알루미늄칩과 타공판을 이용한 방음벽 충전재의 흡음특성

이영중 · 김대건 · 박경화* · 김영도†

한양대학교 신소재공학부, *㈜ 포이즈 앤 컴팩트

Absorption Characteristics of Sound Proof Wall by Scrap Aluminum and Perforated Plate

Young Jung Lee, Dae-Gun Kim, Kyung Hwa Park* and Young Do Kim†

Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University, *Poise & Compact Co.

(2009년 6월 3일 접수 : 2009년 7월 6일 최종수정 : 2009년 7월 13일 채택)

Abstract Efforts to reduce noise in industrial application fields, such as automobiles, aircrafts, and plants have been gaining considerable attention while a sound proof wall to protect people from the noise has been intensively investigated by many researchers. In this study, our research group suggested creating a new sound proof wall composed of scrap aluminum chips and perforated plates in a commercial polyester sound proof wall, which was then successfully fabricated. This wall's sound absorption characteristics were measured by an impedance tube method. The sound absorption property was evaluated by measuring the Noise Reduction Coefficient (NRC) to the standard, ASTM C 423-90a. The noise reduction coefficient of the sound proof wall composed of 3.5 vol.% and 7.5 vol.% of scrap aluminum chips relatively increased to 5% and 8% compared to the commercial polyester sound proof wall. The scrap aluminum perforated plate also relatively increased to 13% compared to the commercial polyester sound proof wall.

Key words sound absorption property, sound absorption coefficient, scrap aluminum chip, scrap aluminum perforated plate, noise reduction coefficient.

1. 서 론

인류의 끊임없는 노력으로 삶의 질은 향상되었으나 그로 인해 수질 및 대기오염, 소음, 각종 질병등의 부작용이 발생하게 되었다. 특히 환경소음은 인류가 발전시킨 자동차, 기계 및 이로 인한 시설들로 인해 발생된 것으로 이러한 환경소음에 대한 대책의 일환으로서 환경소음을 효과적으로 차단하거나 줄일 수 있는 고기능성방음벽에 대한 수요 및 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁻³⁾ 방음벽은 소음을 가장 많이 받는 위치인 수음점을 고려해서 제작하게되며, 제작시에는 입사되는 소음에 비해 흡수되는 소음의 정도를 나타내는 흡음률, 방음벽을 통과한 소음이 입사되는 소음에 비해 얼마나 줄어드는가를 측정 및 계산하는 삽입손실 등을 고려해서 제작한다.⁴⁾

현재 쓰이고 있는 방음벽 흡음재료에는 펠트(felt)나 유리면 같은 섬유재료와 폴리우레탄폼과 발포알루미늄 같은 발포재료를 주로 사용하고 있으며 섬유재료가 많은 부분 사용된다.⁵⁾ 섬유재료중에서 가장 많이 사용되는 폴리

에스터흡음재는 우수한 단열성 및 흡음성, 형태안정성, 반영구적 사용과 더불어 100% 재활용이 가능한 장점이외에도 뛰어난 배수성(흡음단열 성능의 저하가 없음)과 연소시 유독 가스가 발생하지 않아서 가장 일반적으로 사용되고 있는 재료이다. 또한 냄새가 없고, 인장강도 및 결합력이 우수하여 독립성이 아주 강하고, 재활용이 가능한 장점을 갖고 있다. 그러나, 폴리에스터가 흡음재로 사용되는데 있어 고주파 영역의 흡음 특성이 뛰어나지만, 저주파영역에서의 흡음 특성은 떨어지는 단점을 가지고 있다⁵⁾. 따라서, 저주파영역에서의 흡음특성을 향상시키기 위해서는 저주파음역대의 흡음특성을 높여줄 수 있는 재료를 복합화한 흡음재가 고안되어야 한다. Ashby⁶⁾는 음파가 상호 다른 물질들간에 입사될 때 반사 및 투과에 대한 계수를 밀도와 입사되는 에너지의 관계를 이용한 음파임피던스 (sound wave impedance)를 통해서 설명하였으며 음파 임피던스는 다음과 같다.

$$Z = \rho v = \sqrt{\rho E} \quad (1)$$

E 는 Young's modulus이며 ρ 는 밀도이다. 이를 공기 (air)와 매질(mass)사이의 반사와 투과에 대해 음파임피던

†Corresponding author

E-Mail : ydkim1@hanyang.ac.kr (Y. D. Kim)

스를 이용하여 표현을 하면 다음과 같이 표현된다.

$$R = \frac{Z_a - Z_m}{Z_a + Z_m} \quad (2)$$

$$T = 1 - R = \frac{2Z_m}{Z_a + Z_m} \quad (3)$$

윗 식에서 물질 1과 물질 2의 음파임피던스의 값의 차이가 클수록 음파는 투과가 되지 않고 반사되는 것을 알 수 있다. 또한 공기에 비해 상대적으로 밀도가 높은 재료의 비율이 높아질수록 음파를 반사하거나 차단하는 성질이 높아지는 것을 알 수 있다. 또한, Brigitte⁴⁾는 열린 기공구조를 가지는 다공성 구조체에 타공된 알루미늄판을 복합화하여 저주파영역에서의 소음흡수계수 (sound absorption coefficient)의 향상을 가져온다고 주장하였다. 이에 본 연구에서는 모세관형상구조로 된 폴리에스터 내부에 음파가 입사될 때에 흡음재 구조물들과 마찰에 의해 음에너지가 소비되는 것을 이용하여 고주파영역에서의 흡음특성을 향상시킬 뿐만 아니라 차음과 방음에 대한 효과를 향상시키고자 금속칩과 타공판을 기존 폴리에스터 방음벽충진재 내부에 복합화함으로 음파 입사시 음파의 난반사를 유도하고 음파가 매질을 통과하는 거리를 증가시켜 폴리에스터 방음벽내에서 2차적인 음파의 흡수에 따른 흡음특성의 변화를 관찰코자 하였다. 이에 상용 폴리에스터 흡음재에 낮은 밀도, 불규칙한 형상으로 인해 복합화하기에 적합한 폐알루미늄칩을 분산시킨 흡음재와 폴리에스터 흡음재내에 알루미늄타공판을 넣어서 복합화한 2 종류의 흡음재를 제조하고 흡음특성을 관찰하여 비교, 분석 및 고찰하였다. 또한 폐기되는 폐알루미늄칩분산의 경우는 자원재활용적인 측면에서도 유익하다고 하겠다.

2. 실험 방법

본 연구에서 제조한 흡음재 및 상용제품은 국내에서 생산되어 건축용흡음재로 사용되고 있는 폴리에스터(아트론)를 대상으로 사용하였으며 상용 폴리에스터 흡음재는

Fig. 1. Schematic diagram of measuring instruments for impedance tube method.

폴리에스터 섬유를 배합(fiber mixing), 카딩(carding)을 통해 제조된 섬유웹(web)을 니들펀칭(needle punching)후 바인더와 혼합, 열융착을 통해 제조되었다. 또한, 폐알루미늄칩이 복합화된 흡음재와 폐타공판이 복합화된 흡음재를 제조하기 위해 폐알루미늄칩은 분쇄기에서 약 5 mm × 5 mm의 크기를 가지는 불규칙한 형상의 작은 칩으로 분쇄한 후 기존 건축용으로 사용되는 폴리에스터 섬유 20 g을 각각 분쇄하여 섬유 웹 형태로 만든 후 상기 제조된 폐 알루미늄 칩을 균일하게 분산하였다. 이를 다시 여러 겹으로 겹쳐서 흡음재로 성형하였으며, 이때 흡음재에 넣은 폐 알루미늄 칩은 양은 40 g (3.5vol.%)과 80 g (7vol.%)이었다.

폐알루미늄타공판을 복합화한 흡음재의 경우 50 mm 두께의 폴리에스터 흡음재에 타공판 (두께 0.3 mm)을 25 mm 간격으로 설치하였고, 이 때 상기 알루미늄 타공판의 흡음을 위해 타공된 구멍의 크기는 6 mm로 3장의 타공판을 각각 엇갈리게 설치하여 흡음률을 향상시키고자 하였다. 또한, 이렇게 제조된 흡음재는 저주파영역의 흡음특성을 측정 하기 위해 5 cm의 두께와 10 cm의 지름으로 컷팅하였고, 고주파 영역 측정을 위해 5 cm의 두께와 3 cm로 제조하였다.

이렇게 제조된 흡음재를 관내법 (impedance tube method)으로 흡음특성 평가를 하였다. 측정은 Fig. 1에서와 같이 임피던스 관내 한쪽에 흡음재를 설치하고 그 반대쪽에서 음파를 흡음재로 입사시키면 관내부에서 입사파와 흡음재를 통과한 다음 다시 뒤에서 반사되어 나오는 반사파의 중첩에 의해 관내에 정재파가 형성되는데, 관벽에 설치된 두개의 마이크로폰으로 이를 수음하고 전달함수를 이용하여 흡음률을 측정하였다. 저주파 영역의 흡음특성은 $\phi 100 \times 100$ mm (두께), 고주파영역의 흡음특성은 $\phi 29 \times 100$ mm (두께)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 폐알루미늄칩의 흡음특성

Fig. 2는 폐알루미늄칩(Al chip Scatter)이 분산된 폴리에스터 내부에 음파가 입사될 때 음파가 흡수되는 원리를 나타내는 모식도이다. 외부에서 폴리에스터 방음벽 내부에 음파가 입사될 때 1차적으로 폴리에스터에서 음을 흡수하고 내부에 분산되어 있는 폐알루미늄칩에서 음파를 난반사시켜 음파가 매질을 통과하는 거리를 증가시켜 난반사된 음파를 다시 폴리에스터 방음벽내에서 2차적인 음파의 흡수를 통해 흡음특성 향상을 꾀하였다. 이러한 모식도를 적용하여 제조된 충전재와 기존 방음벽충진재와의 흡음특성에 관한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 기존 상용으로 사용되고 있는 상용 폴리에스터 흡음재와 비교하여, 폐알루미늄칩을 분산시킨 흡음재가 250~1250 Hz

에 이르는 저주파영역에서 흡음특성이 향상되며 250, 500, 1000, 2000 Hz의 주파수에서 측정된 흡음률의 산술평균치인 소음감쇄계수 (Noise Reduction Coefficient, NRC)⁸⁾는 3.5vol.%의 칩이 들어갔을 경우에는 약 9%의 흡음특성 향상, 7vol.%의 칩이 들어갔을 경우에는 약 13% 이상의 흡음특성이 향상됨을 알 수 있었다. 또한, 250~2000 Hz에 이르는 전체적인 영역에서는 소음 감쇄계수가 3.5vol.%의 칩이 들어갔을 경우에는 약 5%의 흡음특성과 7vol.%의 칩이 들어갔을 경우에는 약 8%의 흡음특성이 향상되었다. 이는 실제로 음파가 흡음재안으로 입사될 때 내부에 분산되어 있던 불규칙한 형상의 알루미늄칩에서 난반사되었고 이를 다시 폴리에스테르가 2차적으로 음을 흡수시켜 음파가 매질을 통과하는 거리가 증가하므로 폴리에스테르 방음벽의 흡음특성이 향상되는 것이며 이는 전체적인 방음벽의 두께가 증가하는 효과로 볼 수 있다. 그러나 폐 알루미늄 칩의 양이 7vol.%로 증가

Fig. 2. Schematic diagram of sound absorbing materials composited with aluminum scrap chip.

Fig. 3. Comparison of sound absorption coefficients of commercial polyester and polyester composited with Al chip.

함에 따라 흡음특성의 향상효과는 크지 않는데 이는 충전재의 흡음 메커니즘이 폐 알루미늄칩의 함량이 증가하여도 입사되는 음파를 흡수하는 역할보다는 음을 난반사시켜 다른 폴리에스테르 매질로의 전달하고 이를 폴리에스테르에서 흡수하는 메커니즘에 의한 것으로 판단된다.

3.2 폐알루미늄타공판을 이용한 충전재의 흡음특성

Fig. 4는 폴리에스테르에 알루미늄 타공판을 배열하여 넣은 흡음재의 모식도이다. 이 알루미늄타공판은 홀(drilling hole)을 엇갈리도록 배열하여 음파의 진행을 방해함과 동시에 반사하고, 이러한 음파를 다시 폴리에스테르 흡음재 내에서 흡수하여 흡음특성을 향상시키고자 하였다. 이러

Fig. 4. Schematic diagram of sound absorbing materials composited with perforated aluminum plate.

Fig. 5. Comparison of sound absorption coefficients of commercial polyester and polyester composited with perforated plate.

Table 1. Comparison of noise reduction coefficient (NRC) of composited with Al chip and perforated Al plate.

	Noise Reduction Coefficient (250~2000 Hz)	Increasing Rate (%)
Commercial P.E	0.600	-
Al chip 3.5vol.%	0.631	5
Al chip 7.0vol.%	0.648	8
Perforated plate	0.677	13

한 모식도를 바탕으로 제작한 결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 상용 폴리에스터 흡음재와 비교하였을 때, 알루미늄타공판을 넣은 흡음재가 250~1250 Hz에 이르는 저주파 영역에서 약 22%의 흡음특성이 향상된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 250~2000 Hz에 이르는 영역에서의 소음 감쇄계수는 약 13%의 흡음특성의 향상을 보였다. 홀(drilling hole)의 배열을 음파의 입사방향에 따라 평행하지 않도록 배열함에 따라 음파의 진행방향에 영향을 주고, 이러한 음파가 매질인 폴리에스터를 통과하는 거리가 증가되고 결과적으로 폴리에스터 방음벽의 흡음특성이 향상된 것으로 판단된다.

이렇게 각각 페알루미늄칩을 분산시켜 넣은 충전재와 알루미늄 타공판을 복합화한 충전재의 흡음특성을 측정한 결과 저주파영역에서 기존의 폴리에스터만 사용된 충전재에 비해 상대적으로 복합화된 흡음재가 보다 우수한 흡음특성을 갖는 것을 확인할 수 있었으며 이는 알루미늄칩과 타공판의 분산 및 삽입으로 인해 입사되는 음파의 난반사를 유도하여 매질인 폴리에스터내에서 음파의 진행거리를 증가시키는 메커니즘에 의한 것으로 판단된다. 또한, 저주파 영역뿐만 아니라 전체적인 소음감쇄계수 비교에서는 타공판을 넣은 알루미늄 흡음재가 상대적으로 우수함을 알 수 있었고, 이를 Table 1에 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 상용 폴리에스터방음벽을 이용하여 각각 페 알루미늄 칩과 알루미늄타공판을 복합화하여 상대적으로 높은 밀도를 갖는 매질의 분산 및 복합화를 통해 흡음특성에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 기존 상용 폴리에스터 충전재에 알루미늄칩과 타공판을 복합화한 경우 모두 흡음계수의 증가를 보였으며 이는 음파의 입사시 난반사를 유도하고 음파의 투과를 방해하며 매질을 통과하는 거리의 증가로 인해 흡음특성이 향상되는 것으로 판단된다. 또한 페알루미늄칩을 복합화한 충전재에 비해 알루미늄 타공판을 이용한 충전재의 흡음특성이 보다 우수한 것으로 나타났다.

폴리에스터에 페알루미늄칩이나 타공판을 복합화한 흡음재는 아파트의 층간소음을 방지할 수 있는 방음벽, 음향실의 흡음패널, 고속도로 방음벽 등에 폭넓은 적용이 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. S. -S. Jung, Trans. Kor. Soc. Noise and Vibra. Eng., **12**(6), 404 (2002).
2. A. Noureddine, R. Panneton, Noise Control Eng., **44**(5), 235 (1996).
3. Y. S. Lee, I. D. Kim, and J. G. Lee, J. Kor. Soc. Auto. Eng., **14**(4), 68 (1992).
4. S. -S. Jung, Y.-T. Kim and W.-S. Lee, J. Acous. Soc. Kor., **21**(7), 624 (2002).
5. H. S. Byun and T. G. Lee, Polymer(in Korean), **25**(3), 427 (2001).
6. M. F. Ashby and L. J. Gibson, Cellular Solids, 2nd ed., p.304, Cambridge U. P., Cambridge, England, (1997).
7. K. Brigitte, H. -P. Degischer, Handbook of Cellular Metals: production, precessing, applications, p.231, Wiley-VCH, USA, (2002).
8. ASTM C 423-90a, Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficient by the Reverberation Room Method.