

## 도로 주변지역의 소음환경 개선방법

김 철 환

한국도로공사 도로교통연구원

### Norse Control Methods for Improving the Road Side Environment

Chulhwan Kim

Expressway & Transportation Research Institute

#### 1. 서론

2008년 3월말 우리나라의 자동차 등록대수는 이미 1,600만대를 넘어섰다. 단순히 따져 봐도 국민의 3명 중 1명은 차량을 보유하고 있고, 경제활동인구로 따지면 3명 중 2명이 차량을 보유하고 있다는 셈이 된다. 2002년 국립환경과학원의 조사에 의하면 이미 국민의 절반 이상이 도로나 철도 소음에 노출되어 있어 거주 가능한 국토면적에 비해 인구수가 많은 우리나라에서는 도로소음에 대한 대책 노력이 크게 요구되고 있는 상황이다.

일반적으로 모든 소음대책이 그러하듯이 도로소음의 대책에 있어서도 “음원 대책”, “전파경로 대책”, “수음자 대책”의 크게 3가지 측면에서 그 방법을 고려해 볼 수 있다. 도로소음에 있어서 “음원 대책”이란 차량 주행에 의해 발생하는 엔진음, 배기음, 타이어와 노면 마찰음 등을 차량이나 도로 자체에서 저감시키는 것이고, “전파경로 대책”이란 방음벽, 방음터널, 환형시설대 등의 시설물이나 반지하도 등의 도로구조에 의해 음원과 수음자 사이의 전파경로에서 소음을 저감하는 것을 말한다. 그리고, “수음자 대책”이란 넓은 의미에서 보면 전파경로 대책이 되겠지만 여기서는 방음건축, 2중 창호 등 거주자 관점의 건축시설물에 의한 대책을 의미한다. 이밖에도 교통 통제, 속도 규제, 교

통망 개선 등의 교통공학이나 행정제도에 의한 방법이 있지만 여기서는 음향적 관점을 중심으로 도로소음의 대책 기술과 그 특징들을 기술해 보고자 한다.

#### 2. 소음환경 개선 대책

##### 2.1. 음원 대책

###### 2.1.1. 자동차 자체 소음의 규제

도로소음 대책의 가장 근본이 될 수 있는 방법으로, 새로 생산되는 차량이나 수입차량에 대해 Table 1과 같이 가속 주행소음, 배기소음, 경적소음을 규제하고 있다. 규제한다는 점차 강화되고 있는 추세이지만, 이러한 차량 자체 소음의 규제강화에도 불구하고 도로주변의 소음환경이 크게 개선되지 않고 있는 것이 실정이다. 이러한 문제는 EU의 여러 국가에서도 나타나는데, 규제 이후 자동차 자체의 배출 소음은 8~11 dB 정도 크게 감소되었으나 도로주변의 교통소음 감소는 1~2 dB에 불과한 것으로 보고된 바 있다. 그 원인은 규제기준을 만족 시키지 못하는 차량의 갱신에 시간이 걸린다는 점과 차량 자체에서 발생하는 소음이 줄어들었다 하더라도 타이어에서 발생하는 노면소음의 영향이 그대로 남아있기 때문에 그 효과가 희석되었고, 또한 신규로 생산되는 차량은 규제기준을 만족하지만 몇 년 사용하고 나면 다시 소음이 높아진다는 점 등을 이유로 들고 있다.

###### 2.1.2. 배수성포장

일반적으로 배수성포장이라 함은 공극률이 높은 아스팔트 혼합물을 표층에 사용한 포장을 말한다. 보통 아스팔트 혼합물의 공극률은 3~6% 정도인 것에 비해 배수성포장의 공극률은 20% 이상에 이른다. 강우시 빗물이 포장체 내에 스며들어 노면에 고이지 않기 때문에 안전성과 저소음성이란 두 가지 커다란 기능을 갖는다. 배수성포장을 저소음포장으로 부르는 이유가 여기에 있다. 1987년 동경의 외곽 순환 고속도로에 처음으로 시공된 이후 일본에서는 매년 그 연장이 확대되어 지금은 일본 고속도로의 절반 가까이가 배수성포장으로 포설되어 있다.



Fig. 1. 도로소음 대책의 기본개념.

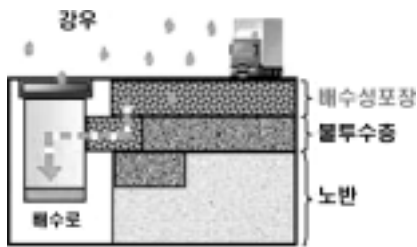
E-mail: c.h.kim@ex.co.kr

Tel: 031-371-3366

Fax: 031-371-3287

**Table 1.** 차량 자체 발생소음 규제기준(2006. 1. 1 이후 제작차량)

자동차종류	소음항목	가속주행소음(dB(A))		배기소음 (dB(A))	경적소음 (dB(C))	
		가	나			
경 자동차	가	74 이하	75 이하	100 이하	110 이하	
	나	76 이하	77 이하			
승용 자동차	소형	74 이하	75 이하	100 이하	110 이하	
	중형	76 이하	77 이하			
	중대형	77 이하	78 이하	100 이하	112 이하	
	대형	원동기출력 195마력 이하	78 이하			78 이하
원동기출력 195마력 초과		80 이하	80 이하	103 이하		
화물 자동차	소형	76 이하	77 이하	100 이하	110 이하	
	중형	77 이하	78 이하			
	대형	원동기출력 97.5마력 이하	77 이하	77 이하	103 이하	112 이하
		원동기출력 97.5마력 초과 195마력 이하	78 이하	78 이하		
원동기출력 195마력 초과		80 이하	80 이하	105 이하		
이륜 자동차	총배기량 175 cc 초과	80 이하	80 이하	105 이하	110 이하	
	총배기량 175 cc 이하 · 80 cc 초과	77 이하	77 이하			
	총배기량 80 cc 이하	75 이하	75 이하	102 이하		

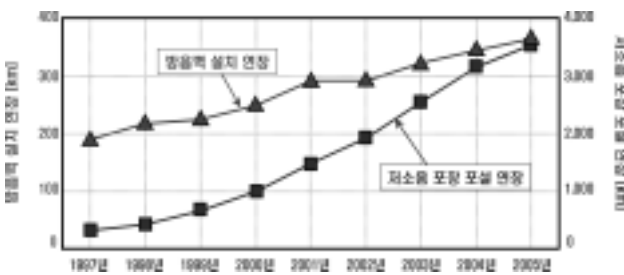


(a) 배수성포장의 개념



(b) 강우시 배수성포장(좌)과 일반포장(우)

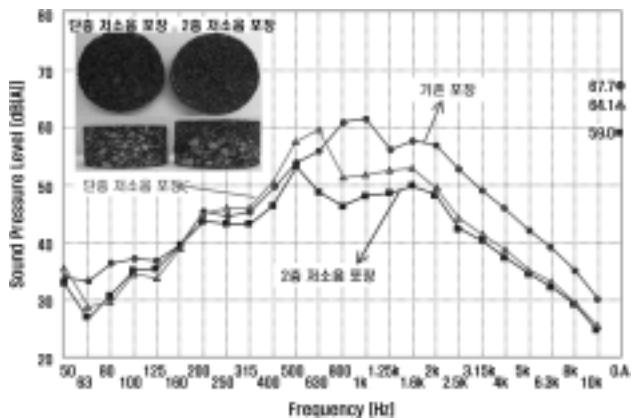
**Fig. 2.** 배수성포장의 개념 및 시공사례(일본).



**Fig. 3.** 일본 고속도로의 배수성포장 포설 추이(2006, 일본 국토기술정책종합연구소).

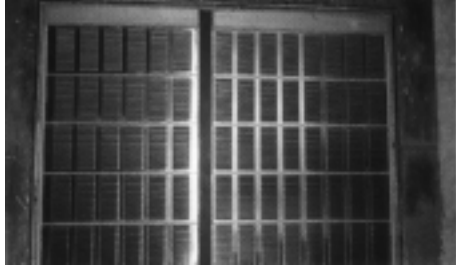
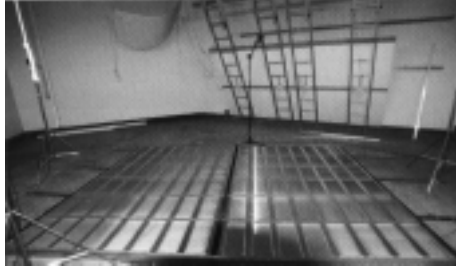
배수성포장의 소음저감에 대한 메커니즘은 타이어에 의한 공기 압축음(air pumping sound)이 포장면의 공극에 의해 줄어드는 것으로 생각되고 있으며, 최근의 연구에 의하면 차량 하부의 반사음을 저감시키는 등 소음의 전파특성에 의해서도 큰 영향을 주고 있음이 보고되고 있고 지금까지의 시공된 일본의 사례로는 도로소음을 3~5 dB 저감시키는 것으로 되어 있다. 하지만 시간이 지남에 따라 공

극이 막혀 소음저감효과가 지속되지 않는다는 문제점이 있어 향후 지속적인 저감효과를 갖는 포장공법 및 유지관리 방법의 개발에도 큰 관심이 모아지고 있다.



**Fig. 4.** 배수성포장의 소음저감효과(2006, 일본국토기술정책 종합연구소).

Table 2. 방음판의 기본적인 음향성능

	차음성능	흡음성능
측정방법	 KS F 2808	 KS F 2805
성능기준	500 Hz : 25 dB 이상 1 kHz : 30 dB 이상	250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz 흡음율의 산술평균이 0.7 이상

2.2. 전과경로 대책

2.2.1. 방음벽

도로 주변지역의 소음대책을 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 수단이 방음벽이다. 1982년 처음으로 우리나라 고속도로에 방음벽이 설치된 이래 전국 고속도로에 600 km가 넘게 설치되어 있다. 초기에는 일본에서 1976년에 제안된 “통일형 방음벽”으로 불리는 알루미늄 방음판으로 구성된 방음벽이 주로 설치되었으나 최근에는 플라스틱 등 다양한 재료의 방음벽들이 설치되고 있다. 하지만 이러한 소재의 방음판들이 고속도로 방음벽에 사용되기 위해서는 차음성능과 경우에 따라서는 흡음성능이 동시에 요구된다.

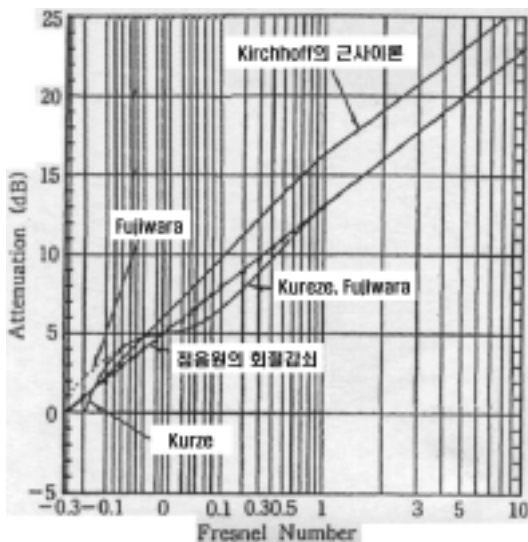
방음벽에 흡음성능이 요구되는 이유는, 도로 주변지역의 소음대책을 위해 설치한 방음벽이 도로의 반대편 지역에서는 반사판으로 작용하여 오히려 소음이 커지는 경우가 발생하기 때문이다. 이와 같이 방음벽이 때로는 반사물로 작용한다는 사실은 자칫하면 간과하기 쉽지만 방음벽 설치를 검토할 때에는 반드시 염두에 두어야 한다.

두께를 무시할 수 있는 직립형 방음벽의 회절감쇠를 산

정하기 위한 계산은 일본의 Maekawa가 1962년 실험을 통해 정리한 도표(Maekawa's chart)를 발표한 이래 많은 사람에게 의해 그 유효성이 검토되고 새로운 식들이 제안되었다. 독일의 Kurze는 Keller의 기하 회절이론에서 유도한 회절효과의 근사식을 제안하였고 일본의 Fujiwara는 자신의 실험결과와 비교하여 Kurze의 식에서 Fresnel 수  $N < 0$ 의 범위를 수정한 계산식을 제안하였다. 두 식 모두 Maekawa가 제안한 접근방법과 다른 방법으로 유도한 회절효과의 근사식임을 감안한다면 놀라울 정도로 잘 일치한다고 볼 수 있다. 향후에는 이렇게 제안된 회절이론들을 두께가 있는 블록(block)이나 라운딩(rounding) 구조의 폭이 넓은 방음시설물에까지 확대시키는 것이 과제라 할 수 있겠다.

2.2.2. 방음벽 상단 소음저감장치

도로에서 발생하는 소음도가 높아지면서 방음벽의 높이도 따라서 높아지고, 최근에는 도로주변의 소음환경 개선을 위해 설치되는 방음벽이 오히려 도로환경을 저해하는 구조물로 인식되기 시작했으며 이에 따라 소음감소기라



(a) Maekawa 도표

$$\begin{aligned}
 \blacksquare \text{ Kurze : } \Delta L_{KU} &= \begin{cases} 5 + 20 \log_{10} \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tan \delta / \sqrt{2\pi N}} & N \geq 0 \\ 5 + 20 \log_{10} \frac{\sqrt{2\pi |N|}}{\tan \sqrt{2\pi |N|}} & -0.2 \leq N < 0 \\ 0 & N < -0.2 \end{cases} \\
 \blacksquare \text{ Fujiwara : } \Delta L_{FJ} &= \begin{cases} 5 \pm 20 \log_{10} \frac{\sqrt{2\pi |N|}}{\tan k \sqrt{2\pi |N|}} & N \geq -0.4345 \\ 0 & N < -0.4345 \end{cases} \\
 & \text{ [식에서, } N > 0 \text{ 일 때 } '+', N < 0 \text{ 일 때 } '-']
 \end{aligned}$$

(b) 회절감쇠 계산식 제안 사례

Fig. 5. 회절음의 저감량 계산 방법

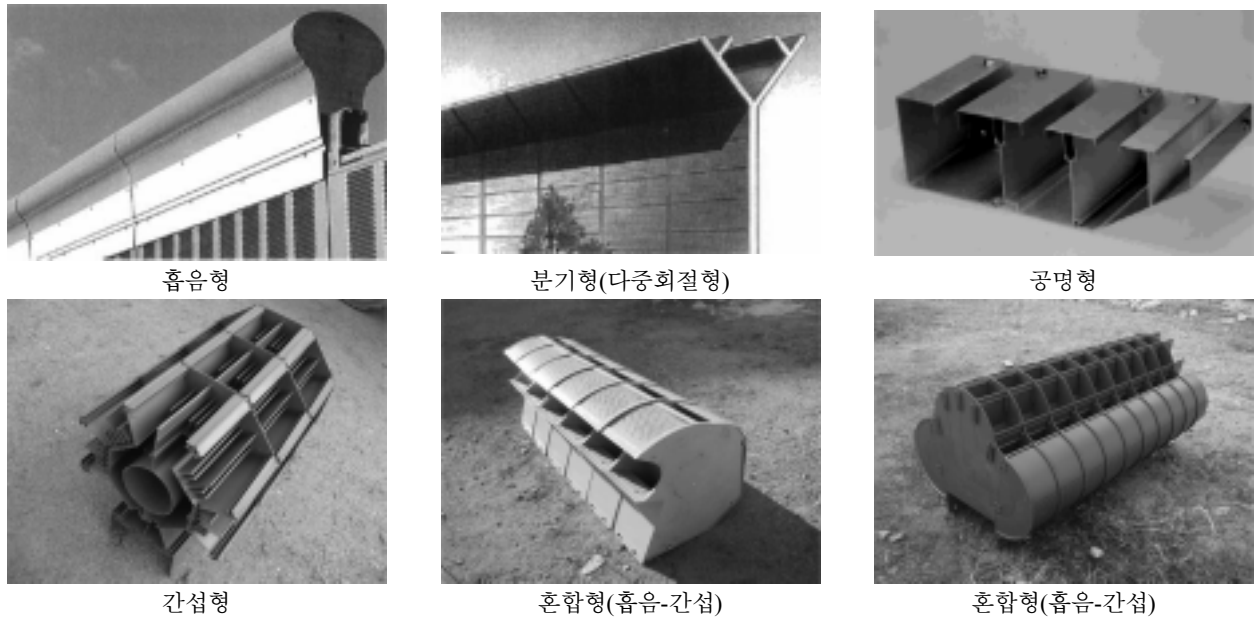


Fig. 6. 다양한 원리의 방음벽 소음저감장치.

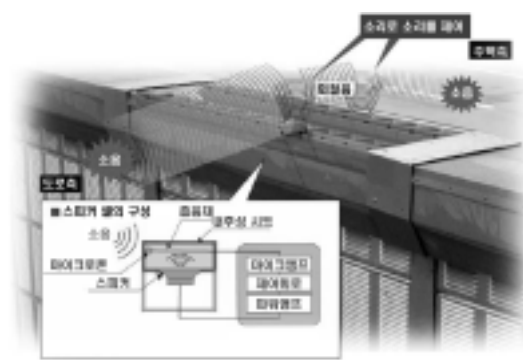
불리는 방음벽 상단의 소음저감장치에 대한 설치 요구가 증가하고 있는 실정이다. 소음저감장치는 1975년 일본의 Fujiwara에 의해 처음으로 그 유효성이 제기된 이래 20년이 지난 1990년대 중반부터 일본에서 본격적으로 설치되기 시작되어 우리나라의 고속도로에도 이에 대한 설치요구가 높아지고 있는 실정이다. 실험상의 작은 실수에서 발견된 소음저감장치의 원리는 방음벽 상단의 회절엣지(diffraction edge)를 회절영역에 대한 가상의 음원으로 생각하고 회절 엣지에서의 음향 포텐셜(acoustic potential)을 저감시키는 데 있다. 엣지 포텐셜을 저감시키는 방법은 Fujiwara가 처음에 제안했던 것과 같이 흡음성 재료 엣지를 감싸거나 음파의 간섭이나 공명을 이용하는 등 다양한 방법이 제안되고 있다. 특히 최근에는 신호처리 기술과 이를 구현시키는 하드웨어의 발전으로 능동형 소음제어(active noise control, 이하 ANC) 기술을 이용한 소음저감장치가 일본에서 실용화되어 효고(兵庫)현의 국도에서 시험 운용 중에 있다.

2.2.3. 반지하 도로

반지하 도로에 의한 전파경로 대책은 새로 건설되는 도로에 적용되는 경우가 많다. 도로 상부 공간의 활용으로 도로에 의한 도시의 단절을 막을 수 있고 소음저감효과도 큰 장점이 있지만 도로 내부공간에서의 다중 반사에 의해 울린 소리가 상부 개구부를 통해 빠져나오므로 도로 내벽을 흡음재로 처리해 줄 필요가 있다. 신설 도로의 주택 밀집지역 통과가 불가피할 경우 방음벽 보다 훨씬 효과적인 소음대책이 가능하며 경관이나 도시환경적인 측면에서도 바람직하다고 할 수 있으므로 계획단계에서 적극적으로 검토해 볼 필요가 있다.

2.2.4. 환경시설대

소음 대책을 위해 도로와 민가 사이에 설치하는 수목 식생지대를 환경시설대라고 하며 가장 환경 친화적인 소음 대책이라고 할 수 있다. 환경시설대의 설치에 의해 도로와



(a) 상용화된 ANC 소음저감장치(일본)



(b) 시험운용중인 ANC 소음저감장치(일본)

Fig. 7. ANC 소음저감장치.



Fig. 8. 반지하 도로에 의한 도로소음 대책.

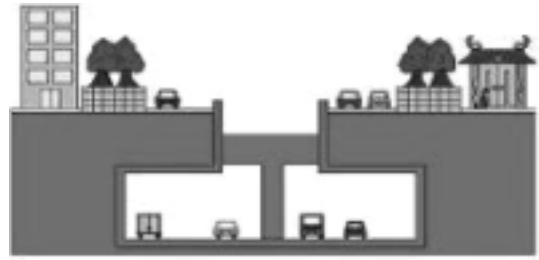


Fig. 9. 환경 시설대에 의한 도로소음 대책(일본 Fukushima 시).



민가 사이에 일정 간격 이상의 거리가 생기게 되어 소음의 전파경로가 길어짐은 물론 수목에 의한 배기가스 정화 및 시각적인 안정감을 줄 수 있어 가장 바람직한 소음대책이라고 할 수 있다. 하지만 이를 설치하기 위해서는 토지의 확보가 필수적이므로 반지하 도로와 마찬가지로 계획 단계에서의 세심한 검토가 필수적이다.

2.2.5. 방음터널

방음터널은 도로와 인접한 지역에 고층의 공동주택이 있어서 방음벽으로는 도저히 소음대책이 어렵거나 교량 등에서 구조적인 문제로 방음벽의 높이를 높이는 데 한계가 있는 경우에 검토되는 수단이다. 방음벽에 비해 설치비가 많이 들고 상부의 방음판이 도로에 떨어질 경우 큰 사고로 이어질 수 있기 때문에 구조적 검토와 시공 관리에 많은

주의가 요구된다. 연장이 길어질 경우 환기 대책이 필요하며 구조물의 차음성능에 의해 방음성능이 결정되기 때문에 재료의 투과손실과 시공 및 구조적 기밀성에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다.

2.3. 수음자 대책

도로소음 대책에 있어서의 수음자 대책은 민가에 대한 방음건축을 의미한다. 민가의 방음성능을 높이기 위한 외벽설계나 기밀성과 차음성능이 높은 창호의 검토 등이 여기에 해당되는데, 최근 신도시 확장 등에 의해 도로변 인접해 공동주택을 건설해야 할 경우가 많아지면서 도로소음에 의한 분쟁 늘어나고 있는 추세이다. 이에 따라 도로변 50 m 이상 떨어지거나 1층과 5층의 외부 평균 소음도가 65 dB(A) 이하가 되도록 하면 사업승인을 해 주던 “주



Fig. 10. 방음터널에 의한 도로소음 대책.



택건설기준 등에 관한 규정(대통령령)”이 2007년 7월에 개정되어 2008년 1월 1일 이후 사업승인을 받는 공동주택에 대해서는 6층 이상에 있어서도 외부 소음도가 65 dB(A) 이하가 되도록 하거나 창문을 닫은 상태의 실내에서 45 dB(A) 이하가 되도록 하면 건축이 가능하도록 되었다. 이 법령에 의해 공동주택의 건설이 활성화 될 수도 있으나 도로변 지역의 소음환경기준인 주간 65 dB(A), 야간 55 dB(A) 이 건물 외부에 대한 기준인 것을 감안한다면 향후 분쟁의 소지가 있을 것으로 생각된다.

### 3. 맺음말

이상에서 도로주변 지역에 대한 소음환경 개선을 위한 여러 가지 방법에 대해 소음대책의 기본적인 접근방법으로 분류하여 그 동향을 소개하였다. 하지만 앞에서 소개한 방법들을 효과적, 효율적으로 적용하기 위해서는 이러한 방법들을 적용했을 때 소음저감효과가 어떻게 될지에 대한 정확한 예측방법이 있어야 한다. 하지만 국내에서는 아쉽게도 다양한 도로여건과 주변상황을 고려한 도로소음 예측을 위한 체계적인 방법의 정립과 다양한 데이터가 확보가 불충분한 상황이다. 이를 위해서는 향후 보다 장기적인 안목에서 도로소음 각 분야의 연구자와 실무자가 함께 참여한 체계적이며 조직적인 연구와 지원이 있어야 할 것이다.

### 참고 문헌

1. 山本貢平, 高木興一, 前川チャートの點式表示について, *騒音制御*, **15**(4), (1991).
2. Kurze, Sound Attenuation by Barriers, *Applied Acoustics*, **4**, (1971).
3. 山本貢平, 道路交通騒音の對策技術, *騒音制御*, **23**(3), (1999).
4. 大西博文, 道路交通騒音の現狀と對策, *騒音制御*, **23**(3), (1999).
5. 藤原恭司, 新しい遮音壁, *騒音制御*, **23**(3), (1999).
6. 橋本修治, 岡本信人, 騒音低減効果の高い舗裝の實狀, *騒音制御*, **23**(3), (1999).
7. 富田高隆, 低騒音舗裝とタイヤ道路騒音, *騒音制御*, **23**(3), (1999).
8. 大西慶三, 西村正治, アクティブ・ノイズ・コントロールによる道路交通騒音對策の實情, *騒音制御*, **23**(3), (1999).
9. Fujiwara, K. 外. “Sound shield Efficiency of a barrier with a Cylinder at the edge,” *Noise control Engineering J.*, **37**(1), (1991).
10. Yamamoto, K. 外. “Measurement of noise reduction by Absorptive Devices Mounted at the Top of Highway Noise Barriers,” *Inter-Noise 95*(1995).
11. Asdrubali, F., “On the Experimental Evaluation of the Performances of Noise Barrier Diffracting Devices,” *Acta Acustica united with Acustica*, **93**, (2007).
12. Okubo, T., Yamamoto, K., “Procedures for determining the acoustic efficiency of edge-modified noise barriers,” *Appl. Acoust.*, **68**, (2007).