

道路沿邊 環境施設에 의한 交通騒音
低減方案에 關한 研究

薛 會 慇 鄭 勇

國立環境研究院

*延世大學校 保健大學院

A study on Traffic Noise control by the Environmental
facilities around Roadway

Jeung Min Sul

Yong Chung

*National Institute of
Environmental Research*

**Graduate school of Health
Science and Mangement,
Yonsei university*

Abstract

This study was carried out to determine traffic noise level and analyze noise reduction effects of various sound protection facilities in the area of Seoul, Inch'on, Songchoo and Seoul-Busan Expressway from March to October, 1987.

The results were as follows:

- .. As compared with the environmental standards and the traffic noise level in heavy noise areas, traffic noise levels observed were shown in higher than environmental standards. The noise levels in Seoul were determined at 12.8-18.2 dB(A) in daytime and 19.0-26.9 dB(A) in nighttime. And incase of inch'on, it were 6.7-9.6 dB(A) in daytime, 7.9-18.9 dB(A) in nighttime, respectively.

2. The environmental noise level observed in the backside of protection facilities, such as apartment, soundproof barrier and houses, which were constructed in parallel to the road was lower about 3-5 dB(A) than perpendicular to the road.

Noise reduction effect of upper stairs in apartment was higher than lower stairs.

3. The predicted noise level obtained from the equation ($\Delta L = -10 \log (I^1 / I_i)$) was ± 1 dB (A) and the correlation coefficient (r) was 0.923.

4. The noise reduction effect in backside of apartment was measured at on sites and predicted by total noise loss equation. The predicted noise level was 60.9 dB(A) and the measured level was 60.6 dB(A), respectively.

5. The narrow width landscape less than 10m width was almost no effect for the protection of traffic noise.

According to the synthesis of the above results, the noise level of the road was exceeding mostly the environmental standard in the heavy traffic areas.

The counterplan should be set as well.

The insulation of noise protection facilities were effective by the location with near distance from the road edge.

The reduction effect of double window in apartment was represented so much.

The prediction model could be applied to estimate the noise levels in the roadside as well as the effectiveness for the noise protection facilities.

I. 서 론

1960년대 부터 산업근대화 (Industrial modernization) 에 따라 인구의 도시집중, 생활양식의 변화와 공업단지 조성 등 급속한 사회구조가 도시화로 인하여 환경오염 문제가 유발되고 있다.

자동차는 문명의 이기로써 도로망이 점차 고속화 확충됨에 따라 육상화물 수송의 교통 수단으로 크게 증가되고 있는 실정이다.

이에 수반하여 도로연변에서 발생하는 소음은 도로교통량에 따라서 우심화 (尤甚化) 한 문제를 발생시키고 있다.

자동차의 전국 보유대수를 보면 1961년도에 29,000대해서 1987년도말 현재에는 약 1,310,000대로 무려 45배나 증가되었고 이

에 반하여 전국의 도로율이 1.6% (1986, 건설부, 건설통계편람), 전국 주요도시의 도로 점유율은 약 9.3% (서울시의 도로율 17% '86, 서울시 통계년감)로서 런던의 23%나 파리의 24% (조한인, 1984)에 비하여 극히 낮은 상태이다. 그러므로 도시인구 밀집지역내에서는 교통소음에 시달리고 있다.

향후 더욱더 급증하는 자동차의 증가량을 추정 (推定) 하여 볼때, 도로연변 지역에 거주하는 주민들의 소음피해 영향권이 크게 확산할 것으로 우려가 있으며 이로 인하여 발생하는 사회문제는 커질것이다.

도로교통에서 발생하는 공해 (公害) 문제로서 소음 이외도 자동차 배기가스에 의한 대기오염과 진동이 있지만, 최근에 가장 진정이 많은 것은 이들중 소음문제이다.

일반적으로 도로교통 소음은 상, 공업지역은 물론 주거지역까지 교통소음 영향권에 있으며, 특히 고속도로 등 각종 도로망의 확장으로 교통소음의 영향권이 점차 확대되고 있는 실정이다. 이와같이 복합적인 요인에 따라 소음에 의한 진정건수가 1986년도에 155건의 진정(1986, 환경청, 환경보전 부분계획, 1987~1991)이 환경청에 접수된 사례로 보아 알 수 있다.

도로교통 소음의 대책으로서는 발생원 및 도로주변 환경대책으로 구분된다. 아직까지는 도로주변 환경대책이 주로 추진되어 왔다. 이는 도로교통 소음을 차음하기 위한 방음벽, 완충건물(緩衝建物) 및 막(Shield) 등의 설치와, 도로단면 구조의 변화(굴활(掘割) 등), 환경시설대, 녹지의 확보, 그리고 도시구조 개선 등이 제시될 수 있다(平野與彦, 1983).

우리나라의 경우 대도시 지역의 소음도가 환경기준을 대부분 상회하고 있어 당국은 주요 6대도시의 16개 지역을 소음규제 지역으로 지정하고 교통소음 우심지역(尤甚地域)에 방음벽을 전국적으로 31 km(서울 7.6 km, 부산 21 km, 기타지역 2.4 km, 환경청자료, 1986), 설치하고 있으나 전국적인 방음대책으로는 미흡한 실정에 있다.

주요 간선도로변에는 차음벽, 완충물의 정비 등으로 도로 구조의 개선 조치가 필요하다. 또한 간선도로 연변의 토지는 주거 지역의 상가 등의 주민활동 적용에 있어 소음노출에 관계없는 업종이 허가 되도록 하는 토지활용 계획도 함께 강구하여야 할 시책이 요청되고 있다.

이미 차음벽 등이 설비된 도로연변에서도

도로교통 소음문제가 종종 발생하고 있는 것도 재검토가 요망된다. 일정한 지역내의 신설 도로를 건설할 때 도로구조나 부대시설 등의 조건과 자동차의 통행량과 속도에 따라 교통소음을 예측 평가하므로써 사후 교통규제에 의한 도로교통 소음을 방지코자 하는 사전대책의 일환으로 소음환경영향 평가가 강조되고 있다.

본 연구에서는 도로교통 소음의 우심지역인 서울의 강변로(한강, 맨션아파트)와 인천의 간석주공 아파트의 일부지역에서 소음을 실측하고 환경기준과 비교 검토하였다. 또 도로연변 환경시설 완충물(緩衝物, 아파트, 방음벽, 주택 등)에 의한 차음효과 산정과 고속도로 연변에 위치한 방음벽의 차음효과와 수림대에 의한 감음효과 등을 연구하였으며, 그리고 교통량과 차량속도에 의한 정속주행과 비정속주행을 근거로 도로교통 소음의 예측모델에 의한 예측치와 실측치의 분포 상황을 분석하여 앞으로 도로계획에 있어 도로교통 소음의 예측모델을 지역특성에 따라 적용하고 도로교통 소음방지대책의 자료로 활용코자 시도하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상지역 및 조사기간

서울 및 인천시 지역내 도로교통소음 우심지역(尤甚地域)의 아파트지역 도로연변 환경시설 완충물(緩衝物, 아파트, 방음벽, 주택 등), 경부고속도로변에 위치한 방음벽, 그리고 송추지역내의 수림대(樹林帶)를 대상으로 연구하였다. 그리고 조사기간은 1987년 3월부터 1987년 10월 30일까지 조사하였으며

그 내용은 표1과 같다.

표 1 측정대상지역 및 측정지점

시설별	측정대상지역	측정지점	비고
완충물 (아파트 트층별 차음벽)	<ul style="list-style-type: none"> 서울용산구 동부이촌동강변로 인천남구 간석동간석도로 	<ul style="list-style-type: none"> 한강맨션 APT 간석주공 APT 	※아파트 층별 차음도 (이중창) 은 서울풍납동 신축이주전 극동아파트임.
방음벽	경부고속도로	<ul style="list-style-type: none"> 서울기점 13km 지점 서울기점 143 km 지점 	L = 150m, T = 0.11m, H = 4.5m •재질 - 외부; 알루미늄 -내부; 그라스울
수림대	서울-송추	송추지점	

2. 측정방법

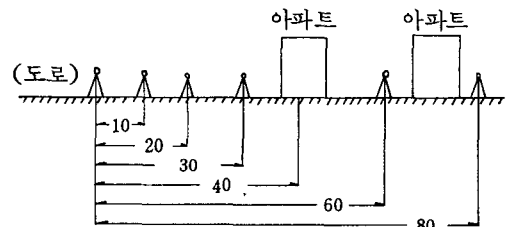
측정방법은 환경청고시 제 88-19 호 환경오염공정시험법에 의거 도로연변 환경시설 완충물 (緩衝物, 아파트, 방음벽, 주택 등), 방음벽 및 수림대를 대상으로 도로단에서 부터 일정거리별로 전파양상에 대하여 소음계의 마이크로폰 (microphone) 의 높이를 1.2 ~ 1.5 m로 하여 소음을 측정하였으며, 동시에 2 채널 (channel) 로 2개 지점의 소음도차 (差) 를 동시에 녹음기 (Type7005, B&K

사제, Denmark) 에 의거 녹음하고 교통량 (소형차; 1톤미만의 차량, 대형차; 1톤이상의 차량) 에 의한 차량속도는 스피드건 (Speed Gun, C.M.I 사제, U.S.A) 으로 측정하였다.

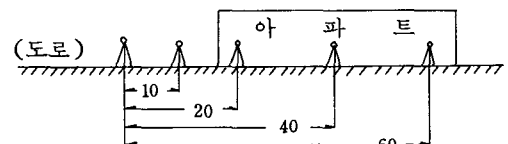
3. 측정조건

도로연변 환경시설 완충물 방음벽과 수림대에 대한 측정조건은 그림 1 과 같이 교통우심지역 (交通尤甚地域) 에서 측정지점의 조건과 같이 측정하였고, 완충물 (緩衝物, 아파트) 이 도로연변에 평행 및 직각배치에 따라 마이크로폰의 위치를 도로단 10 m, 20 m, 30 m로 설치하여 조사하였고, 여기서 평행배치된 아파트 완충물의 전후면과 좌우방향도 동시 측정하였다.

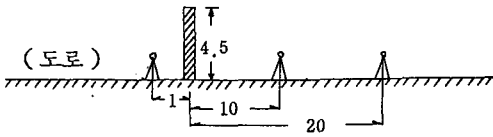
방음벽은 평탄도로와 성토 (盛土) 인 경우로 구분하여 차음효과를 측정하였으며 수림대는 상록수와 활엽수의 수목과 수림대별에 따른 감음효과를 측정하였다.



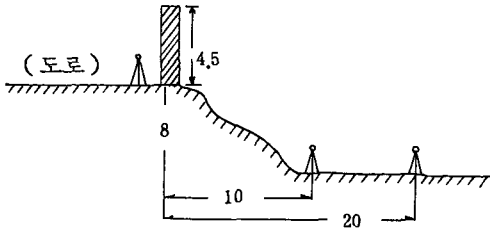
a. 도로변지역 완충물 (아파트) 이 평행배치된 지점 (한강맨션아파트)



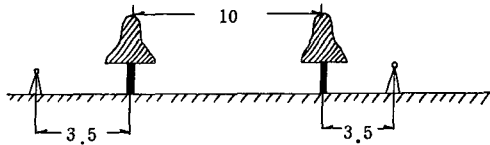
b. 도로변지역 완충물이 직각배치된 지점 (인천간석주공아파트)



c. 방음벽 (경부고속도로 서울기점 143km지점)



d. 방음벽 (경부고속도로 서울기점 131km지점)



e. 수림대 (송추지역)

그림 1. 도로교통 소음측정지점

4. 도로연변환경시설대에 의한 저감효과 측정

가. 도로교통 소음의 측정

도로교통 소음의 조사지점은 차량의 통행량이 많고 인구가 밀집되어 있는 교통우심지역 (交通尤甚地域)인 서울과 인천지역내의 아파트 단지의 간선도로의 도로단을 선정하였다.

측정시 교통량은 소형차 (1톤미만의 차량, 12인승 이하 승용차와 소형픽업차종) 및 대형차 (1톤이상 차중의 차량)를 구분하여 통행량을 조사하였고, 차량의 속도는 스피드건 (Speed Gun)을 이용하여 평균차속 (km/h)을 동시 측정하였다.

나. 도로연변 환경시설 완충물 (아파트)에 의한 소음분포 도로 연변 환경시설 완충물 (아파트)에 의한 소음분포 조사는 그림 2중 a), b)와 같이 아파트의 배치상태에 따라 도로단을 기준으로 아파트의 주변 및 거리권별로 병행하여 측정하였다.

다. 환경시설내 아파트의 실내외 2중창문의 차음특성 아파트의 실내외의 차음특성을 측정코자 서울시 풍납동소재 신축입주전인 극동아파트를 대상으로 평행 및 직각 배치별에 따라서 도로교통 소음에 의한 창문의 실내외의 차음도를 아파트 배치형태에 따라 실외 (창문 외측 1m위치)와 실내창문 내측 (1~2m위치)에서 5분동안 동시 등가소음도를 측정 분석하였다.

라. 방음벽의 차음효과

경부고속도로 연변에 위치한 방음벽 (서울기점 131km 및 143km)의 차음효과를 방음벽을 중심으로 도로단과 방음벽으로부터 10m, 20m의 거리권별 등가소음도를 동시에 측정하였으며 평면 평탄한 대조지점도 같은 방법으로 비교 측정하였다.

마. 수림대 감음효과

도로환경 미화 목적으로 식재되어 있는 수림대에 대한 소음도의 감음효과를 소음원측과 수목에 의한 수음측을 일정거리별로 측정하였다.

5. 도로교통 소음과 방음벽의 차음예측

가. 도로교통 소음의 예측

도로교통 소음을 예측함은 그 대책이나 소음 영향평가를 위하여 매우 중요하다.

고속도로나 간선도로망의 전국적인 개발, 정비, 확충되고 도로연변에 건축물이 근접하

여 건축되고 있어 소음문제가 확대되고 있는 실정이다.

여기에서는 도로교통 소음의 예측방법에 의한 상태로서는 예측계산의 기초로서 각종 자동차의 주행특성, 교통량, 차종구성, 주행차선을 기초로 하여 정상 및 비정상 주행속도 구간의 도로에 대하여서 예측하였고 방음벽의 감음효과 완충물의 배후공간의 저감효과에 관하여 연구하였다.

1) 도로단지역 교통소음

도로단 지역은 도로단에서 수 m 이내의 지역을 말하며, 이 지역에서의 도로교통소음 중앙값의 예측식 (조윤승 등, 1981)은 다음과 같다.

- 소형차의 소음도 (L_p)는 ($L_{50} = Leq \cong L_p$)
 $= 45 + 10 \log (N_1 / \ell) + 30 \log (V_1 / 50) \dots\dots\dots (1)$
- 대형차의 소음도 (L_B)는
 $L_{50} = Leq = L_B = 53 + 10 \log (N_2 / \ell) + 30 \log (V_2 / 50) \dots\dots (2)$
- 소형차와 대형차의 중앙값 L_{50} 은
 $L_{50} \cong Leq = 10 \log (10^{L_p/10} + 10^{L_B/10}), dB \dots\dots\dots (3)$

여기에서 N_1, N_2 ; 시간당 소형차 및 대형차의 통과대수 (대 / hr)

ℓ ; 가상 주행 중심선에서 도로변 예측지역까지의 거리로 통상 10 m 미만의 거리 (m)

V_1, V_2 ; 소형차 및 대형차의 평균차속 (km / hr)

2) 도로단에서 10 m거리지역 교통소음 자동차가 정속주행시 도로단에서 10m이상 떨어진 일정거리권별 (10 m, 20 m, 30 m, 40 m)

지점의 평탄지역에서의 시간단위에 따른 등가 소음도 (Leq)와 도로교통소음 예측식 (조윤승 등, 1981)을 통계처리에 의거 계산한 예측식은 다음과 같다.

$$Leq = 1.1 \{ 20 + 10 \log (Q \cdot V / \ell) \} - 9 \log \cdot r_a - c, dB(A) \dots\dots\dots (4)$$

Q ; 시간당 등가교통량 ($Q =$ 소형차 통과대수 + $10 \times$ 대형차 통과대수) (대 / hr)

V ; 평균차속 (km / hr)

ℓ ; 가상 주행 중심선에서 도로단까지의 거리 + 도로단에서 기준 10 m 지점까지의 거리 (m)

r_a ; 거리비 (기준 10 m 거리에 대한 도로단에서 10 m 이상 떨어진 예측지점까지의 거리비)

C ; 상수로써

- $Q > 15,000$ 이면, $c = -5.5$
- $10,000 < Q \leq 15,000$ 이면 $c = -4$
- $5,000 < Q \leq 10,000$ 이면 $c = -2.5$
- $2,000 < Q \leq 5,000$ 이면 $c = -1$
- $Q \leq 2,000$ 이면 $c = 0$ 이다.

나. 방음벽의 삽입손실치 (插入損失値) 예측

유한 방음벽에 의한 총감음량 (總減音量) (鄭一錄, 1983)은 방음벽에 의한 삽입손실치 ΔL_i (Insertion Loss)와 거리감쇠치의 합으로 정의할 수 있다.

삽입손실치는 다음 절차에 의해 예측할 수 있으며 그림 2와 같이 소음원과 측정점 사이에 방음벽을 설치하면, 이 구조물에 의한 삽

입손실 (插入損失)이 발생하는데, 이를 통상 감쇠치라 하며, 이 손실값은 회절감쇠치 ΔLd (回折減衰值, Diffraction Loss), 투과손실치 ΔLt (透過損失值, Transmission Loss) 및 직접음감쇠치 ΔLin (直接音減衰值, Incident Loss)의 대수합으로 계산한다.

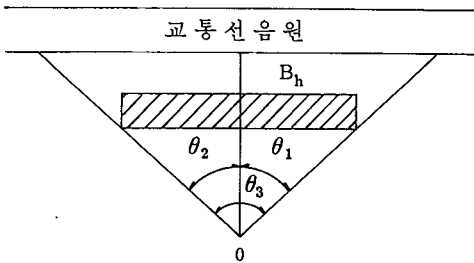


그림 2. O점에서 삽입손실 모델

1) 회절감쇠치 ΔLd (回折減衰值, Diffraction Loss)

교통소음 발생원 S와 수음점 O 사이에 무한장벽 B_h 를 그림 3과 같이 한 경우 회절감쇠치 (回折減衰值)는 장벽의 높이에 의한 Keller의 광회절이론을 응용하여 Kurze와 Anderson이 Fresnel Number N와 선음원에 따른 변수를 근거로 작성한 감쇠곡선 (減衰曲線) (Kurze UJ & Anderson GS 1971)을 사용하여 산정한다.

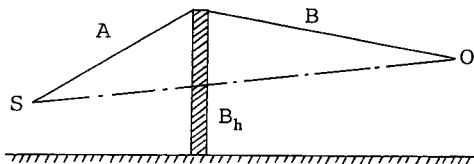


그림 3. 장벽에 의한 음의 기하학적 전파경로

이 곡선을 Computer로 처리하기 위해 ± 0.5 dB의 조건을 만족하는 5개의 직선구간으로 나누어 다음과 같이 수식화한다.

Fresnel Number N는 주파수를 F라 할 때

$$N = (A + B - D) \times 2F/340$$

$$= F \times \{ (\sqrt{(H_B - H_O)^2 + L_{BO}^2} + \sqrt{(H_B - H_S)^2 + (L_{SB} - L_{BO})^2} - \sqrt{(H_O - H_S)^2 + (L_{SB} + L_{BO})^2}) / 170 \dots \dots \dots (5)$$

여기서 F ; 회절주파수 (Hz)

H_B ; 장벽의 높이 (m)

H_O ; 수음점의 높이 (m)

H_S ; 음원의 높이 (m)

L_{BO} ; 장벽과 수음점간의 수평거리(m)

L_{SB} ; 음원과 장벽간의 수평거리 (m)

이 높이들은 도로면을 기준점으로 결정한다. 따라서 Fresnel Number N에 따른 회절감쇠치 (回折減衰值) ΔLd 는

$$0 < N \leq 0.1, \Delta Ld = 7.5 + 0.6 \log N \text{ (dB)}$$

$$0.1 < N \leq 0.8, \Delta Ld = 10 + 3 \log N \text{ (dB)}$$

$$0.8 < N \leq 30, \Delta Ld = 11 + 7 \log N \text{ (dB)}$$

$$30 < N \leq 60, \Delta Ld = 12 + 6 \log N \text{ (dB)}$$

$$60 < N \quad \Delta Ld = 22 \dots \dots \dots (6)$$

위 식들은 $H_O \ll (H_B \times (L_{SB} + L_{BO}) / L_{SB})$ 인 조건에서만 고려하였다.

2) 투과손실치 ΔLt (透過損失值, Transmission Loss) 방음벽에 의한 투과손실치는 음원의 주파수가 방음벽의 강도 (強度) 및 Damping에 의거 변화하는데, 저주파에서는 벽체 (壁體) 강도에 중간 주파수에서는 질량법칙 (質量法則, Mass Law)에 고주파 음에서는 벽체의 Damping에 의하여 제어 받은 영역 (領域)으로 각각 구분된다.

이러한 영역은 벽체에 사용한 자료의 재질 특성에 따라 변화한다.

일반적으로 방음벽으로 사용되는 콘크리트, 벽돌, 강판(鋼板) 및 알루미늄판류 등의 자재는 도로교통소음의 대표 주파수대에서 질량 법칙을 만족하므로 이들 자재를 사용시 투과손실치 (May DN, 1980, 石井聖光, 1980) ΔL_t 는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\Delta L_t = 20 \log M.F - 47 \text{ dB (A)} \dots\dots\dots (7)$$

여기에서 M ; 벽체의 단위면적당 중량 (kg/m²)

F ; 입사음의 주파수 (Hz)

따라서 방음벽에 의한 회절 및 투과손실치의 대수합 ΔL_{dt} 는

$$\Delta L_{dt} = -10 \log (10^{-\Delta L_d/10} + 10^{-\Delta L_t/10}), \text{ dB} \dots\dots\dots (8)$$

이 된다.

3) 직접음 (장애물)의 감쇠치 ΔL_{in} (Incident Loss, 방음벽, 아파트 등)

그림 4에서 직선도로 교통소음 (鄭一錄, 1983)의 단위 길이당 음의 세기를 K라 하고 소리의 전파가 random 하지 않고 수평으로 확산되며, 연도 (沿道)에 장애물이 없을 때 0점에 입사되는 총음의 세기 I_1 (May DN, 1980)은 다음식과 같다.

$$I_1 = k/r \int_{\theta=-\pi/2}^{\pi/2} \cos\theta \cdot d\theta = 2k/r \dots\dots\dots (9)$$

그림 4와 같이 장애물이 일정간격으로 놓여 있을 때 장애물간의 간극(間隙)을 통하여 입사되는 음의세기 I_1' 는 다음식으로 계산된다.

$$I_1' = k/r \int_{\theta_2}^{\theta_1} \cos\theta \cdot d\theta = k/r \sin \int_{\theta_2}^{\theta_1} \dots\dots\dots (10)$$

여기에서 r ; 수음점 0에서 도로교통선원에 수선을 그어 만나는 점과 수평거리

θ_1 ; 장벽과 수선이 만나는 점과 장벽우단과의 내각 (°)

θ_2 ; 장벽과 수선이 만나는 점과 장벽좌단과의 내각 (°)

θ_0 ; $\theta_1 + \theta_2$ (°)로 관측각이라 한다.

따라서 장애물 간극(間隙)에 의한 소음도 감쇠치 ΔL 은 다음식으로 계산된다.

$$\Delta L = -10 \log (I_1'/I_1) \cdot \text{dB} \dots\dots\dots (11)$$

한편 장벽에 의한 직접음 감쇠치 ΔL_{in} (直接音減衰值 Incident Loss)는 다음식으로 계산된다.

$$\Delta L_{in} = 10 \log [(I_{in}/I_{in} - I_{in}')] = 10 \log [2/[2 - (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)]] \cdot \text{dB} \dots\dots\dots (12)$$

따라서 장벽에 의한 삽입손실치 ΔL_i (插入損失值 Insertion Loss)는 다음식으로 계산된다.

$$\Delta L_i = -10 \log (10^{-\Delta L_{dt}/10} + 10^{-\Delta L_{in}/10}) \dots\dots\dots (13)$$

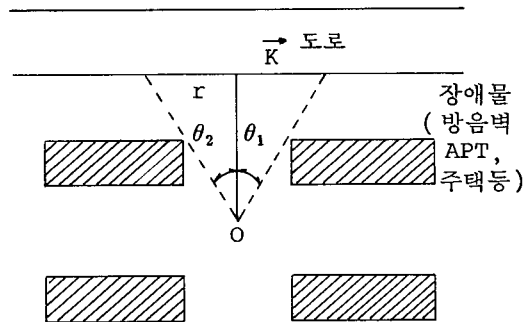


그림 4. 장애물 간극에 의한 소음감쇠 모델

Ⅲ. 연구 결과 및 고찰

1. 도로교통 소음현황

가. 지역별 교통소음도

본 지구의 대상지역인 서울의 강변로 (정속 주행구간)와 인천의 간석로 (비정속 주행구간)에서 측정한 교통량과 차량속도에 의한 도로교통소음도는 표 2와 같다.

현행 도로단 지역의 소음환경기준중 주거 및 준주거 지역의 낮시간 65 dB(A)와 방시간 55 dB(A)와 표 2의 도로단 지역의 측정결과와 비교하여 보면 서울 한강로변의 교통소음이 낮시간대에서 12.8~18.2 dB(A), 밤시간이 19.0~26.9dB(A), 인천지역에서는 낮시간대가 6.7~9.6 dB(A), 밤시간대가 7.9~18.9 dB(A)의 차로 기준치 보다 훨씬 초과하고 있었다. 더욱이 서울지역이 인천지역보다 더 높게 나타났다.

나. 도로교통 소음도의 실측치와 예측치의 상관성

교통 유형별에서 차량의 속도를 정속 및 비정속주행으로 볼때 도로단에서부터 10m이내와 이후지역으로 구분하여 각각의 도로교통소음의 예측식 (3) 및 (4)으로 예측한 값과 실측치와의 상관성을 보면 5,6,7,8,9 과 같다. 여기에서 측정지역에 따른 등가소음도를 도로단 및 10m이후지역에 대한 도로교통소음도를 거리권별로 실측한 측정소음도와 예측치를 비교한 결과 표 3과 같다.

표 3에서 보면 도로교통소음의 실측치와 예측치는 2dB의 차로 거의 유사한 결과로 나타났다으며 대개 도로연변에 시설된 아파트의 경우, 도로단에서 20~50m정도 떨어져 있어 65~70 dB(A) 정도인 것으로 예상된다.

그림 5은 도로단지역으로 정속주행하는 강변로의 교통소음을 한시간 단위로 실측한 등

표 2. 지역별 도로교통소음도

도시	도로 유형	시간대	교통량(대/시간)		평균차속 (km/hr)	차선	측정 회수	거리권별 소음도Leq dB(A)				비 고
			소형차	대형차				도로단	10m	20m	40m	
서울	평면 평탄	주간	558~ 5592	180~ 1974	50~95	4	128	77.8 83.2	68.8 72.6	67.3 70.2	62.6 67.1	동부이천동 한강맨션 아파트지역
		야간	130~ 2382	70~ 392	65~95	4	64	74.0 81.9	65.2 69.4	-	58.2 64.1	
인천	평면 평탄	주간	176~ 918	220~ 502	30~70	6	64	71.7 74.6	69.7 71.4	62.8 67.8	60.3 62.8	인천남구 간석주공 아파트지역
		야간	66~ 772	20~ 284	40~80	6	32	62.9 73.9	-	54.6 65.9	-	

표 3. 지역별 도로교통소음도의 거리권별 실측 및 예측치

도로	도로 유형	시간대	교통량 (대/시간)		평균차속 (km/hr)	차선	실측및 예측치	거리권별 소음도 Leq dB(A)			
			소형차	대형차				도로단	10 m	20 m	40 m
서울	평면	주간	558 ~ 180 ~		50 ~ 95	4	실측치	77.8 ~ 68.8 ~ 67.3 ~ 62.6 ~			
			83.2 72.6 70.2 67.1								
	평탄	야간	5592 1974		65 ~ 95	4	예측치	74.7 ~ 67.0 ~ 67.0 ~ 61.6 ~			
			83.5 72.7 70.0 66.9								
인천	평면	주간	176 ~ 220 ~		30 ~ 70	6	실측치	71.7 ~ 69.7 ~ 62.8 ~ 60.3 ~			
			74.6 71.4 67.8 62.8								
	평탄	야간	918 509		40 ~ 80	6	예측치	67.7 ~ 69.3 ~ 65.6 ~ 63.8 ~			
			68.9 70.4 67.7 65.0								
평탄	야간	66 ~ 220 ~		40 ~ 80	6	실측치	62.9 ~ ~ 54.6 ~ ~				
		772 284				73.9 ~ 65.9 ~					
						예측치	61.9 ~ 59.5 ~ 56.8 ~ 54.1 ~				
							68.5 70.3 66.5 63.8				

가소음도 (주야 연속측정)와 도로변지역의 도로교통소음 예측치 (L₅₀ ≒ 등가소음도)를 도시한 것으로 이들값의 상호 차이는 ±2dB (A) 범위내의 차가 있었으며, 통계학적인 상관 계수 (r)은 0.933으로 매우 높은 상관성을 나타냈다.

그림 6은 측정지역의 조건이 교통신호, 횡단보도, 버스정류장이 있는 곳으로 자동차의 정차, 가속 및 감속이 빈번한 도로단 (인천 간석주공아파트 앞)의 지역에서 1시간 단위로 실측한 등가소음도와 예측치 (3)에 의한 상관성을 낮시간대 (06:00 ~ 24:00)와 밤시간대 (00:00 ~ 06:00)로 구분하여 상관관계를 분석한 것이다. 여기에서 그림 6은 그림 5의 정속주행과 유사하였으며 예측치와 실측

치의 상호차이는 ±2dB(A) 범위였고, 상관계수 (r)은 0.847로서 상관성이 높게 나타났다.

이는 밤시간대의 교통량이 낮시간대에 비해 적으나 교통량과 주행속도에 의한 가속, 감속의 빈도가 낮을 뿐 아니라, 버스의 운행이 거의 없어 인근 정류장에 의한 영향이 없어 밤 시간대는 일반정속주행과 같은 양상을 나타낸 것으로 본다.

다. 도로교통소음과 영향인자와의 관계

도로교통소음의 예측치와 실측치의 상관관계는 측정시의 시간대에 따라서 교통량과 주행속도를 보면 낮시간이 밤시간보다 크고 적음에 의거 교통소음의 차가 있음을 다음식으로 알 수 있다.

도로단지역의 예측치 (Y)는

$$Y \propto 10 \log (Na) + 30 \log (Va), dB(A) \dots (14)$$

즉 차속도의 증가에 따른 소음도의 증가는 교통량 증가에 따라 소음도가 3 배정도 크게 영향하고 있음을 알 수 있다.

여기서 Na ; 교통량의 비
Va ; 차속도의 비

그리고 10 m이후지역에 있어서의 예측치(Y)는

$$Y \propto 10 \log Q.V - C, dB(A) \dots (15)$$

(Q ; 등가교통량, V ; 평균차속, C ; 계수)

로서 교통량과 차속의 증가가 소음도 증가에 따라 동일하게 기여하고 있음을 알 수 있다.

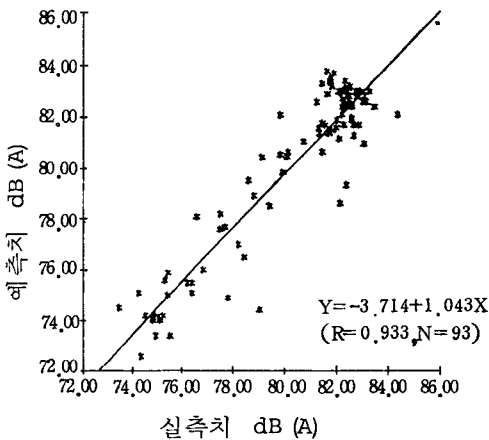


그림 5. 정속주행시 도로단에서 실측치와 예측치의 상관관계

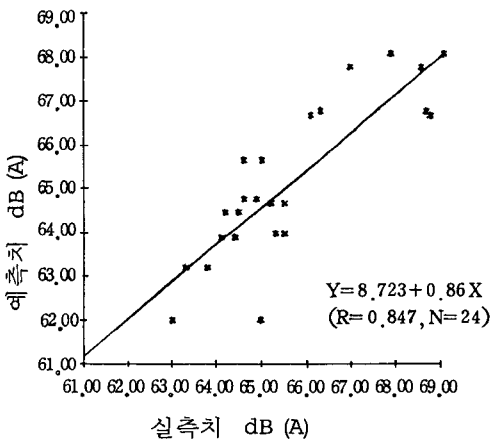


그림 6. 비정속주행 (야간) 시 도로단에서 실측치와 예측치 상관관계

2. 도로연변 환경시설에 의한 소음도 전파양상 가. 완충건물 (아파트) 에 의한 소음분포

1) 아파트의 평행 및 직각배치에 따른 소음분포

도로에 평행 및 직각으로 면하고 있는 아파트지역에서 아파트배후지역 및 아파트간극(間隙)에서 측정된 결과를 도시하면 그림 10 과 같다.

그림 7 은 아파트가 단위면적당 동수가 같고 평행배치된 경우 도로측에 면한 아파트건물에서 회절감쇠 효과가 일어나는 반면, 직각배치된 아파트의 경우 그 효과를 볼 수 있다.

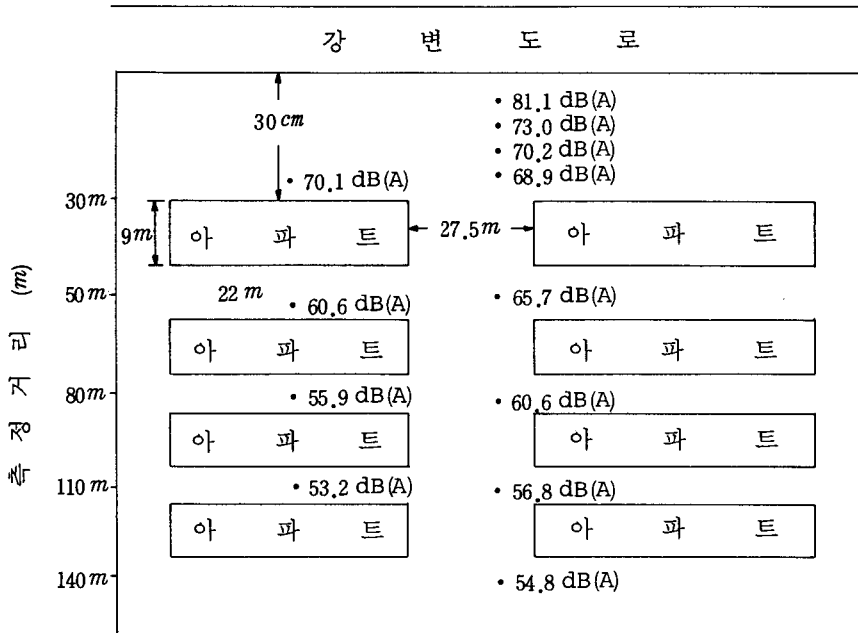
그러나 평행배치로 도로와 면한 아파트는 직각배치의 아파트보다 상대적으로 높은 소음에 노출되고, 높은 소음에 노출되는 주민의 수는 적을 것으로 본다. 왜냐하면 그림 10 에 나타난 것과 같이 평행배치한 것이 직각배치한 경우보다 그 배후지역에서 대략 3~5 dB (A) 정도 감음효과가 나타났다.

평행배치된 아파트의 배후지역에 대한 감음 효과의 이론적 예측은 4) 아파트의 감음효과에서 검토한다.

2) 아파트의 배치에 따른 층별 차음도

도로연변 환경시설 완충물인 아파트의 평행 및 직각배치된 상태에서 층별로 2중창 (二重窓) 의 차음도를 측정된 결과는 표 4 와 같다.

1. 서울 한강맨손아파트 (평행배치)



2. 인천 간석주공아파트 (직각배치)

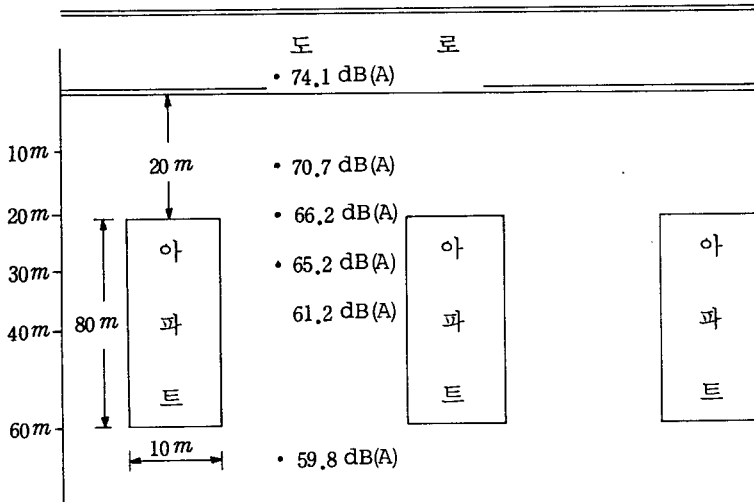


그림 7. 아파트 배치별에 따른 수평 소음분포 Leq dB(A)

표 4 도로연변의 아파트 배치상 태와 층별 차음도

구분 층별	차음도 dB(A)		비 고
	층별배치	직각배치	
1	17.4	14.4	○평행배치 ; 도로 단에서 45 m
3	21.3		
5	22.1	18.2	○직각배치 ; 도로 단에서 65 m
7	22.7		
9	22.8	20.6	○이중창 (알루미늄 및 목재)
11	22.8		
13	22.9	22.4	○창규격 1.5 m × 1.0 m ※측정장소 ; 풍납동 신축이주전 극동 아파트를 대상으로 함
15	23.2		

표 4에서와 같이 완충물(아파트)이 평행 및 직각배치시의 창내의 차음도는 저층(1~3층), 19dB(A) 및 15dB(A), 중간층(5~7층) 22dB(A) 및 18dB(A), 고층(8층 이상)에서 23dB(A) 및 23dB(A) 및 22dB(A)로 측정되고 있어 층수가 증가함에 따라 차음량이 커짐을 볼 수 있는데, 이는 외부소음이 높아지는 원인도 있지만 층수가 높아질수록 도로에서 방사되는 소음이 배란다의 반사와 2중창으로 입사되는 양이 상대적으로 감소되기 때문인 것으로 보이며, 직각배치상태가 평행배치보다 중간층 이하에서 2~4dB(A) 정도 적은 것은 소음이 창에 random 입사(random 입사값이 수직입사보다 일반적으로 5dB(A) 큼, 石井聖光, 1978)하기 때문인 것으로 본다.

3) 아파트 간극(間隙)구역 소음

그림 4의 조건과 같이 아파트의 구조물이 도로단에서 일정거리별 떨어져 있는 상태와 같이 그림 7에서 볼때, 도로교통 소음양상이 구조물간격(평행배치 아파트; 도로단에서 30m 떨어져 도로와 평행배치되고 간격거리 20m)에 따라 거리권별(도로단에서 60m 및 80m 떨어진 지점)로 실측한 값과 예측식(11)(정일록, 1983)에 의한 예측치와의 상관관계를 보면 그림 8과 같다.

그림 8에서 보면 상관성은 0.923으로 매우 높게 나타났고 예측치는 실측치에 ±1dB(A) 이내의 범위에서 수렴하고 있음을 볼 수 있다.

4) 아파트에 의한 감음효과

그림 7에서 도시된 완충물중 서울 한강맨손아파트에서 볼때 도로에 면한 아파트배후 중앙에서의 예측소음도는 식(6)에 의한 외절감쇠치 ΔL_d 22dB(A)와 식(12)에 의한 직접음 감쇠치 (ΔL_{1n} 5.2dB(A)를 식(13)

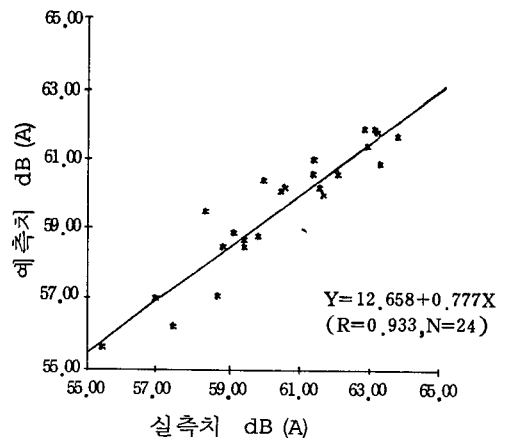


그림 8 . 도로연변의 구조물 간극(間隙)에 의한 측정치와 예측치의 상관관계

에 의해 합성한 삽입손실치 (단,투과손실치, ΔL_t ; 50dB 이상으로 가정) 5.1dB(A) 에 식 (4) 에 의한 거리감쇠치 15.1 dB(A) 를 더한 총감음량 20.2 dB(A) 를 도로단소음도 81.1 dB(A) 에서 뺀 60.9 dB(A) 가 된다.

이 값은 실측치 60.6 dB(A) 와 거의 일치 하였으나 아파트의 규모 등의 상황에 따른 충분한 data 를 얻지 못한 관계로 차후 각 상황별로 조사한후 검증되어야 할 것으로 생각된다.

나. 방음벽의 차음효과

표 5 는 경부고속도로변에 시설된 방음벽의 차음효과를 측정한 결과로서 방음벽이 시설되어 있는 10 m 및 20 m 지점에서 평탄도로일 때 12.5 및 11.4 Leq dB(A), 성토도로에서 3.2Leq dB(A) 의 효과를 보이고 있어 성토에서는 그 효과가 별로 크지 않음을 나타내고 있다.

성토도로에서는 방음벽이 없어도 노견 (7 m 발생원에서 도로끝부분) 이 방음벽의 역할을 함으로 이를 식 (6) 에 의해 회절감쇠치를 계산하여 보면 10 m 위치에서 11.5 dB(A) 로 되어 성토도로에 노견이 없고 소음이 이상적으로 확산된다면 평탄도로와 같은 거리감쇠를 보일 것이다.

한편 방음벽의 삽입손실치 ΔL_1 은 식(6), (7) 및 (12) 으로부터

$$\Delta L_1 = -10 \log \{ 10^{-\frac{(\Delta L_d)}{10}} + 10^{-\frac{(\Delta L_t)}{10}} + 10^{-\frac{(\Delta L_{in})}{10}} \} \dots (16)$$

$$\Delta L_d = -10 \log (10^{-\frac{(\Delta L_{d1})}{10}} + 10^{-\frac{(\Delta L_{d2})}{10}}) \dots \dots \dots (17)$$

가 되며 여기서 $\Delta L_{d1}, \Delta L_{d2}$ 는 방음벽에 의한 직접음 및 반사음의 회절감쇠치이다.

방음벽의 투과손실치를 도로교통소음의 대표주파수인 636 Hz 에서 대략 30dB (주)동성진흥자료참고) 로 가정하고 식 (17)에 의해

표 5 측정지점별 방음벽의 거리권별 회절손실 dB(A)

방음벽무 / 방음벽유

측정지점	도로 구조	L _N	도로단 소음도	10 m		20 m		비 고
				소음도	회절손실	소음도	회절손실	
경부고속도로 143 km 지 점	평탄	L ₁	92.0	83.0 / 68.0	15.3	-	-	L = 180 m H = 4.5 m T = 0.11 m • 내부 ; 그라스울 • 외부 ; 알미늄
		Leq	83.5	75.4 / 62.0	12.5	72.5 / 61.1	11.4	
경부고속도로 131 km 지 점	성토 (H = 8 m)	L ₁	92.0	72.0 / 64.0	8.0	-	-	L = 150 m 기타사항은 위와 동일
		Leq	82.6	63.8 / 60.6	3.2	63.1 / 59.2	3.9	

방음벽 뒤의 10 m 및 20 m 지점에서 삽입 손실치를 계산한 예측치를 보면 표 6 과 같다.

다. 수림대에 의한 감음효과

표 7 은 도로연변에 위치한 수림대에 의한

총감쇠치를 나타낸 것으로 수폭 5 m의 활엽 수림대에서 5.4 dB(A), 10 m의 상록수림대에서 9.4 dB(A)의 감쇠를 보이고 있다.

표 6 측정지점별 방음벽의 거리권별 회절손실치의 예측 및 실측치

측 정 지 점	도로유형	10 m 지 점		20 m 지 점	
		측정치	예측치	측정치	예측치
경부고속도로 143 km 지점	평 탄	12.5	13.5	11.4	11.6
경부고속도로 131 km 지점	성 토	14.8	15.3	13.3	12.1

주) 성토도로의 삽입손실치의 실측치란 방음벽이 없을때의 평탄도로 실측치에서 방음벽을 시설한 성토도로의 방음벽에서 10 m 및 20 m 지점의 실측치를 뺀 값이다.

표 7 수폭에 의한 수림대의 감음치

수폭(m)	감쇠치 dB(A)	비 고
5	5.4	활엽수
10	9.4	상록수

그림 9 에서 보면 거리감쇠(감선) (국립환경연구원, 1984)와 비교하여 수림대만에 의한 감음효과를 보면 수폭 5 m의 활엽수에서 1 dB(A), 수폭 10 m의 상록수대에서 2 dB(A) 감음효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

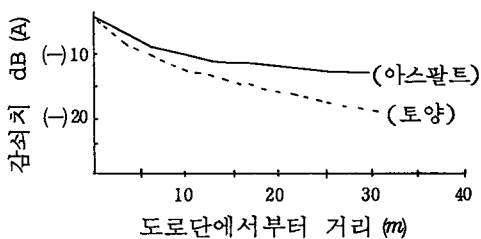


그림 9 . 거리권별 및 도로면별에 의한 감음

IV . 결 론

도시 산업화의 급성장에 따라 인구의 증가와 급증된 교통량으로 주요간선도로 연변에 도로교통소음이 환경기준을 초과하고 있어 지역적으로 커다란 사회문제를 초래하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 도로교통소음에 의한 저감 방안으로 주요간선도로변의 차음벽, 완충물 아파트와 수림대에 의한 소음저감을 조사 연구를 하기 위하여 도로교통소음의 예측 모델을 토대로 교통우심지역인 서울과 인천지역내 일부아파트단지 주변에 대하여 소음환경 인자의 상관성을 평가하여 당해지역의 완충물에 대한 합리적인 저감방안과 방음벽의 차음효과 및 수림대의 감음효과에 관하여 1987년 3월부터 1987년 10월 30일까지 조사 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 도로단지역의 환경소음기준과 비교하면 서울의 강변로 낮시간대가 12.8~18.2 dB(A), 밤시간이 19.0~26.9 dB(A)였고, 인천 지역의 낮시간이 6.7~9.6 dB(A), 밤시간대가 7.9~18.9 dB(A)의 차로 환경기준치를 초과하고 있어 서울지역이 인천지역 보다 크게 나타났다.

2. 도로연변 환경시설 완충물(緩衝物)은 도로단(道路端)에 따라 평행으로 배치하면 직각으로 배치된것 보다 배후지역에서 3~5dB(A) 정도 낮게 되었으나 도로단과 면하는 방향에서는 높게 나타나고 있다.

3. 아파트의 이중창(二重窓)에 의한 층별 효과는 층수가 증가함에 따라 차음량이 커지고 있으며, 이중창으로 입사되는 량이 상대적으로 감소하는 이유는 소음이 창(窓)에 random 입사되는 원인으로 보였다. 또한 아파트의 직각배치가 평행배치보다 2~4 dB(A)의 차는 도로단으로부터 교통소음량에 의한 수음(受音)의 창(窓)에 간접 입사된 이유로 보였다.

4. 아파트 구조물의 간극(隙間)구역에 의한 소음도는 예측식 $\Delta L = -10 \log(I'1/I1)$ 에 의거 계산 결과 실측치와의 상관계수는 0.923으로 매우 높게 나타났으며 예측치와 실측치의 차는 ± 1 dB(A) 범위로 매우 적합도가 높았다.

5. 아파트에 의한 차음효과에 있어 도로에 면한 아파트의 배후 중앙에서 예측소음도 회절감쇠치, ΔL_d , 직접음감쇠치 ΔL_{in} , 삽입손실치 ΔL_1 (단, 아파트의 투과 손실치 ΔL_t ; 50 dB(A)로 가정)를 도로단 10 m 이상 거리의 교통소음예측식에 의한 거리감쇠치 ΔL_l 로 계산한 총감음량을 합한 예측

치가 60.9 dB(A)이나 실측치는 60.6 dB(A)로 거의 유사한 관계를 나타냈으나 충분한 조사와 검증의 필요성이 예상되었다.

6. 정속주행시 도로변에서 도로교통소음예측을 소형차와 대형차의 소음도 예측식 계산은 다음과 같았다.

$$Leq(1hr) (=L_{50}) = 10 \log(10^{L_P/10} + 10^{L_B/10})$$

비정속주행시에는 5dB(B) 더하여 예측하면 실측치와의 비교가 되었다.

도로단에서 10 m 이상 거리에서는 정속주행시 예측식은 다음과 같았다.

$$Leq(1hr) = 1.1\{20 + 10 \log(Q \cdot V/l)\} - 9 \log \cdot r_{a-c}$$

비정속시에는 3.5dB(A)를 더하여 예측하면 합리적으로 나타났다.

7. 방음벽(차음형)의 삽입손실은 평탄 도로인 경우, 벽으로부터 10 m 이상 거리에서 12.5 Leq dB(A), 성토인 경우에는 3.2 Leq dB(A)로서 효과가 별로 크지 않았으나 성토 도로에서는 방음벽이 없어도 로건(路肩)이 방음벽의 역할을 하는 것으로 예상되었다.

8. 수림대의 감음효과는 수폭 10 m의 상록수 수림대에서 2dB(A) 수폭 5 m의 활엽수림대에서 1dB(A)의 내외로 보이고 있으므로 수폭이 적은 경우에는 기대효과가 없는 것으로 보였다.

이상의 결과를 종합하여 보면 교통우심지역의 도로교통소음도는 환경기준을 크게 초과하고 있어 이에 대한 대책이 있어야 겠다.

환경시설 완충물에 의한 차음관계가 도로단에서부터 거리권 별위치에 따라 저감의 효율성이 예상되었고, 아파트의 이중창에 의한 차음효과는 크게 나타났다.

그리고 방음벽의 설치는 도로구조에 따라 설치하기 전에 예측한 후 설비하는 것이 효과적인 차음대책을 기대할 수 있었고 수림대는 수종(樹種)에 의한 감음대책이 예상되었다.

그러므로 앞으로 계속 이 분야에 더 많은 조사연구가 이루어져야겠다.

참 고 문 헌

- 건설부, 건설통계편람, 1986.
- 이종우, 정일록, 설증민, 오수태, 김양균, 신보균, 교통소음 도심지역의 소음도조사연구, 국립환경연구원, 1982, pp. 21 ~ 54.
- 이종우, 정일록, 설증민, 이우석, 김양균, 정성웅, 고석민, 道路交通騒音を低減을爲한 綜合對策에 關한 研究, 國立環境研究院, 1987, pp. 15 ~ 43.
- 鄭一錄, 有限障壁에 의한 直線道路交通騒音의 低減效果에 關한 研究, 한양대학교 석사논문, 1983, pp. 5 ~ 9.
- 趙漢寅, 道路交通騒音 예측모델, 1984, p. 2.
- 조윤승, 정일록, 설증민, 반무복, 차일환, 옥치환, 조강래, 배정오, 임근상, 동종인, 최병찬, 신규제작 및 사용과정 차종별 소음도 조사연구, 국립환경연구원, 1981, pp. 25 ~ 78.
- 車日煥, 騒音, 振動, 世光社, 1980, pp. 120 ~ 122.
- 環境廳, 環境保全部分計劃 (1987 ~ 1991), 1987. pp. 81.
- 守田 榮, 新版騒音と騒音防止 (第3版), オーム社, 1985. pp. 239 ~ 244.
- 日本建築學會編, 騒音の評價法, 彰國社, 1981, pp. 65 ~ 110.
- 日本建築學會, 實務的騒音對策指針, 技報堂出版(株), 1975, pp. 36 ~ 37.
- 日本東京都公害研究所, 公害研究報告書, 騒音編, 1976, pp. 57.
- 子安 勝, 石井 聖光, 西宮 元, 五寸嵐 壽一, 時田 保夫, 騒音, 振動, (上下卷), ユロナ社 1982, pp. 36 ~ 70.
- 前川 純一, 日本音響學會誌, 1973, 18.4, p. 207.
- 上屋 彰男, 幹線道路にあける治道環境整備, 公害と對策, 1981: 17(2): pp. 39 ~ 43.
- 平野 與彦, 道路交通騒音の豫測と對策, 産業と環境, 1983: 12(2): pp. 78 ~ 86.
- 環境技術研究會, 騒音振動豫測手法, 環境アセスメントマニュアル, 1978, pp. 605 ~ 623.
- Beranck LL, Noise and Vibration, Control: McGraw, 1986, pp. 168.
- Bruel & Kjaer, Architectural Acoustics, 1978, pp. 91 ~ 95.
- Bruel & Kjaer, Acoustic Noise Measurements, 1979, pp. 180.
- Harris CM, Handbook of Noise Control, McGraw, 1979, pp. 32 ~ 1.
- Ingard UJ, Acous. Soc. Am, 1951, 23, 3 & J. Acous Am, 1953, 25, 3, 405.
- Kurze UJ, Anderson GS, Sound Attenuation by Barrier, Applied Acoustic, 1971: 4: 35.
- May DN, The Optimum Weight of Highway Noise Barriers, J. J. Sound & Vib, 1980, 68: 6

Rathe EJ, Note on Two Common Problems of Sound propagation, J. and Sound & Vib, 1969, 10:474.
Robert SJ, Noise and Vibration Control in Buildings, McGraw, 1984

pp. 225 ~ 249.

Yerges LF, et al, Sound, Noise & Vibration Control, VAN NOSTRAND REINHOLD CO, 1969, pp. 33 ~ 34.