

도로교통소음특성 및 방음벽 성능에 관한 조사연구

임 홍 순 / 건축구조부 건재환경팀장

1. 개요

우리 모두는 수많은 소리에 둘러싸인 환경속에서 생활하고 있으며, 이러한 소리중에는 우리에게 듣기에 편한 소리가 있는 반면 듣기 싫은 소리도 있다. 일상적으로 듣기 싫은 소리를 소음이라고 하며, 문명화된 사회에서 각종 소음의 증가는 불가피한 것이 현실이다. 이러한 소음중 대표적인 것 차량, 철도, 항공기 등에 의한 교통소음으로서 주변에서 흔히 민원발생등의 사회적인 문제가 되고 있다.

교통소음은 주로 도로에 인접된 주택 등의 주거시설에서 민원의 대상이 되고 있으며, 이의 해결방법으로는 첫째가 소음차체를 줄이는 방법이 있으나 도로포장상태, 배기소음, 타이어소음, 공기저항소음등을 일률적으로 줄이기 위해서는 자동차 및 타이어 제조회사에서부터 장기적 광범위한 연구투자가 필요한 사항으로 지금까지는 그 성과가 미흡한게 현실이다. 따라서 두번째 강구될 수 있는 방법으로는 음전달 경로에 음차단물(방음벽, 수림대)을 두는 방법이 있으며, 또 세번째 방법으로는 소음영향을 받는 주거건물 차체의 외벽 구조와 외장을 차음구조로 개선하거나 건물배치 형태를 계획단계에서 개선하는 방법이 있다.

이러한 개선방법들이 동시에 고려 되어야 차음적으로 충분한 효과를 거둘 수 있으나 첫 번째 방법은 많은 비용투자 와 장시일이 소요되는 단점이 있으며, 세 번째 방법은 기존 건물에 대하여 개별적으로 보완하기 위해 영향 건물범위를 명확히 설정하기 곤란하다. 따라서 가장 경제적인 도로교통 소음 개선대책으로서 방음벽이 일반적으로 사용되고 있다.

따라서 이번 논문에서는 도로교통소음의 일반특성과 보편적으로 사용되는 방음벽의 종류 및 방음성능현황, 설치시공 시 차음개선을 위해 필요한 사항을 간단히 소개하고자 한다.

2. 도로교통소음특성

(1) 차량으로부터의 소음발생^{*)}

차량으로부터의 발생하는 소음은 크게 엔진소음, 흡배기 소음, 냉각팬소음, 타이어소음 및 경음기소음, 주행시 발생하는 공기마찰소음, 차문개폐소음 등을 들 수 있다. 이중에서도 도심지에서 저속주행시에 배기소음, 냉각계통소음, 엔진소음

등이 크게 발생하는 반면 고속주행시에는 타이어소음, 공기 마찰소음 및 배기소음이 상대적으로 크게 발생하는 특징이 있다.

일반적으로 자동차속도가 70Km/h 이상이 될 때 기관소음보다 타이어소음이 더 커지고, 타이어가 마모될수록 소음도는 증가하며, 주행속도가 매10Km/h씩 증가 할 때 마다 소음레벨은 약 2.3dB(A)씩 증가하는 것으로 알려져 있다.

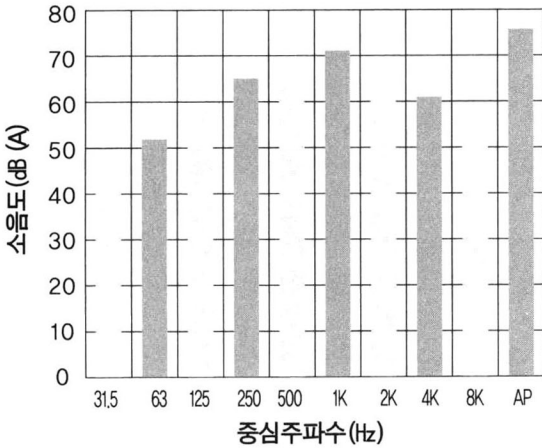
(2) 도로상태에 따른 소음발생^{*)}

자동차 주행소음에서 타이어와 노면과의 마찰이 중요한 요소로서 콘크리트포장도로에서의 소음이 아스팔트 포장도로에서의 소음보다 3~5dB(A)정도 높으며, 도로의 경사구배가 올라가는 경우가 내려가는 경우에 비해 현저히 소음도가 크며, 경사구배가 5%일 때 약1.5dB(A), 10%일때 약 3dB(A)정도 씩 증가한다. 이외에도 노면의 요철정도가 5mm흠이 있는 경우 약3~5dB(A)정도 증가하며, 표면에 수분이 있는 경우 고주파수 대역의 소음이 증가하는 것으로 알려져 있다.

(3) 도로교통소음레벨 특성^{*)}

기존 연구조사에 의하면 전국의 모든 도시지역의 도로변 주거단지에서의 소음은 환경소음기준값인 주간 65dB(A)Leq, 야간 55dB(A) Leq를 초과하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 더우기 간선도로변에 위치한 주택단지 및 학교 등의 경우는 소음이 매우 심각한 실정으로 거의 모든지역에서 70~75dB(A)Leq를 기록하며, 일부지역에서는 80dB를 넘어서 도로변에서는 대화가 불가능할 정도로 소음이 심한 지역도 나타나고 있다.

또한 도로변에서 측정, 분석한 자료에 의하면 도로교통소음의 발생음 주파수특성은 각 지역마다 약간 씩 차이는 있으나 그림1과 같이 주로 1000Hz를 정점으로한 산형을 이루고 있다. 이 그림에서 보면, 주로 63Hz대역에서 발생하는 소음은 엔진 배기계통소음으로 추정되고 있으며, 1000Hz주변의 소음은 차량주행에 따른 도로면과의 타이어 마찰음과 기타 기계소음으로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다.



[그림1] 일반적인 도로소음 발생특성(1옥타브주파수분석)

3. 도로교통 소음전달 체계^{주5)}

(1) 거리에 의한 소음감쇄 특성

① 자동차 한 대가 홀로 주행할때의 발생소음원인 경우

음향이론적으로 한점에서 음이 발생하는 경우 모든 방향으로 동일하게 퍼져나가기 되며, 이를 구면파 전달형태로서 점음원이라 한다. 이때 음원으로부터 거리 r_0 만큼 멀어졌을 때 음압레벨은 SPL_0 에 비하여 그 거리가 r 로 증가하였을 때의 음압레벨 SPL 은 다음 식(1)과 같이 산출되며 이러한 거리에 따른 감쇄특성을 가진다.

$$SPL = L_0 - 20\log_{10}(r/r_0) \dots\dots\dots (1)$$

이를 음원으로부터의 방출된 에너지의 양인 파워레벨 (PWL)로 환산하면 식(2)로 되며

$$PWL = SPL + 20\log_{10}r + 11 \dots\dots\dots (2)$$

따라서 점음원으로부터의 거리가 r 만큼 멀어질수록 음압레벨 $SPL = PWL - 20\log_{10}r - 11$ 로 감쇄된다.

이러한 원리에 의해 자동차 한 대가 홀로 주행할때의 발생소음원을 점음원으로 가정할 수 있으나, 이때 차량소음이 지면위로만 방사되므로 반구면파로 전달로 보면 방사되는 에너지 밀도는 구면파 전달에 비하여 2배로 증가하게 된다. 따라서 반구면파의 자동차 소음원으로 거리 r 만큼 멀어질수록 파워레벨은 식(3)과 같이 되며,

$$PWL = SPL + 20\log_{10}r + 8 \dots\dots\dots (3)$$

따라서 자동차 한 대가 주행시 발생소음으로부터의 거리가 r 만큼 멀어질수록 음압레벨 $SPL = PWL - 20\log_{10}r - 8$ 로 감쇄하는 특성을 갖는다.

② 자동차 여러대가 줄지어 주행할 때의 발생소음원인 경우 소음발생원이 어떠한 점이 아닌 줄지어 달려가는 차량과 같이 선형을 이루고 있다면 음에너지는 구형이 아닌 원통형으로 방사하게된다. 이를 전달형태로서 선음원이라 한다. 이때 음원으로부터 거리 r_0 만큼 멀어졌을 때 음압레벨은 L_0 에 비하여 그 거리가 r 로 증가하였을 때의 음압레벨 SPL 은 다음 식(4)과 같이 산출되며 이러한 거리에 따른 감쇄특성을 가진다.

$$SPL = L_0 - 10\log_{10}(r/r_0) \dots\dots\dots (4)$$

이를 음원으로부터의 방출된 에너지의 양인 파워레벨 (PWL)로 환산하면 식(5)로 되며

$$PWL = SPL + 10\log_{10}r + 8 \dots\dots\dots (5)$$

따라서 선음원으로부터의 거리가 r 만큼 멀어질수록 음압레벨 $L = PWL - 10\log_{10}r - 8$ 로 감쇄된다.

이러한 원리에 의해 자동차 여러대가 줄지어 주행할때의 발생소음원을 선음원으로 가정할 수 있으나, 이때 차량소음이 지면위로만 방사되므로 반구형파 전달로 보면 방사되는 에너지 밀도는 구형파 전달에 비하여 2배로 증가하게 된다. 따라서 반구형파의 자동차 소음원으로 거리 r 만큼 멀어질수록 파워레벨은 식(3)과 같이 되며,

$$PWL = SPL + 10\log_{10}r + 5 \dots\dots\dots (3)$$

따라서 자동차 한 대가 주행시 발생소음으로부터의 거리가 r 만큼 멀어질수록 음압레벨 $SPL = PWL - 10\log_{10}r - 5$ 로 감쇄하는 특성을 갖는다.

상기와 같은 차량이 많이 통과하는 일반적인 도로에서 음원으로부터 거리가 2배 증가하는 경우 음압레벨 감쇄량은 3dB 정도이다.

(2) 거리에 따른 소음감쇄 특성에 영향을 주는 인자

① 공기 및 바람의 영향

음파의 전달에 의해 영향을 미치는 가장 기본적인 요소는 공기의 분자흡수를 들 수 있으며, 이 공기흡음 감쇄특성은 저주파수에 비하여 고주파수 대역에서 더 크며, 그 공기흡음 감쇄량(dB/100m)은 식(4)와 같다.

$$\text{공기흡음감쇄량}(a) = 14.24 \times 10^{-9} \times f^2 + ah \dots\dots\dots (4)$$

또한 공기온도에 따른 음전달특성은 기온이 높을수록 음속은 커지며, 따라서 그림1과 같이 낮에 지면온도가 상부공기온도보다 높은 때에는 음파는 상향으로 굴절되어 거리증가에 따른 소음감쇄량은 커지며, 반대로 밤에는 지면온도가 상부공기온도보다 낮아져 음파가 하향으로 굴절되어 거리증가에 따른 소음감쇄량은 적어지게 된다. 따라서 소음은 밤에

상대적으로 소리가 크게 들리게 된다.

이외에도 소음원을 기준으로 바람불어오는 방향의 소음 감쇄가 크고 반대측의 소음전달은 증가하며 형태는 그림2와 같다.

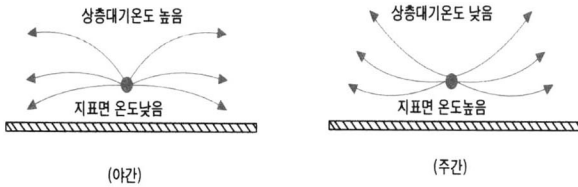


그림2 공기온도에 따른 음의 전달

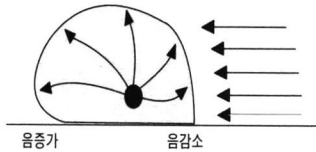


그림3 바람에 따른 음전달특성

② 음의 반사, 흡수, 회절에 의한 영향

음의 반사, 흡수, 회절은 물체 장애물에 의해 나타날 수 있는 특성으로서 모든 음은 그림4와 같이 음이 물체에 부딪혔을 때 표면에서 일부는 반사되고 일부는 흡수되어 열에너지로 변화하며, 나머지는 투과하여 뒷면으로 음에너지화하여 방사된다.

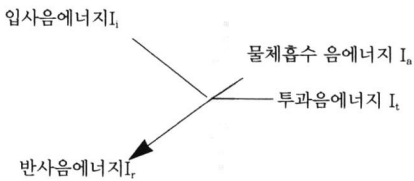


그림4 물체에 입사하는 음의 반사 및 흡수, 투과 개념도
반사 및 흡수의 특성은 물체의 재질의 차음성(음향투과손실) 및 흡음율로 규정할 수 있으며 이를 식(5) 및 식(6)으로 정의되며,

$$\text{흡음율}(\alpha) = \frac{I_a + I_t}{I_i} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{투과율}(\tau) = \frac{I_t}{I_i} \text{ 에서}$$

$$\text{음향투과손실(TL)} = 10\text{Log} \frac{1}{\tau} \dots\dots\dots(6)$$

또한 음의 회절은 그림5와 같이 어떤 물체의 뒤쪽으로 우회하여 넘어가는 음의 전달현상을 말하며, 음파장이 그 물체

의 크기보다 큰 경우나 물체에 틈이 있을 때 틈이 작을수록 잘 발생한다.

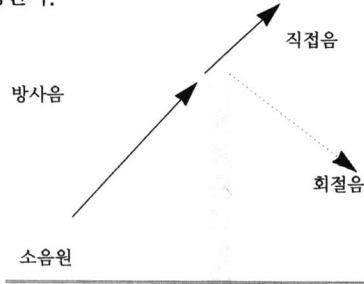


그림5 음의 회절현상 개념도

상기와 같은 반사, 흡수, 회절 등의 음향특성값은 방음벽 등의 성능을 결정하는 기준이 된다.

4. 도로방음벽의 종류 및 음향성능특성

도로교통소음의 경로를 차단하는 방법으로는 방음덕, 수림대, 방음터널 및 방음벽 등을 들 수 있으나, 현재 도로교통소음의 차단시설로서 가장 많이 사용되고 있는 것이 방음벽이다. 따라서 이번 논고에서는 가장 일반적인 방음벽을 중심으로 그 종류 및 성능특성을 소개하고자 한다.

(1) 방음벽의 종류

방음벽은 기초, 기둥, 방음판, 및 조립물 등으로 구성되며, 방음벽이 흡음성 또는 반사성 정도에 따라 흡음형 방음벽 또는 반사형 방음벽으로 크게 구분되며, 각기 여러 가지의 재질의 방음판 제품이 시공되고 있다. 그 종류를 소개하면 다음과 같다.

① 흡음형 방음벽

흡음형 방음벽은 금속판내부에 흡음재를 충전한 방식, 표면에 다공질 세라믹흡음판을 적용한 방식, 발포콘크리트판 또는 목재를 사용한 방식, 중공블럭형 방식으로 크게 구분할 수 있으며, 이중 가장 많이 사용되는 것은 금속판형(알루미늄판 깎리형)방음벽이다. 이 종류는 다음과 같다.

- 금속판형
- 다공질 세라믹흡음판형
- 발포콘크리트판형
- 목재형(목재+흡음재)
- 중공블럭형(공명흡음형)

- 천연식재방음벽
- 공사용 가설방음펜스

② 반사형 방음벽

반사형방음벽은 반사성 경질재료를 위주로 사용한 방음벽으로 콘크리트판, 시멘트압출성형판, 석재판, 금속판, 수지판 및 목재판 등의 재질을 사용한 방음벽이 있다. 이 반사형 방음벽은 흡음형 방음벽에 비해 사용빈도가 적으나, 투명수지판방음벽 및 목재형 방음벽은 미관 및 경관유지확보측면에서 사용이 늘어나고 있는 추세이며, 종류는 다음과 같다.

- 콘크리트판형(PC판)
- 시멘트압출성형시멘트판
- 석재판
- 금속판형
- 수지판형(투명, 반투명)

(2) 국내 방음벽에 대한 방음성능 기준

국내 방음벽에 대한 방음성능은 소음진동 규제법 제42조의2 제2항의 규정에 의하여 환경부고시 제1998-150호(방음시설의 성능 및 설치기준;99.1.6)에 규정되어 일반적으로 적용되고 있으며, 이외에도 발주기관에 따라 자체 방음성능 품질기준에 따른 방음성능을 평가하여 사용되고 있다. 국내에서 적용되고 있는 방음벽 방음성능품질 기준 현황을 요약하면 표1과 같다.

[표1] 국내 방음벽 방음성능품질기준

구 분	방음성능품질기준		비고
	흡음율 ^{주1)}	음향투과손실 ^{주2)}	
환경부고시 제1998-150	250Hz,500Hz,1000Hz,2000Hz대역 흡음율 산술평균값 : 0.7이상	500Hz: 25dB이상 1000Hz: 30dB이상	
한국도로공사 품질기준	400Hz : 0.7이상 1000Hz: 0.8이상	400Hz: 25dB이상 1000Hz: 30dB이상	
시군구시행처 품질기준	250Hz,500Hz,1000Hz,2000Hz대역 흡음율 산술평균값 : 0.7이상	250Hz,500Hz,1000Hz,2000Hz대역 산술평균값 : 30dB이상	

주1) KS F 2805 (잔향실법 흡음율 측정방법)
주2) KS F 2808 (실험실에서의 음향투과손실 측정방법)

(3) 방음벽의 방음성능 실제^{주7)}

국내 가장 보편적으로 사용되고 있는 금속제 흡음형 방음

벽(95mm)과 압출성형시멘트판 방음벽(50mm), 투명수지판 방음벽(폴리카보네이트판8mm)에 대한 음향성능값(음향투과손실, 흡음율)을 보면 다음 그림6 및 그림7과 같다.

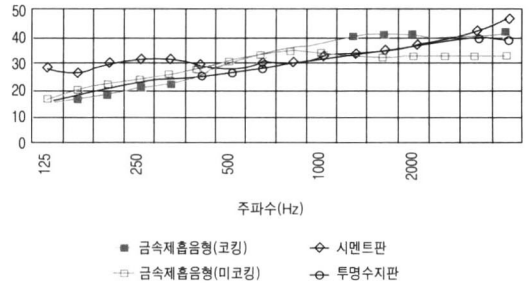


그림6. 주요 방음벽재질별 차음성능시험결과(음향투과손실)

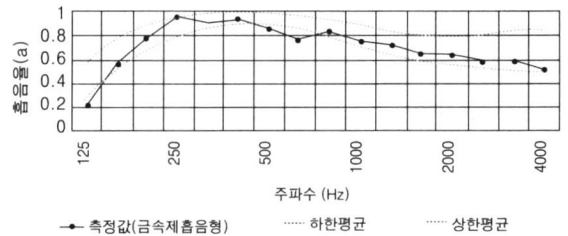


그림7. 금속제 흡음형 방음벽 흡음성능시험결과

주) 흡음율 상한,하한보포: 일본음향재료협회, 소음진동대책센터북 참조

5. 방음벽 시공에 의한 소음개선 특성^{주6)}

상기 금속판내부에 흡음재를 사용한 금속제 흡음형 방음벽을 시공하였을 때 차음효과는 기존 연구자료에 의하면, 방음벽의 길이를 1km 설치한 상태에서 방음벽 중앙부 면으로부터 거리가 10m,20m,30m,50m,90m떨어진 각 점에서 측정된 소음과 방음벽 설치전의 소음과의차이를 방음벽 높이 2m,2.5m,3m,3.5m로 나누어 수음점 높이 1.5m에서 분석한 결과는 표2와 같다.

[표2] 방음벽 높이에 따른 거리별 소음감소효과

방음벽에서의 거리(m)	방음벽높이(m)			
	2.0m	2.5m	3.0m	3.5m
10m	-7.7dB(A)	-9.6dB(A)	-11.2dB(A)	-12.7dB(A)
20m	-7.6dB(A)	-9.2dB(A)	-10.7dB(A)	-11.9dB(A)
30m	-7.5dB(A)	-9.0dB(A)	-10.4dB(A)	-11.5dB(A)
50m	-7.4dB(A)	-8.7dB(A)	-9.9dB(A)	-10.9dB(A)
90m	-7.1dB(A)	-8.3dB(A)	-9.3dB(A)	-10.1dB(A)

표2에서 나타남과 같이 방음벽에서 거리가 멀어질수록 소음감소효과는 떨어지는 것으로 나타나 있는데 이는 거리가 멀어질수록 회절음의 영향이 커지기 때문으로 알려져 있다. 또한 방음벽높이가 증가 할수록 소음감소효과가 커짐을 알 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 회절각을 크게 하는 많은 연구가 진행되고 있으며, 이중 하나가 방음벽 상단에 회절간섭장치를 두어 회절각을 크게하는 등의 방법을 사용하고 있다.

6. 현행 방음벽의 문제점 및 해결방안

(1) 미관상의 문제

지금까지 주로 사용되어 온 방음벽 재질은 금속판 또는 콘크리트재 위주로 되어 시각적, 정서적 측면에서 주변환경을 해치는 측면이 많다. 따라서 획일적인 단점을 보완하기 위해 표면색상을 가미한 방음판 제품이 출현하였으며, 이외에도 방음벽상에 넝쿨등의 천연식재물에 의해 시각적으로 은폐하는 방법을 사용하기도 한다.

그러나 이러한 방법은 유지관리적인 측면에서 내구적이 지 못하며, 따라서 방음벽자체를 목재로 한다든지 토양층을 두어 천연식재를 하는 방법 등 자연친화적인 재질로의 수요가 점차 증가하는 추세이다.

(2) 도로주변경관 시야차단의 문제

방음벽의 근본적인 문제중의 하나인 도로주변경관을 시야차단문제는 운전자로 하여금 심리적인 갑갑함을 주고 있어 이에 대한 대책으로 투명수지판을 이용한 방음벽을 사용하고 있다. 그러나 이들 재료인 아크릴 또는 폴리카보네이트 등은 빛에 장기적으로 노출될 경우 열화되어 불투명해진다든가, 매연물질에 의한 오손된다거나, 표면강도가 취약하여 흠이 쉽게 나는 등의 유지관리상의 어려움을 안고 있다.

(3) 흡음형 방음벽의 유리면 등 비산성 흡음재 대체문제

흡음형방음벽에 보편적으로 내부 흡음재로 사용되는 유리면은 경제적이고 흡음능력이 우수하나 풍화되어 분진화되어 인체에 영향을 줄 수 있다. 따라서 현재 유리면 등의 비산을 방지하기 위하여 미세부직포, PVF필름, Glass cloth 등으로 표면을 포장하는 방법이 이용되고 있으나, 표면마감으로 인한 흡음율이 일부저하될 수 있으며, 장기적 대기에 노출시 열화되어 다시 비산 할 수 있는 등 내구성의 문제를 안고 있다. 이러한 문제로 인해 대체 흡음재로서 폴리에스터흡음재를 일부 사용하고 있으며, 흡음성이 일부 떨어지는 단점은

있으나, 환경적인 측면에서는 차선택으로 강구될 수 있다 하겠다.

(4) 방음판 제품 및 시공품질 확보의 문제

현재 전국적으로 가장 많이 시공되는 금속재 흡음형 방음벽에 쓰이는 방음판넬은 금속재로 판금 및 조립작업에 의해 여러 업체로부터 생산되고 있으나 각 업체에 따른 조립품질이 차이가 있으며, 시공시 방음판과 고정구조물과의 결합이 밀실하지 않아 음의 누설등의 문제점을 안고 있다. 따라서 차음적으로 유효하도록 밀실한 구조로 시공하는 노력이 필요하다.

7. 결론

지금까지 개괄적으로 살펴본 도로교통소음특성 및 방음벽성능에 관한 내용을 종합하면 다음과 같다.

첫째, 방음벽 설치는 방음벽 음향성능과 함께 주변경관과의 조화, 미관을 동시에 강구하여야 효과적이다.

둘째, 방음벽 설치시에는 주변지역, 도로채광, 일조, 조망, 및 운전자의 시야확보등을 충분히 고려하여야 한다.

셋째, 방음벽만으로는 소음에 대한 문제를 일부 해소시킬 수는 있어도, 큰효과는 기대하기는 어렵다고 판단된다. 따라서 소음전달경로상의 방음벽설치등의 단편적인 방음대책보다는 소음원 자체의 규제강화 및 방음적으로 효과적인 건물배치 및 도시계획상의 도로와의 충분한 거리확보, 수림대형성등 근본적인 대책이 필요하다고 판단된다.

(참고문헌)

1. 차일환, 소음진동, 세림사, 1982
2. 박연수, 차량주행시험에 의한 도로교통소음 예측모델, 1988
3. H.Parkin, Acoustic, Noise and Building, Faber
4. 국립환경연구원, 도로교통소음저감을 위한 종합대책에 관한 연구, 1988
5. 이경희, 건축환경과학, 기문당, 1984
6. 한국표준연구소, 간섭형 방음장치개발연구, 1986
7. 방재시험연구원, 흡음형방음판 음향시험성적서, 1996.
8. 일본음향재료협회, 소음진동대책핸드북, 1983