〈논 문〉 SAE NO. 96370068

자동차 스피커의 위치선정 및 오디오 성능평가 방법

Determination of the Speaker Position and Evaluation of the Audio System of the Passenger Car

이 장 명,* 권 오 상**
C. M. Lee, O. S. Chwon

ABSTRACT

The sound quality of the car audio system is affected by the serveral factors such as the dimensions of the room, the boundary condition of the wall, the location of the speakers, etc. Among these factors, the location of the car speakers has been focused to find the best location of the car speakers assuming that the flat response is better. To verify the suggestion, the subjective test is adopted using 10 people. The developed method is utilizd to evaluate the function of the audio system with fixed speaker position.

주요기술용어 : Frequency Response Function(주파수 응답 함수), Acoustic Mode(음향 모드), Sound Quality(음질), Distortion(왜곡)

1. 서 론

과거에는 자동차 개발시 기능적인 면과 성능에 주안점을 두었으나 요즈음 들어서는 자동차 기술의 발전과 문화 수준의 향상에 따라 자동차의 상품성을 높이는데 많은 주안점을 두고 있다. 이러한 자동차의 상품성을 높이는 주요한 인자 중의 하나가 그 차에 적합한 오디오 설비를 갖추는 것이다.

고급의 앰프와 스피커를 사용하면 할수록 더 좋은 소리를 들을 수 있음은 분명한 사실이나, 주어진 오디오 시스템으로 최적의 성능을 올릴 수 있다면 그것은 더욱 바람직한 일이다. 특히 음을 듣는 과정은, 오디오 자체의 성능과 그 음을 듣는 환경에 의해 영향을 받으므로 이러한 고려는 당연하다.

일반적으로 승용차 내부의 음향 모드는 약 80Hz 근방에서 발생하기 시작하여, 통상적인 가청 영역에까지 영향을 미친다. 이러한 음향 모드는 차실의 크기와 경계 조건에 의해 결정되는데, 듣는 위치에 따라 그 효과가 달라지며, 또한 음원의 위치나 음원의 방향 변화에 따라 가진 되는 효과가 달라지게 된다. 그러므로 운전석이나 승

* 정회원, 울산대
** 기아자동차

객 석에서 들리는 음은, 자동차 차실의 경계 조건과 음원의 위치, 각도 등에 의해 지배받는다고 할 수 있다.

오디오 성능 평가시, 대개의 경우 평가자의 주관적인 의견에 따라 정해지는 수가 많은데, 개개인의 개성과 취향에 따라 좋아하는 오디오 특성이 틀리고, 또한 그날의 신체적인 상태에 따라서도 다르기 때문에, 이러한 평가 방법은 객관성이 떨어진다. 그렇다고 임의로 객관적인 수치를 얻어서 평가를 하는 것은, 그것이 실제로 얼마나 정확하냐의 문제를 확인하지 않는다면 무의미할 수도 있다. 가장 좋은 오디오는 실제의 음악을 완벽하게 재생하여 콘서트홀(concert hall)에서 음악을 듣는 것과 같은 효과를 낼 수 있는 것이어야 한다. 하지만 음악을 녹음 할 때부터 음원이 완벽하게 녹음이 되지 않을 뿐만 아니라 재생기기인 오디오의 성능에 영향을 받아 음에 왜곡(distortion)이 발생한다. 더군다나 자동차 실내와 같은 작은 공간에서는 음향 모드에도 영향을 받아서 왜곡이 더욱 심하여진다. 이러한 음의 왜곡이 음질(sound quality)에 영향을 주는 것에 대하여 Hayakawa[1] 등과 Jamnia[2] 등에 의하여 제기가 되어 왔으며 자동차 오디오 설계에 반영하고자 노력하여 왔다. 자동차에서 음의 왜곡이 오디오 자체의 성능에도 영향을 받지만 음원 즉 스피커의 위치에 따라서도 음의 왜곡 정도가 다르므로 자동차에서 스피커 위치 및 각도를 결정하는데 음의 왜곡 정도가 유용하게 응용 될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 오디오 자체의 음향학적 특성보다는 주어진 음원에 대한 수음 점에서의 음의 왜곡(distortion)이 나름대로 객관화할 수 있는 변수라고 보고, 왜곡이 가장 적게 일어나는 스피커의 위치를 찾는데 주안점을 두고자 한다. 또한 이러한 가정이 옳다는 것을 입증하기 위하여, 10명을 대상으로 실시한 주관적인 평가와 비교해 보고자 한다.

또한 오디오 설비 자체의 기능이 자동차 실내 음장과 좋은 일치를 보이는 가를 알아 보기 위하여, 위에서 제시한 방법대로 실험을 수행한다. 이 때 스피커의 위치는 고정하고 두 가지 종류의 오디오를 교체하여 비교실험 한다.

2. 실험 및 결과

사람이 음을 듣는 과정은, 마이크로폰에 신호가 잡히는 것으로 간단히 묘사할 수 없는 복잡한 과정이며, 이것을 실험적으로 구현하려면 더미헤드(dummy head)를 이용하여 사람의 청감 특성을 재현하여야 하며, 기타 여러 가지 주관적인 요소들을 고려하여야 한다. 그러나 여기서는 음원의 위치에 따라 수음 점에서의 왜곡을 간단히 평가하여 객관화 시키고자 하므로, 마이크로폰 하나를 사람의 귀의 위치에 해당하는 곳에 일정하게 위치시키고 실험을 하였다. 또한 마이크로폰의 방향에 따라 음의 특성이 달라지나, 별다른 영향을 미치지 않았으므로 마이크로폰의 방향은 일정하게 전방을 향하도록 하였다.

차실 내에서의 오디오 성능에 대하여 보다 정확한 주관적 평가를 수행하기 위해서는 크게 음의 명료성, 저음성, 고음성 등으로 분류하여 평가하여야 하나[3], 본 연구에서는 오디오 자체의 성능 평가보다는 음원의 위치에 따른 왜곡이 발생함을 확인하고, 이러한 효과가 청취자에게 영향을 미친다는 사실을 파악하고자 하므로, 음의 주관적인 평가시 위의 세부적인 평가항목은 채택하지 않았다.

2.1 실험 조건

음원의 위치 변화에 따른 왜곡을 파악하기 위한 방법으로 다음과 같은 실험을 수행하였다. 운전석 귀 위치에 해당하는 곳에 마이크로폰을 고정시키고, 그 스피커의 여러 위치로부터 마이크로폰까지의 주파수 응답함수(frequency response function)를 측정하였다.

본 연구에서는 총 4개의 스피커가 이용 되었다. 4개의 스피커는 실제 개발용 자동차에 장착된 전석용 스피커 두개와 전석용보다 조금 큰 후석용 스피커 두개를 이용하여 실험을 수행하였다. 본 실험에 이용된 차종과 이에 관련된 스피커 사양은 현재 개발중인 차종이므로 상세한 언급은 하지 않는다. 하지만 스피커의 일반적인 제원을 소개하면, 직경 6″(후석용)와 4″(전석용), 임피던스 4Ohm, 최대출력 40W이다.

입력 신호는, 오디오의 주 사용 영역인 2kHz까지의 백색 잡음(white noise)을 이용하였고[3], 그 때의 평균 시간(averaging time)은 30초로 하였다. 그림 1은 실험 장치를 나타낸 그림이며, 그림 2는 스피커의 위치를 나타내는 그림이다. 주파수 응답 함수를 구함에 있어서, 주파수 대역을 선형으로 할 것이냐, 옥타브(octave)로 할 것이냐의 문제가 있는데, 음악 등에 주로 사용되는 주파수 영역이 전 가청 주파수 영역과 비교할 때 협소하므로, 2kHz까지의 선형 주파수 영역에 대하여 주파수 응답 함수를 측정하였다.

2.2 1개의 스피커를 이용한 실험

먼저 차실 내의 각각의 위치에 따른 주파수 응답함수를 측정하였다. 실제적인 오디오 시스템의 성능은 각 스피커에서 나오는 음의 총합이며, 각각의 스피커를 통과하며 발생하는 위상차 등도

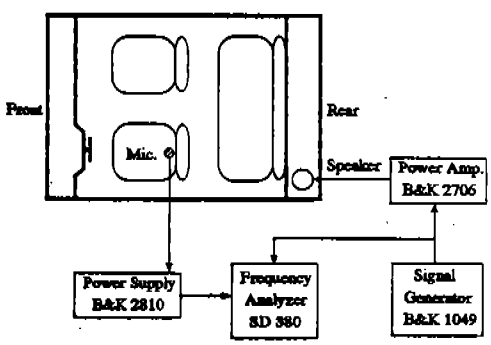


Fig.1 Apparatus for the Evaluation of Car Speaker Position

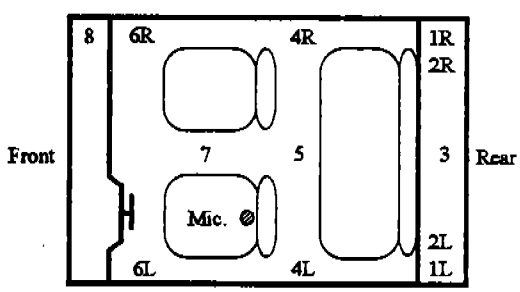
고려해 주어야 하므로, 최종적으로는 전체 스피커들에 대한 것을 가지고 이야기하여야 하나, 1차적으로 그 위치를 각각 분리하여 먼저 그 특성을 알아보고자 하였다.

그림 3은 현재 스피커가 설치되어 있는 위치에 대한 각각의 주파수 응답 함수를 측정한 결과이다. 측정 주파수 영역대 전체를 관찰해 볼 때, 상대적으로 후석 위치가 전석 위치에 설치된 스피커보다 더 평평한(flat) 주파수 응답 특성을 가지는 것을 볼 수가 있다. 이러한 현 위치와 비교하기 위하여, 차실 내의 여러 위치에 대한 실험을 수행하였으며, 그 결과는 그림 4에 나타내었다.

그림 4를 보면, 각 위치마다의 응답 특성이 매우 달라지는 것을 볼 수가 있는데, 그 중에서 후석 가장 구석 자리에 위치시킨 경우의 주파수 응답 특성이 가장 평평한 것으로 판단되었다. 이 위치에 대한 결과를 현 후석 설치 위치와 비교하여 볼 때, 오히려 현 후석 위치에 대한 응답 특성보다도 더 평평한 특성을 가지고 있음을 알 수가 있다.

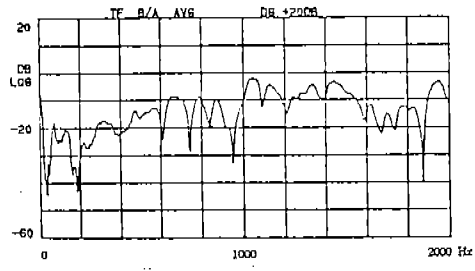
여러 실험 위치 중 가장 좋다고 판단되는 1R 또는 1L중에서, 스피커의 방향을 바꾸어 보았다. 그림 5는 그 결과인데, 스피커의 방향에 따라 응답 특성이 명백하게 달라지는 것을 볼 수가 있으며, 상방향을 가리키게 설치하는 것이 전방을 향하게 설치하는 것보다 더 평평한 특성을 얻을 수 있었다.

앞에서 가정하였던 마이크로폰의 방향에 따른 변화를 살펴 보았는데, 그림 6에 의하면 고주파

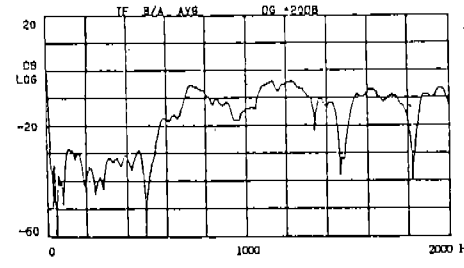


Position	Speaker Direction	Remark
1	Upper	Rear Speaker at Present Position
2	Upper	
3	Upper	
4	Side	
5	Upper	
6	Side	Rear Speaker at Present Position
7	Upper	
8	Upper	

Fig.2 Positions of Car Speakers for Test

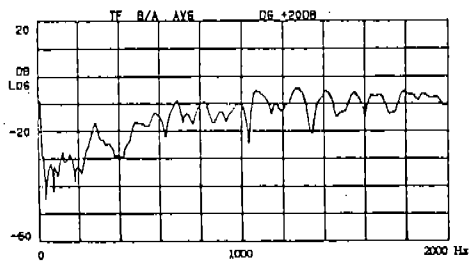


a) Right Side of Rear Seat
(2R Position)

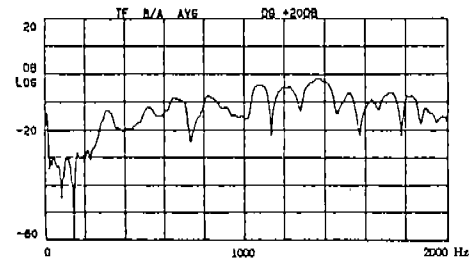


b) Left Side of Front Seat
(6R Position)

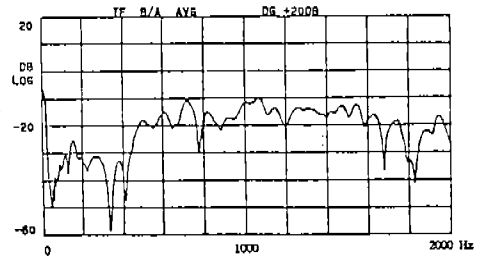
Fig.3 Frequency Spectrum Response at the Present Position Using One Speaker



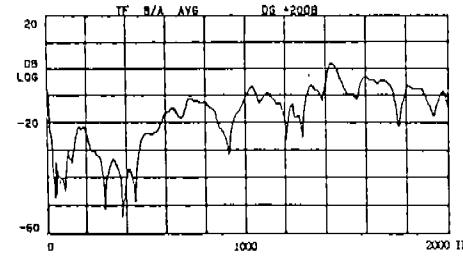
a) 1R Position



b) 1L Position



c) 4R Position



d) 8 Position

Fig.4 Frequency Spectrum Response for Various Positions Using One Speaker

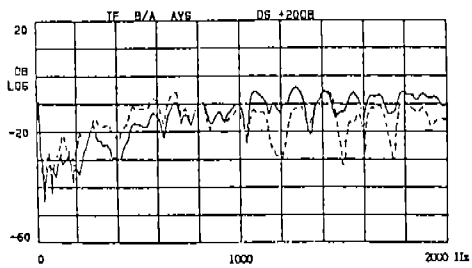


Fig.5 Comparision of Frequency Spectrum Response for Various Speaker Directions (—— Upper Direction, --- Front Direction)

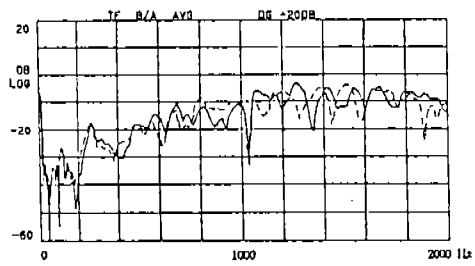


Fig.6 Comparision of Frequency Spectrum Response for Different Microphone Directions (—— Front Direction, --- Upper Direction)

역에서 다소의 차이는 발생하고 있으나, 그렇게 심각한 것은 아니다. 따라서 본 실험에서는 일률적으로 마이크로폰이 전방을 향하도록 하고 측정하였다.

모든 스피커는 그 크기에 따라 어느 주파수 이하의 저주파 영역에 대한 재현 특성이 상대적으로 매우 떨어지게 되는데, 그 차단 주파수를 대략적으로 알아 보기 위하여, 입력 신호와 마이크로폰에 잡히는 신호와의 기여도(coherence)를 측정하여 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서는 1kHz까지만 측정한 결과만 나타 내었다. 하지만, 이 결과에 의하면 대략 200Hz미만의 영역에 대한 데이타는 무시하여야 한다.

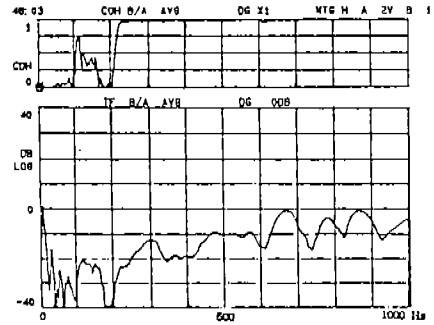


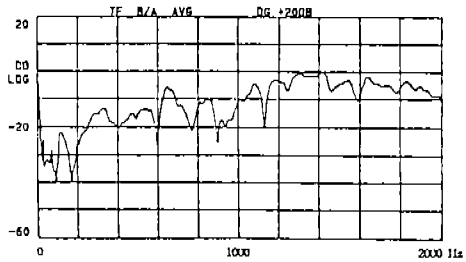
Fig.7 Speaker Performance Test Using White Noise

2.3 2개의 스피커를 이용한 실험

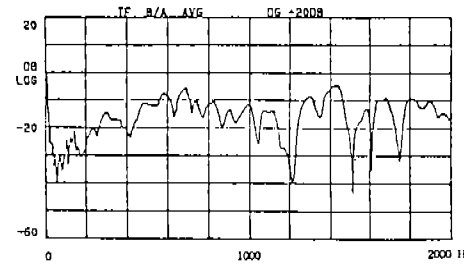
2.2에서 비교하였던 여러 위치를 2개씩 조합하여 동시에 신호를 내보내고 측정한 주파수 응답함수를 비교하여 그림 8에 나타내었다. 현 후석 위치에 있는 2개의 스피커에 대한 조합과 다른 여러 위치에 대한 조합을 비교하였는데, 가장 구석 자리에 위치시킨 스피커의 조합이 현 위치의 조합보다 더 평평한 결과를 보였다. 주파수 응답 특성이 가장 좋은 두 지점의 조합이 가장 평평한 응답 특성을 가지는 것은 쉽게 예상할 수 있는 일이며, 그러므로 먼저 각 위치에 대한 응답특성을 구하는 것이 의미가 있음을 알 수가 있다.

2.4 4개의 스피커를 이용한 실험

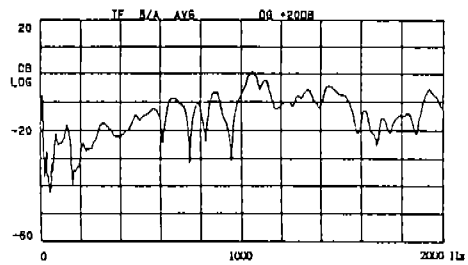
2.2에서 가장 좋다고 판단된 후석 가장 구석 자리(위치 1R, 1L)에 1쌍의 스피커를 고정시키고, 나머지 전석에 위치하는 1쌍의 스피커의 위치를 임의로 바꾸어 가며, 주파수 응답 함수를 측정하였으며 그 중, 전석 스피커가 현 위치에 있는 것에 대한 결과가 가장 좋았다. 전석의 스피커 두 개는 현 위치에 고정을 시키고 후석의 스피커를 후석 현 위치와 후석 1의 위치로 변화시키면서 실험한 결과가 그림 9에 비교 되어져 있다. 예측 할 수 있었던 대로 후석의 스피커가 후석 1의 위치에 있는 경우가 응답 특성이 좋음



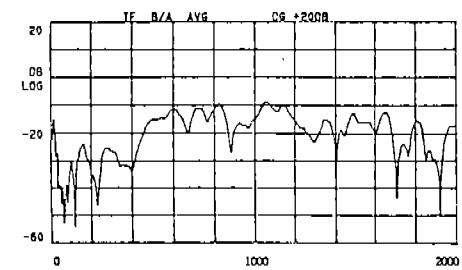
a) 1L, 1R Position(Upper Direction)



b) 1L, 1R Position(Front Direction)

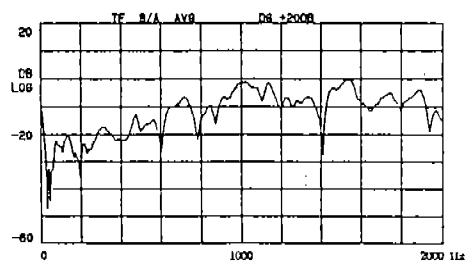


c) 2L, 2R Position(Present Position)

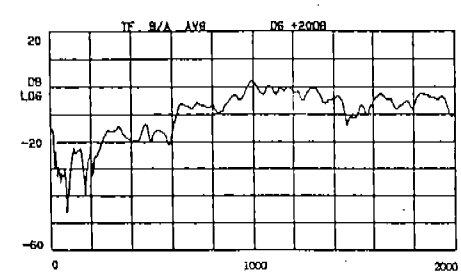


d) 4L, 4R Position(Side Direction)

Fig.8 Frequency Spectrum Response for Various Speaker Positions Using Two Speakers



a) Present Position of Front/Rear Seat



b) Rear 1 & Front 6 Positions(Present Position)

Fig.9 Frequency Spectrum Response Using Four Speakers

을 알 수 있다. 또한 그림 8과 9의 결과를 비교하여 보면, 스피커의 갯수 증가가 더 좋은 응답 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

3. 주관적인 평가

앞에서 제시하였던 평평한 주파수 응답 함수를 주관적으로 더 좋게 느끼는지를 평가하기 위하여 실험을 실시하였다. 스피커의 수는 2개로 하여

후석 위치에 대해서 변화를 주었는데, 그 위치는 a) 가장 구석 자리(위치 1), b) 현 설치 위치(위치 2), c) 가운데 위치(위치 3)의 세 가지로 하였다. 피험자는 운전석에 앉아 있고, 후석 스피커의 위치를 불균일(random)하게 바꿔 가면서 카시오페이아(cassiopeia)의 연주를 약 15초 가량 반복하여 들려준 후 좋은 순서대로 가려내도록 하였으며, 물론 청취자가 스피커의 위치가 어디 인지는 알 수 없도록 하였다.

실험 결과에 대하여 도표와 그래프로 그림 10에 나타내었다. 총 10평의 청취자에 대하여 수행을 하였는데, 그 중 7명은 가장 구석 자리의 배열이 제일 좋다고 대답했고, 3명은 현 위치가 더 좋다고 대답하였으며, 가운데 위치시킨 스피커의 배열은 10명 중 8명이 가장 나쁘다고 대답하였다. 세 위치가 동등하다고 가정했을 때, 가장 구석 자리가 좋다고 대답할 확률은 1/3이라고 보고 이의 신뢰 구간을 측정하였다. n=10이므로 적은 표본에 해당하며, 이에 따라 t분포(t-distribution)에 의거하여 계산하면, 99%의 신뢰구간은 $10/3 \pm 3.364$로서 상한은 6.697이 된다. 그러므로 7번의 발생은 99%의 신뢰 구간에 들지 않으며, 따라서 흔하지 않은 일이 발생한 것이라고 볼 수 있고, 이것은 위의 평평한 주파수 응답이 보다 바람직하다는 가정을 지지하는 결과이다.

성능 / 위치	좋음	보통	나쁨
Position 1	7	3	0
Position 2	3	5	2
Center	0	2	8

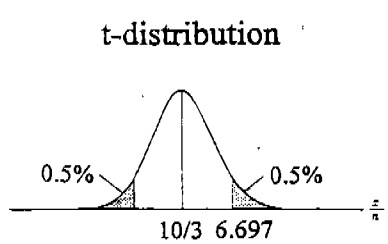


Fig.10 Subjective Test for Three Different Positions of Speaker

4. 오디오 시스템에 대한 평가

지금까지 음원에 대한 수음 점의 왜곡이 적은 스피커의 위치가 좋은 위치라는 가정 하에 가장 좋은 위치를 찾는 방법을 보여 주었다. 또한 이를 증명하기 위하여 주관적인 평가를 실시하였다.

수음 점에서 음의 왜곡이 적은 스피커의 위치가 좋다는 결론을 얻었으므로, 이를 오디오 시스템 자체에 대한 평가에도 바로 이용할 수 있다. 즉, 스피커의 위치를 고정시키고 오디오 시스템 자체를 바꾸면서 실험을 함으로써, 오디오 자체에 대한 평가가 가능하다. 물론 주어진 오디오에 DSP를 장착하여 신호의 위상을 조절함으로써, 수음 점에서 원하는 응답 특성을 구할 수 있다. 하지만 여기서는 전파 수신 기능 및 오디오 자체의 기능이 차실 내 음향 모드와 좋은 일치를 보이는가를 알아 보기 위하여 위에서 제시한 방법을 이용하였다.

그림 11은 오디오 시스템 자체에 대한 평가를 위한 실험 장치의 모식도이다. 앰프 자체의 특성뿐만 아니라, 안테나의 수신 기능에 따라서도 오디오의 음향 특성이 달라지므로, 안테나를 통한 신호를 이용하여 오디오 시스템 자체에 대해 평가를 하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

그림 12는 4개의 스피커를 현 위치(2R, 2L,

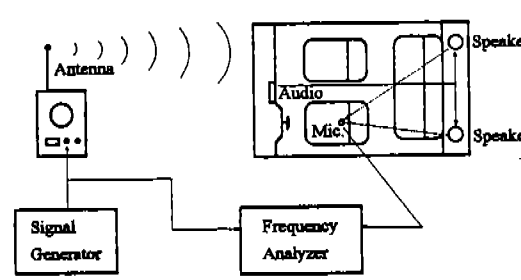
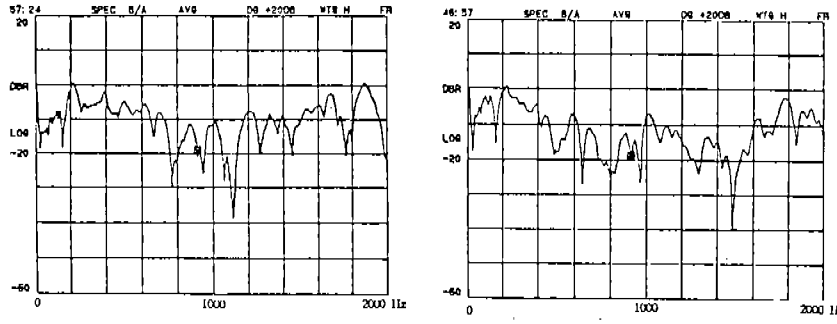


Fig.11 Apparatus for the Evaluation of the Car Audio System



a) A Type Audio b) B Type Audio

Fig.12 Evaluation for Two Different Types of Audio System

6R, 6L)에 두고, 두 종류의 오디오 시스템에 대한 성능 실험을 같은 조건하에서 안테나를 통하여 수행하였는데, 그림 13에서 볼 수 있듯이 A 모델이 B모델보다 우수함을 알 수 있다.

5. 결 론

차실에 설치되는 오디오 시스템의 성능을 높이기 위하여, 스피커를 여러 위치에 놓고 그 각각의 경우에 대한 주파수 응답 함수를 측정하였으며, 위치마다의 차이가 큰 것을 확인하였고 스피커의 수가 증가할수록 주파수 응답이 평평해 짐을 확인하였다. 위에서 구한 주파수 응답 함수가 관심 주파수 영역에서 평평하게 나오는 것이 바람직하다는 가정을 세우고, 이를 입증하기 위하여 주관적 평가를 실시하였는데, 위 가정을 지지하는 평가 결과를 얻었으며, 이를 바탕으로 오디오 시스템 자체에 대한 평가도 실시하였다. 스피커의 위치 뿐만 아니라 방향에 따라서도 수음 점에서 음의 왜곡 정도 차가 심하므로 스피커의 최적 각도를 찾는 작업도 수행되어져야 한다.

차량 설계의 변경이 용이하지 않음을 고려하여 볼 때, 위와 같은 고려는 실차가 제작된 후에 수행되기 보다는 차량 개발 단계에서 해석적인 방법에 의하여 수행되어야 하며, 이와 더불어서 좀 더 정확하고 객관적인 평가 지수의 도입이나, 주관적인 평가를 세부적으로 수행하는 작업도 요구된다 하겠다.

참 고 문 헌

1. Hayakawa, F., Morihiro Y., Shimotani, M. and Hibino, M., "Digital signal processing system to improve the sound quality of a car cabin", SAE 890258
2. Jamnia, M. A. and Rajakumar, C., "An acoustic design optimization technique for automobile audio systems", SAE 890115
3. Hibino, M., Hayakawa, F. and Shima, K., "Subjective evaluation and acoustic measurement of sound quality for ca radio systems", SAE 850161
4. Ishikawa, S., Hasegawa, M., Atoji, N. and Araki, M., "A method of sound-field simulation for automobile passenger compartments", SAE 840085
5. 이장명, 권오상 "자동차에서의 Speaker 위치 결정을 위한 실험", 한국 자동차공학회 춘계학술 대회 논문집, 1994