

고흡음성 목재의 흡음성능과 구조적 특징*¹

강 춘 원*^{2†} · 강 옥*³ · 김 광 철*²

Sound Absorption Capability and Anatomical Features of Highly Sound Absorptive Wood*¹

Chunwon Kang*^{2†} · Wook Kang*³ · Gwangchul Kim*²

요 약

일본산 산공재 중 구조적 특징이 목재흡음에 적합하다고 사료되는 카기카즈라목재의 흡음성능과 구조적 특징을 관찰하고자 목재횡단방향으로 원반형시험편을 채취하여 구조적 특징을 관찰하고, 전달함수법으로 흡음율을 측정하였다. 측정주파수범위에서 카기카즈라 횡단면의 흡음율은 0.30에서 0.50의 수치를 나타내었다. 비교수종인 낙엽송시험편보다 2~3배 높은 흡음율을 나타내었으며, 특히 2~4 KHz의 주파수영역에서는 50% 전후로 높은 흡음율을 나타내었다. 카기카즈라목재의 횡단면에서는 다수의 커다란 도관이 존재하고 이들 도관요소들은 단일천공관으로 연결되어 다공질형흡음에 유용한 연속된 모세관이 다량 존재하는 사실을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Sound absorption capability and anatomical features of kagikazura (*Uncaria rhynchophylla*) and larch (*lalis kaemferi*) wood were estimated. Sound absorption coefficients had been measured by the two microphone transfer function method and anatomical features of kagikazura wood examined by SEM observation. The sound absorption coefficients of *Uncaria rhynchophylla* was higher than *lalis kaemferi*. Especially, in the frequency range of 1 to 4KHz, sound absorption coefficients of kagikazura was about 2~3 times higher than those of *lalis kaemferi*. Abundant and

*¹ 접수 2010년 4월 21일, 채택 2010년 5월 12일

본 연구결과의 일부는 2009년 한국목재공학회 논문발표대회에 발표되었음.

*² 전북대학교 생활과학대학 주거환경학과, 전북대학교 인간생활과학연구소, Department of Housing Environmental Design, and Research Institute of Human Ecology, College of Human Ecology, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

*³ 전남대학교 농업생명과학대학 임산공학과, Department of Wood Science and Engineering, College of Agriculture and Life Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 강춘원(e-mail: kcwon@jbnu.ac.kr)

big vessel observed on the cross sectional surface of kagikazura wood and simple perforation plate observed on the longitudinal surface. It was surmised that the abundant big vessel element and simple perforation plate behaved as a sound absorbing pore.

Keywords: sound absorption coefficient, kagikazura wood, anatomical features

1. 서 론

목재가 건축재료로, 특히 실내의 벽체로 사용되어 질 때 고려되어야 할 사항 중의 하나가 흡음성능이다. 실내에서 벽체의 흡음성능이 너무 작으면 잔향시간이 길어져 연속되는 음과의 구분이 어려워지고 너무 큰 경우에는 음이 너무 빨리 소멸되어 음의 인식이 어려워지기 때문에 적당한 흡음성능이 요구되는데, 목재는 판재의 경우, 흡음율이 5% 내외인 음향반사 재료이다.

소음저감을 위하여 또는 주거공간의 음향환경개선을 위한 방법으로는 소음의 발생원을 구조 또는 재질 변경을 통해 감쇠시키거나 발생소음을 차단 혹은 흡수하는 방안이 있으나 소음원을 감쇠시키기는 어렵고 흡음재를 사용하여 발생 소음을 흡수하는 방안이 현실적이다. 흡음재는 음에너지를 열에너지로 변환시켜 흡음효과를 기대할 수 있는 재료로서 모세관 및 연속기포를 지닌 다공질재료에 음이 입사하면 입사음이 그 세공 속에서 마찰과 점성저항 및 섬유유체의 진동 등에 의해 파동에너지가 열로 전환되는 다공질 흡음재가 가장 일반적으로 사용되고 있는데 다공질 흡음재로서 국내 시장의 85% 정도를 점유하고 있는 대표적인 흡음재인 암면과 유리면은 유해성과 내구성 그리고 내수성 등에 불리한 특성을 가지고 있고, 이 밖에 폴리우레탄을 발포·가공한 sponge 계열 흡음재 및 폴리에스터 재질이 일부 사용되고 있으나 특정 주파수 대역의 흡음성능 저하 및 내구성, 불연성, 경제성 등이 현실적이지 못해 사용이 제한되고 있다. 또한 국내 방음벽의 90% 정도가 알루미늄 방음벽으로 되어 있어 방음벽 소재의 획일화에 따른 주변 환경과의 부조화가 문제시 되고 있으며, 새로운 소재의 출현을 기대하고 있으나 가격경쟁력, 미관, 성능, 내

구성면에서 알루미늄 방음벽을 대체하기에는 아직 방음벽 개선에 대한 연구 노력이 더욱 필요하다. 따라서 흡음성능이 우수하면서도 인체에 무해하며, 경제성, 치수 안정성, 내수성 및 내구성이 뛰어난 새로운 흡음소재의 개발이 절실한데 이러한 조건들에 비교적 부합되는 재료가 목재이다.

목재의 흡음에 관한 연구로 Watanabe 등(1967)이 버드나무 등 6개 수종의 수직입사 흡음율을, 홍(1989)이 우리나라산 침엽수와 활엽수 각 5수종씩을 각 단면별로 흡음율을 보고하였는데, 단면별로 측정된 흡음율의 결과에서 횡단면이 가장 높은 흡음율을 나타낸다고 보고하였다. 한편, 이 등(1997)은 목재이용시 원반형태로 목재를 이용하는 것이 목재절삭손실을 줄이며 목재고유의 무늬의 장식성을 제고하는 것이 가능하다고 하였다. 홍과 이 등의 연구결과에서 목재를 원반형태로 가공하여 사용하는 것이 흡음에 유리한 사실을 유추할 수 있다.

강등(1999)은 목재와 파티클보드에 공명기를 조성하여 특정주파수영역에서의 흡음율을 높일 수 있다고 보고하였고, 상용섬유판의 두께별, 비중별 흡음율에 대하여 보고하였다(2005). 또한 강등(2005)은 낙엽송을 목재원반형태로 가공하여 탈리그닌처리함으로써 다공성을 증대시켜 고주파수영역에서의 흡음율을 높일 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 공극구조가 흡음에 적합하다고 사료되는 일본산 카기카즈라재를 원반(log cross section) 형태로 가공하여 목재표면의 구조적 특징과 실용주파수대역에 해당하는 500~6,400 Hz 내에서의 흡음율의 변화를 측정하였다. 이 결과를 국내산 유용수종인 낙엽송과 비교하여 목재의 흡음재료로서의 가능성을 검토하고 흡음성능의 수종 간 변이에 대한 기초지식을 파악하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

규슈대학 연습림에서 생육한 9~10년생 카기카즈라재를 흡음율시험에 공시하였다. 비교수종은 전북지역에서 생육한 20년생 낙엽송을 공시하였다. 카기카즈라(*Uncaria rhynchophylla*)와 낙엽송(*Larix kaemferi*)을 고주파진공건조한 다음, 직경 29.9 mm의 고주파수대역시험용으로 선삭가공하여 흡음율을 측정하였다. 각 처리 당 반복수는 3회였고, 변이를 최소화하기 위해 연륜폭과 무게 등을 측정, 비교하여 균일한 원반을 흡음율시험에 공시하였다.

2.2. 흡음율측정

흡음율 측정은 B&K사의 two microphone impedance tube와 pulse분석장치를 이용하여 전달함수법(transfer function method)으로 실용주파수범위에서의 흡음율을 측정하였다. 관내법에 의한 흡음율측정 시 임피던스관 직경의 주파수 제한으로 28.9 mm, 99.0 mm의 두 직경에서 흡음율을 측정하는데 본 연구에서는 직경 28.9 mm의 임피던스관을 이용하여 500~6,400 Hz 구간의 주파수변화에 따른 흡음율변화를 측정하였다. 이는 관심대상수종인 카기카즈라재의 느린 성장 특성 때문에 직경 99.0 mm 이상의 시험편을 확보하기 어려운 점과, 타 수종이나 타 재료와의 비교의 용이성을 고려했기 때문이다.

2.3. 목재조직관찰

흡음율 측정이 끝난 목재시험편을 실체현미경으로 관찰하여 육안적 구조를 관찰하였다. 또한 목재시험편에서 소시편을 절취하여 전자현미경으로 목재횡단면과 방사단면의 미세구조를 관찰하였다.

2.4. 투과성 측정

흡음성능에 크게 영향을 하는 투과성의 측정에는 PMI (Porous Materials Incorporated)사의 CFP

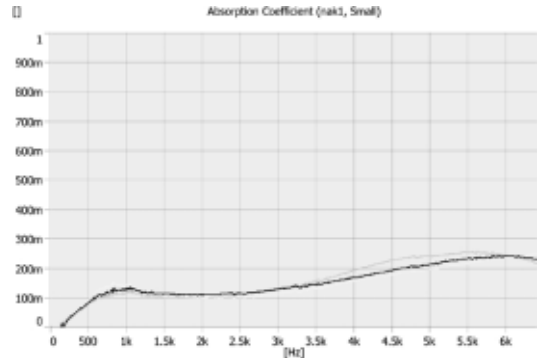


Fig. 1. Relationship between frequency and sound absorption coefficients of 30 mm thick larch wood.

(Capillary Flow Porometry)를 이용하였다. CFP에서는 표면장력이 15.9 dyne/m 정도로 물보다 표면장력이 아주 작아서 다공성재료를 침적시키면 용이하게 액체를 흡수하는 galwick이라는 액체를 사용한다. 이를 wetting liquid라고 하는데, 원형으로 절삭된 목재시험편을 wetting liquid에 침적시킨 후 밀폐된 용기에 넣고 한쪽 면에서 압력을 가하면, 목재횡단면에 존재하는 다양한 직경의 공극에 압력의 증가에 따라 직경이 큰 공극부터 작은 공극까지 차례로 침투한 액체를 밀어내게 되는데 이때 압력은 다음과 같이 주어진다.

$$p = 4 \gamma \cos \theta / D$$

여기서 p : 압력 γ : 액체의 표면장력, D : 공극의 직경

이 관계에서 가장 큰 공극의 직경을 구하고 압력이 증가하는 단계에서 액체가 제거되면서 기체가 통과될 때 통과비율의 변화와 시료에 가해지는 압력의 변화에 따르는 유량변화로 공극분포함수와 투과성을 계산한다(Jena and Gupta, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 카기카즈라재의 흡음성능

Fig. 1은 30 mm의 낙엽송 시험편의 Fig. 2와 Fig. 3은 두께 20 mm와 30 mm의 카기카즈라 시험편의

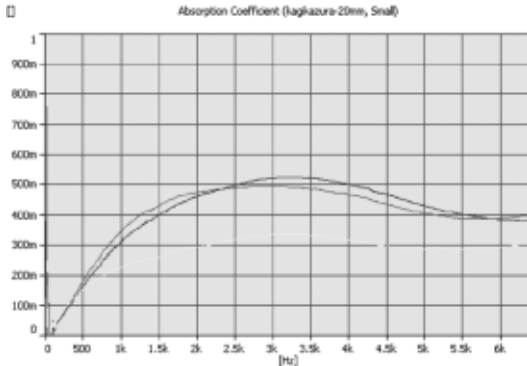


Fig. 2. Relationship between frequency and sound absorption coefficients of 20 mm thick kagikazura wood.

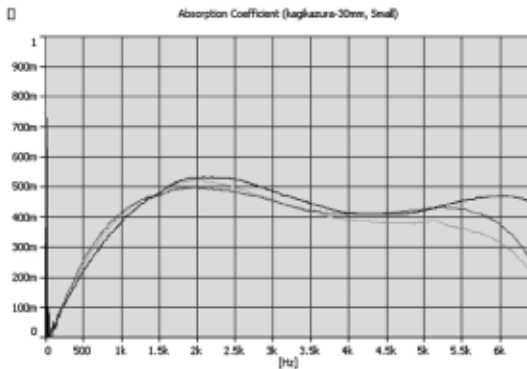


Fig. 3. Relationship between frequency and sound absorption coefficients of 30 mm thick kagikazura wood.

500 Hz에서 6.4 KHz의 주파수변화에 따른 흡음율을 나타내고 있다. x축이 주파수, y축이 흡음율을 나타낸다. 그래프에서 하나의 선은 시험편 1개의 주파수변화에 의한 흡음율을 나타내어 도표 1개가 각각 3개씩의 시험치를 나타내고 있다. 그림에서, 낙엽송은 거의 모든 주파수범위에서 10~20% 전후의 흡음율을 나타내었고 카기카즈라는 40~50%정도의 흡음율을 나타내고 있다. 카기카즈라의 경우, 두께에 따라 흡음율이 약간 다르게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다.

이 결과에서 카기카즈라 원반의 흡음계수가 비교적 넓은 주파수 대역에서 흡음성이 높아서 흡음재료로의 활용이 가능하고 다른 재료와의 조합 등으로

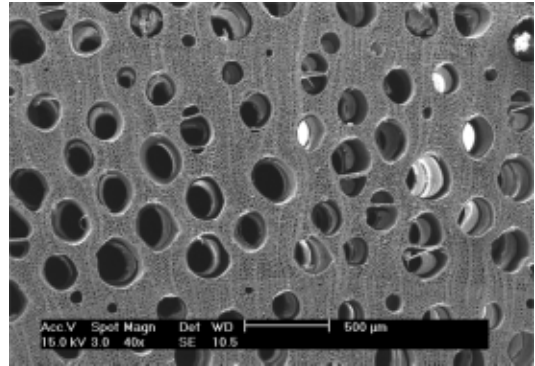


Fig. 4. Scanning electron micrography of cross sectional surface of kagikazura wood.

흡음능력의 제고가 기대된다. 그러나 카기카즈라의 경우 성장속도가 느려 대경목의 목재를 구하기가 어려우므로 3.2항에서 서술하는 것처럼 구조적특징을 인지하고 이와 유사한 구조적 특징을 나타내면서 생장이 빠른 수종을 파악하여 횡단면이 음입사면이 되도록 가공하여 흡음성능을 발현하도록 하는 시도가 필요할 것으로 사료되었다.

3.2. 카기카즈라재의 구조적 특징

다공질재의 흡음은 재료 중 투기(透氣)에 대한 흐름저항(air flow resistance)에 의해 결정되는데 압력차가 존재하는 양면에 발생하는 입자의 흐름이 발생할 때 단위 흐름 당 압력으로 나타내어진다. 이는 직류저항인데 교류적인 음파에도 이처럼 작용한다고 여기며 흐름저항이 클수록 흡음율이 저하된다. 재료의 흐름저항을 낮추는 것은 목재의 경우, 도관과 같은 관통공극(through pore)이며 공극의 직경이 크고 도관내의 흐름장애요소가 적을수록 흡음율이 높아진다.

이와 같은 수종 간의 구조적 차이에 의한 흡음성능과 투과성의 차이는 수많은 목재수종을 대상으로 관측하는 것은 다대한 시간과 재료를 요구하므로 구조적특성과 투과성 그리고 주파수에 따른 흡음성능의 관계를 수치해석으로 분석, 예측하는 연구가 선행되어야 할 것으로 사료되었다. Fig. 4는 카기카즈라재의 횡단면의 구조적특징을 나타내고 있는데, 횡단면에서 직경이 큰 다수의 도관이 산재해 있다. 도관

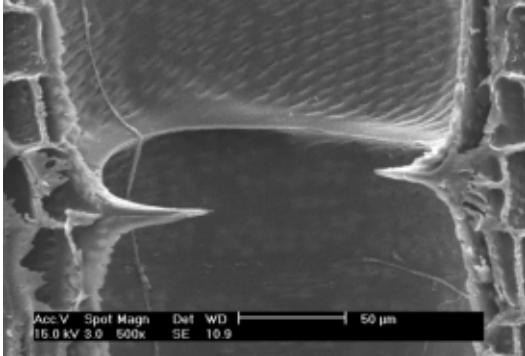


Fig. 5. Scanning electron micrography of radial sectional surface of kagikazura wood.

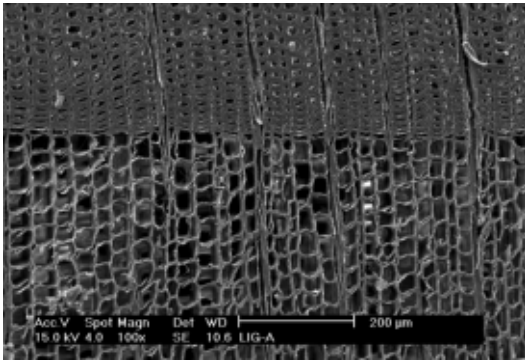


Fig. 6. Scanning electron micrography of cross sectional surface of larch wood.

의 직경은 약 100 μm 부터 150 μm 내외의 상당히 큰 직경의 도관이 다량으로 존재한다. 이로 인하여 다공질형 흡수에 적합한 공극구조가 조성된다. 또한 이러한 도관들은 활엽수에서 자주 관찰되는 도관폐쇄현상(tylosis)이 거의 발견되지 않았다. Fig. 5는 방사단면에서의 도관요소를 나타내고 있는데 도관요소와 도관요소가 연결되는 천공관은 단일천공관으로 연결되어 유체의 흐름저항이 커지지 않는 구조적 특징을 확인할 수 있었다. 이러한 구조적 특징들로 인하여 목재의 공극율이 높아지고 다공질형 흡수에 유리한 연속된 모세관이 조성되어 높은 흡음계수를 나타내는 것으로 생각된다.

Fig. 6은 비교수종인 낙엽송의 횡단면을 나타내고 있는데 춘재가도관과 추재가도관을 나타내고 있다.

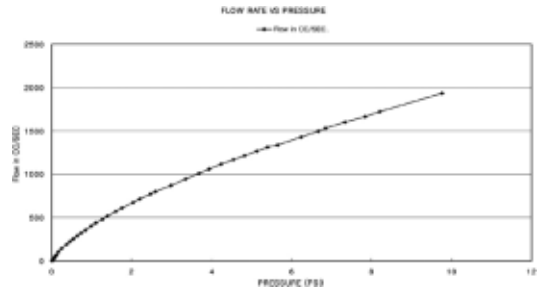


Fig. 7. Relationship between pressure and air flow rate of kagikazura wood.

추재가도관은 내강이 작고 세포벽이 두꺼워 공극율이 작아서 투과성이 작고, 춘재가도관은 내강이 크고 세포벽이 얇아 공극율은 큰 반면, 섬유방향으로 천공이 없어서 막공을 통해서만 유동이 이루어지기 때문에 낮은 투과성을 나타내며 흡음율도 낮아지게 된다.

이러한 미세구조적 특징으로 침엽수의 흡음율이 낮고 활엽수종 중에서 카기카즈라처럼 대경도관이 많은 수종이 흡음율이 높은 결과로 나타난 것으로 생각된다. 이 연구의 결과는 관내에서의 수직입사흡음율만을 측정된 결과로, 斜面入射 또는 亂入射하는 음에 대하여서는 잔향실법으로 흡음율을 측정해 보는 등의 추후 검토가 요구된다.

3.3. 카기카즈라재와 낙엽송의 기체투과성

그림에서 카기카즈라재는 횡단면에서의 대경 관공이 다수로 존재하여 공극율이 크고 비중이 작음을 알 수 있었다. 또한 직경 100~150 μm 전후의 도관이 다수로 존재하는 산공재로 도관의 분포 수가 많아서 투과성이 높을 것으로 사료되었는데, Fig. 7에 나타난 바와 같이 평균 투과성이 11.65 darcy로 높은 투과성을 나타내었다. 비교대상 수종이었던 낙엽송의 경우 평균투과성은 0.15 darcy로 낮았다.

한편, CFP로 투과성, 공극형태 그리고 분포 등을 측정할 때 액체에 침적된 시편에 압력을 가하여 처음으로 유체의 통과가 시작되는 압력을 bubble point라고 하는데 이에 의한 최대직경공극의 직경 예측치는 직경 90 μm 전후를 나타내었다. SEM관찰에 의한 도관직경 실측치인 100~150 μm 전후의 도관직경보다

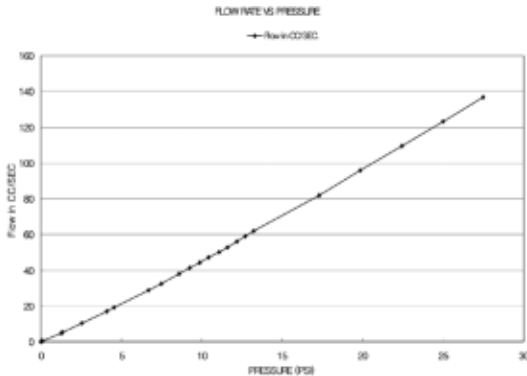


Fig. 8. Relationship between pressure and air flow rate of larch wood

약간 적은 수치를 나타내었는데 SEM관찰과는 약간의 차이는 있으나 비교적 유사한 결과를 나타내어 향후 공극크기 예측에 CFP의 활용이 기대되었다.

4. 결 론

목재에 입사하는 음파에 대한 흡음능력과 구조적 특징을 파악하여 목재의 흡음재료로서의 가능성을 검토하고 흡음능력의 수준 간 변이에 대한 기초지식을 파악하기 위하여 카기카즈라와 낙엽송원반의 섬유방향에 대하여 수직입사흡음율을 측정하고 미세구조적특징을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 카기카즈라 시험편이 거의 전 주파수대역에서 낙엽송 목재보다 높은 흡음율을 나타내었다.
- 2) 목재표면에 대경의 도관이 다량으로 존재하고 도관요소가 단일천공관으로 연결되어 흡음능력이 높은 것으로 사료되었다.
- 3) 카기카즈라와 유사한 조직구조를 갖는 목재는 흡음계수가 높아 친환경성 흡음재료로의 적용이 가능할 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. 강춘원, 박희준. 2001. 공명흡음에 의한 목재와 목질보드의 흡음능개선. 목재공학 29(1): 16~21.
2. 강춘원, 이남호. 2005. 탈리그닌처리에 의한 목재의 흡음능력과 구조적특징의 변화. 목재공학 33(4): 9~14.

3. 강춘원 외 4인. 2008. 버섯폐골목의 흡음능력과 구조적 특징. 목재공학 36(1): 54~60.
4. 김병삼 외 5인. 1997. 소음진동학 261~279.
5. 김정석. 1992. 음향학개론, 한미 74~94.
6. 정우양, 강욱. 2003. 음향환경과 목재과학. 목재공학 31(2): 1~15
7. KSF2814. 한국표준학회. 1996. 관내법에 의한 건축재료의 수직입사흡음율 측정방법.
8. 정성수, 황철호, 김용태, 서재갑. 1999. 사각격자형 세라믹구조물의 흡음특성. 응용물리 12(1): 32~38.
9. Jena, A. Characterization of pore structure of filtration media. 2002. Fluid/ particle Separation Journal 14(3): 227~241.
10. Con Wassilieff. 1996. Sound Absorption of Wood-Based Materials. Applied Acoustics. 48(4): 339~356.
11. Kang, C. 2003. Improvement of sound absorption capability of wood by delignification. Proceeding of the IAWPS2003 948~951.
12. Kang, C. *et al.* 2005. Measurement of the sound absorption coefficient of fiberboard by two microphone method. J. of the Korean Wood science and technology 33(5): 45~49.
13. Kang, C. *et al.* 2006. A comparison of the standing wave and two microphone methods in measuring the sound absorption coefficient of wood. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 51(1): 1~4.
14. Kang, C. *et al.* 2008. Changes In Anatomical Features, Air Permeability And Sound Absorption Capability Of Wood By Delignification Treatment. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 53(2): 479~483.
15. Watanabe, T. T., M. N. Kinoshita, and H. Hayashi. 1967. Acoustical study of woods and wood products. J. Japan Wood Res. Soc. 13(5): 177~182.
16. Yang, H. *et al.* 2004. Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials. Bioresource technology 95(2004): 61~65.
17. Xie, Z. K. *et al.* 2004. Sound absorption characteristics of lotus-type porous copper fabricated by unidirectional solidification. J. Material science & Engineering. A386 : 390~395.
18. Xie, Z. K. *et al.* 2004. Characteristics of sound absorption in lotus-type porous magnesium. J. of the japan society of applied physics. 43(10): 7315~7319.