

# 경량화 콘크리트에서 기포제의 함량에 따른 흡음특성에 관한 연구

## The Study on Sound Absorption According to Content of Foaming Agent in Lightweight Concrete

홍도관\* · 안찬우\*\* · 강진구\*\*\* · 우병철\* · 최재기\*\*\*\* · 강현찬†

D. K. Hong, C. W. Ahn, J. G. Kang, B. C. Woo, J. G. Choi and H. C. Kang

Key Words : Expanded vermiculite(팽창질석), Sodium n-dodecyl Sulfate(계면활성제), Waste gypsum(폐석고)

### ABSTRACT

The purpose of this study is to find ways of recycling a great amount of gypsum as by-product from the manufacture of phosphate fertilizer. For the purpose, this researcher investigated physical properties of light weight porous material using waste gypsum and a foaming agent, Sodium n-dodecyl Sulfate to utilize it as a interior material of construction. To determine such properties, the study examined pore size distribution and pore rate in accordance with contents of Sodium n-dodecyl Sulfate added. Then expanded vermiculite as light-weight aggregate was also added, when pore size distribution, pore rate and sound absorption rate were surveyed and measured.

### 1. 서론

폐석고는 국내의 여러 산업분야에서 약 400만 톤 정도가 해마다 발생되고 있으며 현재 활용되지 못하고 방치되고 있는 양만해도 2,000만 톤 정도에 이르고 있어 주변 환경에 큰 문제가 되고 있다.<sup>(1)</sup> 석고 자원이 없는 우리나라로는 폐석고 자원을 최대한 활용하여 천연석고의 수입대체에 의한 외화절감 뿐만 아니라 현재 폐석고로 인한 환경오염이 야기되고 있어 오염문제 해결 및 자원재활용에 많은 연구가 요구된다.

국내에는 대부분의 건축물에 단열제로 스티로폼을 사용하고 최근에 노래방이나 카페 등의 소음이 심한 곳에 방음 및 흡음제로 스티로폼이나 우레탄과 같은 방음재를 사용함으로써 화재의 발생 시 이들의 연소로 인하여 대형화재로 확대되는 경우가 많아 많은 인명사고가 발생하고 있다. 국내의 화재 발생 시 나타나는 인명사고의 대부분은 건축물

에서 사용되는 단열재와 방음재가 연소하면서 발생하는 유해가스에 의한 질식사(窒息)가 거의 대부분을 차지하고 있다. 또한 최근에 화재의 발생 시에 건물의 붕괴사고로 많은 소방관들이 참사를 당하는 등 화재 발생 시 건물의 붕괴도 자주 볼 수 있다. 최근 고층건물들은 철골구조로 건축되는 경향이 높기 때문에 화재 시 건물의 붕괴를 막기 위해 철골 구조에 내화피복재를 많이 사용하고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 폐석고를 활용한 내장재의 비중이나 흡음, 단열성과 같은 물리적 특성을 향상시킬 수 있게 내장재를 경량화하기 위한 기초자료를 확보하는 차원에서 폐석고와 시멘트 혼합물에서 계면활성제인 SDS(Sodium n-dodecyl Sulfate)를 활용하여 SDS의 함량에 따른 기공 분포 및 기공률을 조사하고 이에 따른 흡음특성을 파악하는데 목적을 두었다.

### 2. 흡음의 측정방법

#### 2.1 흡음의 원리

소리에 대한 물체의 성질 중 실용면에서 중요한 것은 흡음성과 차음성이다. 이 중에서 흡음성이란 그 물체에 도달한 소리를 약하게 해서 반사하는 성질이며, 특히 유리섬유나 암면 등 다공성 물질은 흡음특성이 풍부하다. 또 얇은 금속판이나 합판 등은 단단한 벽에 밀착시켰을 때는 흡음성이 약하지만, 벽 사이에 공기층을 만들면 공기층이 용수

† 책임저자, 동아대학교 지구환경공학부  
E-mail : hckang@dau.ac.kr  
Tel : (051) 200-7768, Fax : (051) 200-7771

\* 한국전기연구원

\*\* 동아대학교 기계공학부

\*\*\* 한국지질자원연구원

\*\*\*\* 동아대학교 기계공학과 대학원

철 같은 작용을 하여 소리의 에너지를 소모시키므로 흡음성이 커진다. 그러나 물질의 흡음성은 소리의 주파수나 입사각에 따라 차이가 난다. 예를 들어 다공성인 흡음체는 주파수가 비교적 높은 소리에는 유효하나, 주파수가 낮은 소리에 대해서는 두께를 상당히 크게 않으면 효과가 적다. 이 흡음성의 정도를 흡음률이라고 한다.

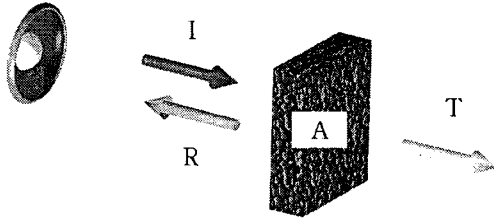


Fig. 1 Transmission loss, reflection and absorption of sound

Fig. 1과 같이 벽에 입사음의 세기  $I$ 의 음파가 들어올 때 그 에너지의 일부  $R$ 은 반사하고 일부  $A$ 는 벽에 흡수되어 나머지  $T$ 가 투과한다고 생각하면  $I=R+A+T$ 의 관계가 성립된다.

여기에서  $\frac{R}{I}$ 을 에너지 반사율,  $\frac{T}{I}=\tau$ 을 투과율이라고 하며  $1-\frac{R}{I}=\alpha$ 을 흡음률이라고 한다.

### 2.2 흡음계수 측정

유리, 금속, 석고 등과 같은 자재는 표면이 단단하기 때문에 일차적으로 음의 반사가 일어나고 그 흡음률은 0.05 이하이다. 그러나 용단, 유리면, 피복 등과 같은 다공질의 자재는 일차적으로 음을 흡수하기 때문에 그 흡음률은 크지만 주파수에 따라 차이가 있다.

이와 같이 주파수에 따라 상이한 흡음률을 평균적으로 나타내는 방법과 흡음계수(noise reduction coefficient : NRC)는 ASTM C 423<sup>(3)</sup>에 규정되어 있다.

즉, 식 (1)에서와 같이 1/3 octave대역으로 측정된 중심 주파수 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz 주파수대역의 흡음률을 산출 평균한 값으로 정의한다.<sup>(4),(5)</sup>

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1k} + \alpha_{2k})}{4} \quad (1)$$

### 2.3 실험재료 및 방법

#### (1) 실험재료

본 연구에서 사용된 시료는 질석의 경우 국내산 질석을 950 °C에서 열처리하여 팽창시킨 것을 사용하였고 결합제

로 1종 보통 포틀랜드 시멘트(D사)와 내화재료로 인산제조 공정에서 부생되는 폐석고(여수, N사)를 사용하였다.

또한 시멘트 및 폐석고 입자의 분산력을 높이고 팽창질석의 물의 흡수량을 줄이기 위해 시멘트 혼화제중에 유동화제인 P-HC(J사)를 사용하였고, 단열 및 흡음성을 더욱 높이기 위하여 기포를 혼입하기 위해 기포제로 시약용 계면활성제인 SDS를 사용하였다.

#### (2) 실험방법

팽창질석, 시멘트와 폐석고 함량에 따라 흡음률을 측정하는 과정에서 경량골재인 팽창질석을 첨가한 시료의 흡음률 측정은 Table 1과 Table 2의 혼합비로 혼합한 시료를 KS F 2814-1<sup>(6)</sup>과 KS F 2814-2<sup>(7)</sup>의 규정에 따라 흡음률을 측정하였다.

Table 1 Ratio of sample according to content of waste gypsum, cement and expanded vermiculite(%)

Sample	1	2	3	4	5	6	7
Expanded vermiculite	20	25	30	35	40	45	50
Waste gypsum	40	32.5	35	32.5	30	27.5	25
Cement	40	32.5	35	32.5	30	27.5	25

Table 2 Ratio of Sodium n-dodecyl Sulfate in mixture of cement, waste gypsum and expanded vermiculite

Expanded vermiculite : Cement : Waste gypsum (45% : 27.5% : 27.5%)						
Sample	1	2	3	4	5	6
Sodium n-dodecyl Sulfate(%)	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5	1

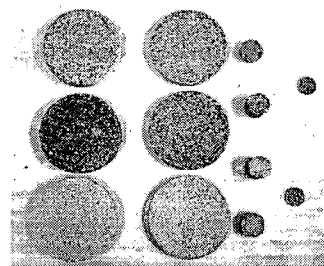


Fig. 2 Samples for sound absorption measurement

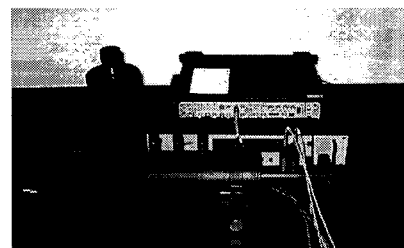


Fig. 3 Sound absorption measurement system

Fig. 2에서와 같이 제작된 시료는 두 가지 종류로 나뉜다. 두께 20 mm, 지름 100 mm인 원판형 시료는 흡음률 측정 주파수 범위가 50 Hz ~ 1.2 kHz 이고, 두께 20 mm, 지름 29 mm인 원판형 시료는 흡음률 측정 주파수 범위가 500 Hz ~ 6 kHz 이다. 두 종류의 흡음률 측정시료를 제작한 뒤 Fig. 3의 흡음측정기기(Type 4206, B&K)를 이용하여 흡음률을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 폐석고와 시멘트 혼합물에 경량골재 첨가에 따른 효과

저주파 영역과 고주파 영역에서의 경량골재인 팽창질석의 함량에 따른 흡음률을 측정해 본 결과는 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 팽창질석에 의한 흡음특성은 대략 1,000 ~ 4,000 Hz 사이에서 나타나는 것을 볼 수 있으며 팽창질석의 함량에 따라서 다소 차이는 있으나 주파수 1,700 Hz와 2,300 Hz 전후에서 최대흡음특성이 있는 것을 관찰할 수 있다.

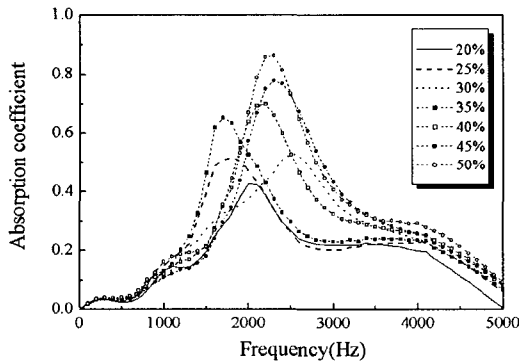


Fig. 4 Absorption coefficient according to content of expanded vermiculite

질석의 함량이 증가됨에 따라 약 11.06%씩 흡음률이 증가되는 것을 볼 수 있어 팽창질석의 함량이 높아질수록 흡음률이 증가되는 경향이 있음을 알 수 있다. 팽창질석의 함량이 50% 일 때 2,300 Hz에서 흡음률이 86.3%로 최대임을 확인할 수 있다. 또한 이들 시료를 1/3 octave대역으로 흡음률을 측정하여 NRC를 계산하여 Fig. 5에 나타내었다. 팽창질석의 함량이 증가함에 따라 NRC도 비례하여 증가하며, 이러한 경향을 회귀식으로 나타내보면 다음과 같다.

$$y = 0.092e^{0.00164x} \quad (2)$$

여기서,  $x$ 는 팽창질석 함량,  $y$ 는 NRC이고 회귀식의 신뢰도를 나타내는 지표인  $R^2$  값이 0.9091로 나타났다.

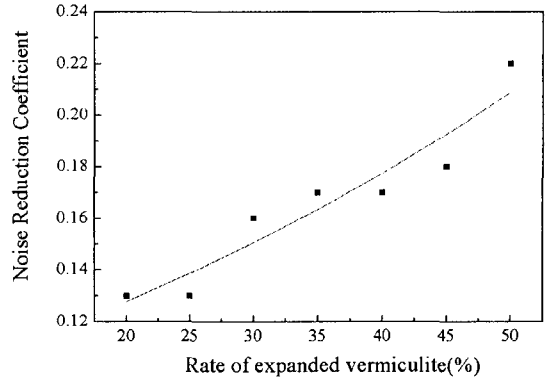


Fig. 5 NRC and rate of expanded vermiculite

Table 3 NRC according to content of expanded vermiculite in 1/3 octave

Frequency(Hz)	Absorption coefficient						
	Expanded vermiculite(%)						
	20	25	30	35	40	45	50
250	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
500	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
1,000	0.13	0.17	0.15	0.11	0.17	0.15	0.16
2,000	0.33	0.29	0.46	0.49	0.4	0.48	0.65
NRC	0.13	0.13	0.17	0.17	0.16	0.18	0.22

#### 3.2 경량골재를 첨가한 시료에 SDS의 효과

SDS의 성분량에 따라서 기고의 분포와 기공률이 달라지며 이에 따른 흡음률의 변화를 측정해 본 결과 Fig. 6과 같다.

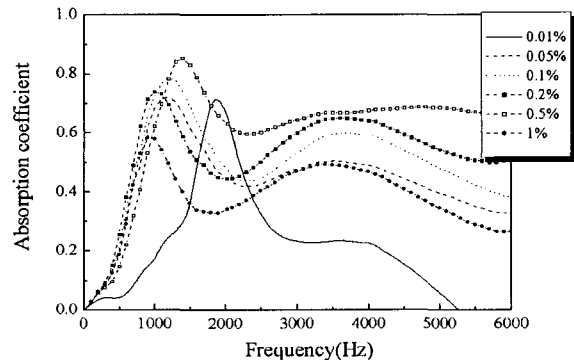


Fig. 6 Absorption coefficient according to content of Sodium n-dodecyl Sulfate

Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 흡음률은 SDS의 함량이 증가됨에 따라 첨가하지 않은 경우에 비해 고주파 대역에서의 높은 흡음능력이 있음을 확인할 수 있다. SDS를 0.01% 첨가한 경우 흡음률은 SDS를 첨가하지 않은 경우와 유사함을 알 수 있다. 그러나 0.01% 이상의 함량에서는

최대 흡음률이 1,200 Hz 전후에서 나타나는 것을 볼 수 있어 흡음의 대역이 저주파대역으로 더 넓어짐을 알 수 있으며 그 이상의 주파수 범위에서는 전범위에 걸쳐 흡음능력이 있음을 볼 수 있다.

SDS의 함량에 따른 흡음률의 크기를 비교해 보면 SDS를 0.5% 첨가한 경우의 흡음률이 주파수 범위 1,400 Hz에서 85.3%로 가장 높음을 알 수 있으며 0.05%, 0.1%, 0.2% 첨가한 경우의 흡음률은 주파수 범위 1,100 Hz에서 각각 72.2%, 78.6%, 73.8%로 유사하며 SDS를 1% 첨가한 경우는 주파수 범위 900 Hz에서 58.3%로 오히려 흡음률이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 SDS의 함량이 0.5% 이상에서는 micelle에 의한 영향에 의한 것으로 사료되어진다.

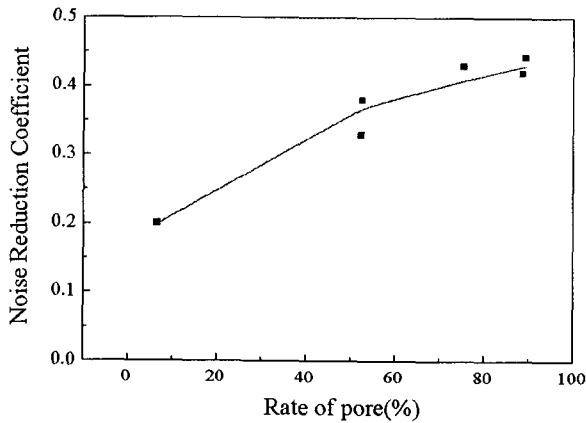


Fig. 7 Relation of NRC and rate of pore

Table 4 NRC according to content of Sodium n-dodecyl Sulfate in 1/3 octave

Frequency (Hz)	Absorption coefficient					
	Sodium n-dodecyl Sulfate(%)					
	0.01	0.05	0.1	0.2	0.5	1
250	0.04	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
500	0.04	0.2	0.22	0.26	0.14	0.19
1,000	0.17	0.68	0.73	0.74	0.61	0.59
2,000	0.54	0.45	0.48	0.44	0.65	0.33
NRC	0.20	0.38	0.42	0.43	0.43	0.33

SDS의 함량에 따른 흡음률을 1/3 octave 대역으로 측정하여 NRC를 계산하여 Table 4와 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 SDS의 함량이 증가할수록 기공률이 증가하고 또한 NRC도 비례하여 증가하며, 이러한 경향을 회귀식을 나타내보면  $y = 0.1135x^{0.2965}$ 로 나타낼 수 있으며, 여기서,  $x$ 는 기공률,  $y$ 는 NRC이고 회귀식의 신뢰도를 나타내는 지표인  $R^2$  값이 0.9637로 나타났다.

#### 4. 결 론

1. 경량골재로 팽창질석을 사용한 경우의 흡음특성이 나타나는 주파수대역은 1,000 ~ 4,000 Hz이며 팽창질석의 함량에 따라서 다소 차이는 있으나 주파수 1,700 Hz와 2,300 Hz 전후에서 최대흡음특성이 있는 것을 알 수 있다.
2. 폐석고와 시멘트의 혼합물에 경량골재를 첨가하였을 경우 계면활성제인 SDS의 함량에 따른 기공률은 SDS의 함량이 0.1% 일 때 88.46%로 급격하게 증가하며 그 이상의 함량에서는 완만한 선형으로 감소하고 이때 기공률이 증가함에 따라 평균기공 크기도 증가하는 것을 볼 수 있다.
3. 경량골재에 계면활성제인 SDS를 첨가한 시료의 흡음률은 SDS를 첨가하지 않은 경우에 비해 SDS의 함량이 증가됨에 따라 고주파대역에서 높은 흡음능력이 있음을 확인할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 배광현, 선일식, 한상오, 정권수, 2001, "다중자연낙하 공기분급에 의한 인산부산석고의 불순물제거기술 연구", 한국자원리싸이클링학회, pp. 453~456.
- (2) 한용식, 김명배, 최준석, 장용재, 윤명오, 김진곤, 1996, "건물화재에서의 화재성장 해석", 한국연소학회 SYMPOSIUM 논문집, Vol. 14, pp. 107~116.
- (3) ASTM C 423, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.
- (4) C. Boutin, P. Royer and J. L. Auriault, 1998, "Acoustic absorption of porous surfacing with dual porosity," Journal of Solids and Structures, Vol. 35, issues 34-35, pp. 4709~4737.
- (5) J. Ducourneau, V. Planeau, 2003, "The average absorption coefficient for enclosed spaces with non uniformly distributed absorption," Applied Acoustics, Vol. 64, issue 9, pp. 845~862.
- (6) KS F 2814-1, 임피던스 판에 의한 흡음계수와 임피던스의 결정방법 - 제1부 : 정제과 방법.
- (7) KS F 2814-2, 임피던스 판에 의한 흡음계수와 임피던스의 결정방법 - 제2부 : 전달흡수법.