A Study on the Design of Barriers for the Active Noise Barrier Development

차 상 곤* · 김 동 환*

(Sang-Gon Cha · Dong-Hwan Kim)

Abstract - In this paper survey and analysis of recent trends in noise barriers and noise measurements and assessments were conducted for providing design basis of ANC barriers. Looking at the results, transparent barrier(glass) has received the most attention in domestic and foreign countries, because it has a harmony with the surrounding environment and easy installation in a small space. For optimal barrier design using computer simulation, reliability of simulation has been verified and classified into 5 groups, according to barrier's upper cross section. Evaluation results of barrier's performance and design using computer simulation are as follows : In the case of the "B-type" barrier, it has improved maximum 2.5dB(A) at each point(R1~R6) and have a good workability. Therefore, "B-type" Barriers applied to the next active noise barrier system will be possible.

Key Words : Noise barrier, Active noise barrier, Road traffic noise prediction

1. 서 론

도로에서 발생하는 소음을 줄이기 위해서는 다양한 대책을 적용할 수 있다. 도로교통소음 저감에 대한 연구는 소음을 소음원으로부터 어떻게 하면 적게 방출할 수 있는가 하는 방법에 대한 연구와 방음벽 및 소음방지에 대한 연구 등 수동적인 방법의 연구와 능동 소음 제어 (Active Noise Control; ANC) 등 능동적인 연구로 분류할 수 있다. 수동적인 방법은 방음벽을 사용하는 방법으로 500 Hz가 넘는 고주파 소음에 대해서는 좋은 효과를 보이나 저주파 소음에 대해서는 흡음재의 크기가 커져야 하므로 비용을 증가시키는 어려운 문제점이 있다. 이에 반해 2차 음원을 이용한 능동 소음 제어에 관한 연구는 70년대 이후 미국, 일본, 유럽 등지에서 활발히 이루어지고 있는데 회전기, 변압기, 자동차 엔진 등에서 발생하는 소음과 같은 저주파의 소음을 감쇠시키는데 있어서 종래의 수동적 방법보다 탁월한 효과를 보여주고 있다. 또한 방음벽은 소음차단이 우선의 목표이지만 삶의 질 향상과 더불어 주변 환경과의 조화, 디자인 등도 중요한 요소로 검토되어야 한다. 따라서 환경적으로 우수한 능동소음제어의 원리를 이용하여 소음을 저감할 수 있는 새로운 형태의 방음벽시스템에 대한 요구가 커지고 있는 실정이다. 본 연구는 도로교통소음 저감을 위한 새로운 대안이 될 수 있는 능동소음제어 방음벽 개발을 위한 기초연구로서,

그 연구동향과 디자인 기초자료 조사를 실시하여 최근의 방음벽 디자인 동향을 분석하였으며, 실제 공동주택 단지를 대상으로 소음도 측정 및 시뮬레이션 평가를 통한 방음벽 디자인을 검토하여 향후 전자방음벽 개발에 필요한 디자인 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 국내외 방음벽 동향 및 형태분석

2.1 국내

국내에서 방음벽은 80년대 말부터 본격적으로 설치하기 시작하였으며, 특히 최근에 와서는 주거지역의 소음환경에 대한 관심고조와 더불어 방음벽 설치지역이 급격하게 늘어나고 있다. 1988년에는 방음벽 설치 연장이 약 2km에 불과하였으나(권오상, 차일환(1997)) 현재는 전국적으로 수 백km에 달하게 되었다. 또한 방음벽의 재질별로는 방음벽 설치초창기에 가장 많이 사용되었던 압출성형 시멘트판은 최근에는 거의 사용하지 않는 추세이며, 알루미늄 방음벽의 사용비율이 최근에는 거의 절반 정도를 차지하고 있다. 최근 알루미늄 방음벽에서 투명방음벽, 목재 방음벽 등 미관을 고려한 방음벽이 많이 시공되고 있으나, 방음벽 설치업체의 영세성으로 인하여 표준설계도 및 시방서에 의해 획일화된 방음벽이 많이 시공되고 있다. 국내에서 방음벽으로 사용하고 있는 방음 판넬의 재질별 특성을 비교하면 표 1과 같다. 흡음형 방음벽으로는 금속판(알루미늄+글래스 울), 플라스틱 계통의 FRP(FEP+글래스울), 세라믹, 발포 콘크리트 등이 있고 국내에서는 거의 금속판재질의 알루미늄 방음벽이 대부분을 차지하고 있으며, 최근에 플라스틱 방음벽이 생산되고는 있으나 적용 실적은 미흡한 실정에 있다. 반사형 방음벽으로

* 정 회 원 : SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템 기술개발 연구단 선임연구원

† 교신저자, 정회원 : SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템 기술개발 연구단 책임연구원

E-mail : humic@hanmail.net

접수일자 : 2011년 5월 16일

최종완료 : 2011년 10월 27일

그림 3 주요지역의 방음벽 설치현황

Fig. 3 Sound proofing wall establish amount in domestic regions

표 1 방음벽 패널의 특성 비교

Table 1 Material properties comparison of soundproof panel

금속판	특징	사용실적이 많으며 알루미늄 등의 패널사이에 글라스울 등을 넣어 흡음성능을 갖게 함
	장점	경량 및 규격화로 도로 대부분에 설치가 용이하며 흡음성, 내구성이 우수함.
	단점	너무 높거나 설치연장이 길어지면 보행자, 주행자에게 압박감과 단조감 영향
FRP	특징	재료 자체는 반사성이지만 박스 형태로 만들어 중간에 흡음재 등을 설치하기도 함.
	장점	부식이 잘 되지 않으며, 합성수지로 금속판과 비교하여 전파방해 등의 문제가 없음
	단점	내후성이 낮음.
세라믹	특징	최근 내후성 및 채색성 등이 우수하여 각지에서 이용.
	장점	내후성, 내열성이 우수함. 질감이 우수하며 채색성 및 청소 등이 용이
	단점	내충격성이 낮으며 수지게 소재에 비해 중량이 무거움.
발포 콘크리트	특징	다수의 기포를 포함하는 경량콘크리트를 사용함.
	장점	경량이며 날씨에 대한 저항력도 일반 콘크리트와 유사, 흡음력 및 외관은 일반 콘크리트에 비해 우수
	단점	충격에 약하며 물에 젖을 경우 더욱 악화됨.
유리	특징	강화유리나 접합유리가 사용됨.
	장점	내후성 및 미관이 우수하며, 청소가 용이함.
	단점	내충격성이 낮음.

※ 금속판 : 알루미늄 패널 + 글라스울 , FRP(Fiberglass Reinforced Plastic) : FRP + 글라스울

는 주로 콘크리트, 목재, 투명판 등이 있으나, 국내 반사형 방음벽은 콘크리트 계통의 재료가 대부분이며 목재 및 투명판은 최근 사용실적이 증가하고 있는 추세이다. 정부에서는 학교, 주거지역 등의 정온지역에 교통소음에 의한 피해대책의 일환으로 2005년까지 방음벽 총 3,488개소 858km를 설치하였으며, 2005년도 한 해에만 방음벽 427개소 (총길이 113.6km)에 886억원을 투자하였다. 시·도별 설치실적은 경남이 23.0km, 경북 22.6km, 서울 10.2km순이고, 투자액은 경남 150억원, 경기 122억원, 경북 113억원의 순으로 나타났다.(환경부 보도자료(2005)). 최근 환경부(생활소음관리대책(2005))에서 방음벽이 설치된 전국의 정온지역에서 밤 시간대 도시의 도로교통소음의 정도를 살펴본 결과, 29개 도시

중 22개 도시에서 소음기준을 초과하고 있는 것으로 나타나, 방음벽이 갖고 있는 한계성으로 인하여 도로교통소음의 피해를 근본적으로 저감시킬 수 있는 효과는 비교적 적은 것으로 분석되었다.

2.2 국외

국외의 연구동향에서 May 등(1980년)은 1/16 축척모형 실험으로 간단한 방음벽 형상에 대해 적용하였다. 반사형 방음벽의 두께를 변화시킨 경우, T형 상단부의 길이를 증가시킨 경우에 삽입손실을 나타냈는데 두께와 길이가 증가함에 따라 삽입손실 역시 증가한다. 두 경우를 비교하면, 방음

벽 두께 2.44m (IL: 17.9dB)에 비해 상단부의 길이를 역시 2.44m로 한 경우(IL: 19dB)가 1.1dB 더 효과적임을 알 수 있다.(D.N.May and M.M.Osman(1980)) Hothersall 등(1991년)은 경계요소법(BEM: boundary element method)으로 좀 더 정밀하게 T, Y, ↑의 상단단부 형상을 가지는 방음벽에 대한 삽입손실을 그림 2와 같이 비교하였다[1]. 삽입손실 결과를 비교한 것으로 T형이 주파수 500Hz를 넘어서는 가장 높은 삽입손실 값을 나타내어 가장 효과적이고 다음은 Y, ↑형 순서임을 알 수 있다.(H. Koh and M. Moser(2004) 현재까지는 연구결과들을 종합할 때 간단한 상단부 형상인 경우는 T형이 가장 좋은 것으로 나타나고 있다[2]. 원통형의 경우는 T형 보다 성능이 조금 못하지만 미적 감각을 고려하여 개발되었으며 일본에서는 실제로 설치하여 그 성능을 시험한 바 있다. 원통형 상단부를 갖는 방음벽은 Fujiwara 등(1991년)이, 그림 3와 같은 원통형을 변형시킨 버섯형은 Yamamoto 등(1995년)이 개발하였으며, 버섯형의 경우는 좀 더 미적 감각을 첨가하여 작은 나무를 심는 것도 가능하다[3]. 그림 4는 높이 0.5m의 원통형(버섯형) 상단부 형상을 높이 3m인 방음벽 상단부에 장착하여 도로에서 설치하였을 때, 단순 수직형 방음벽(높이 3m)과의 삽입손실 비교로 2~3dB의 개선효과가 나타났으며, 이것은 방음벽의 높이를 2m 증가시키는 효과를 주고 있다[4]. 이와 같은 기존의 방음벽들은 기능면에서 볼 때 전기적인 장치를 사용하지 않고 방음벽 자체에 대한 기하학적인 구조 변경에 역점을 두었다. 반면에 최근에는 그림 5와 같은 전기적 장치를 사용하는 능동소음제어(ANC: active noise control) 장치를 부착하는 방안도 연구되었다. 현재 방음벽에 대한 새로운 관심은 국제적으로 친환경산업의 추세에 맞추어 새로운 형태의 방음시설을 개발하고 있는 상황이다[5]. 특히, 능동소음제어 기술을 이용한 방음벽 연구에서 일본은 이미 2005년 현재 실용화된 제품에 셀 하나에 마이크로폰과 스피커를 설치하고 마이크로폰에 감지된 소음을 스피커로부터 방사된 역위상의 2차 음원을 통해 제어하는 구조를 이용한 방음시설을 개발하였다[6]. 또한, 2007년에는 중앙정부 지원으로 방음벽 하단에 능동소음제어 장치를 이용한 소음저감 장치를 설치하여 저주파 소음을 제어하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

그림 2 방음벽 상단모양에 따른 음향삽입손실 변화량
Fig. 2 SIL change quantity from the shape of the top

그림 3 방음벽의 상단형태

Fig. 3 Top of the noise barrier

그림 4 실린더형 방음벽의 음향투과손실 효과

Fig. 4 Sound transmission loss effect of noise barrier which is cylinder style roof

그림 5 ASE 방음벽 상단장치

Fig. 5 Top of the ASE - noise barrier

2.3 국내외 방음벽 형태분석

국내의 방음벽은 좁은 국토조건 및 도시밀집화에 의해 설치 면적이 좁은 형태로 도로단, 교량 등에 손쉽게 설치가 가능한 형태를 요구하게 되었다. 따라서 과거 방음벽은 흡음형 알루미늄 방음판이 가장 많이 사용되어 왔다. 흡음형 방음판은 오랜 시간이 지나게 되면 색상이 변화되거나 이물질이 부착되어 설치 초기의 알루미늄 색상에서 거의 검정색으로 변화되어 미관상 좋지 않았다. 또한 디자인도 거의 대동소이하게 방음판 전면을 슬릿이나 타공을 설치한 형태를 취하고 있었다. 그러나 국외는 국내보다 설치여건이 우수하여 여러 디자인을 가미한 형태의 방음벽이 많이 적용되고 있다. 그러나 최근에는 국내에서도 기존의 천편일률적인 방음판 형태에서 벗어나 그림 6(b)와 같이 방음판 형상, 재질, 색상, 조명 등을 부여한 다양한 방음판을 사용하고 있다. 또한 국내에서 최근 각광을 받고 있는 방음벽은 그림 6(c)과 같은 유리를 사용한 투명방음벽이다. 유리는 플라스틱 제품에 비하여 투명성이 좋고 변색이나 탈색이 없어서 투명방음벽으로 유리한 재료라 할 수 있다. 유리를 사용함으로써 보다 디자인적으로 유리한 측면을 가지고 있으며, 지주를 유리

뒷부분에 설치할 수도 있어 시각적으로 보다 정돈된 느낌을 부여한다. 유리자체의 강성을 확보하기 위해서 강화유리를 사용하거나 접합유리, 강화접합유리를 사용하고 있다. 유리의 두께는 방음벽의 높이에 따라 다르게 적용할 수 있으나, 8mm~12mm가 주로 사용되고 있다. 이러한 투명형 유리방음벽은 공동주택이나 학교 등의 좁은 설치여건과 미관, 조망, 안전 등을 고려하여 최근 적용범위가 증가하고 있는 우수 디자인 사례라 할 수 있다.

(a) 기존 국내방음벽

(b) 최근 국내방음벽 - I

(c) 최근 국내방음벽 - II (유리방음벽)

그림 6 국내 방음벽 형태

Fig. 6 Form of domestic noise barriers

국외 방음벽은 그림 7과 같이 국내와 같이 형태가 수직으로 향하는 단순한 형태가 아니라 다양한 형태가 적용되고 있으나 설치공간을 많이 차지하거나 무게가 무거운 콘크리트 제품이 많아 국내에 적용하기에는 다소 제약이 있다. 국외 방음벽은 콘크리트, 블록, 유리, 재생고무 등의 재료를 사용한 구조가 다양하게 적용되고는 있으나 디자인적으로 가장 주목받고 있는 재료는 유리라 할 수 있다. 국내 보다 오래전부터 유리 제품의 방음벽이 시공되어 왔으며, 유리의 강성을 증가시키기 위하여 접합유리 내부에 강선을 설치하여 단위 패널의 크기를 크게 하여 중앙 프레임 없이 보다 큰 면적에 방음판을 설치할 수 있다.

국내외 방음벽의 디자인 형태를 검토한 결과, 국외의 방음벽은 국토여건이 넓어 국내에 비하여 다양한 형태와 재료가 사용되고 있다. 주로 콘크리트와 블록의 형태가 주로 사용되고 있으며 재활용 재료나 재활용이 가능한 재료도 사용되고 있다. 반면 국내는 방음벽의 설치공간이 충분하지 않은 상황이기 때문에 다양한 디자인을 적용하기에는 한계가

있다. 이러한 설치환경에 따라 국내에서는 흡음형 알루미늄 방음벽을 많이 설치하여 왔으나 최근 국내에서도 방음판 형상, 재질, 색상, 조명 등을 부여한 다양한 방음판을 사용하고 있다. 또한 국내외 공통적으로 최근의 방음벽 디자인은 자연환경과 최대한 조화를 이룰 수 있는 디자인이 많이 사용되고 있는 추세이다. 따라서 주변 환경과 잘 어울리며, 좁은 공간에도 설치가 용이한 유리가 적용된 투명방음벽이 국내외적으로 가장 주목을 받고 있으며 국내에서도 시공사례가 증가하고 있는 상황이다. 따라서 국내에서도 투명 방음벽을 기본으로 하여 전자방음벽의 적용이 가능한 디자인으로 검토되어야 할 것으로 판단된다.

(a) 다양한 형태의 방음벽

(b) 콘크리트 및 블록 방음벽

(c) 유리 방음벽

그림 7 국외 방음벽 형태

Fig. 7 Form of overseas noise barriers

3. 방음벽 형태를 고려한 최적설계

3.1 현장측정을 통한 프로그램 검증

3.1.1 현장측정 및 평가

측정대상은 경남 진해시 석동에 위치한 공동주택으로써 남쪽 6차선 도로, 서쪽 4차선도로와 인접하여 있으며, 인근 도로의 현황은 그림 8과 같다. 도로교통소음 측정방법은 ‘공동주택의 소음측정 기준’(국토해양부고시 제2007-573호)에 따라 실시하였다. 측정시 교통량과 주행속도를 동시에 기록하였으며 결과는 표 2와 같다[7]. 주간(06:00~22:00)은 출·퇴근 시간대를 포함하여 2시간 간격으로 4회 측정하였으며, 야

간(22:00~06:00)은 2시간 간격으로 2회 측정하였다. 주요 측정지점은 그림 9와 같이 총 5지점을 선정하여 도로변에서 5m 떨어진 지점에서 지면과의 높이 1.2m에서 측정을 실시하였다. 소음측정시 소음계의 동특성은 "FAST"반응으로 고정하였으며, 청감보정회로는 A특성에 의해 보정된 측정치를 이용하였다. 대상도로의 소음도 측정결과는 표 3과 같다. 분석결과 주간과 야간의 지점별 평균 소음도는 각각 72.6dB(A)과 71.1dB(A)로 나타났다. 또한 통행량에 따른 차이는 크지 않았는데, 이는 통행량이 줄어들지만 차량속도가 증가하기 때문인 것으로 분석된다.

표 2 도로 통행량 및 차량속도

Table 2 Traffic density and speed

도로구분	차선수	일일 통행량 (대/일)	최대 교통량 (대/시)	제한속도
남측도로	6차선	47,912	4360	70km/h
서측도로	4차선	40,854	3636	60km/h

표 3 대상도로의 측정결과

Table 3 Measurement result of the target road

구분	측정시간	각 지점별 측정결과				
		①	②	③	④	⑤
주간	08:00	71.9	73.3	73.4	73.5	75.7
	11:00	74.9	72.9	73.0	73.5	72.2
	18:00	73.1	70.9	71.0	69.0	74.6
	20:00	71.3	71.4	72.3	69.3	74.7
평균		72.8	72.1	72.4	71.3	74.3
야간	22:00	70.5	70.9	71.6	69.1	73.4
	24:00	70.2	70.3	70.3	70.0	74.2
평균		70.4	70.6	71.0	69.6	73.8

(a) 남측도로 전경

(b) 서측도로 전경

그림 8 측정대상의 현황

Fig. 8 Status of the measurement target

그림 9 대상도로의 소음측정지점(①~⑤)

Fig. 9 Status of the measurement target

3.1.2 시뮬레이션 성능 검증

도로교통소음에 대한 차음성능 및 적절한 디자인 도출을 위해 현장 측정결과를 바탕으로 시뮬레이션을 통한 사용 프로그램의 타당성을 검증하였다. 본 연구에서는 CADNA A를 사용하였으며, 이를 위한 예측모델은 실측값과 가장 작은 오차를 나타내고 있어 우수한 독일의 RLS-90을 사용하였다[8]. RLS90은 독일 연방교통부에서 발표한 예측모델이며 음원모델과 전달모델로 구성되어 음의 확산, 지표감쇠, 차음, 반사 등을 고려하여 예측한다. 음원모델은 소형차 100km/h, 대형차 80km/h의 속력으로 직선의 아스팔트 도로를 달릴 때의 소음도인 기본모델의 소음도에 주행속도와 노면종류, 노면경사, 다중반사에 의한 보정을 하며 예측이 가능한 속도 구간은 30km/h~130km/h이다. 기본모델과 음원모델은 식 (1), (2)와 같다.

$$L_m(25, basic) = 37.3 + 10 \log M \times (1 + 0.082 \times P) \quad (1)$$

$L_m(25, basic)$: 기본모델 소음도

M : 시간당 평균 교통량 또는 일평균 교통량

P : 대형차 혼입율(2.8t 기준)

$$L_{mE} = L_m(25, basic) + C_{sp} + C_{Rs} + C_G + C_{Ref} \quad (2)$$

L_{mE} : 음원모델 소음도

C_{sp} : 차량속도 및 대형차 혼입율에 대한 보정

C_{Rs} : 노면종류에 대한 보정

C_G : 노면경사에 대한 보정

C_{Ref} : 다중반사 효과에 대한 보정

적용 교통량은 현장에서 실측을 통해 조사·분석한 교통량을 입력하였으며, 차량의 주행조건은 일반적으로 사용하고 있는 신호가 없는 상태일 때 차량이 운행되고 있는 정상상태를, 도로는 현장의 상황과 유사한 평탄 아스팔트를 가정하였다[9]. 시뮬레이션 분석결과는 표 4와 같으며, 그림9에 표시된 각 측정지점에서의 측정값과 예측값, 오차값(측정값-예측값)을 비교하였다. 주간은 각 측정지점 별로 0.1~0.6dB(A), 야간은 0.2~1.3dB(A)의 오차가 발생하는 것으로 분석되어 주간과 야간 모두 한계 오차범위(3dB(A)미만)를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 시뮬레이션을 통한 도로교통소음 예측은 충분한 신뢰성을 확보할 수 있는 것으로 평가되었다.

표 4 대상 도로소음 측정값과 예측값의 결과 비교

Table 4 Comparison of traffic noise results between experimental value and prediction value

구분	주간 Leq [dB(A)]			야간 Leq [dB(A)]		
	측정값	예측값	오차	측정값	예측값	오차
1	72.8	72.2	0.6	70.4	70.6	-0.2
2	72.1	72.7	-0.6	70.6	71.1	-0.5
3	72.4	72.3	0.1	71.0	70.8	0.2
4	71.3	71.0	0.3	69.6	68.4	1.2
5	74.3	74.2	0.1	73.8	72.5	1.3

3.2 능동형방음벽에 적용 가능한 디자인 최적설계

방음벽에서 일반적으로 중요하게 고려되는 요소들은 높이와 두께, 단면형상, 설치조건, 재료의 음향학적 특성 등의 요소와 더불어 구조적 안전성, 미관성, 경제성 등의 요소 등이다. 본 연구에서는 최근의 방음벽 중 이러한 요소들이 가장 많이 고려된 방음벽의 중의 하나인 투명유리 방음벽을 대상으로 실험을 실시하였으며, 도로교통소음 저감을 위한 방음벽 성능에 가장 큰 영향을 미치는 방음벽 상단부위의 단면형상을 시공성 및 디자인을 고려하여 5종류로 구분하여 시뮬레이션을 통한 실험을 실시하였다. 시공성 및 디자인을 고려하여 도출된 현장 적용 가능한 방음벽 모델과 시뮬레이션을 위한 방음벽 세부 모델링은 각각 표 5, 그림 10과 같으며, 정확한 도로교통소음 분석을 위한 예측지점은 수평과 수직방향으로 각각 5m 간격으로 구분하여 설정하였다. 방음벽 단면형상에 따른 소음도 분석결과, 본 연구에서 고려한 방음벽의 5가지 타입 모두 공통적으로 소음원에서 수평거리가 멀어질수록 소음도가 감쇠되는 일반적인 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 지면으로부터 1.5m 높이의 수음점에서는 B타입의 방음벽이 가장 우수한 것으로 나타났으나, B, C타입의 경우 차이가 1dB(A) 이내로 거의 유사한 성능을 보였다. 지면으로부터 5m 높이의 수음점에서는 B타입이 가장 우수한 것으로 나타났으며, C타입과 비교시 1.2~1.7dB(A) 정도 우수한 것으로 나타났다. B타입은 A, D, E타입과 비교시 5m 높이에서 3dB(A)이상 우수한 것으로 나타나 성능차이를 확인할 수 있었다. 지면으로부터 10m 높이의 수음점에서는 D타입의 방음벽이 가장 우수한 것으로 나타났으나 각 타입별 성능차이가 0.6~1.2dB(A) 미만으로 나타나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 지면으로부터 15m 높이의 수음점에서는 각 방음벽의 성능차이가 0.1~0.9dB(A) 정도로 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 다만 E타입의 방음벽 설치시 R10지점의 소음도가 증가되는 것으로 나타났는데, 이는 E타입의 형상에 따른 도로 반대편 방음벽의 반사음에 기인하는 것으로 판단된다.

사용 프로그램을 통한 방음벽의 성능 및 디자인 평가결과, 본 연구에서 고려한 5가지의 방음벽 형태 중 타 방음벽에 비해 각 지점별(R1~R6)로 최대 2.5dB(A) 정도 방음성능이 우수하고 시공성 또한 우수한 B 형태의 방음벽이 향후 능동형 방음벽 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

표 5 방음벽의 단면형상 구분

Table 5 Section types of barrier

Type				
A	B	C	D	E

그림 10 시뮬레이션 모델링 개요도

Fig. 10 Detail of simulation modeling

표 6 1.5m 높이에서의 소음도 예측 결과

Table 6 Noise prediction result at 1.5m height

단면 타입	주간 Leq [dB(A)]					
	R1		R2		R3	
	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량
A	59.1	19.3	58.9	16.8	58.7	14.7
B	56.9	21.5	56.8	18.9	56.7	16.7
C	57.7	20.7	57.3	18.4	57.1	16.3
D	59.4	19.0	59.1	16.6	58.9	14.5
E	58.4	20.0	58.4	17.3	58.4	15.0

표 7 5m 높이에서의 소음도 예측 결과

Table 7 Noise prediction result at 5m height

단면 타입	주간 Leq [dB(A)]					
	R4		R5		R6	
	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량
A	68.1	10.3	66.5	9.9	65.3	9.5
B	63.1	15.3	62.6	13.8	61.9	12.9
C	65.6	12.8	64.3	12.1	63.3	11.5
D	67.8	10.6	66.3	10.1	65.2	9.6
E	68.2	10.2	66.6	9.8	65.5	9.3

표 8 10m 높이에서의 소음도 예측 결과

Table 8 Noise prediction result at 10m height

단면 타입	주간 Leq [dB(A)]					
	R7		R8		R9	
	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량
A	73.7	3.6	72.6	3.6	71.7	3.4
B	73.3	4.0	72.5	3.7	71.7	3.4
C	73.6	3.7	72.6	3.6	71.7	3.4
D	73.0	4.3	72.0	4.2	71.1	4.0
E	74.2	3.1	72.0	4.2	71.1	4.0

표 9 15m 높이에서의 소음도 예측 결과

Table 9 Noise prediction result at 15m height

단면 타입	주간 Leq [dB(A)]					
	R10		R11		R12	
	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량	소음도	감쇠량
A	74.3	2.0	72.4	3.2	71.6	3.2
B	73.4	2.9	72.2	3.4	71.5	3.3
C	73.4	2.9	72.4	3.2	71.6	3.2
D	73.4	2.9	72.4	3.2	71.6	3.2
E	77.0	-0.7	73.1	2.5	71.5	3.3

4. 결 론

전자방음벽 개발에 필요한 디자인 기초자료 제시를 목적으로 최근의 방음벽 디자인 동향을 조사 및 분석하고, 소음 측정 및 시뮬레이션 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 국내의 방음벽의 디자인 형태 및 디자인 동향을 검토한 결과, 국내의 공통적으로 최근의 방음벽 디자인은 자연환경과 최대한 조화를 이룰 수 있는 디자인이 많이 사용되고 있는 추세이다. 따라서 주변 환경과 잘 어울리며, 좁은 공간에도 설치가 용이한 유리가 적용된 투명방음벽이 국내외적으로 가장 주목을 받고 있으며 국내에서도 시공사례가 증가하고 있는 상황이다. 따라서 국내에서도 투명 방음벽을 기본으로 하여 전자방음벽의 적용이 가능한 디자인으로 검토되어야 할 것으로 판단된다.

2) 도로변 공동주택을 대상으로 실측값과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 예측값을 비교한 결과 각 측정지점별로 0.1~1.3dB(A) 정도의 오차를 나타내는 것으로 나타나 시뮬레이션 프로그램을 활용한 도로교통소음 예측은 충분한 신뢰성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

3) 최근의 방음벽 중 미관성, 안전성, 경제성 등의 요소들이 가장 많이 고려된 방음벽의 중의 하나인 투명유리 방음벽으로 설치를 동일하게 가정하고, 방음벽의 단면형상을 5가지로 구분하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 사용 프로그램을 통한 방음벽의 성능 및 디자인 평가결과, 본 연구에서 고려한 5가지의 방음벽 형태 중 타 방음벽에 비해 각 지점별(R1~R6)로 최대 2.5dB(A) 정도 방음성능이 우수하고 시공성 또한 편리한 B 형태의 방음벽이 향후 능동형 방음벽 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

향후 전자방음벽 개발 및 디자인 시에 투명형 유리 방음벽 및 제시된 방음벽의 단면을 중심으로 기술을 적용하는 방안을 고려할 필요가 있을 것으로 판단되며, 방음벽의 형상 및 반대 차선 방음벽에 의해 상부로 에너지가 집중되어 불규칙한 소음분포가 나타나므로 능동방음벽 적용시에 반대 차선의 방음벽에 대한 고려도 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(과제번호 09기술혁신 E05)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] D.N.May and M.M.Osman, "highway noise barriers: new shapes," J.Sound Vib. Vol 71(1), pp.73-101,1980.
- [2] H. Koh and M. Moser, "Efficiency of actively controlled surface impedance of headpieces attached to noise barriers," Building Acoustics, vol.11, No. 2, pp.115-131, 2004.
- [3] K.Yamanoto, Y.Shono, H.Ochiai, and Y.Hirao, "measurements of noise reduction by absorptive devices mounted at the top of highway noise barriers" inter-noise 95,pp.389-392, 1995.
- [4] K.Fujiwara, D.C.Hothersall, and C-H KIM,"noise barriers with reactive surfaces" Applied Acoustics, Vol 53(4), pp.255-272, 1997.
- [5] 남 현도, 서 성대, "다중채널 LMS 알고리즘을 이용한 자동차 내부소음의 능동제어," 단국대학교 산업기술연구소 논문집 (산업기술연구), 2권, pp. 151- 161, 2001.
- [6] 임형진, 백광현, "능동방음벽 시스템의 제어음원 위치선정에 미치는 최적화 기법 성능 비교 연구," 한국소음진동공학회 논문집, pp.911-917, 2005.
- [7] 김지윤, 박인선, 정우홍, 박상규, 소음지도 제작시 차량 분류방법이 소음도 예측결과에 미치는 영향 연구, 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, 2007.
- [8] 백건중, 장길수, 박강철, 정석우, 도로교통소음 규제지역의 소음지도 작성을 위한 소음예측식의 적합성 평가, 한국건축환경설비학회논문집, Vol.2, No.4, 8p, 2008.
- [9] 이장욱, 김명준, 도로소음예측모델의 교통조건 변화에 따른 소음 특성, 한국건축환경설비학회 춘계학술대회 논문집, 114p, 2008.

저 자 소 개

차 상 군 (車 相 坤)

2005년 경기대학교 졸업(공학박사)
현재 SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템 기술개발 연구단 근무
E-mail : humic@hanmail.net

김 동 환 (金 東 煥)

2004년 전북대학교 졸업(석사)
현재 SQ엔지니어링(주) 능동소음제어시스템 기술개발 연구단 근무
E-mail : lkest2@naver.com