

코어공명을 이용한 허니콤패널의 흡음을 개선에 관한 연구

A study on the improvement of sound absorption coefficient of an honeycomb panel by the core resonance

유 영 훈
Y. H. Yu

(접수일 : 2008년 7월 17일, 수정일 : 2008년 8월 5일, 채택확정 : 2008년 8월 12일)

Key Words : Honeycomb Panel (허니콤패널), Core Resonator (코어 공명기), Resonance Frequency (공명주파수), Noise Absorption Wall (흡음벽), Normal Incident Absorption Coefficient (수직입사 흡음율), Lightweight Panel(경량화 패널)

Abstract : Honeycomb panel has a constructive advantage because it is constructed with a honeycomb core, so it has relatively higher strength ratio to weight. Therefore honeycomb panel has been used as the light weight panels in the high-speed railway technology and high-speed ship like as cruise yachts. Also it has been used in the aircraft and aerospace industry as a structural panel because light weight structure is indispensable in that field of industry. Recently, the honeycomb panel is embossed in the viewpoints of high oil prices as the lightweight panel of the transport machine, however the sound insulation capacity of the honeycomb panel is poorer than those of uniform and another sandwich panels. In this paper a method to improving the sound absorption coefficient of a honeycomb panel is studied by using the Helmholtz resonator. The sound absorption coefficients for some kinds of honeycomb cores are demonstrated by the normal incident absorption coefficient method.

1. 서 론

허니콤패널은 허니콤 형상의 중간층을 갖는 샌드위치형상의 패널로서 중량에 비교해서 높은 강성을 얻을 수 있는 구조적인 장점을 갖고 있다. 따라서 허니콤패널은 고속철도에서 차량의 고속도를 얻기 위한 경량화 패널로 다양하게 적용되고 있으며¹⁾, 특히 알루미늄으로 제작된 허니콤패널은 경량화뿐만 아니라 피로저항성 및 우수한 에너지흡수력으로 인하여 내화구조용 패널로 이용되고 있다. 또한 경량화가 필수인 항공기 및 우주항공분야에서는 오래 전부터 구조용 패널로 사용되어왔으며, 선박에서도 고속 운항용 여객선 및 크루즈선(cruise ship)의 경량화를 위한 구조용 패널로 사용되고 있다²⁾.

최근에는 고유가의 관점에서 허니콤패널이 자동차를 비롯한 각종의 수송용 기계에서 연료 소비율을 개선하기 위한 경량화 패널로써 부각되고 있다. 그러나 허니콤패널은 가벼운 것에 비교해서 높은 강성을

얻을 수 있는 반면에, 음향 및 소음을 차단하는 성능에 있어서는 다른 샌드위치 형상의 구조물에 비해 떨어지기 때문에 투과손실의 개선이 요망된다.

투과손실을 개선하기 위한 방법의 하나로 허니콤패널을 통과하는 특정주파수의 음원에너지를 흡수하는 방법을 사용할 수 있다. 이것은 패널을 통과하는 음원을 공명현상으로 소멸시키는 방법이다. 최근에는 위성 발사체의 추진기관에서 발생하는 특정주파수 성분의 음향모드를 제어 하기 위한 공명기구조의 배열에 대한 연구가 있다³⁾.

본 연구에서는 공명구조를 갖는 허니콤패널에 대한 흡음성능을 비교하기 위하여 허니콤 코어요소의 치수를 변경하여 효과적인 구조를 조사하였다. 허니콤패널의 흡음성능을 측정하기 위한 방법으로 수직입사 흡음율⁶⁾(normal incident absorption coefficient)이 사용된다. 허니콤패널을 구성하는 공명기의 종류는 동일한 체적을 갖는 조건에서 코어의 길이 및 높이를 변경하여 흡음성능의 변화를 조사하였다. 또한 동일 구조에서 공명구멍의 직경(면적)을 증가시켜 공명주파수 및 흡음율의 변화를 비교, 조사하였다.

유영훈(책임저자) : 목포해양대학교 기관시스템공학부
E-mail : yuyh@mmu.ac.kr, Tel : 061-240-72185

2. 허니콤패널의 구조와 흡음율

2.1 허니콤패널의 공명구조

허니콤패널은 3층 판의 구조로써 2장의 평판 사이에 벌집모양으로 구성된 정6각형 모양의 코어를 삽입하여 접합되어진 샌드위치 패널의 일종이다. 실험을 위해 제작되어진 허니콤패널의 형상을 Fig. 1에 보인다. Fig. 1(a)는 코어의 두께가 T 인 허니콤패널의 단면형상을 보인다. Fig. 1(b)는 중간층을 형성하는 변의 길이가 L 인 정육각형상의 코어요소를 나타낸다. 패널의 중간층을 형성하는 허니콤 요소는 전면부의 면판(face plate)에 적당한 공명구멍을 제작하여 공명기의 역할을 할 수 있도록 제작되어진다.

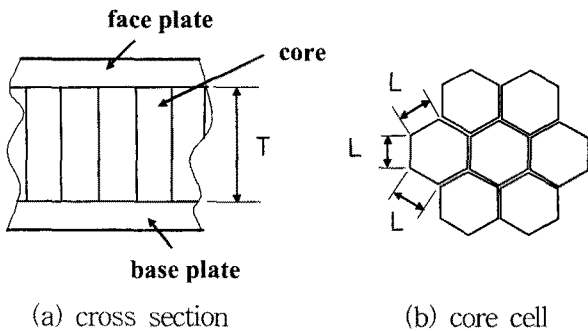


Fig. 1 Sectional diagram of honeycomb panel and core cell

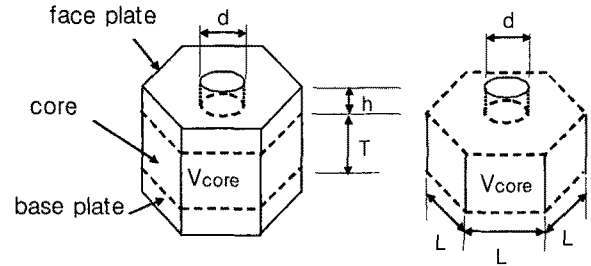
2.2 공명주파수(Resonance frequency)

공명기란 공동과 좁은 목으로 이루어져 있는 음향기구로서 그 공명 주파수에서 높은 흡음성능을 가진다. 흡음은 공명기 목 부분에서 일어나는 점성마찰, 열전도 등에 의한 에너지손실로 발생한다. 이러한 특성은 임피던스 특성으로 나타나는데, 공명기 임피던스 특성은 목 부분에서의 감쇄나 목의 보정길이에 대한 불확실성으로 목의 형상이 달라지면 정확한 수학적 모델링이 어렵기 때문에 실험을 통하여 얻은 실험식을 보정하여 사용하게 된다.^{3,4)}

Fig. 2는 허니콤패널에서 공명기를 형성하는 구조만을 보인다. (a)는 두 판 사이에 형성되어진 공명기의 체적을 보인다. 공명기는 전면판(face plate)과 기초판(base plate)사이에서 형성되며 공명구조는 Fig. 2(b)와 같다. 이 때 공명기의 특성을 나타내는 공명주파수 f 는 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A_o}{(h + 0.7d) V_{core}}} \quad (1)$$

여기에서 c 는 음속, A_o 는 공명구멍의 면적, h 는 전면판의 두께, d 는 공명구멍의 직경, V_{core} 는 공명기의 체적을 나타낸다.



(a) honeycomb element (b) core resonator
Fig. 2 Honeycomb element and shape of the core resonator

2.3 수직입사 흡음율(Normal incident absorption coefficient)

흡음용 자재의 흡음성능을 측정하기 위한 방법으로 수직입사 흡음율(흡음계수라고도 함)이 사용된다⁶⁾. 수직입사 흡음율은 관내법(정재파법)을 이용하여 구할 수 있다. 관내법은 실험용관(tube)의 한 쪽 끝에 부착된 스피커에서 발생한 순음의 음원을 다른 끝부분에 설치된 흡음재료에 부딪혀 관내에 정재파가 생겨 음압의 고저가 발생하며, 이때 발생한 음압의 차이를 이용하여 흡음율을 구한다.

Fig. 3은 원통형 튜브를 이용한 수직입사 흡음율을 정의하기 위한 상세를 보인다. 실험용 튜브의 한 쪽 끝단에서 발생한 순음은 타단의 끝단에 부착되어져 있는 실험용 허니콤패널에 수직입사 하는 음압을 p_i 라 하면,

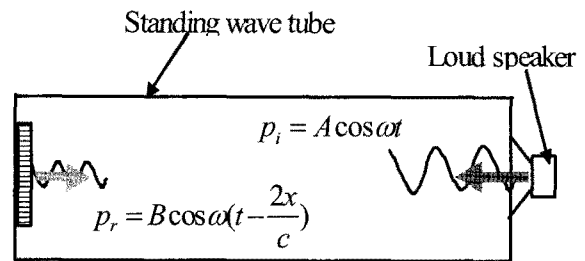


Fig. 3 Standing wave theory in a tube

$$p_i = A \cos \omega t \quad (2)$$

이다. 여기서 A 는 진폭크기 이고 ω 는 각주파수이다. 음원에 발생한 음압이 패널에 도착한 후 반사되는 음압을 p_r 이라면, 허니콤패널에서 x 만큼 떨어진

거리에서의 반사음압 p_r 은 다음 식과 같다.

$$p_r = B \cos \omega \left(t - \frac{2x}{c} \right) \quad (3)$$

따라서 관 내부에서는 수직입사 음압(p_i)과 반사음압(p_r)이 중첩(overlap)되어 진다. 즉, 중첩음압 p_o 는

$$\begin{aligned} p_o &= p_i + p_r \\ &= A \cos \omega t + B \cos \omega \left(t - \frac{2x}{c} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

로 된다.

중첩음압에 대한 정의는 Fig. 4에 보인다. 중첩음압의 최대음압은 $x = \lambda/2$ 인 곳에서 발생하며, 이 때 최대음압은 다음식과 같다.

$$p_{\max} = (A + B) \cos \omega t \quad (5)$$

그리고 중첩음압의 최소음압은 $x = \lambda/4$ 인 곳에서 발생하며, 이 때 최소 음압은

$$p_{\min} = (A - B) \cos \omega t \quad (6)$$

로 된다.

입사음파의 비율(n)은 튜브내부에서 발생하는 최소음압에 대한 최대음압의 비율로 정의 된다. 즉,

$$n = \frac{p_{\max}}{p_{\min}} = \frac{A + B}{A - B} \quad (7)$$

이다.

여기서 입사음파의 비율을 이용하여 허니콤패널의 흡음율(sound absorption coefficient) α 는 다음 식과 같이 정의 된다⁶⁾.

$$\alpha = \frac{4n}{(n+1)^2} \quad (8)$$

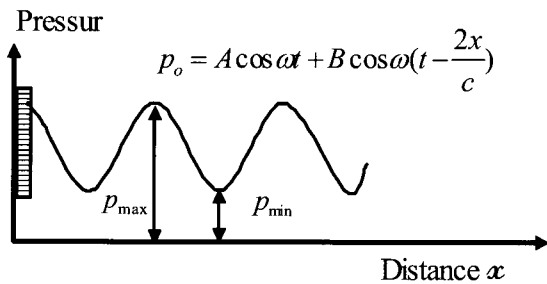


Fig. 4 Overlapped sound pressure levels in the experimental tube

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 허니콤패널의 설계 및 제작

실험에 사용된 허니콤패널의 형상을 Fig. 5에 보인다. 허니콤패널의 표면을 구성하는 전면판은 일정한 두께(5mm)의 아크릴판으로, 허니콤 코어(core) 및 기초판은 하드 보드지를 이용하여 구성하였다. Fig. 5의 (a), (b)는 각각 1개 및 3개의 요소로서 구성된 허니콤패널을 보이고, (c) 및 (d)는 7개 및 19개의 코어요소로써 구성되어진 실험용 허니콤패널을 보인다.

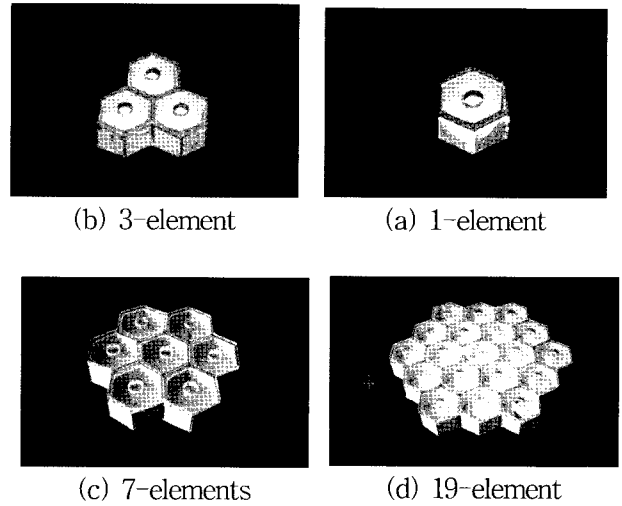


Fig. 5 Honeycomb panels made by the different elements of honeycomb core

Table 1 Dimensions of the honeycomb core and their theoretical resonance frequencies

| Specimen Group | Dimensions(mm) | | Resonance Frequency (Hz) |
|----------------|---------------------------|------------------|--------------------------|
| | Length(L) Thickness(T) | hole diameter(d) | |
| Group I | L=20mm T=20mm | 2 | 260 |
| | | 4 | 470 |
| | | 6 | 647 |
| | | 8 | 802 |
| | | 10 | 940 |
| Group II | L=24mm T=13.9mm | 2 | 260 |
| | | 4 | 470 |
| | | 6 | 647 |
| | | 8 | 802 |
| | | 10 | 940 |
| Group III | L=28mm T=10.2mm | 2 | 260 |
| | | 4 | 470 |
| | | 6 | 647 |
| | | 8 | 802 |
| | | 10 | 941 |
| Group IV | L=32mm T=7.8mm | 2 | 260 |
| | | 4 | 470 |
| | | 6 | 647 |
| | | 8 | 802 |
| | | 10 | 941 |

공명체적이 동일한 4개 Group의 허니콤패널 코어 공명기의 종류를 Table 1에 보인다. 코어 공명기는 동일한 구멍의 직경(hole diameter, d)에서 동일한 공명주파수를 갖게 되므로 흡음율의 비교가 용이하다. 공명구멍의 직경이 증가함에 따라 공명주파수의 변화를 비교할 수 있다. 공명체적이 동일한 공명기에서 공명구멍이 커짐에 따라 공명주파수가 동일하게 증가한다. Specimen Group II, III 및 IV는 Group I의 공명기 체적을 기준으로 코어길이 및 높이의 변화와 함께 공명구멍의 직경변화에 의한 공명주파수를 Table 1에 보인다.

3.2 실험장치

허니콤패널의 수직입사 흡음율을 측정하기 위한 실험장치를 Fig. 6에 보인다. 장치를 구성하는 실험용관(tube)은 길이 1m, 직경30mm의 아크릴튜브를 사용했다. 실험에서 사용한 실험용 관의 길이(l) 및 직경(D)에 대한 조건은 실험주파수의 파장(λ)에 대하여 실험조건($l > \lambda/4$, $D < 0.58\lambda$)을 만족하도록 구성하였다⁶⁾. 측정을 위한 마이크로폰은 스피커에서 발생하는 음원을 다른 끝부분에 설치된 흡음재료에 입사시킨 후 반사되어진 반사음압과 입사음압의 중첩 음압을 구할 수 있도록 설치되었다.

Fig. 6에서 허니콤패널로부터 중첩음압의 최소 음압발생 위치($\lambda/4$) 및 중첩음압의 최대 음압이 발생하는 위치($\lambda/2$)에 설치되어진 두 개의 마이크로폰 A(Ch.1), B(Ch.2)를 보인다.

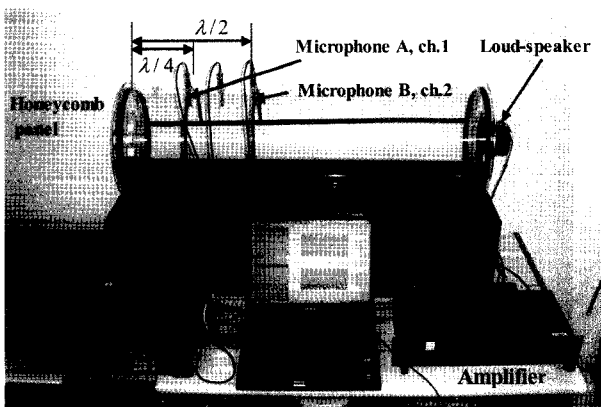


Fig. 6 Experimental apparatus to measure the sound absorption coefficient

3.3 실험방법

허니콤 패널의 흡음성능을 측정하기 위한 관내법은 실험용관(tube)의 한 쪽 끝에 부착된 스피커에서

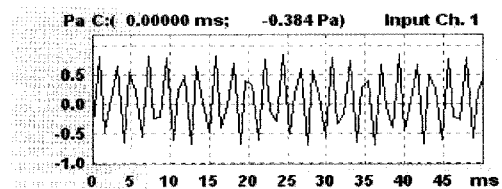
발생한 순음의 음원을 다른 끝부분에 설치된 허니콤패널에 부딪혀 관내부에서 중첩음압이 만들어지게 되어 음압의 고저가 발생한다. 발생한 음압의 고저는 허니콤패널로부터 특정 거리에 설치된 마이크로폰 A(Ch.1), 마이크로폰 B(Ch.2)에 의해 측정된다. 측정된 중첩 음압 파형은 다채널 분석기(Oros25-pc-pack)에 의해 분석된다. 스피커에서 발생하는 소음은 다채널 분석기의 신호발생기에서 발생한 신호가 amplifier를 통하여 입력된다.

4. 결과 및 고찰

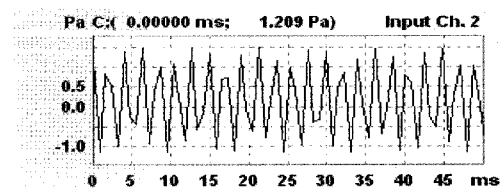
실험결과는 실험용 격자 내부에 설치된 스피커로부터 동일한 소음을 발생하는 조건에서 Fig. 6에서 보여주는 실험장치의 내부에 허니콤 패널형의 공명기를 부착한 다음 실험장치 내부에 설치된 마이크로폰으로부터 중첩음압을 측정하여 허니콤패널의 흡음효과를 비교 및 고찰한다.

4.1 수직입사 흡음율과 공명기 개수의 영향

Fig. 7은 실험용 튜브에 설치된 마이크로폰 A(Ch.1), B(Ch.2)에서 얻어진 중첩 최소음압(p_{min}) 및 최대음압(p_{max})의 측정 예를 보인다. 데이터 취득을 위한 시간 간격이 약 0.78 ms로써 470Hz의 주기시간(2.2 ms)에 비해 분할 간격이 충분하지 못하여 파형이 찌그러짐 현상을 보인다. 따라서 실험데이터를 이용한 스프라인보간법⁵⁾을 사용하여 정상파형에 대한 진폭 크기를 구하였다. 흡음계수는 중첩파형의 최대 및 최소진폭의 비로써 산출한다.



(a) microphone A, Ch.1, p_{min}



(b) microphone B, Ch.2, p_{max}

Fig. 7 Overlapped sound pressure waves

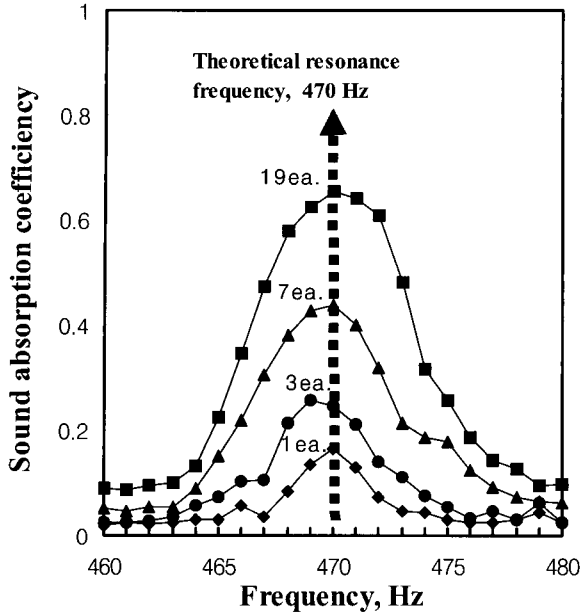


Fig. 8 Relative sound absorption coefficients for four kinds of honeycomb core

Fig. 8은 Specimen Group I가운데 흡의 공명구멍이 4mm인 경우, 코어 개수의 증가에 따른 흡음계수의 변화를 보인다. 이때 코어 공명기의 이론 공명주파수는 470Hz이며, 이론 공명주파수를 중심으로 1Hz 간격으로 상하 20Hz범위에 걸쳐 흡음율을 구한 결과이다. 실험에 의한 공명주파수는 469Hz 및 470Hz에서 발생함을 알 수 있다. 실험결과로부터 허니콤 코어의 개수가 많아질수록 최대치의 범위가 넓어지는 현상을 보이며, 이와 같은 결과는 코어 제작에서 발생하는 편차에 의한 것으로 다수의 코어 공명기가 결합되어진 시험편에서 공명주파수의 오차가 넓게 존재함을 보인다. 따라서 허니콤 패널의 흡음율은 실험결과로부터 최대값의 3개를 평균하여 구하였으며, 그럼으로부터 흡음율의 증가는 공명기의 개수에 비례하지 않음을 알 수 있다. 왜냐하면, 공명기 개수의 증가만으로 모든 것이 비례적인 조건으로 되지 않기 때문이다. 이 결과의 표시 및 비교는 Fig. 9에 보인다.

4.2 흡 직경의 변화와 수직입사 흡음율

동일한 방법으로 구하여진 모든 시험편에 대한 실험결과를 Fig. 9에 보인다. 전술한 Fig. 8의 흡음율은 Fig. 9-(a)의 공명직경 4 mm에 표시되어진다. Fig. 9-(b)의 경우, 공명구멍의 직경이 커질수록 흡음계수는 점차 증가함을 보이고 6mm인 때 최대값을 보인다 후 8, 10mm인 때는 오히려 작아짐을 알 수 있다. 이

러한 현상은 (c) 및 (d)에서도 유사하게 나타난다. 이것은 공명구멍의 직경이 커질수록 공명주파수가 증가하게 되어 높아진 공명주파수는 공명구멍의 직경 및 공명기구조와 상호연관을 갖으며, 가장 효과적인 경우가 있음을 보인다. 이와 같은 결과 허니콤의 구조가 넓은 형태로 되어짐에 따라 고주파수의 공명흡음에 효과적임을 알 수 있다.

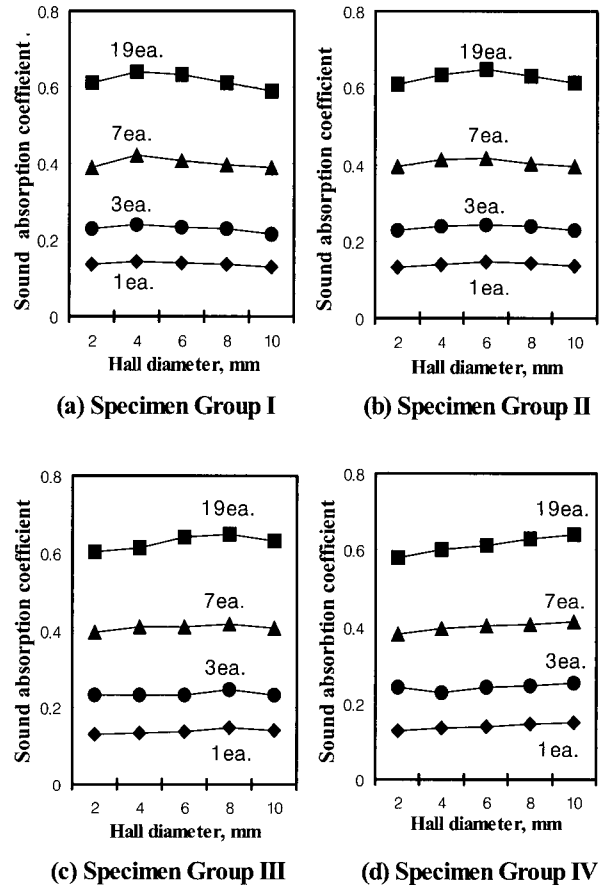


Fig. 9 Relative sound absorption coefficients for the specimen groups

4.3 동일 체적의 공명구조 및 구멍 직경의 변화

허니콤패널의 두께를 결정하기위한 코어 요소의 높이 및 공명구멍의 크기는 구조물의 강도와 연계된다. 더불어 허니콤 패널의 전면판에 제작되는 공명구멍의 직경은 공명 주파수의 결정과 흡음계수에 직접 연관되어진다.

Fig. 10은 동일체적의 허니콤 코어구조가 얇아지고 넓어져가는 형태로 구조가 변경되어짐에 따라 흡음계수의 차이를 비교한 것이다. Fig. 10-(a)는 공명구멍이 4mm로서 공명기의 공명주파수는 모두 470Hz인 경우이다. Fig. 10-(b)의 경우는 공명구멍이 10cm이며, 이 때 공명주파수는 940Hz이다.

참고 문헌

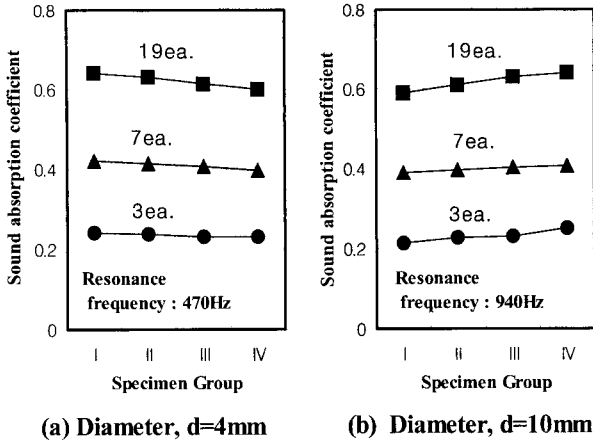


Fig. 10 Sound absorption coefficients relate to the hole diameter and shapes of the core

Fig. 10-(a)에서 흡음계수는 Group I의 경우 가장 높게 나타나며, 이러한 경향은 허니콤 코어의 개수에 무관하게 유사한 경향을 보인다. 즉, 동일 체적의 공명기를 높이 및 넓이를 조정하여 구조를 변경하는 경우, 공명기의 높이가 높고, 홀의 구멍이 작을수록 저주파수성분의 소음제어에 효과적임을 알 수 있다. Fig. 10-(b)는 홀 구멍이 10mm인 경우로 흡음율은 Group IV의 경우 가장 높게 나타난다. 이 현상은 Fig. 10-(a)과는 반대로 공명기의 구조가 얇아질수록 고주파 성분만의 파장이 유입이 용이하게 되어 고주파성분의 흡음에 효과적으로 되어진다.

5. 결 론

허니콤패널의 설계에 있어서 패널의 두께를 결정하기 위한 코어 요소의 높이의 결정 및 공명구멍의 크기는 구조물의 강도와 연계되므로 매우 중요하다. 본 연구에서 허니콤 요소의 크기, 요소의 개수, 공명직경을 변화시키며 소음의 흡음에 의한 성능을 실험적으로 조사하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 허니콤 코어의 공명주파수는 이론 공명주파수와 잘 일치 하였으며 허니콤 패널의 공명현상에 의한 흡음율을 측정 및 비교할 수 있다.
- 2) 동일 체적의 공명기를 높이 및 넓이를 조정하여 구조를 변경하는 경우, 공명기의 높이가 높고 넓이가 좁아질수록 저주파 소음제어에 효과적이다.
- 3) 공명기의 구조가 얇아지고 구멍이 넓어질수록 고주파 성분의 공명흡음에 효과적이다.
- 4) 흡음율의 증가는 허니콤 코어 개수의 증가에 비례하지 않는다.

1. 김석현, 박정철, 김종년, 2000, “철도차량용 알루미늄 압출재의 투과손실”, 한국소음진동공학회는 문집, 제10권, 제4호, pp. 662~668.
2. 배동명, 최철은, 2002, “알루미늄 허니콤 샌드위치 패널구조의 강도 및 진동특성”, 한국어업기술학회지, 제38권, 제2호, pp. 101~109.
3. 김상렬, 김양한, 2005, “저주파 흡음을 위한 헬름홀츠 공명기 배열형 패널”, 한국소음진동공학회는 문집, 제15권, 제8호, pp. 924~930.
4. L. E. Kinsler, A. R. Fery, A. B. Coppens and J. V. Sanders, 1982, “Fundamentals of Acoustics” John Wiley & Sons, pp. 225~228.
5. S. C. Chapra and R. P. Canale, 1988, Numerical methods for engineers, Mcgraw-Hill, pp. 387~398.
6. John E. K. Foreman, P. Eng., 1990, “Sound analysis and Noise control”, Van Nostrand Reinhold, pp. 146~148.