

256채널 마이크로폰을 사용한 음원 위치 추정에 관한 연구

송성근*, 이채봉**, 김천덕***

*부경대학교 음향진동공학과, **동서 대학교 전자기계공학부, ***부경대학교 전기공학과

A study for Estimation of Sound Source location using 256 Channel Microphone

Sung-Guen.Song*, Chai-Bong Lee**, Chun-Duck.Kim***

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

** Faculty of Electronic and Mechanical Engineering, Dongseo University

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

국문 요약

본 연구에서는 256(16×16)개의 마이크로폰 정방형 배열에 의한 음향 홀로그래피 시스템을 제작하고, FFT에 의한 음향 홀로그래피법 알고리즘을 이용한 음원 위치 추정에 관하여 기술한다. 본 연구에서 설계한 측정 시스템은 방사된 음들을 동시에 수용함으로써 실시간 데이터 처리가 가능하다. 또한 환경 잡음이 존재하는 실음장에서도 측정시간을 단축함과 동시에 고분해능으로 안정하게 음원의 위치를 추정할 수 있다.

본 연구의 타당성을 검증하기 위해 SYSNOISE에 의한 음장해석과 음향 홀로그래피 알고리즘을 이용하여 마이크로폰 간격 및 측정면 크기, 측정거리의 최적 조건을 구한 후 실음장 측정 실험에 적용하였다. 수치 시뮬레이션과 부향실에서 실험 데이터에 의해 음원 위치를 추정 한 결과 유사한 결과를 얻었다.

1. 서론

사람들의 생활주위에는 다양한 음 환경이 존재하여 실제생활에 직접적으로 영향을 미치고 있다. 환경 잡음이 존재하는 실음장에서 공간상의 음원위치 추정이나 음원의 영상화에 관한 연구가 종래부터 진행되어 왔다. [1]의 이러한 연구들은 기계의 진단기술이나 의료분야, 화상회의 시스템 등에 응용되고 있다. 이러한 응용분야에 적용을 위해서는 음압 레벨을 조사할 뿐만 아니라 음원의 위치를 정확하게 추정하는 것은 다양한 분야의 응용이 기

대되고 있다. 종래의 음원 위치 탐사법은 음향 인텐시티법, MUSIC법, 빔포밍법등이 연구되어 왔으나 각각 실용적인 측면에서 실시간 처리 하드웨어의 복잡함등 실용화에는 어려움이 많다. 음원 위치 추정의 조건은 안정적 음원의 위치를 추정하는데 있다. [2]

본 연구에서는 단시간 계측, 고분해능, 실시간 처리에 의한 주기 및 비주기신호의 측정, 환경 잡음이 존재하는 실음장에서 안정성이 뛰어난 음향 홀로그래피법에 의해 음원 위치를 추정한다.

본 연구에서 제작한 음향 홀로그래피 시스템은 측정면 상에 배열된 마이크로폰 정방형으로 256개 배열하여 음을 동시에 수용한 후 데이터를 저장하고, 저장된 데이터를 IBM PC로 uploading한다. 측정면상의 마이크로폰 음압을 음원면상에 동기 가산법으로 재생한 후 음원을 기시화 한다. 그리고 고감도 마이크로폰을 사용하지 않고 일반 콘덴서 마이크로폰을 사용하여도 음원 위치를 추정할 수 있다는 것이 확인되었다.

II. 본론

1. 음향 홀로그래피법의 원리

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

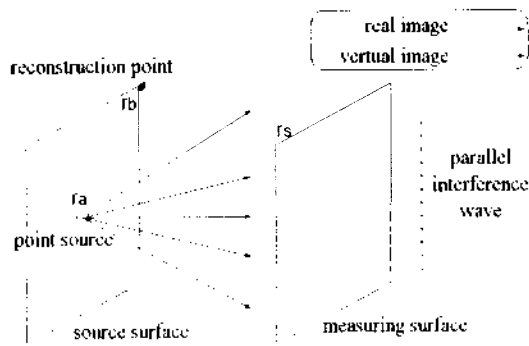


그림 1. 음향 홀로그래피법의 원리.

음원이 존재하는 면을 음원면이라 하고 음원면상에 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 측정면 한 점의 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 동기 가산에 의해 음원면상에 재생한다. 음원면상의 임의의 점 r_b 의 재생강도는 식(2)와 같이 표현 할 수 있다.

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

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.

$$P(r_b) = \lim_{l \rightarrow \infty} \lim_{d \rightarrow 0} \sum_{m=1}^{N(d)} \sum_{n=1}^{N(d)} A \frac{\exp(j\omega(r_s - r_b - |r_s - r_a|)/c)}{|r_s - r_a| \cdot |r_s - r_b|} \quad (3)$$

여기서 l 은 측정면의 길이, d 는 배열된 각 마이크로폰의 간격이다. 측정면의 동기가산에 의해 구하여 재생된 점들 중 최대 재생 파워가 음원의 위치가 된다.

2. 수치 시뮬레이션에 의한 분석

먼저 방사음에 대한 near-field와 far-field의 구분이 필요하다. 정확한 음원 위치 추정을 위해서는 far-field에 측정해야 된다. 따라서 SYSNOISE에 의해 방사되는 음에 대한 측정여래이의 거리에 대해 수치 해석한 그래프는 그림 2에서 나타낸다. 수치해석의 조건은 2kHz의 정현파이고, 음원의 방사음은 7cm이고 두께는 3mm이다. 측정 여래이의 마이크로폰 간격은 일정하게 7cm로

설정하고 7cm 간격으로 16단계를 설정하였다. 수치 해석 길과의 측정면의 최적 거리는 35cm 이고 표 1에서 각 주파수별로 나타낸다.

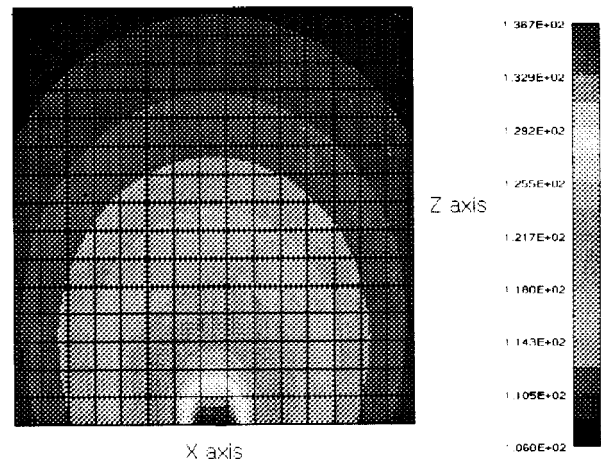


그림 2. SYSNOISE를 이용한 측정 여래이의 음압분포

주파수(Hz)	500	1000	2000	3000
측정거리(cm)	28	30	35	84

표 1. 주파수별 측정면의 측정거리

총래의 연구에서 공간 샘플링 조건을 만족하지 못할 경우 부극의 영향으로 음원 위치 추정이 불가능하다는 것을 알 수 있다. [7][8] 공간 샘플링 조건을 만족하면서 측정면의 크기를 최대로 할 때의 재생파워를 그림 3에서 나타내었다.

수치해석 조건은 점음원의 주파수를 1kHz로 하고 샘플 주파수를 50kHz로 하였다. 마이크로폰 간격을 7cm로 하고, 측정면의 길이를 105cm×105cm이다. 음원과 측정면 사이의 거리는 50cm로 하고 재생면의 길이는 200cm×200cm로 하였다. 그림 3에서 마이크로폰 최적 배치에 대한 재생 파워를 나타내었다.

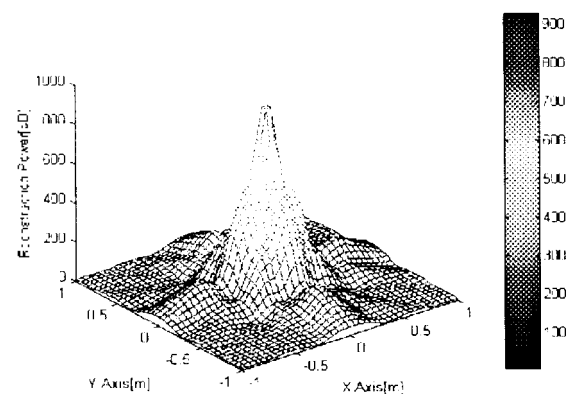


그림 3. 500Hz일 때의 재생파워

3. 음향 홀로그래피 시스템의 설계 및 구현 원리

본 연구에서 제작된 측정 시스템의 전체 구성도는 그림 4에 나타낸다.

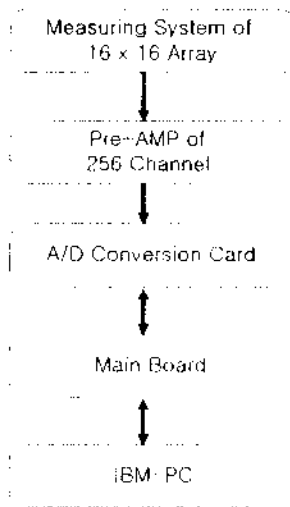


그림 4. 음향 가시화 측정 시스템의 구성도.

16x16 정방형 배열 마이크로폰 진자대는 마이크로폰의 간격을 조정할 수 있도록 되어 있고, 마이크로폰에 입력되는 신호는 A/D 변환 전 Pre-AMP에 의해 증폭된다. Pre-AMP는 LPF가 있어 가장 주파수 대역으로 제한하였고 256채널의 AMP이기 때문에 크로스토크를 방지하기 위해 각각 모듈화 하였다. 고감도 마이크로폰을 사용하지 않고 일반 콘덴서 마이크로폰을 채용함에 따라 마이크로폰의 보정에 관한 문제가 생긴다. 본 시스템의 마이크로폰 보정은 Pre-AMP 후단의 출력을 동일하게 설정하였다. 메인보드는 uPD70325(V25)의 프로세서로 IBM PC와의 인터페이스와 모든 제어 신호를 발생시키고 입출력 보트를 통해 데이터를 전송한다.

음향 홀로그래피 시스템의 구현 원리는 그림 5에 나타낸다.

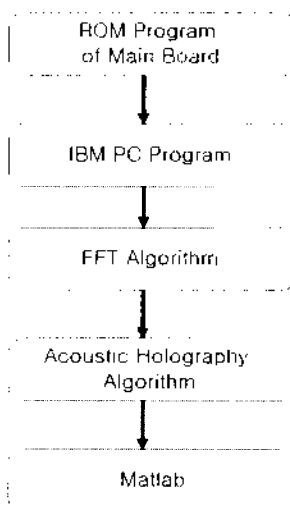


그림 5. 음향 가시화의 구현원리

메인보드 내에 ROM 모니터 프로그램에서 Write 신호가 발생하면 A/D 변환된 데이터는 각 카드에 내장된 메모리(RAM)에 저장된다. Read 신호가 발생하면 메모리에 저장된 데이터가 시리얼 통신에 의해 IBM PC의 하드디스크로 저장된다. 저장된 데이터를 FFT와 음향 홀로그래피 알고리즘을 적용하여 재생파형을 얻어내고 음원을 가시화 한다.

4. 실음장에서의 음원 위치 추정 실험

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

실험 조건은 정음원이 아니고 직경 7cm인 콘형 스피커를 사용한다는 것 외에 수치해석 조건과 동일하게 설정하였다. 음원의 수직수직 방향과 진폭 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz로 가변 하면서 측정하였으며, 그 결과를 그림 6~7·8·9에 나타내었다.

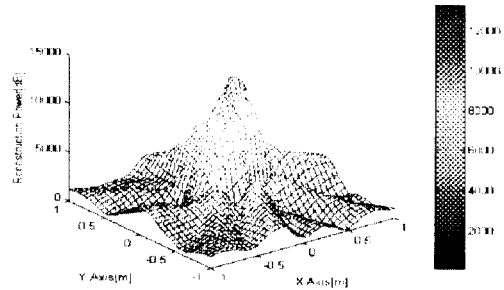


그림 6. 500Hz에 대한 재생 파형

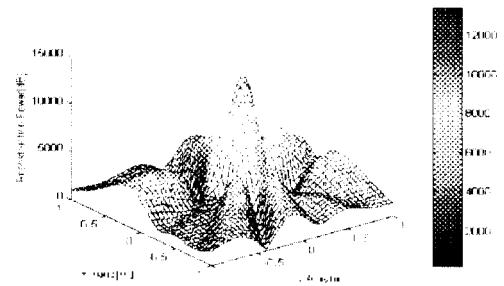


그림 7. 1kHz에 대한 재생 파형

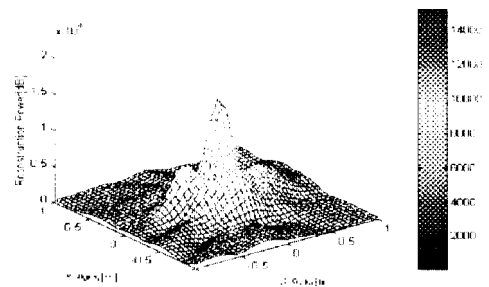


그림 8. 2kHz에 대한 재생 파형

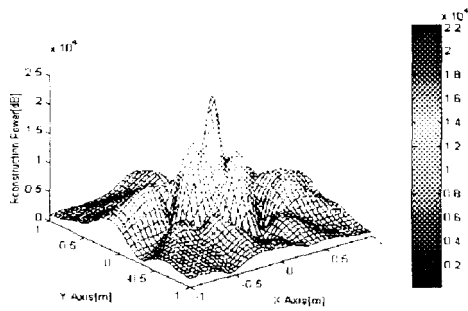


그림 9. 4kHz에 대한 재생 파워

그림 6·7·8·9에서 알 수 있듯이 공간 샘플링 조건을 만족하는 500Hz, 1kHz, 2kHz에서는 음원의 위치를 추정하나 4kHz일 때는 부극이 커지게 되어 음원이 3개 존재하는 것 같이 보인다.

다음은 음원의 위치를 바꾸어서 실험한 결과를 그림 10에서 나타내었다. 실험 조건은 위의 조건과 동일하며 음원의 주파수가 1kHz인 정현파다.

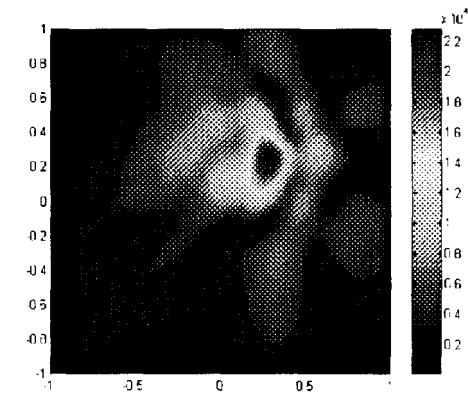


그림 10. 음원을 이동했을 때 재생파워

음원의 위치가 중앙에서 상 20cm 우 30cm 부근에 음원이 존재한다는 것을 알 수 있다.

이중음원에 대한 음원 위치 추정 결과를 그림 11에 나타내었다. 음원은 S/N비가 20dB인 2kHz와 S/N비가 30dB인 1kHz인 정현파 신호이다.

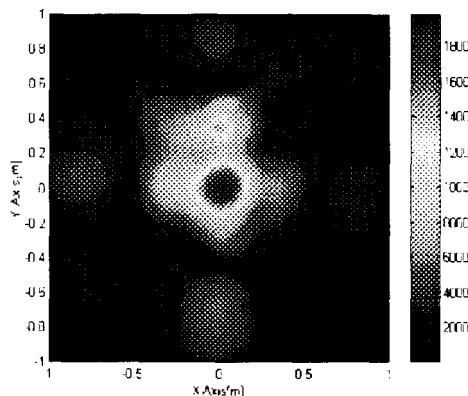


그림 11. 이중음원에 대한 재생파워

그림 11에서 알 수 있듯이 2중음원에 대해서도 정확하

음원 위치를 추정하는 것을 알 수 있다.

S/N비 60dB인 실음장에서 85dB인 정현파에 77.2dB인 White noise를 인가했을 때에도 정확한 음원 위치 추정을 하였기 때문에 실음장에서 측정 유효성을 확인하였다.

III. 결론

본 연구에서 설계한 음향 홀로그래피 시스템은 일반 마이크로폰 256개를 사용하여 안정적인 음원 위치 추정을 할 수 있었다. 그리고 동시 수음으로 실시간 처리가 가능했고, 짧은 계측시간과 높은 분해능을 얻을 수 있었다. 음향 홀로그래피법에서 문제시되는 환경잡음이 있는 실음장에서도 음원 위치 추정을 할 수 있다. 시뮬레이션 데이터와 실험 데이터를 비교·검토해본 결과 본 연구에서 제작한 시스템의 유효성이 확인되었다.

향후 연구 과제는 마이크로폰의 더 정확한 보정과 음향 홀로그래피 시스템의 S/N비를 더 높여서 음압이 낮은 음원에도 적용하고, 기계의 진단에도 응용할 계획이다.

<참고 논문>

- [1] N Abramson, "The Engineering was of Holography", Cambridge University Press, pp.45-50, 1970
- [2] Schlussler, L., Cocolo-Vera, A.E., Wade, G., Fontana, J., "Motion limitails of an acoustic holographic system utilizing a scanned linear array", *Opr. Eng.*, Vol.16, no.5, pp.126-31, 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, 심동일, 김철덕, 이재봉, "빔포밍 음향홀로그래피법을 이용한 음원위치 추정법에 관한 연구", *한국음향학회 학술발표대회 논문집* pp.523-528(1997.7)
- [8] 송성근, 장 비, 김천덕 "8x8 마이크로폰 정방 배열을 이용한 음원 위치 추정에 관한 연구" *한국음향학회 영남지회 학술발표회 논문집*[제5권] p68-71(1998.8)