

초경량 콘크리트 흡음재의 음향특성에 관한 연구

⁰정성수* · 김용태* · 이원암** · 한기석**

A Study on the Acoustical Characteristic of a Ultra Lightweight Concrete Absorber

Sung Soo Jung*, Yong Tae Kim*, Won-Am Lee**, Ki-Suk Han**

ABSTRACT

Two basic acoustic quantities, the characteristic impedances and the propagation constants, of the two different ultra lightweight concrete absorbers were examined with impedance tube method. A transmission loss was tested and compared with theoretical values. The results show that these kinds of sample have proper sound absorption and transmission loss capabilities. It means that they can be used in various fields where noise proof is needed.

1. 서론

흡음재의 사용이 증대됨에 따라 기존의 대표적 흡음재인 유리솜에 대한 인체 유해성이 가끔 부각되곤 한다. 이에 이러한 논란의 소지를 없애기 위해 환경 친화성 흡음재의 개발이 계속적으로 연구되어 왔다. 현재까지 내열성과 흡음력이 유리솜보다 뛰어난 소재들은 별로 개발되지 못한 것으로 파악되고 있다. 또 하나 신소재들의 단점은 아직은 대량 생산이 되지 않기 때문에 비교적 높은 단가를 가지는 것도 사실이다.

새로운 신소재 중 기존의 경량 콘크리트를 더욱 가볍게 개선한 초경량 콘크리트 흡음재가 있다. 이 소재는 콘크리트 소재를 발포시킨 것이다. 이럴 경우, 콘크리트가 기본 원재료이므로 어느 정도의 강도를 가지며, 또한 내부적으로는 잘 열려진 구조의 셀을 형성하기 때문에 흡음성

을 가지게된다. 이것은 곧 전체적인 기공률을 조절함으로써 차음성과 흡음성을 적절하게 가지는 소재로 만들 수 있음을 뜻한다.

본 연구에서는 초경량 콘크리트 흡음재의 음향 특성을 살펴보았다. 이를 위해 관내법으로 시편의 표면 임피던스를 측정함으로써 특성임피던스(Z_c)와 전파상수(k_c)를 구하고, 투과손실의 측정값과 이론적 예측값을 비교 분석하였다. 시편은 기공률이 다른 두 종류의 초경량 콘크리트 흡음재와 비교를 위해 우레탄 폼을 사용하였다.

2. 기본 이론

흡음재의 기본 물리량은 그 시료 자체의 특성 임피던스와 전파상수이다. 유리솜과 같은 섬유류 계통의 흡음재는 Delany와 Bazley^[1]의 실험식으로서 두 양이 모델화되어 있다. 그러나 일반적인 흡음재인 경우는 실험을 통해서 구해야만 된다. 본 연구에서는 우레탄 폼과 초경량 콘크리트 흡

* 한국표준과학연구원, ** 쌍용중앙연구소

음재를 시료로 하였기 때문에 우레탄 폼은 정성수 등^[2]의 실험식을 그리고 콘크리트 흡음재는 실험을 통해 두 양을 구하였다. 우선 내부적으로 잘 열려진 구조를 가지는 우레탄 폼의 특성임피던스와 전파상수에 대한 정성수 등의 실험식은 다음과 같다.

$$Z_c/Z_{air} = 1 + 0.12 \xi^{-0.618} - j0.0993 \xi^{-0.635}, \quad (1)$$

$$k_c/k_o = 0.161 \xi^{-0.614} + j[1 + 0.185 \xi^{-0.478}] \quad (2)$$

여기서 k_o 는 음의 파수, $\xi = f\rho_o/\sigma$ (ρ_o 는 공기의 밀도, σ 는 상수값의 유동비저항(flow resistivity)로 표현되는 변수이다.

임피던스관을 사용하는 경우 두께 L 인 흡음재 뒤에 강체를 두면 시료 표면에서의 표면임피던스 (Z_s)와 흡음계수 (α)는 다음 식과 같다.

$$Z_s = Z_c \coth(k_c L), \quad (3)$$

$$\alpha = 1 - |(Z_s - 1)/(Z_s + 1)|^2. \quad (4)$$

위 두 식을 이용하여 실제 우레탄 폼에 대해 표면 임피던스 혹은 흡음계수의 측정값을, 식 (1)과 (2)에서 상수값의 유동비저항을 적절히 조절하여 식 (3) 혹은 (4)에서 얻어지는 예측값과 비교함으로써 시료의 유동비저항을 결정하게 된다.

한편 초경량 콘크리트 흡음재의 경우는 일반적인 식이 없기 때문에 실험을 통해 특성임피던스와 전파상수를 얻어야 된다. 이를 위한 몇 가지 방법들^[3]이 있는데 여기서는 Utsuno 등^[4]의 방법을 사용하였다. 이 방법은 시료 뒤에 공기층을 조절함으로써 얻어지는 표면임피던스를 사용하여 구하는 방법이다. 시료 뒤에 공기층을 두지 않으면 식 (3)과 같은 표면임피던스를 얻게되며, 공기층 두께를 d 만큼 둔 경우는 다음 식과 같다.

$$Z_{sa} = Z_c \frac{Z_1 \cosh(k_c L) + Z_c \sinh(k_c L)}{Z_1 \sinh(k_c L) + Z_c \cosh(k_c L)} \quad (5)$$

여기서 Z_1 은 시료 뒤 공기층에 대한 임피던스로 다음 식과 같다.

$$Z_1 = -jZ_{air} \cot(k_o d). \quad (6)$$

식 (3)과 식 (5)를 사용하면 구하려는 특성임피던스와 전파상수는 각각 다음 식으로 주어진다.

$$Z_c = [Z_{sa}(Z_s + Z_1) - Z_s Z_1]^{1/2}, \quad (7)$$

$$k_c = [\coth^{-1}(Z_s/Z_c)]/L. \quad (8)$$

3. 시험방법 및 결과

3-1. 특성임피던스와 전파상수의 결정

시험은 임피던스관을 사용하는 전달함수법^[5]을 사용하였는데 그 장치도는 그림 1과 같다.

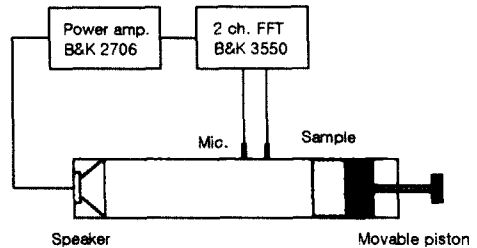


그림 1. 실험장치도

우레탄 폼 뒤에 강체를 두는 경우 200 Hz ~ 6,400 Hz까지의 흡음계수의 측정값(●)과 예측값(—: 실선)을 비교하여 그림 2에 보였다. 이 경우 유동비저항은 3,400 mks rays/m로 추정되었는데 결과에서 보듯이 두 값이 잘 일치하고 있다. 여기서 실제 실험은 8 Hz의 분해능을 가지나 비교를 위하여 편의상 측정값은 이산적으로 부호로 나타냈다. 이 유동비저항을 이용하여 시료 뒤에 공기층을 0.02 m 둔 경우에 대해서도 측정값과 비교한 결과를 그림 3에 나타냈는데 역시 두

값이 잘 일치함을 확인할 수 있다. 이들 두 결과로부터 우레탄 폼의 유동비저항 값이 적절함을 알 수 있다.

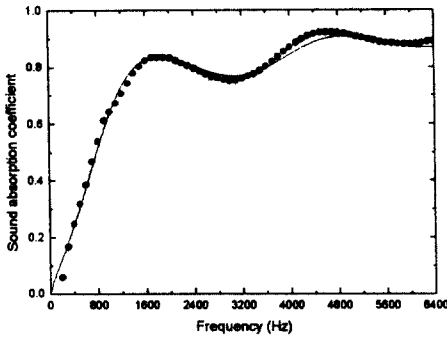


그림 2. 우레탄 폼 뒤에 강체를 둔 경우, 흡음계수 측정값(●)과 이론적 예측값(—: 3,400 mks rays/m)의 비교.

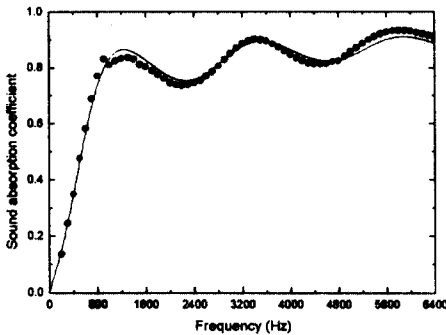


그림 3. 우레탄 폼 뒤에 공기층을 0.02 m 둔 경우, 흡음계수 측정값(●)과 이론적 예측값(—: 3,400 mks rays/m)의 비교.

그림 2와 3의 조건에서 시료의 표면 임피던스를 구함으로서 우레탄 폼의 특성임피던스와 전파상수를 구하고 식 (1)과 (2)에서 유동비저항을 3,400 mks rays/m로 하여 계산한 결과를 그림 4와 5에 각각 비교하였다. 두 결과에서 보듯이 측정값과 예측값이 잘 일치하고 있다. 이처럼 특성임피던스와 전파상수에 대한 모델이 있는 경우는 유동비저항을 결정함으로서 이들 모델로서

예측값을 얻게된다.

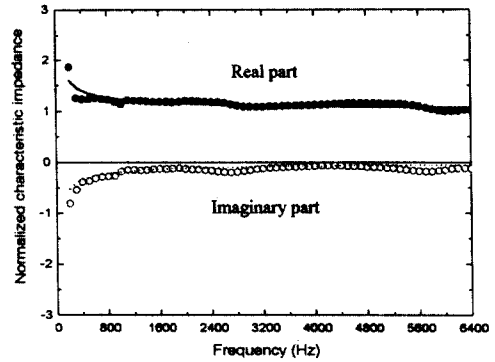


그림 4. 우레탄 폼의 특성 임피던스. 실수부(●: 측정값, —: 예측값), 허수부(○: 측정값, --: 예측값).

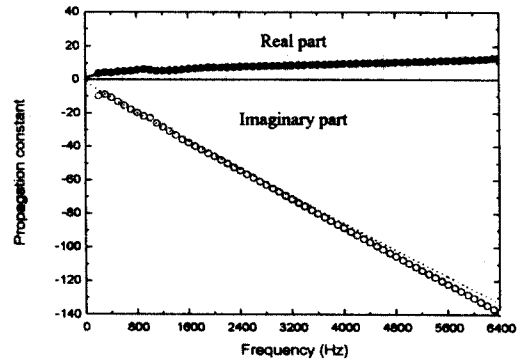


그림 5. 우레탄 폼의 전파상수(●: 측정값, —: 예측값), 허수부(○: 측정값, --: 예측값).

다음은 초경량 강체 콘크리트 흡음재에 대해 특성임피던스와 전파상수를 구하였다. 시료는 두 종류로 편의상 구분을 위해 SA와 SB로 명하였다. SA(두께 0.024 m) 시료 뒤에 공기층을 두지 않은 경우(—)와 공기층을 0.02 m 둔 경우(--) 흡음계수의 측정값을 그림 6에 나타냈다. 그림에서 보듯이 시료 뒤에 공기층을 둔 경우 흡음계수의 피크값이 저주파수 대역으로 이동함을 볼 수 있다.

시료 SB(두께: 0.01 m)의 경우에 대한 결과는 그림 7에 나타냈는데 역시 비슷한 특성을 보여 주고 있다.

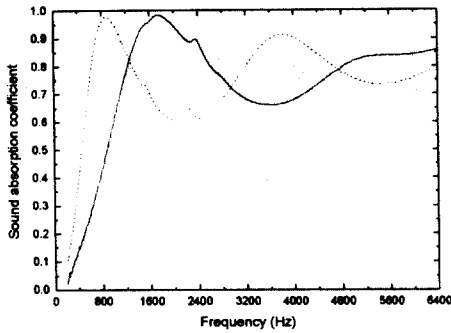


그림 6. 초경량 강체 콘크리트(SA)의 흡음계수 측정값. 공기층을 두지 않은 경우(—), 공기층을 0.02 m 둔 경우(--).

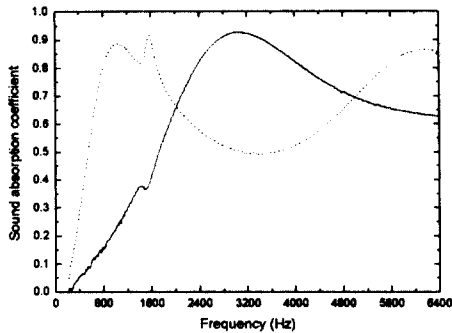


그림 7. 초경량 강체 콘크리트(SB)의 흡음계수 측정값. 공기층을 두지 않은 경우(—), 공기층을 0.02 m 둔 경우(--).

다음은 시료 SA와 SB의 특성임피던스와 전파상수를 구하여 SA 시료에 대해서는 그림 8과 9에 그리고 SB 시료에 대해서는 그림 10과 11에 각각 나타냈다.

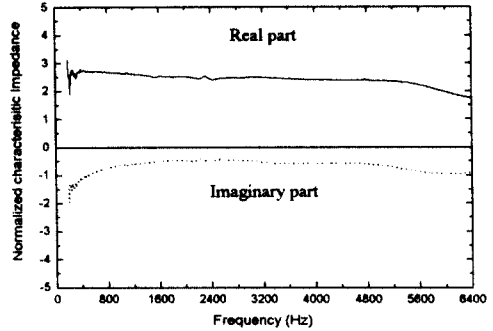


그림 8. 초경량 강체 콘크리트(SA)의 특성임피던스 값. —: 실수부, --: 허수부.

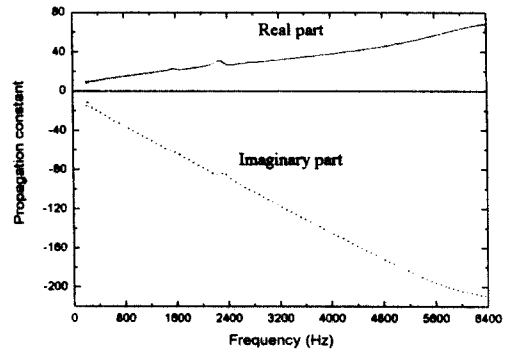


그림 9. 초경량 강체 콘크리트(SA)의 전파상수 값. —: 실수부, --: 허수부.

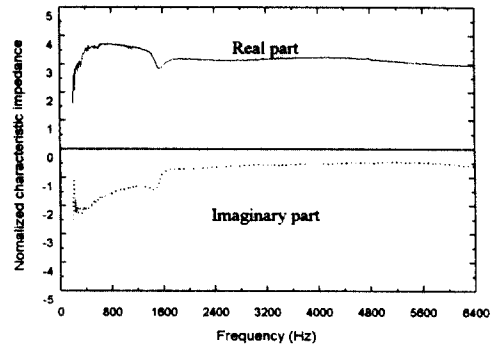


그림 10. 초경량 강체 콘크리트(SB)의 특성임피던스 값. —: 실수부, --: 허수부.

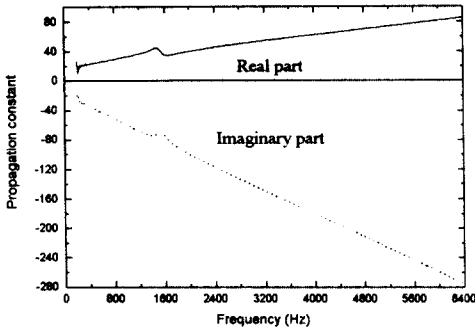


그림 11. 초경량 강체 콘크리트(SB)의 전파상수 값. —: 실수부, --: 허수부.

3-2. 투과손실의 결정

초경량 강체 콘크리트의 경우 흡음성과 차음성을 겸비하는 것이 주된 목적이므로 투과손실에 대한 평가도 중요하다. 따라서 본 연구에서는 실제 잔향실법에 의한 평가에 앞서 임피던스관법에 의한 평가를 하였는데 장치도는 그림 12와 같다. 본 장치는 가로 세로 0.05 m의 사각형으로 구성되어 있다.

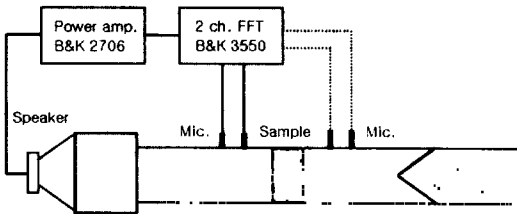


그림 12. 투과손실 측정 장치도.

그림 12의 장치를 이용하여 투과손실을 구하였는데 실제로 마이크로폰은 동시에 4개를 설치하지 않고 시료 전·후에 2 개씩 설치하여 순차적으로 신호를 측정하였다.

우선 우레탄 폼(두께 0.05 m)에 대한 투과손실의 측정값과 이론적 예측값을 비교하여 그림 13에 나타냈다. 결과를 보면 측정값의 평균값을 이론적 예측값이 잘 따라감을 볼 수 있다.

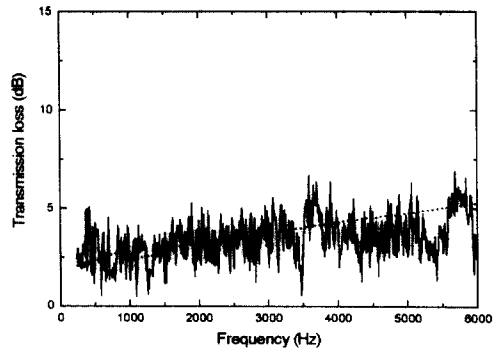


그림 13. 우레탄 폼의 투과손실. —: 측정값, --: 이론값.

위 결과에서 실제 관의 내경에 의한 평면파 한계를 고려하면 3,000 Hz까지 안정된 값을 기대할 수 있으나 비교를 위해 6,400 Hz까지 나타냈다. 그러나 비교적 측정값과 예측값이 잘 일치하고 있다. 즉, 고차항 모드에 의한 효과들이 고주파수 영역에서 일부 나타나지만 전체적인 흐름은 볼 수 있다.

다음은 두께 0.022 m인 시료 SA와 SB에 대한 결과를 그림 14에 비교하였다. 그림 13의 결과를 보면 SB 시료가 SA 시료보다 투과손실이 좋음을 알 수 있다.

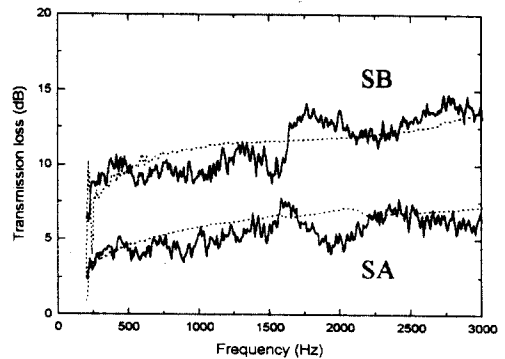
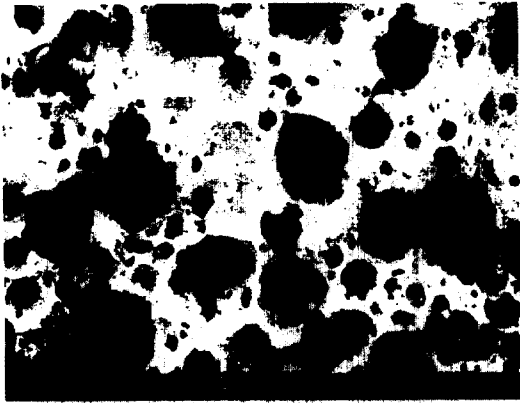
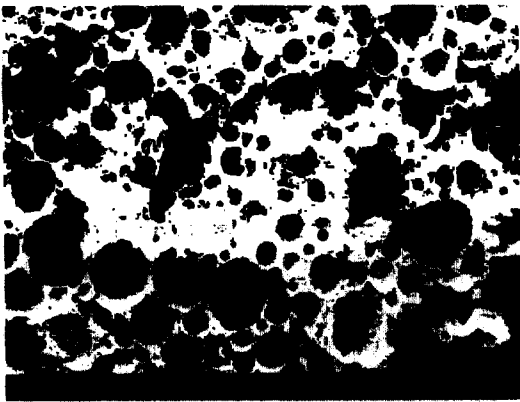


그림 14. 초경량 강체 콘크리트(두께 0.022 m)의 투과손실 비교. —: 측정값, --: 예측값.

한편, SA와 SB의 구조상의 특성을 살펴보기 위해 SEM 사진을 그림 15에 비교하였다. 두 시료의 기공률은 거의 비슷하여 SA는 87 % 그리고 SB는 89 %였다. 그러나 SA의 경우는 전반적으로 기공의 직경이 SB에 비해서 크며, 또한 셀간의 연결 구멍도 비교적 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 흡음성에 있어서는 SA가 SB보다 좋음을 뜻하지만 강도면에서는 단점을 가지게 된다. 따라서 어느 정도의 흡음성도 유지하면서 높은 투과손실을 낼 수 있는 SB형 시료가 오히려 활용성에 있어서는 더 유리하다고 할 수 있다.



(a)



(b)

그림 15. 초경량 강체 콘크리트의 SEM 사진.

(a) SA 시료, (b) SB 시료.

4. 결론

본 연구에서는 환경 친화적인 흡음재로서 개발된 초경량 콘크리트 흡음재에 대한 흡음특성과 투과손실을 측정하고 이론적 예측값과 비교하였다. 시험결과 초경량 콘크리트는 비교적 높은 흡음력(두께 0.05 m인 경우 NRC 0.7 이상)을 가지면서도 투과손실도 좋은 흡음재로 충분히 개발될 수 있음을 확인하였다. 이러한 흡음재는 특히 도로 방음벽 혹은 실내 등에 흡·차음을 동시에 요구하는 시설물에 활용이 가능할 것으로 사료된다. 좀더 높은 투과손실을 내기 위해서는 시료 뒤에 면밀도가 높은 재료와 혼합한 복합형으로 발전하면 활용성이 더 다양해질 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Delany, M. E. and Bazley, E. N., 1970, "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials," Appl. Acoust. Vol. 3, pp. 105~116.
- [2] 정성수, 황철호, 1996, "플라스틱 폼의 음향 특성 조사," 한국소음진동공학회지 제 6권 제 3호 pp. 333~340.
- [3] 황철호, 정성수, 은희준, 1997, "흡음재의 특성임피던스와 전파상수의 새로운 결정방법," 한국소음진동공학회지 제 7권 제 5호 pp. 781~787.
- [4] Utsuno, H., Tanaka, T., Fujikawa, T., and Seybert, A. F., 1989, "Transfer Function Method for Measuring Characteristic Impedance and Propagation Constant for Porous Materials," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 86, pp. 637~643.
- [5] Chung, J. Y. and Blaser, D. A., 1980, "Transfer Function Method for Measuring in-Duct Acoustic Properties I. Theory," J. Acoust. Soc. Am., Vol. 68, pp. 907~913.