. MacLennan and E. John Simmonds, "Fisheries Acoustics", Chapman & Hall, 1992.
- [2] Ehrenberg, J.E., "A comparative analysis of in situ methods for directly measuring the acoustic target strength of individual fish", IEEE J. Ocean Engin. 4, 141-152, 1979
- [3] Gordon, L. and Zedel, L., "FishMASS: What can you do with a little bandwidth when you are watching fish?" Recent Advances in Sonar Applied to Biological Oceanography, 227, IEE Colloquium on , (1998) 1-4.
- [4] Robert Kieser, Timothy Mulligan and John Ehrenberg, "Observation and explanation of systematic split-beam angle measurement errors", Aquat. Living Resour., 13, (2000) 275-281