

8×8 마이크로폰 정방 배열을 이용한 음원 위치 추정에 관한 연구

송성근*, 장 비*, 김천덕**

*부경대학교 음향진동공학과

**부경대학교 전기공학과

A study for Estimation of Sound Source location using 8×8 Microphone Array

Sung-Guen.Song*, Bi.Jang*, Chun-Duck.Kim**

*Dept. of Interdisciplinary Program of Acoustic and Vibration, Pukyong National Univ.

**Dept. of Electrical Eng. Pukyong National Univ.

요 약

본 연구에서는 64(8×8)개의 마이크로폰 정방 배열에 의한 음장 가시화 시스템을 설계하고, FFT 알고리즘과 원거리 음향 홀로그래피법 알고리즘을 이용한 음원 위치 추정에 관하여 기술한다. 본 연구에서 설계한 측정 시스템은 방사된 음들을 동시에 수음할 수 있으며 실시간 데이터 처리가 가능하다. 또한 짧은 측정시간과 고분해능으로 실음장에서 안정하게 음원의 위치를 추정할 수 있다.

본 연구의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 이용하여 마이크로폰 간격 및 측정면의 최적 조건을 구한 후 실음장 측정 실험에 적용하였다. 시뮬레이션 데이터와 실험 데이터를 비교·분석한 결과 타당성을 검증할 수 있었다.

I. 서 론

환경 잡음이 존재하는 실음장에서 공간상의 음원위치 추정이나 음원의 영상화에 관한 연구가 종래부터 진행되어 왔다.

가계의 이상음과 소음원등을 제거하기 위해서는 소음

이 어디에서 발생하고 있는가를 조사해 볼 필요가 있다. 적당한 차단재를 선택하기 위해 소음의 주파수 특성과 음의 발생위치 및 스펙트럼 분석이 요구된다.

본 연구에서 설계한 음장 가시화 측정 시스템은 측정면에 배열된 마이크로폰들에 의해 음을 동시에 수음한 후 측정면상의 마이크로폰 음압을 음원면에 동기 가산법으로 재생을 한다. 또한 분해능을 미리 예측할 수 있으며 음원의 수를 알지 못하는 일반 음장에서도 안정하게 추정할 수 있다.

본 측정시스템은 고감도 마이크로폰을 사용하지 않고 일반 콘덴서 마이크로폰을 이용함으로써 경제적인 측면에도 장점을 가지고 있다.

II. 본 론

1. 음향 홀로그래피법의 원리

일반적인 원거리 음향 홀로그래피법의 원리는 광학 홀로그래피법의 이론을 근거로 하여 동일 파동현상에서 음파에 적용한 것으로 그림 1과 같이 표현 할 수 있다.

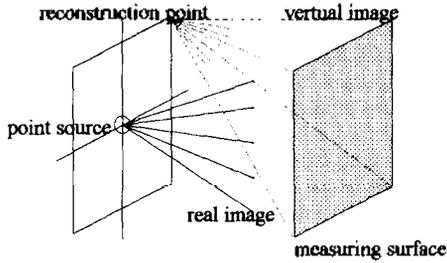


그림 1. 음향 홀로그래피법의 원리.

음원이 존재하는 면을 음원면이라 하고 음원면에 존재하는 음원을 점음원이라고 가정한다. 음원면과 평행하게 측정면을 설정한다. 그리고 측정면에 무한개의 마이크로폰들이 존재한다고 가정하고 마이크로폰의 간격을 무한히 작게 했을 때 음압 진폭식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s(r_s) = \frac{A}{|r_s - r_a|} \exp(-j\omega(r_s - r_a)/c) \quad (1)$$

여기서 P_s 는 음압 진폭, A 는 음압 스펙트럼, r_s 는 측정면상의 한 점(위치 벡터), r_a 는 점음원의 위치벡터, c 는 공기중의 음속이다.

측정면상의 진폭분포 P_s 로부터 음원면상에 재생한다. 음원면상의 임의의 점 r_b 의 재생강도는 식(2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$P(r_b) = A \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp(j\omega(r_s - r_b) - |r_s - r_a|/c)}{|r_s - r_a| \cdot |r_s - r_a|} dS_s \quad (2)$$

여기서 r_b 는 음원면상의 한 점이고, dS_s 는 s 에서의 면적분을 의미한다.

실제적으로 측정면의 길이와 마이크로폰 간격을 무한히 크게 할 수 없으므로 이산화하여 급수표현 하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(r_b) = \lim_{l \rightarrow \infty} \lim_{m \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{4\omega l/c} \sum_{k=1}^{4\omega d/c} A \frac{\exp(j\omega(r_s - r_b) - |r_s - r_a|/c)}{|r_s - r_a| \cdot |r_s - r_a|} \quad (3)$$

여기서 l 은 측정면의 길이, d 는 마이크로폰의 간격이다. 음원과 재생점이 일치하면 위상이 0이 되기 때문에 동기가산으로 공간 평균의 결과는 가장 큰 값을 가진다. 따라서 최대 재생 파워가 음원의 위치가 된다.

2. 시뮬레이션에 의한 분석

측정면의 최적 조건을 구하기 위해 수치 시뮬레이션을 행한 결과 측정면 크기가 넓어야 하고, 공간 샘플링 조건을 만족하기 위해 마이크로폰의 간격이 좁아야 한다.

시뮬레이션의 조건은 다음과 같다. 샘플 데이터수는 4096개이며 방사음의 고유 주파수는 500Hz, 1kHz, 2kHz 인 정현파 신호다. 샘플링 주파수는 각 고유 주파수의

8kHz, 16kHz, 32kHz로 하였다. 마이크로폰 간격과 측정면의 길이를 각각 14cm와 98×98cm로 하여 시뮬레이션을 행하였다. 음원의 위치는 1m 떨어진 측정면의 중앙에 설정하였다. 재생면의 길이는 1.2×1.2m이고 재생점의 간격은 5cm로 하여 재생하였다.

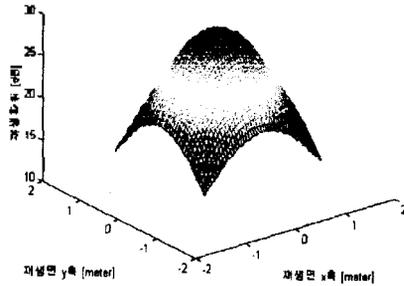


그림 2. 500Hz에 대한 재생 파워

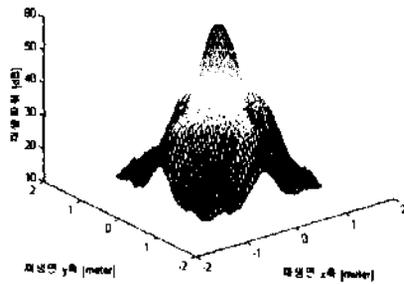


그림 3. 1kHz에 대한 재생 파워

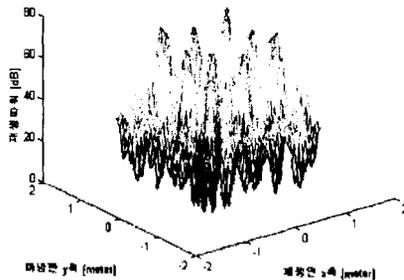


그림 4. 2kHz에 대한 재생 파워

그림 2와 그림 3에서 볼 수 있듯이 500Hz와 1kHz는 공간 샘플링 조건을 만족하기 때문에 음원 위치 추정이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 3은 약간의 부득이 존재한다는 것을 알 수 있다. 그림 4는 공간 샘플링 조건을 만족하지 못하기 때문에 음원 위치 추정이 불가능하다는 것을 알 수 있다. 따라서 마이크로폰 간격이 $\lambda/2$ 보다는 작아야 한다.

3. 음장 가시화 시스템의 설계

본 연구에 사용된 측정 시스템의 전체 구성도는 그림 5에서 나타낸다.

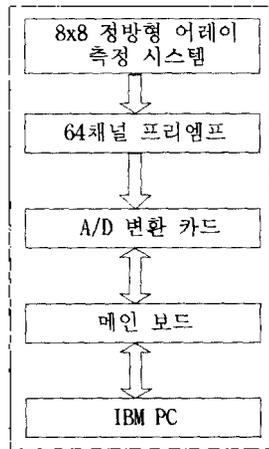


그림 5. 음장 가시화 측정 시스템의 구성도

마이크로폰 설치대는 배열 간격을 조정할 수 있도록 되어 있고, 마이크로폰에 입력되는 신호가 미약하므로 증폭단이 필요하게 된다. pre-AMP는 LTP와 HPF가 내장되어 있어 가청 주파수 대역으로 제한하였다. A/D 변환된 데이터는 메인보드에 내장된 메모리(RAM)에 저장된다.

메인보드는 uPD70325(V25+)라는 프로세서로 PC와의 통신과 각 카드에 제어 신호를 발생시키고 입출력 포트를 통해 데이터를 전송한다. 그리고 카드를 장착할 수 있도록 슬롯이 준비되어 있고 PC와의 통신을 위해 시리얼 라인이 준비되어 있다.

4. 음장의 가시화 시스템의 구현 과정

음장 가시화 시스템의 구현 소프트웨어는 그림 6에서 나타낸다. 본 시스템의 소프트웨어는 PC와 메인보드의 핸드셰이킹 방식으로 이루어진다.

쓰기 신호가 발생하면 메인보드 ROM에 내장된 프로그램에 의해 데이터를 램에 저장하게 된다. 읽기 신호가 발생하면 저장된 데이터를 시리얼 통신규약에 따라 PC와 하드디스크에 저장된다.

저장된 데이터는 FFT를 한 다음 홀로그래피 재생 알고리즘에 의해 재생시킴으로서 음원의 위치를 추정한다.

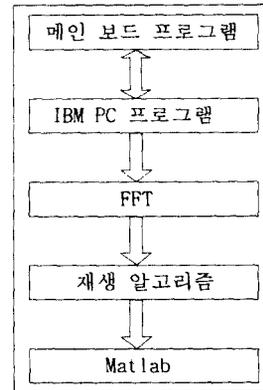


그림 6. 소프트웨어의 블록도

5. 실음장에서 음원 위치 추정 실험

시뮬레이션 결과를 토대로 하여 S/N비가 30dB인 실음장에서 측정 실험을 행하였다.

실험 조건은 원음원이 아니고 스피커를 사용한다는 것 외에 시뮬레이션 조건과 동일하게 설정하였다. 음원의 주파수를 정현파 신호 500Hz, 1kHz, 2kHz로 가변하면서 측정하였으며, 그 결과를 그림 7, 8, 9에 나타내었다.

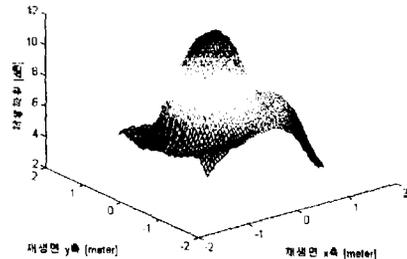


그림 7. 500Hz에 대한 재생 파워

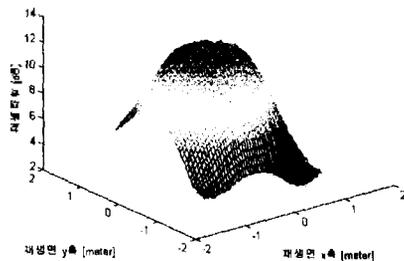


그림 8. 1kHz에 대한 재생 파워

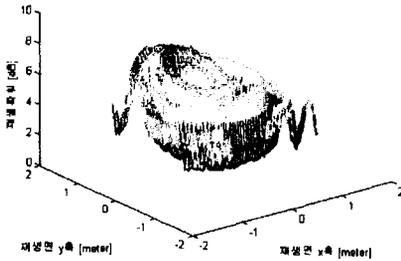


그림 9. 2kHz에 대한 재생 파위

그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 음원이 500Hz일 때는 마이크로폰 간격이 공간 샘플링 조건을 충분히 만족하기 때문에 안정하게 음원 위치 추정이 가능하다. 1kHz일 때는 공간 샘플링 조건을 만족하지만 부극과 주극의 크기가 거의 비슷해 불투명하다. 그러나 2kHz일 때는 공간 샘플링 조건을 만족하지 못하기 때문에 음원 위치 추정이 불가능하다는 것을 알 수 있다.

다음은 음원의 위치를 바꾸어서 실험한 결과를 그림 10에서 나타내었다. 실험 조건은 위의 조건과 동일하며 음원은 주파수가 500Hz인 정현파다.

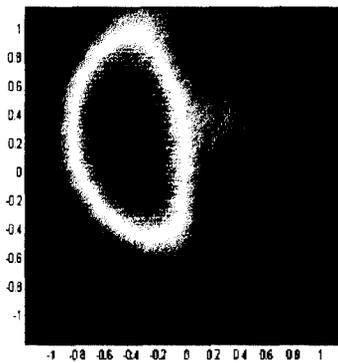


그림 10. 중앙에서 상 20cm 좌 40cm로 음원을 이동했을 때 재생파위

음원의 형태는 뚜렷하지 않지만 중앙에서 상 20cm 좌 40cm 부근에 음원이 존재한다는 것을 알 수 있다. 음원의 위치를 옮겼을 때도 음원의 위치 추정이 가능하다.

III. 결 론

본 연구에서 설계한 음장 가시화 시스템은 고감도 마이크로폰 대신 일반 마이크로폰을 사용하여 음원의 절

대위치를 추정할 수 있다. 그리고 동시 수용이라는 장점 때문에 실시간 처리가 가능했고, 짧은 계측시간과 높은 분해능을 얻을 수 있었다. 음향 홀로그래피법에서 문제 사되는 반사파나 잡음의 영향이 있는 실음장에서도 안정한 음원 위치 추정을 할 수 있다

시뮬레이션 데이터와 실험 데이터를 비교·검토해본 결과 본 연구의 유효성을 알 수 있었다.

향후 연구 과제는 마이크로폰의 정확한 보정을 해야 하고, 음장 가시화 시스템의 S/N비를 더 높여서 음압이 낮은 음원에도 적용하고, 다중 음원과 비주기적인 신호에 대하여 실험을 행할 계획이다.

<참고 논문>

- [1] N. Abramson, "The Engineering was of Holography", Cambridge University Press, pp.45-50, 1970
- [2] Schlussler, L., Coello-Vera, A.E., Wade, G., Fontana, J., "Motion limitails of an acoustic holographic system utilizing a scanned linear array", Opt. Eng., Vol.16, no.5, pp.426-31, Sept.-Oct., 1977
- [3] Coello-Vera, A.E., Schlussler, L., Wade, G., Fontana, J., "Motion effects in scanned acoustic holographic", IEEE Trans. Sonic Ultrasonic, Vol.SU-25, no.4, pp.167-76, July, 1978
- [4] Metherell, A.F., Spinak, S., Pisa, J., "Temporal reference Acoustical Holography", Appl. Optics, Vol.8, no.8, pp.1543-1550, June, 1970
- [5] Satoshi Hongo, Masa Abe, Yoshiaki nemoto, and Noriyoshi Chubachi, "A method to estimate the acoustic holography using a sub-array decreasing the effect of other sound sources and reflection", Inter Noise 93 Proceedings Vol.3(1993)
- [6] Dan E. and Russell M., "Mutidimensional digital signal processing", Prentice-hall, Inc pp.165-8, 1978
- [7] 장 비, 심동연, 김천덕, 이재봉, "빔포밍 음향홀로그래피법을 이용한 음원위치 추정법에 관한 연구", 한국음향학회 학술발표대회 논문집 pp.523-528(1997.7)