공기층의 두께와 소재에 따른 방음패널의 차음효과 Effects on Transmission Loss of Soundproof Panel Depending on Material and Thickness of Air Layer

이주행* · 김일호** · 박종빈*** · 안호상**** · 김광수*****
Lee, Juhaeng · Kim, Ilho · Park, Jongbin · Ahn, Hosang · Kim, Kwang soo

Abstract

Shortage of site suitable for housing caused by rapid urban development has led to a construction of the high-rise apartment complex along the roadside. This gave rise to the increasing number of population exposed to the traffic noise. Nowadays, transparent noise barriers are used to replace the conventional noise barriers to solve the problems such as maintenance and urban landscape. However, transparent noise barriers have also several problems such as discoloration, stains and scratching to lose initial advantages. In this study, it was focused to compare the soundproofing performance according to the type of polymer materials and panel structure to development of eco noise barrier. As a result, it was observed that PE and PP showed similar a soundproof performance with PC. And in case of soundproofing panel with double layer, sound insulation performance is improved about 17% compare to soundproofing panel with single layer.

Key words : Noise Barrier, Polymer, Soundproofing panel, Sound insulation, Double layer

요 지

투명형 방음 패널은 주변 미관, 시야확보, 겨울철 노면의 결빙 방지 등 다양한 장점이 있으며 차음형 방음벽의 구성요소로서 적용된다. 폴리머 및 유리소재를 이용한 방음벽 개발이 주로 이루어지고 있으나, 소음에 대한 규제정책의 강화 및 유지관리 등의 어려움으로 인한 많은 문제점이 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 소음제어효과를 향상시키고, 시공성 및 유지관리가 편리하고 기능성이 있는 친환경 방음벽 개발을 위한 기초연구로서 수행되었다. 새로운 소재 및 방음패널의 구조적(single layer, double layer) 특성에 대한 차음성능 효과를 알아보았다. 연구결과, 기존 PC(polycarbonate) 소재와 비교하여 PE(polyethylene) 및 PP(polypropylene) 소재의 경우 두께가 유사한 차음효과를 보여주었으며, 특히 PE의 경우, PC와 거의 같은 차음성능을 보여주었다. 또한 Single layer와 비교하여 Double layer는 약 17% 차음성능 향상을 보여주었으나, 공기층 두께에 대하여 보다 세밀한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 방음벽, 폴리머, 방음패널, 차음, 2층 구조

1. 서 론

최근 급진적인 경제성장 및 도시개발로 인한 인구증가 및 교통량의 증가는 소음공해와 같은 환경문제를 발생시킨다. 특히 교통량의 증가로 도로가 확장되어 기존의 중대형 차량 소

음으로 인한 피해가 상공업 지역 뿐 만 아니라 주거지역까지 그 영향을 미치고 있다. 이는 도시 계획 단계에서 교통의 편의성을 위하여 주거지역이 도로에 인접되어 건설되었기 때문이며, 교통소음에 관련된 민원을 해결하기 위한 방안은 방음벽의 설치 이외의 차선택은 기술적, 경제적인 이유로 실현시

*과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과 석사과정(E-mail: juhaeng@kict.re.kr)

M.S. Candidate, Department of Construction Environmental Engineering, University of Science and Technology

**교신저자. 정회원. 한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수석연구원. 과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과 교수(Tel: +82-31-910-0649, Fax: +82-31-910-0291, E-mail: ihkim@kict.re.kr)

Corresponding Author. Member. Senior researcher, Department of water resource and environment, KICT. Professor, Department of Construction Environmental Engineering, University of Science and Technology

***한국토지주택공사 토지주택연구원 건설환경연구실

Ph.D. Land & Housing Institute, Korea Land & Housing corporation

****한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 수석연구원

Senior researcher, Department of water resource and environment, KICT

*****한국건설기술연구원 수자원환경연구본부 본부장. 과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과 교수

Director, Department of water resource and environment, KICT. Professor, Department of Construction Environmental Engineering, University of Science and Technology

키기 어렵다. 특히 최근에는 교통소음 뿐만 아니라 교통소음을 해소하기 위한 방음벽의 설치로 인한 미관적인 측면에서의 환경적 문제도 점차 대두되고 있다(Kim, 2011). 최근 폴리머, 유리 소재를 기반으로 한 투명형 방음벽을 통하여 차음 성능 및 외관의 문제점을 해소하고자 하고 있으나, 폴리머 투명형 방음벽의 황변현상, 분진 등으로 인한 투과율 저하가 제기되고 있으며 유리 방음패널의 경우 교통사고 시 비산으로 인한 안전성에 대한 문제가 지적된다(Jo, 2002). 현재 방음벽 관련된 기술이 극복해야할 다양한 문제들이 산재하므로 다양한 측면에서의 연구가 필요하다(KICT 2012). 따라서 본 연구에서는 방음패널의 구조적 특징이 차음성능에 미치는 영향을 알아보기 위한 기초실험으로서 공기층을 갖는 패널에 대한 차음성능을 분석하였다.

기존의 연구는 방음패널의 구조가 같은 음향 특성이나(Xin, 2011) 소재에 대한 방음성능 각각에 대한 실험을 위주로 하였다. 그러나 패널의 구조에 대한 영향과 소재는 서로 독립적인 변인이 아닐 수 있기 때문에 두 가지 요인을 동시에 고려하는 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 구조적인 음향특성이나 소재의 음향성능만을 각각 대상으로 하였던 기존의 연구에서 나아가 구조적(single layer, double layer) 특징을 갖는 각기 다른 소재에 대한 차음성능 효과를 알아보았다.

2. 재료 및 분석방법

2.1 실험재료

본 연구에서는 기존 방음판 소재로 활용되고 있는 PC

(polycarbonate) 소재와 비교하여 방음판 소재로의 활용가능성을 알아보기 위하여 PP(polypropylene)와 PE(polyethylene)소재에 대하여 차음성능 특성을 두께별, 주파수별로 측정하였다.

또한 방음패널의 구조적 특성에 따른 차음효과에 대한 분석을 위하여 단층 구조(single layer) 및 공기층을 갖는 2층 구조(double layer)에 대하여 차음성능을 조사하여 보았다. PC 소재에 대한 단층 구조 및 공기층을 갖는 2층 구조에 대하여 상대적인 비교분석을 하였으며, 이와 비교하여 PP 및 PE에 대한 방음특성을 살펴보았다. 시험변수에 따른 세부 시험내용은 Table 1에 나타내었다.

2.2 실험장치 및 방법

2층 구조의 방음패널 효과를 살펴보기 위하여 본 연구에서는 소형방음시험기를 제작하였다. ISO(International Organization for Standardization)에서 차음 성능을 측정하는 잔향실의 체적을 50 m^3 이상으로 설계할 것을 제안하고, 확산판이나 흡음재를 사용하여 잔향시간이 1~2초가 되도록 음향학적 제어를 권장하고 있다. 또한, 잔향실에서 차음재(알루미늄 압출재)의 투과 손실을 측정하는 방법으로 ISO에서 제안하는 표준 측정법은 잔향실의 크기가 50 m^3 이상이고, 시편크기가 $8.5 \text{ m}^2 \sim 12 \text{ m}^2$ 로 규정하고 있지만, 이는 다양한 소재의 특성 분석 및 방음패널의 구조적 특성을 상대비교하기 위한 본 연구의 특성에 있어서는 비효율적이다(ISO 10140-1:2010). 따라서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 하부 음원실과 상부에서 측정하는 소형차음시험기를 제작하였다. 음원실은 $1,000 \times 1,000 \text{ mm}^2$ 의 규모로 제작되었으며, 시험 시 진동으로 인한 전달 및 음원손실을 최소화하기 위하여 우레탄 코팅, 실리콘, 부직포 및 흡음재로 보강하였다.

차음측정은 음원실 상단에 시편을 위치시킨 뒤, 음원실 바닥에 서로 다른 방향으로 설치된 두 개의 스피커를 통해 화

Table 1. Type of Specimen

Classification	Thickness of material (mm)	Thickness of air layer (mm)
PC20	2	0
PC22		2
PC24		4
PC28		8
PC40	4	0
PC42		2
PC44		4
PC48		8
PE22	2	2
PE24		4
PE28		8
PE42	4	2
PE44		4
PE48		8
PP22	2	2
PP24		4
PP28		8
PP42	4	2
PP44		4
PP48		8

Fig. 1. Schematic of Panels with Different Thickness of Air Layer (a) 0 mm of air layer, (b) 2 mm of air layer, (c) 4 mm of layer, (d) 8 mm of air layer

Fig. 2. Chamber for Transmission Loss Test

이트 노이즈를 발생시켜 시편을 통과한 음압을 측정하였다. 본 연구에서는 50 Hz부터 2,000 Hz까지 1/3 옥타브 밴드로 측정하였으며, 시험 당 10초간 총 3회를 측정한 음압을 평균하여 차음량(dB)을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PC 방음패널 구조에 따른 소음저감 특성

기존 투명형 방음벽에 주로 활용되는 PC 소재를 이용한 방음패널의 방음효과는 다음과 같다. Table 2에서 보는 바와 같이 PC 소재를 활용한 단층구조의 방음패널의 방음효과는 전반적으로 250 Hz를 기준으로 250 Hz 이하인 저주파의 경우에는 소재 두께가 두꺼워질수록 차음효과가 떨어지는 것으

로 나타났다. 한편, 250 Hz를 초과하는 주파수에서는 두께가 두꺼워질수록 소음저감효과가 향상됨을 볼 수 있었다. 특히, 500 Hz에서는 2 mm 두께와 비교하여 8 mm 두께에서 약 10%의 차음성능이 향상되는 것으로 나타났다. 하지만, 4 mm와 8 mm 두께를 비교하면 차음성능의 차이가 거의 없는 것으로 나타나거나 오히려 4 mm 두께일 경우 차음성능이 우수한 것으로 나타나 방음벽의 경량화, 경제성 확보, 시공성 향상을 위한 두께에 대한 세밀한 검토가 필요한 것으로 나타났다. Table 3은 PC 소재에 대하여 공기층을 갖는 2층 구조의 방음패널에 대한 시험결과이다. 공기층 두께에 따른 2층 구조에 대한 방음성능 경향 시험 결과, 시험체의 두께가 2 mm인 경우에는 단층구조와 비교하여 약 4 dB 정도 소음이 저감됨을 볼 수 있었으며, 4 mm 두께의 시험체에서는 평균 5 dB 정도 소음이 저감되는 것으로 나타남에 따라 전반적으로 단층 구조에 비하여 방음효과가 향상됨을 볼 수 있었다. 하지만 250 Hz 이하에서는 단층 구조와 비교하여 비슷하거나 오히려 방음효과가 저감되는 것으로 나타났다. 이는 단층 구조에서의 방음성능 경향 시험결과 시편의 두께가 얇을수록 250 Hz 이하에서 방음성능이 향상된 점을 고려한다면, 2층 구조가 단층 구조보다 총 두께가 두꺼워짐에 따른 영향으로 판단되어진다. 또한 250 Hz 이상에서는 시편의 두께가 두꺼워질수록 오히려 방음효과가 저감되는 동향이 나타났으며, 250 Hz 이하에서는 시편 두께에 대한 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 두께가 같은 시험체와 비교 시 2층 구조 방음패널 형태가 평균 17% 소음저감능이 향상되었다.

Table 4의 각 주파수별 Blank test 결과를 이용하여 PC 소재의 두께가 2 mm 및 4 mm에 대한 차음량 측정결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 보는 바와 같이 패널구조에 관계없이 소재의 두께가 두꺼워질수록 차음량은 향상되는 것으로 나타났다. 특히, 방음패널의 공기층 두께에 대한 영향을 살펴보면, 공기층이 4 mm까지는 차음량이 증가하는 것으로 나타나 방음효과가 향상되는 것으로 나타났으나, 8 mm 공기층 두께에서는 점차 감소됨을 볼 수 있었다. 공기층의 두께가 두꺼워질수록 차음량이 증가한다는 연구가 있으나(Xin, and Lu, 2011), 1000 Hz 이상의 고주파에서 차음량이 감소

Table 2. Results of Soundproofing Effect of PC Single Layer

Classification	8mm [dB(A)]				4mm [dB(A)]				2mm [dB(A)]			
Frequency (Hz)	I	II	III	Ave.	I	II	III	Ave.	I	II	III	Ave.
50	14.1	14.8	14.8	14.57	13.8	14.2	14	14	13.4	14.4	13.9	13.9
100	41.7	41.2	41.3	41.4	40.6	40.5	40.5	40.53	39.7	39.8	39.7	39.73
125	55.7	55.8	55.8	55.77	55.4	55.4	55.5	55.43	54.8	54.8	54.8	54.8
250	61.6	61.8	61.9	61.77	62	62	62	62	61.8	61.8	61.8	61.8
500	68.6	68.4	68.3	68.43	72.4	72.3	72.5	72.4	75.5	75.4	75.4	75.43
1000	57.9	58.1	58.1	58.03	58.8	58.8	58.9	58.83	60.8	60.9	60.9	60.87
2000	56.7	56.8	56.9	56.8	58.5	58.6	58.7	58.6	60.7	60.6	60.6	60.63
Overall value	74.6	74.6	74.5	74.57	77.1	77.1	77.1	77.1	79.6	79.5	79.5	79.53

Table 3. Results of Soundproofing Effect of PC Double Layer

Classification	Specimen											
	I	II	III	Ave.	I	II	III	Ave.	I	II	III	Ave.
Frequency (Hz)	2mm-2-2mm				2mm-4-2mm				2mm-8-2mm			
50	13.8	15.8	12.3	13.9	12.4	13	15.8	13.7	15.3	13.1	14.2	14.2
100	39.7	39.3	39	39.3	39.6	39.5	39.3	39.4	39.3	39.4	39.3	39.3
125	55.4	55.5	55	55.3	55.6	55.5	55.5	55.5	55.4	55.5	55.5	55.4
250	61.3	61.3	61.2	61.2	61.4	61.3	61.3	61.3	61.5	61.4	61	61.3
500	70	70.2	72.4	70.8	70.4	70.3	70.2	70.3	70.5	70.5	70.6	70.5
1000	57.7	56.7	58.1	57.5	56.8	57.1	56.7	56.8	56.9	56.9	56.9	56.9
2000	60	58.8	60.1	59.6	58.6	58.3	58.8	58.5	58.8	58.9	59	58.9
Overall value	74.9	74.8	76.4	75.3	74.9	74.9	74.8	74.8	75.2	75.2	75.3	75.2
Frequency (Hz)	4mm-2-4mm				4mm-4-4mm				4mm-8-4mm			
50	14	15.2	14.9	14.7	14	13.5	13.7	13.7	13.6	14.5	13.7	13.9
100	39.9	40	39.8	39.9	40	39.9	39.7	39.8	40.1	39.8	39.9	39.9
125	55.8	55.9	55.7	55.8	55.8	55.7	55.7	55.7	55.3	55.4	55.4	55.3
250	61.7	61.6	61.4	61.5	61.8	61.8	61.5	61.7	61.9	61.7	61.4	61.6
500	66.7	66.8	66.7	66.7	65.9	65.9	65.8	65.8	68	67.9	67.9	67.9
1000	55.3	55.5	55.4	55.4	55	54.8	54.7	54.8	54.8	54.7	54.9	54.8
2000	58.3	58.4	58.6	58.4	57	57.1	57.2	57.1	58.5	58.5	58.3	58.4
Overall value	72.3	72.3	72.3	72.3	72.1	72.1	72	72.0	72.8	72.7	72.6	72.7

Table 4. Blank Test

Blank test [dB(A)]	
50 Hz	23.3
100 Hz	28.5
125 Hz	49.8
250 Hz	64.8
500 Hz	80
1000 Hz	68.7
2000 Hz	73.6
Overall value	87.9

Table 5. Sound Insulation Performance by Structure of PC Panel

2mm [dB(A)]				4mm [dB(A)]			
I	II	III	Ave.	I	II	III	Ave.
9.6	9.6	9.7	9.6	13.3	13.2	13.4	13.3
2mm-2-2mm [dB(A)]				4mm-2-4mm [dB(A)]			
13.0	13.1	11.5	12.5	15.6	15.6	15.6	15.6
2mm-4-2mm [dB(A)]				4mm-4-4mm [dB(A)]			
13	13	13.1	13.0	15.8	15.8	15.9	15.8
2mm-8-2mm [dB(A)]				4mm-8-4mm [dB(A)]			
12.7	12.7	12.6	12.7	15.1	15.2	15.3	15.2

한 것으로 보아 소음에 대하여 패널이 일치효과를 나타내었던 것으로 판단된다.

3.2 PP, PE 2층 구조 방음패널 소음저감 특성

PC 소재의 소음저감 특성 분석을 통해 방음벽 소재로 활

용이 미미한 PP 및 PE 소재에 대하여 소음저감효과를 하여 활용 가능성을 알아보았다. 공기층을 갖는 2층 구조의 방음 패널에 대하여 기존 PC 소재와 PP, PE 소재에 대한 비교 분석 결과, PP 및 PE의 2층 구조 방음패널의 음압은 약 71 dB~77 dB로 나타나 PC 2층 구조 방음패널의 음압값(약 72 dB~75 dB)과 거의 유사한 것으로 나타났다. PC 소재에서 보여준 경향과 마찬가지로 시험체의 두께, 공기층의 두께가 두꺼워짐에 따라 음압의 저감효과가 향상되었다. 하지만 PP, PE의 경우에서도 4 mm 공기층까지는 음압저감효과가 지속적으로 나타났으나, 8 mm에서는 음압저감효과가 점차 줄어드는 경향을 볼 수 있었다.

PP 및 PE의 차음량 측정결과는 Table 6에서 보여주고 있다. Table 6에서 보는 바와 같이 PP의 경우 두께가 2 mm 소재를 이용하였을 때 8.5 dB~11.6 dB로 측정되었으며, 4 mm의 경우에는 11.3 dB~14.8 dB로 나타나 PC의 결과와 동일하게 두께가 두꺼워질수록 차음량이 향상됨을 볼 수 있었다. 또한 공기층 두께에 대하여 살펴보면 공기층 두께가 4 mm까지는 차음량이 향상되었으나, 8 mm에서는 둔화되는 경향을 보인다. F.X. Xin은 고주파 영역대(1000 Hz 이상)에서 공기층이 두꺼워질수록 차음량이 양호하여 지는 것을 확인하였다. 그러나 그 이하 주파수의 영역대에서는 패널 자체의 고유 진동수와 소음의 주파수가 일치효과를 나타내는 경우가 있으며, 이러한 때에는 차음량이 오히려 감소할 수 있다. 따라서 공기층의 두께가 8 mm인 패널이 실험의 대상인 주파수 영역대의 고유진동수를 가지고 있는 경우 발생하는 일치효과로 추정할 수 있을 것이다.

Table 6. Sound Insulation Performance by Structure of PP and PE Panel

P P	2mm [dB(A)]				4mm [dB(A)]			
	8.5	8.4	8.5	8.5	11.3	11.3	11.3	11.3
	2mm-2-2mm [dB(A)]				4mm-2-4mm [dB(A)]			
	11.7	11.6	11.5	11.6	14.8	14.8	14.7	14.8
	2mm-4-2mm [dB(A)]				4mm-4-4mm [dB(A)]			
	11.2	11.7	11.1	11.3	13.8	13.8	14	13.9
	2mm-8-2mm [dB(A)]				4mm-8-4mm [dB(A)]			
	11.2	11.3	11.5	11.3	13.4	13.3	13.4	13.4
P E	2mm [dB(A)]				4mm [dB(A)]			
	8.5	8.5	8.4	8.5	11.8	11.9	11.8	11.8
	2mm-2-2mm [dB(A)]				4mm-2-4mm [dB(A)]			
	11.8	11.8	11.9	11.8	14.5	14.5	14.6	14.5
	2mm-4-2mm [dB(A)]				4mm-4-4mm [dB(A)]			
	11.9	11.9	11.9	11.9	13.8	13.8	14	13.9
	2mm-8-2mm [dB(A)]				4mm-8-4mm [dB(A)]			
	11.5	11.5	11.7	11.6	13.4	13.3	13.4	13.4

4. 결 론

폴리머 소재(PP, PE)와 기존 방음소재로 활용이 되고 있는 PC와 방음성능을 비교하여 방음벽 소재로의 활용가능성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구결과, 기존 PC소재와 비교하여 PP 및 PE의 방음성능은 전 주파수 영역대에서 거의 유사한 것으로 나타났다. 두께가 두꺼워질수록, 고주파수일수록 차음성능이 향상되는 것을 볼 수 있었으며, 특히, PE의 경우에는 PC소재와 거의 유사한 성능을 나타내었다.
- 2) PC 소재로 활용한 경우와 PP 및 PE 소재를 활용한 경우 모두 2층 구조의 방음패널을 활용할 경우, 단층 구조에 비하여 방음성능이 약 17% 향상됨을 볼 수 있었으며, 이를 통해 방음패널의 구조에 대한 보다 면밀한 연구가 진행된다면 보다 우수한 방음벽 개발이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 2층 구조의 방음패널의 공기층의 두께에 따른 차음효과를 살펴본 결과, 8 mm 경우에는 4 mm에 비하여 차음효과 향상이 거의 미미한 것으로 나타나, 공기층에 대한 영향은 상대적으로 밀도가 낮은 경우에 더 많은 영향을 미치는 것을 유추할 수 있다. 향후 공기층을 갖는 구조의 일치효과와 공진에 의한 차음성능 감소 특징이 연구되어 방음패널의 경량화와 시공성이 향상된 방음벽을 구현할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(2013-0048)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- ISO 10140-1:2010, Acoustics-Laboratory measurement of sound insulation of building elements.
- Jo, Y.-H., Jeon, J.-H., Kim, M.-J., and Kim, S.-W. (2002) "An Experimental Study on the Absorption Property of Plastic Soundproofing Panel", Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Conference, pp. 167-172.
- Kim, T.-M. and Kim, J.-T. (2011) A study to Estimate Transmission Loss of HST using a small scale Reverberation Chamber, *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 14, No. 1, pp. 19-23.
- Korean Institute of Construction and Technology (2012) Development of polymer Sheet-based Noise Barrier and Dust Removal Electric-Plate with Activated Carbon Film.
- Xin, F.X. and Lu, T.J. (2011) "Analytical modelling of sound transmission through clamped triple-panel partition separated by enclosed air cavities", *European Journal of Mechanics A/Solids*, 30, pp. 770-782.

© Received February 21, 2013

© Revised March 13, 2013

© Accepted June 7, 2013