

2차원적 음원추적에 관한 연구IV - 음원위치의 근사적 결정법을 중심으로 -

문 성 배* · 전 승 환**

A Study on 2-Dimensional Sound Source Tracking System IV
- Mainly on Approximation of the Relative Bearing and Distance -

Serng-Bae Moon* · Seung-Hwan Jun**

〈목 차〉	
Abstract	3. 실험방법 및 결과
1. 서 론	4. 결 론
2. 음원위치의 근사적 결정	참고문헌

Abstract

We have reported the new measurement system which was substituted digital filter for the analog filter in order to develop the optimal system that could find the time delay between each sensors with high accuracy. And also we have confirmed through the experiments that the accuracy of measurements were differentiated by the methods what kind of digital filter had been adopted.

This paper suggests two algorithms which approximate the sound source's bearing and distance. One is that sound source's relative bearing can be approximately regarded as the gradient of hyperbolic asymptote, the other is that the source's range can be approximated under the condition of a long range source relative to the sensor's interval. And a series of experiments were carried out with the source's distance 22.42meters and the random bearing interval within the limits of $-90^\circ \sim +90^\circ$. As a result, we have recognized that the approximation methods could measure the bearing and distance with higher accuracy than the method using trigonometric relation could do.

* 정희원, 한국해양대학교 한바다호

** 정희원, 한국해양대학교 운항시스템공학부

1. 서 론

앞서 보고한 논문¹⁾에서는 마이크로폰으로 수신된 신호음에서 외부 노이즈(Noise)를 제거하고, 위상특성의 문제점을 보완하기 위하여 디지털 필터로 신호처리하는 새로운 실계측계 및 신호처리계의 구성과 그 특성에 관하여 기술하였다. 그리고, 최적의 계측계를 개발하기 위하여 신호음원의 위치를 다양하게 바꾸면서 신호음을 수신하고, 각 디지털 신호처리 기법별로 음원의 거리 및 상대방위를 측정하여, 그 정도(精度)를 비교 분석한 실험결과를 보고하였다.

본 논문에서는 신호음원의 거리가 센서 어레이의 길이에 비해 상대적으로 멀 경우 음원의 위치를 근사적으로 결정할 수 있는 알고리듬으로서, 점근선(漸近線, Asymptote)을 이용한 근사적 방위 결정법과 삼각함수법에 기초를 둔 근사적 거리결정법에 대하여 기술하였다. 그리고, 이를 근거로, 기초 실험을 통하여 근사적 위치결정법과 기존의 삼각함수 측정법의 차이 및 효용성에 관하여 논하였다.

2. 음원위치의 근사적 결정

타 선박이 발신하는 기적음을 어떤 일정한 형태로 배치되어 있는 3개의 센서를 통하여 수신할 때, 각 센서의 배열, 간격 등의 제요소에 따라 수신음에 도달시간차(Time Delay)가 발생하게 된다.²⁾ 이 도달시간차를 이용하여, 수신부에 대한 기적음원의 상대위치를 측정하는 것이 기본적인 음원추적 알고리듬이고, 이러한 측정원리로서 쌍곡선 측정원리와 삼각함수 측정원리가 있다.³⁾ 삼각함수 측정원리에서는 음원의 상대방위를 측정하기 위하여 거리를 먼저 연산하여야 하기 때문에, 측정된 거리에서 오차가 증가하면 할수록 측정되는 방위에도 오차가 증가하게 되고, 센서의 개수는 반드시 3개 이상이 요구되기 때문에 시스템이 커질 수 있다는 단점을 가지고 있다. 한편, 쌍곡선 측정원리는 음원까지의 거리 및 상대방위를 독립적으로 연산할 수 있지만, 연산식이 복잡하다는 단점을 가지고 있다. 본

연구에서는 도달시간차 검출에서 발생한 오차가 음원의 거리 및 방위측정에 미치는 영향을 적계할 수 있는 알고리듬에 대하여 논하기로 한다.

2.1 근사적 상대방위 결정

3-Sensor System에서 3개의 센서 M₁, M₂ 및 M₃가 L₁₂와 L₂₃의 간격으로 일직선상에 배열되었을 때, 하나의 음원으로부터 발신된 신호음은 각 센서 사이에 어떤 도달시간차를 가지고 도달하게 된다. 이 도달시간차를 거리차 ΔR로 환산하면 식(1)과 같이 된다.

$$\Delta R_{ij} = c \cdot \tau_{ij} \quad [\text{m}] \quad \dots \dots \dots (1)$$

단, c는 음속 [m/s],

i, j는 센서 번호(1, 2, 3),

τ_{ij}는 센서 사이의 도달시간차[sec]

따라서, 신호음원은 두 센서로부터 거리차가 일정한 궤적(軌跡)인 쌍곡선의 어느 한 점에 존재하게 된다. 연산식을 간단히 하기 위하여 위치측정의 기준인 M₂ 센서는 Cartesian좌표계의 원점으로 하고 센서어레이를 x 축으로 하였을 때, 센서 M₁과 M₃을 초점으로 하는 쌍곡선의 방정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.³⁾

$$\sqrt{(x_s + L_{12})^2 + y_s^2} - \sqrt{(x_s - L_{23})^2 + y_s^2} = \Delta R_{13} \quad \dots \dots \dots (2)$$

단, x_s, y_s는 평면좌표계에 음원의 좌표

그리고, 센서간의 간격을 L₁₂ = L₂₃ = L로 두고, 식(2)를 정리하면 식(3)과 같은 일반식을 구할 수 있다.

$$\frac{4x_s^2}{\Delta R_{13}^2} - \frac{4y_s^2}{4L^2 - \Delta R_{13}^2} = 1.0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

한편, 이 쌍곡선은 한 쌍의 점근선을 가지게 되는데, 식(3)의 우변항을 0으로 두고 정리하면, 식(4)와 같은 쌍곡선의 점근선 방정식을 구할 수 있고, 이 점근선의 기울기는 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_s = \pm \sqrt{\frac{4L^2 - \Delta R_{13}^2}{\Delta R_{13}^2}} x_s \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$B_2 = \tan^{-1} \left(\pm \sqrt{\frac{4L^2 - \Delta R_{13}^2}{\Delta R_{13}^2}} \right) \quad \dots \dots \dots (5)$$

따라서, 센서 간격에 비해 신호음원으로부터 센서 어레이까지의 거리가 충분히 크다면, 신호음원의 궤적인 쌍곡선의 점근선을 음원이 존재하는 위치선(位置線, Line of Position)으로 간주할 수 있고, 이 점근선의 기울기를 상대방위로 결정할 수 있다.

Fig. 1은 쌍곡선과 점근선의 관계를 평면상에 나타낸 것이다. 그림에서 신호음원으로부터 센서 M_1 과 M_3 의 거리차가 ΔR_{13} 라고 하였을 때, 좌표계의 원점으로부터 쌍곡선의 꼭지점까지의 거리는 $\Delta R_{13}/2$ 가 된다.

점근선의 방정식을 이용한 신호음원의 상대방위 측정법은 두 개의 센서만으로도 측정이 가능하고, 연산식이 간단하다는 장점이 있다. 그러나, 신호음원까지의 거리가 센서의 간격에 비해 작으면 측정되는 방위오차가 커지는 단점이 있기 때문에, 신호음원까지의 거리가 충분히 클 경우에만 적용이 가능하다.

2.2 근사적 거리 결정

Fig. 2는 3-Sensor System의 삼각함수 관계를 나타낸 것으로서, M_1 , M_2 및 M_3 가 간격 L_{12} 와 L_{23} 로 일직선상에 배열되어 있다. 그리고, 각 센서에서 음원까지의 거리는 R_1 , R_2 및 R_3 이고, B_1 , B_2 및 B_3 는 각 센서에서 음원과 센서 어레이가 이루는 교각이며, B_{12} 와 B_{23} 는 센서 어레이에서 $L_{12}/2$ 와 $L_{23}/2$ 인 가상의 위치에서 음원과 이루는 교각이다.

여기서, 신호음이 τ_{12} 와 τ_{23} 의 도달시간차를 가지고 수신되었을 때, 음원의 거리는 전 논문²⁾에서 제시한 바와 같이 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_2 = \frac{L_{12} \left[1 - \left(\frac{c \cdot \tau_{12}}{L_{12}} \right)^2 \right] + L_{23} \left[1 - \left(\frac{c \cdot \tau_{23}}{L_{23}} \right)^2 \right]}{2 \left(\frac{c \cdot \tau_{23}}{L_{23}} - \frac{c \cdot \tau_{12}}{L_{12}} \right)} \quad \dots \dots \dots (6)$$

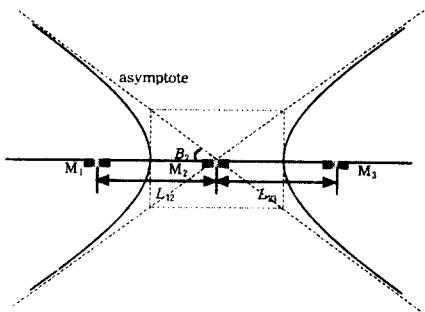


Fig. 1. Estimation of target's relative bearing using hyperbolic asymptote

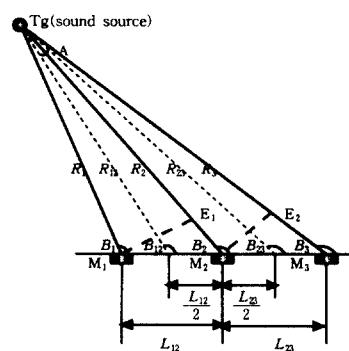


Fig. 2 Trigonometric arrangement of sensor and target

한편, 음원의 거리가 센서 사이의 간격에 비해서 상당히 멀다고 하면, 식(7a)와 식(7b)의 관계가 성립할 수 있고, 선분 $\overline{M_1E_1}$ 과 $\overline{E_1M_2}$, $\overline{M_2E_2}$ 와 $\overline{E_2M_3}$ 가 거의 직교한다고 할 수 있다.⁴⁾

$$\angle(\pi - B_{12}) \approx \angle(\pi - B_2) \quad \dots \dots \dots (7a)$$

$$\angle(\pi - B_2) \approx \angle(\pi - B_{23}) \quad \dots \dots \dots (7b)$$

이러한 가정 하에 식(6)의 R_2 는 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$\begin{aligned}
R_2 &= \frac{L_{12}[1 - \cos^2(\pi - B_2)]}{2[\cos(\pi + B_2 - 2B_{23}) - \cos(\pi - B_2)]} \\
&\quad + \frac{L_{23}[1 - \cos^2(\pi + B_2 - 2B_{23})]}{2[\cos(\pi + B_2 - 2B_{23}) - \cos(\pi - B_2)]} \\
&= \frac{L_{12}[1 - \cos^2(\pi - B_{12})] + L_{23}[1 - \cos^2(\pi - B_{23})]}{2[\cos(\pi - B_{23}) - \cos(\pi - B_{12})]} \\
&= \frac{L_{12}[\sin^2(\pi - B_{12})] + L_{23}[\sin^2(\pi - B_{23})]}{2[\cos(\pi - B_{23}) - \cos(\pi - B_{12})]} \\
&= \frac{L_{12}[\sin^2 B_{12}] + L_{23}[\sin^2 B_{23}]}{2[-\cos B_{23} + \cos B_{12}]} \\
&= \frac{\frac{L_{12}}{2} \sin^2 B_{12} + \frac{L_{23}}{2} \sin^2 B_{23}}{\cos B_{12} - \cos B_{23}} \quad \dots\dots\dots(8)
\end{aligned}$$

또한, Fig. 2에서 A는 R_{12} 와 R_{23} 가 음원에서 이루는 협각이라고 하였을 때, 식(9)의 관계가 성립되고, 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = B_{23} - B_{12} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\begin{aligned}
\cos B_{23} &= \cos(A + B_{12}) \\
&= \cos A \cos B_{12} - \sin A \sin B_{12} \quad \dots\dots\dots(10)
\end{aligned}$$

그리고, 음원의 거리가 멀다면 $\cos A \approx 1$ 의 관계가 성립되기 때문에, 식(10)은 식(11) 및 식(12)와 같이 전개된다.

$$\begin{aligned}
\cos B_{23} &= \cos A \cdot \cos B_{12} - \sin A \sin B_{12} \\
&\approx \cos B_{12} - \sin A \sin B_{12} \quad \dots\dots\dots(11)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sin A \sin B_{12} &\approx \cos B_{12} - \cos B_{23} \\
&\approx -2 \sin \frac{B_{12} + B_{23}}{2} \sin \frac{B_{12} - B_{23}}{2} \\
&\approx 2 \sin \frac{2B_{12} + A}{2} \sin \frac{A}{2} \\
&\approx \sin B_2 \sin A \quad \dots\dots\dots(12)
\end{aligned}$$

$$\text{단, } B_2 = \frac{2B_{12} + A}{2}$$

따라서, $\sin B_{12} \approx \sin B_2$ 의 관계가 성립된다. 그리고, 위와 같은 방법으로 식(13)을 정리하면 $\sin B_{23} \approx \sin B_2$ 가 성립되고 식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\cos B_{12} = \cos(B_{23} - A) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\sin B_{23} \approx \sin B_2 \approx \sin B_{21} \quad \dots\dots\dots(14)$$

그러므로, 식(8)은 다음과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

$$R_2 \approx \frac{\frac{L_{12} + L_{23}}{2} \sin B_2}{\sin(B_{23} - B_{21})} \quad \dots\dots\dots(15)$$

그러나, 삼각함수 측정법만으로는 B_{12} 와 B_{23} 를 연산할 수 없기 때문에, 식(15)를 이용하여 음원의 거리를 근사적으로 결정하기 위해서는 방위 측정식인 식(5)를 혼용하여야 한다.

3. 실험방법 및 결과

3.1 실험방법

본 연구에서는 쌍곡선의 점근선을 이용하여 음원의 상대방위를 근사적으로 결정하는 기법과 삼각함수법에 기초를 둔 근사적 음원거리 결정 알고리듬의 효용성 및 정도를 검증하기 위하여, 음원으로부터 센서 어레이까지의 거리를 충분히 크게 하였다. 실험은 넓이 약 $450m^2$ ($30m \times 15m$)이고 높이가 약 5m인 콘크리트 재질의 건물 실내에서 수행되었다. 음원의 거리는 실험장소의 공간적인 제약을 고려하여 22.42m로 두었다. 그리고, 중간 센서 M₂에서 센서 어레이와 수직인 방위를 방위측정의 기준인 0° 로 하였을 때, 음원의 진방위는 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 의 범위에서 $10^\circ \pm 5^\circ$ 의 간격으로 랜덤하게 설정하였다. 또한, 실험환경의 변동 등을 고려하여 신호음은 15회 연속 측정하였다.

한편, 본 연구에서는 센서에 신호음과 함께 수신되는 반사파 및 여러 가지 소음을 제거하고, 정확한 도달시간차를 검출할 수 있는 최적의 계측계를 개발하고자 3개의 디지털 필터^{6,7)}로 신호처리하고, 음원의 거리와 상대방위를 측정하였다. 그리고, 그 측정결과와 디지털 필터링 이전에 아날로그 고역통과필터 회로만으로 신호처리하고 측정한 거리 및 방위결과와 서로 비교 분석하였다. 여기서, 디지털 필터는 크게 유한임펄스응답(Finite Impulse

Response)필터와 무한임펄스응답(Infinite Impulse Response)필터로 나눌 수 있다. 먼저, FIR필터는 직선위상특성을 용이하게 실현할 수 있는 필터로서, 카이저창(Kaiser Window)함수법을 이용하여 저역통과형(Low Pass Type)으로 설계하였고, 필터의 차수는 181차였다. 그리고, IIR필터는 급준한 차단특성을 실현할 수 있고, 디지털신호처리에서 FIR필터보다 연산량을 크게 줄일 수 있는 것으로서, 역체브체프(Inverse chebyshev)필터를 선택하였다. 그리고, IIR필터는 저역통과형과 고역통과형(High Pass Type)으로 각각 설계하였다. 여기서, 저역통과형은 노이즈를 제거하기 위한 것이고, 고역통과형은 신호음이 수신되기 시작하는 부분의 파형을 그 다음의 신호음이 안정된 부분의 파형보다 상대적으로 진폭을 크게하기 위한 것으로서, 이들 필터의 차수는 모두 4차였다. 또한, IIR HPF로 신호처리할 경우는 고주파성분이 그대로 남아있기 때문에 위에서 설계한 FIR LPF로 동시에 신호처리하였다.

그리고, 음원까지의 거리 및 상대방위는 삼각함수법과 근사적 음원위치 결정법을 통하여 개별적으로 측정한 후, 그 정확도를 서로 비교 분석하였다.

3.2 삼각함수법 실험결과

3.2.1 상대방위 계측

Fig. 3은 동일한 음원 위치에서 수신한 데이터에 대하여 각각의 필터링 방법으로 신호처리 한 후 측정된 방위결과를 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 측정시 신호음원의 진방위, 세로축은 방위 오차량이고, 측정 결과로서 신호처리 기법별로 측정된 방위의 평균 오차량 분포를 도시하였다.

실험결과 음원의 진방위가 센서 어레이에 근접할 수록 필터링 방법에 상관없이 측정된 방위의 평균오차가 증가하는 것을 알 수 있었다. 그림에서 아날로그 고역통과필터로 신호처리 한 경우는 FIR LPF의 경우와 유사한 평균오차의 분포를 보이고 있고, IIR LPF의 경우는 다른 신호처리 경우와 비교하여 평균 오차량이 커지는 것을 알 수 있다. 한편, IIR HPF와 FIR LPF로 동시에 신호처리 한 경

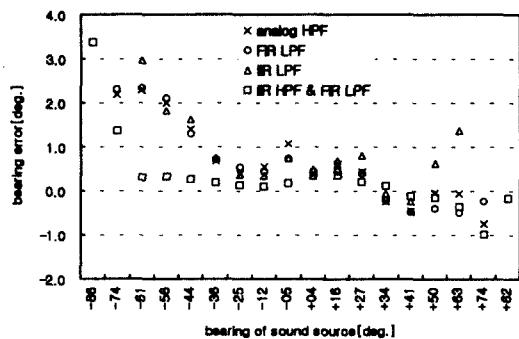


Fig. 3. Distribution of measured bearing's mean error according to each filtering method

우는 신호음원의 진방위가 센서 어레이에 근접할 수록 평균 오차량은 증가하지만, 다른 경우에 비해 평균 오차량은 적은 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 각 신호처리별로 어떤 일정한 방위 오차량 범위 이내로 측정된 회수를 전체 측정 회수에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 가로축은 방위 오차량으로 크게 5° 미만과 5° 이상으로 나누었고, 세로축은 측정된 회수의 비율이다. 아날로그 고역통과필터와 FIR LPF로 신호처리한 경우는 서로 비슷한 측정율을 보이고 있지만 FIR LPF의 경우가 약간 양호한 측정율을 보이고 있고, 1.0° 이하의 오차로 측정된 회수가 평균적으로 약 50%를 차지하고 있다. IIR LPF로 신호처리 한 경우는 1.0° 이하의 오차로 측정된 회수가 약 36.1%로 네 가지 신호처

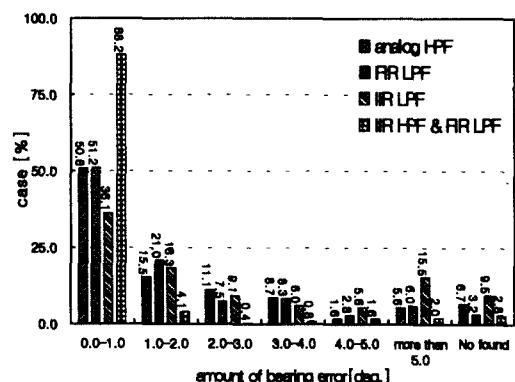


Fig. 4. Measured ratio within amount of bearing error according to each filtering method

리 방법 중에서 가장 저조한 측정율을 보이는 것으로 측정 정도가 좋지 않았다. 그리고, IIR HPF와 FIR LPF로 동시에 신호처리 한 경우는 방위오차 1.0° 이하로 측정된 회수가 약 88.2%에 달하고 있고, 그 중 0.5° 이내의 경우는 약 72.8%를 차지하고 있어서, 본 실험에서 이용한 신호처리 기법 중에서 측정 정도가 가장 우수하였다.

한편, 신호음원이 센서 어레이에 근접함으로써 측정 방위 오차량이 커지는 영역인 $-90^{\circ} \sim -50^{\circ}$ 와 $+50^{\circ} \sim +90^{\circ}$ 를 제외한 영역에서는 신호처리 방법과 관계없이 거의 모든 데이터의 오차가 4.0° 이하로 되었다. 즉, 아날로그 고역통과필터와 FIR LPF 의 경우 이 영역에서는 약 95%가 2.0° 미만의 오차를 가지고 측정되었고, IIR HPF와 FIR LPF로 동시에 신호처리 한 경우는 모든 데이터가 1.0° 미만의 오차 범위내에서 측정되었다. 특히, IIR LPF의 경우도 오차 2.0° 이하인 측정 회수가 약 80%에 달하고 있어서 이 관측 영역에 한정지어 볼 때, IIR LPF의 신호처리 기법도 측정 정도가 좋음을 알 수 있었다.

3.2.2 거리계측

Fig. 5는 각 신호처리 방법으로 측정한 거리검출 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 측정시 신호음원의 진방위를 세로축은 거리 오차량이고, 측정 결과로서 신호처리 기법별로 측정된 거리의 평균 오차량 분포를 나타냈다. 본 거리측정 실험에서는 약 $-50^{\circ} \sim +50^{\circ}$ 의 관측 영역에서 측정한 데이터만을 이용하였다. 그것은 이 영역 이외에서는 도달시간차에 적은 오차가 발생하더라도 거리측정에는 많은 영향을 주기 때문에, 측정된 거리의 오차가 상당히 크거나 거리측정이 되지 않는 경우가 있기 때문이다. 이것은 전 논문²⁾의 시뮬레이션 결과와 일치하고 있는 것이다.

그럼에서 신호처리 방법에 상관없이 측정된 거리 오차의 평균분포가 산만하여 측정결과가 좋지 않은 것을 알 수 있다.

한편, Fig. 6은 각 필터별로 신호처리 한 경우에 있어서 거리 측정의 정확도를 나타낸 것이다. 가로축은 거리 오차량으로서 음원까지의 실제거리에

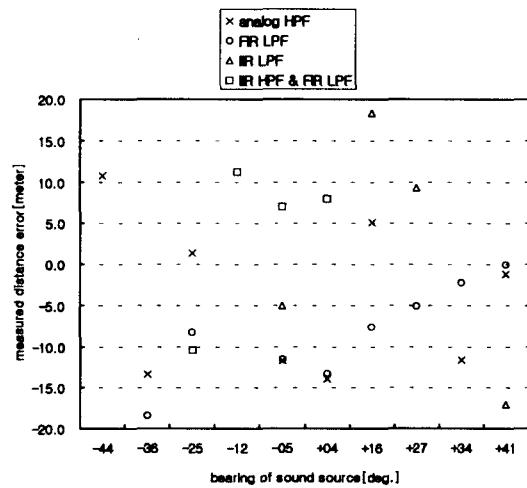


Fig. 5. Distribution of measured distance's mean error according to each filtering method

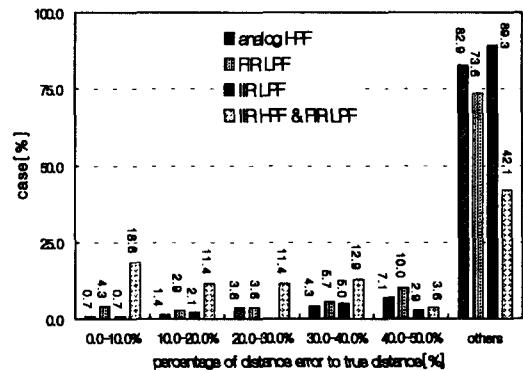


Fig. 6. Measured ratio within distance error's rate according to each filtering method

대한 비율로 도시한 것이고, 세로축은 그 거리 오차율의 범위 이내로 측정된 회수를 전체 측정회수에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 실험결과 IIR HPF와 FIR LPF로 동시에 신호처리 한 경우는 거리오차 10% (224.2cm) 이내로 측정된 회수가 약 18.6%였고, 약 57.9%는 거리오차 50% (1121cm) 이내로 측정되어어서, 방위측정과 마찬가지로 다른 필터링 방법에 비해 정도가 양호하였다. 그러나, 나머지 신호처리의 경우는 음원의 거리가 측정되지 않거나 거리오차 50% 이상의 큰 오차를 가지는 경

우가 약 70%이상을 차지하였기 때문에, 거리 측정에는 약간의 어려움이 있는 것을 알 수 있었다.

3.3 근사적 위치결정 실험결과

3.3.1 점근선을 이용한 근사적 방위결정

본 실험에서는 M_1 과 M_3 센서 사이의 도달시간 차와 쌍곡선의 점근선을 이용하여 신호음원의 상대방위를 검출하여 3-Sensor System의 방위검출 결과와 비교 분석하여 보았다.

Fig. 7은 각 신호처리 기법별로 점근선을 이용하여 근사적으로 측정한 상대방위의 평균오차 분포를 나타낸 것으로서, 가로축은 측정시 음원의 진방위를 세로축은 방위 오차량이다. 전체적으로는 Fig.3의 결과와 비슷한 양상을 보이고 있지만, 아날로그 고역통과필터와 FIR LPF 및 IIR LPF의 경우 Fig.3의 결과보다 평균오차량이 적어지고, 특히 음원이 센서 어레이에 근접하였을 경우의 측정 정도가 좋아지는 것을 알 수 있었다. 그리고, IIR HPF와 FIR LPF로 동시에 필터링한 경우는 오히려 Fig.3의 경우보다 측정오차량이 다소 커지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 8은 근사적으로 측정한 음원의 방위검출 결과로서, 가로축은 측정 방위의 오차량을 세로축은 이 오차량의 범위내로 측정된 회수를 전체 측정회수에 대한 비율로 나타낸 것이다.

실험결과 각 필터별 측정 정도는 3-Sensor System과 마찬가지로 IIR HPF와 FIR LPF로

동시에 신호처리 한 경우가 가장 양호한 측정율을 보였다. 한편, 방위오차가 $\pm 1^\circ$ 미만의 측정율은 Fig.4보다 조금 좋아졌지만 거의 비슷하였다. 그러나, 방위오차 $\pm 3^\circ$ 미만인 측정회수의 비율은 Fig.4보다 신호처리 방법에 상관없이 모두 약 8% 정도 높았다. 특히, 음원의 상대방위를 측정하지 못하는 경우가 3-Sensor System결과인 Fig.4에서는 평균 약 5.6%에 달하고 있지만, 점근선을 이용한 근사적 방위검출 방법에서는 거의 없었고, 방위오차가 $\pm 5^\circ$ 이상인 측정회수도 많이 감소하였다. 이것은 음원이 센서 어레이에 근접하더라도 3-Sensor System에 비교하여 상당히 정확하게 음원의 상대방위를

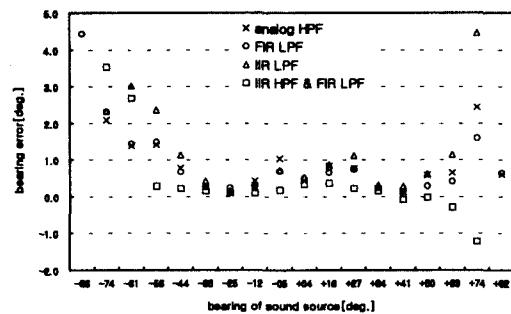


Fig. 7. Distribution of measured bearing's mean error using hyperbolic method according to each filtering processing

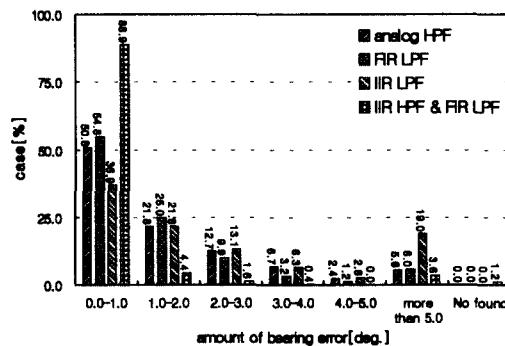


Fig. 8. Measured ratio within amount of bearing error using hyperbolic method according to each filtering processing

검출할 수 있다는 것을 의미하는 것이다.

따라서, 신호음원의 상대방위만을 계측할 경우에는 근사적 방위결정법이 3-Sensor System보다 양호하게 방위를 검출할 수 있을 뿐만 아니라, 3-Sensor System에서 음원이 센서 어레이에 근접함으로서 발생하는 측정 정도의 저하를 개선할 수 있었다. 또한, 음원추적 시스템의 구조를 최소화하고, 연산량을 감소시킬 수 있다는 장점이 있기 때문에, 음원의 상대방위 측정에서는 효율적이라는 것을 확인하였다.

3.3.2 근사적 거리계측

신호음원까지의 거리가 센서간의 간격에 비해 상당히 멀다고 하면, 신호음원까지의 거리를 근사

적으로 식(15)와 같이 결정할 수 있다고 하였다. 본 실험에서는 각 신호처리 경우에 대하여 식(15)를 이용하여 근사적으로 음원의 거리를 측정하고, 삼각함수법을 통하여 측정한 결과와 비교 분석하였다.

Fig. 9는 근사적으로 측정한 음원거리의 평균오차량 분포를 나타낸 것으로서, 가로축은 음원의 진방위를 세로축은 거리 오차량을 나타낸 것이다. 삼각함수법 거리 측정 결과인 Fig.5와 거의 유사한 분포도를 나타내고 있어서, 측정 정도에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 각 신호처리 기법별로 측정한 근사적 거리 측정법을 이용하여 실험한 결과이다. 가로축은 거리 오차량으로서 음원까지의 거리에 대한 비

율이고, 세로축은 그 거리 오차율의 범위 이내로 측정된 회수를 전체 측정회수에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 실험결과 근사적 거리 결정법에서도 삼각함수법과 마찬가지로 IIR HPF와 FIR LPF로 신호처리하는 경우가 다른 필터링 방법에 비해 매우 양호한 측정율을 보였다. 그리고, 거리 오차량의 비율이 10%이하인 경우와 50%이상인 경우를 Fig.6과 비교할 때, 근사적 거리 결정법이 삼각함수법에 비해 측정 정도가 다소 향상되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 센서간격에 비해 신호음원까지의 거리가 멀다면 근사적 음원거리 결정법이 삼각함수법보다 측정 정도가 좋은 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 센서의 간격에 비해 신호음원까지의 거리가 멀 때 근사적으로 음원까지의 거리 및 상대방위를 근사적으로 결정할 수 있는 알고리듬으로서, 쌍곡선의 점근선을 이용한 근사적 상대방위 결정법과 삼각함수법을 이용한 근사적 거리 결정법을 제안하였다. 그리고, 앞서 제안한 논문의 실험방법 및 디지털 신호처리 기법을 근간으로, 삼각함수법 및 근사적 음원위치 결정법을 이용하여 신호음원의 거리 및 방위를 측정하고, 그 측정 정도를 서로 비교 분석하였다.

실험결과 모든 측정법에서 역체브체프형 고역통과필터와 비재귀형 저역통과필터로 동시에 신호처리하는 경우가 음원위치 측정에서 가장 좋은 측정 결과를 가지고 있었다. 그리고, 음원의 상대방위 측정에서는 쌍곡선의 점근선을 이용한 근사적 결정법이 삼각함수법에 비하여 고정도 측정이 가능하며, 음원이 센서 어레이에 근접하더라도 측정방위 오차를 크게 줄일 수 있었다. 또한, 거리 측정에서는 근사적 거리 결정법이 삼각함수 거리 측정법보다 정도가 좋은 것을 알 수 있었다.

결론적으로, 본 연구에서는 근사적 음원추적 알고리듬의 적용 가능성을 입증하였고, 특히, 정확한 도달시간차의 검출과 근사적 위치 결정법의 적용을 통하여 고정도의 음원까지의 거리계측이 가능함을 확인하였다.

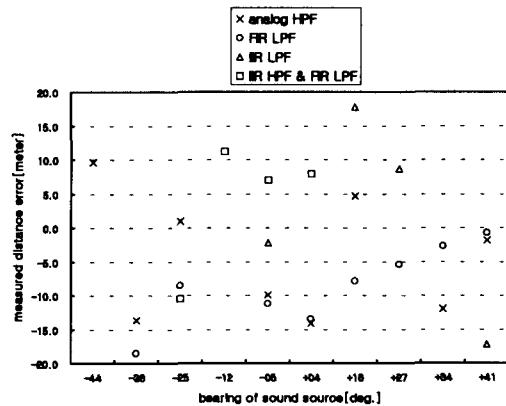


Fig. 9. Distance's mean error distribution of measured by the approximation method of source's distance

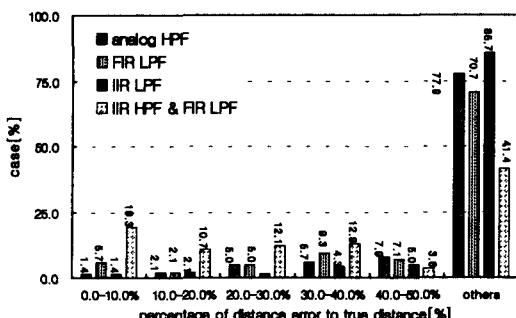


Fig. 10. Measured ratio by the approximation of source's distance

참 고 문 헌

- 1) 문성배, 전승환, “2차원적 음원추적에 관한 연구”, 한국항해학회, 제20권 제4호, 1996
- 2) 문성배, 전승환, “2차원적 음원추적에 관한 연구 II”, 한국항해학회, 제22권 제4호, 1998
- 3) 문성배, 전승환, “2차원적 음원추적에 관한 연구 III”, 한국항해학회, 제24권 제5호, 2000
- 4) Asisul H. Quazi, Donald T. Lerro, “Passive localization using time delay estimates with sensor position errors”, J. Acoust. Soc. Am. 78(5), pp. 1664-1670, 1985
- 5) C.Koppermann, “A signal model for cross-correlation flowmeters to analyse systematic measurement errors”, Measurement, vol2 No.3, p129-133, 1984
- 6) 石田義久, 鎌田強之, “デジタル信号処理のポイント”, 産業図書, 1989
- 7) Emmanuel C.Ifeachor, “Digital signal processing”, Addison-Wesley, 1993