

풍하중 저감형 방음판의 실증 연구

최진규^{1*}, 이찬영²

¹서울시립대학교 대학원 토목공학과, ²(주)에스코알티에스

An Empirical Study of Soundproof wall with Reduced Wind Load

Jin-Gyu Choi^{1*}, Chan-Young Lee²

¹Department of Civil Engineering, University of Seoul

²Department of Engineering Research, Esco RTS Co., Ltd.

요약 최근 도시개발과 생활수준의 향상으로 인해 교통량이 크게 증가하고 있으며, 이와 더불어 증가되는 도로 소음으로 인해 많은 민원이 제기되고 있다. 이에 대한 대책으로 도로변에 높은 방음벽이 설치되고 있으나 방음벽 주요 설계 요건인 풍하중은 공사비의 기하급수적인 증가뿐만 아니라 방음벽 높이 제한의 요인으로 작용하게 된다. 이에 본 연구에서는 기존 방음벽 수준의 차음 성능과 더불어 풍하중을 획기적으로 저감할 수 있는 우수한 가격 경쟁력의 방음벽을 개발 하는 것을 목적으로 한다. 본 연구 대상의 방음판은 헬름홀츠의 공명기 이론을 바탕으로 공기와 같은 유체는 통과하고 소음은 저감할 수 있는 신개념 통기형 방음판에 해당된다. 본 연구에서는 실 크기의 금속재 방음판을 제작하여 음압투과손실실험, 풍동실험 및 재료품질 실험을 수행하여 고속도로의 품질기준을 만족하는 결과를 도출하였다. 또한 신뢰성을 검증하기 위해 현장에 제작 및 설치를 하고 시간대 별로 소음을 측정하여 방음판의 소음 차단 효과를 확인하였다. 향후 도로에 통풍형 방음벽을 설치할 경우 높은 소음 차단 효과로 인하여 쾌적한 생활환경을 조성할 수 있을 것으로 예상된다.

Abstract Traffic volume has been greatly increasing due to urban development and the improvement of living standards, and many complaints are being raised due to the increasing road noise. As a countermeasure against these problems, highly soundproof walls are installed on the sides of roads. However, the ability to bear wind loads is a major design requirement for soundproof walls, which contributes to the exponential increases in construction costs and restricts the height of the walls. The aim of this study is to improve the performance of soundproof walls and to dramatically reduce wind loads while maintaining excellent price competitiveness. Based on Helmholtz's resonator theory, a new concept is proposed for a ventilation-type soundproofing plate that can pass through a fluid like air and reduce noise. A full-scale metal soundproofing plate was produced to satisfy the quality standards of highways by conducting a sound-pressure transmission-loss test, wind tunnel test, and material quality test. To verify the reliability, the wall was manufactured and installed, and the sound insulation effect was examined by measuring the noise over time. In the future, ventilated soundproof walls on roads could create a pleasant living environment due to the high noise-insulation effect.

Keywords : Environment friendly, Helmholtz'theory, Reduce wind load, Soundproof wall, Ventilation system

*Corresponding Author : Jin-Gyu Choi(University of Seoul.)

Tel: +82-2-2008-0524 email: cylee@enrtech.co.kr

Received August 30, 2018

Revised (1st September 27, 2018, 2nd October 4, 2018, 3rd October 10, 2018, 4th October 18, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

1.1 연구개발 목적

현대 사회는 교통 및 도로의 접근 용이성이 생활 편의성 기준의 하나로 부상하고 있어 도로 인근 개발이 점점 활성화 되고 있다. 주택 및 상가 등 생활공간과 밀접한 지역의 도로가 넓게 확충되는 등의 개발이 급증하고 있으며, 이로 인하여 인근에서 겪는 소음 피해가 극심해져 많은 민원이 제기되고 있는 실정으로서, 보다 높은 차음 성능에 대한 요구로 인해 방음벽의 높이는 점차 높아지는 추세이다. 그러나, 방음벽 주요 설계인자인 풍하중으로 인해 높이가 높아질수록 지주와 기초규모, 공사비가 증가되는 문제점이 있다. 이에 본 연구는 기존 방음벽 수준의 차음 성능을 확보하고 풍하중을 획기적으로 저감할 수 있는 우수한 가격 경쟁력의 풍하중 저감형 방음판 개발과 방음판의 성능을 실험적으로 검증하는 것을 목적으로 하였다. 또한, 구조적으로 기초, 지주 형성 규모에 한계가 있는 기존 교량과 협소한 공간의 한계로 인해 방음벽이 형성되지 못해 기준 이상의 소음 피해에 노출된 많은 사람들의 민원을 해소하는 것에도 큰 도움이 될 것으로 예상된다. 기존의 폐쇄형 방음벽이 아닌 통기형 방음벽의 경우 풍하중 저감에 효과적이고, 도로의 열기를 품은 대기와 외부 대기와 효과적으로 순환되기 때문에 도로의 열화 현상으로 인한 손상 저감과 더불어 도시 열섬화 현상의 해소에 일부 효과가 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구개발 필요성

현재 소음 피해를 줄이기 위해 방음벽이 높게 설치되고 있으나, 기존의 방음벽은 구조적 한계로 인해 증설이 불가능하여 한계 기준 이상의 소음이 발생할 경우 소음 대책을 수립하는데 어려움이 발생하고 있다. 증설이 가능하다고 하여도 높이에 따라 설치비용이 기하급수적으로 증가하여 필요한 높이만큼 추가 증설하기가 어려운 실정이다. 기존 방음벽은 풍하중 저감 효과 없이 강성으로 버텨야 하기 때문에 높이가 증설 될수록 기초, 지주, 앵커 등의 규격이 기하급수적인 증가가 필수적이지만, 반대로 풍하중을 저감할 경우 설치비는 큰 폭으로 감소하게 되기 때문에 매우 효과적이라 할 수 있다. 이에, 통기형 방음판 기술 개발을 통해 한국도로공사 ‘고속도로 건설재료 품질기준’[1]의 방음판 성능 기준을 만족하면서, 기존 방음판 대비 풍하중을 30%이상 저감하여 높이

증가에 따른 추가 발생비용 부담을 효과적으로 절감하고, 소음 피해에 따른 민원 발생 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

1.3 국내외 연구동향

해외의 경우, 교통소음 저감을 위한 진파 경로 대책으로서 방음벽의 설치가 진행되어 왔으나, 국내의 경우는 이와 다르게 방음벽의 높이를 키우는 방향보다는 소음 저감형 도로, 차량의 소음 저감 대책, 풍량 및 기후에 대한 안정성 등의 소음 발생원에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 방음벽의 경우, 주변 주민들의 조망권을 확보하기 위한 방향으로 기술개발이 다루어 졌었다[2][3]. 국내 방음벽의 풍하중 저감 연구는 방음벽에 기계적 요소를 추가하는 단계에서 현재는 통기홀을 두는 연구가 진행되어 오고 있다[4-6]. 그러나 기존의 기계적 요소의 방음벽의 경우 일정 이상의 풍하중 환경에서 기계적 작동으로 방음판이 개폐되는 구조로 소음저감 효과가 상실되고, 기계구조 적용으로 인한 내구수명의 단축이 지적되어 현장 적용에서 배제되고 있다. 통기홀을 두는 기술의 경우는 경사진 풍도를 두는 기술(‘풍하중 흡수형 방음벽’ 특허등록 10-0899929)과 개구율 30%의 음향루버 통기구조의 기술이 제기되고 있다. 그러나 선행 특허기술의 경우 실험적 성능의 제시가 없고 본 연구과정에 비추어 차음성능 및 풍하중저감 성능에 대한 기대가 매우 낮다. 음향루버 통기구조 기술의 경우는 단순 통기 구조로 30% 이상 풍하중 저감은 가능하나, 차음성능은 10dB 수준으로 성능기준에 못 미쳐 이에 대한 기술 상용화가 사실상 어려울 것으로 판단된다[6]. 해외의 경우, 도로와 주택지의 거리가 국내 보다 비교적 먼 거리에 형성되어 있거나 주거 지역 인근 도로의 경우 야간 차량 이동이 거의 없어 높은 방음벽의 필요성이 낮고 친환경에 대한 선호도가 높지만, 국내에서는 주거지역과 상가, 큰 도로 등이 모두 밀집된 구조로 도시가 형성되어 있고 야간에도 차량의 이동 빈도가 매우 높아 높은 방음벽 또는 방음터널의 수요가 매우 높은 실정이다. 여기에 고가도로 등 교량의 경우 풍하중으로 인해 방음벽 높이 제한이 있어, 높은 방음벽 설치가 어려운 실정이므로 방음벽의 높이를 높일 수 있는 기술에 대한 관심이 점차 증가하고 있다[7].

1.4 연구 범위

본 연구를 통해 풍하중 저감형 방음판의 설계 요소 및

설계 방법을 확립하고, 풍동실험을 통한 풍하중 저감 성능 검토, 투과 손실실험 및 허용 변위량 시험과 충격시험 등을 수행하여 건설재료로 방음판 성능을 검증하였다. 또한, 실제 고속도로 현장 시범설치 구간에서 소음도 모니터링 분석을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 풍하중 저감형 방음판 개요

본 연구 대상인 풍하중 저감형 방음판은 공기와 같은 유체는 통과하고 소음은 저감할 수 있는 신개념 통기형 방음판이다.

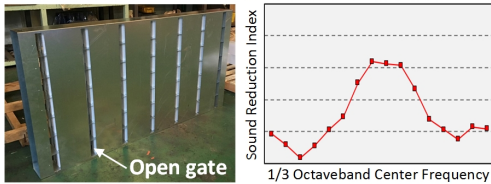
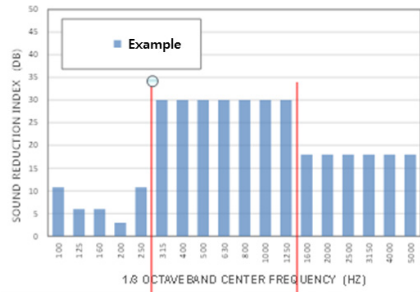


Fig. 1. Air Transparent Soundproof Wall

풍하중 저감형 방음판의 형상과 주파수영역별 차음 성능은 Fig. 1과 같다. 차음성능은 도로공사 방음벽 기준인 “500Hz ⇨ 25dB 이상”, “1,000Hz ⇨ 30dB 이상”을 만족하였으며, 내하중 등급 “1등급”으로 기존 방음벽 대비 동등한 성능을 보유하고 있다. 또한, 방음판에 형성된 개구부를 통해 자연환기, 자연냉각, 구조물 풍하중 저감(최대 30%) 등의 효과를 얻을 수 있다.

2.2 차음 주파수영역 설계 방법

본 연구 대상인 풍하중 저감형 방음판은 헬름홀츠 공명기 이론을 바탕으로 개발되었다. 방음판 기본 설계요소는 일정 부피를 갖는 공명통과 음파가 인입될 수 있는 공기 통로이다. 이때 공명통의 부피와 공명통 입구 공기 통로의 면적이 주 설계 인자가 된다. 설계인자 조정을 통해 방음판의 공명 주파수를 설계할 수 있으며, 공명통 내부에 여러 개의 공진 주파수 모드가 형성되는데 그 중에 가장 낮은 공진주파수가 방음의 주 차음 주파수영역이 된다. 설계 주파수영역 즉, 방음판의 차음영역은 Fig. 2와 같이 공진주파수 산정식로부터 구할 수 있다. 산정식 (1), (2)는 방음판에 적용된 공명통의 형상적 특성과 헬름홀츠 이론식을 응용하여 도출한 실험식이다.



$$f_0 = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V \cdot L_e}} \quad f_{max}^2 = \sqrt{\frac{v^4 \cdot A}{V \cdot L_e}}$$

Fig. 2. Frequency setup formal theory[1]

$$f_o = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL_e}} \quad (1)$$

Where V : 음속

S : 공명통의 입구면적

V : 공명통의 체적

L_e : 공명통의 유효 목길이 ($L_e \approx 0.85r_e$)

r_e : 공명통 입구 환산 반지름

방음 주파수 영역은 공진주파수 f_o 로부터 고주파 음역대이다.

$$f_o < f < \sqrt{1+G} f_o \quad (2)$$

여기서, G 는 방음판의 구조에 따라 결정되는 기하학적 요소(geometric factor)로써 근사적으로 공진통 부피를 공기통로의 면적으로 나눈 값이다.

2.2.1 풍동실험

풍동실험은 실제 크기의 방음판에 작용하는 풍하중을 확인하고자 진행 하였다. 풍동의 차폐효과 (blockage effect)를 고려하여 그림 Fig. 3과 같이 부분 모형을 사용하여 풍동실험을 진행하였다. 실험체 양옆에 Dummy 실험체를 설치하여 양 측면으로 유입되는 바람을 막아 실험의 정확성을 높이고자 하였다.

풍동시험에 있어 풍속이 증가할수록 실험체의 진동이 심해지는 현상이 발생하였으며, 이로 인한 실험체의 파손이 일어날 경우 실험센터의 기기파손 우려가 있어 시험풍속을 8m/s, 10m/s제한하여 실험을 진행하였다. 실험을 통해 Fig 4, Table 1과 같이 각 풍속별 설치 조건에 따른 풍하중 저감 효과를 확인하였다.

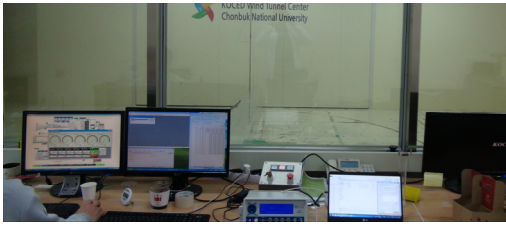


Fig. 3. Air Model Wind Tunnel Test[1]

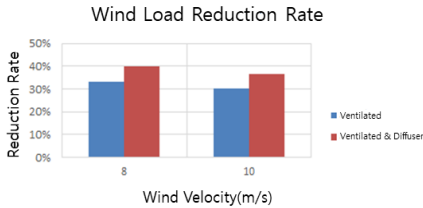


Fig. 4. Wind Tunnel Test Results Graph[1]

Table 1. Results of slit model experiments

Wind Velocity (m/s)		Experiment		
		Basic	Ventilated	Ventilated & Diffuser
8m/s		25.78	17.27	15.54
10m/s		39.74	27.8	25.21
Ratio	8m/s	-	33%	40%
	10m/s	-	30%	37%

차음성능 기준을 통과한 실험체에 대한 풍동실험을 진행한 결과 8m/s에서 33%, 10m/s일 때 30%의 결과를 확인 하였다. 또한, 풍하중 저감율을 높이기 위해 Diffuser를 추가 설치한 실험에서는 각각의 풍속에 대하여 40%, 37%의 높은 풍하중 저감율을 확인할 수 있었다. 그러나 Diffuser구조는 제작 및 설치가 어려워 실 적용성은 다소 떨어지므로, 추후 Diffuser 적용 방법에 대한 추가연구가 필요할 것으로 보인다.

2.2.2 재료 품질시험

방음판 실험체는 실질적으로 현장에 설치를 하였을 때를 가정하여 금속재 방음판으로 제작하였다.

시험은 고속도로 재료품질기준 제17차 개정본에 준하는 기준을 적용하였으며, 시험 종류 및 성능기준은 Table 2와 같다. 투과 손실실험(한국건설생활환경시험연구원) 및 허용 변위량 시험과 충격시험(KTR, 한국화학융합시험연구원)을 공인 인증기관에서 진행 하였다. 투과 손실실험 결과 Fig. 5와 같이 주파수 영역별 차음성

능을 보였으며, 허용 변위량, 충격시험 결과 및 시험체 중량 및 두께 측정결과는 Table 2에 보이는 바와 같으며 각각 ‘고속도로 건설재료 품질기준’[8]의 성능기준을 만족하였다.

Table 2. Quality Standard for Highway Materials[8]

Test Item	Unit	Quality Criteria	
Transmission Loss	dB	500Hz	Above 25
		1000Hz	Above 30
Allowable Displacement Test	mm	Elastic displacement	Below 50
		Residual displacement	Below L/500
Impact test	-	Do not allow the impact source to penetrate the soundproof wall or damage the sound absorbing material inside the soundproof wall, Allows minor cracks at levels that do not cause structural performance problems.	

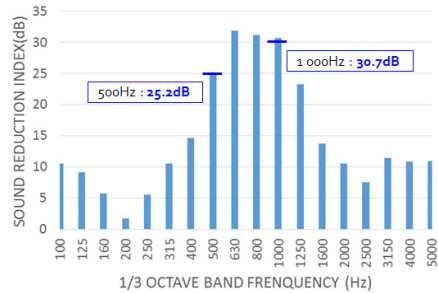


Fig. 5. Transmissive Loss Sound Pressure Test[1]
Sound Insulation Performance criteria[1]
(500Hz : 25dB, 1,000Hz : 30dB)

Table 3. Material quality test results[1]

Test Item	Unit	Quality Criteria		
Transmission Loss	dB	500Hz	25.2	O.K
		1000Hz	30.7	O.K
Allowable Displacement Test (Load displacement Test)	mm	Elastic displacement	19.1	O.K
		Residual displacement	0.3	O.K
Impact test	-	Clear		O.K
Weight	kg	99.9		O.K
Thickness	mm	250		O.K

2.3 방음판 현장 모니터링 결과 분석

현장 소음도 모니터링을 위해 “경기도 00시 00동 제2

경인고속도로"에 방음벽 길이 30m, 높이4.5m, 방음판 75개를 설치하였다. Fig. 6은 기존 설치 및 풍하중 저감형 방음벽의 교체 설치하여 소음도를 측정하는 전경이다. 소음도 측정은 소음·진동 공정 시험기준(ES 03304.1b)의 도로교통소음한도 측정방법과 공동주택도로소음측정(고시463호)에 준하여 측정을 진행하였다[9]. 진행 방법으로 기존 방음벽과 신규 설치한 통풍형 방음벽 3.0m, 5.0m의 거리에서 측정 하였으며, 높이는 지면으로부터 4.0m 이상에서 측정하였다. 기존방음벽 측정위치와 신규 통풍형 방음벽 측정위치간의 거리는 20m이상으로 하였으며, 측정시간은 출근/퇴근 시간을 포함하며, 주간(06:00~22:00)/야간(22:00~06:00)에 걸쳐 측정 기록하였다.

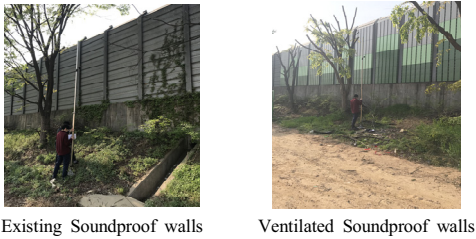


Fig. 6. Field Noise measurement[1]

Table 4와 Fig. 7은 기존 방음벽과 풍하중 저감형 방음판 설치 시 시간대별 이격 거리별 현장 소음 모니터링 측정에 결과이다.

Table 4. Field noise measurement results[1]

Type		Station	Decibel(dB)
Existing Soundproof walls	Daytime	3m	61.3
		5m	61.5
	Night	3m	59.6
		5m	59.1
Ventilated Soundproof walls	Daytime	3m	67.4
		5m	65.9
	Night	3m	65.9
		5m	62.4

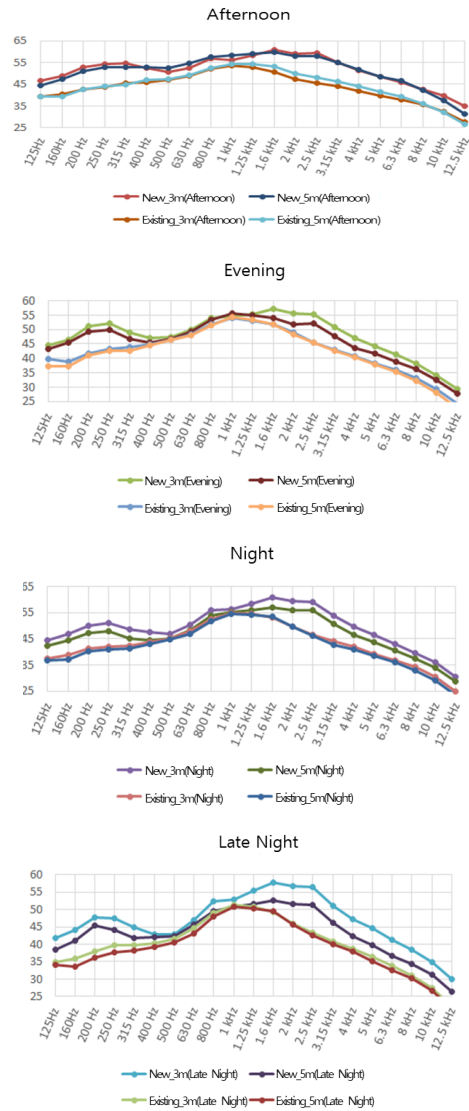
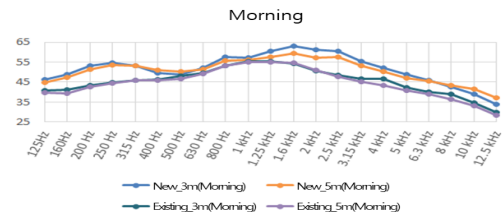


Fig. 7. Oct. Component analysis[1]

상기의 결과를 분석해보면 기존 방음벽과 성능모니터링을 위해 신규 설치한 통풍형 방음벽은 주간 6.1 ~ 4.4dB의 차이, 야간 6.3 ~ 3.3dB의 차이를 보였다. 성분 분석에서는 500Hz ~ 1,000Hz에서는 기존 방음벽의 차음 성능에 근접하는 성능을 보였으나, 이외의 주파수 영역대에서 기존 방음벽과 소음차가 발생하였다. 기존 방음벽의 경우 3.0m, 5.0m의 사이의 소음도의 변화가 미미하였으나, 신규 통풍형 방음벽의 경우 3.0m보다 5.0m 이격했을 경우가 소음이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 저주파영역에서는 공명효과에 의해 기존 방

음벽과 유사한 성능을 보이나, 1,000Hz이상의 고주파영역에서는 공명기효과에 의한 차음능력이 낮아짐을 알 수 있다. 여기서, 고주파영역의 소음은 음파의 특성상 소음원에서의 이격거리에 따른 음압 감소비율이 높아 일정 이격거리 이후에서는 기존 방음벽 수준의 소음도를 보일 것으로 판단된다. 소음 측정 시험기준에서 제시되는 이격거리에서는 기존 방음벽보다 다소 높은 소음도가 측정되었다.

3. 결론

본 연구는 풍하중 저감형 방음판 기술에 대한 실험적 실증연구로서, 대상 기술은 헬름홀츠 공명기 이론을 바탕으로 개발된 매질과 소리를 분리하는 기술이다. 이에 실증 시험결과로부터 풍하중 저감형 방음판이 고속도로 품질기준의 차음성능을 만족하는 동시에 풍하중을 30% 이상 저감 성능에 대한 결과를 확인하였다. 또한 현장 시험설치 및 소음도 모니터링을 통해 실제 고속도로 교통소음에 대한 차음 효과에 대한 경향을 분석하였다. 연구 대상 방음판은 고속도로 소음특성을 고려해 차단 음역대를 500Hz~1,000Hz로 설계한 방음판으로써, 고속도로 현장 소음측정 결과에서 보여 지듯이 500Hz~1,000Hz의 주파수 음역대에서는 기존 방음판과 유사한 차음성능을 보이나 이외의 음역대에서 차음 성능에 다소 차이가 발생함을 알 수 있다. 이로 인해 전체 소음도에서 기존 방음벽보다 다소 높은 소음도를 보이고 있어, 이에 대한 개선이 요구되며 추가연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 해당 기술은 소음 특성을 고려한 방음판의 차음영역 설계가 가능하며, 통기구를 갖는 구조 특성을 활용해 방음벽 높이의 주요 제한요인이 되는 풍하중을 효과적으로 줄여줄 수 있는 획기적인 기술임을 확인하였다. 이는 도로방음분야에서 처음 시도된 기술로서, 기존 방음을 대체하여 도로변 소음환경과 더불어 대기질 개선의 추가 효과도 기대할 수 있다. 또한, 공명 효과를 활용하는 방음판의 특성을 활용한다면, 차음 대상 소리를 선택적으로 적용 할 수 있어 다양한 분야에 응용할 수 있을 것으로 기대된다. 예를 들어 음역대 설계를 통해 유해한 소음은 차단하고 새소리와 같은 자연의 소리는 통과 시킴으로서 단순한 소음차단 수준을 넘어 보다 나은 생활환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. S. Ji, C. Y. Lee, J. H. Lim, "Final Report-Developed soundproof panel with reduced load", Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, 2017. URL : <https://www.codil.or.kr/filebank/original/RK/OTKCRK170295/OTKCRK170295.pdf>
- [2] N. Fang, D. Xi, J. Xu, M. Ambati, W. Srituravanich, C. Sun, X. Zhang, X. "Ultrasonic metamaterials with negative modulus", *Nature Materials*, Vol.5, No.6, pp. 452-456, 2006. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/nmat1644>
- [3] H. Nguyen, T. Yusuke, N. Yuya, N. Sohei, N. Tsuyoshi, Y. Takashi, "Prediction and Experimental Study of the Acoustic Soundproofing Windows Using a Parallelepiped SVU", *The Open Acoustics Journal*, Vol.5, pp.8-15, 2012. DOI: <https://dx.org/10.2174/1874837601205010008>
- [4] Samjung Co.,Ltd Steel, "patent No.10-0886467", Korean Intellectual Property Office, 2009. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020080019909>
- [5] Kookmin Uni. Industry-Academic Cooperation Division, S. J. Park, "patent No.10-2014-0120960", Korean Intellectual Property Office, 2014. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020140120960>
- [6] Litec Co.,Ltd, "patent No.10-0899929", Korean Intellectual Property Office, 2009. DOI: <https://doi.org/10.8080/1020080019206>
- [7] S. H. Kim, D. C. Lee, "Wind Pressure Reducing Soundproof Wall Which Has Many Holes on the Surface and Selectable Stop-Frequency Ranges", *J. of the Korea Soc. of Civil*, Vol.36, No.2, pp.191-196, 2016. DOI: <https://doi.org/10.12652/ksce.2016.36.2.0191>
- [8] Highway Material Quality Standard Act, Korea expressway Corp. Research In., 17th, pp129-134, 2017.
- [9] Regulations of the Noise and Vibration, Ministry of Environment, The measurement method of road traffic noise management standard, pp.1-7, 2018.

최진규(Jin-Gyu Choi)

[정회원]



- 2011년 8월 : 서울시립대학교 토목공학과(토목공학석사)
- 2015년 2월 : 서울시립대학교 대학원 토목공학과(토목공학박사 수료)

<관심분야>

토목공학(연안수리, 개발계획)

이 찬 영(Chan-Young Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 인천대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2013년 4월 ~ 현재 : ㈜에스코알티에스 기술연구소 이사

<관심분야>

토목공학(소음/진동 저감, 구조공학)