



소음저감을 위한 흡음시스템 설계방안

흡음재, 다공판, 공기층 등을 적절하게 사용함으로써 실내·외에서 발생하는 소음을 적절하게 저감시킬 수 있는 방안을 소개한다.

정성수

한국표준과학연구원 (jss@kriss.re.kr)

근래에 와서 민원이 가장 많이 발생되고 있는 환경 문제로는 단연 소음이다. 소음은 개인마다 그리고 주변 상황에 따라 느끼는 정도가 다소 다르지만 '듣기 싫은 소리'로 정의할 수 있다. 이러한 소음을 적절하게 저감하기 위한 가장 보편적인 방법이 흡음재를 사용하는 것이다. 그 동안 가장 많이 사용된 흡음재로는 실제 단열재로 개발된 유리면과 암면을 들 수 있으며, 최근에는 인공수지를 소재로 한 면사(fiber)류, 폴리우레탄 등을 소재로 한 폼(foam)류, 이 밖에도 금속, 콘크리트 등의 다양한 소재를 사용하여 개발하고 있다. 흡음재를 사용하여 소음을 저감시키는 주된 원리는, 음이 흡음재 내로 들어와서 진행되는 동안 흡음재를 구성하는 면사 혹은 폼의 셀과 마찰에 의해 열로 변환시키는 것이다. 따라서 흡음재가 되기 위해서는 흡음재 내에 공기가 통할 수 있는 공간이 필요하다. 즉, 표면이 공기가 통할 수 없는 재질은 흡음재로 사용하기 어렵다. 비록 소음 에너지가 흡음재 내에서 열로 전환될지라도 그 에너지가 크지 않으면 감지하기가 쉽지 않다.

흡음재의 음향특성은 흡음계수로 평가하고 있다. 흡음계수는 입사된 음향에너지 대 흡음재에서 손실된 에너지와의 비로서 정의된다. 이 값은 무차원으로 일반적으로 0에서 1 사이에 있다. 예를 들어, 흡음계수가 0.9라면 90%의 음향에너지는 흡음재에 의해 흡음되고 10%만 흡음재 밖으로 반사됨을 뜻한다. 이러한 흡음계수를 측정하기 위한 방법으로 국제 규

격인 ISO 10534-2(KS F2814-2도 동일함)를 많이 사용하고 있다. 이 방법은 그림 1에서 보듯이 관내에 흡음재를 설치하고 그 반대편에서 확성기로 음을 흡음재면에 수직으로 입사시켜 흡음재 앞에 설치된 2개의 마이크로폰을 사용하여 흡음재 밖으로 되돌아오는 음압을 측정함으로써 반사계수를 계산하고 이로부터 흡음계수를 최종적으로 산출하게 된다. 측정 시편은 그림 1에서 보듯이 원형으로 만들어도 되고, 시편을 설치하는 관이 사각형이라면 시편 역시 사각형으로 만들면 된다. 이때 측정 주파수는 관의 내경에 의존하게 되며, 관의 내경이 0.03 m와 0.1 m 정도인 두 가지 관을 사용하는 것이 상업용으로 제공되고 있다. 관 내경이 0.1 m 되는 것은 100 Hz에서 1600 Hz까지 그리고 관 내경이 0.03 m인 경우는 800 Hz에서 6400 Hz까지 측정하고 있다. 관의 재질은 단단한 재질로 주로 금속으로 만들고 있다. 내부가 보이도록 아크릴 계통을 사용하여도 되지만, 아크릴은 비정질이기 때문에 장시간 사용할 경우 원형을 유지하지 못할 가능성도 있다.

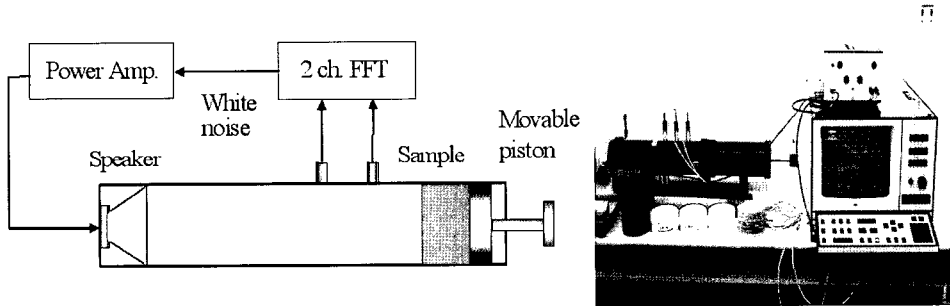
흡음재만을 사용한 소음제어

그림 1과 같은 장치로 흡음재의 흡음계수를 측정할 경우 어떤 결과를 얻는지 살펴보도록 하겠다. 두께 0.05 m와 0.1 m인 유리면(체적밀도 24 kg/m³)과 두께 0.022, 0.045, 0.067 m인 우레탄폼(체적밀도 35

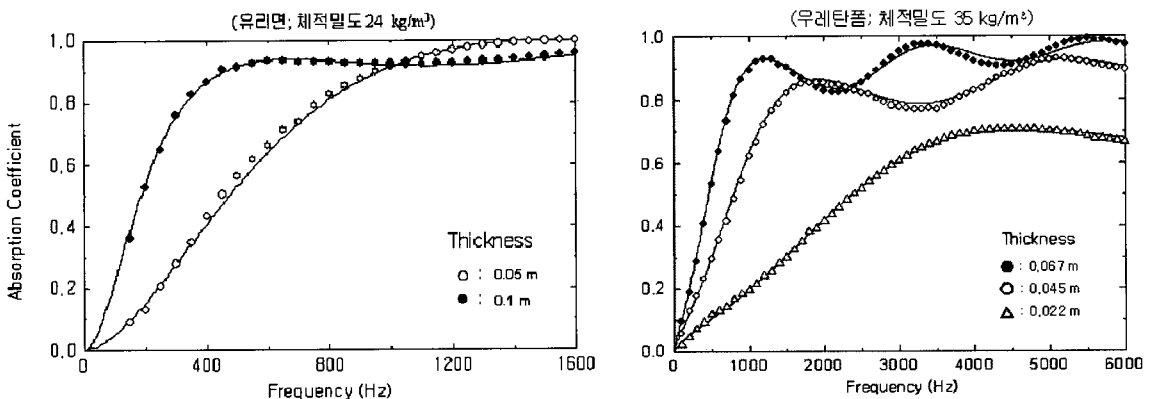
kg/m³)을 강제 전면에 설치한 경우 흡음계수 측정 값은 그림 2와 같다. 결과를 보면 첫 번째 특징은 주파수가 높을수록 흡음계수 역시 전반적으로 증가한다. 즉, 낮은 주파수에서는 흡음이 잘 되지 않음을 뜻한다. 두 번째는, 흡음재 두께를 증가시키면 낮은 주파수 대역에서의 흡음이 증가하게 되는데, 예를 들어, 400 Hz에서 두께가 0.05 m인 유리면의 흡음계수는 0.45 정도이지만 두께를 0.1 m로 두 배 증가시키면 흡음계수가 0.85 정도로 증가하게 된다. 이러한 결과로부터 주파수가 낮은 대역의 소음을 효과적으로 저감시키기 위해서는 흡음재의 두께를 증가시키는 방법이 필요하다는 것을 알 수 있다. 하지만 우리가 저감하고자 하는 소음 주파수가 1600 Hz 정도에 있다면, 두께 0.1 m인 유리면을 설치하는 것 보다 두께 0.05 m인 유리면을 설치하는 것 보다 효과적이지 못

하다. 이렇듯이 소음저감을 효과적으로 하기 위해서는 소음원에 대한 주파수 분석을 통해 저감하고자 하는 주파수 대역을 확인한 후, 흡음재의 특성 평가를 통해 적절한 두께의 흡음재를 선택하는 것이 필요하다. 그림 2에서 실선은 이론적 예측 값으로 유리면과 같은 면사류에 대해서는 기존에 알려진 모델을 활용하면 예측 값을 쉽게 산출할 수 있으며 실험 결과와도 잘 일치하고 있다.

유리면의 경우처럼 내경 0.1 m의 관을 사용할 경우는 1600 Hz까지 실험을 할 수 있기 때문에 마치 1600 Hz 이상에서도 흡음이 계속 증가하는 것처럼 생각할 수 있다. 하지만 우레탄폼에서 보듯이 6400 Hz까지 측정하면 첫 번째 피크 후 제 2, 제 3의 흡음계수 피크값이 고주파에서 반복적으로 나타나게 된다. 일반적으로 흡음재를 만드는 원 소재에 따라 그



[그림 1] 흡음재의 흡음계수 측정을 위한 관내법 측정장치



[그림 2] 유리면과 우레탄폼의 두께 변화에 따른 흡음계수 비교



리고 같은 소재인 경우라도 만드는 공법에 따라 주파수에 따른 흡음특성이 다르다.

앞서 흡음재의 두께를 증가시킴으로서 저주파 대역의 흡음을 증가시키는 현상을 보았다. 이 방법 외에도 흡음재 후면에 공기층을 두는 방법도 있다. 그림 2와 동일한 유리면 시료(두께 0.05 m, 체적밀도 24 kg/m³) 후면에 공기층을 0.05 m 두고 설치할 경우의 흡음계수 측정 값을 그림 3에 나타냈다. 유리면 후면에 공기층이 없는 그림 2의 경우는 1,600 Hz 대역에서 1.0의 흡음계수 값을 가졌는데 공기층을 후면에 둠으로서 그림 3에서 보듯이 800 Hz 대역에서 1.0의 흡음계수 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 즉, 저주파 대역에서의 흡음이 증가하게 된다. 따라서 저감 하고자 하는 소음 주파수 대역이 800 Hz 근처라면 흡음재의 두께를 증가시키지 않고 후면에 공기층을 둠으로서 적절하게 저감시킬 수 있다. 비록

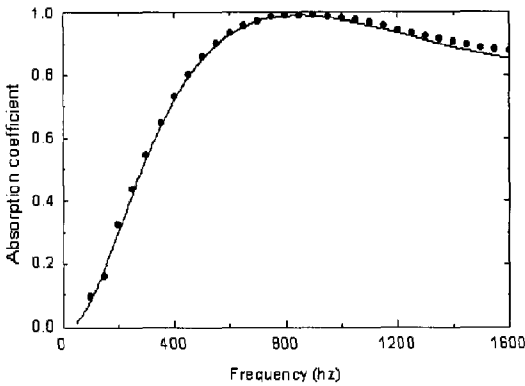
여기서는 그 결과를 나타내지 않았지만 흡음재들 간의 조합에 의해서도 원하는 주파수 대역의 소음 저감할 수 있다. 즉, 같은 두께의 흡음재를 사용할 경우, 한 종류의 흡음재를 사용하는 것보다 2개 이상의 흡음재를 조합하여 사용함으로써 각각의 흡음재가 가지는 흡음특성을 활용하는 것이 더 효과적일 수 있다.

다공판, 흡음재, 공기층 조합을 이용한 소음제어

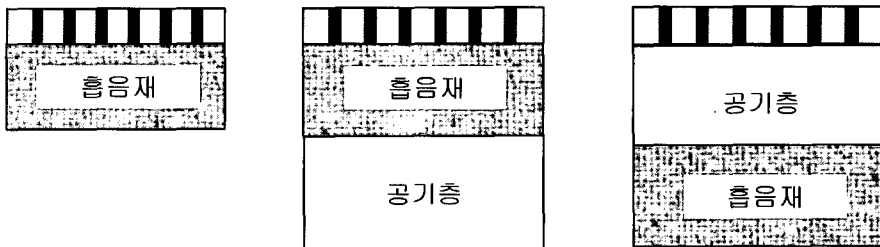
흡음재만을 사용하여 흡음을 하는 경우도 있지만 흡음재를 지지하기 위해 그리고 마감처리를 견고하게 하기 위해 전면에 다공판을 설치하고 그 뒤에 흡음재와 공기층과의 조합을 하는 경우가 있다. 기본적인 구조는 그림 4와 같이 다공판+흡음재, 다공판+흡음재+공기층, 다공판+공기층+흡음재 등의 3가지로 조합할 수 있다. 다공판을 사용하는 흡음 구조물은 도로변에서 설치된 방음벽에서 흔히 볼 수 있는데 전면에 다공판이 있고 외부에서는 보이지 않지만 실제 그 뒤에 흡음재와 공기층이 적절하게 조합되어 있다. 이러한 형태는 실내에서도 소음저감을 위해 많이 설치되어 있다.

다공판 구조물의 흡음특성은 다공판의 두께(t), 구멍의 직경(d), 다공판의 단면적 대 구멍의 총 단면적 비인 기공률(p), 다공판 뒤 공기층의 두께(D) 등이 기본적인 변수가 된다. 예를 들어, t=0.001 m, d=0.004 m, p=4.64%인 다공판 뒤에 공기층 D=0.026 m 둔 경우 흡음계수는 그림 5와 같고 1250 Hz 근처에서 0.3 정도의 낮은 흡음계수를 갖는다.

그림 5처럼 구멍의 직경이 0.004 m인 다공판만을 사용한 구조체는 흡음력이 상당히 낮아 단독으로 사



[그림 3] 유리면 시료(두께: 0.05 m) 후면에 공기층을 0.05 m 둔 경우 흡음계수



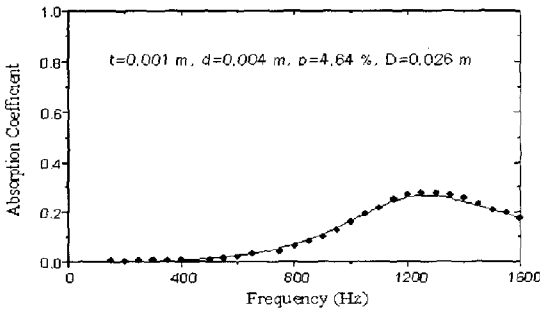
[그림 4] 다공판, 흡음재, 공기층으로 구성된 3가지 기본적인 흡음시스템

용하기 힘들다. 이러한 다공판을 그림 2의 유리면 (체적밀도 24 kg/m^3 , 두께 0.05 m) 전면에 설치할 경우 흡음계수 측정 값을 그림 6에 나타냈다. 그림 2에서 유리면만을 설치한 경우에 1600 Hz 근처에서 높은 흡음계수를 가졌던 것이 이제는 다공판의 설치로 인해 $600\text{--}700 \text{ Hz}$ 사이에서 피크 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 적절한 다공판을 흡음재 전면에 설치함으로써 앞서의 흡음재 두께를 증가시키거나 후면에 공기층을 둔 효과처럼 저주파 대역의 흡음을 크게 증가시킬 수 있게 된다.

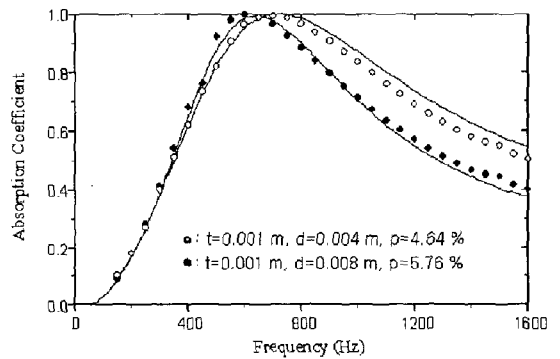
다음은 다공판+공기층+흡음재 구조물과 다공판+흡음재+공기층 구조를 갖는 흡음체에 대한 흡음계수를 변수들을 변화시키면서 측정한 결과를 그림 7에 비교하였다. 그림 7에서 보듯이 구조체들의 조합에 따라서도 서로 다른 음향특성을 가짐을 확인할

수 있다. 앞서도 언급한 바와 같이 이러한 구조물 역시 1600 Hz 이상의 대역에서 제 2, 3의 피크값이 존재하기 때문에 저감 대상 주파수를 확인한 후 구조물 설치를 결정해야만 한다. 결과에서 실선은 역시 이론적 예측 값을 의미 한다.

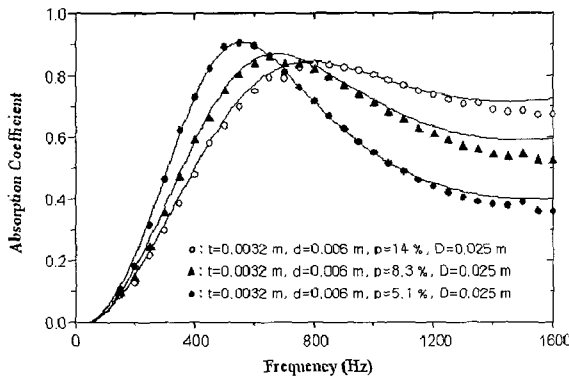
실내에 설치되는 방음판의 경우는 원형 구멍을 갖는 다공판을 사용하지만 옥외 방음벽의 경우는 초창기에는 슬릿형을 주로 사용하다가 최근에는 원형도 많이 사용되고 있다. 여기에서는 슬릿형 다공판에 대한 결과를 나타내지는 않았지만 흡음특성은 원형인 경우와 유사한 결과를 준다. 다공판 후면에 설치하는 흡음재의 경우, 최근에는 인공수지 계통의 면사류 혹은 폼류를 그대로 설치하고 있지만 유리면



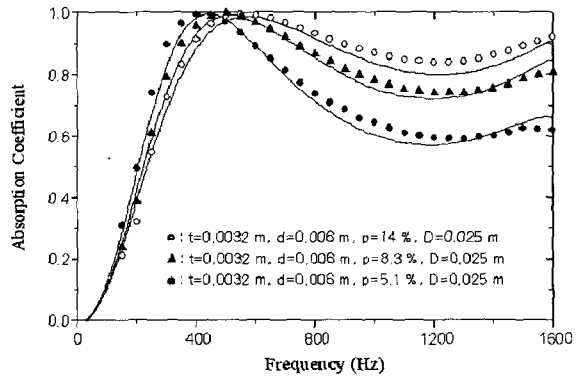
[그림 5] 다공판 후면에 공기층을 둔 경우 흡음계수



[그림 6] 다공판+흡음재 구조를 갖는 다공판 구조체의 흡음계수



a) 다공판+공기층+흡음재



b) 다공판+흡음재+공기층

[그림 7] 다공판+공기층+흡음재 구조체와 다공판+흡음재+공기층 구조체의 흡음계수 비교



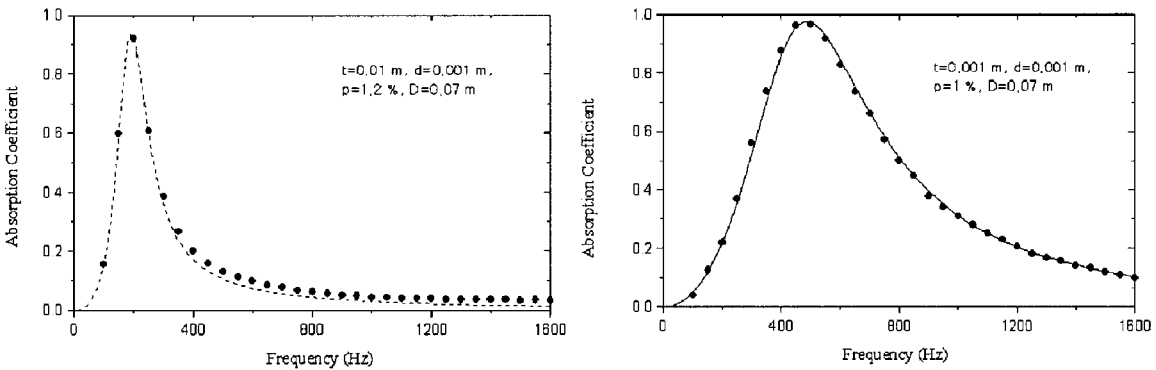
혹은 압면의 경우는 분진이 날리는 경우를 고려하여 PVF 필름에 넣어 설치하여 왔다. 다공판, 흡음재, 공기층으로 구성되는 흡음체의 경우 설계대로 흡음특성을 기대하기 위해서는 이러한 구조가 잘 유지되도록 제작부터 운반 그리고 시공시까지 주의를 해야만 한다. 많은 경우 운반과정과 설치 시 흡음재와 공기층의 간격이 상당부분 변하기 때문에 흡음특성 역시 변화될 우려가 있다.

미세 다공판과 공기층 조합을 이용한 소음제어

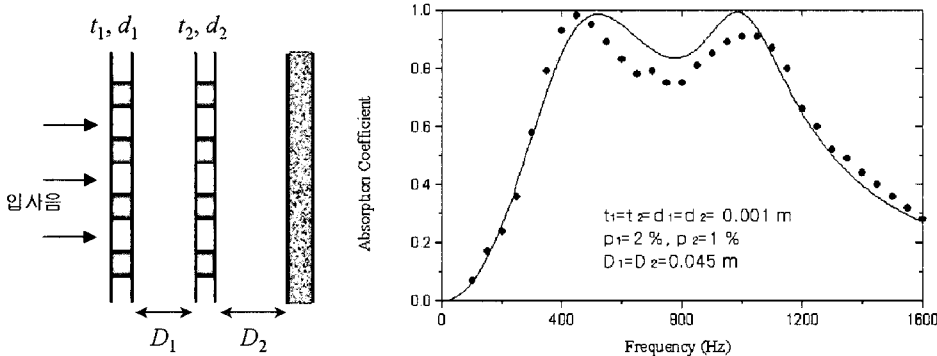
지금까지 흡음재만을 사용한 경우와 다공판을 사용한 흡음 구조체에서 보았듯이 흡음재가 전체적인 흡음특성을 결정하는데 중요한 역할을 하고 있다. 한편, 병원, 유아시설물, 반도체공장, 식당 등 소음

저감이 필요하면서도 흡음재의 분진으로 인한 건강 및 위생 문제를 해결하기 위해 흡음재의 사용이 제한되는 경우도 있을 수 있다. 이런 경우 패널의 두께와 구멍의 직경이 0.001 m 이하인 미세 다공판과 공기층으로 구성된 흡음 구조체를 활용할 수 있다.

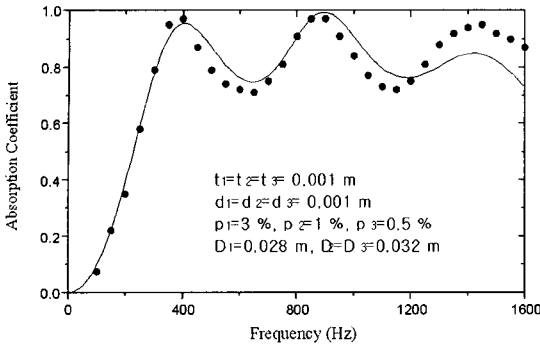
두께 0.01 m, 구멍직경 0.001 m, 기공률 1.2%인 다공판 후면에 공기층을 0.07 m 둔 경우 흡음계수 측정 값을 그림 8에 나타냈다. 결과에서 보면 200 Hz 대역에서 높은 흡음계수를 갖지만 협대역에서만 흡음력이 높다는 것을 알 수 있다. 하지만 다공판의 두께를 0.001 m로 감소시킨 경우는 두께가 0.01 m 인 경우에 비해 상대적으로 흡음력이 높은 주파수 대역이 크게 증가함을 볼 수 있다. 따라서 다공판의 두께와 구멍의 직경이 0.001 m 정도인 패널을 사용하면 흡음재를 사용하지 않고도 소음을 저감할 수



[그림 8] 다공판+공기층으로 구성된 구조체의 패널의 두께에 따른 흡음계수 비교



[그림 9] 미세 다공판을 2개 설치한 경우 흡음계수



[그림 10] 미세 다공판을 3개 설치한 경우 흡음계수

있게 된다.

다공판을 하나만 사용하는 것이 아니라 몇 장을 설치하면 흡음대역을 좀더 확장할 수 있다. 그림 9는 미세 다공판을 2장 사용할 경우 흡음계수 값을 나타냈는데 미세 다공판을 하나만 사용한 경우와 비교하면 피크가 2개 발생하며 흡음주파수 대역도 확장되었음을 볼 수 있다. 그림 10은 미세 다공판을 3장

설치한 경우의 흡음계수 결과이다. 패널 수가 증가함에 따라 기본적으로 흡음계수 피크 값 역시 다공판 개수만큼 증가하게 되며, 넓은 주파수 대역에 걸쳐 높은 흡음률을 보이고 있다. 따라서 저감하고자 하는 주파수 대역이 결정되면 패널의 두께, 구멍의 직경, 공기층 등의 변화에 따른 예측을 통해 최적화하는 것이 효과적이다.

지금까지 흡음을 효과적으로 하는 방법으로 몇 가지 방법에 대해 실제 측정한 결과를 가지고 살펴보았다. 소음을 적절하게 감음하기 위해서는 대상 소음원에 대한 주파수 분석이 우선되어야 하며 현장 조건에 맞게 본 고에서 제시한 방법을 활용할 수 있다. 현장처럼 입사음이 난 입사되는 경우는 모든 방향으로 입사되는 음에 대한 고려가 필요하지만, 흡음재 혹은 다공판 구조체 후면에 격자형태 혹은 하니콤 구조물을 설치하면 앞서 제시한 결과들과 실제 유사한 결과들을 얻기 때문에 기본적인 가이드라인으로 충분히 활용할 수 있을 것으로 기대된다. ㉔