



실내 독립 음향 공간 생성 기술

홍진석*
(현대자동차)

1. 머리말

최근 IT 기기의 발달이 네비게이션, 핸드프리 및 블루투스 연결 등 차량 내부 기술로 확대됨에 따라 운전 환경이 급격히 변화하고 있다. 차량에 라디오가 적용되면서 차량 실내 듣는 즐거움이 도입된 지 80여년이 지나면서 이제는 개개인이 다양한 IT 콘텐츠를 즐길 수 있는 시대가 되었으나 차량 탑승객들은 그렇지 못하다. 네비게이션 안내와 블루투스 통화는 운전자에게는 중요한 정보를 제공하지만, 다른 승객들에게는 음악을 방해하는 원인이 되며, 승객 한 사람이 사용하는 게임, 오디오북 그리고 DVD 비디오는 다른 승객들에게는 차량 실내를 잡음으로 채우는 도구가 될 수도 있다. 차량 실내를 하나의 공간으로 구성되어 있어 차량 오디오 시스템 개발자는 오직 한 가지 음장만 존재하도록 시스템을 개발해야하기 때문에 승객 입장에서는 80년전 라디오음을 듣기 시작할 때와 별반 달라진 것이 없는 상황이다. 동일한 공간내 서로 방해하지 않는 별개의 여러 음장을 만들 수 있는 독립 음향 공간 생성 기술을 차량에 적용 시 승객 개개인이 원하는 음을 즐길 수 있어 상품성 증대 측면 뿐아니라, 마땅한 대안이 없었던 블루투스 통화음의 차량 실내 모든 승객 공유에 따른 개인 프라이버시 보호 문제나 후석 오락시스템(rear seat entertainment) 적용 시 전

석 승객 방해 문제 등에 대한 대안이 될 수 있다. 이 글에서는 차량 실내 독립 음향 공간 생성을 위한 사운드 포커싱 기술과 이를 차량에 적용한 결과를 소개하고자 한다.

2. 사운드 포커싱 기술

사운드 포커싱 기술은 스피커 어레이를 사용하여 원하는 구역(zone)에 음 에너지를 집중(생성)하는 기술이다. 공간상에서 원하는 한 지점에 음을 생성하는 기술은 스피커를 통해 음을 제어하는 문제이며 이를 구역으로 확장하여 생각할 수 있으므로 공간상 한 지점에 음을 생성하는 기술을 먼저 생각해 보자. 그림 1은 다수의 음원을 통해 음을 제어하는 음향시스템을 나타내었다. 공간상에 재생하고자 하는 신호(음원)를 $s(\omega)$ 라고 하고, 이 음원을 제어하기 위한 제어 입력을 발생시키기 위해서 디지털 필터를 통과시키며 이것이 실제로 제어하게 될 제어 변수가 된다. k 번째 음원의 위치를 $r_s^{(k)}$ 로 표현하면 각 음원과 연결된 필터의 계수는 다음과 같다.

$$q(\omega) = [q(r_s^{(1)}, \omega), \dots, q(r_s^{(K)}, \omega)] \quad (1)$$

디지털 필터를 통과한 신호들은 다수의 음원을 통해 실제 음으로 변환 되고, 발생한 음은 공간을

* E-mail : jinshong@hyundai.co.kr

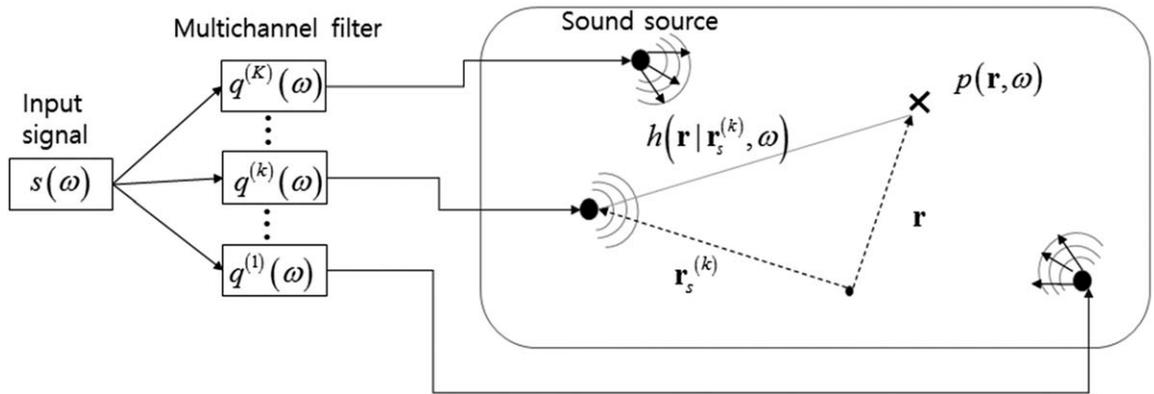


그림 1 다수의 음원을 통해 음을 제어하는 음향시스템

전파하여 청취자 위치로 전달된다. 이때 소리는 K 개의 음음, 파워 앰프의 전기적 특성에 따라 다르게 발생하는데, 이러한 음원 및 공간의 특성이 전달함수의 개념으로 포함된다. r_s^k 에 존재하는 음원의 입력신호와 한 청취 지점 r 사이의 전달함수는 다음과 같다.

$$h(\mathbf{r}, \omega) = [h(\mathbf{r}|\mathbf{r}_s^{(1)}, \omega), \dots, h(\mathbf{r}|\mathbf{r}_s^{(K)}, \omega)] \quad (2)$$

여기서, 공간의 경계조건이나 크기, 음원의 방사 특성 등 모든 개별적 특성은 전달함수에 포함된 것으로 간주한다. 그러므로 음원을 통해 지점 r 에 발생하는 음압은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p(\mathbf{r}, \omega) = h(\mathbf{r}, \omega)q(\omega) \quad (3)$$

결국, 공간상에 원하는 한 지점에 음을 생성하는 것은 제어변수 $q(\omega)$ 를 결정하는 문제가 된다.

이제 공간상의 원하는 구역에 음을 생성하기 위해 음향빔기와 음향대조 개념을 생각해 보자. 음향빔기는 음의 크기인 음향 위치에너지의 크기와 관련이 있다. 공간상에서 음향빔기를 제어하는 목적은 청취 공간에서 충분한 음량을 제공하기 위함이지만, 음의 크기는 입력 신호의 크기에 따라 변화하므로 입력 신호의 크기에 대한 상대적인 개념으로 표현해야 한다. 음향빔기를 향

상시키기 위한 체적을 V_b 라고 하고, 이 공간에 대해 평균한 음향빔기를 공간의 음향빔기라고 정의한다.

$$\alpha = \frac{e_b}{J_0} = \frac{\langle p(\mathbf{r}) \rangle_{V_b}}{q^H q} \quad (4)$$

여기서, e_b 는 공간 V_b 내에서 평균한 음향에너지, $\langle \rangle$ 는 공간 평균, J_0 는 입력 신호의 총파워를 나타낸다. 식 (3)을 식 (4)에 대입하고 정리하면 다음과 같이 입력함수로 형태로 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \frac{q^H \langle h(\mathbf{r})^H h(\mathbf{r}) \rangle_{V_b} q}{q^H q} = \frac{q^H \mathbf{R}_b q}{q^H q} \quad (5)$$

여기서, 행렬 \mathbf{R}_b 는 공간 V_b 에서 전달함수가 갖는 공간 상관성(spatial correlation)이다. 식 (5)는 입력신호 q 에 대한 2차 형식(quadratic form)이며, 이 함수를 최대화하는 해는 다음과 같이 공간 상관 함수의 최대 고유치에 따르는 고유 벡터로서 주어진다.

$$\alpha_{\max} \mathbf{q}_{opt} = \mathbf{R}_b \mathbf{q}_{opt} \quad (6)$$

음향대조는 음향빔기의 개념을 다수의 공간에 대해 확장한 것으로, 서로 다른 공간의 음향학적 빔기 비를 나타내는 상대적인 양이다. 그림 2에

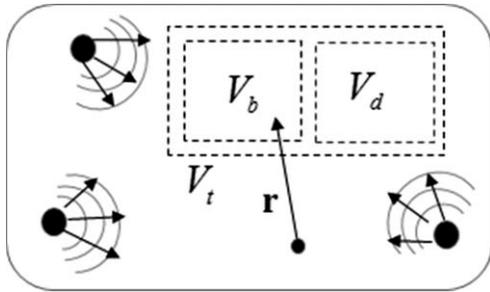


그림 2 음향밝기와 대조 문제

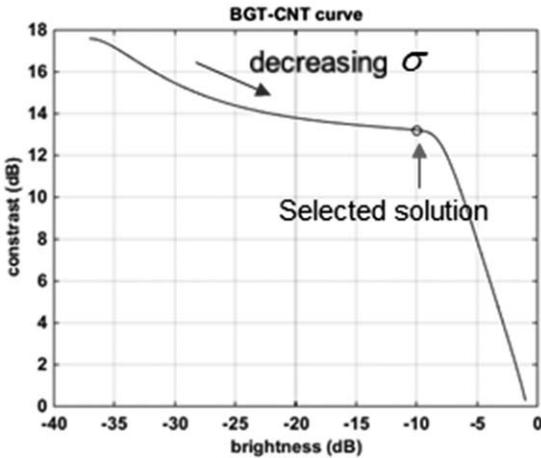


그림 3 Brightness-contrast 곡선

서 서로 다른 두 공간 V_b 와 V_d 를 고려하면, 두 공간의 음향밝기 비는 식 (4),(5)로부터 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$\beta = \frac{e_b}{e_d} = \frac{q^H R_b q}{q^H R_d q} \quad (7)$$

여기서, R_d 는 공간 V_d 내부의 공간 상관성을 나타내는 행렬이다. 음향대조를 최대로 하는 문제 역시 일반화된 고유치 문제로서 그 해는 다음과 같은 상관 행렬의 최대 고유치에 해당하는 고유벡터로 주어진다.

$$\beta_{\max} q_{opt} = R_d^{-1} R_b q_{opt} \quad (8)$$

음향밝기 성능을 높이기 위해 α 를 최대로 하는 q 값을 사용하면 V_d 구역의 에너지가 올라가서 음향대조 성능이 떨어지고, 음향대조 성능을 높이기 위해 β 를 최대로 하는 q 값을 사용하면

V_d 구역의 에너지 상쇄가 커져야 하므로 V_b 구역의 에너지가 낮아지는 문제가 있다. 이 두 성능을 동시에 고려한 최적 q 값을 결정하기 위해 식 (9)와 같은 복합 형태의 수식을 사용하였다.

$$\eta = \frac{q^H R_b q}{\sigma q^H R_b q + (1-\sigma)q^H q} \quad (9)$$

여기서, σ 는 0에서 1까지 변하는 파라미터로서 0인 경우는 음향밝기, 1인 경우는 음향대조 수식과 동일하다. 식 (9)를 이용해 σ 변화에 따른 음향밝기와 음향대조 성능을 그림 3과 같이 나타낼 수 있고 이 그래프로부터 원하는 두 성능을 동시에 고려한 최적한 q 값을 결정할 수 있다

3. 차량 실내 독립 음향 공간 생성 결과

이 장에서는 2장에서 소개한 사운드 포커싱 기술을 실제 차량 실내에 적용한 결과를 소개하고자 한다. 실내 음장 제어 시스템은 그림 4와 같이 차량에 부착되어 있는 12채널 독립적 스피커만을 사용하였고, 4개 각 좌석의 승객 귀위치 평면에 5×6 (4 cm간격) 마이크로폰 어레이를 사용하여 차량 스피커와 승객 위치간 전달함수가 측정되었다.

그림 4와 같이 차량 스피커만으로 운전석과 VIP석에 독립 음향 공간을 생성 할 수 있었으며, 200 Hz 단일 음원에 대해 운전석과 VIP석간 음향대조 성능이 30 dB였고, 광대역 음원의 경우 1 kHz 이하 주파수 대역에서 음향대조 성능이 20 dB였다. 다만, 차량에 장착된 스피커만 사용한 경우, 광대역 음원에 의한 음향밝기 성능이 원음 대비 절반으로 음 레벨이 다소 작았는데 이는 음 집중 성능과는 무관하게 배치된 차량 스피커를 사용함에 따른 성능상 한계로 판단된다. 이러한 한계를 극복하고자, 차량에 부착된 스피커와는 별개로 몇 개의 소형 스피커를 차량 실내 루프부에 추가하여 함께 제어한 경우는 음향대조 성능 20 dB를 4 kHz 주파수 대역까지 확대 할 수 있었고 음향밝기 성능도 원음의 80%까지 높일 수 있

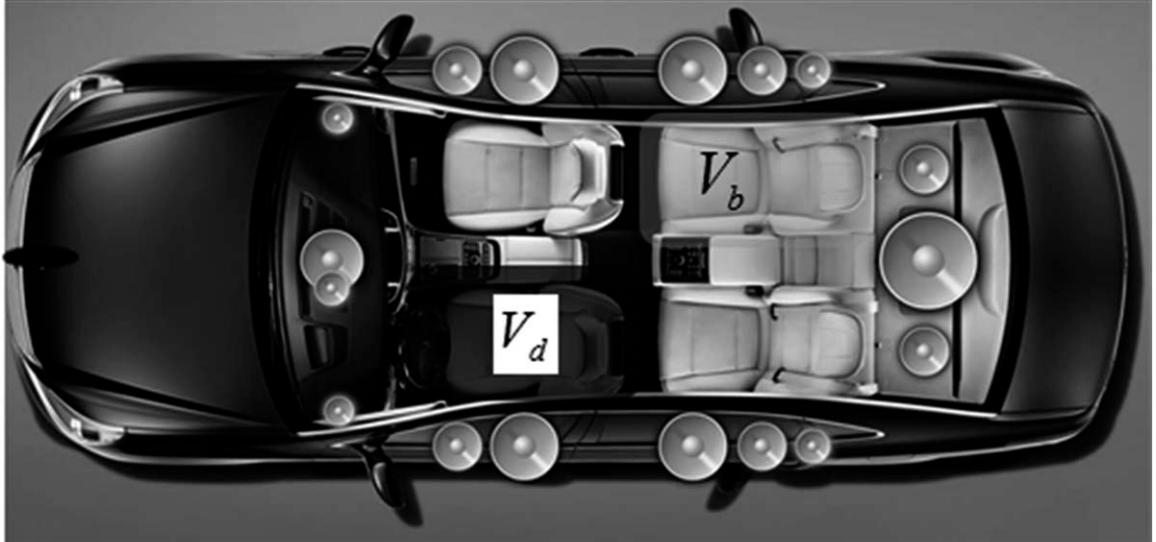


그림 4 12채널 차량 스피커 시스템

었다. 또한, 이상의 결과는 차량이 정지한 상태의 성능으로 주행 시는 주행소음이 발생하여 V_d 구역에 배경 소음으로 마스킹 되어 V_b 구역의 음향 밝기 성능을 더 높일 수 있을 것으로 예상된다.

4. 맺음말

차량에 다양한 IT 기기의 적용 추세는 계속 증

가할 것이며, 그에 따라 승객 개개인의 개별적 음청취 요구는 점점 증대 될 것으로 예상된다. 이에 대응하기 위해 독립 음향 공간 생성 기술을 차량 실내에 적용하여 그 가능성을 확인 할 수 있었다. 양산적용을 위한 후속 연구가 진행되고 있어 멀지 않은 미래에 차량 실내 승객 각자가 원하는 음을 즐길 수 있는 차량이 나올 것으로 기대된다. **KSNVE**