한국소음진동공학회 2013년 춘계학술대회논문집, pp. 731~732

다수의 스피커를 사용하는 선형 어레이 시스템에서 기하학적 접근 방법을 통한 스위트 스폿(Sweet spot) 분석

Sweet spot analysis of linear array system with a large number of loudspeakers by geometrical approach method

양훈민† · 박영진* · 박윤식**
Hunmin Yang, Youngjin Park and Youn-sik Park

1. 서 론

스위트 스폿(Sweet spot)은 디자인된 정위감으로 청자에게 입체음향이 생성되는 청취영역이다. 입체음향 관련 많은 연구자들이 각자 그들만의 방식으로 스위트 스폿에 대한 정의를 내려왔고, 본 논문에서는 청자가 음장 재현 결과 원하는 가상 음원과 동일한 방향감을 느끼는 영역을 스위트 스폿으로 정의한다. 일정한 수평각을 갖고 입사하는 평면파를 음장 재현 할 경우, 스위트 스폿은 청자가 동일한 수평각도를 인지하는 영역이 된다.

본 논문은 다수의 스피커를 사용하는 선형 어레이 시스템을 통해 수평각을 갖고 입사하는 평면파를 음장 재현할 경우의 스위트 스폿을 기하학적인 방법을 통해 분석하는 것을 목적으로 한다. 또한 다수의 스피커를 사용하여 음장 재현을 하기 때문에 청자의 위치에서 측정되는 임펄스 응답(Impulse response)은 펄스열(Pulse train)의 형태를 띄게 되고, 펄스열의 지속 시간(Time duration)은 청자의 음원 인지에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 본 논문은 기하학적 접근 방법을 통해 스위트 스폿을 정의하고, 스위트 스폿 안에서 펄스열의 지속 시간을 계산하여 청자의 음원 인지를 분석할 수 있는 방법을 제안한다.

† 교신저자; KAIST 기계공학과
E-mail : beachmind@kaist.ac.kr
Tel : 042-350-3060, Fax : 042-350-8220
* KAIST 기계공학과
** KAIST 기계공학과

2. 본 문

2.1 스위트 스폿 계산

(1) 무한개의 스피커가 제한된 어퍼쳐를 가질 때

무한개의 스피커를 사용하고 제한된 어퍼쳐 사이즈를 갖는 선형 어레이 시스템에서 입사하는 평면파가 임의의 수평각을 갖고 입사할 때, 기하학적 분석으로 계산되는 스위트 스폿을 Figure 1에 나타내었다. 이때 스위트 스폿은 스피커 어퍼쳐 크기(Aperture size)와 선형 어레이와 청자 사이의 거리(Distance) 그리고 구현하고자 하는 평면파의 수평각도 Θ가 정해져 있을 때, 청자가 원래 구현하고자 했던 평면파의 수평각과 동일한 각도를 인지하는 영역으로 정의된다. 이 때 처음 도달하는 파면(Wave front)에 수직한 방향으로 청자가 각도를 인지를 한다고 가정하였다.

선형 어레이 시스템의 제한된 어퍼쳐 사이즈 안에 무한개의 스피커가 있을 때에는, 어퍼쳐 크기만큼의 영역에 완벽한 파면이 구현되기 때문에, 스위트 스폿의 크기는 어퍼쳐 크기와 동일하다. 다만 구현하고자 하는 평면파의 수평각도와, 선형 어레이와 청자까지의 거리에 의해 결정되는 평행이동 거리만큼 쉬프트(Shift)되어서 스위트 스폿이 결정된다.

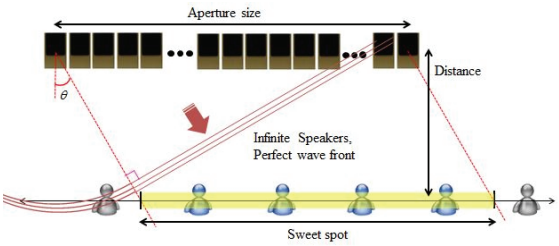

Figure 1. Sweet spot with finite aperture size and infinite number of loudspeakers; Virtual plane wave is coming from the front-left of the listener with azimuth angle Θ.

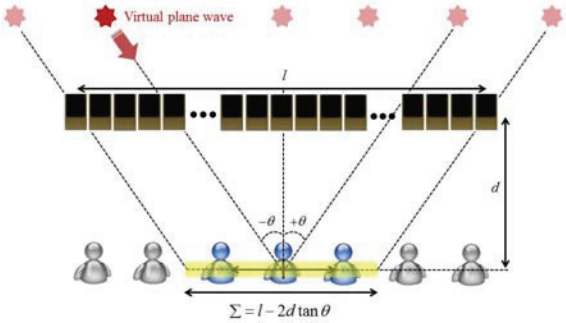

Figure 2. Sweet spot with finite aperture size and infinite number of loudspeakers; Azimuth angle range of virtual plane wave is from –Θ to + Θ .

(2) 동일한 조건에서, 수평각이 제한되어 있을 때

Figure 1과 동일한 조건에서 평면파의 수평각 범위를 – Θ 에서 + Θ 로 제한시켰을 때 결정되는 스위트 스폿을 Figure 2에 나타내었다. 또한 스위트 스폿의 크기는 다음과 같이 수식으로 정의되며 다수의 스피커를 사용하는 실제 시스템에 근사적으로 적용 가능하다.

$$\sum = l - 2d\tan\theta \tag{1}$$

2.2 펄스열의 지속 시간 계산

2.1절에서 기하학적 접근 방법을 통해 스위트 스폿을 계산했고, 스위트 스폿 안에서 청자의 음원 인지를 분석하기 위해 임펄스 응답을 고려해 보도록 하자. 이 때 다수의 스피커를 사용하여 음장 재현을 하기 때문에 임펄스 응답은 펄스열의 형태를 띠게 되고, 펄스열의 지속 시간은 청자의 음원 인지에 큰 영향을 주게 된다. 펄스열의 지속 시간에 따라서 제1파면 효과(Precedence effect)가 발생하여 청자가 첫 번째 도달하는 펄스로 음원 인지를 할 수도 있고, 펄스열의 지속 시간이 매우 클 경우에는 에코(Echo)로 분리된 소리를 들을 가능성도 있다.(1)

펄스열의 지속 시간을 또한 기하학적 접근 방법을 통해서 계산하였다. 청자가 x의 위치에 있을 때 (Figure 3) 펄스열의 지속 시간은 다음 수식 (2)와 같이 계산된다.

$$\Delta\tau_{1,2}(x) = \left| \frac{\sqrt{(l - x - d\tan\theta)^2 + d^2} - \sqrt{(d\tan\theta + x)^2 + d^2}}{c} + \frac{l\sin\theta}{c} \right| \tag{2}$$

스위트 스폿 영역 안에서 펄스열 지속 시간의 최대값은 다음 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\Delta\tau_{\max} = \Delta\tau_{1,2}(x)\big|_{x=0} = \left| \frac{\sqrt{(l - d\tan\theta)^2 + d^2} - d\sec\theta}{c} + \frac{l\sin\theta}{c} \right| \tag{3}$$

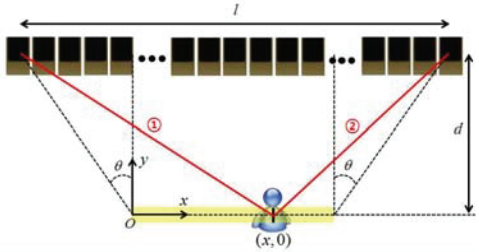

Figure 3. Coordinate definition; Origin is the left end of defined sweet spot.

2.3 예시

스피커 10개를 0.5m 등간격으로 선형 배치하고, 어퍼쳐 크기 4.5m, 청자와의 거리 2m, 평면파 구현 각도 범위가 30도 이내인 시스템에 대해서 2.1, 2.2장의 기하학적 접근 방법에 따른 계산을 하게 되면, 스위트 스폿의 크기는 2.2m, 펄스열의 최대 지속 시간은 11.2ms의 결과를 얻을 수 있다.

3. 결 론

본 논문은 다수의 스피커를 사용하는 선형 어레이 시스템에서 평면파를 구현하고자 할 때 결정되는 스위트 스폿을 기하학적 접근 방법을 통해 근사적으로 구하는 방법을 제안한다. 무한개의 스피커를 사용하고, 제한된 어퍼쳐 크기를 갖는 시스템의 물리적 파면 분석으로부터 스위트 스폿을 정의하고, 청자에게 도달하는 펄스열의 최대 지속 시간을 계산함으로써 청자의 음원 인지에 대해 미리 예측할 수 있는 툴을 제시한다. 일반적으로 스위트 스폿을 넓히기 위해서는 어퍼쳐 크기를 늘리면 된다는 것이 정설이지만, 펄스열의 지속 시간이 길어져서 음원 인지나 음색의 변화를 가져올 수 있기 때문에, 어퍼쳐 크기의 변화도 신중히 고려되어야 됨을 제안한다.

후 기

이 논문은 정부(지식경제부)의 재원으로 산업융합기반구축사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 10037244).

참 고 논 문

(1) R. Litovsky, H. Colburn, W. Yost, and S. Guzman, The precedence effect, JASA, Volume 106, 1999, pp. 1633-1654