

경계요소법과 축소모형실험을 이용한 주기적 구조를 갖는 굴절형방음벽의 설계에 관한 연구

A Study on Design of Periodically Folded Barrier by BEM and Scale Model Test

전 재 홍[†] · 이 상 권^{*}

Jae-hong Jeon, Sang-kwon Lee

Key Words : Folded Barrier(굴절형방음벽), Insertion Loss(삽입손실), Periodically Structure(주기적 구조), BEM(경계요소법), Scale Model Test(축소모형실험)

ABSTRACT

This study is aimed to compare the insertion losses of periodically folded barriers which have same folded width, depth and period of arrangement but different direction of arrangement. One is vertical to the roadside and another is parallel. The pressure levels and the insertion losses at the receiving points behind finite length barriers are measured in an anechoic room by scale model test. The measured insertion losses are compared with calculated insertion losses by 3D BEM models.

1. 서 론

교통소음에 의한 환경소음 저감대책으로 다양한 방법이 시도되고 있으나 현재까지도 투자에 비해 효과가 가장 높고 구현하기가 가장 쉬운 방법은 역시 방음벽에 의한 소음 저감대책이다. 방음벽은 그 기능에 따라 반사형, 흡음형, 간섭형 등으로 구분되는데 이 중 흡음형방음벽의 사용이 가장 많으며 그 사용량 또한 점점 증가하고 있는 추세이다. 일반적으로 흡음형방음벽의 소음 저감 능력은 설치되는 방음판의 투과손실과 흡음율에 큰 영향을 받게 되는데 투과손실은 방음판의 후면판에 의해 거의 결정되는 것으로 알려져 있다. 현재 사용되고 있는 대부분의 방음판이 기계적

강도 등의 이유로 후면판을 아연 도금된 강판으로 사용하고 있어서 실질적으로 흡음형방음판의 소음저감능력은 흡음율에 의해 결정된다고 할 수 있다. 그래서 흡음형방음판의 흡음율을 증가시키기 위한 다양한 방법들이 시도되고 있는데, 그 중 본 연구와 관련되어서는 방음판의 전면판에 돌출부를 두어 흡음면적을 증가시키는 방법이 있다.

본 연구는 참고문헌[6]의 결과에 따라 흡음율이 최대가 되도록 설계된 방음판에 대하여 실제 설치되었을 때 최대의 효율을 타나낼 수 있는 돌출부의 배열방향을 결정하기 위해 1/10 축척모형을 선정하고 이 모형에 대해 삽입손실을 측정하였다. 그리고 측정된 값과 3차원 경계요소법을 적용하여 계산한 결과가 일관성을 유지하는 지를 비교하였다.

[†] 인하대학교 기계공학과
E-mail : andromeda990326@hotmail.com
Tel : (032)860-8776, Fax : (032)868-1716

^{*} 인하대학교 기계공학과

2. 축소모형실험 및 결과분석

2.1 실험장치 및 방법

본 실험에서는 음원과 수음점의 지표면 상태를 아스팔트

혹은 시멘트 포장도로처럼 딱딱하고 균일한 지표로 가정하고, 나무를 압축시킨 두께 1.5cm의 사각형 패널을 무향실(3x3x3 m³) 바닥에 3x3 m²로 설치하였다. 음원의 위치는 [Fig. 1]에 나타난 것과 같이 차선폭이 0.33m인 편도 2차선의 도로에서 방음벽 쪽 1차선 도로 중앙에 있는 것으로 설정하여 방음벽으로부터 0.5m 떨어진 지점에 음원을 설치하였다. 기하학적 축척은 1/10으로 하였다.

음원은 10,000hz에서 100dB를 출력할 수 있는 직경 3cm의 스피커를 사용하였으며, 유한길이의 선음원의 특성을 나타내도록 하기 위해 60cm 간격으로 4개를 설치하였다. 주파수분석기(01dB-stell SYMPHONIE 1309)와 증폭기(INTER-M M1000)를 사용하여 스피커에서 백색잡음을 발생시키고, 수음점에서 1/2 inch 마이크로폰(B&K 4189)을 사용하여 음압을 측정하고 주파수 분석기를 이용하여 100Hz ~ 12.5kHz 대역에 대한 음압 스펙트럼 및 overall 레벨을 구하였다.

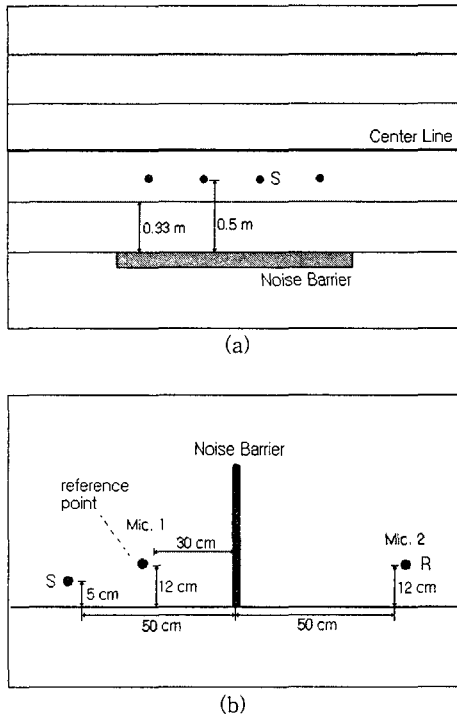


Fig. 1 Geometry for the point source S, barrier and receiver R. (a)top view, (b)side view.

본 실험에서는 방음벽의 높이를 0.3m로 설정하고 방음벽

길이는 2.0m로 하여 실험하였다. 『환경부고시 제2002-184호 방음벽의 성능 및 설치기준』에 따르면 음원의 높이를 지면 위 50cm로 두기 때문에 본 실험에서는 5cm로 두었고, 수음점의 높이는 실제 현장에서 소음계로 음압 레벨을 측정할 때를 기준으로 하여 12cm로 하였다. 수음점은 편의상 방음벽 중앙 위치에서 방음벽으로부터 5cm 떨어진 간격으로 하였다. 그리고 방음벽의 삽입손실을 구하기 위해서 필요한 기준점에서의 음압측정은 방음벽의 중심에서 30cm 떨어진 높이 12cm 지점에서 측정하였다. 본 실험은 1/10 축척이므로 이들을 실측치로 환산하면 방음벽의 높이는 3m, 길이는 20m, 음원과 수음점 그리고 기준점의 높이는 각각 0.5m, 1.2m, 1.2m 이다. 음원은 방음벽으로부터 5m, 기준점은 3m, 수음점은 5m 떨어진 지점에 해당한다.

2.2 수직배열된 방음벽과 수평배열된 방음벽

실험을 위해 필요한 축소 모형 방음벽은 방음판의 굴절부가 도로방향에 수직배열된 방음판과 수평배열된 방음판, 두

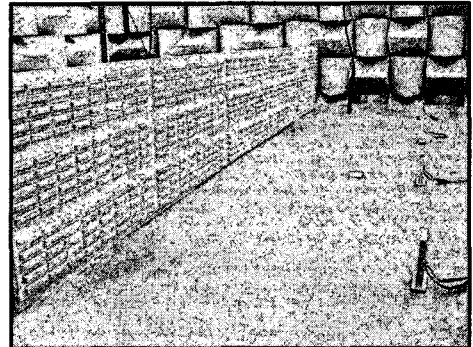


Fig. 2 Periodically folded barrier vertically arranged to a roadside

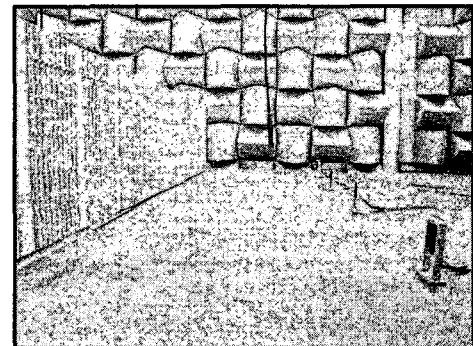


Fig. 3 Periodically folded barrier horizontally arranged to a roadside

가지이다. [Fig. 2]와 [Fig. 3]에서 보듯이 두 방음벽은 굴절 주기, 굴절부의 폭, 깊이가 모두 동일하며 단지 배열된 방향만 도로방향에 수직이나 수평이나 하는 차이점을 가진다.

2.3 실험 결과

각 방음벽(수직배열, 수평배열)에 대하여 설치, 측정, 철거를 1회의 실험으로 하여 5회 반복해서 방음벽의 삽입손실을 측정하였다.

수음점(Mic.2)에서의 각 방음벽의 삽입손실은 ISO 10847 - 1997(E) (Acoustics-In-situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types)에 따라 기준소음레벨(Mic.1)로부터 다음과 같이 계산하였다. [Fig. 1 (b)] 참조.

방음벽 설치 전 등가소음 레벨 차:

$$L_{before} = L_{ref, before} - L_{r, before} \text{ dB (A)}$$

방음벽 설치 후 등가소음 레벨 차:

$$L_{after} = L_{ref, after} - L_{r, after} \text{ dB (A)}$$

삽입손실:

$$D_{IL} = L_{after} - L_{before} \text{ dB}$$

여기서 첨자 ref는 Mic. 1 위치에서의 측정 소음을, 첨자 r은 Mic. 2 위치에서의 측정 소음을 나타내며, before와 after는 방음벽 설치 전/후를 각각 나타낸다.

3. 경계요소법을 이용한 해석

3.1 해석 모델 및 해석 방법

해석 모델은 축소모형 실험에서의 것과 동일한 형태로 수직배열된 방음벽과 수평배열된 방음벽, 두 가지를 상용 프로그래밍 MSC Patran을 이용하여 모델링하였으며, 그 해석은 LMS Sysnoise를 사용하였다.

먼저 Patran을 이용하여 방음벽을 충분한 개수의 요소로 분할하였고, 지표면은 단단한 경계조건을 가정하여 속도의 법선 성분이 0 인 Neumann 경계 조건을 갖도록 하였으며, 방음벽은 흡음처리 부분의 admittance 계수를 1 로 설정하였다.

일단 경계 조건이 적용되면 음원 및 방음벽의 영향으로 인해 발생하는 소음은 다음과 같은 식으로부터 계산이 가능해진다.

$$[A(\omega)]\{p\} = [B(\omega)]\{v_n\} \quad (1)$$

여기서,

$A(\omega), B(\omega)$: influence matrix

$\{p\}$: 경계요소표면에서의 압력 벡터

$\{v_n\}$: 경계요소표면에서의 수직 속도 벡터

그리고 위 식 (1)으로부터 구해진 경계면에서의 압력 p 와 수직 입자 속도 v_n 으로부터 acoustic domain 상에 존재하는 임의의 field point에 대해 음압 P_r 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_r = \{a\}'\{p\} + \{b\}'\{v_n\} \quad (2)$$

일반적으로 BEM을 이용하는 경우 위의 식 (1)에서 A와 B는 원소들로 꼭 찬 행렬이기 때문에 방음벽을 촘촘하게 분할하게 되면 경계요소를 구성하는 node수가 많아지게 되고 결국 위의 식 (1)을 계산하는데 요구되는 컴퓨터의 성능과 시간이 기하급수적으로 증가하게 되어 현실적으로 계산이 불가능하게 될 수도 있다. 또한 BEM의 경우 경계요소를 구성함에 있어 일반적으로 six-elements-per-wavelength

Table. 1 Measured Insertion Loss

		Mic. 1	Mic. 2	삽입손실 (dB)
방음벽 설치 전	1회	71.0	66.1	
	2회	70.9	66.2	
	3회	71.1	66.1	
	4회	71.0	66.1	
	5회	71.0	66.2	
	산술 평균	71.0	66.1	
수평배열 설치 후	1회	70.2	53.7	
	2회	70.2	53.6	
	3회	70.2	53.6	
	4회	73.6	56.9	
	5회	72.9	56.1	
	산술 평균	71.4	54.8	
수직배열 설치 후	1회	70.5	52.7	
	2회	70.6	52.7	
	3회	70.6	52.8	
	4회	73.1	55.4	
	5회	72.3	54.4	
	산술 평균	71.4	53.6	

rule을 적용하는데, 이에 의해 관심주파수의 크기가 클수록 node의 수가 많아지게 된다. 따라서 방음벽을 분할하여 경계요소를 구성할 때는 항상 위의 두 사항을 고려하여 최적의 결과가 나올 수 있도록 경계요소의 크기와 node 수를 결정할 필요가 있다. 계산에 사용되어진 pc는 Intel Pentium(R) 4, CPU 2.6GHz, 2.0GB RAM의 제원으로, 이 경우 계산 가능한 node의 수는 8000개 이하가 된다. 이러한 제약 조건하에서 길이 20m, 높이 3m의 방음벽을 경계요소로 분할하게 되면, 경계요소 하나의 크기는 25cm 정도가 되어 해석 가능한 주파수의 크기가 약 200Hz 정도가 된다. 이렇게 되면 해석 범위가 너무 좁아지므로 방음벽의 모양이 방음벽의 중심을 기준으로 대칭이 됨을 이용하여 방음벽의 크기를 길이 10m, 높이 3m로 줄이고 해석 범위를 400Hz까지 증가시켰다.

3.2 해석 결과

125Hz부터 400Hz까지 1/3옥타브밴드로 구분하여 중심주파수별 삽입손실을 계산하였다.

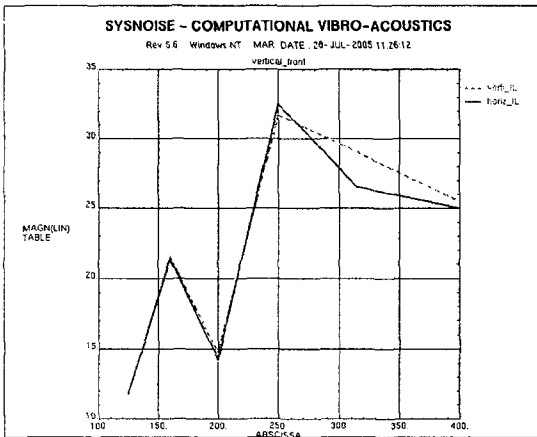


Fig. 4 Calculated Insertion Loss

250Hz 대역에서 삽입손실이 최대가 되는 것은 참고문헌 [6]의 연구결과를 바탕으로 방음판의 흡음율이 250Hz에서 최대가 되도록 굴절부의 폭, 깊이 및 굴절주기를 설계하였기 때문이며, 250Hz 이상의 영역에서 수직배열 방음벽의 삽입손실이 수평배열보다 약간 높음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 방음판 전면판의 굴절부 배열방향에 따른

삽입손실치를 1/10 축소모형실험과 경계요소법을 이용한 해석을 통하여 비교하였다. 전체적으로는 비슷하나 도로방향에 수직배열된 경우가 수평배열된 경우 보다 조금씩 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 경계요소법을 이용한 해석의 경우 축소모형실험에 비해 매우 좁은 주파수 범위에서 계산되었기 때문에 두 값을 대등하게 비교하는 것은 무리가 있겠으나 축소모형실험에서와 경계요소법을 이용한 해석에서의 결과가 모두 수직배열이 보다 우수함을 나타내고 있다는 사실은 일치한다고 할 수 있다.

본 연구에서 사용한 방음판은 전면판의 굴절부가 동일한 폭, 깊이, 그리고 주기를 갖는 것으로서 잔향실에서 측정되어질 방음판의 흡음율 및 투과손실은 동일한 것이다. 하지만 실제 설치에 있어서는 굴절부의 배열방향이 도로방향에 수직인 경우와 수평인 경우에 소음저감효과의 차이가 있을 수 있음을 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 사용한 방음판과 다른 형태의 방음판을 개발함에 있어서도 소음저감성능이 좀 더 우수한 배열방향을 예측하고 설치하는 것이 보다 효율적인 소음저감대책일 것이다.

참 고 문 헌

- (1) P. Jean, J. Defrance and Y. Gabillet, "The Importance of Source Type on the Assessment of Noise Barriers", Journal of Sound Vibration (1999) 226(2), 201-216
- (2) Frank M. White, Fluid Mechanics 4th Edition, McGraw-Hill, chapter. 5
- (3) Bies & Hansen, Engineering Noise Control, London UNWIN HYMAN, chapter. 8
- (4) 황철호 등, "모형축척 실험에 의한 유한길이 방음벽의 음향특성 연구", 한국소음진동공학회 1998년도 춘계학술대회 논문집, pp.650~658.
- (5) 이우섭 등, "경계요소법을 이용한 방음벽의 삽입손실 해석", 한국소음진동공학회지 제10권 제3호 pp.423~429.
- (6) 이상권 등, "주기적 구조를 갖는 굴절형 방음벽의 흡음성능에 관한 연구", 한국소음진동공학회 2004년도 춘계학술대회논문집, pp.143~146.
- (7) LMS SYSNOISE User Manual Rev. 5.6
- (8) MSC Patran Manual 2003