

공명 원리를 이용한 흡음벽에 관한 연구

유 영 훈*·이 종 근**

*목포해양대학교 기관시스템공학부 교수 **목포해양대학교 대학원

A Study on the Acoustic Absorption Panel by the Theory of Resonator

Young-Hun Yu*·Jong Keun Yi**

*, **Department of Marine engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 사람의 청각에 영향을 미치는 구역에 설치된 가전용품 및 기계에서 발생하는 소음을 저감하는 것은 중요하다. 특히 선박의 기관실에서 발생하는 소음은 저감이 불가능한 것으로 알려져 개선의 정도가 미미할 뿐 아니라 작업자의 청력손실이 발생하는 최악의 작업환경에 놓여져 있는 실정이다. 그러나 최근에 발전되고 있는 모니터링설비와 지능제어시스템을 이용하면 기관실의 주 엔진을 개방해 둘 필요가 없어지게 되었다. 따라서 주 엔진의 주변을 흡음 및 차음벽으로 차단하여 기관실의 소음을 개선할 수 있는 계기가 되었다. 본 연구에서는 소음을 흡수할 수 있는 차음벽의 성능을 높이기 위해 헬름홀츠 공명기의 원리를 적용한 흡음벽에 대하여 연구하였다.

핵심용어 : 선박기관실소음, 청력손실, 작업환경, 헬름홀츠공명기, 차음벽

ABSTRACT : It is very important to remove the noise levels made by an electric home appliance and machines they are located in the auditory region. The noise of ship engine room is known as it is not easy to lower so the working environment of the engine room is the worst condition because the improvement for the noise seemed insignificant and the hearing loss is occurred. As the monitoring equipment and an intelligent control system are improved rapidly the main engine of the ship can be enclosed with an acoustic barrier and any other absorbtion equipment. In this study, the sound absorbtion barrier is experimentally researched by change the volume and the length of the neck for the Helmholtz resonator as the resonator can absorb the noise effectively.

KEY WORDS : Ship Engine Room Noise, Hearing Loss, Working Environment, Helmholtz Resonator, Noise Reduction Barrier

1. 서 론

선박에는 선박의 운용에 필요한 각종 동력을 만들기 위해 기관실이 있으며, 선박의 기관실에는 주 엔진(main engine)이 중앙부에 설치되고 주변에는 발전기를 비롯한 각종 보조 기계가 설치되어져 있다. 선박에 사용되는 주 엔진은 통상 디젤엔진으로 엔진의 운전효율을 높이기 위해서 폭발의 순서가 정해져 있다. 따라서 선박의 기관실에는 디젤엔진의 연속적인 폭발과정에서 기인하는 강력한 소음이 발생하게 된다. 그리고 기관실의 주변에는 발전기를 비롯한 각종 보조기계가 설치되어 있으나, 이것들로부터 발생하는 각종 소음은 주 엔진의 소음레벨에 비교하면 매우 낮다. 따라서 선박의 기관실에는 엔진을 부분 또는 완전 밀폐하는 방법으로 주 엔진에서 발생하는 소음을 효과적으로 차단할 필요가 있다.

소음원을 차폐하는 방법을 이용하고 있는 대표적인 기계는

자동차의 엔진룸이다. 자동차의 경우 차실내의 정숙성이 가치를 결정하는 척도가 되므로 차음성능을 높이기 위한 연구가 지속되고 있다. 선박의 경우는 초고속여객선에서 기관실의 소음이 여객실로 전달되는 것을 방지할 목적으로 기관실의 벽면에 흡음재료를 부착하여 사용하고 있으나 차음성능을 보다 개선할 필요가 있다.

선박의 주 엔진에서 발생하는 소음은 광대역 소음과 함께 일정하게 회전하는 기관의 운동에 기인하는 순음성 소음을 갖는다. 이러한 순음성 소음은 정상속도에서 운항할 때의 엔진의 회전속도에 해당한다. 따라서 이러한 순음성의 소음을 효과적으로 흡수하여 소멸시키거나 차단하기 위해 헬름홀츠 공명기(Helmholtz Resonator)를 사용하여 기관실의 주 엔진에서 발생하는 소음을 차폐하기 위한 방법을 연구제안할 필요가 요구된다. 헬름홀츠 공명기는 특정 주파수의 소음을 소멸 및 저감할 수 있는 소음제어요소의 하나로, 방음벽 및 차음벽 등 실제 소음문제에 적용하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다. (이와 김, 2002). 최근에는 정확한 공명주파수 계산이나 공명기배열을 이용한 판별형에 대한 연구가 계속되고 있다. (서와 김, 2004),

*대표저자 : 종신회원, yuyh@mmu.ac.kr, 061)240-7103

**목포해양대학교 대학원 jklee0315@hotmail.com, 061)240-7103

(김과 김, 2005).

본 연구에서는 헬름홀츠 공명기의 흡음효과에 의한 차음성을 검증하기 위하여 공명기의 체적, 목길이 및 목의 위치를 변경할 수 있는 장치를 제작하여 효율 높은 공명기의 설계방법을 제안하여 차후 상선 및 내연기관 발전기와 같은 대형의 디젤 엔진을 운전하는 설비에 소음차단을 위한 차음벽으로 적용할 수 있도록 실험결과를 제안한다.

2. 헬름홀츠 공명기 이론

헬름홀츠 공명기는 Fig. 1과 같이 목의 체적에 비하여 상대적으로 큰 부피를 갖는 공동(Cavity)과 좁은 목(Neck)으로 이루어져 있는 음향기구를 일반적으로 말한다.

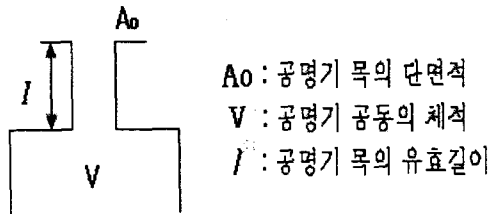


Fig. 1. Schematic of Helmholtz resonator.

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A_0}{VI}} \quad (1)$$

공명기의 공명현상은 임피던스가 최소가 될 때 일어남은 물리적으로 자명하여 공명기의 감쇄가 충분히 적은 경우, 공명기의 공명주파수는 식 (1)과 같이 얻어진다. (하와 김, 1994)

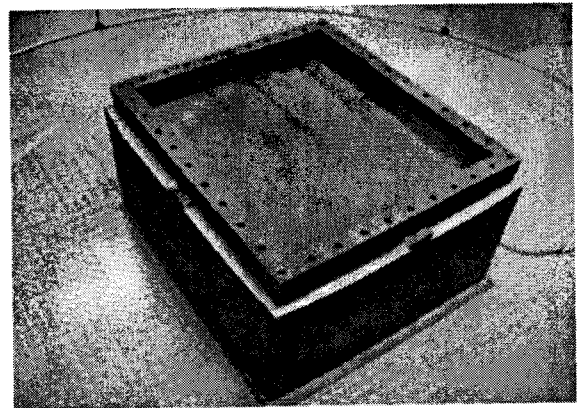
이때 f_r 은 공명주파수이고, c 는 음속이다. 식 (1)에 따르면, 공명주파수는 공명기의 구체적 형상에는 상관없이 오직 공명기를 이루고 있는 각 요소인 A_0, V, l 등에 의하여 결정되고 있다. 하지만 엄밀히 살펴보면 공동의 형상이나 치수에 따라 공동 내의 파동 운동은 상당히 다를 수 있고 공명기의 공명 주파수에 영향을 줄 수 있는 가능성이 있다. 즉 같은 체적을 갖는 공동이라 할지라도 공동이 공명기 목에 대하여 같은 선상에 위치하고 있는 경우에 유체입자의 운동은 다를 수 있을 것이다. Alster, Panton 등은 이러한 현상이 공명 주파수에 상당한 영향을 주고 있음을 밝힌 바 있다.(Alster, M., 1972, Pantan, R. L. and Miller, J. M., 1975) 따라서 본 연구에서는 공명기의 체적, 목의 길이 및 목의 위치 등을 변화시켜 이들의 영향에 의한 소음의 차단 효과를 실험적으로 조사하였다.

3. 실험장치 및 방법

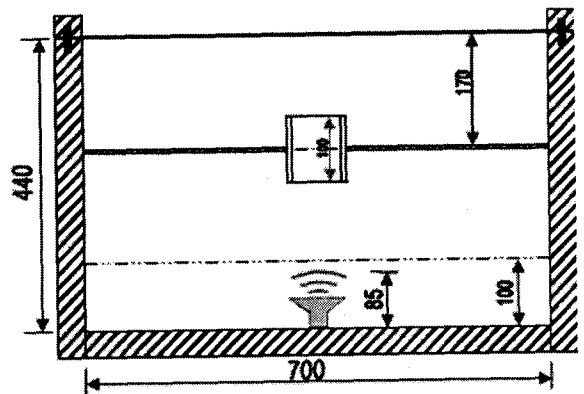
3.1 공명기의 구조

Fig. 2 과 같이 700*600*440mm(가로*세로*높이) Size의 부피를 가지는 직사면체 모델로 형상화 하였다. 외벽에 의한 차음 성능의 영향을 최소화 하기 위해 콘크리트로 제작하고, 그 직사면체 내부에 noise를 발생시키는 speaker를 설치하여 일정한 소음을 발생시켰다. 소음요소는 0-500 Hz 사이의 random noise 성분을 generator를 통하여 발생시켰다.

공명기는 두께 3mm 인 철판 가운데에 반지름 r인 hole을 만들어 100mm, 75mm, 50mm, 25mm, 의 목의 길이를 바꿀 수 있도록 장치를 구성하였다. 여기서 고려할 점은 공명기를 형성하고 있는 plate의 고유진동수 특성이 반영되면 안된다는 점이며, 공명기의 반지름 r과 체적 V는 헬름홀츠 공명기의 공명주파수 50 Hz를 기준으로 설계하였다.



(a) 외부 모양



(b) 내부 모양

Fig. 2. Photograph and schematic of Helmholtz resonator.

3.2 소음측정방법

공명기를 통하여 방출되는 음압의 세기를 음원 주변 일정거리에서 10 개의 Microphone을 사용하여 측정하였다. 음압을 이용한 음향파워측정법을 사용하였으며, Fig. 3 과 같이 소음측정장치를 설치 하였다. 반구의 반지름은 $R=1500\text{mm}$ 이며, 소음원 주변으로 일정한 거리로 반원을 구성하여 반원 중심을 향하게 microphone을 설치하고, OROS25 1/3 Octave Band Analyzer를 이용하여 10개소 주파수 분석을 하여 각부 음압의 평균치를 구하였다. (John E. K. Foreman, P. Eng., 1990)

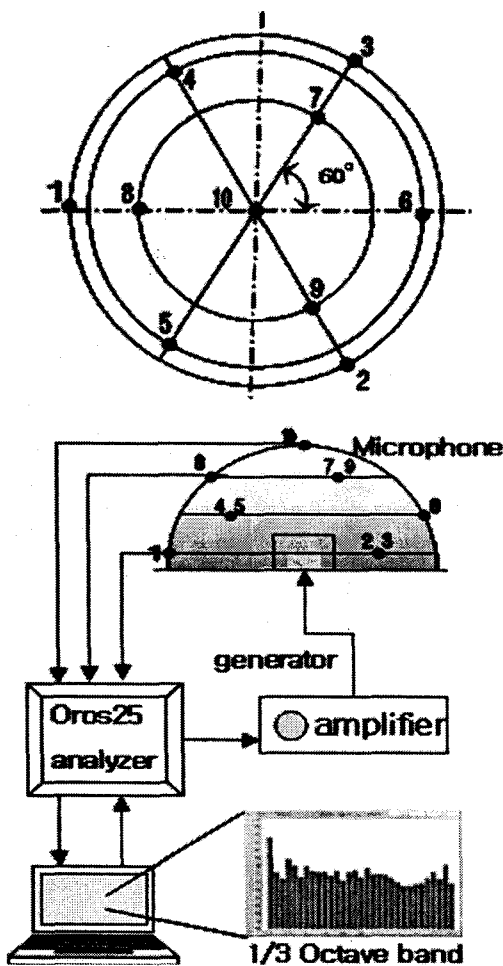


Fig. 3. Schematic diagram of testing apparatus.

3.3 실험방법

공명홀의 목의 반대편 공명기 바닥으로부터 170mm 상부 위치를 기준위치로 한다. 공명기의 hole을 형성하며 목이 있는 plate를 윗방향으로 25mm, 50mm, 또한 아랫방향으로 25mm,

50mm로 이동 시키며 hole의 크기와 위치를 바꿔가며 측정하였다. 또한 plate 의 hole의 개수에 따른 효과를 알아보기 위해 Fig. 4. 와 같이 1 hole 과 4 hole을 비교 하였다. 이때 4 hole의 hole의 면적의 합은 1 hole 과 같다. 목의 size는 기준위치에서 50Hz 대역에서 효과를 볼수 있도록 1 hole 의 반지름 $r = 62.5\text{mm}$, 4 hole의 반지름 $r'=31.0\text{mm}$ 를 가지는 목을 사용하였다. 1 hole 은 plate의 중심부분에 위치하였고, 4 hole은 plate를 정확히 4등분 하여 각 영역의 중심부분에 위치하도록 한다. OROS25 analyzer program을 통해 0Hz-500Hz 성분 Random noise를 amp로 증폭을 시켜 직육면체 중심부에서 상부로 향하게 발생시켰다. 공명기를 통한 음압이 동시에 10개의 각각의 microphone을 통해 다시 OROS25 analyzer 로 입력된다. 이렇게 입력된 신호는 1/3 octave 분석결과로서 보인다.

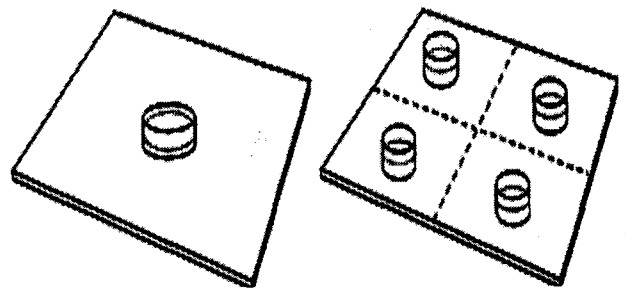


Fig. 4. schematic of 1hole plate and 4hole plate.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 1 hole 과 4 hole의 경우

목의 길이가 100mm인 hole을 이용하여 단면적은 일정하지만 목의 개수를 1개 혹은 4개로 구분하여 실험하였다. 즉 1개의 단면적을 1/4 단면적인 4개의 hole을 비교한 결과를 Fig.5.에 보인다. 그림에서 group 1은 공명기의 체적이 가장 크고 hole이 전부 공명홀 안쪽으로 함몰되었을 경우이며 점차적으로 hole이 공명홀 밖으로 돌출되어지면서 group 5에서는 공명기의 hole이 전부 돌출되었을 때를 나타낸다.

1 hole 일때는 hole의 위치에 상관없이 차이값이 3dB 이상 큰 효과를 나타내고 있으며 4 hole은 감소효과는 보이지만 1dB 이하의 미묘한 효과를 보인다. 특이한 점은 마지막 5group, 즉 전부 돌출되었을 때는 1 hole 이나 4 hole 모두 큰 효과는 발휘하지 못하고 있는 것으로 보이며, 이 영향은 speaker 상부와 hole이 위치적으로 매우 가까워져 있어 공명기의 역할을 제대로 하지 못하여 낮은 효과를 나타내는 것으로 사료된다.

여기서 나타나는 Y축의 소음저감효과의 수치는 공명기 모델을 적용하기 전 장치의 값과의 차이값이며, 특히 차이가 가장

심한 20Hz - 50Hz 사이의 1/3 band analyzer 값 20Hz, 25Hz, 31.5Hz, 40Hz, 50Hz 성분 5개를 합하여 비교한 값이다.

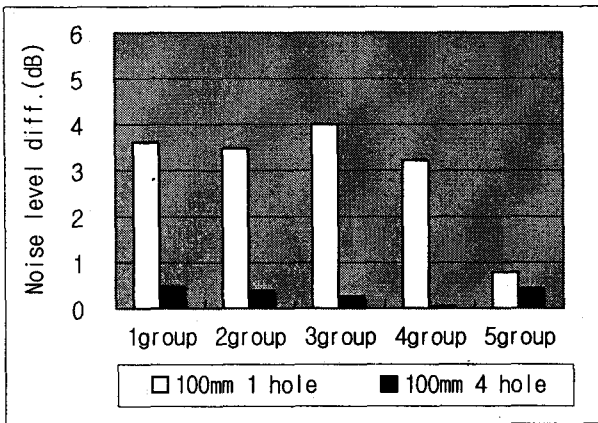


Fig. 5. diagram of compare 100mm 1hole with 4 hole.

4.2 동일 체적일때 hole의 길이변화

4 hole 보다는 1 hole 이 상대적으로 효과가 좋은 것은 상기의 결과에서 알았다. 소음저감효과가 좋은 1 hole 공명홀을 이용하여 체적이 동일한 가운데 hole의 길이변화에 따라 보이는 현상을 보았다. 공명기의 높이가 220mm 인 경우와 120mm인 경우에 hole의 길이를 각각 100mm, 75mm, 50mm, 25mm, 또한 3mm(hole을 넣지 않는 경우)로 변화한 경우 값을 비교 하였다. hole의 길이는 변화하지만 공명홀과 접하는 부분은 hole의 가운데 부분으로 하였다. Fig. 6. 과 같이 전체적인 성향은 hole의 길이와는 상관없이 소음저감효과가 있는 것으로 나타나며, 특히 공명기의 높이가 220mm일때는 Hole의 길이가 길수록 더 큰 효과를 보이고 있다. 공명기의 높이가 120 일때는 hole의 길이와는 상관없이 평균 2 dB 정도의 균일한 저감효과를 보이고 있다.

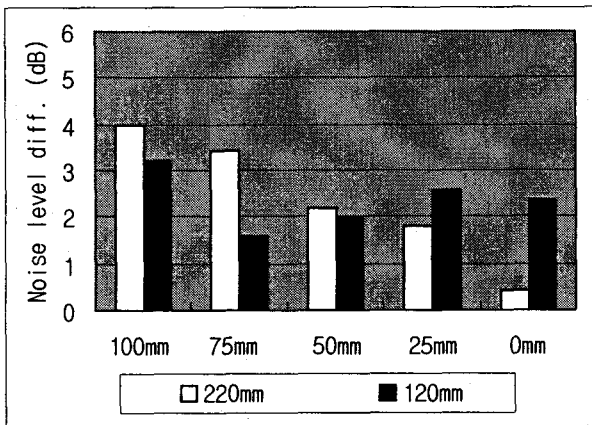


Fig. 6. Noise levels which hole length 220mm or 120mm.

4.3 동일 체적일때 hole의 위치변화

공명홀이 동일체적일 때 hole의 길이는 일정하지만 위치가 변화할때를 비교 분석하였다. 100mm 길이의 hole을 이용하여 상하 25mm, 50mm 만큼 움직여 측정하였다. Fig. 7. 에서 보는 것과 같이 위치에 상관없이 모두 양호한 저감효과를 보이고 있다. 여기서 group 1 은 hole 의 위치가 모두 함몰된 상태이며 25mm 씩 차츰 돌출되어 group 3 위치에서는 가운데 위치를 나타내며 group 5는 완전히 돌출된 상태이다. group 3 에서는 체적의 변화에 상관없이 모두 다 좋은 효과를 보이고 있다. 하지만 체적이 가장 작을때인 group 1, 2 와 중간체적일 때 4 group 과 체적이 가장 작을때인 5 group 일 때는 다른 조건일 때 보다 효과가 상대적으로 많이 떨어짐을 볼수 있다.

한편 우리가 설계한 공명주파수 50Hz를 이루는 체적 170mm 에서는 목의 위치가 1 group 에서 돌출형이 되어가는 5 group 까지 점차적으로 효과가 좋아지는 경향을 보인다.

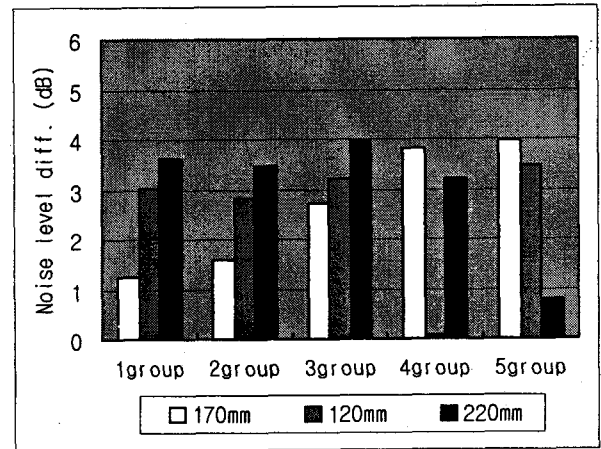


Fig. 7. Sound levels which hole position.

4. 결론

헬름홀쯔 공명기의 hole의 개수, hole의 길이, hole의 위치를 변화시키며 영향을 받는 주파수 범위를 비교, 분석한 결과 다음과 같은 몇가지의 결론을 얻을 수 있다.

1. 하나의 공명홀에서는 hole의 개수는 여러개 보다는 한개의 개수일때 저감효과가 좋음을 알수 있다.
2. 공명홀의 체적이 같을때는 목의 길이가 길수록 좋은 효과를 나타냄을 알수 있다.
3. 공명홀의 체적이 같을때 hole의 위치는 공명홀 외부로 돌출이 많이 될 수록 좋음을 알수 있었다.

이와같이 결론을 토대로 공명기의 모델을 형상화 함에 있어, 기관구역에서의 차음벽에 적용을 하면 기기 소음제어 뿐만 아니라 부피가 작은 벽면재료를 이용함으로 기관구역에서의 공간활용도도 높아질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이준신, 김태룡, 2002, "음향공명 방음벽 연구", 한국소음진동공학회논문집, Vol.12, No.6, pp. 413-419
- [2] 서상현, 김양한, 2004, "공명기 배열을 이용한 소음기의 음향학적특성", 한국소음진동공학회논문집, Vol.14, No.10, pp 975-982
- [3] 김상렬, 김양한, 2005, "저주파 흡음을 위한 헬름홀츠 공명기 배열형 패널", 한국소음진동공학회논문집, Vol.15, No.8, pp 924-930
- [4] 하상태, 김양한. (1994), "1자유도 등가 진동계로 이해하는 헬름홀츠 공명기 특성의 한계점과 응용" 한국소음진동공학회지, 제4권, 제2호, pp.210.
- [5] Alster, M.(1972) "Improved Calculation of Resonant Frequencies of Helmholtz resonators," Journal of Sound and Vibration 24(1), pp.63-85.
- [6] Panton, R. L. and Miller, J. M.(1975) "Resonant Frequencies of Cylindrical Helmholtz Resonators", Journal of the Acoustical Society of America 57, pp. 1533-1535.
- [7] John E. K. Foreman, P. Eng. (1990) "Sound analysis and Noise control ", pp. 77-79.