

스피커 시스템의 성능 평가용 소프트웨어 패키지의 개발

A Software Package Development for Loudspeaker Performance Evaluation

최영하*, 명형국*, 성평모*

(Yeongha Choi*, Hyung Gook Myung*, Koengmo Sung*)

요약

스피커 시스템의 음질을 객관적이면서도 정확하게 평가할 수 있는 방안을 제시한다. 무향실에서 측정된 주파수 특성에 근거하여 사람이 들었을 때의 여러가지 느낌을 예측해 내는 방법을 제안하고, 이러한 절차를 통합적으로 처리할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어를 세 종류의 오디오 스피커에 대하여 적용한 결과, 사람의 시청평가에 의한 결과와 매우 유사한 평가치를 나타내었다.

ABSTRACT

Some investigations have been made to evaluate the sound quality of a loudspeaker system, objectively and accurately. Also, an algorithm is proposed to predict the various subjective values regarding loudspeaker performance based on the frequency response measured in anechoic chamber. A PC-based software that processes the proposed algorithm has also been developed. To verify the validity of the developed software, three loudspeakers has been evaluated using it and the evaluation results have been compared with the results of the listening test. The comparison between the two showed a good similarity.

I. 서론

오디오 시스템을 구성하는 여러 요소 중, 그 전체적인 성능에 가장 큰 영향을 미치는 것이 최종단인 스피커 시스템이라는 것은 주지의 사실이다[1]. 따라서, 얼마나 성능좋은 스피커 시스템을 만들 수 있느냐 하는 것이 얼마나 성능좋은 오디오 시스템을 만들 수 있느냐의 관건이 되고, 그에 따라 스피커 시스템의 성능을 객관적이고 능률적으로 평가할 수 있는 방안의 모색이 절실히 요구된다.

스피커 시스템의 성능을 평가하는 방법은 크게 두 가지로 구분된다[2][5]. 그 첫째는 객관적이고 공학적인 방법으로, 주로 무향실에서의 주파수 특성 측정을 비롯한 전기적인 요소들의 측정에 근거한다. 두번째 방법은 사람의 주관에 의지하는 방법으로서, 시청실에서 일정한 평가집단에게 소리를 들려주고 각자의 주관적인 판단을

설문함으로써 이루어 지는 것이 보통이다.

일반적으로 후자의 방법에 의한 평가가 최종적인 선호도에 좀더 가깝다고 말할 수 있으나, 인간의 주관에 의지하는만큼 재연성이 없으며 또한 충분히 신뢰할 만한 통계를 얻기 위해서는 많은 시청자를 모아야 하므로 시간과 비용면에서 불리한 측면이 강하다. 그래서, 객관적인 측정 자료로부터 주관적인 평가치를 예측해 내고자 하는 시도가 있었으나[2][3][4][5] 측정자료의 해석에 있어서 많은 경험과 노우하우가 필요하였고, 계산 과정도 복잡하여 손쉽게 접근할 수 있는 방법은 못 되었다.

따라서, 본 논문에서는 스피커 시스템의 무향실 측정 자료로부터 주관적 평가치를 별다른 전문지식 없이도 손쉽게 얻어낼 수 있는 소프트웨어 패키지를 개발한다. LPRS(Loudspeaker Performance Rating System)라고 명명된 이 소프트웨어는 무향실에서 측정된 스피커 시스템의 주파수 특성을 입력으로 받아들여 주관적 평가치를 예측해 낸다.

LPRS는 IBM PC 호환기종이면 어느 PC에서나 무리

* 서울대학교 전자공학과
Department of Electronics Engineering, Seoul National University
접수일자: 1995년 11월 29일

음이 크지만, DOS 용에 잘 수행되도록 하였다. 특별한 전도 장치의 없어도 누구나 쉽게 다음을 알기 위해 필요한 과정을 풀터운 메뉴 방식으로 처리하였으며, 이 프로그램을 사용한 작업을 지원하여 최대한 손쉬운 사용자 인터페이스로 구현하였다.

II. LPRS의 구성

1. 평가항목

LPRS는 오디오 스피커와 텔레비전 스피커 등 두가지 유형의 스피커 시스템에 대한 평가분 수행한다. 각각의 특성에 따라 서로 다른 평가항목을 선정하는데, 오디오 스피커의 경우에는 저음감, 중음감, 고음감, 전체적 균형, 선명도, 선호도 등 6가지 항목이며, 텔레비전 스피커의 경우에는 저음감, 중음감, 고음감, 전체적 균형, 선명도, 남자음성, 여자음성, 선호도 등 8가지 항목에 대하여 평가한다. 각 항목에 대한 해설은 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1. LPRS의 평가항목 및 그 해설

평가 항목	해 설
저음감	저음부의 탁력을 비롯한 저음부의 음질
중음감	중음부의 음질
고음감	고음부의 음질
전체적균형	저음, 중음, 고음 전체영역에 걸쳐 균형잡힌 음이 재생되는 특성
선명도	음이 맑고 선명하게 느껴지는 특성
남자음성	남자음성의 재생특성
여자음성	여자음성의 재생특성
선호도	스피커의 전체적인 선호도

입력 데이터를 받아서부터 이상과 같은 평가항목에 대하여 평가치를 산출하여 그 결과를 출력할 때까지의 과정을 그림 1에 나타내었다.

2. 입력데이터의 형식

LPRS 는 기본적으로 B&K 2012 audio analyzer 에서 측정한 주파수 특성의 데이터를 사용하며, 2012에서 제공하는 "X&Y ASCII" 형식의 파일을 입력으로 받아들인다. 그러나, 2012에서 측정한 데이터가 아니라도 주파수 대역별로 진폭특성을 나타낸 ASCII 파일이면 어느 것이든 받아들일 수 있다.

입력 데이터는 스피커 시스템의 정면 측상, 측면 15° 및 측면 30°에서 각각 측정된 세가지 측정 데이터를 요구하며, 각 데이터에 대하여 한개 이상의 파일을 줄 수 있다. 객관적 측정이라고 해도 각각의 측정에 대하여 여러가지 원인에 의하여 편차가 생길 수 있으므로 측정용 여러번 행하여 여러개의 데이터를 입력시킬 경우에 보다 신뢰성 있는 결과를 기대할 수 있다.

3. 전처리

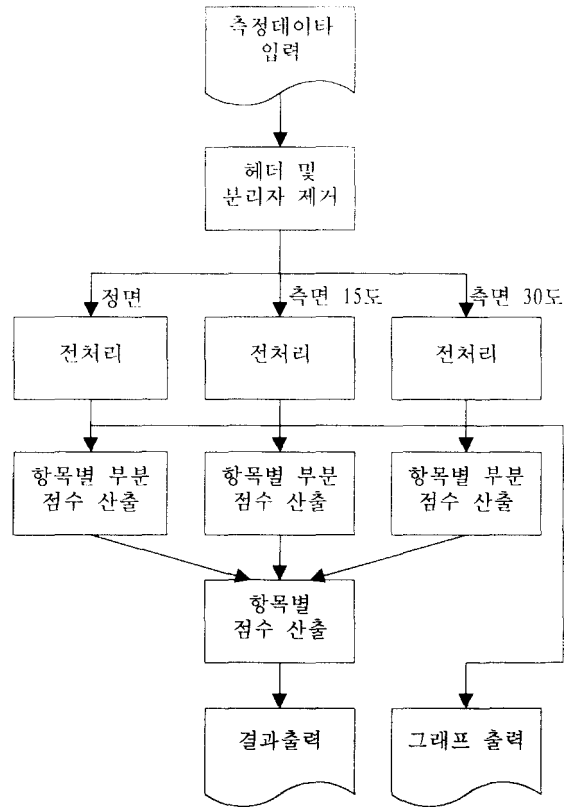


그림 1. LPRS의 내부처리 과정 개요도

데이터의 입력이 완료되면 평가치 산출에 앞서서 전처리 과정을 거치게 된다. 전처리 과정의 첫번째는 파일 내부의 헤더와 분리자를 제거하여 처리하기 쉬운 형태로 바꾸고, 한가지 측정각도의 주파수 특성에 대하여 여러개의 파일이 입력된 경우에는 각 측정치의 평균값을 산출하는 작업이다. 평균값을 구할 때에는 입력 수치를 에너지 레벨로 변환하여 산출평균을 취한다.

전처리의 두번째 과정은 간략화(smoothing)이다. 일반적으로 스피커 시스템의 주파수 특성은 미세한 골과 피크가 많아 전반적인 특징과 경향을 판단하는 데에 어려움이 있다. 그러나, 인간의 귀가 비교적 폭이 좁은 피크나 골에 대해서는 별 영향을 받지 않으므로[1] 미세한 골과 피크를 제거하고 전체적인 특징을 찾아내기 쉽도록 하기 위하여 간략화 과정을 거치는 것이다. 그 과정을 보다 상세히 서술하면 다음과 같다.

앞의 과정에서 얻어진 주파수 특성에서 인간 귀의 임계 주파수 대역(critical bandwidth)에 따라 band₀에서 band₂₄까지 25개의 대역을 설정하여

$$b_i = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{H_i - L_i} \int_{L_i}^{H_i} 10^{\frac{N(f)}{10}} df \right\}$$

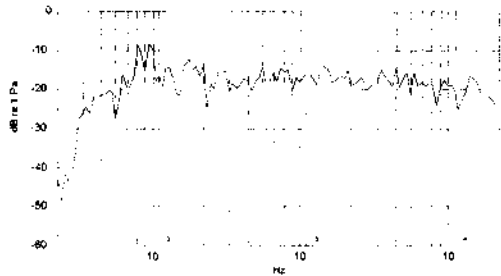
where $i = 0, 1, \dots, 24$ (1)

와 같이 각 대역 내의 측정치를 평균하여 하나의 대표값

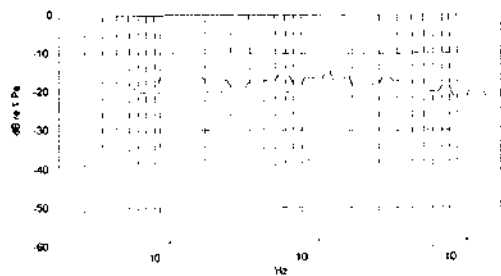
을 말한다. 이 과정을 작치고 나면 스피커 시스템의 주파수 특성이 b_k 에서 b_n 까지 25개의 주파수로 나타나게 된다. LPRS에서 채택한 25개의 임계주파수 대역을 표 2에 나타내었으며[8], 간략화 전과 간략화 후에 대한 주파수 특성의 예는 그림 2에 나타내었다.

표 2. LPRS에서 채택한 25개의 임계주파수 대역

밴드	주파수대역	밴드	주파수대역
band 0	0~100 Hz	band 13	2000~2320 Hz
band 1	100~200 Hz	band 14	2320~2700 Hz
band 2	200~300 Hz	band 15	2700~3150 Hz
band 3	300~400 Hz	band 16	3150~3700 Hz
band 4	400~510 Hz	band 17	3700~4400 Hz
band 5	510~630 Hz	band 18	4400~5300 Hz
band 6	630~770 Hz	band 19	5300~6400 Hz
band 7	770~920 Hz	band 20	6400~7700 Hz
band 8	920~1080 Hz	band 21	7700~9500 Hz
band 9	1080~1270 Hz	band 22	9500~12000 Hz
band 10	1270~1480 Hz	band 23	12000~15500 Hz
band 11	1480~1720 Hz	band 24	15500~20000 Hz
band 12	1720~2000 Hz		



(a) 간략화 전의 주파수 특성 그래프



(b) 간략화 후의 주파수 특성 그래프

그림 2. 간략화 과정의 예

4. 평가치 산출

스피커 시스템을 통해 재생되는 신호는 주로 음악과 사람 목소리인데, 이들의 주파수 성분은 크게 기본음 주파수 대역과 배음 주파수 대역으로 구분할 수 있다. 예를 들어, 바이얼린 소리의 경우 스펙트럼을 보면 넓은 주파수 대역에 걸쳐 나타나지만, 기본음은 악보상의 음높이와 일

치한다. 따라서 바이얼린의 기본음이 가질 수 있는 주파수 대역인, 예를 들면은 G3(196Hz)에서 C7(2093Hz) 정도이다. 이 이상의 주파수 범위는 배음들이 이루고 있을 것으로 보인다.

이와 같이 각 항목에 대해서 각각의 대역과, 그 대역 수 대역의 특성과 배음에 해당하는 주파수 대역의 특성을 비교하여 그 차를 계속 누적시킴으로써 누적값을 얻게 되는데, 이 누적값이 크다는 것은 그만큼 그 항목에 대한 선형 왜곡이 크다는 것이 된다. 따라서, 이 누적값을 비교함으로써 스피커 시스템의 성능을 평가할 수 있게 된다[6]. LPRS에서 채택한 각 항목의 기본음 대역과 그에 해당하는 임계주파수 대역을 표 3에 보였다.

표 3. 각 항목의 기본음 대역과 임계주파수 대역

항목	기본음 대역	임계주파수 대역
저음감	C0(16.35Hz)~G3(196.0Hz)	band0~band1
중음감	G3(196.0Hz)~E5(659.3Hz)	band2~band5
고음감	E5(659.3Hz)~C7(2093.0Hz)	band6~band12
전체적 균형	C0(16.35Hz)~C7(2093.0Hz)	band0~band12
선명도	C0(16.35Hz)~C7(2093.0Hz)	band0~band12
남자음성	80Hz~200Hz	band0~band1
여자음성	160Hz~400Hz	band1~band3

한편, 인간의 귀는 주파수 대역에 따라서 상대적으로 민감한 부분과 그렇지 못한 부분이 있으므로 각 주파수 대역에 대하여 등청감 곡선[7]에서 유추한 가중치를 주었다. 보통 스피커 시스템을 통해 음악을 들을 경우 소리의 크기가 약 80dB인데, 등청감 곡선상에서 80phon 곡선을 보면 대략 300Hz와 600Hz 사이에서, 그리고 2700Hz와 5300Hz 사이에서 민감한 것을 알 수 있다. 이 주파수 대역은 각각 임계주파수 대역의 band3에서 band5 사이 및 band15에서 band18 사이에 해당함을 표 2에서 알 수 있다. 그리고, 2700Hz와 5300Hz 사이의 대역이 300Hz와 600Hz 사이보다 좀 더 민감하므로 전자의 대역에는 2배의 가중치를, 후자의 대역에는 $\sqrt{2}$ 배의 가중치를 준다.

이와 같이 각 항목별 평가치를 산출하는 과정을 식 2에서 식 8에 걸쳐 각각 표시하였다. 식 9는 신호도를 산출하는 수식으로, 시정평가에서 나타난 간략화 기준으로 LMS 방법을 사용하여 각 계수를 구한 것이다.

$$I_{bass} = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k=0}^{12} |b_k - b_n| + \sqrt{2} \sum_{n=13}^{24} |b_k - b_n| + \sum_{n=0}^{11} |b_k - b_n| + 2 \sum_{n=15}^{18} |b_k - b_n| + \sum_{n=19}^{24} |b_k - b_n| \right\} \quad (2)$$

$$I_{mid} = \frac{1}{4} \left\{ \sum_{k=0}^{11} |b_k - b_n| + 2 \sum_{n=12}^{24} |b_k - b_n| + \sum_{n=0}^{11} |b_k - b_n| \right\} \quad (3)$$

$$I_{0.15} = \frac{1}{7} \left\{ \sum_{k=1}^{15} |b_k - b_n| + 2 \sum_{n=1}^{15} |b_k - b_n| + \sum_{k=1}^{15} |b_k - b_n| \right\} \quad (4)$$

$$I_{balance} = \frac{1}{13} \left\{ \sum_{k=1}^{13} |b_k - b_n| + \sqrt{2} \sum_{k=1}^{13} |b_k - b_n| + \sum_{n=1}^{13} |b_k - b_n| + 2 \sum_{n=1}^{13} |b_k - b_n| + \sum_{n=1}^{13} |b_k - b_n| \right\} \quad (5)$$

$$I_{clearness} = \frac{1}{13} \left\{ \sum_{k=1}^{13} |b_k - b_n| + 2 \sum_{k=15}^{13} |b_k - b_n| + \sum_{n=15}^{13} |b_k - b_n| \right\} \quad (6)$$

$$I_{male} = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k=1}^{15} |b_k - b_n| + \sqrt{2} \sum_{k=1}^{15} |b_k - b_n| + \sum_{n=5}^{11} |b_k - b_n| + 2 \sum_{n=15}^{14} |b_k - b_n| + \sum_{n=19}^{21} |b_k - b_n| \right\} \quad (7)$$

$$I_{female} = \frac{1}{3} \left\{ \sqrt{2} \sum_{k=1}^{15} |b_k - b_n| + \sum_{n=6}^{14} |b_k - b_n| + 2 \sum_{n=15}^{16} |b_k - b_n| + \sum_{n=19}^{21} |b_k - b_n| \right\} \quad (8)$$

$$I_{overall} = 0.274 \times I_{mid} + 0.314 \times I_{treble} + 0.126 \times I_{balance} + 0.286 \times I_{clearness} \quad (9)$$

이상의 과정을 스피커 시스템의 정면측상, 측면 15° 및 30°에서 측정된 각각의 주파수 특성에 대하여 행하게 된다. 다음으로, 최종적인 평가치를 식 10에서와 같이 구하게 되는데, 이는 일반적인 스테레오 청취의 경우 청취자가 양 스피커의 가운데, 즉 각 스피커의 정면 측상에서 15° 내지 30° 정도 벗어난 곳에 위치하기 때문이다.

$$I_{total} = 0.2 \times I_0 + 0.4 \times I_{15} + 0.4 \times I_{30} \quad (10)$$

여기에서 I_0 은 정면, I_{15} 은 측면 15°, I_{30} 은 측면 30°에서의 평가치이다.

마지막으로, 구해진 평가치를 100점 만점의 일반적인 점수로 환산한다. 그 과정은 식 11과 같다.

$$S = 100 - \alpha I_{total} \quad (11)$$

여기에서 α 는 비례상수로, LPRS에서는 0.4를 사용하였다.

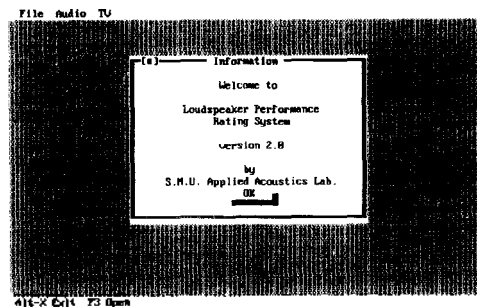
5. 출력데이터의 형식

LPRS에서 제공하는 출력은 크게 두 가지 형태가 있다. 그 첫째는 처리의 중간과정을 그래프로 보여 주는 것이고, 두번째는 최종적인 평가결과를 각 항목별 평가치로 화면에 보여주는 것이다. 이러한 출력은 화면에 나타날 뿐만 아니라 다른 처리를 위하여 파일에 저장할 수도 있다.

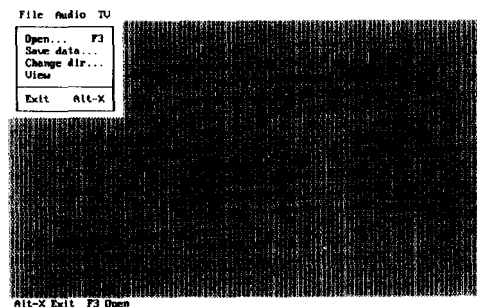
중간과정의 그래프 출력은 정면 측상, 측면 15° 및 30°에 대한 각각의 입력데이터를 눈으로 확인할 수 있게 그래프로 출력해 줌은 물론, 간략화 과정을 거친 후의 주파수 특성과 여러개의 입력파일이 설정되었을 때 그 평균치를 구한 결과도 그래프로 나타낼 수 있다.

6. 소프트웨어 구현

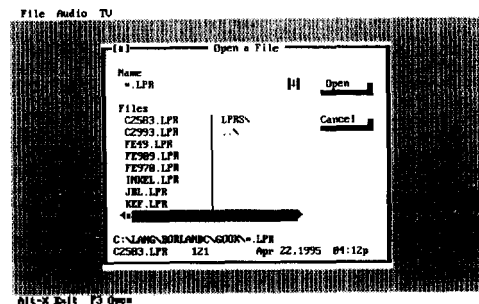
이상에서 제안된 사항에 대하여 소프트웨어를 구현하



(a) LPRS의 초기화면



(b) File 메뉴 화면의 예

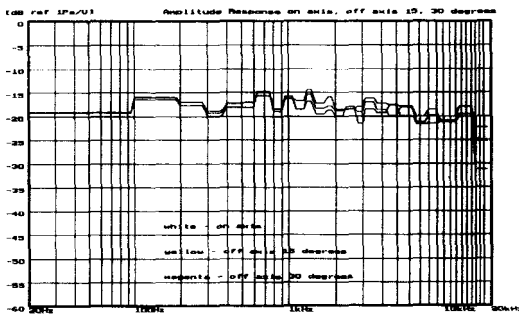


(c) File 메뉴 중 Open 메뉴 화면의 예

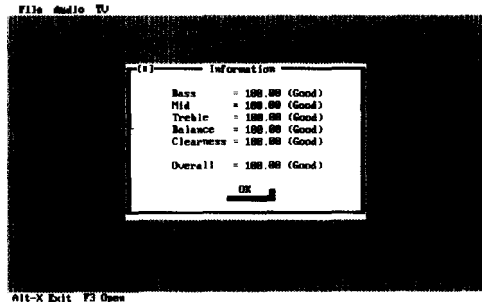
그림 3. LPRS의 메뉴 화면의 예

였다. 사용한 언어는 C++ 이며, 컴파일러는 Borland사의 Borland C++ compiler version 3.1을 사용하였다. 컴파일러와 함께 제공되는 Turbo Vision 유틸리티를 실행하여 모든 단계를 종단된 메뉴로 구성하였으며, 메뉴스텝 사용은 논점, 2)에 소개 하였다.

LPRS 프로그램이 기동된 초기화면과 File 메뉴 화면, File 메뉴 중 Open 메뉴가 선택된 화면의 예를 그림 3에 보였으며, 그래프 출력 및 최종 평가치가 출력된 화면의 예를 그림 4에 보였다.



(a) 그래프 출력 화면의 예



(b) 최종 평가치 출력 화면의 예

그림 4. LPRS의 출력 화면의 예

III. 실험결과

1. 시청평가

본 연구에서 개발한 LPRS의 결과에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 일개의 오디오 스피커를 대상으로 시청평가를 실시하였다. 검증 시청평가는 연구 초기에 LPRS 내의 계수값들을 산출해 내기 위하여 시행한 시청평가와는 별도로, LPRS를 완성한 후에 대상 스피커 시스템도 바꾸어 이루어 졌다. 검증 시청평가에는 고급형, 중급형, 보급형 등 세가지 종류의 오디오 스피커를 사용하였는데, 이들의 시장가격은 각각 300만원대, 100만원대, 30만원대 정도이다.

검증 시청평가는 서울대학교 뉴미디어 통신공동연구소 내 시청실에서 수행하였으며, 20대 남녀 29명을 대상으로 이루어 졌다. 시청평가의 평가항목은 표 1에 나타난 LPRS의 평가항목과 동일하게 선정하였으며, 이중 남자 음성과 여자음성은 텔레비전 스피커에만 적용되는 항목이므로 검증 시청평가에서는 제외하였다.

2. LPRS 평가치와 시청평가 결과의 비교

검증 시청평가를 실시한 후 LPRS에서 구한 평가치를 실제로 실시한 시청평가의 결과와 비교하여 보았다. 각 항목별로 비교하기 위하여 시청평가의 점수와 LPRS에 의한 평가치를 0에서 1 사이의 값으로 정규화하였다. 항목별 비교 결과를 그림 5에 나타내었다.

전체적으로 볼 때, LPRS의 평가치가 실제 시청평가에서 나타난 결과와 매우 유사한 것을 볼 수 있으며, 시청평가에 의한 주관적 평가에 상당히 근접한 평가를 내린다는 것을 알 수 있다.

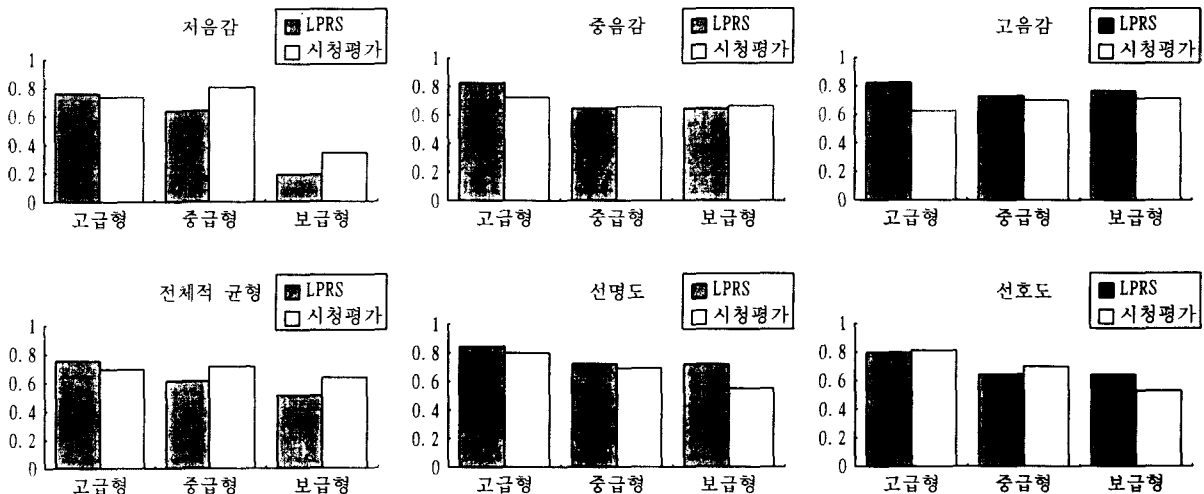


그림 5. LPRS 평가치와 시청평가 결과의 비교

IV. 결 론

스피커 시스템의 성능평가를 보다 용이하게 하기위하여 무향실에서 측정된 데이터만으로 인간의 주관적 느낌에 의한 평가치를 예측해 낼 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. LPRS라 이름붙인 이 소프트웨어에 의해 예측된 평가치와 실제로 시청테스트를 거쳐 얻은 주관적 평가치는 서로 매우 유사한 결과를 보였다.

본 연구에서 개발한 소프트웨어에 의하여, 스피커 시스템의 주파수 특성을 측정하기만 하면 비록 전문가가 아니라 할지라도 용이하게 측정자료를 해석하고 그 스피커 시스템의 특성과 강단점을 파악할 수 있으므로, 스피커 시스템의 연구 개발단계나 품질관리 수행에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Martin Colloms, *High Performance Loudspeakers(3rd ed.)*, John Wiley & Sons, 1985.
2. Henrk Staffeldt, "Correlation Between Subjective and Objective Data for Quality Loudspeakers", *J. Audio Eng. Soc.*, Vol.22, No.6, pp.402-415, 1974.
3. Floyd E. Toole, "Loudspeaker Measurements and Their Relationship to Listener Preferences : Part 1", *J. Audio Eng. Soc.*, Vol.34, No.4, pp.227-235, 1986.
4. Floyd E. Toole, "Loudspeaker Measurements and Their Relationship to Listener Preferences : Part 2", *J. Audio Eng. Soc.*, Vol.34, No.5, pp.323-348, 1986.
5. W. Klippel, "Multidimensional Relationship between Subjective Listening Impression and Objective Loudspeaker Parameters", *Acustica*, Vol.70, pp.45-54, 1990.
6. Hyung Gook Myung, Koeng-Mo Sung, "Loudspeaker Performance Evaluation Algorithm using Frequency Response Characteristic", *J. of the Acoustical Soc. of Korea*, Vol.14, No.2E, pp.65-72, 1995.
7. Thomas D. Rossing, *The Science of Sound*, Addison Wesley, 1990, p.92.
8. E. Zwicker, *Psychoakustik*, Springer-Verlag, 1982.

▲최 영 하(Yeongha Choi)

1965년 7월 3일생

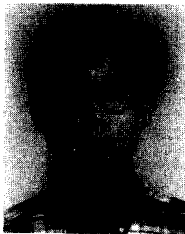


1988년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업

1990년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 3월~현재 : 서울대학교 대학원 전자공학과 박사과정

▲명 형 국(Hyung Gook Myung) 1972년 2월 11일생



1994년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업

1994년 3월~현재 : 서울대학교 대학원 전자공학과 석사과정

▲성 평 모(Koengmo Sung)

한국음향학회 부회장
서울대학교 전자공학과 교수