

불연속 지면위의 방음벽에 의한 삽입손실에 관한 연구

Insertion Loss by Noise Barrier on the Discontinuous Ground

김 예 현*, 김 동 일*, 장 호 경**
(Ye Hyun Kim*, Dong Il Kim*, Ho Kyeong Jang**)

요 약

실외에서 실험으로 불연속 지면의 조건을 고려하여 방음벽에 의한 삽입손실을 고찰하였다. 측정은 음원, 수음점 그리고 방음벽의 여러 기하학적 조건에 대하여 315 Hz~3150 Hz 사이의 1/3 옥타브밴드 주파수대역으로 수행하였다. 간섭이 일어난 주파수 영역은 방음벽 상단부에서 수음점까지의 경로차와 방음벽과 수음점 사이의 지면의 음향학적 성질에 의존하였다. 연구 결과 방음벽에 의한 삽입손실은 방음벽에 의한 회절과 함께 지면의 특성에 의존함을 확인 하였다.

Abstract

Outdoor experimental study is presented the insertion loss caused by barrier considering discontinuous ground condition. Measurements were made in 1/3 octave band over the frequency range 315 Hz~3150 Hz with the various geometry of the source, receiver and barriers. The frequency range of the interference pattern depends on the phase difference between path from the edge of barrier to receiver; and hence on the acoustical properties of the ground on the receiver side of the barrier. The insertion loss by barrier, in addition to diffraction, is shown to be dependent on the ground characteristic.

I. 서 론

쾌적한 생활 환경을 위해 소음 경감 대책이 요구되며 일반적으로 방음벽에 의한 수음자 대책이 많이 이용된다. 방음벽으로 음파의 전파 경로를 차단할 때 방음벽에 의한 소음의 감쇠를 예측하기 위해서는 지

면의 종류에 따른 반사 효과와 방음벽의 회절 효과를 함께 고려하여야 한다.

방음벽이 설치되어 있지 않은 동일 재질의 지면에 대하여 Attenborough⁽¹⁾는 통기저항(flow resistivity), 다공성(porosity)등을 이용하여 소음 전파 특성을 해석하였다. 실제 도로 교통 소음의 전파경로는 소음원이 아스팔트와 시멘트도로와 같이 단단한 지면위에 있고 수음자는 다른 재질의 지면 위에 위치해 있는 불연속 지면일 경우가 많으므로 Durinn⁽²⁾등은 지면의 소음 감쇠인자 (attenuation factor)로 전파 특성을 연구하였다. 지면위에 설치된 무한한 길이의 방음

*영남대학교 물리학과

**경산대학교 물리학과

접수일자: 1995년 6월 10일

벽에 의한 소음감쇠는 높이, 두께, 재질등의 방음벽의 물리적 특성과 음원 및 수음점의 높이와 거리등의 기하학적 요인에 영향을 받는다.⁽³⁻⁷⁾ Leang 등은⁽⁸⁾ 지면이 불연속일 때 음원이 위치해 있는 지면의 동기서향이 수음사가 위치해 있는 지면의 동기서향 보다는 경우에 대하여 지면의 반사효과를 고려하여 방음벽의 감쇠효과를 연구하였으며, Nicolas 등은⁽⁹⁾ 점음원을 사용하여 회절에 의한 소음의 감쇠효과를 모형 실험으로 연구하였다. 그러나 음의 반사지점과 불연속 지면의 경계면이 일치할 때와 불연속 경계면 위에 방음벽이 설치 되어 있을 때 실외에서 음원 및 수음자의 위치에 따른 방음벽과 지면의 효과에 대한 연구가 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 지면의 영향을 고려한 방음벽의 차음효과를 조사하기 위하여 방음벽의 설치 위치와 불연속 지면의 경계면을 일치시켜 방음벽을 설치하고, 지면이 불연속일 때 지면의 종류에 따른 소음의 삽입손실을 측정하였다. 음원에서 방음벽, 방음벽에서 수음점까지의 거리를 변화시켜 음의 반사지점의 변화와 회절 특성에 의한 방음벽의 삽입손실 효과를 연구하였다.

II. 이론적 배경

Fig. 1과 같이 지면위에 음원과 마이크론, 방음벽이 위치해 있을 때 방음벽의 높이는 hb, 음원과 마

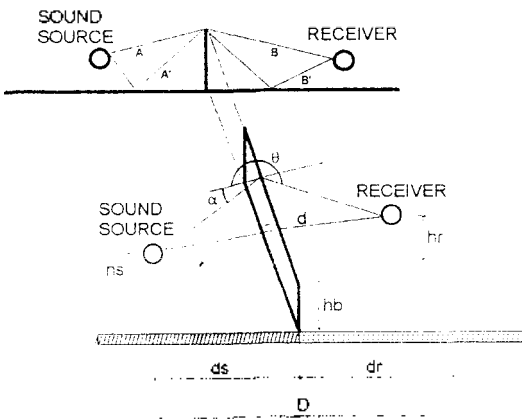


Fig. 1. Schematic diagram for the insertion loss on ground.

이 마이크론의 수평 거리는 D. A와 B는 각각 음원에서 방음벽의 상단부, 방음벽의 상단부에서 마이크론까지 직선거리이다. 음원에서 방음된 음파의 경로인 A와 A'은 음원에서 방음벽 상단부까지 직접파와 반사파의 경로이며, B와 B'은 방음벽 상단부에서 마이크론까지 직접파와 반사파의 경로이다. 방음벽에 의한 소음의 차단효과는 음원과 수음점 사이에 방음벽이 있을 때와 없을 때의 유입차인 삽입손실(insertion loss)로 나타낸다. 지면위에 음원과 마이크론이 위치해 있을 때 관형 방음벽의 회절에 의한 삽입손실은 Keller의 기하광학적 회절이론에 의해 구할 수 있으며 (1)식과 같다.⁽¹⁰⁾ d는 음원과 마이크론을 잇는

$$\Delta L_k(\text{dB}) = -20 \log \frac{d}{2 \sin \beta [2\pi/(\lambda)^2] [AB(A+B)]^2} \left| \sec \frac{\theta-x}{2} \pm \csc \frac{\theta+x}{2} \right| \quad (1)$$

$$\cos \frac{\theta-x}{2} = -\frac{1}{2} \left[\frac{(A+B)^2 - d^2}{AB} \right] \frac{1}{\sin \beta} \quad (2)$$

직선거리이고 λ는 음파의 파장, β는 방음벽에 대한 음파의 입사각도이며 와는 (2)식에 의해 구할 수 있다. 음파의 경로차를 라고 하면 음원에서 방음벽의 상단부, 방음벽의 상단부에서 마이크론까지의 직선 거리인 A와 B의 합에서 음원과 마이크론을 잇는 직선거리인 d를 뺀 값으로 주어진다. 가 일정할 때 (1)식은 (3)식으로 간단하게 표현되며, 프레넬 수(Fresnel-number)인 N(=2δ/λ)에 따른 감쇠량은 (4)식과 같다. 프레넬 수(N)가 음의 값을 가질 때는 음원과 마이크론을 잇는 직선이 방음벽 상단부 보다 위에 있으므로 경로차 δ가 음의 값을 가지며 음원과 마이크론의 높이가 방음벽의 높이보다 낮을 때 양의 값을 가진다. (4)식에 의한 회절반유 고려한 삽입손실은 음원과 수음점까지의 위치가 바뀌어도 동일한 기하학적 조건을 만족시키면 계산값은 일치한다. 유한한 크기의 동기서향을

$$\Delta L_k(\text{dB}) = -20 \log \frac{4\pi^2 \delta}{\lambda} \quad (3)$$

$$\Delta L_k(\text{dB}) = -20 \log \left(\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tan \sqrt{2\pi N}} \right) + 5, \quad (0 < N) \quad (4)$$

가지는 지면위에 관형 방음벽을 설치 하였을 때 소음의 감쇠효과는 지면의 재질에 의한 음의 반사특성과 방음벽의 차음효과를 함께 고려 하여야 한다. 지면의 특성은 통기저항(flow resistivity)으로 나타낼 수 있으며, 초지와 같이 다공성이 클 경우 작은값을 가진다. 측정된 지면의 통기저항은 초지는 170-200(cgs rayl), 흙으로된 표면은 = 2700-3000(cgs rayl), 아스팔트는 = 29000-31000(cgs rayl)의 값을 나타낸다.⁽¹¹⁾ 방음벽으로 음의 전파경로를 차단 하여도 방음벽 상단부의 회절에 의하여 방음벽 뒤의 음영영역(shadow zone)으로 음이 전달되며 회절량은 주파수와 방음벽의 높이가 높을 수록 작아진다. 방음벽의 길이가 높이의 5배 이상 되는 경우에는 길이에 의한 측면의 회절 영향을 고려하지 않고 방음벽 상단부의 회절에 의한 차단효과만을 고려하여도 된다.⁽¹²⁾

III. 실험방법

본 실험에서는 도로 교통소음의 전파 경로를 고려하

여 초지와 아스팔트를 대상으로 지면의 특성과 방음벽에 의한 삽입손실을 조사하였다.

Fig. 2는 지면이 불연속일 때 지면의 특성에 의한 삽입손실을 측정하기 위한 실험장치도이다. 신호발생기의 신호를 증폭기로 증폭시킨 후 스피커로 음을 발생시켜 음원으로 사용하였다. 발생된 음파는 지면의 반사없이 음원에서 방음벽 상단부, 방음벽의 상단부에서 회절된 후 마이크로폰에 직접 도달하는 직접파(direct wave)와 음원과 방음벽, 그리고 방음벽과 마이크로폰사이의 지면에 반사되어 도달하는 반사파(reflect wave)로 진행되며 두 파의 합성음압을 소음계로 측정하였다. 불연속 지면의 경계면위에 방음벽을 설치하였으며, 방음벽의 위치는 라우드 스피커와 마이크로폰을 연결하는 선과 수직이 되도록 하였다. 라우드 스피커와 마이크로폰의 높이인 h_s 와 h_r 은 1 m 로 하였으며, 라우드 스피커에서 방음벽까지 거리(d_s)는 도로의 한개 차선의 폭이 3 m임을 고려하여 3 m, 6 m, 12 m, 방음벽에서 마이크로폰까지 거리(d_r)를 3 m, 9 m, 12 m로 하였다.

음원으로 사용한 스피커(Marshall, CS-1019)는 직경이 10 인치, 최대입력은 40 Watt 이며 스피커의 후면과 측면에서 방사된 음파의 영향을 줄이기 위해 밀폐함(enclosed box)에 장착시켰다. 신호발생기(My-

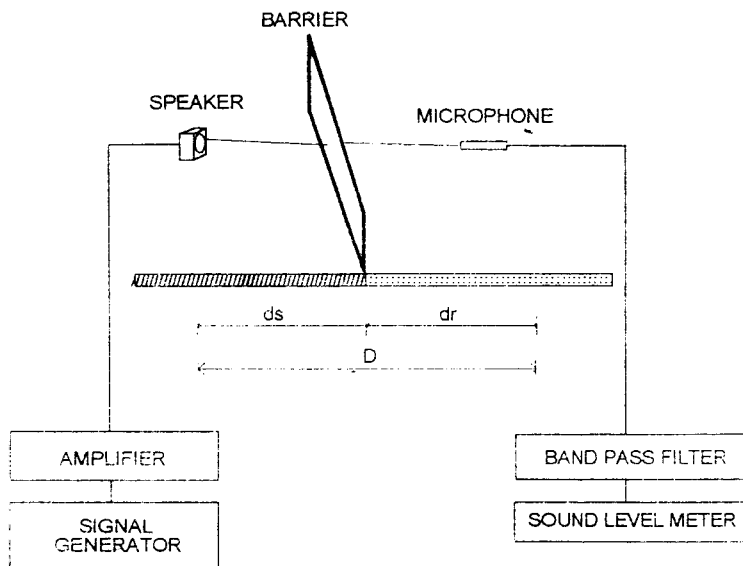


Fig. 2. Block diagram for the measurement of the insertion loss on ground.

ong co. Model 301c)의 주파수 특성은 $\pm 0.5\% \pm 1$ Hz(10 Hz~10 kHz), 출력특성은 ± 0.2 dB(10 Hz~100kHz)이며, 1/2 인자 콘덴서 마이크로폰(1/2 Condenser Microphone, B&K, Type1165)이 부착된 소음계(Sound Level Meter, B&K, Type2209)와 필터(1/3 Octave Band Pass Filter, B&K, Type1616)의 특성은 0.5 dB (20 Hz~30 kHz)이다. 도로 교통 소음의 주파수 특성을 고려하여 1/3 옥타브 밴드 중심 주파수인 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 Hz로 측정을 하였다. 설치한 방음벽의 높이는 2.4 m, 길이는 24 m이며, 두께 0.015 m의 합판을 사용하였다.

Table 1. The measured atmospheric condition during experiment period.

	temperature	humidity	wind velocity
measured value	22 \pm 4℃	63 \pm 8%	0.2 \pm 0.1%

소음계와 측정자에 의한 반사를 줄이기 위해 3 m 길이의 케이블로 마이크로폰을 소음계에 연결 하고 피스톤폰(Pistonphone, B&K, Type 4220)으로 고정하였으며, 방풍막(anti-wind screen)을 마이크로 폰 끝에 부착하여 마이크로폰 진동판주위의 공기산란을 최소화 하였다. 모든 실험은 지면의 형태에 의한 영향을 줄이기 위하여 지면이 10 m의 길이일 때 0.05 m 이내의 고저차를 가지는 평평한 면에서 수행하여 지면의 형태에 의한 영향을 무시하였다. 음의 전파는 온도와 습도 그리고 풍속등 대기의 조건에 영향을 받으므로 풍속에 의한 공기의 요동과 온도의 변화가 가장 적고 외부잡소음(back ground noise)의 영향을 최소화하기 위해 심야에 실험을 하였다. 측정 한 기간 동안의 대기 특성은 Table 1과 같으며 온도와 습도, 풍속 그리고 주파수가 높을수록 대기의 영향이 커진다. 실험 기간동안 최대온도는 26℃, 상대 습도는 72%, 풍속은 0.3% 이었으며, 이와같은 기상 조건에서 대기에 의한 감쇠는 4 kHz 때 약 2.2 dB/100m 정도 감쇠된다.⁽¹³⁾ 본 실험에서 스피커와 마이크로폰까지의 최대 수평거리가 18 m 이므로 대기에 의한 감쇠는 약 0.4 dB 정도로 미약하므로 무시하였다.

IV. 실험결과 및 논의

Fig. 3과 4는 도로 교통 소음의 일반적인 전파 경로

를 고려하여 지면이 초지와흙, 흙과 초지, 그리고 아스팔트와 초지, 초지와 아스팔트로 불연속으로 되어 있을 경우에 음원과 방음벽 사이의 거리(ds) 변화에 따른 측정된 삽입손실과 계산된 방음벽의 차음효과를 비교하였다. 스피커의 높이(hs)와 마이크로폰의 높이(hr)는 1 m, 방음벽에서 마이크로폰까지 거리(dr)는 6 m 로 일정하게 하였으며, 음원과 방음벽 사이의 거리(ds)를 3 m, 6 m, 12 m 로 변화시켜 삽입손실을 측정하였다.

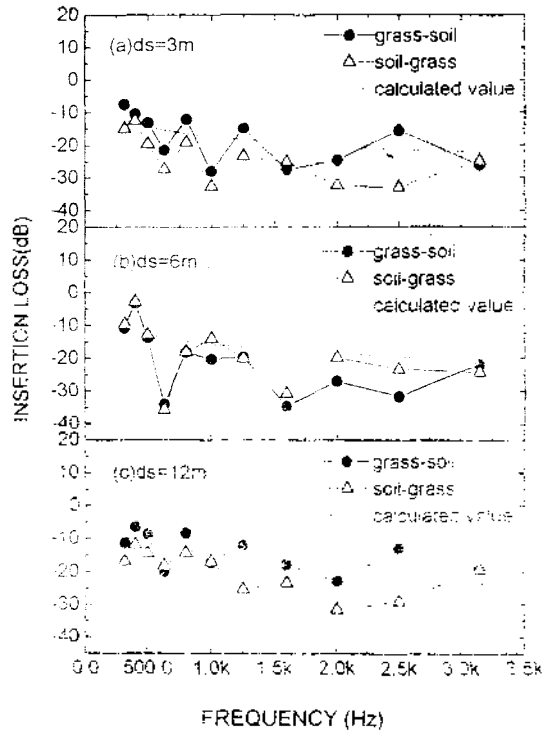


Fig. 3. Comparison the measured insertion loss on the grass-soil the soil-grass and the calculated value.

(a) ds = 3m, (b) ds = 6m, (c) ds = 12m
(dr = 6m, hs = 1m, hr = 1m)

Fig. 3은 음원과 방음벽, 그리고 방음벽과 마이크로폰 사이의 지면이 초지-흙, 흙-초지로 불연속이며 두 지면의 통기저항이 작을 때 이다. 측정된 삽입손실과(4)식에 의해 계산된 값과 비교하였다. Fig. 3 (a)는 ds가 3 m 일 경우이며, 계산된 방음벽의 차단효과는 315 Hz 에서 12.3 dB 이고 1/3 옥타브 밴드의

중심주파수로 증가할 때 약 1 dB 씩 증가하여 3150 Hz 에서는 22.3 dB 를 나타내며 방음벽이 없을 때 와의 상대적인 값이므로 음의 부호를 나타낸다. 지면이 초지-흙으로 되어 있을 때 630 Hz, 1000 Hz, 1600 Hz 영역에서 방음벽에 의한 차음효과와 간섭에 의한 감쇠피크치를 나타낸다. ds가 작을 경우 방음벽의 상단부에서 회절된 음파는 방음벽과 마이크로폰사이의 지면에 영향을 크게 받으며, 마이크로폰이 위치한 지면이 초지일 때 고주파수 영역에서 삽입손실이 커짐을 볼 수 있다. (b)는 ds가 6 m 일 경우이며 계산된 방음벽의 차단 효과는 10.7~20.7 dB 를 나타낸다. 스피커가 위치한 지면이 초지로 되어 있을 때 630 Hz, 1600 Hz 영역에서 감쇠피크치를 나타내며, 흙으로 되어 있는 경우 보다 1600 Hz 에서 2500 Hz 사이의 고주파수 영역에서 삽입손실이 커짐을 볼 수 있다. (c)는 ds가 12 m 일 때 실험결과이다. 계산된 차음효과는 ds가 3 m 일 때보다 약 2.9 dB 작은 값을 나타낸다. ds가 커지면 음의 입사각도인 α 가 작아지며, 방음벽 상단부에서의 회절량이 많아지므로 마이크로폰에 도달하는 음파는 방음벽과 마이크로폰사이의 지면의 영향과 방음벽에 의한 차음효과에 지배적인 영향을 받는다. 그러므로 마이크로폰이 위치한 지면이 초지일 때 흙으로 된 지면보다 고주파수 영역에서 통기저항이 작은 재질 내부에서의 산란등에 의해 큰 삽입손실을 볼 수 있다.

Fig. 4는 지면이 초지-아스팔트, 아스팔트-초지로 불연속이며 두 지면의 통기저항값의 차이가 클 때 측정결과와 계산된 삽입손실과 비교하였다. (a)에서 스피커가 위치한 지면이 초지일 때 2500 Hz 영역에서 그리고 아스팔트일 때 1250 Hz 영역과 3150 Hz 영역에서 첫번째와 두번째 삽입손실의 감쇠 피크치를 나타낸다. 이는 ds가 작을 경우 스피커가 위치한 지면보다 방음벽과 마이크로폰사이의 지면에 영향을 더 크게 받으며, 마이크로폰이 위치한 지면이 초지일 때 아스팔트인 경우의 2500 Hz 영역에 비하여 낮은 주파수 영역인 1600 Hz 영역에서 첫번째 감쇠피크를 나타낸다. (b)에서 삽입손실의 형태는 두지면의 영향을 함께 받으므로 결과가 유사하며 630~800 Hz, 1250 Hz 영역에서 계산된 값 보다 큰 값을 나타낸다. 다른 주파수 영역에서는 지면의 영향으로 방음벽 상단부의 회절만을 고려한 차음효과보다 작게 나타나므로 방음벽 설치시 주의를 요한다. (c)에서 ds가 크면 삽입손실의 형태는 복잡하게 되며, 스피커와 마이

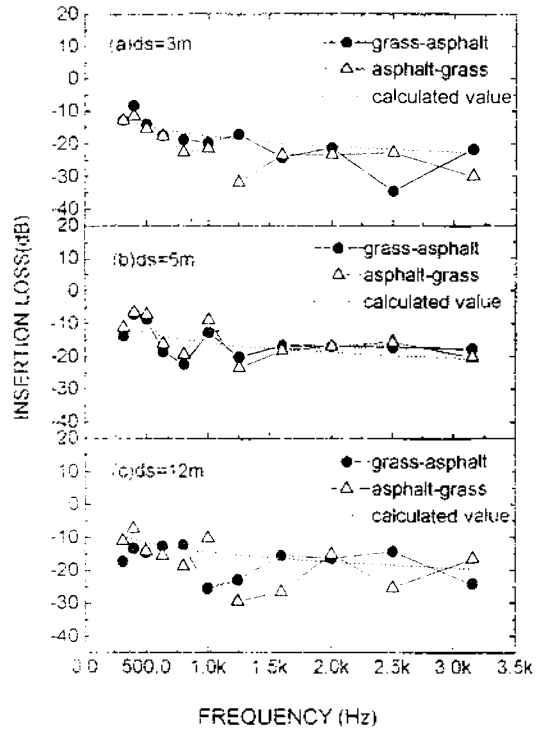


Fig. 4. Comparison the measured insertion loss on the grass-asphalt the asphalt-grass and the calculated value.
 (a) ds = 3m, (b) ds = 6m, (c) ds = 12m
 (dr = 6m, hs = 1m, hr = 1m)

크로폰이 위치한 두 지면의 영향과 경로차에 의한 간섭의 영향을 함께 고려하여야 한다. 지면이 초지-아스팔트일 경우 스피커가 위치한 지면의 영향으로 감쇠피크치의 주파수 영역이 결정되고 다른 주파수 영역에서의 측정된 삽입손실은 계산값과 거의 일치한다. 지면이 아스팔트-초지일 때 1250 Hz 영역과 2500 Hz 영역에서 피크치를 나타내며 초지-아스팔트일 때 보다 피크치의 주파수 영역이 고주파수 영역으로 이동하였고, 마이크로폰이 위치한 지면인 초지의 영향으로 인해 아스팔트인 경우의 3150 Hz 보다 저주파수 영역인 2500 Hz 영역에서 두번째 감쇠피크치를 나타낸다. 그러므로 ds와 dr이 클 때 두 지면 가운데 어느 한 지면의 통기저항이 작을 경우 통기저항이 작은 지면의 영향으로 감쇠 피크치의 주파수 영역이 저주파 영역으로 이동하고 다른 주파수 영역에서의 삽입손실은 계산값과 거의 일치한다.

Fig. 5와 6은 같은 지면의 불연속 조건하에서 방음벽과 마이크로폰 사이의 거리(dr) 변화에 따른 측정된 삽입손실과 계산된 방음벽의 차음효과를 비교하였다. 스피커의 높이(hs)와 마이크로폰의 높이(hr)는 1 m, 스피커에서 방음벽까지의 거리(ds)는 6 m로 일정하게 하고 방음벽과 마이크로폰 사이의 거리(dr)를 3 m, 9 m, 12 m로 변화시켜 삽입손실을 측정하였다.

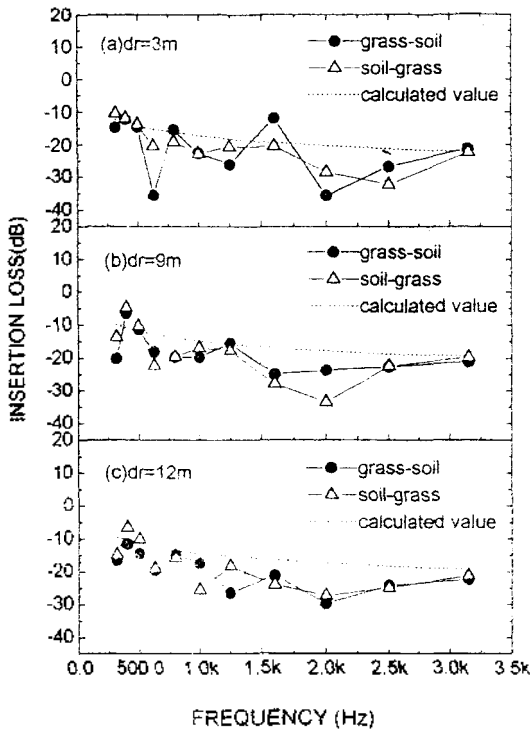


Fig. 5. Comparison the measured insertion loss on the grass-soil, the soil-grass and the calculated value.
 (a) dr = 3m, (b) dr = 9m, (c) dr = 12m
 (ds = 6m, hs = 1m, hr = 1m)

Fig. 5는 지면이 초지-흙, 흙-초지로 불연속일 때 실험 결과이다. 마이크로폰이 방음벽에 가까울 수록 음파의 회절량은 작아지며, dr이 3 m 일 경우 12 m 일 때보다 약 2.9 dB 큰 값을 나타낸다. (a)는 dr이 3 m 일 경우이며 계산된 삽입손실은 스피커에서 방

음벽, 방음벽에서 마이크로폰까지의 거리가 바뀌어도 같은 삽입손실을 나타내며 Fig. 3(a)와 같이 12.3 dB~22.3 dB 폭 나타낸다. 음파는 스피커와 방음벽 사이의 지면의 영향을 받은 후 방음벽의 상단부에서 회절되어 마이크로폰에 도달하게 된다. 스피커가 위치한 지면이 초지일 때 630 Hz, 2000 Hz 영역에서 그리고 흙으로 되어 있을 때 초지보다 고주파수 영역인 2500 Hz 에서 삽입손실의 감쇠피크를 볼 수 있고 두 지면의 통기저항이 작으므로 계산된 삽입손실 보다 큰 감쇠효과를 나타낸다. (b)는 dr가 9 m 일 경우이며 지면이 흙-초지로 되어 있을 때 630 Hz, 2000 Hz 영역에서 감쇠피크치를 나타낸다. 두 지면의 조건에 따른 삽입손실의 형태는 유사하며 통기저항이 작으므로 계산된 삽입손실 보다 큰 감쇠효과를 나타내고 400 Hz 의 주파수 영역에서 계산값 보다 작은 삽입손

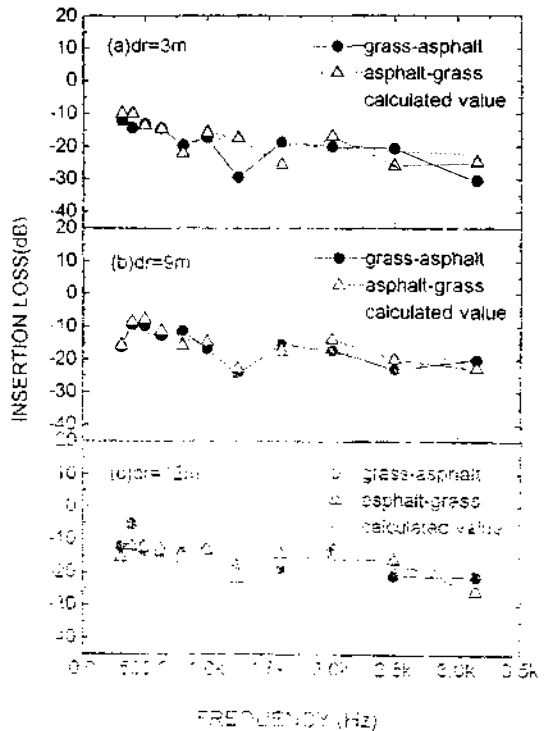


Fig. 6. Comparison the measured insertion loss on the grass-asphalt, the asphalt-grass and the calculated value.
 (a) dr = 3m, (b) dr = 9m, (c) dr = 12m
 (ds = 6m, hs = 1m, hr = 1m)

실을 나타내고 있다. (c)는 d_r 이 12 m 일 경우이며 삽입손실은 d_s 와 d_r 의 시리중에서 큰 거리를 가지는 지면의 영향을 받으며 d_r 이 클 수록 상단부에서의 음파의 회절량은 커지게 된다. d_s 가 고정되고 d_r 이 커지면 방음벽 상단부의 수평선에서 마이크로폰까지의 음의 회절각도인 θ 가 작아지며, 방음벽에서 마이크로폰 사이에 직접 전파되는 직접파와 지면에 반사된 후 도달하는 반사파의 간섭과 방음벽에 의한 차음효과 영향을 함께 받는다. 그러므로 마이크로폰이 위치한 지면이 흙일 경우 1250 Hz 에서의 피크치가 초지일 경우 1000 Hz 로 이동하였으며, 두 지면의 조건에 의해 계산값보다 큰 삽입손실을 볼 수 있다.

Fig. 6은 지면이 초지-아스팔트, 아스팔트-초지로 불연속일 때 삽입손실이다. (a)는 d_s 가 6 m로서 d_r 인 3 m 보다 크고, 스피커가 위치한 지면이 초지일 때 아스팔트일 경우의 1600 Hz 보다 낮은 1250 Hz 영역에서 첫번째 삽입손실의 감쇠피크치를 나타내며, 다른 주파수영역에서는 계산된 삽입손실과 유사하다. 또한 Fig. 4(a)에서 지면이 아스팔트-초지로 되어 있을 때와 동일한 기하학적 조건이므로 측정된 삽입손실의 형태가 유사하다. (b)는 d_r 이 9 m 이며, 삽입손실의 형태는 두지면의 영향을 함께 받으므로 결과가 유사하고 1250 Hz 영역에서 계산된 회절감쇠량 보다 큰 값을 나타내었다. 다른 주파수 영역에서는 Fig. 4 (b)와 같이 방음벽 상단부의 회절만을 고려한 차음효과와 비슷한 값으로 나타났다. (c)는 d_r 이 12 m 일 경우이며 θ 는 작아지고 d_r 에 비하여 d_s 가 훨씬 작고 두지면의 통기저항의 차가 클 때 계산된 값과 유사하게 주파수가 높을수록 감쇠가 커짐을 볼 수 있다.

따라서 방음벽이 설치 되어 있을 때 소음원과 수음자가 위치한 지면의 통기저항이 작을수록 감쇠 피크치의 주파수 영역이 저주파수로 이동하며, 음원에서 방음벽, 방음벽에서 마이크로폰까지의 거리가 음파의 회절특성에 영향을 미치므로 소음원의 주파수 특성에 따라 지면과 방음벽의 위치를 고려하므로 더욱 효과적인 소음 대책을 수립할 수 있다.

V. 결 론

지면의 재질이 불연속일 때 지면의 조건에 따라 관형 방음벽을 설치하여 도로 교통 소음 주파수 영역인 315~3150 Hz에 대하여 지면의 영향을 고려한 방음벽의 차음효과인 삽입손실을 연구하였다.

방음벽에 의한 소음의 계산된 감쇠량은 주파수가 증가할 수록, 음원과 마이크로폰이 방음벽에 가까울 수록 큰 값을 가지며 본 실험조건에서 음원과 방음벽 그리고 방음벽과 마이크로폰사이의 거리 변화에 대한 감쇠량은 약 9.4~22.3 dB 이었다. 지면의 통기저항이 작을수록 피크가 나타나는 주파수 영역이 저주파쪽으로 이동함을 실험으로 확인하였다. 이것은 위상지연에 의한 반사파와 직접파와의 간섭현상 때문이다. 음원에서 방음벽까지 거리가 방음벽에서 마이크로폰까지 거리보다 크거나 혹은 작을 경우 마이크로폰이 위치한 지면의 영향을 더 크게 받으며 거리에 의한 회절량과 관계된다. 두 불연속 지면의 통기저항이 작고 차이가 작을 경우 1 kHz 이상의 주파수 영역에서 계산값 보다 큰 삽입손실을 나타내었으며, 통기저항의 차이가 클 때 간섭 현상이 나타나는 피크주파수를 제외한 주파수 영역에서는 계산값과 거의 일치하였다. 지면의 특성에 의한 반사효과와 음원과 방음벽, 방음벽에서 수음자 사이의 거리 변화에 따른 소음의 회절 특성을 함께 고려하여 방음벽을 설치하므로써 더욱 효과적으로 소음으로부터 수음자를 보호할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. K. Attenborough, "Ground parameter information for propagation modeling," J. Acoust. Soc. Am., 92 (1), 418-427(1992)
2. J. Durnin and H. L. Bertoni, "Acoustic propagation over ground having inhomogeneous surface impedance," J. Acoust. Soc. Am., 70(3), 852-859(1981)
3. D. C. Hotherhall, S. N. Chandler-Wilde and M. N. Hajmirzae, "Efficiency of single noise barriers", J. Sound Vib., 146(2), 303-322(1991)
4. D. A. Hutchins, H. W. Jones and L. T. Russei, "Model studies of barrier performance of ground surfaces," J. Acoust. Soc. Am., 75(6), 1807-1826 (1984)
5. D. H. Crombie and D. C. Hotherhall, "The performance of multiple noise barriers," J. Sound Vib., 176 (4), 459-473(1994)
6. G. R. Watts and D. C. Hotherhall, "Acoustic performance of new design of traffic noise barriers," J. Sound Vib., 177(3), 289-305(1994)
7. A. Omoto and K. Fujiwara, "A study of an actively controlled noise barrier," J. Acoust. Soc. Am., 94

(4), 2173-2180(1993)
 8. L. K. Leang, Y. Yamashita and M. Matsui, "Simplified calculation method for noise reduction by barriers on the ground," J. Acoust. Soc. Jpn(E), 11(4), 199-206(1990)
 9. J. Nicolas, T. F. W. Embleton and J. E. Piercy, "Precise model measurements versus theoretical prediction of barrier insertion loss in presence of the ground," J. Acoust. Soc. Am., 73(1), 44-54(1983)
 10. U. J. Kurze and G. S. Anderson, "Sound attenuation by barriers," Appl. Acoust., 4, 39(1971)

11. 정일복, 소음진동학, 신광출판사, p131(1984)
 12. 일본음향재료협회, 소음 진동대책 핸드북, 집문사, p207(1983)
 13. 김동일, 강병용, 장호경, 김예현, "지표면 임피던스에 의한 소음의 초과감쇠에 관한 연구," 한국음향학회지, 13(5), 5-14(1994)
 14. T. F. Embleton, J. E. Piercy and G. A. Daigle, "Effective flow resistivity of ground surfaces determined by acoustical measurements," J. Acoust. Soc. Am., 74(4), 1239-1244(1983)

▲김 예 현 (정회원)

1993년 8월 12일생
 1956년 9월 : 서울대학교 물리학과 졸업(이학사)
 1975년 2월 : 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1980년 9월 : 영남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1980년~1981년 : 영국 University of Southampton Institute of Sound and Vibration 객원선임 연구원
 1981년~현재 : 영국 음향학회 정회원
 1983년~1985년 : 한국음향학회 이사
 1966년 3월~현재 : 영남대학교 물리학과 교수

▲김 동 일(Dong Ill Kim) 정회원

1962년 10월 29일생
 1985년 2월 : 영남대학교 물리학과 졸업(이학사)
 1987년 8월 : 영남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
 1922년 3월~현재 : 영남대학교 대학원 물리학과 박사과정

▲장 호 경(Ho Kyeong Jang) 정회원

1961년 12월 6일생
 1984년 2월 : 영남대학교 물리학과 졸업(이학사)
 1986년 2월 : 영남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
 1992년 2월 : 영남대학교 대학원 물리학과 졸업(이학박사)
 1994년 3월~현재 : 경산대학교 물리학과 전임강사