

2차원적 음원추적에 관한 연구

문성배* · 전승환**

A Study on 2-Dimensional Sound Source Tracking System

Serng-Bae, Moon · Seung-Hwan Jun***

<목 차>

Abstract

1. 서론

2. 계측원리

3. 계측오차

3.1 시간지연 측정오차

3.2. 센서의 위치오차

4. 결론

참고문헌

Abstract

When navigating in or near an area of restricted visibility, it is necessary to be heard the whistle, bell and/or the siren of lighthouses or ships at times. Even though we can get the brief informations about the property of sound, the direction and range of a sound radiator, it is not enough to get the accurate informations for decision making.

Generally the audio frequency is known as 16~20,000Hz, but the earshot is shorten and discrimination of sound is more difficult when there is some noise. The sound pressure is 60dB at the moment when human speaks 1 meter away. Usually the noise pressures are 40dB in a silent room and 60dB on the quiet street, respectively.

In this study, the basic algorithm and a method of signal processing are suggested to trace the direction and range of the source radiator using the signals received through not a physical sense but the microphone sensors.

* 한국해양대학교 대학원

** 한국해양대학교 해사수송과학부

1. 서론

국제무역이 활성화되고, 경제가 비약적으로 성장하면서 해운산업도 보다 발달하게 되었다. 또한 선박수량 및 해상교통량의 지속적인 증가와 아울러 해난사고도 계속 높아지고 있다.

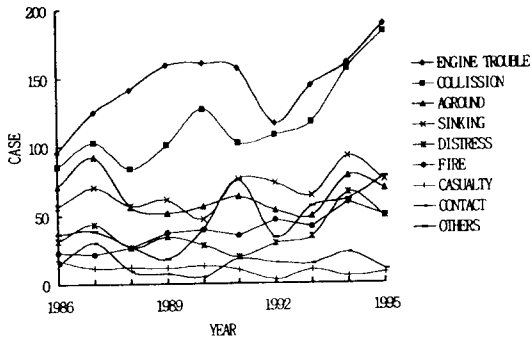


그림 1. 선박별 해난발생 현황

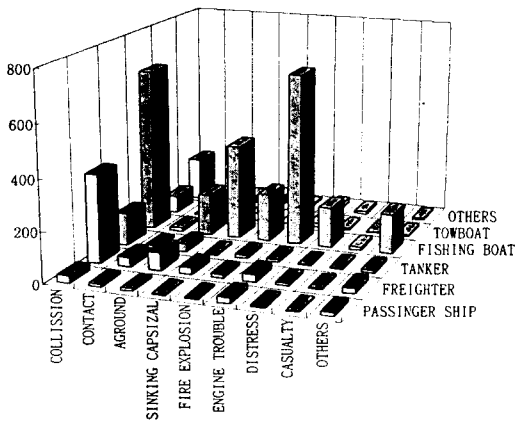


그림 2. 사고 유형에 따른 발생 현황

그림 1과 그림 2는 최근 10년간 우리나라에서 발생한 해난사고 현황을 나타낸 것이다.¹⁾ 그림에서 알 수 있듯이 충돌사고가 급격히 증가하고 있으며, 해난사고의 상당부분을 화물선, 유조선 및 어선이

차지하고 있다. 그 때문에, 선박안전을 위한 항로 배치, 안전수심, 선박 선회장의 크기, 연안항로의 설치, 또는 VTS의 설치 및 효율적인 운용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있고, 지금까지 선박의 안전항해를 위한 많은 연구결과가 보고되었다.²⁾⁻¹¹⁾

한편, 시정이 제한된 해역을 항해할 때 타선박의 기적, 호중 또는 등대의 사이렌 등의 신호음을 청취해야 할 필요성이 생기게 되며, 이 경우, 상대음의 존재 유무나 음원의 위치에 관해서는 개략적으로 알 수 있으나, 이를 근거로 항해사가 안전항해를 위한 일련의 의사결정을 하기에는 어려움이 따르고 있다.

인간의 청각은 약 16~20,000Hz 범위의 주파수대의 음(音)을 들을 수 있지만, 선체 주위에는 여러 종류의 소리들이 혼재하고 있어, 이들이 결국 소음의 형태로 기적 등의 신호음 청취에 영향을 미치게 된다. 주위의 소음이 없으면 상당히 먼 거리에서 발신되는 소리도 가청할 수 있지만, 소음으로 인해 그만큼 가청거리는 짧아지고, 신호음과 소음의 식별, 신호음의 도래 방향 등의 판별도 어렵다.

1m 떨어져서 보통 크기의 소리로 말할 때 상대방 소리의 크기는 대략 60dB이다. 또, 조용한 실내에서는 40dB, 사무실에서는 50dB, 조용한 거리는 60dB 정도가 소음의 기준이 되고 있다.¹²⁾ 실외에서 전파하는 음압은 음원(音源)에서의 거리가 2배가 될 때마다 약 6dB씩 감쇠된다.¹³⁾ 따라서, 선교의 소음기준을 60dB로 하였을 때 기적이 발하는 음이 사람의 귀에 들리는 거리는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$D = 2 \frac{Sp - Np}{6} \quad (1)$$

단, D : 음의 도달거리[m], Sp : 음원의 음압[dB], Np : 소음압[dB]

즉, 발신음압은 크고, 주위의 소음압이 작을수록 발신음의 가청거리가 커지고, 음의 명확성도 향상되는 것이다.

본 연구에서는 음원이 일정한 가청주파수대에서 발신하는 신호음과 주위 소음을 인간의 청각기관이 아닌 Microphone 센서를 통하여 수신하고, 소

음(잡음)을 제거하는 등의 일련의 신호처리를 하여 음원의 2차원적 위치(거리와 방향)를 추적하는 기본적인 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 계측원리

음원이 발하는 음향을 Microphone sensor列을 이용하여 수신하고, 각 센서에 의해 얻어지는 정보에 대해 적절한 신호처리를 하여 각 센서신호의 차등 시간지연을 측정함으로써, 수신기에 대한 음원의 상대위치(거리, 방위)를 측정하고자 한다. 또한, 일정한 시간간격을 두고 상대위치를 측정하여 음원의 상대운동(이동속도, 이동방향)도 구할 수 있다.

음원의 음향신호를 센서列로 수신할 경우, 어느 한 센서를 기준으로 했을 때, 다른 센서에는 센서의 배열, 간격 등의 제요소에 따라 수신음에 대한 시간지연(time delay)이 생기게 된다. 각 센서신호의 시간지연 차를 측정하여 음원의 상대위치를 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

음원의 음파에너지가 n 개로 구성된 센서列에 수신된다고 하면, 어떤 시간 t 에 i 번째 센서에 수신되는 신호 e_i 는 식(2)와 같이 주어진다.14)

$$e_i(t) = s[K_i(t + \xi_i)] + n_i(t) \quad (2)$$

$i=1,2,3,\dots$

단, $s(t)$, $n_i(t)$ 는 센서에 수신되는 신호와 외부 잡음

ξ_i 는 시간지연

K_i 는 음원의 센서에 대한 상대운동으로 인한 시간압축

여기서 신호와 잡음은 상관관계가 없다고 보았을 때, i 번째 센서에 대한 시간압축은 다음과 같다.

$$K_i(t) = 1 + V_i/C \quad i=1,2,3, \quad (3)$$

단, C 는 음속

V_i 는 bearing line에서의 분속도

음원의 속도가 음속 C 에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다고 하면 V_i/C 항은 무시할 수 있으며, 따라서, 식(2)는 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$e_i(t) = s(t + \xi_i) + n_i(t) \quad i=1,2,3,\dots \quad (4)$$

음원에서 i 번째 센서까지의 거리 R_i 는

$$R_i = C \cdot \tau_i \quad i=1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

단, τ_i 는 음원으로부터 i 번째 센서까지의 음향의 전파시간

가 되고, 각 센서사이의 발신음 수신 시간차는 식(6)으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij} = -\tau_{ji} = \tau_i - \tau_j \quad i, j=1,2,3,\dots \quad (6)$$

센서의 수가 많을수록 정확한 거리와 방위를 구할 수 있을 것으로 예측할 수 있지만, 3개의 센서로 구성된 계측계로도 정확한 결과를 얻을 수 있으므로 3-sensor system 모형을 다루기로 한다.

그림 3은 음원과 센서들로 이루어진 3-sensor system의 기하학적 구조를 나타낸 것으로, M_1 , M_2 , M_3 는 수신센서이고, L_1 , L_2 는 센서간의

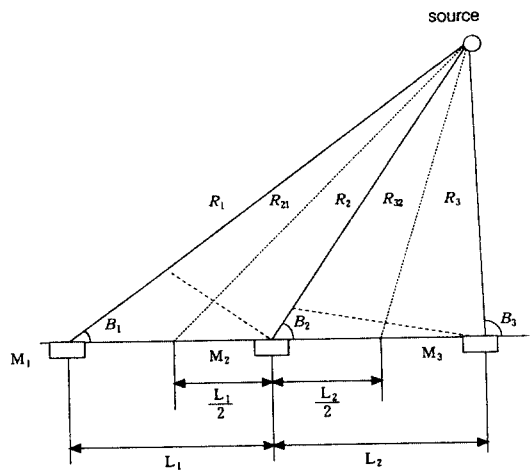


그림 3. 음원과 수신센서와의 기하학적 구조

간격이고, B_1, B_2, B_3 는 각 센서에서 음원과 센서 열이 이루는 교각이다.

이 3-sensor system에서 3개의 센서들은 동일 일직선상에 존재하고 센서간격을 알고 있다고 하면, 삼각함수의 관계를 이용하여 음원으로부터 기준센서 M_2 까지의 거리 R_2 와 음원에 대한 방위 B_2 를 구할 수 있다.

음원과 각 센서사이에는 다음 식이 성립한다.

$$R_3 = R_2 + C \cdot \tau_{32} \quad (7a)$$

$$R_1 = R_2 - C \cdot \tau_{21} \quad (7b)$$

음원과 각 센서들이 평면상에서 이루는 함수관계를 이용하여, $L_1 = L_2 = L$ 로 두고 R_1 과 R_3 를 소거하면, 기준센서 M_2 로부터 음원까지의 거리와 방위는 식(8)과 식(9)에 의해 구할 수 있다.

$$R_2 = \frac{2L^2 - (C \cdot \tau_{32})^2 - (C \cdot \tau_{21})^2}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad (8)$$

$$B_2 = \cos^{-1} \frac{(C \cdot \tau_{21})^2 - 2R_2 \cdot C \cdot \tau_{21} - L^2}{2R_2 \cdot L} \quad (9)$$

또한, 측정된 음원의 방위와 거리를 이용하여 이 동속도와 방향을 구할 수 있다. 즉, 시간간격을 두고 발신되는 2차 음향신호의 위치를 측정함으로써 음원의 상대운동(relative motion)과 진운동(true motion)을 측정할 수 있다.

3. 계측오차

다음으로 계측오차에 관해 살펴보기로 한다.

위의 식(8),(9)에서 보는 바와 같이, 방향과 거리 측정에는 크게 다음 두 가지 오차가 영향을 미친다.

- ① 공간적으로 분리된 각 센서에 수신되는 신호의 시간지연 측정오차
- ② 센서의 위치오차

3.1 시간지연 측정오차

시간지연의 측정오차는 신호대 잡음비(SNR), 관측시간(observation time), 주파수폭(bandwidth),

중심주파수(center frequency)와 같은 신호와 잡음의 매개변수에 의해 좌우된다. 일반적으로, 수신기 주위에는 여러종류의 잡음이 존재하는데, 이러한 잡음요소의 주파수를 분리·제거할 수 있다면 SNR의 향상은 물론 음의 가청거리도 커지게 된다. 이를 위하여, 아날로그 필터회로를 이용하거나 또는 그림 4에 보이듯이 음을 수신하는 센서의 외 주위의 잡음만을 수신할 수 있는 센서를 설치하여 두 센서 신호를 공간차분함으로써 잡음을 제거하는 등의 신호처리 등의 신호처리 기법을 활용하고자 한다.

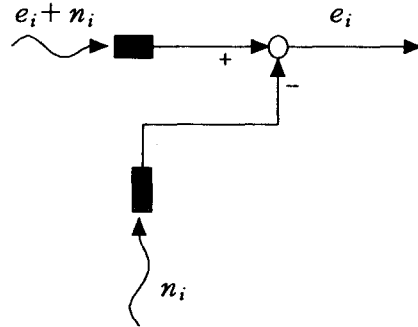
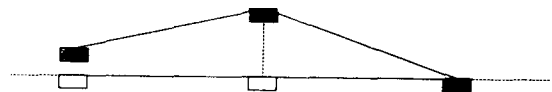


그림 4. 센서 수신신호의 공간차분

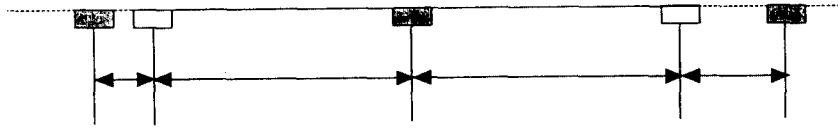
3.2 센서의 위치오차

실제 계측계를 구성함에 있어 발생하기 쉬운 센서의 공간적 위치오차에 관해 보다 구체적으로 검토하기로 한다.

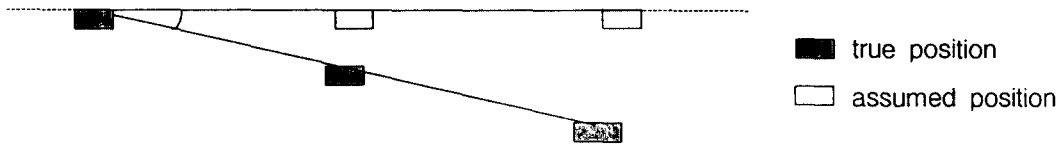
센서의 공간적 위치오차는, 센서의 배열이 일직선이 아닌 경우, 센서간의 간격이 부정확한 경우, 센서의 배열선이 센서 배열의 기준이 되는 baseline과 일치하지 않는 경우에 발생한다. 그림 5는 이와 같은 센서의 공간적 위치오차의 3가지 발생 형태를 나타낸 것으로, 센서의 진위치와 가정위치와의 기하학적인 구조를 나타낸다.



① 센서의 배열이 일직선을 이루지 않은 경우

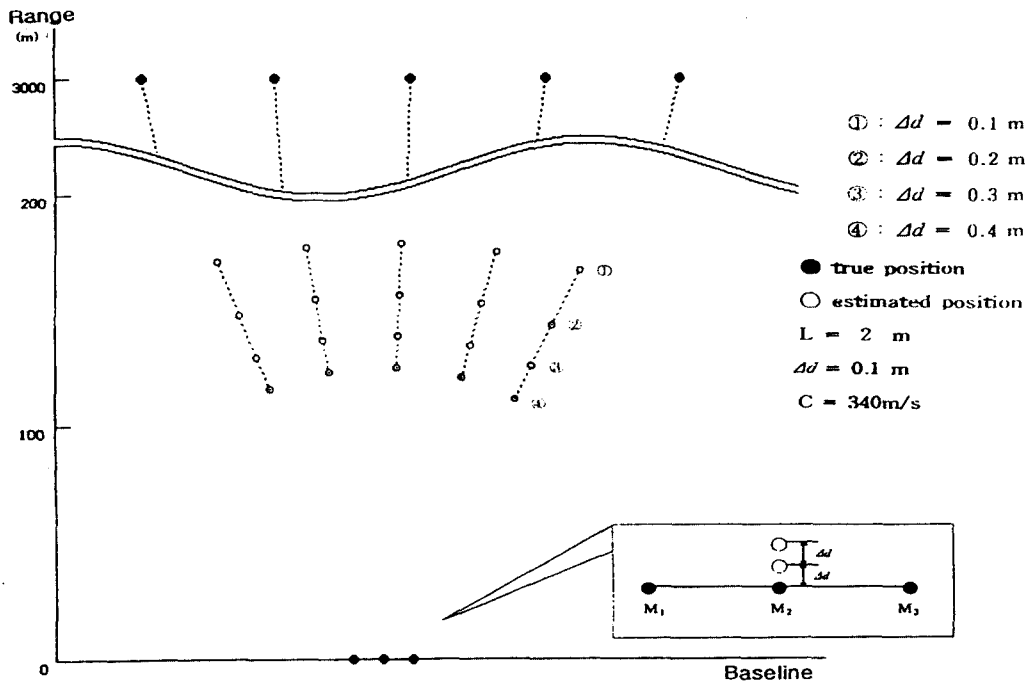


② 센서의 배열선이 baseline과 일치하지 않은 경우

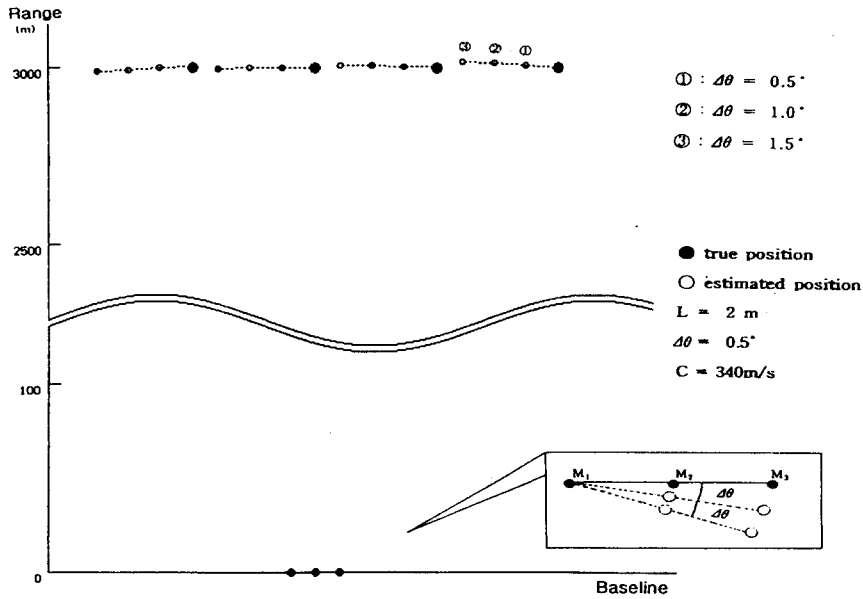


③ 센서간의 간격이 부정확

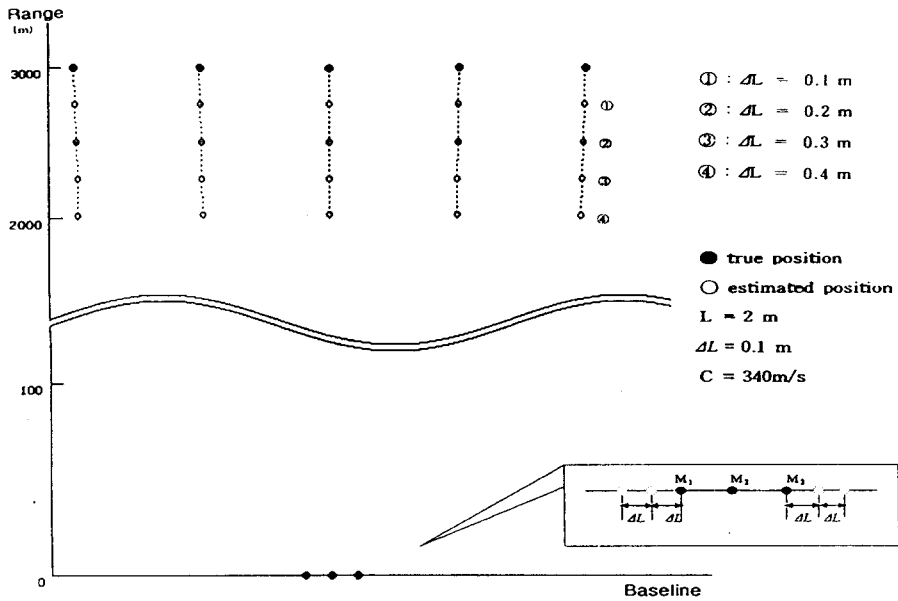
그림 5. 센서의 공간적 위치오차의 발생 형태



① 센서의 배열이 일직선을 이루지 않은 경우



② 센서의 배열선이 baseline과 일치하지 않은 경우



③ 센서간의 간격이 부정확한 경우

그림 6. 센서의 공간적 위치오차에 대한 시뮬레이션

그림 6은 그림 5의 각 경우에 대하여 센서의 공간적 위치오차로 인해, 측정되는 시간지연이 음원 추적에 미치는 영향에 관해 시뮬레이션한 것으로, baseline으로부터 음원까지의 거리를 약 3,000m, 센서간의 간격을 2m, 음속을 340m/s로 설정하였다. 센서의 공간적 위치오차가 있는 경우, 센서간의 시간지연 측정에는 차가 발생하며, 이것은 결국 식 (8),(9)에 의해 구해지는 음원의 위치에 영향을 미치게 된다.

그림 ㉑는 센서의 배열이 일직선이 아닌 경우의 시뮬레이션이다. 이 경우는 중간센서 M_2 가 baseline에 대해 음원쪽 수직방향으로 오차 Δd 가 0.1m씩 증가하는 것이다. 센서의 위치오차로 인한 시간지연의 차이가 음원의 위치 측정에 상당히 큰 거리오차를 발생시키고 있다. 그러나, 방위오차에 미치는 영향은 무시할 수 있을 정도로 미소하다. 그림 ㉒는 센서의 배열선이 baseline과 일치하지 않은 경우의 시뮬레이션이다. 음원과 센서에 대한 시뮬레이션 조건은 위의 ㉑의 경우와 동일하다. 이 경우는 센서 M_1 을 중심으로 전체 센서배열선이 반시계방향으로 회전각 $\Delta\theta$ 가 0.5° 씩 증가하는 것이다. 이 경우 거리오차는 무시할 정도로 미소하고, 방위오차는 센서열의 회전방향과 반대방향으로 센서열의 회전각 만큼 회전하였다. 즉, 거리보다는 방위에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 그림 ㉓는 센서간의 간격이 부정확한 경우에 대한 시뮬레이션이다. 음원과 센서에 대한 조건은 위의 경우와 동일하고, 센서 M_1 과 M_3 가 각각 중간센서로부터 멀어지는 방향으로 오차 $\gamma\Delta L$ 이 0.1m씩 증가하는 것이다. 그림 ㉑에 비해 거리오차가 상당히 적고, 방위오차도 그림 ㉒의 경우보다 적다. 또한, 음원이 센서열의 수직방향에 존재할수록 방위에 미치는 영향은 적어짐을 나타내고 있다.

이상과 같이, 음원의 거리와 방위를 측정하는데 있어서 센서의 배열의 정확성 즉, 센서의 위치에 관한 정보는 각 센서간의 시간지연 측정에 영향을 주는 큰 요소가 된다. 특히, 위 그림 ㉑에서 보는바와 같이 센서열이 일직선을 이루지 못하는 경우는

음원의 위치측정에 있어서 가장 큰 오차를 발생시키는 요인이 된다.

다음으로, 시간 측정에는 하드웨어적으로 오차가 없으나, 센서간격 L 의 설정에 오차가 포함되었을 때, 오차가 거리측정에 미치는 영향에 대해 살펴보기로 한다.

센서간의 간격 L 에 오차 ΔL 이 있을 때 측정된 거리를 \widehat{R}_2 라 하면, \widehat{R}_2 는 식(10)으로 나타낼 수 있다.

$$\widehat{R}_2 = \frac{2(L + \Delta L)^2 - (C \cdot \tau_{32})^2 - (C \cdot \tau_{21})^2}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad (10)$$

거리오차를 ΔR_2 라 하면, ΔR_2 는 식(11)로 나타낼 수 있다.

$$\Delta R_2 = \widehat{R}_2 - R_2 = \frac{2\Delta L^2 + 4L \cdot \Delta L}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad (11)$$

시간지연 측정에는 오차가 없는 것으로 하면, 정규화한 거리오차($\Delta R_2/R_2$)는 식(12)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{2\Delta L^2 + 4L \cdot \Delta L}{2L^2} \quad (12)$$

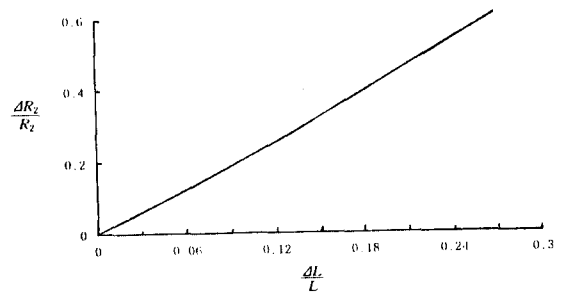


그림 7. ΔL 이 거리오차에 미치는 영향

그림 7은 ΔL 이 음원까지의 거리측정에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 가로축은 정규화된 센서의 간격오차를, 세로축은 정규화된 거리오차를 나타낸다. 이처럼 ΔL 이 클수록 거리오차는 완만한 곡선

을 그리면서 커진다.

그림 8은 위와같은 2차원적 음원추적 알고리즘

을 근거로 한 실제측계의 구성 및 신호처리계를 나타낸 것이다.

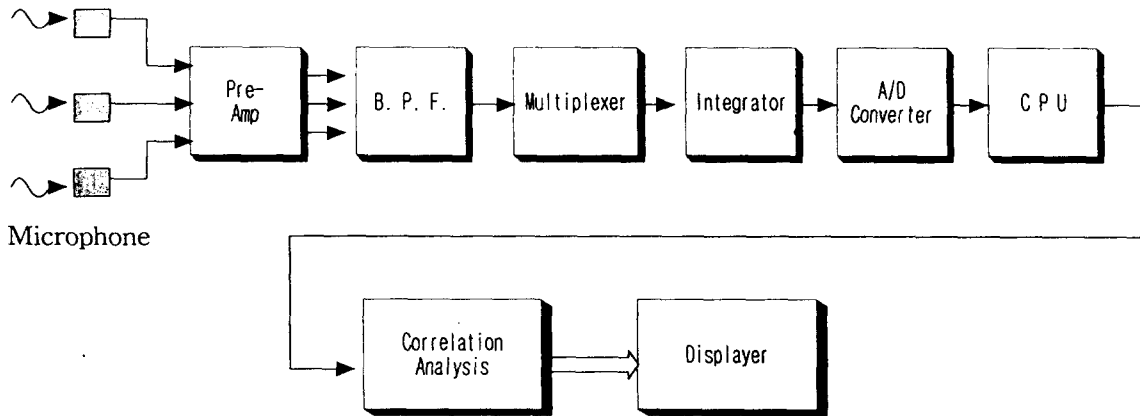


그림 8. 계측계의 구성 및 신호처리계

4. 결론

본 연구에서는 가청주파수의 음(音)을 인간의 청각이 아닌 Microphone 센서를 통해 수신하여 신호처리함으로써, 음원의 2차원적 위치(거리와 방향)를 추적하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법으로 시스템을 구성하면, 구조가 비교적 간단하고 소형이면서 실시간 측정이 가능하여 특히, 선박에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

앞으로의 연구과제로써, 방향측정오차에 관한 검토, 복수의 음원이 발신하는 복수 신호음의 처리, 신호음과 소음의 주파수분석 및 이를 근거로 한 계측장치의 구현과 실험을 통한 본 시스템의 정량적 평가 등의 문제가 남아있다.

참고문헌

1. 海難審判事例集, 中央海難審判院, 1987-1996
2. Atkins, D. A., Bertsche, W.R., "Evaluation of the Safety of Ship navigation In Harbours",

Proceedings of Spring Meeting/STAR Symposium, Coronado, California, p65-77, 1980

3. Kim, W. S., "Port Design and Simulation: Validity of Microcomputer Aided Port Design and Its application", Doctoral Thesis of the University of Wales, Cardiff, June, p. 194-216, 1990
4. 정세모 외3인, "인천항 출입항로 개선 방안에 관한 연구", 해양안전학회지, 제2권 제1호, 1996
5. 윤점동 외2인, "아산항 계획 항로에서의 선박 통항의 안전성 평가 검토", 한국항해학회지, 제18권 제2호, 1994
6. 해운항만청, 연안해역의 항행환경조사 및 항로 개선에 관한 연구, 1994.
7. 김환수, "선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구", 해양안전학회지, 제1권 제1호, pp. 9-25, 1995
8. Maritime Dynamics, "Port of Sunderland Simulation study Report", Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U.K., July 1987

9. Maritime Dynamics, "Second Severn Crossing Ship Simulator study Report", Publication of Maritime Dynamics Ltd., Llantrisant, U.K., Mar 1989
10. FUJII Y., YAMANOUCHI H. & MATSUI T, "Survey on Vessel Traffic Management Systems and Brief Introduction to Marine Traffic Studies", Electronic Navigation Research Institute Papers, Vol.45, tokyo, 1984
11. 박진수, "Quantification of The Effectiveness of Vessel Traffic Services", 해양안전학회지, 제1권 제1호, pp. 83-93, 1995
12. "騒音防止工學", 技研社, pp. 17-18 (1991)
13. アメリカ合衆國 労働省労働安全衛生局, "イラスト現場の騒音対策", オーム社, p. 9 (1992)
14. Charles H. Knapp and G.C. Carter, "Estimation of time delay in the presence of source or receiver motion", J. Acoustic. Soc. Am. 61(6), pp. 1545-1549 (1977)