

바주카 스피커의 음향특성

°김 준 태*, 최 주 영**

(Acoustic characteristics of the BAZOOKA SPEAKER)

(Jun-Tai Kim, Jou-Young Choi)

1. 서 론

BAZOOKA SPEAKER는 25인치이상의 대형텔레비전내에 설치되는 중저음 전용의 스피커로서, 실린더형 몸체와 내부스피커, 내외부 덕트로 구성되어있다(그림1). 음의 발생전파경로를 살펴보면, 내부스피커에서 발생한 음이 밀폐된 원통형 몸체내에서 입사와 반사를 반복하여 전파되며 스피커 전면부에 부착되어있는 흡음재에서 고주파성분의 잡음이 저감되고 측면부에 위치한 내외부 덕트를 통하여 특정대역의 주파수성분이 필터링되어 최종적으로 외부공간으로 전파하는 구조로 되어있다. 본 연구에서는, 이러한 형상과 전파경로를 갖고있는 BAZOOKA SPEAKER의 중저음발생특성을 분석하고 강화시키기위하여, 음향이론해석과 음향측정 실험을 병행수행하였다. 연구내용으로는 내부공간의 고유음향특성해석, 외부방사음의 분포해석, 그리고 구조물의 동특성분석을 수행하였으며, FEM(Finite Element Method)과 BEM(Boundary Element Method)을 이용한 수치해석과 검증실험을 통하여 실제적인 음향 특성을 분석하였다. 이와같이 확인된 수치해석모델과 그 해석결과를 토대로하여 BAZOOKA SPEAKER의 구조물 설계파라미터 변화에따른 음향특성결과를 예측하였고, 그 결과 내외부 덕트의 길이와 형상에 따른 중저음특성 강화방안을 도출할 수 있었다.

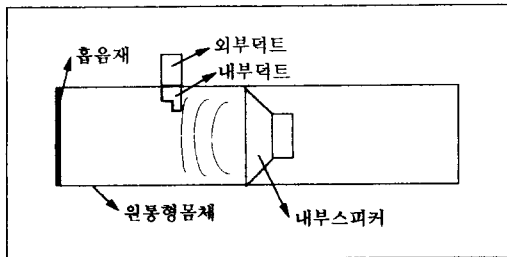


그림1. BAZOOKA SPEAKER의 개요도

2. 음향특성 해석절차

해석절차는 그림2와 같으며 CAE(Computer Aided Engineering)를 이용한 음향수치해석과, CAT(Computer Aided Testing)장비를 사용한 음향측정 및 구조물의 동특성실험(Modal Testing)을 병행 수행하였다. 세부적으로는, 수치 해석에 의하여 내부공간(Cavity)의 고유음향모드계산 (Acoustic Mode Analysis)과 외부 음장(Exterior Sound Field)에서의 음압분포(Sound Pressure Level), 주파수응답함수(Frequency Response Function), 방사패턴 (Sound Pressure Directivity)등을 계산하였고, 구조물의 진동특성과 음향방사와의 연계성분석을 위하여 구조물의 동특성(Modal Analysis /Testing)을 규명하였다. 이때, 내부흡음재의 물성치(Admittance)를 실험적으로 산출하여 수치해석모델 구성에 직접적으로 이용하였다[2-3].

3. 음향 기본이론[1]

파동방정식(Wave Equation)은 탄성매질(Elastic Medium)내에서 음파의 전파과정을 나타내는 지배방정식이며, 연속방정식(Continuity Eq.), 운동량방정식(Momentum Eq.), 그리고 상태방정식(State Eq.)으로 부터 얻어진다.

$$\text{연속방정식: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\text{운동량방정식: } \rho \left\{ \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right\} = -\nabla p \quad (2)$$

$$\text{상태방정식: } p = p(\rho, s) = p(T, \rho) \quad (3)$$

Inviscid, No heat transfer, No body force, homogeneous medium, initially at rest 로 가정하면, 다음과 같은 파동방정식을 얻을 수 있다.

$$\nabla^2 \psi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (4)$$

* 삼성종합기술원 수퍼컴응용실 CAET팀
 ** 삼성종합기술원 CAET팀 (현재, 삼성자동차연구개발팀)

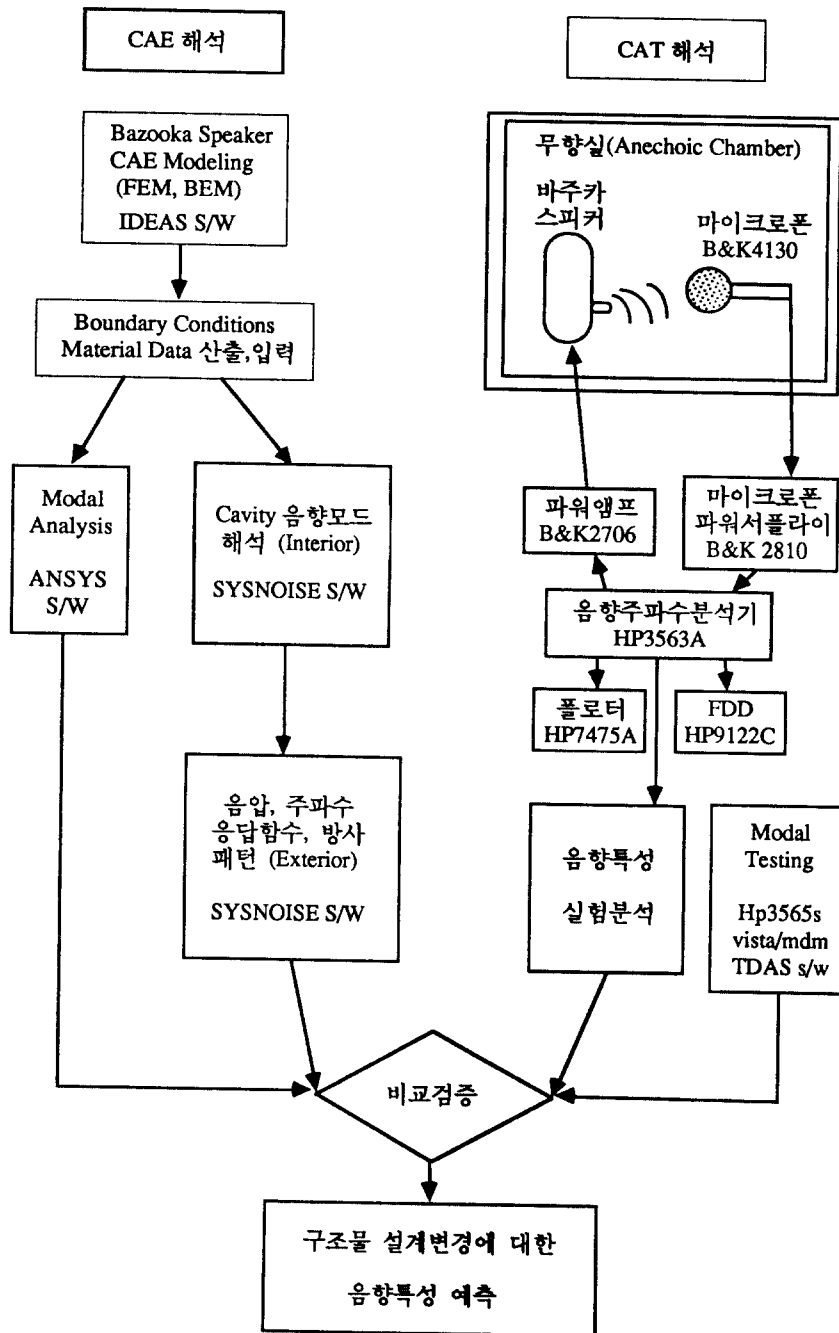


그림2. Bazooka Speaker의 음향특성 해석절차 (CAE/CAT)

여기에서, $v = \nabla\psi$ (ψ 는 velocity potential)

$$p = -\rho \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

또한, time harmonic 으로 생각하면

$\psi(x, y, z, t) = \phi(x, y, z)e^{i\omega t}$ 와 같이되며,
파동방정식은 Helmholtz Equation으로 된다.

$$\nabla^2 p + k^2 p = 0 \quad (5)$$

여기에서, $p = -\rho i\omega \phi$

$$k = \omega / c \quad ; \text{Wave number}$$

4. 음향특성해석[4]

4.1 유한요소법에 의한 내부공간의 음향모드해석

본 연구에서는 수치해석을 위하여 유한요소법을 이용하였으며, 상용 프로그램인 SYSNOISE를 이용하였다. 전후처리과정은 상용프로그램인 IDEAS 를 사용하였으며, 요소분할후 mesh 형상은 그림3과 같다. 전체 model의 node수는 3,202개이고 element수는 1,910개이며, 내부공간에서 스피커단품의 체적을 제외한 나머지 공간에 대하여 3차원 acoustic element를 사용하였다. 이때, 외부경계영역은 속도가 영인 rigid boundary condition으로 설정하였다. 또한, 해의 신뢰도를 확보하기위하여 최대 유한요소의 크기가 최대관심주파수 파장의 1/6보다 작도록 요소분할하였다.

해석결과, 내부공간의 음향모드와 고유주파수는 그림4와 같다. 즉, 1차, 2차 음향모드에서는 원통형 몸체의 길이방향으로 음향모드가 나타나며, 고차모드로 될수록 음압변동의 굴곡이 고차화해진다. 또, 3차모드부터는 내부발생음을 외부로 전파하는 덕트부위에서 음향모드가 나타남을 알 수있다.

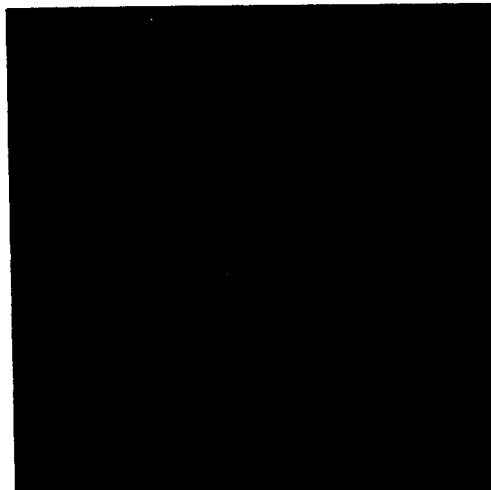


그림3. 유한요소 모델형상

4.2 경계요소법에 의한 외부음장의 음향특성

BAZOOKA SPEAKER 내부에서 발생된 음파가 내외부 덕트를 통과하여 외부로 방사될때의 외부음장의 특성을 밝히고자 수치해석과 무향실(Anechoic Chamber)에서 음향측정실험을 수행하여 비교분석하여 보았다. 그 결과 해석결과와 측정값이 서로 잘 일치함을 확인하였으며, 음향해석내용으로는 근접장(Near Field)와 원거리(Far Field)에서의 주파수응답함수를 산출하였고, 음의 방사패턴과 외부음장에서의 음압의 분포특성 등을 계산하였다.

4.2.1 외부음장의 주파수응답특성

그림5와 같이 근접장과 원거리에서 주파수응답함수를 구하여보았다. 상용 프로그램인 SYSNOISE를 사용하였으며, 해석model은 전체 1176개의 element와 1184개의 node를 갖는 경계요소모델이다.

관심주파수범위는 중저음특성이 중요한 0 - 500 Hz 대역으로 설정하였다. 평면파(Plane Wave)의 특성으로 음이전파된다고 생각할 수 있는 원거리(Point 2)에서의 주파수응답함수 해석결과는 그림6과 같으며, 87 - 100 Hz 대역에서 81 - 82 dB의 Peak값을 보이고 있다. 또, 무향실에서의 음향측정결과는 그림7과 같고, 측정장비와 절차는 그림2에 나타난 바와 같다. 측정결과 86.2 Hz 에서 Peak값을 나타내며, 그 크기는 81.3 dB이다. 해석결과와 실험결과의 일치함을 확인할 수 있다. 또한, 근접장의 결과와 비교하여볼때 Peak값의 주파수대역의 변화는 거의 없고, 다만 그 크기가 약 11 dB 감소하였음을 알 수 있었다. 이는 BAZOOKA SPEAKER주위의 일반적인 청음거리에서는, 사람에게 들리는 중저음의 높낮이는 큰 변화가 없으며, 그 소리의 크기만이 거리에 따라 작아짐을 의미한다.

본 해석결과, 음원과 그 전달경로의 상호관계를 알 수 가 있었고 중저음특성을 강화하기위한 현상규명 및

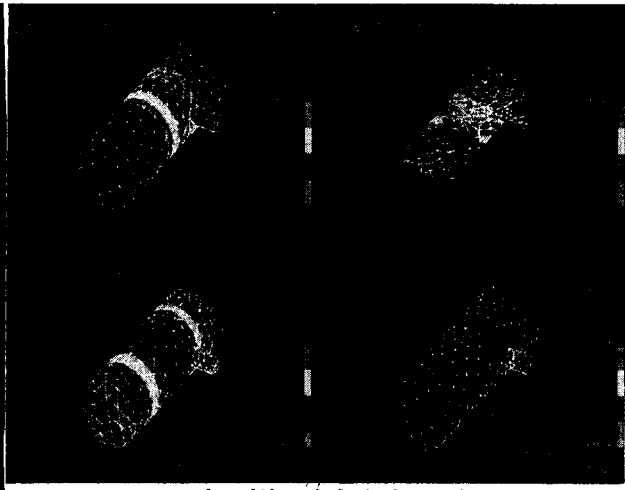


그림4. 내부공간의 음향모드결과

방향을 수립할 수 가 있었다. 즉, 150 Hz 이하 대역의 주파수응답함수의 크기가 원래의 값보다 상승되며, Peak의 주파수값을 저주파수쪽으로 이동시킴이 중저음 특성강화의 좋은 방안이 될 수 있다고 분석된다.

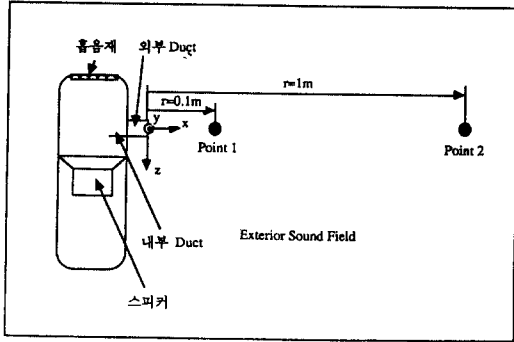


그림5. 외부음장의 주파수응답특성 계산/실험위치

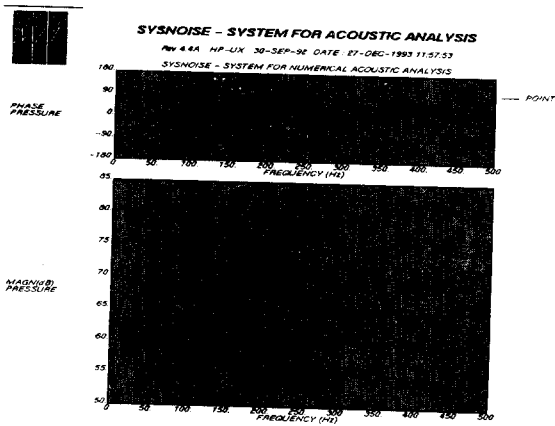


그림6. 외부음장의 주파수응답함수 (해석)

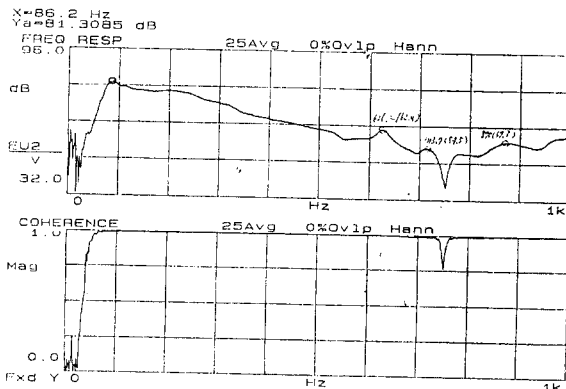


그림7. 외부음장의 주파수응답함수 (실험)

4.2.2 외부음장의 방사패턴

BAZOOKA SPEAKER 내부에서 생성된 음파가 내외부 덕트를 통과하여 외부음장으로 방사될때의 각 전파방향에 따른 방사음의 지향성을 규명하기위하여, 음압의 Directivity를 계산하였다. 방사패턴의 원점은 그림 5의 외부덕트 끝단으로 설정하였고, 계산거리는 1m, 0 - 360° 범위를 5° 간격으로 해석하였다. 해석결과 중저음대역에서의 음의 전파방향에 따른 음압의 변화는 0.5 dB 미만으로 무시해도 되는 작은 양임을 알았다.

반면에 다소 고주파영역인 500 Hz 에서의 결과는 그림 8과 같고, 약 60 - 65 dB 의 음압값을 보이고 있다. 즉, x축과 z축에 대하여 비대칭 특성을 나타내며, 중저음영역의 결과와 비교하여볼때, 음의 각 전파방향에 따른 지향성을 보이고 있다. 따라서, 고주파대역의 음파일수록 전파방향에 더욱 민감함을 알 수 있었다.

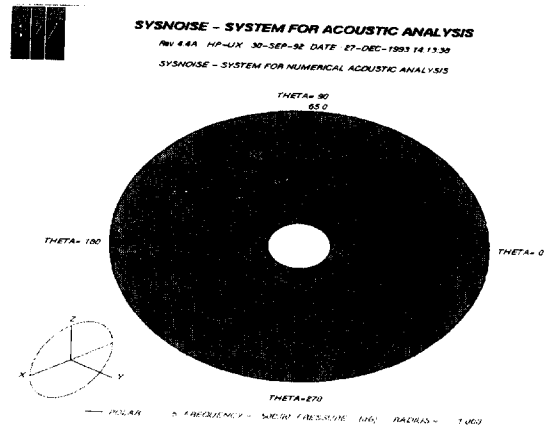


그림8. 음의 DIRECTIVITY (500 Hz)

4.2.3 외부음장의 음압분포특성

내부공간과 흡음재, 내외부 덕트를 통과하여 외부로 방사되는 음파의 각 주파수에서의 공간분포특성을 알아보기 위하여, 가로/세로 각 2m인 외부음장영역에 대하여 음파의 가진주파수 90 Hz, 500 Hz 일때의 음압크기를 계산하여 보았다. 그 결과는 그림9와 같고, 90 Hz 인 경우에는 외부 덕트끝단을 중심으로 동심원을 그리면서 음압의 크기가 높게 나타나며, 원거리에서 근접장으로 갈수록 음압의 분포가 복잡해짐을 관찰할 수 있다. 또한, 500 Hz 에서의 음압분포는 중저음영역의 결과와 비교하여볼때 더욱 복잡한 분포양상을 나타내고 있다.

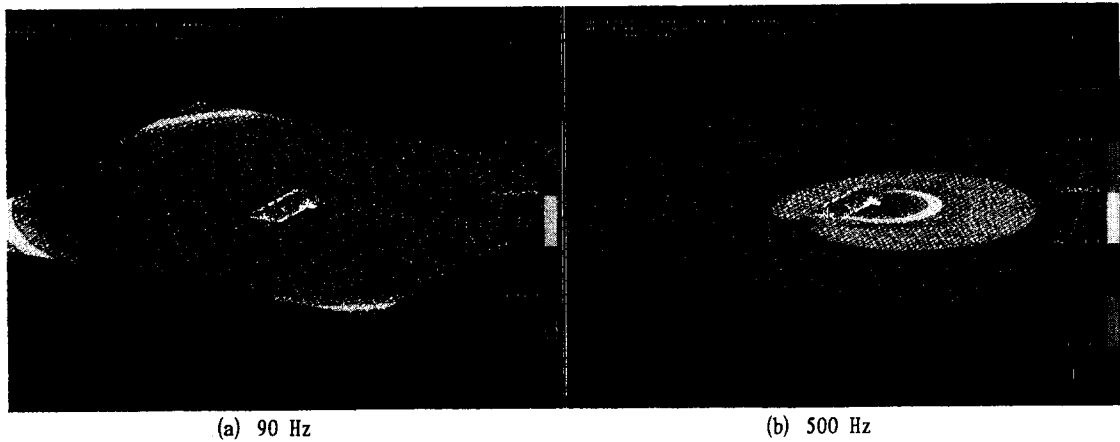


그림9. 외부음장의 음압분포

5. 구조물의 동특성[5-6]

BAZOOKA SPEAKER 구조물의 동적인 특성과 방사음과의 연계성을 규명하기 위하여 구조물의 모드해석과 실험을 수행하였다. 먼저, 수치해석은 유한요소법을 이용하였고, 상용 프로그램인 ANSYS 를 사용하였다. 전체 element수는 952개, node수는 1195개이고 boundary condition 은 전혀 구속이 되지 않은 Free-Free 조건으로 하였다. 또한, modal testing에서는 Free-Free boundary condition과 유사하도록 하기 위하여 매우 soft한 sponge로 case하부를 지지하였고, impact hammer를 사용하여 실험을 측정하였다. 모드 해석과 실험결과 서로 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었으며, 320 - 330 Hz 대역에서 구조/음향 공진의 가능성이 있음을 알 수 있었다. 그러나, 무향실에서의 여러가지 음향측정결과로 볼때, 이와같은 구조물에 기인한 구조방사음은 매우 가까운 근접장을 제외하고는 거의 무시해도 좋을만한 양이라고 분석된다.

6. 설계인자에 따른 음향예측

이와같은 해석결과를 토대로, 중저음 주파수특성을 강화시키는 설계인자의 분석과 방안수립을 위하여 표.1과 같은 여러가지 경우에 대하여 원거리에서의 외부음장 주파수응답함수를 계산하였다. 특히, 내부에서 발생된 음파의 주된 전파경로인 내외부 덕트에 대하여 길이변경 및 구조삭제, 그리고 방사판을 부착한 경우에 대하여 집중적으로 음향예측을 하였으며, 그 결과는 표.1과 같다. 결과로부터 방사판을 부착한 경우가 좋은 값을 보이고 있는데, 이는 방사판이 없으면 di-pole의 음원특성을 갖으나, 방사판이 있으면 mono-pole의 방사특성으로 변함으로 인해 방사효율이 높아짐에 기인한다. 따라서, 위의 여러가지 경우의 구조변경에 따른 음향특성의 결과를 기반으로 하여, 설계주파수 범위와 공간상의 제약조건등에 맞는 방안을 강구하여 음향설계함이 타당하다고 판단된다.

표.1 음향설계인자 변경에 따른 음향특성예측

FRF	(a) Original	(b) Incre. duct leng.	(c) Cancel outer duct
Peak freq.(Hz)	87-100	80-90	140-150
Mag. (dB)	81-82	80	86
FRF	(d) Cancel inner duct	(e) =(c)+(d)	(f) Baffled
Peak freq.(Hz)	100-110	200-210	87-100
Mag. (dB)	84-85	90	83-83.5

7. 결 론

BAZOOKA SPEAKER 에 대한 음향특성연구와 중저음 특성강화를 위한 설계인자 변경해석을 위하여 유한 요소법과 경계요소법을 사용한 수치해석을 수행하였고, 그 해석결과와 검증과 흡음물성치 산출을 위하여 음향측정실험, 구조물의 동특성실험등을 실시하였다.

연구결과, 내부공간의 음향모드특성, 외부음장에서 주파수응답특성, 방사패턴, 그리고 음압의 공간 분포특성과 구조물의 동특성을 명확히 규명하였고, 각 음향설계인자 변경에 따른 음향특성을 예측하여 중저음특성강화를 위한 방안을 수립하였다.

참 고 문 헌

1. A. D. Pierce, "Acoustics", McGraw-Hill, New York, 1981
2. L. L. Beranek, "Noise and Vibration Control", INCE, 1988
3. D. A. Bies, "Flow resistance information for acoustical design", Applied Acoustics, V13, 1980
4. SYSNOISE S/W users manual, theoretical manual
5. ANSYS S/W users manual, theoretical manual
6. IDEAS, VISTA/MDM S/W users manual