

다채널 마이크를 이용한 측면 에너지비의 측정에 관한 연구

Study on the measurement of lateral energy fraction using multi-channel microphone system

최철민, 김래훈, 두세진*, 오양기**, 성평모
서울대학교 전기공학부

* 동아방송대학교 방송기술과

** 목포대학교 건축공학과

Chulmin Choi, Lae-Hoon Kim, Sejin Doo*, Yangki Oh**, and Koeng-Mo Sung
Seoul National University

* Dept. of Broadcast Eng., Dong-Ah Broadcasting College

** Dept. of Architecture, Mokpo National University

E-Mail : cmchoi@acoustics.snu.ac.kr

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 1999-1-310-004-3)의 지원에 의한 연구결과의 일부임

요약

콘서트 홀 등의 음향 측정을 측정하는 데 있어 다채널 마이크로폰을 이용하여 그 공간의 반사음 패턴을 파악하는 기술이 널리 이용되고 있다. 이 기법은 그 공간 특유의 반사음의 입사 시간과 방향을 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 충격응답(Impulse response)의 측정을 기반으로 하므로 기존에 사용되고 있는 모든 모노성의 음향 특성의 측정에도 이용할 수 있다. 그러나 LEF나 IACC등의 다차원의 음향 특성의 측정을 위해서는 양지향성 마이크로폰이나 더미헤드 등을 이용한 측정을 별도로 수행하고 있다. 본 연구에서는 다채널 마이크로폰으로 구한 방향성 충격응답으로부터 각각의 반사음들의 특성을 구하고 그 결과에 양지향성 마이크로폰의 지향특성을 적용하여 LEF를 얻어내도록 하였다. 제안하는 기법의 유효성을 검증하기 위하여 기존의 무지향성 및 양지향성 마이크로폰을 이용하여 구한 결과와 비교, 분석하였다.

1. 서론

측면에너지비(LEF)는 IACC와 함께 음장의 공간감의 정도를 나타내는 대표적인 척도로 일정 시간 내에 측면에서 입사하는 음향에너지의 모든 방향에서 입사하는 음향에너지에 대한 비로서 나타나게 된다. 이의 측정을 위해서는 무지향성의 마이크로폰과 양지향성의 마이크로폰을 이용하게 되므로 측정

시 사용된 마이크로폰의 특성에 따라 다소 다른 결과를 보이게 될 수 있다는 단점이 있다. 또한 이의 계산시 사용하게 되는 측면에너지의 정의는 인간의 청감에 근거한 것이라기보다는 기존에 개발되어 있던 양지향성 마이크로폰의 지향특성에 의하고 있어 공간감에 대한 청감상의 느낌을 정확하게 기술하고 있다고 보기는 어렵다.

공간의 음향 특성을 측정하는 데 있어 다채널 마이크로폰을 이용하여 그 공간의 반사음 패턴을 파악하는 기술이 널리 이용되고 있다. 이 기법은 동일한 평면상에 있지 않은 4개 이상의 마이크로폰배열을 이용하여 각각의 마이크에 입사하는 각각의 반사음들의 지연시간차이를 이용하여 반사음의 시간적, 공간적 성질을 측정하는 것이다. 이와 같은 기법은 그 측정 기법이 충격응답(Impulse response)의 측정을 기반으로 하므로 잔향시간, 초기지연시간 등 기존에 사용되고 있는 모든 모노성의 음향 지표의 측정에도 이용할 수 있다. 그러나 LEF나 IACC등의 다차원의 음향 특성의 측정을 위해서는 양지향성 마이크로폰이나 더미헤드 등을 이용한 측정을 별도로 수행하고 있다. 본 연구에서는 다채널 마이크로폰으로 구한 방향성 충격응답으로부터 초기 반사음들의 특성을 구하고 그 결과에 해당하는 양지향성 마이크로폰의 지향특성을 적용하여 LEF를 얻어내도록 하였다. 이렇게하여 얻어진 LEF를 동일한 위치에서 기존의 무지향성 마이크로폰과 양지향성 마이크로폰으로 구한 결과와 비교, 분석하였다.

2. 기존의 연구결과

2.1 Lateral Energy Fraction

2.1.1 Lateral Energy Fraction

측면에서 들어오는 에너지와 전방향에서 들어오는 음의 에너지의 비를 의미한다. LEF는 음원이 얼마나 넓게 들리느냐와 관련있는 음원의 폭을 결정하는 요소로서, 음향공간의 선호도(특히 공간감)를 결정하는 중요한 음향특성치 중의 하나이다. 이의 측정을 위해서는 무지향성의 마이크로폰과 양지향성의 마이크로폰을 이용하여 실의 충격응답을 구한 후 80ms 이내에 입사한 에너지 적분값의 비를 구한다. LEF는 옥타브밴드 중 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz 대역에 대해 다음의 식 1에 의해 값을 구한 후 이들의 평균값을 사용한다. 그러나 실제의 측정에 있어서는 양지향성의 마이크로폰에 입사한 측면 에너지의 입사각인 θ 를 알 수는 없으므로 다음의 식 2를 이용하여 구하는 것이 일반적이다. $p(t)\cos(\theta)$ 자체가 양지향성 마이크로폰의 응답에 해당하므로 θ 를 모르는 상태에서도 계산이 가능하게 된다. 일반적으로는 식 1을 따르는 것이 좀 더 청감특성과의 상관관계가 높게 나타나는 것으로 알려져 있다.

$$LEF_1 = \frac{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) \cos(\theta) dt}{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) dt} \times 100 [\%] \quad \text{식 1}$$

$$LEF_2 = \frac{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) \cos^2(\theta) dt}{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) dt} \times 100 [\%] \quad \text{식 2}$$

이 값은 측정 시스템에 따라 바뀔 수 있는 값이므로, 동일한 측정 시스템으로 측정한 경우가 아니면 결과를 비교하기가 힘들다.

2.2 5-channel Microphone system

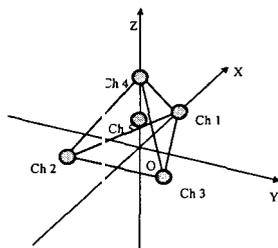
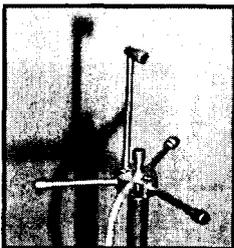


그림 1. 5-channel microphone system

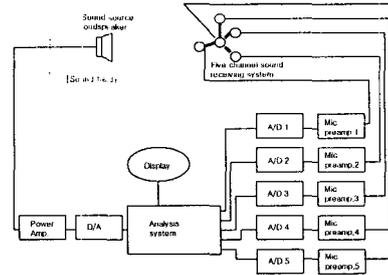


그림 2. 5-channel measurement system

그림 1에 5채널 마이크로폰 및 그 구조를 나타내었으며 그림 2에는 측정을 위한 시스템의 개략적인 구조를 나타내었다. 위의 구조는 다음과 같이 설명된다.

1. 측정 위치에서의 5채널 마이크로폰에 의한 충격 응답들을 얻기 위해 사운드 카드를 통해 만들어지는 MLS를 무지향성 스피커로 재생한다. (훈테크 Audio DSP24) 5채널 각각의 마이크로폰으로 들어오는 공간의 특성이 반영된 변형된 MLS 신호들을 동기화된 방식으로 수신한 후, A/D 컨버터(훈테크 SCAD-500AD)를 거쳐, 다시 사운드 카드로 받아들여지게 된다. 여기서 올바른 충격응답을 얻기 위해서는 동기화가 매우 중요하다.

2. 이렇게 수집된 5채널의 변형된 MLS 신호들은 CoolEdit D. Johnston Cool Edit Pro v. 1.2 <http://www.syntrillium.com>의 plug-in인 AURORA 시스템에서 상호 상관을 이용하는 방법으로 음향공간의 충격응답의 형태로 컴퓨터의 하드 디스크에 저장된다.

3. 저장된 데이터로부터 각각 반사 음들의 쌍들을 찾고, 그 사이의 time-delay를 이용하여 3차원 공간 상에서 각각의 위치와 에너지 정보를 얻게 된다.

2. 다채널마이크로폰을 이용한 LEF의 측정

다채널 마이크로폰을 이용하여 LEF를 측정하기 위한 과정은 다음과 같다.

1. 다채널 마이크로폰을 이용하여 측정하고자 하는 공간의 약 80ms 까지의 초기반사음 패턴을 구한다.

2. 1.에서 구해진 초기반사음들의 입사각도를 이용하여 양지향성 마이크로폰 지향성의 주축에 해당하는 측과의 각도를 구한다.

3. 위에서 구해진 초기반사음들을 주축과의 각도에 해당하는 양지향성 마이크로폰의 감도와 곱해준다.

4. 식 2에 의해 LEF를 계산한다.

다채널 마이크로폰을 이용하여 측정된 초기반사

음의 정보는 일반적인 극좌표(r, θ, ϕ)의 형태로 나타나게 된다. 그런데 양지향성 마이크로폰의 감도는 음파가 입사하는 방향과 음파마이크로폰의 주축과의 각도(δ)의 함수로 나타나게 되기 때문에 2의 과정에서 x 축을 마이크로폰의 주축이라 하고 아래의 식 3으로부터 해당하는 각도 δ 를 계산하여 이용하도록 하였다.

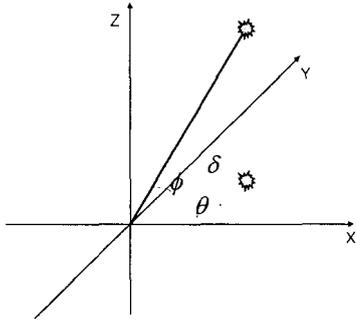


그림 3. 음파 입사방향과 주축간의 각도

$$\cos(\delta) = \frac{1 + \cos^2(\phi)\cos^2(\theta) - \cos^2(\phi)\sin^2(\theta) - \sin^2(\phi)}{2\cos(\phi)\cos(\theta)} \quad \text{식 3}$$

이 기법을 이용하면 식 1에 의한 측정도 가능하나 실측결과와의 비교를 위하여 식 2의 정의를 따르도록 하였다.

4. 실험 및 결과분석

4.1 실험내용

본 논문에서 제안하는 LEF 측정기법의 유효성을 검증하기 위하여 같은 위치에서 다채널마이크로폰에 의한 측정과 무지향성 및 양지향성 마이크로폰에 의한 측정을 함께 수행하였다. 양지향성 마이크로폰을 이용한 LEF의 측정을 위해서는 AKG사의 C414B-ULS를 사용하였다. 이 마이크로폰은 스위치의 조작에 의해 그 지향성을 무지향성과 양지향성 등으로 전환할 수 있으므로 LEF의 측정에 매우 편리하다. 다음 그림 4에 그 지향특성을 나타내었다.

양지향성 마이크로폰의 감도는 음파와 주축과의 입사각을 δ 라고 하면 $\cos(\delta)$ 로 주어지게 된다. 다음 그림 5는 이를 PC상에서 구현한 가상의 지향특성 곡선을 나타낸다.

측정은 일반적인 형태의 강의실 2곳에서 각각 3개씩의 좌석을 위하여 수행하였으며 같은 위치에서 다채널마이크로폰에 의한 측정과 무지향성 및 양지향성 마이크로폰에 의한 측정을 함께 수행하였다. 강의실 A는 계단식의 좌석으로 구성된 비교적 큰

공간이며 강의실 B는 일반적인 소규모의 공간이다. 그림 6에 측정위치를 나타내었으며 측정에 사용한 주요 장비는 다음 표 1에 나타내었다.

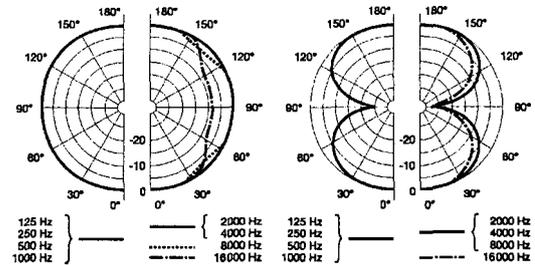


그림 4. 무지향성, 양지향성 마이크로폰의 지향 특성(data sheet)

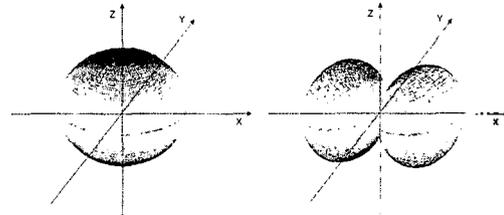


그림 5. 무지향성, 양지향성 마이크로폰의 지향 특성(reconstructed)

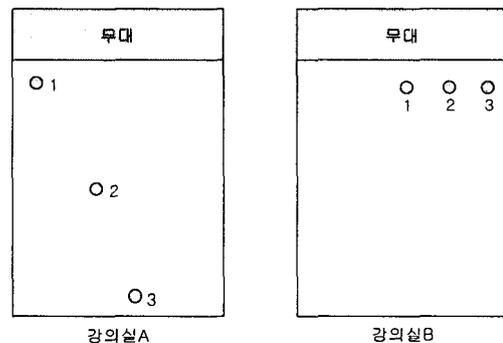


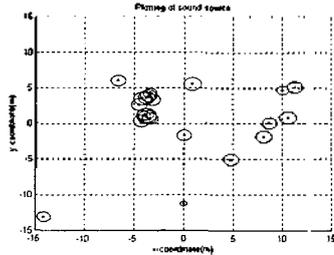
그림 6. 측정위치

표 1. 측정장비

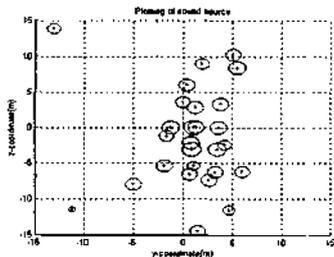
기기명	용도
무지향성 스피커	임펄스음원 발생
5채널 마이크로폰	공간음향 측정시스템
MLSSA	MLS Analyzer
AKG C414-ULS	무지향성, 양지향성 마이크
자체제작 Pre-amp	5채널 마이크용
Hoontech DSP24	데이터 입출력용
Cool Editor, Matlab	MLS발생, LEF 계산

4.2 LEF의 측정 결과

그림 7은 5채널 마이크로폰을 이용하여 실제로 측정된 공간의 반사음 분포의 예를 나타내고 있으며 표2와 그림 8에 LEF의 측정 결과를 보이고 있다.



(a) X-Y



(b) Y-Z

그림 7. 초기 반사음 분포

표 2. 측정 결과 [%]

	다채널마이크	양지향성마이크
강의실A 좌석1	30.0	35.9
강의실A 좌석2	41.8	40.9
강의실A 좌석3	25.1	31.8
강의실B 좌석1	43.7	41.9
강의실B 좌석2	41.2	39.2
강의실B 좌석3	29.5	30.1

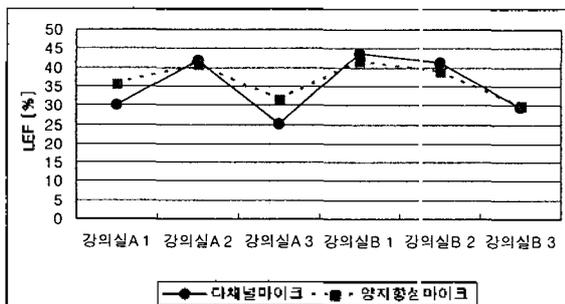


그림 8. 측정 결과

실험 결과 다채널 마이크로폰을 이용하여 계산한 LEF값으로 양지향성 마이크로폰을 이용하여 측정된 결과를 어느정도 정확히 얻을 수 있음을 알

수 있다.

5. 결론 및 향후과제

본 실험에서는 다채널 마이크로폰을 이용하여 측정된 공간의 방향성 충격응답에 무지향성 및 양지향성 마이크로폰의 지향 특성을 적용하여 LEF를 계산하였다. 이와 유사한 방법으로 마이크로폰의 지향성 대신 HRTF를 적용하여 IACC의 계산도 가능하며 이렇게 하여 현재 사용되고 있는 대부분의 음향지표에 대한 측정을 다채널 마이크로폰에 의한 측정만으로 수행할 수 있게 된다. 일반적으로 마이크로폰의 제조업체에서 수평면상의 지향 특성에 대한 자료를 제공하고 있으나 수직방향의 지향성을 제공하고 있지 않으므로 본 연구에서 기존의 기법에 의한 측정에 이용된 무지향성 및 양지향성 마이크로폰이 각각 이상적인 지향 특성을 가진 것으로 가정했다. 실제의 경우, 특히 수직 방향에 대한 특성은 그렇지 않은 경우가 많으므로 마이크로폰의 정확한 4π 공간에서의 지향특성에 대한 측정이 이루어져야 한다.

이와 같은 기법을 이용하게 되면 측면 반사음의 계산에 있어 측면으로 구분하게 되는 경계를 임의로 조정하는 것이 가능하게 되므로 이를 이용하여 청감과의 연관성이 최적으로 나타나는 경계점을 찾는 연구의 수행이 가능하게 된다. 앞서 언급한 바와 같이 LEF 계산시 사용하게 되는 측면에너지의 정의는 인간의 청감에 근거한 것이라기보다는 기존에 개발되어 있던 양지향성 마이크로폰의 지향특성에 의하고 있어 공간감에 대한 청감상의 느낌을 정확하게 기술하고 있다고 보기는 어려우므로 이와 같은 연구를 통해 새로운 경계점을 찾아낸다면 공간감을 평가하는 더욱 정확한 지표를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] M. Barron, "Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls : the derivation of a physical measure", J. of sound and vibration, 72, 211-232, 1981
- [2] A. Abdou, R.W. Guy, "Spatial information of sound fields for room-acoustics evaluation and diagnosis", J. Acoust. Soc. Am. 100(5), 1996
- [3] E. Hojan, C. Posselt, "Subjective evaluation of acoustical properties of concert halls based on their impulse response", J. Acoust. Soc. Am. 88(4), 1990
- [4] L. Beranek, *Concert Halls and Opera Halls*, Acoustical Society of America, 1996.