



특집

자동차 실내외 음향 제어기술

스피커 어레이를 사용한 자동차 실내외 음장 제어

최 정 우*
(한국과학기술원)

1. 머리말

최근 전기/하이브리드 자동차의 보급과 다채널 신호처리 기술의 발전으로 자동차 실내·외 음장 제어에 대한 관심이 증가되고 있다. 특히, 기존 능동소음제어와 같은 단순한 소음 제어의 개념을 탈피하여, 다수의 스피커로 구성된 어레이를 사용하여 선택한 공간에만 인위적으로 소리를 발생시키거나, 원하는 형태로 실내 소음을 디자인 하는 등 보다 사용자 중심적이고 환경 친화적인 기술로 발전되고 있다. 이에 따라 국내에서도 산업체를 중심으로 소음 및 실내 음향 디자인 기술이 적극적으로 추진되고 있다. 이 글에서는 대표적으로 자동차에 대한 실외 음장 제어 기술의 발전 및 응용 사례를 소개하여 연구 및 학계의 관심을 증대시키고자 한다.

2. 스피커 어레이를 사용한 자동차 실내·외 음장 제어 연구 동향

공간상의 서로 다른 위치에 놓여진 복수의 스피커를 독립적으로 제어함으로써, 원하는 형태의 음장(sound field)를 생성하는 스피커 어레이 제어 기술은 입체음향이나 독립 음향 공간 생성과 같은 다양한 분야에 적용되어져 왔다. 독립 음장 생성 기술은 공간상의 특정 영역에서만 소리

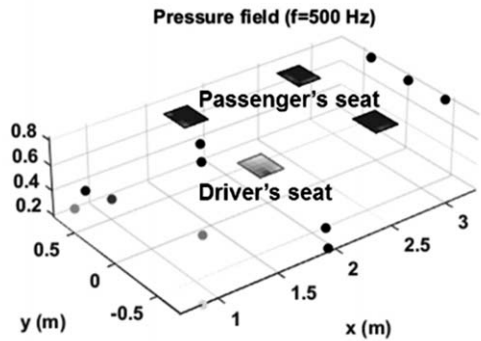
를 청취하거나, 서로 다른 위치에서 다른 음향 콘텐츠를 청취하는데 사용된다. 기존에는 주로 가정에서 입체음향을 구현하기 위한 사운드바 형태나, 항공기 좌석별 독립 음향 구현을 위한 active headrest 등에 대한 연구가 있어왔으나, 최근에는 차량 실내 좌석 별로 다른 음향 콘텐츠를 제공할 수 있는 기술(그림 1), 그리고 전기 자동차에서 보행자 위치로만 차량 주행음을 전시하는 기술(그림 2) 등이 각광을 받고 있다. 특히, 차량이 발생시키는 환경 소음 규제에 대한 강화와 사용자 친화적인 차량의 개발 수요 등으로 인해, 차량의 실내외 음향을 자유자재로 디자인 하는 기술의 중요성이 날로 증대되고 있다.

이번 특집에서는 스피커 어레이를 사용한 자동차 실내외 음장 제어 기술 및 이를 원천적으로 가능케 하는 소음원 추적 기술을 소개하고자 한다. 구체적으로, 실내에서 차량의 주행상태에 따라 원하는 형태로 음질을 변화시켜 운전자에게 제공하는 사운드 디자인 기술과 스피커 어레이를 사용하여 차량의 좌석별로 다른 오디오 프로그램을 듣게 하는 실내용 독립 음장 생성 기술, 그리고 차량 외부에서 보행자 방향으로만 소리를 투사하여 전달함으로써 환경 소음 증가를 억제 하면서 차량의 주행음/경고음을 전달하는 선택적 경고음 발생 기술, 그리고 차량의 BSR(buzz, squeak, rattle) 소음원 위치를 실시간으로 추적할

* E-mail : jwoo@kaist.ac.kr



(a) 마이크론 어레이와 전달함수 측정

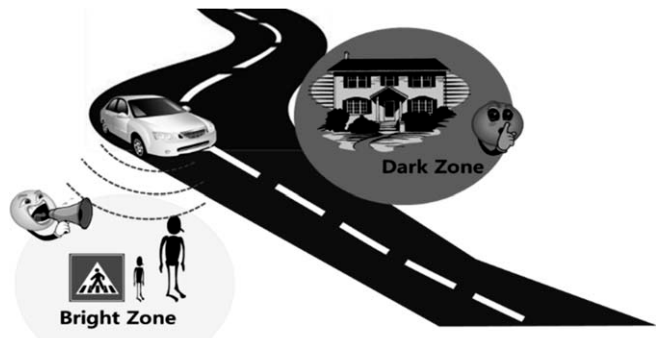


(b) 음향 에너지 분포(frequency: 500 Hz)

그림 1 실차 실내의 독립 음향 공간 생성 예(현대자동차-KAIST, 2014)



그림 2 영상 카메라를 이용한 보행자 방향 검출 및 이를 이용한 선택적 주행 경고음 전달 개념도



수 있는 음향 카메라 기술이 수록되어 있다.

그 중의 하나로, 이 글에서는 스피커 어레이를 이용한 차량의 선택적 실외 경고음 전달 기술을 소개하고자 한다. 최근 전기 자동차 및 하이브리드 자동차의 급속한 보급과 함께, 해당 차량들이 발생시키는 엔진 소음 등이 현저히 작아 보행자가 차량의 접근을 인지하지 못하여 위험에 노출되는 것이 문제가 되고 있다. 이를 방지하기 위해 인위적으로 주행음을 발생시켜 보행자가 사전에 차량의 접근을 알아챌 수 있도록 하고 있지만, 인위적인 주행음 발생으로 인한 환경 소음 증가가 동시에 문제되고 있다. 유럽 연합에서는 두 상충되는 문제를 해결하기 위해 eVADER(electric vehicle alert for detection and emergency response)⁽¹⁾ 프로젝트 내에서 새로운 접근 방식을 취하고 있는데, 차량의 영상 카메라를 통해 보행자의 방향을 인식하고 해당 방향으로만 소리를 발생시키는 것이다. 이를 위해 NISSAN LEAF 전기 자동

차의 범퍼에 스피커 어레이를 설치하고, 높은 지향성을 갖도록 음장을 제어하여 원하는 방향으로 소리를 전달하는 접근 방식을 취하였다. 이외에도 사우스햄튼대학의 연구진은 하나의 압축 드라이브에 파이프를 연결하고, 파이프에 tone-hole을 뚫어 end-fire 지향성을 발생시키는 연구를 수행한 바 있다⁽²⁾. 이 방식은 하나의 스피커로도 지향성을 발생시킬 수 있다는 장점이 있으나, 지향성이 원하는 방향으로 스티어링 되지 못하고 차량의 진행 방향으로 고정되어 있다는 단점이 있다.

2.1 독립 음향 공간 형성 기술의 배경

스피커 어레이를 사용하여 특정 방향 혹은 공간에 위치한 사용자에게만 소리를 제공하는 독립음향공간 형성 기술은 주로 공간별로 소리의 크기를 제어하는 문제를 다루며, 소리의 크기는 공간 내부의 음향 위치 에너지와 연관되어 있다. 즉, 어

는 한 공간에서 소리를 들으면서 다른 공간의 소리는 억제하고자 하는 것과 같이, 두 공간의 음향 위치에너지 비를 최대로 하는 것이다. 이를 위해 다양한 방법이 제안되어 왔지만, 가장 기본적이고 널리 알려진 음향 대조 제어의 경우, 직접적으로 선택한 두 공간의 에너지 비를 최대로 하는 고유치 문제로 접근한다^(4,5). 보다 구체적으로는 청취 공간에 설치된 마이크와 제어 스피커 간의 전달함수를 계측하고, 계측된 정보를 사용하여 두 공간 사이의 음향 위치 에너지 비를 최대로 하는 스피커의 필터 계수를 최적화하는 것이다.

하지만, 이와 같은 단순한 원리를 실제 차량 시

스템에 적용하는데 많은 어려움이 있다. 대표적으로 공간 내에서 음질이 균일하지 않거나, 안정적인 제어를 할 수 없고 전달함수의 측정 소음이 증폭되는 단점이 잘 알려져 있다. 2000년대 후반 들어 단점을 극복하기 위해 다양한 기법들이 개발되어져 왔으며⁽⁶⁻¹⁰⁾, 현재까지도 보다 나은 음질을 확보하기 위한 기법들이 연구 중에 있다.

2.2 선택적 실외 경고음 전달 기술 구현 예

다음은 하이브리드 자동차에 선택적 실외 경고음 시스템 구현을 위해, 그림 3과 같이 실차에 스피커 어레이를 설치하여 지향성 사운드를 발생

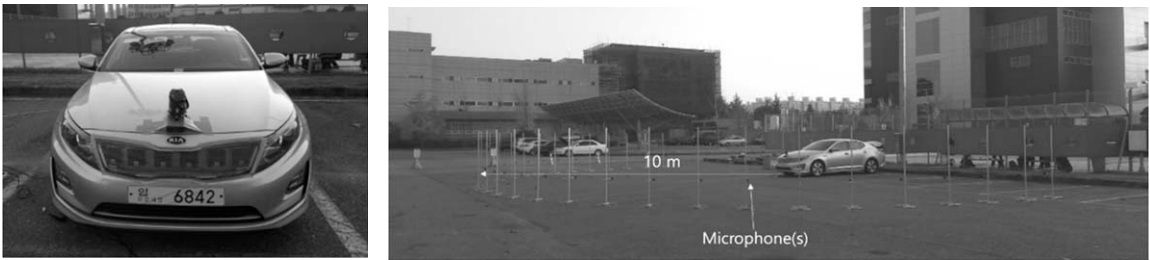
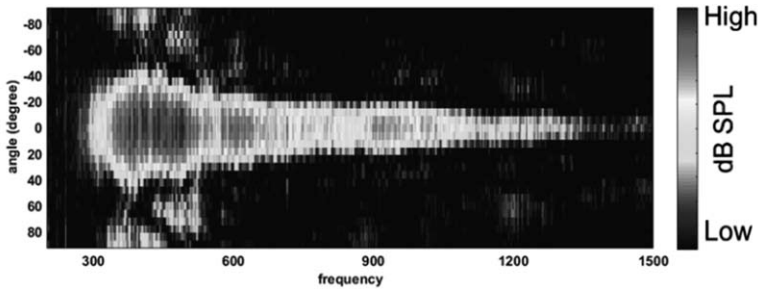
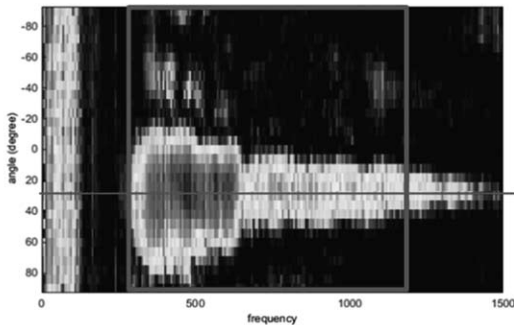


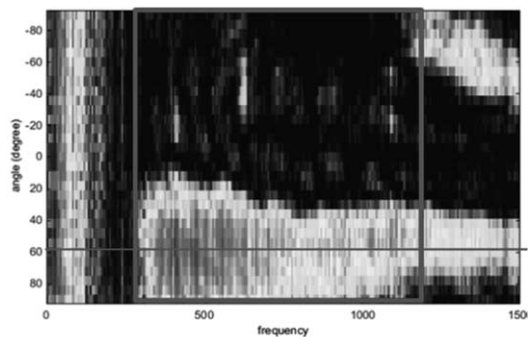
그림 3 선택적 보행자 경고음 전달 시스템 구현 예(현대자동차-KAIST)



(a) 0° 방향



(b) 30° 방향



(c) 60° 방향

그림 4 아스팔트 도로 위에서 실제 사운드 빔 생성 결과

시킨 실험 예이다. 차량과 보행자 사이의 전달합수를 10 m 거리에 설치된 31개의 마이크로폰으로 직접 계측하여, 음향 대조 기법으로 제어를 수행하였으며, 아스팔트 바닥면을 가지는 공터에서 직접 제어된 음장을 생성한 뒤, 마이크로폰으로 지향 특성을 계측하였다. 그림 4는 차량 전방 및 30°, 60° 방향으로 발생된 사운드 빔의 성능을 300 Hz ~ 1.5 kHz 주파수 구간에 대해 도시한 것이다. 저주파 대역에서는 한정된 어레이 사이즈의 영향으로 다소 빔 폭이 둔화되나, 600 Hz 이상에서는 20° 이내에서 20 dB 이상의 감쇠가 가능하다.

3. 맺음말

자동차의 소음 제어는 소음 저감을 넘어서 차량의 실내외 소음의 공간 분포를 디자인하는 새로운 단계로 진입하고 있다. 이 글에서는 차량 외부의 경고성 주행음을 특정 방향으로 집중시키는 선택적 경고음 전달 시스템의 구현 예를 살펴 보았으며, 이 외에도 실내의 선택적 음압 분포 제어, 음질 제어 등을 통해 차량 소음 디자인에 많은 변화를 가져올 것으로 기대된다. [KSNVE](#)

참고문헌

- (1) Quinn, D., Mitchell, J. and Clark, P., 2014, Development of a Next-generation Audible Pedestrian Alert System for EVs having Minimal Impact on Environmental Noise Levels, Proc. of Inter-Noise 2014, Australia.
- (2) Robart, R. et al., 2013, eVADER: a Perceptual Approach to Finding Minimum Warning Sound Requirements for Quiet Cars, Proc. of AIA-DAGA 2013 International Conference on Acoustics; Italia.
- (3) Cheer, J., Birchall, T., Clark, P., Moran, J., Elliott, S. J. and Fazi, F., 2013, Design and Implementation of a Directive Electric Car Warning Sound, Proc. of the Institute of Acoustics, 35, Acoustics 2013 Saint Albans, UK.
- (4) Choi, J.-W. and Kim, Y.-H., 2002, Generation of an Acoustically Bright Zone with an Illuminated Region using Multiple Sources, J. Acoust Soc. Am., Vol. 111, No. 4, pp. 1695~1700.
- (5) Elliott, S. J., Cheer, J., Choi, J.-W. and Kim, Y., 2012, Robustness and Regularization of Personal Audio Systems, IEEE Trans Audio, Speech Lang Process., Vol. 20, No. 7, pp. 2123~2133.
- (6) Shin, M., Lee, S. Q., Fazi, F. M., Nelson, P. A., Kim, D., Wang, S. et al., 2010, Maximization of Acoustic Energy Difference between Two Spaces, J. Acoust Soc. Am., Vol. 128, No. 1, pp. 121~131.
- (7) Coleman, P., Jackson, P., Olik, M., Pedersen, J. A., 2013, Optimizing the Planarity of Sound Zones, Audio Engineering Society Conference: 52nd International Conference: Sound Field Control - Engineering and Perception, UK.
- (8) Coleman, P., Jackson, P., Olik, M., Olsen, M., Møller, M. and Pedersen, J. A., 2013, The Influence of Regularization on Anechoic Performance and Robustness of Sound Zone Methods, Proceedings of Meetings on Acoustics, Acoustical Society of America, p. 055055.
- (9) Coleman, P., Jackson, P., Olik, M., Møller, M., Olsen, M. and Abildgaard, P., 2014, Acoustic Contrast, Planarity and Robustness of Sound Zone Methods using a Circular Loudspeaker Array, J. Acoust Soc. Am., Vol. 135, No. 4, pp. 1929~1940.
- (10) Møller, M., Olsen, M. and Jacobsen, F., 2012, A Hybrid Method Combining Synthesis of a Sound Field and Control of Acoustic Contrast, Audio Engineering Society Convention 132, Preprint 8627.