한국음향학회지 제20권 제8호 pp. 31~37 (2001)

저음재생용 소형 스피커의 개발에 관한 연구

A Study on the Small Size Loudspeaker for Hi-Fi Low Frequency Sound Reproduction

남 경 준*, 이 채 봉**, 김 천 덕***
(Gyeong-Jun Nam*, Chai-Bong Lee**, Chun-Duck Kim***)

*에스텍(주) 선임연구원, **동서대학교 정보시스템공학부, ***부경대학교 전기공학과
(접수일자: 2001년 8월 16일; 채택일자: 2001년 9월 19일)

본 연구는 최근 멀티미디어 기기의 소형화 추세에 따라 음향재생 장치인 스피커 시스템을 멀티미디어 시스템의 규격에 적합하게 구성하기 위해 저음재생용 소형스피커의 개발을 목표로 하였다. 연구 방법으로는 등가회로 해석법을 활용하여 기본 공진주파수를 구하고 이에 대응하는 스피커 부품들의 구조적인 변경 및 재질의 변경 등 다수 회의 반복적인 설계, 제작에 의하여 구현되었다. 그 결과로서 저음재생 특성이 우수한 80 mm 소형 동전형 스피커가 개발되었다. 제작된 저음재생용 소형 스피커의 무향실 내에서 성능 측정 결과, 수치 시뮬레이션인 등가회로법에 의한 기본 공진주파수는 81 Hz인 반면 설계 제작된 최적 모델의 기본 공진주파수는 79 Hz로 측정되었다. 그리고 스피커의 전방 1 m 거리에서 음향재생 주파수 대역은 80 Hz ~ 15 kHz, 평균 음압레벨은 84±2 dB로 나타났다. 그리고 스피커의 음향특성에 있어서 음질에 가장 중요한 영향을 미치는 고조파 왜율은 기존의 전 대역 80 mm 스피커에서의 제 2차 고조파 왜율 (at 400 Hz)은 0.9%, 제 3차 고조파 왜율 (at 100 Hz)은 6%인 반면 본 개발품에서 제 2차 고조파 왜율 (at 400 Hz)은 0.5%, 제 3차 고조파 왜율 (at 100 Hz)이 1.8%로 크게 개선되었다.

핵심용어: 동전형 스피커, 에지, 댐퍼, 진동판, 저 왜곡
투고분야: 전기음향 분야 (3.1)

Following the recent trends of reducing the size of multimedia devices, we tried for the development of a compact-sized speaker to produce low-frequency sounds efficiently. For this work, equivalent-circuit analysis was used to get fundamental resonant frequency and then the structure of speaker components has been changed appropriately. As a result, an 80mm small-sized speaker was developed. The performance test showed that the resonant frequency of our system is 79 Hz while that of numerical analysis was 81Hz. At a distance of 1m from our speaker, the frequency ranges 80 Hz to 15kHz and the average sound pressure was found to be 84±2 dB. The second (at 400 Hz) and the third (at 100 Hz) high-frequency distortions of our system were 0.5% and 1.8% respectively, which is to be compared with the distortions of 0.9% and 6% in conventional speakers.

Keywords: *Loudspeaker, Edge, Damper, Diaphragm, Lower distortion*
ASK subject classification: *Electro-acoustics (3.1)*

책임저자: 김천덕 (cdkim@dolphin.pknu.ac.kr)
608-739 부산광역시 남구 용당동 산 100번지
부경대학교 전기공학과
(전화: 051-620-1421; 팩스: 051-620-1426)

I. 서 론

멀티미디어 시스템에 부합하는 소형이면서 저음재생 특성이 우수한 고충실도의 스피커 시스템을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 대한 국내외 연구 과정을 살펴보면 관련된 연구는 1992년 일본 마쯔시다 전기에 의한 80 mm 구경의 동전형 스피커를 사용하여 기본 공진주파수를 저역화하는 연구가 시작되어 1997년에 시작품이 발표되었다[1].

각 음향기기 전문회사에서는 Hi-Fi 오디오 시스템을 소형화하여 Mini Component로 사용함에 따라 그 구동원인 스피커 유니트도 소형화하는 것이 필수적으로 되었다[2-5]. 그리고 주파수 특성의 왜곡은 재생음의 투명감이나 깨끗함에 큰 영향을 주며 스피커의 성능을 결정하는 중요한 물리적 특성으로 Hi-Fi 스피커에서의 고조파로 인한 왜율은 평균적인 출력 음압 부근에서 0.8~1.0% 이하로 억제할 필요가 있다[4]. 이런 필요성에 의해 구경 80 mm의 기존의 소형 Full Range형 동전형 스피커가 갖는 기본 공진주파수 130 Hz를 진동판 에지 및 댐퍼의 형상, 자기회로의 구조 등을 변경하고, 새로운 진동판 및 댐퍼의 재료를 선택하여 그것의 지지조건을 변경함으로써 기본 공진주파수를 80 Hz 부근까지 저역화하였다.

본 연구는 구경이 80 mm인 소형의 동전형 스피커를 사용하여 음향재생 주파수 대역의 하한치인 기본 공진주파수를 80 Hz로 저역화하여 소구경이면서 저음재생 성능이 우수한 스피커의 개발을 목표로 하였다. 연구 대상 스피커의 이론적 해석은 동전형 스피커를 사용하여 음향재생 주파수 대역의 하한치인 기본 공진주파수를 구하고 이에 대응한 스피커의 부품 재료 변경 및 구조의 변경을 통해 저음재생용 소형 스피커를 설계·제작하였다.

II. 동전형 스피커의 설계 및 제작

기존의 소구경 스피커의 구조로는 진동판의 에지부와 댐퍼가 동시에 폭을 넓게 할 수 없어 선형성이 유지되면서 동작할 수 없다. 따라서 이와 같은 현상은 신호의 왜곡원인이 되고 있어[6-7] 본 연구에서는 요철의 Roll에 맞게 대칭 에지 (SST: Symmetrical Surround Technology)를 사용하여 Roll부분에 발생하는 공기의 체적배제량의 비대칭성으로 인하여 생기는 왜곡을 제거하면서 대진폭의 진동을 할 수 있도록 SST 에지 형상을 가능한 최적화하는데 중점을 두었다. 그리고 댐퍼부에서는 기존의 소구경 스피커 구조는 치수적 제약에 의해 댐퍼의 직경을 크게 할 수 없으므로 구동시 댐퍼의 스티프네스가 크게 작용하여 대진폭 재생을 하기 어렵다. 따라서 본 연구에서 개선한 댐퍼부분은 4개의 반원통형 지지부로 구성하고 소구경에서도 선형적으로 유연하게 작동함으로써 진동판을 크게 진동시켜 대진폭이 가능하도록 하였다.

자기회로부는 균일한 자속분포가 되도록 자기회로의 플레이트 두께를 넓히고 요크의 센터 폴 (Center Pole)을 플레이트보다 돌출시켜 자속밀도가 일정영역에서 대칭성이 되도록 한다. 그러므로 대진폭에 대해서도 자속밀도가 일정하고 큰 구동력을 얻도록 보이스코일의 권폭을 가능한 확대하고 최적의 진폭을 갖도록 한다. 본 연구에서 목표로 하는 저음재생 소형 스피커의 규격을 표 1과 그림 1에 나타내었다.

스피커의 제작에 앞서 스피커의 전기계, 기계계, 음향계를 구성하는 전체 등가회로에 의한 전기임피던스의 시뮬레이션을 통하여 반복된 제작에 의한 손실을 줄이고

표 1. 설계사양에 의한 저음재생 스피커의 개발목표
Table 1. A development object of a low frequency sound speaker by the design specification.

항목	기존 사양	개발 목표 사양
기본공진주파수	130Hz	80Hz
재생대역	f0~20kHz	f0~10kHz
재생 음압레벨	85 (dB/W/m)	84 (dB/W/m)
임피던스	4Ω	4Ω
최대출력파워	15W	60W
2차 고조파 왜율 (at 400Hz)	0.9%	0.5%
3차 고조파 왜율 (at 100Hz)	6%	2%

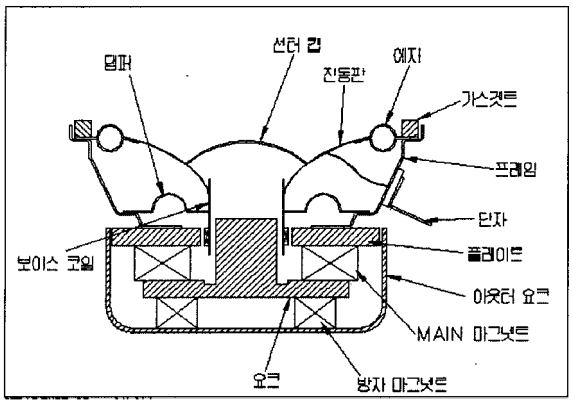
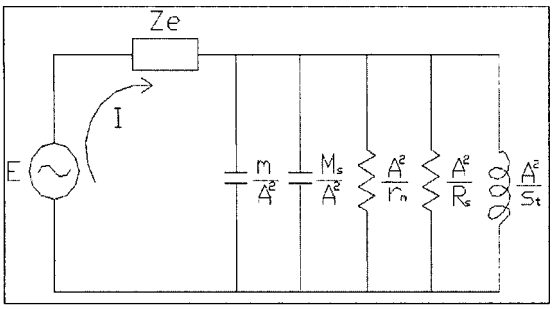


그림 1. 설계사양에 의한 저음재생 스피커의 구조
Fig. 1. The structure of a low frequency sound speaker by the design specification.



E : 출력전압 r_m : 기계저항
Ze : 전기회로의 제동 임피던스 Rs : 방사저항
A : 역계수 Ms : 방사질량
m : 진동계 질량 St : Stiffness

그림 2. 저음재생 동전형 스피커의 전체 등가회로
Fig. 2. Total equivalent circuit of a low frequency sound speaker.

등가회로상의 회로정수에 대한 파라메타 값을 미리 설정함으로써 연구 목표의 스피커 성능에 접근하였다.

기계계와 전기계 그리고 음향계를 결합한 등가회로는 그림 2와 같다. 그림 2에서 진동판이 진동할 때 기계저항과 방사저항은 각각 r_m과 Rs로 나타내며, 진동계의 전체 저항은 r_m+Rs로 계산할 수 있다. 그리고 진동계의 전체질량은 진동계의 질량 m과 진동계의 방사질량 Ms의 합으로 나타낼 수 있다. 그림 2의 전체 등가회로에서 회로정수를 구하기 위한 각종 파라메타 값은 기존의 스피커 파라메타 값을 기본으로 하여 최적 특성의 전기 임피던스를 구하였다. 반복된 과정에 의해 구한 전기 임피던스의 특성은 다음과 같다.

$$L=3\times10^{-4}(H),\ r_m=0.9182(N\cdot\sec/m),$$
$$R_s=3.579\times10^{-3}(N\cdot\sec/m),A=4.7(Wb/m),$$
$$m=4.219(gr),\ M_s=0.21(gr),\ S_t=1149(N/m),$$
$$C_m=0.870\times10^{-3}(m/N)$$

그림 2의 등가회로에 적용하여 PSpice에 의한 시뮬레이션의 결과는 그림 3과 같은 전기 임피던스 특성곡선이 나타났다. 시뮬레이션에 의한 스피커의 기본 공진주파수

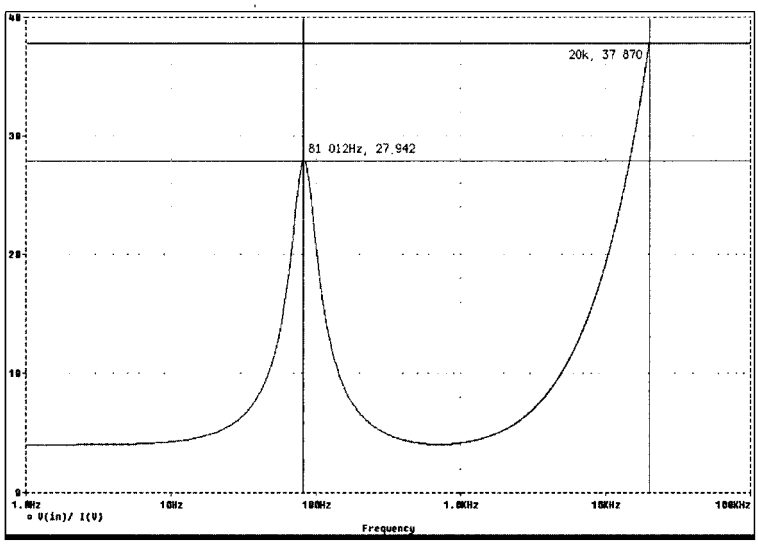


그림 3. 시뮬레이션에 의한 전기임피던스
Fig. 3. Impedance by simulation for a low frequency sound speaker.

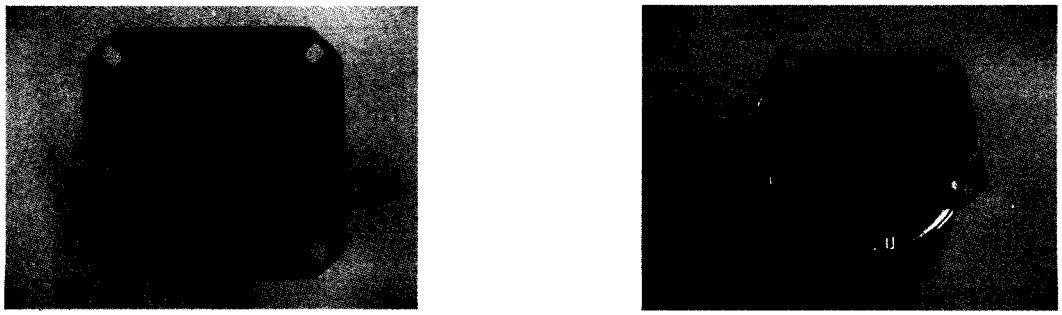


그림 4. 저음 재생 소형 스피커의 사진
Fig. 4. External pictures of a low frequency sound speaker.

표 2. 기존의 소구경 스피커의 규격
Table 2. The norm of conventional small size speaker.

주요 부품	사양	
진동판 시면 중량 (gr)	0.25	
에지 재질	SOX-6mm (foam)	
댐퍼	변위	1.0mm/50gr
	stiffness	490N/m
주 마그넷트 (mm)	ϕ 55 (외경) × ϕ 25 (내경) × 8 (두께)	자속밀도 8,000 Gauss
방자 마그넷트 (mm)	ϕ 45 (외경) × ϕ 22 (내경) × 8 (두께)	
보이스 코일	Impedance (Ω)	4
	내경 (mm)	ϕ 17.0
	도선길이 (m)	2.83
플레이트 두께 (mm)	4	

는 81 Hz이고, 최대 임피던스는 27.942Ω으로 나타났다.

앞에서 기술한 소형스피커의 설계사양과 전기 임피던스 해석 시뮬레이션을 토대로 제작한 사진은 그림 4와 같다. 특징으로서는 첫째, 소구경이면서 저음재생이 잘 되도록 하기 위하여 댐퍼의 형상을 기존의 Corrugation Type에서 Roll Type으로 변경한 것과 둘째, 스피커의 응답특성의 왜율을 감소시키기 위하여 진동판의 에지 형상 및 자기회로의 구조를 기존 스피커와 다르게 변경하였다. 기존의 소형 스피커와 설계사양에 의해 제작된 규격은 표 2와 표 3과 같다.

III. 동전형 스피커의 특성

3.1. 성능측정

스피커의 성능 측정을 하기 위해 스피커 유니트를 배플(Baffle)에 부착하여 JIS (Japanese Industrial Standard) BOX에 고정시켜 무향실에서 실시하였다. 수음할 마이크로폰으로 부터 스피커를 1 m 떨어지게 한 뒤, 1W의 입력전력에 해당하는 2V의 전압을 인가하여 Sweep신호로 측정하였다. 측정되어지는 성능특성은 SPL 특성 그래프, 임피던스 곡선, 2, 3차 고조파 왜곡 등이다. 측정장치로는 일본 ETANI사의 Loudspeaker automatic analyzer model S-260을 사용하였으며 측정결과는 그림 5와 같으며 응답 데이터는 표 4와 같다. 사양에 의해 제작된 스피커의 특성 그래프 그림 5는 기본 공진주파수가 80 Hz이고 음압레벨은 4점의 특정주파수 300, 400, 500, 600 Hz에서 측정된 음압레벨의 평균치로 83.5 dB이다. 그리고 제 2차 고조파 왜율 (at 400 Hz)은 0.5%이고, 제 3차 고조파 왜율 (at 100 Hz)은 1.8%이다. 같은 방법으로 기존의 80 mm 스피커의 특성 그래프와 응답 데이터는 그림 6과 표 5와 같다. 음압레벨의 평균치는 85 dB이며 2, 3차 고조파 왜율은 각각 0.9%, 6%로 나타났다.

3.2. 자기회로 특성

스피커의 성능 특성 중 제 3차 고조파 왜곡에 가장 많은

표 3. 설계사양에 의한 저음재생 스피커의 규격
Table 3. The norm of a low frequency sound speaker by the design specification.

주요 부품	사양	
진동판 시면 중량 (gr)	0.45	
에지 재질	SOX-10mm (foam)	
댐퍼	변위	2.5mm/50gr
	stiffness	196N/m
주 마그넷트 (mm)	ϕ 75 (외경) × ϕ 32 (내경) × 10 (두께)	자속밀도 10,000 Gauss
방자 마그넷트 (mm)	ϕ 70 (외경) × ϕ 32 (내경) × 10 (두께)	
보이스 코일	Impedance (Ω)	4
	내경 (mm)	ϕ 25.0
	도선길이 (m)	4.7
플레이트 두께 (mm)	6	

표 4. 저음재생 스피커의 응답 데이터
Table 4. The response data of a low frequency sound speaker by the design specification.

항목	응답 데이터
기본공진주파수	80Hz
재생대역	f0~15kHz
재생 음압레벨	83.5 (dB/W/m)
임피던스	4Ω
최대출력파워	30W
2차 고조파 왜율	0.5%
3차 고조파 왜율	1.8%

표 5. 기존 80mm 스피커의 응답 데이터
Table 5. The response data of convention 80mm loudspeaker.

항목	응답 데이터
기본공진주파수	130Hz
재생대역	f0~20kHz
재생 음압레벨	85 (dB/W/m)
임피던스	4Ω
최대출력파워	15W
2차 고조파 왜율	0.9%
3차 고조파 왜율	6%

영향을 미치는 자기회로부의 자속분포를 고찰하였다. 제 3차 고조파 왜곡은 구동계에서 발생하는 신호의 왜곡으로 보이스 코일이 위치한 자극 갭 (gap)사이의 자속분포 불균일이나 보이스 코일이 진동할 때 균일 자장에서 벗어나는 관계로 발생된다. 그림 7의 자속분포는 캐나다 Infolytica 사의 "Magnet 5" 전자기 구조 해석 프로그램을 이용하여 시뮬레이션한 것이다. 자속분포는 자기회로 내에서 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 보이스 코일의 권선이 자속분포내에서 운동하고 있음을 나타내고 있다.

IV. 결과 및 고찰

본 연구에서 설계 · 제작된 80 mm 소구경 스피커 모델의 규격은 표 1에 나타내었으며 성능에 대한 측정값은 그림 5와 표 4에 각각 나타내었다. 표 1에서 스피커의 규격의 결정은 기본 공진주파수를 130 Hz로부터 80 Hz로 변경하는데 중점을 두었다. 따라서 표 4에서 알 수 있듯이 80 Hz에서 최저 공진이 발생한다.

본 연구에서 개발한 스피커는 진동판 에지를 대칭 Roll 형으로 하고 댐퍼부분은 원형으로 변경하여 큰 진폭으로 작동할 수 있도록 마그넷트 내의 자속밀도를 증대하고 보이스 코일의 내경과 도선의 길이를 길게 하여 역계수 A를 크게 하였다. 그 결과로써 스피커의 제반특성은 기본 공진주파수를 130 Hz에서 80 Hz로 이동시키고 저음 주파수 대역과 중음 주파수 대역의 음압레벨이 유사하게 나타나 평균 음압레벨이 약 84 Hz인 평탄한 음압특성을 얻었다. 그리고 스피커의 음향특성에 있어서 음질에 가장 중요한 영향을 미치는 고조파 왜율은 제 2차 고조파 왜율인 400 Hz에서 0.5%, 제 3차 고조파 왜율인 100 Hz에서 1.8%로 크게 개선되었다.

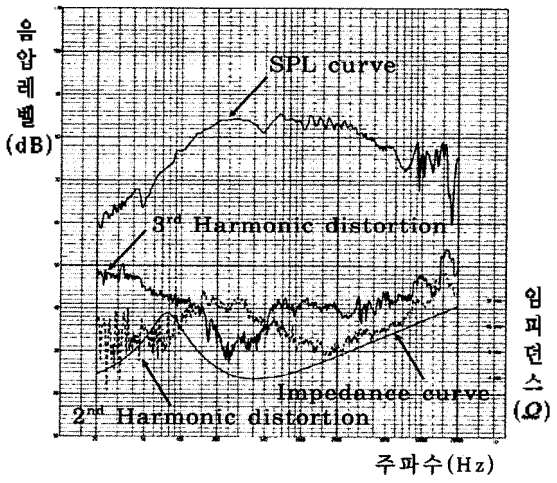


그림 5. 저음재생 스피커의 특성 그래프
Fig. 5. The characteristic graph of a low frequency sound speaker by the design specification.

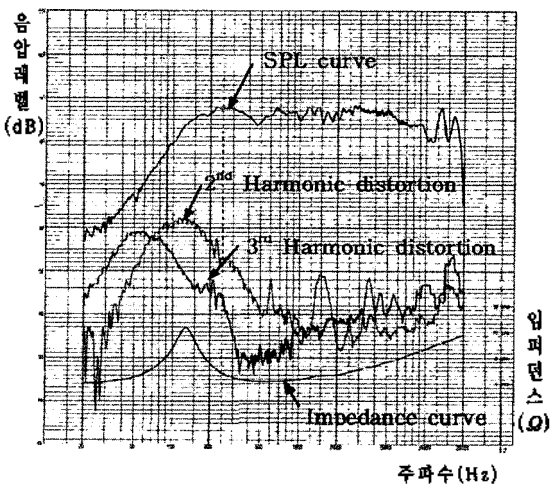


그림 6. 기존 80mm 스피커의 특성 그래프
Fig. 6. The characteristic graph of convention 80mm loudspeaker.

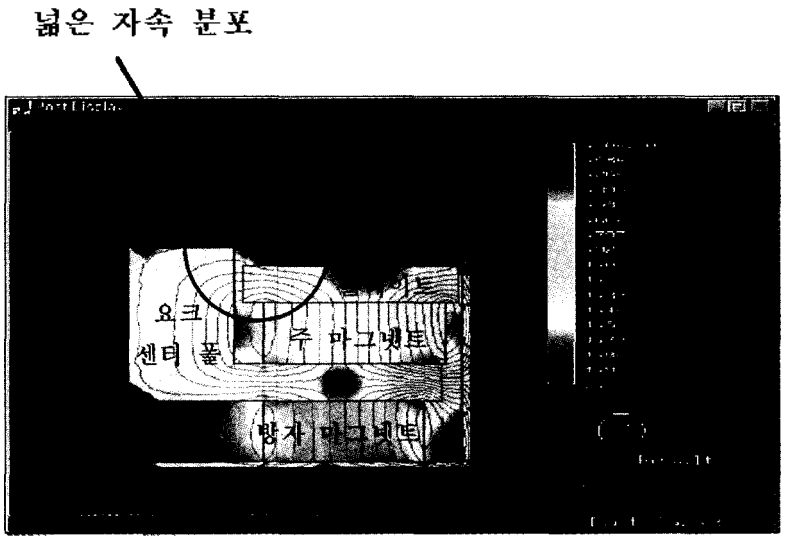


그림 7. 자속분포 시뮬레이션
Fig. 7. Simulation of magnetic flux distribution.

V. 결 론

본 연구는 최근 멀티미디어 기기의 소형화 추세에 따라 음향재생 장치인 스피커 시스템을 멀티미디어 시스템의 규격에 적합하게 구성하기 위해 저음재생용 소형스피커의 개발을 목표로 하였다.

연구방법으로는 등가회로 해석법을 활용하여 기본 공진주파수를 구하고 이에 대응하는 스피커 부품들의 구조적인 변경 및 재질의 변경 등 다수 회의 반복적인 설계·제작에 의하여 구현되었다. 그 결과로서 저음재생 특성이 우수한 80 mm 소형 동전형 스피커를 개발하였다.

제작된 저음재생용 소형스피커의 무향실내에서 성능 측정 결과 수치 시뮬레이션인 등가회로법에 의한 기본 공진주파수는 81 Hz인 반면 설계 제작된 최적 모델의 기본 공진주파수는 79 Hz로 측정되었다. 그리고 스피커의 전방 1 m 거리에서 음향재생 주파수 대역은 80 Hz ~ 15 kHz, 평균 음압레벨은 84±2 dB로 나타났다. 그리고 스피커의 음향특성에 있어서 음질에 가장 주요한 영향을 미치는 고조파 왜율은 기존의 전 대역 80 mm 스피커에서 제 2차 고조파 왜율 (at 400 Hz)은 0.9%, 제 3차 고조파 왜율 (at 100 Hz)은 6%인 반면 본 개발품에서 제 2차 고조파 왜율 (at 400 Hz)은 0.5%, 제 3차 고조파 왜율 (at 100 Hz)이 1.8%로 크게 개선되었다. 이 결과는 본 연구에서 개발 특성 목표로 설정한 제 2차 고조파 왜율 (at 400 Hz) 0.5%, 제 3차 고조파 왜율 (at 100 Hz) 2%에 근접하게 나타났다.

이상의 실험 결과를 통하여 본 연구에서 개발한 저음재생용 소형 스피커를 멀티미디어용 Hi-Fi 소형 스피커 시스템에 채용하여 고음재생용 스피커인 Tweeter와 함께 2WAY로 사용한다면 80 Hz ~ 20 kHz까지 재생대역을 확보하는 고충실도를 갖춘 소형 스피커 시스템을 제작할 수 있다. 그리고 청각 실험에 의한 주관적 평가를 수행함으로써 소형 스피커의 실용성을 확보할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (핵심전문연구, 과제번호 981-0913-061-2) 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 佐伯など, "低歪スピーカコニシトについて," 日本電子通信學會・信學技技, EA92-92, pp. 17-24, 1993.
2. 日本音響學會, "電氣の音-スピーカ," 音のなんでも小辭典, 1966.
3. 山本武夫 編著, "スピーカ・システム," ラジオ技術社, 1981.
4. 佐伯多門, "スピーカ&エンウロージャー百科," 成文堂新光社, 1992.
5. 吉久, "スピーカ," 理工研究社, 1973.
6. 武輪敬行 他, "低音再生小型スピーカ", 日本音響學會講演文集, pp. 553-554, 1997.
7. National Technical Report, "Low Distortion Loudspeaker," Vol. 40 no. 3, June, 1994.

저자 약력

● 남 경 준 (Gyeong-Jun Nam)

1993년 2월: 부산대학교 물리학과 (이학사)
1999년 2월: 부경대학교 음향진동공학과 대학원 (공학석사)
1994년~1999년: LG정밀(주) 음향부품연구소 주임연구원
1999년~현재: 에스텍(주) 연구소 선임연구원
※ 주관심분야: Flat Speaker, Actuator

● 이 채 봉 (Chai-Bong Lee)

현재: 동서대학교 정보시스템공학부 부교수
한국음향학회지 제19권 제3호 참조

● 김 천 덕 (Chun-Duck Kim)

현재: 부경대학교 전기공학과 교수
한국음향학회지 제19권 제3호 참조