

# 디스크형 경음기의 성능 인자 연구

정원태, 김규태, 이수갑

서울대학교 기계항공공학부, NADA SnV

## Study on Performance Factor of Disk Type horn

Wontae Jeong\*, Kyutae Kim\*\*, Soogab Lee\*

\*AeroAcoustics and Noise Control Laboratory, Seoul National University

wontae@snu.ac.kr, solee@plaza.sun.ac.kr

\*\*NADA SnV Co, Ltd. saeroby114@hotmail.com

### 요약

자동차의 경음기는 보행자나 다른 차량에게 경고를 보내기 위해 필요한 장치로 너무 작은 소리를 내는 경우에는 경고를 전달할 수 없는 문제점이 생기고, 너무 큰 소리를 내는 경우에는 소음피해를 주게 된다. 경음기의 소리 크기 뿐만 아니라 음색 또한 무시할 수 없는 중요한 인자라 할 수 있는데 이것은 경고음에 대한 사람의 반응에 영향을 줄 뿐만 아니라 자동차에 대한 고객들의 감성적인 평가에 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서는 자동차용 디스크 타입 경음기의 특징을 이해하기 위해 진동 및 음향특성에 관한 실험을 수행하였고, 이를 기반으로 전자기적, 기계적인 힘의 상호관계를 바탕으로 FEM, BEM 등의 방법으로 해석하였으며, 경음기의 소음 진동 특성을 시뮬레이션하였다. 이를 바탕으로 경음기의 형상 인자와 경음기의 소음 특성간의 관계를 해석하여 진동판과 방사판의 형상에 따른 주파수 특성관계를 도출하였다.

### 1. 서론

자동차용 경음기는 차량과 보행자에게 경고를 발하기 위한 장치이지만 동시에 차량에 대한 감성적인 이미지에 영향을 줄 수 있는 면도 간과할 수 없다. 제품 제조 시 시각적인 디자인뿐만 아니라 신호음 등에 대한 심리

음향학적인 접근을 시도하고 있는 최근의 경향을 생각해 볼 때 자동차 신호음의 큰 부분을 차지하는 경음기의 음향특성에 영향을 미치는 인자에 대한 연구를 해 볼 필요성이 있다.

자동차 경음기는 크게 디스크(Disk) 타입과 셸(Shell) 타입으로 나누어지는데 본 연구에서는 디스크 타입을 대상으로 하겠다. 경음기의 음향 특성은 음압과 주파수 두 가지로 특징지을 수 있는데 이 중에서 감성적인 평가와 영향이 있는 부분은 각 주파수 성분들간의 화음관계와 상대적인 크기 등이다. 일반적으로 두개의 다른 크기와 주파수를 가진 경음기를 자동차에 붙여서 일정한 화음을 내도록 만드는데 이러한 특징을 감안한다면 주파수 특성이 가지는 중요성은 더 커진다.

이러한 음향 특성에 영향을 미치는 경음기의 형상인자와 그 영향을 도출해내는 것이 본 연구의 목적으로서 위험상황에서의 경고를 주는 경음기의 기본 목적과 더불어 자동차에 대한 좋은 인상을 심어주는 부가적인 목적을 동시에 만족시키는 좋은 경음기의 디자인의 밑바탕이 될 수 있을 것이다.

디스크타입의 경음기에 대한 진동 및 소음 특성에 대한 실험을 통해 데이터를 축적하고, 경음기의 작동원리인 전자기적-기계모델에 기반하여 해석모델을 만들었고, 이를 바탕으로 형상인자에 의한 진동특성을 도출하였다.

## 2. 실험 및 해석

### 2.1 경음기의 작동 원리

경음기의 구성은 외부에 보이는 부품으로는 공명판 또는 방사판(disk or baffle), 진동판(diaphragm), 케이스(case), 가스켓(gasket), 브라켓(bracket)이 있으며, 내부의 부품으로는 진동판과 방사판을 연결하는 아마추어(armature), 폴(pole), 코일(coil), 스위치가 있다.

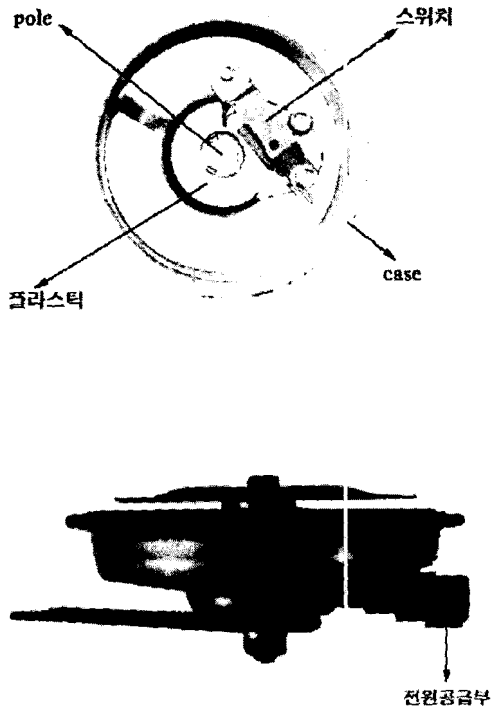


그림 1. 디스크 타입 경음기의 모습

경음기 중앙의 폴을 중심으로 플라스틱이 있는데 이 내부에 코일이 들어 있다. 코일에 DC 전원이 공급되면 코일에 자기장이 형성되고 자기장 내에 있던 폴에 자력이 발생하게 된다. 자력은 진동판에 연결되어 있는 아마추어를 그림 2와 같이 아래로 끌어당기게 된다. 아마추어의 중앙부 주위에 턱이 있어 아래로 당겨진 아마추어는 접점스프링을 밀게 되고 스위치는 오프(off) 상태가 되어 전원이 끊어지고 폴은 아마추어에 대한 구속력인 자력을 상실하게 되며 일시적으로 변형된 진동판(diaphragm)의 복원력에 의해 아마추어는 위로 상승하고 아마추어의 턱에 의해 아래로 내려갔던 스위치도 같이 위로 올라가게 되어 다시 스위치가 온(on) 상태로 되고 전원 공급이 이루어져 폴은 다시 자기력을 아마추어에

작용하게 된다.

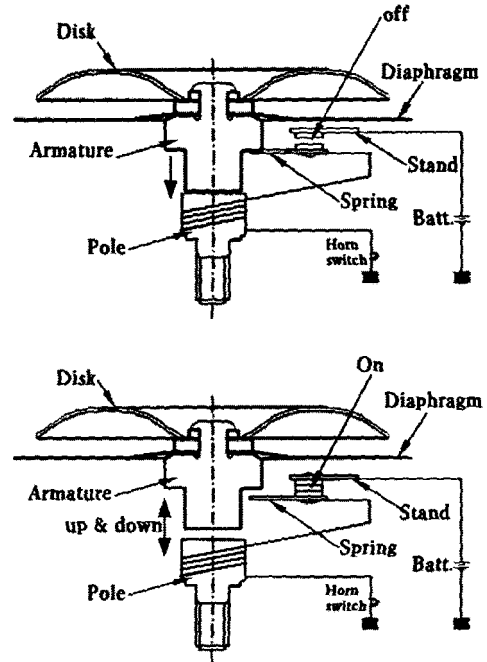


그림 2. 디스크 타입 경음기의 작동 원리

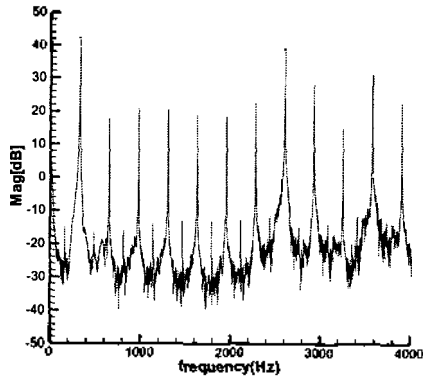
이러한 일련의 과정을 반복함으로써 진동판이 진동하게 되는데 이때 진동의 주기는 진동판의 기계적 특성, 즉 진동판의 강성(stiffness)과 진동판에 하중을 주는 요인인 방사판, 아마추어와 이것에 부착된 부속품의 질량 등의 기계적인 요인과 더불어 전자기적인 힘에 영향을 주는 공급되는 전력, 부품의 자기적인 성질 등에 의해 복합적으로 결정된다.

### 2.2 경음기의 진동 소음 특성

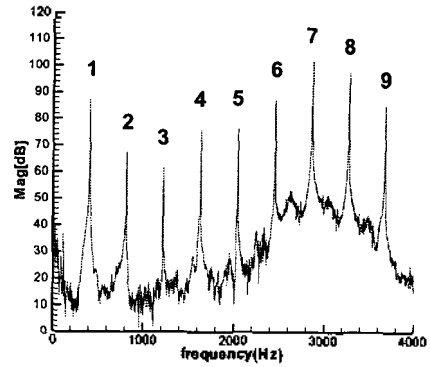
경음기의 소음 진동 특성을 파악하기 위해서는 개별 부품의 특성과 전체 조립품의 특성을 따로 비교할 필요가 있다. 하지만 여기서는 전체 조립품의 특성만을 언급하고 넘어가기로 하겠다.

경음기의 진동 특성을 파악하기 위하여 PCB type M353B15 가속도계를 경음기의 방사판에 부착하여 작동시켰다. 또한 방사판의 영향을 살펴보기 위하여 방사판을 제거한 상태로 진동판에 가속도계를 부착하여 가속도 특성도 함께 살펴보았다.

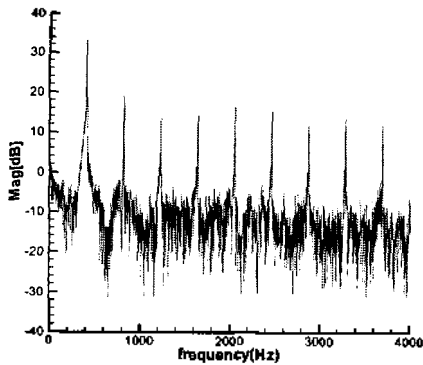
그림 3에 나타난 가속도신호를 살펴보면 기본주파수는 앞서 언급한 기계적인 힘들과 전자기적인 힘들의 균형에 의해 결정되는 경음기의 기본 동작주기와 연관되어 있음을 알 수 있다. 이러한 기본주파수와 기본주파수



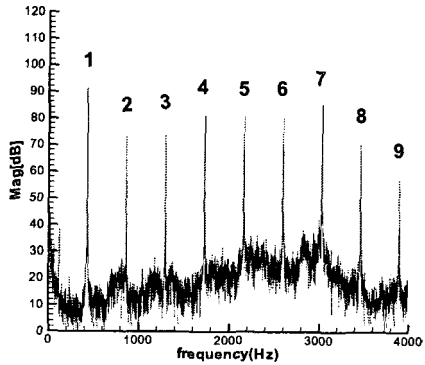
(a) 방사판이 부착된 경우



(a) 방사판이 부착된 경우



(b) 방사판이 제거된 경우



(b)방사판이 제거된 경우

그림 3. 디스크 타입 경음기의 진동 특성

그림 4. 디스크 타입 경음기의 소음 특성

의 하모닉스 성분이 지배적임을 알 수 있다. 여기서 기본주파수는 360Hz이다. 방사판이 있는 경우와 없는 경우의 진동 특성을 살펴보면 방사판이 없는 경우에는 7차와 8차의 하모닉스 성분이 상대적으로 작아짐을 알 수 있다.

경음기의 음향특성은 B&K free field type microphone 4190을 이용하여 측정하였고 특성을 살펴보면 진동특성의 기본주파수와 같은 주파수를 가지며 방사판이 있는 경우에는 역시 3kHz 근방에서 가장 큰 피크 값을 가짐을 알 수 있다. 방사판이 없는 경우에는 진동 특성과 마찬가지로 역시 3kHz 근방의 피크들이 작아짐을 알 수 있다. 이를 바탕으로 진동판이 경음기의 음향특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있으며 어떠한 방식으로 영향을 미치는지 뒤에서 설명하도록 하겠다.

### 2.3 경음기의 진동 소음 해석 모델

경음기의 음향해석을 위해서는 앞에서 얘기한 경음기의 신호음 발생 메커니즘에 입각하여 모델을 구성해야 한다. 경음기의 음향신호 발생 메커니즘은 작용하는 물리적인 힘과 매질에 따라서 크게 세 부분으로 나누어서 생각할 수 있다. 전자기적 힘이 작용하는 부분, 기계적 강제진동현상이 발생하는 부분, 진동이 방사, 산란, 반사현상의 영향을 받으면서 음장으로 발생하는 부분으로 나누어진다.

전자기적 힘이 작용하는 부분은 아마추어의 운동과 관련되어 있다. 아마추어를 움직이는 힘은 전자기적 외력과 기계적인 절량, 탄성에 의한 복원력이 있다. 전자기적 외력은 전류가 흘러 코일과 폴(pole)을 자화시켜 아마추어를 아래쪽으로 당기는 힘인데 이것은 전류의 세기와 아마추어와 폴의 거리에 따라서 달라진다.

기계적 강제진동현상이 발생하는 부분은 아마추어에

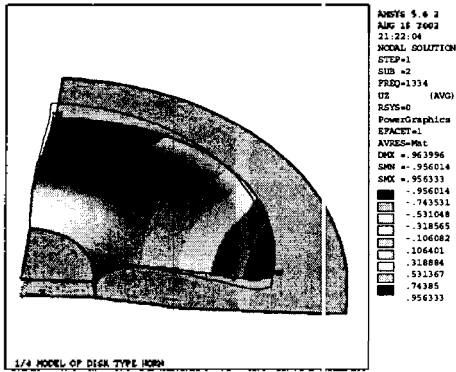


그림 5. 경음기의 FEM 해석 모델

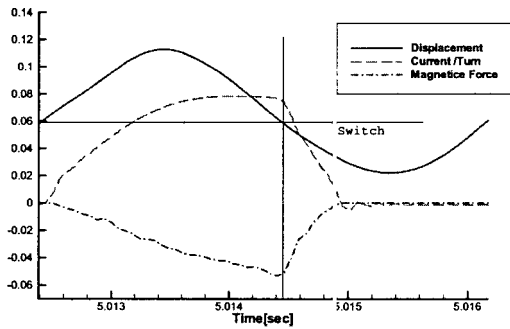


그림 6. 스위치 개폐에 의한 변위(자기력) 변화

작용하는 전자기적 힘에 의해 진동판과 방사판의 각 부분들이 진동하는 것을 의미한다. 이러한 진동은 운동하는 진동판과 방사판, 아마추어의 질량(mass)와 강성(stiffness)과 외력에 의해서 결정된다.

음장의 발생은 경음기표면의 진동이 표면주위의 공기에 전파되어 경음기 방사판과 산란 반사되면서 음장이 발생되는 것을 의미한다. 경음기 표면의 속도성분을 입력 값으로 하여 외부의 지점에서 음압을 계산하게 된다.

위에서 세부분으로 나눈 발생 메커니즘을 순서대로 풀어야 하지만 전기적 힘과 기계적인 강제진동현상은 서로 커플링되어 있다. 전자기적 힘은 앞서 말한 바와 같이 풀과 아마추어와의 거리와 전류의 세기에 의해서 결정되는데 풀과 아마추어의 거리는 기계적인 강제진동 해석의 해이고, 전류의 세기는 아마추어의 운동에 의해 스위치가 눌러질 때 스위치가 끊어지면서 코일의 인덕턴스에 의해서 지수 적으로 감소하게 된다. 또한 스위치에 달린 스프링에 의한 복원력이 작음하므로 정확히 아마추어에 작용하는 힘과 위치를 결정하기 위해서는 전

자

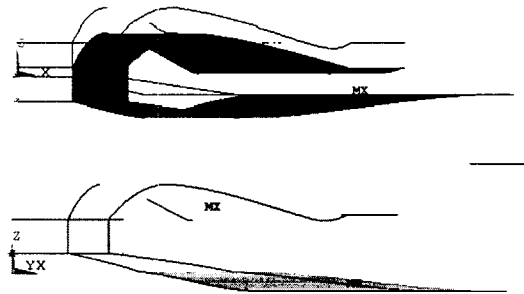


그림 7. 1차 공진모드(330Hz)

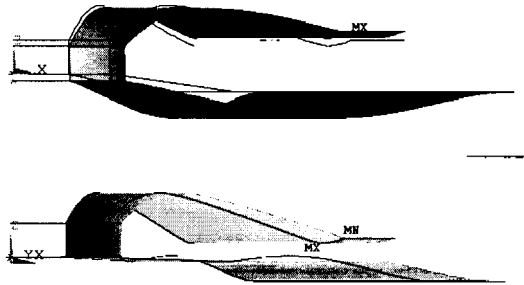


그림 8. 9차 하모닉스 (2964Hz)

기계-기계적 모델을 만들어서 동시에 해야 하지만 문제의 복잡도가 너무 크게 증가되고 적절한 해석 틀이 없는 관계로 거의 불가능하다.

따라서 아마추어에 작용하는 전자기적인 외력과 스위치에 연결된 스프링에 의한 복원력을 따로 해석하고, 기계적인 강제진동은 주어진 힘에 대한 변위를 구하는 해석으로 하기로 하고 여기서 나온 해석결과를 음장해석에 입력값으로 대입해 혼의 음장에 영향을 미치는 요소들을 분석하기로 한다.

ANSYS에서의 FEM 해석을 위한 모델은 진동판과 방사판은 메쉬로 나누었고 와셔 등의 부분은 구조진동과 음장해석에서는 형상을 그대로 넣을 경우 메쉬의 수가 많아지고 해석이 어려워지는 면이 있으므로 그에 해당하는 질량을 고려하였다. 소음이 전파되는 매질인 공기와 접촉하는 부분만 같은 정확한 형상을 가지도록 하였다. 해석하는 부분은 케이스에 의해 고정되어 아마추어의 운동에 의해 움직이는 진동판과 방사판과 거기에 붙어 있는 와셔 볼트. 아마추어만을 고려하게 된다. x축 y축 대칭을 이용하여 전체 형상의 1/4만을 풀고, 진동판의 가장자리는 고정되어 있는 것으로 가정하였다. 또한 와셔에 붙어있는 진동판의 부분은 아마추어와도

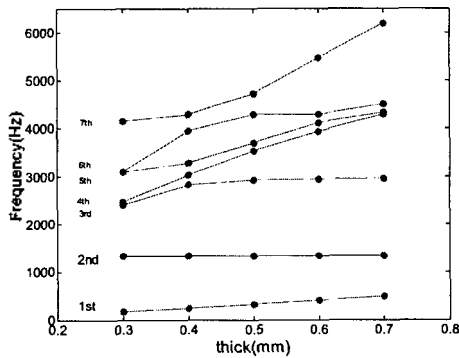


그림 9. 진동판의 두께 변화에 따른 공진주파수 변화

연결되어 아래위로 함께 움직이므로 강제조건을 적용하여, 모든 부분이 동일한 변위를 가지도록 경계조건을 주었다.

앞서 설명한 바와 같이 코일에 의한 전자기력이 아마추어의 움직임을 유발하고 이 운동이 다시 스위치의 개폐를 결정하게 되는데 여기서 코일에 흐르는 전류의 움직임과 아마추어의 변위를 해석한 결과가 그림 6이다.

그림 7과 그림 8을 살펴보면 1차 공진모드에서는 방사판이 상하방향으로만 움직이며, 진동판이 구부러지면서 아래위로 움직이는 단순한 모습을 보인다. 반면, 9차 하모닉스에 해당하는 경우를 살펴보면 진동판 중심에서 위쪽 변위는 상대적으로 작으며 방사판 가장자리를 중심으로 변위가 크고, 방사판의 중심과 진동판은 이와는 반대 방향으로 움직이는 모습을 보여준다. 다른 하모닉스 성분들은 진동판과 방사판의 움직이는 방향이 같으며, 진동판의 전체적인 변위의 방향이 일치하던 것에 비해 진동판에서 분할진동을 보이며 진동판과 방사판의 위상이 다른 것을 확인할 수 있었다. 이러한 점을 생각하면 3kHz 부근에서의 높은 방사음압을 보이는 그림 4의 결과는 방사판의 모드에 의한 것임을 알 수 있다.

진동특성 해석을 기반으로 SYSNOISE에서 경음기의 음향 특성을 해석하였고, 대체적인 경향이 일치함을 확인하였다.

#### 2.4 경음기의 성능인자

앞서의 해석모델을 사용하여 경음기의 진동판과 방사판을 여러 가지 형상을 변화시켜 가면서 경음기의 주파수 특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 진동판의 경우 1차 공진주파수와 경음기의 기본주파수와 일치시켜 효율을 최대화하기 때문에 1차 공진주파수만을 살펴게 된다.

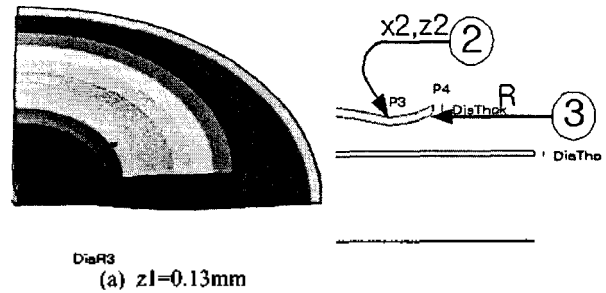
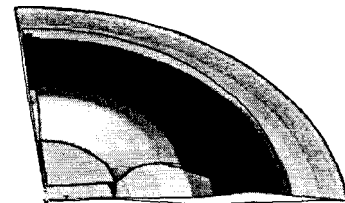


그림 10. 방사판의 형상인자



(c)  $z_1=0.43\text{mm}$

그림 11.  $z_1$ 에 따른 3차 공진모드의 변화

두께를 증가시킬수록 공진주파수가 증가함을 알 수 있다.

방사판의 경우 형상이 곡면으로 이루어져 있으므로 가장 위치상으로 높은 점과 위치상으로 가장 낮은 점과 제일 가장자리의 점을 기준으로 spline을 만들어 형상을 결정하게 된다. 따라서 그림 10에서의 점①, 점②, 점③의 선택에 따라 많은 변화가 가능하다. 그림 11은 점①의 높이 변화에 따른 3차 공진모드의 변화를 살펴본 것으로 이러한 모드형상의 최대변위 변화뿐만 아니라 주파수의 변화까지 수반하게 된다.

진동판의 변화는 기본주파수의 변화를 불러 올 수 있으며 방사판의 형상 변화는 주된 음압을 방사하는 주파수 대역에 대한 변화를 가능하게 할 것이므로 이러한 지식을 기반으로 경음기의 주파수 특성에 대한 디자인을

시도할 수 있을 것이며 본 연구의 경음기 해석모델을 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

### 3. 결론

자동차에서 중요한 경보기능을 하는 경음기의 음향특성을 향상시키기 위해서는 경음기의 진동 및 음향 특성을 충분히 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 자동차용 디스크타입 경음기의 음향특성과 진동특성을 측정하기 위하여 실험을 수행하였으며 이로 바탕으로 경음기를 해석하기 위한 모델로 전자기적 해석모델, 진동해석 모델, 음장해석 모델을 구성하여 경음기의 음장 및 진동을 연구하였다.

경음기의 진동특성과 음향특성의 측정에서는 각 부분별 전체별로 나누어서 측정하였으며 디스크타입 경음기의 특징이라 할 수 있는 2.5kHz ~ 3.5kHz 대역의 높은 음압레벨은 방사관에 기인한다는 것을 밝혔다.

경음기의 해석에서는 전류의 단락에 의해 자화된 폴이 아마추어와 연결된 진동판에 미치는 힘을 해석할 수 있는 모델을 수립하였다. 또한 경음기의 음압신호 발생을 결정하는 진동해석모델을 수립하였으며 주파수영역 해석을 통하여 가진주파수의 배차에 해당하는 각 주파수에서 경음기의 진동형상이 어떻게 효율적인 음압방사와 관계되는지를 설명하였다. 이를 바탕으로 경음기의 진동판과 방사관의 형상을 바꾸었을 때 경음기의 진동특성이 바뀌는 것을 설명하였다.

### 참고문헌

1. F. Fahy, Sound and Structural Vibration Radiation, Transmission and Resonance, Academic Press, London, 1985
2. L.E. Kinsler and A.R. Frey, Fundamentals of Acoustics, 2ed., John Wiley & Sons, New York, 1962
3. 모종운, 차항병, 자동차용 쉘형 경음기의 개발, 한국소음진동공학회지, 2권 2호, 1992년
4. M.C. Junger and D. Feit, Sound, Structures, and Their Interaction, MIT Press, Cambridge, 1972