

스피커 진동판의 음향특성 다분야통합최적설계 Multidisciplinary Design Optimization for Acoustic Characteristics of a Speaker Diaphragm

김성국*·이태희**·이석순***

Sung Kuk Kim, Tae Hee Lee, Surk Soon Lee

Key Words : Acoustic Characteristics(음향 특성), FEM(유한요소법), BEM(경계요소법), Natural Frequency(고유진동수), Optimization(최적화), Speaker Diaphragm(스피커 진동판), Harmonic Response Analysis(조화응답해석), Acoustic Analysis(음향해석)

ABSTRACT

Recently, various acoustic artifacts that contains speaker have been produced such as cellular phone. Speaker consists of diaphragm generating sound and coil vibrating diaphragm. Generally, good speaker means that it has a wide frequency range, high output power rate to input power and flat sound pressure level in specified frequency range. Acoustic characteristic was estimated through the experiment and computer simulation, or sound power was controlled with acoustic sensitivity in a natural frequency range for last decade. However, the flatness of sound pressure level has not been considered to enhance the sound quality of a speaker. In this study, a method for speaker design is proposed for a good acoustic characteristic, which is flatness of SPL(sound pressure level) and wideness between the first and second natural frequency. SYSNOISE is used for acoustic analysis and ANSYS is used for harmonic response analysis and modal analysis. Optimization for acoustic characteristics of a speaker diaphragm is performed using ModelCenter. All analyses are done within a frequency domain. And we confirm that the experimental and computational simulations have similar trend.

기호설명

- ν = poisson ratio
- E= modulus of elasticity
- f= sound pressure level

1. 서론

최근 스피커 연구의 목적은 좋은 음질의 스피커에 집중되고 있다. 좋은 음질의 스피커란 가용 주파수 범위 내에서 음압 크기의 편차가 작은 것을 말한다.

이전까지의 음향 특성에 대한 연구로는 음압을 최소화 하는 방법에 대한 연구⁽¹⁾, 스피커 음향 특성을 계산하기 위한 구조-음향 연성 해석에 대한 연구⁽²⁾가 있었다. 그리고 스피커 진동판으로부터의 음향 방사를 계산하는 방법에 대한 연구가 있었으며⁽³⁾, 진동 실험과 진동/음향 해석을 통한 음압의 크기들을 비교해 보고 그 값들이 일치함을 보임으로써 음압의 크기를 예측 하는 연구도 수행되었다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

최근에는 직접 경계 요소법과 연속계 설계 민감도 해석법을 이용하여 진동 소음을 줄이는 방법

에 대한 연구가 수행 되었으며⁽⁶⁾, 고유 주파수 영역에서 절점의 변위를 줄임으로써 소음과 진동을 저감하는 방법이 연구 되었다⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

이와 같이 어떤 일정한 주파수 영역에서 음압의 크기를 예측 해 보는 것과, 고유 주파수 영역에서의 진동 소음을 줄이는 방법에 대한 연구들은 있었지만, 각 주파수 영역에서 최적의 음압을 얻어내는 즉, 평탄한 음압을 얻어내고자 하는 연구는 시도 되지 않았다.

본 연구에서는 일정한 주파수 영역에서의 스피커의 재생음이 가능하면 평탄한 음압을 갖도록 스피커 진동판의 최적설계를 한다.

2. 스피커 설계의 요구사항

음의 세기는 기준 데시벨(dB)과 비교값으로 나타낸다. 측정은 측정 스피커에 1W의 정현파의 전기적 신호를 가하고 1m의 거리에서 마이크로폰으로 측정된 값을 데시벨로 나타낸다. 음압 레벨의 수치가 높은 것일수록 큰 소리를 만들어 내므로 효율이 좋은 스피커이다. 일반적인 스피커의 설계 요구 사항은 다음과 같다.

1. 넓은 주파수 영역에서 사용 가능하여야 한다.
2. 일정 주파수 영역에서 재생음이 평탄한 음압을 얻을 수 있어야 한다.
3. 음압이 가능하면 높게 나타나야 한다.

본 연구에서는 2 번째 요구사항을 만족하는 설계

* 넥스원퓨처(주), E-mail : skkimf@nex1.co.kr, Tel : (054) 469-8492, Fax : (054) 469-8648

** 한양대학교 기계공학부

*** 부전전자부품 (주)

를 최적설계기법을 이용하여 제시한다.

3. 스피커 진동판의 진동/음향 해석

ANSYS⁽⁹⁾로 스피커 진동판의 모달 해석을 수행하여 고유 진동수를 구해 내고, 조화 응답 해석을 수행하여 그 결과인 변위 정보를 음향 해석 프로그램인 SYSNOISE⁽¹⁰⁾에서 불러 들여서 음향 해석을 수행하는 절차를 따른다.

3.1 진동해석

스피커 구조는 Fig. 1을 회전하면 생성이 된다.

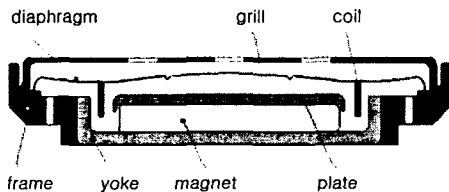


Fig. 1 Schematic diaphragm of a speaker

스피커 진동판의 유한요소 모델은 ANSYS SHELL63 요소로 모델링 하였다. 진동판의 재료는 박판 PEI(폴리에테이미드)이고 코일은 구리(copper)이며 다권층으로 되어 있다.

두개의 스피커 진동판의 진동해석 및 음향 해석을 수행하였으며, 스피커 진동판의 형상은 Fig. 2와 같다.

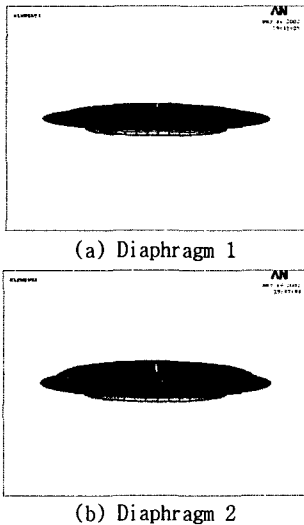
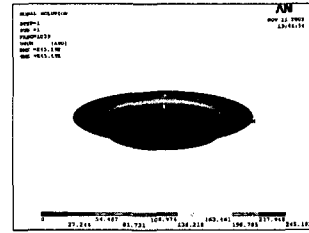


Fig. 2 Shapes of speaker diaphragms

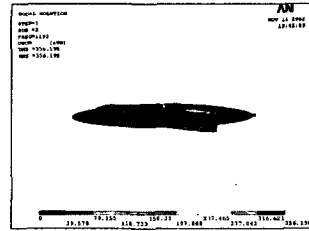
(1) 진동해석

ANSYS를 이용하여 진동판의 모달해석을 수행하면 Fig. 3과 같은 자유 진동 모드를 구할 수

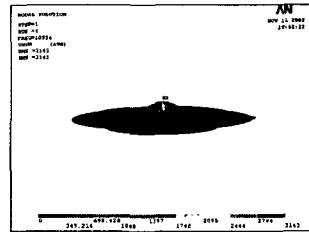
있다. 조화 진동의 경우 강제 상하 진동이므로 모달 해석 결과 중 1차와 4차 모드가 우리가 얻고자 하는 값이다.



(a) First mode



(b) Second or third mode



(c) Fourth mode

Fig. 3 Mode shapes of the diaphragm

진동판 1의 1차 고유 진동수는 1039.20 Hz이며 진동판 2의 1차 고유 진동수는 1392.94 Hz이다. 그리고 진동판 1의 4차 모드로 나타난 값이 조화 진동에 의해 생기는 강제 상하 진동을 고려했을 때 진동판 1의 2차 고유 진동수이며, 이 값은 10955.85 Hz이다. 동일한 방법으로 진동판 2의 2차 고유 진동수는 10955.83 Hz이다.

(2) 진동해석의 검증

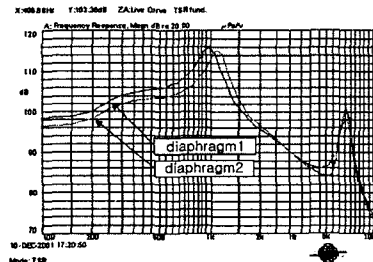


Fig. 4 SPL graph of diaphragm 1 and 2
Fig. 4는 실험을 통해 얻어진 주파수 응답 곡

선이다. ANSYS 의 모달해석을 통해 구한 고유진동수와 비교해 보면 매우 근접한 결과를 나타내고 있다.

3.2 조화 가진 응답 해석

F=BIL 에 의해 계산된 힘(F)이 진동판의 코일부에 가진력으로 입력이 된다. 진동판의 코일부 가진력의 모습은 Fig. 5 와 같이 입력한다. 이러한 가진력으로 인해 진동판은 상하 진동을 하게 된다.

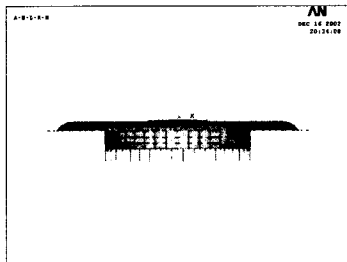
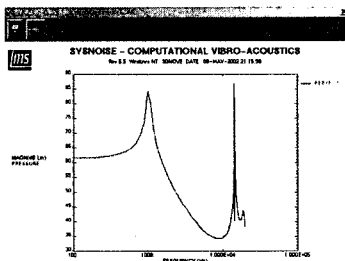


Fig. 5 Figure of harmonic response force

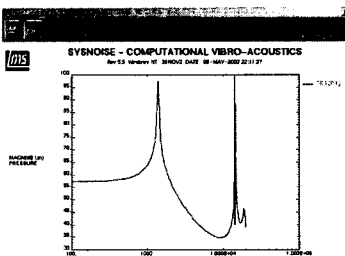
3.3 음향해석

(1) SYSNOISE 를 이용한 음향해석

SYSNOISE 를 이용해서 주파수에 대한 음압을 예측을 하였다. Fig. 6 은 SYSNOISE 를 이용하여 예측한 주파수에 대한 음압의 크기를 나타낸 그래프이다.



(a) Diaphragm 1



(b) Diaphragm 2

Fig. 6 Sound pressure levels of diaphragm 1 and 2

(2) 음향 해석의 검증

Fig. 4 의 실험으로 구한 음압특성 그래프와 컴

퓨터 시뮬레이션으로 예측한 Fig. 6 의 음압특성 그래프를 비교해 보면 두 음압특성이 비슷한 경향을 알 수 있다. 이로부터 SYSNOISE 에 의한 음압특성의 결과과 신뢰할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 스피커 진동판의 음향 특성 최적설계

본 연구에서는 설계하고자 하는 스피커의 대역을 120 에서 260 Hz 로 잡아서, 남성이나 여성의 목소리가 좋은 음질로 들리도록 하는 직경 약 130mm 스피커를 설계 하고자 한다. Fig. 8 의 스피커 진동판을 초기설계로 하여 3 개의 진동판의 곡면반경을 설계변수로 하여 음향특성 최적설계를 수행 하였다.

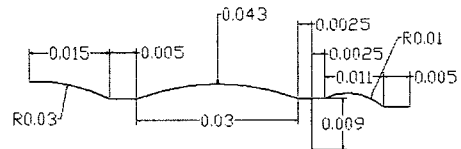


Fig. 7 Shape of diaphragm

모달해석에서 얻어진 1 차 고유 진동수는 111.75 Hz 이며, 2 차 고유 진동수는 256.91 Hz 이다. ANSYS 를 이용해서 조화 가진 응답 해석을 수행하고, SYSNOISE 로 음향 해석을 음압을 예측 하였다. Table 1 은 설계 변수의 범위 및 초기값이다.

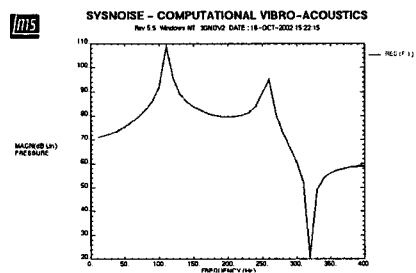


Fig. 8 Result of acoustic analysis

Table 1 Design variables of diaphragm

설계변수	lower	initial	upper
R1	0.027	0.03	0.033
R2	0.016	0.043	0.07
R3	0.006	0.01	0.014

목적함수는 120~260 Hz 영역에서의 음압값들의 표준편차가 최소화 되도록 하고, 구속 조건은

1 차 고유 진동수가 114 Hz 보다 작고, 2 차 고유 진동수가 264 Hz 보다 크도록 한다. 구속조건이 갖는 의미는 주파수 대역을 넓히고자 함이다.

주어진 구속조건과 목적함수를 가지고 통합 최적화 프로그램인 ModelCenter⁽¹¹⁾를 이용하여 음향 특성 최적설계를 수행 하였다.

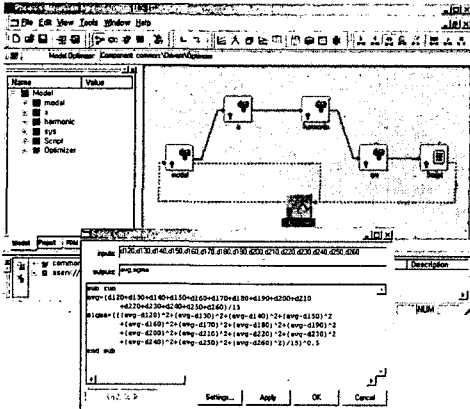


Fig. 9 Optimization using ModelCenter and script

SYSNOIS 에서 얻어진 결과를 가지고 15 개 (120~260Hz)의 주파수에 대한 음압값들의 표준편차를 얻어내고, 표준편차를 최소화 하도록 하였다. 최적화 방법은 순차적 선형 프로그래밍 (SLP) 을 사용하였다.

음향 특성을 최적화 하기 전 모델과 최적화 후의 모델을 보았을 때 120 ~ 260 Hz 범위에서의 음압값은 최적화 후의 모델이 훨씬 더 평탄한 음압값을 나타냄을 볼 수 있다 (Table 2 참조). 15 개의 주파수 대역에서의 음압의 표준편차 값이 약 5.3 에서 4.5 정도로 대략 0.8 정도 작아짐을 알 수 있다. 따라서 120 ~ 260 Hz 사이에서의 음향 특성을 개선하였다.

Table 2 Optimization for acoustic characteristic

	initial	optimum
average	84.47	82.5
Standard deviation	5.3	4.5

5. 결론

본 연구에서는 스피커 진동판의 반경만을 고려하여 음향특성의 평탄화 최적설계를 수행해 보았다. 이를 위하여 주위진 주파수 영역에서의 음압 편차의 합을 목적함수로 한 최적설계 문제를 정의하여 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 실제 스피커 설계에서는 진동판의 두께, 코일의 크기

등 다양한 설계 변수를 가지고 최적 설계를 수행해 보아야 할 것이다.

본 연구에서는 음압의 평탄화만 고려한 설계를 수행하였으나 좋은 스피커 즉, 주파수 대역이 넓고, 입력값에 비해 고출력(음압)을 나타내며, 주파수 대역에 대한 음압이 평탄한 것을 모두 고려한 스피커를 설계 해 보아야 할 것이다.

그밖에 음압의 최소값을 최대화하거나 음압의 최대값을 최소화함으로써 최적의 음향 특성을 가지는 스피커를 설계 해 볼 수 있을 것이다.

참고 문헌

- (1) Belegundu. A. D., Salagame R. R. and Koopmann. G. H., 1994, " A general optimization strategy for sound power minimization," Structural Optimization, Vol. 8, 113-119
- (2) Kagawa. Y., Yamabuchi. T., and Sugihara. K., 1980, " A Finite Element Approach to a Coupled Structural-Acoustic Radiation System with Application to Loudspeaker Characteristic Calculation," Journal of Sound and Vibration, Vol. 69, No. 2, 229-243
- (3) Kaizer. A., J. M. and Leeuwestein. A., 1988, " Calculation of the Sound Radiation of Nonrigid Loudspeaker Diaphragm Using the Finite-Element Method," Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 36, 539-551
- (4) 김관주 등, 2000, " 경계 요소 해석과 진동 실험을 이용한 단순 평판의 방사 음향 예측," 한국소음진동공학회지, 제 10 권 제 5 호, pp. 843~848
- (5) 김정호 등, 1998, " 직접방사형 스피커의 음향 특성 해석 및 설계," 한국소음진동학회지 제 8 권 제 2 호, pp. 274~282
- (6) 황세명 등, 1998, " 직접 경계 요소법과 연속계 설계 민감도 해석법을 이용한 소음 설계 민감도 해석," 한국소음진동공학회 1998 년도 춘계학술대회 논문집, pp. 81~87
- (7) 이재환 등, 1996, " 연속법에 의한 설계 민감도를 이용한 판구조물의 조화 진동 저감," 한국소음진동공학회지 제 6 권 제 1 호, pp. 27~34
- (8) 황성훈 등, 1993, 감도해석법을 이용한 구조-음향 연계계의 소음저감에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문
- (9) ANSYS Inc., ANSYS User's Guide ver. 5.7, 2002.
- (10) SYSNOISE Rev 5.5 User Manual. LMS
- (11) Phoenix Integration Inc., ModelCenter User's Guide, 2000.