

두 개의 각주형 건물에 의한 도로교통소음의 감쇠에 관한 연구

김 화 일

부산가톨릭대학교 산업환경시스템학부
(2002년 11월 13일 접수; 2003년 1월 20일 채택)

A Study on the Attenuation of Road Traffic Noise with two Pillar Buildings

Hwa-Il Kim

School of Environmental System Engineering and Industrial Health, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea
(Manuscript received 13 November, 2002; accepted 20 January, 2003)

When houses or buildings are adjacent to roads, with no effective prevention of road traffic noise, neighbors are exposed to it. It is important to understand the properties of sound propagation before taking a counter-measure against road traffic noise. It is easy to estimate the properties of sound propagation without obstacles, but very difficult and complex to estimate them with ones. The purpose of this study is to present a useful tool that can estimate the properties of sound propagation. In the beginning of this study, we investigated the attenuation of road traffic noise with two pillar buildings, and presented practical approximate calculation method, and verified that through scale model.

The outcomes from this study are as follows : (1) Over second reflection sound waves can be ignored. (2) Diffraction sound waves that happen when reflection sound and first diffraction wave are projected at the wedge of other building can be ignored.

Key words : Road traffic noise, Attenuation, Diffraction, Reflection, Scale model

1. 서 론

1.1. 연구의 목적

주택지나 건물 등이 도시의 일반도로에 접할 때, 도로교통소음에 대한 유효한 방지책이 없을 경우, 항상 열악한 음환경의 상황에 놓이게 된다. 이러한 지역의 주택지 등에 소음방지대책을 계획하는 경우에는 계획단계부터 도로교통소음을 고려하여야 한다. 예를 들면, 도로연도에 대형건축물이 있을 경우, 그 건축물 자체가 소음차단의 완충역할을 하게 된다. 이러한 점을 고려하여 소음방지대책을 세울 때 건물들에 의한 소음의 전달 특성을 파악하여 그 배후의 소음예측이 가능해야 한다.

완충건물에 의한 소음감쇠효과를 예측할 경우 건물에 의한 소음의 회절감쇠량을 구할 필요가 있다.

음파의 회절에 대한 연구는 많이 있으나, 비교적 단순한 형태의 건축물의 경우에도 회절음장을 구하기 위한 계산식은 복잡하여 소음방지를 고려하면서 건물배치계획을 수행할 경우에는 적용하기가 어렵다. 도로변에 건물 한 개가 존재할 경우의 음장은 비교적 높은 정도로 예측가능하다¹⁾.

이러한 관점에서 본 연구에서는 도로연도에 건축물을 배치되어 있을 경우의 배후지역에 대한 소음감쇠효과를 파악하고, 아울러 도로교통소음 방지설계지침을 제시함을 최종 목표로 한다.

1.2. 연구의 방법

본 연구에서는 우선 기초 단계로 두 개의 각주형 건물이 도로에 세워졌을 때의 경우에 대해 해석을 하고자 한다. 두 개의 각주형 건물의 주변 특히, 건물의 배후의 소음레벨을 계산하는 방법에 대해 검토한다. 두 개의 건물에 의한 회절음장을 물리적으로 정확히 구하는 것은 곤란하다. 따라서 몇 가지의 근사계산법²⁻⁴⁾을 도입할 필요가 있다. 먼저, 건물이

Corresponding Author : Hwa-Il Kim, School of Env. Sys. Eng. and Industrial Health, Catholic University of Pusan, Busan 609-757, Korea
Phone : +82-51-510-0632
E-mail : hikim@cup.ac.kr

두 개가 있을 때 발생하는 음장의 특징에 관해서 고찰하고 이를 바탕으로 건물주변에 있어서의 도로교통소음의 소음레벨을 계산할 수 있는 실용적인 근사방법을 고려한다. 그리고, 제안하는 근사계산의 타당성을 실험적으로 검증한다. 또한, 그 계산방법을 도로교통소음에 적용하여 도로주변의 두 개의 각주형 건물이 있을 때, 건물 배후의 소음레벨을 시뮬레이션에 의해 구하고자 한다.

2. 두 개의 각주형 건물주변에서의 도로교통소음의 계산

2.1. 두 개의 각주형건물에 의한 회절음장

소음레벨의 계산에 있어서, 직접음에 대해서는 음원과 수음점을 연결하는 직선상에 장애물(건물)이 없으면 직접음을 계산한다. 간접음은 먼저, 기하학적 경로가 존재하는 1차 반사음을 계산한다. 두 개의 건물이 인접하고 있기 때문에 이론적으로는 2차 이상의 다중 반사음이 존재하지만, 기하학적 경로가 존재하는가 아닌가를 판단하는 것이 복잡하며, 2차 이상의 반사음은 건물외벽의 반사율이 적어지면 그만큼 적어진다. 또한, 건물배후의 수음점에서는 다중 반사음의 기여는 적다는 것을 예상할 수 있으므로 다중 반사음은 계산에서 고려하지 않는 것으로 한다. 다중 반사음을 고려하지 않는 관계로 건물사이의 영역은 건물상호의 반사음의 영향이 크므로 예측정도가 나쁠 것으로 예상된다.

회절음에 대해서는 음원에서 보이는 edge에 의한 회절음을 2차 회절음까지 계산하는 것으로 한다. 단, 수음점으로부터 회절음을 발생시키는 edge가 보이지 않는다면 건물상호의 회절음 또는 3차 이상의 회절음이 되기 때문에 계산에서 제외한다. 두 개의 건물이 인접하고 있기 때문에 건물외벽의 1차 반사음이 다른 건물의 edge에 입사하는 회절음도 이론적으로는 존재하지만, 그 기여는 무시하여도 될 정도로 적으므로 계산에서 제외한다.

2.2. 두 개의 각주형 건물에 의한 회절음장의 계산법

다음에서 두 개의 각주형 건물에 의한 회절음장의 계산방법을 제안한다.

$$\begin{aligned} \phi = & FU_0^d + \sum_{m=1}^2 \{ \sum_{i=1}^4 G_i^m U_i^m \\ & + C_1^m (D_1^m U_1^d + D_2^m U_{12}^d + D_4^m U_{14}^d) \\ & + C_2^m (D_2^m U_2^d + D_3^m U_{23}^d + D_1^m U_{21}^d) \\ & + C_3^m (D_3^m U_3^d + D_4^m U_{34}^d + D_2^m U_{32}^d) \\ & + C_4^m (D_4^m U_4^d + D_1^m U_{41}^d + D_3^m U_{43}^d) \} \end{aligned} \quad (2.1)$$

여기서, m 은 건물번호를 나타낸다. 식(2.1)의 제1항의 U_0^d 는 직접음이고, 계수 F 는

$$F = \begin{cases} 1 ; \text{수음점에서 음원이 보일 때} \\ 0 ; \text{수음점에서 음원이 보이지 않을 때} \end{cases}$$

이며, 제2항의 U_i^m 는 각 건물의 면 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 (각각 $i=1, 2, 3, 4$)에 의한 1차 반사음이며, 계수 G_i^m 은

$$G_i^m = \begin{cases} 1 ; \text{건물 } m \text{의 면 } i \text{의 허음점과 수음점을} \\ \text{연결하는 선이 반사면과 교차할 때} \\ 0 ; \text{교차하지 않을 때} \end{cases}$$

이며, 제3항 이후는 회절음을 나타내는데 U_j^d 는 건물 m 의 edge j 에 의한 1차 회절음, U_{j_1, j_2}^d 는 건물 m 의 edge j_1 과 edge j_2 에 의한 2차 회절음을 나타낸다. 계수 C_j^m 은

$$C_j^m = \begin{cases} 1 ; \text{음원에서 건물 } m \text{의 edge } j \text{가 보일 때} \\ 0 ; \text{보이지 않을 때} \end{cases}$$

이며, 계수 D_j^m 는

$$D_j^m = \begin{cases} 1 ; \text{수음점에서 건물 } m \text{의 edge가 보일 때} \\ 0 ; \text{보이지 않을 때} \end{cases}$$

이다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 나타낸 것과 같은 배치의 경우를 예로서 식(2.1)을 설명한다.

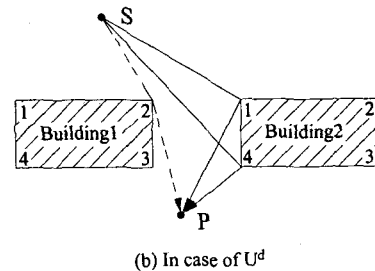
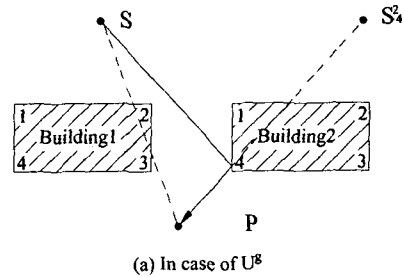


Fig. 1. Diffraction field of two pillar buildings (U^B , U^d)

두 개의 각주형 건물에 의한 도로교통소음의 감쇠에 관한 연구

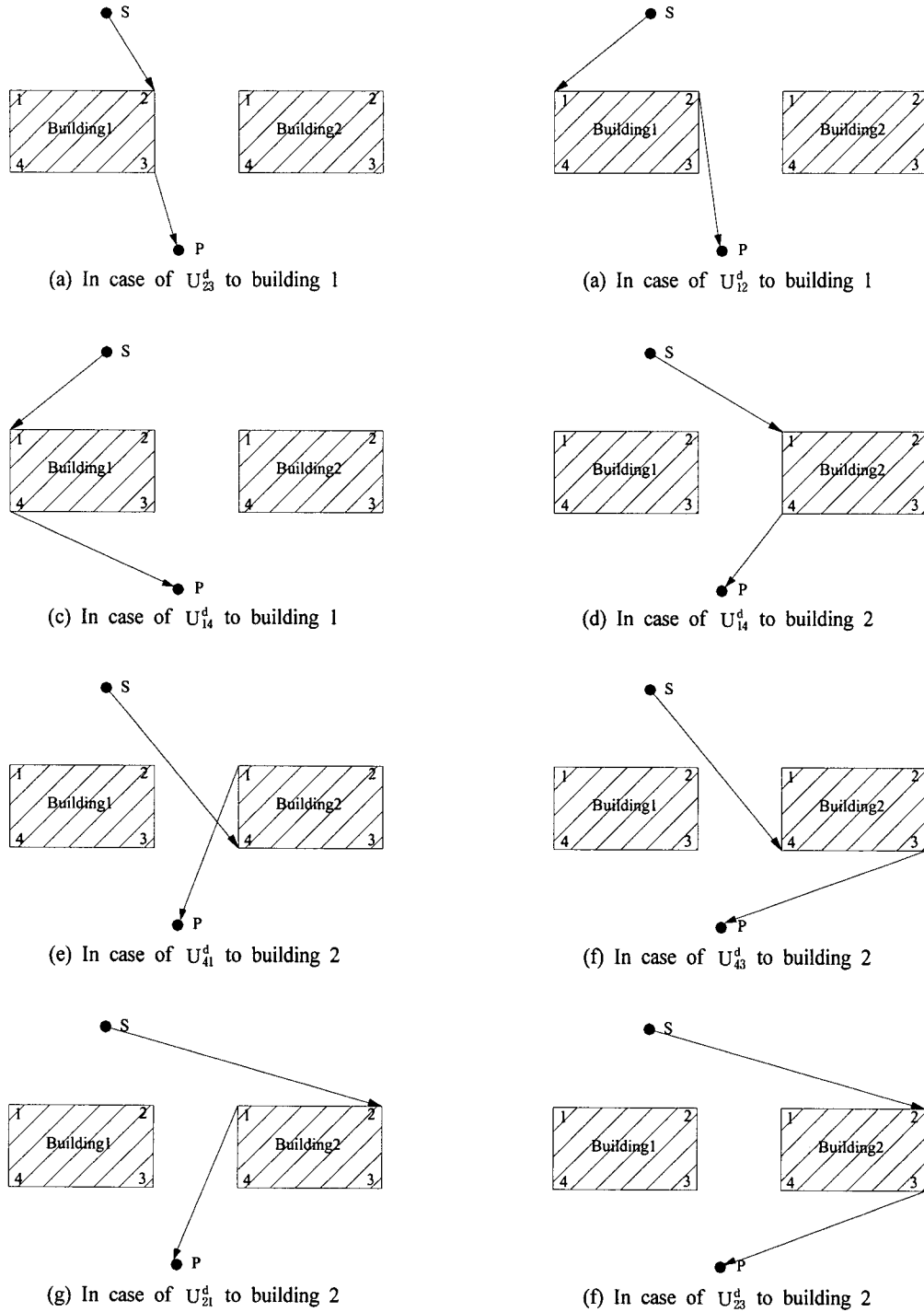


Fig. 2. Diffraction field of two pillar buildings (U_{ii}^d).

기하학적음파에 관해서는 수음점 P 로부터 음원 S 는 보이지 않기 때문에 직접음 U_{SP}^d 의 기여는 없다.

건물 2의 면 4(edge 4-1)의 허음원 S_4^d 와 수음점 P 을 연결하는 선은 면 4와 교차하므로 1차 반사음

U_{12}^d 는 있지만, 그 밖의 반사음은 없다. 또한, 2차 이상의 반사음은 고려하지 않는다. 다음은 회절음인데, 먼저 건물 1에 대해서는 음원 S로부터 보이는 edge는 1, 2 이며, 수음점 P로부터 보이는 edge는 2, 3, 4 이므로 edge 2의 1차 회절음 U_{21}^d , edge 2-edge 3의 2차 회절음 U_{23}^d , edge 1-edge 2의 2차 회절음 U_{12}^d , edge 1-edge 4의 2차 회절음 U_{14}^d 를 고려한다. 동일하게 건물 2에 대해서는 음원 S에서 보이는 edge는 1, 2, 4 이며 수음점 P에서 보이는 edge는 1, 3, 4 이므로, edge 1의 1차 회절음 U_{11}^d , edge 4의 1차 회절음 U_{41}^d , edge 1-edge 4의 2차 회절음 U_{14}^d , edge 4-edge 1의 2차 회절음 U_{41}^d , edge 4-edge 3의 2차 회절음 U_{43}^d , edge 2-edge 1의 회절음 U_{21}^d , edge 2-edge 3의 2차 회절음 U_{23}^d 를 고려한다. 그런데, 여기에서는 평면도(2차원의 그림)를 이용하여 설명했지만 실제의 계산에서는 3차원적인 계산이 필요하다. 음원과 수음점의 높이가 다른 경우에는 음원에서 수음점에 이르는 최단경로가 edge와 교차하는 점을 구하지 않으면 안된다.

3. 실험적 검토

계산방법의 타당성을 검증하기 위하여 실험을 하였다. Fig. 3과 같은 간이 무향실(바닥은 Glass Wool 100mm 두께로 흡음처리)에 Jet Noise를 방사하고 각주형 건물(0.38m × 0.34m × 2.1m : 음향적으로는 높이가 충분히 높다고 생각된다)을 두 개 배치하였다. 건물 사이의 12점에서 1/3 Octave Band의 음압레벨을 측정하였다. 측정중심주파수는 4kHz, 5kHz이며 수음점과 음원은 동일한 높이 1.0m이다. 실험결과와 비교하기 위하여 실험에 이용한 Jet Noise의 1/12 Octave Band 대역별로 주파수특성을 측정하였다. 측정에서 얻은 PWL을 이용하여 각 수음점에서의 1/12 Octave Band 각주파수의 음압레벨을 계산하고 이를 합성하여 1/3 Octave Band 음압레벨을 구하였다. 계산결과와 실험결과와의 비교는 Table 1에 나타내었다.

Fig. 4에 나타낸 것과 같이 반사음과 회절음의 종류에 따라서 수음점을 3그룹으로 나누어 생각한다. 영역 I의 수음점(1, 2, 3, 4, 9, 10)에서는 계산치와 실험치의 차는 평균 1.6 dB로서 비교적 크게 나타났다. 이는 건물 I과 건물 II의 양방의 반사음이 있으

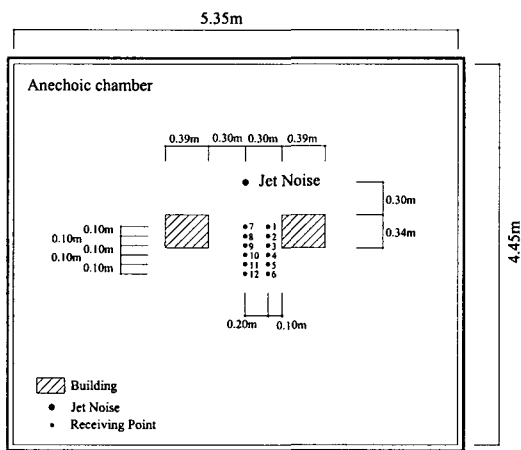


Fig. 3. Layout of experiment.

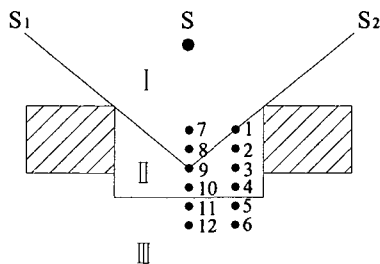


Fig. 4. Grouping of receiving points.

Table 1. Comparison between calculation and experiment value

측정점 번호	주파수(kHz)	계산치(dB)	실험치(dB)	오차(dB)
1(I)	4	56.7	56.5	0.2
	5	59.5	59.5	0.0
2(I)	4	56.9	57.0	-0.1
	5	54.8	55.5	-0.7
3(I)	4	55.6	53.5	2.1
	5	58.1	60.0	-1.9
4(I)	4	57.6	55.5	2.1
	5	62.1	60.0	2.1
5(III)	4	52.7	52.0	0.7
	5	59.9	59.0	0.9
6(III)	4	50.4	50.0	0.4
	5	55.3	56.0	-0.7
7(II)	4	56.1	56.5	-0.4
	5	59.9	61.0	-1.1
8(II)	4	52.7	54.0	-1.3
	5	58.1	59.0	-0.9
9(I)	4	46.6	50.0	-3.4
	5	59.7	58.0	1.7
10(I)	4	44.6	52.5	-7.9
	5	58.6	58.5	0.1
11(III)	4	52.1	52.5	-0.4
	5	59.3	59.0	0.3
12(III)	4	57.6	56.5	1.1
	5	59.7	59.5	0.2

나 계산에서는 1차 반사음만을 고려한 결과라고 여겨진다. 영역 II의 수음점(7, 8)에서는 오차가 평균 0.9dB로서 비교적 부합한다. 이 영역은 기하학적음은 직접음이므로 직접음의 기여가 크기 때문이라고 생각된다. 영역 III의 수음점(5, 6, 11, 12)에서는 오차가 0.6dB로서 잘 부합하고 있다. 이는 건물상호의 다중 반사음은 존재하나 전달경로가 긴 관계로 그 영향이 적어졌다고 생각된다.

이상과 같이, 본 계산방법은 다중 반사의 영향이 크게 나타나는 영역에서는 예측정도가 예상대로 나쁘게 나타나지만 그 외의 영역에서는 실용적으로 충분한 정도를 갖고 있다고 말할 수 있다.

도로교통소음계산에서는 음원이 도로상을 이동할 때 수음점에서의 소음레벨변동을 등가소음레벨로 구하므로 본 계산방법으로 충분하다고 생각된다.

4. 도로교통소음에 대한 적용(점음원의 경우)

전술한 계산방법을 도로교통소음에 적용하여 도로주변에 두 개의 각주형 건물이 존재할 경우 건물배후의 소음레벨을 검토하였다.

4.1. 계산모델

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 도로연도에 두 개의 각주형 건물이 있을 때를 상정하였다. 지표면의 영향은 무시한다.

(1) 음원

음원은 점음원으로 상정하였다. 주파수특성은 ASJ Model 1993⁵⁾에 따라 정하였으며 주파수는 62.5Hz~4.0kHz까지(1/10 Octave 계열)의 61개의 순음에 대해 각각의 A특성음압레벨을 구해 이것을 합성하여 소음레벨 $L_A(dBA)$ 로 하였다. 음원은 S_1, S_2, S_3 의 3종류로 모두 높이는 지상 0m로 하였다.

(2) 건물

건물은 S-1(10m×10m(높이는 무한))과 S-2(10m

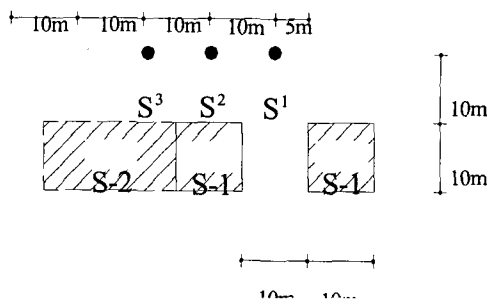


Fig. 5. Model of calculation (two buildings, point source).

×30m(높이는 무한))의 2종류로 하였다. S-1을 두 개 또는 S-1과 S-2 각각 한 개씩 배치하였다.

(3) 수음점

수음점의 높이는 0.0m로 하였다.

4.2. 결과 및 고찰

시뮬레이션으로 계산한 소음레벨의 분포는 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 나타내었다. 점음원의 PWL을 0dBA로 한 경우의 상대레벨을 나타낸다. 건물배후에 있어서의 소음레벨분포를 잘 나타내고 있다.

5. 도로교통소음에 대한 적용(선음원의 경우)

4장에 이어서 음원을 선음원으로 상정하고 시뮬레이션을 행하였다.

5.1. 계산모델

Fig. 9에 나타낸 것처럼 길이 100m의 1차선 직선 도로의 연도에 두 개의 각주형 건물이 있는 경우를 상정하였다. 지표면의 영향은 없다고 가정하였다.

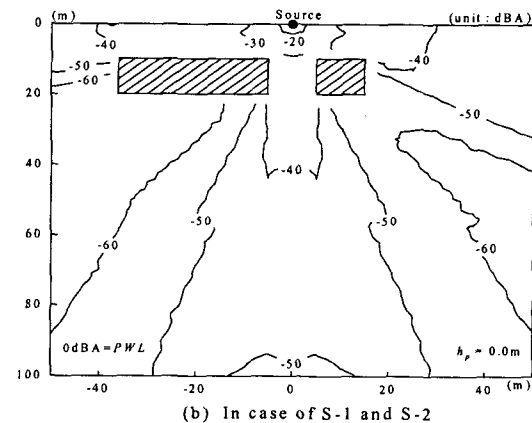
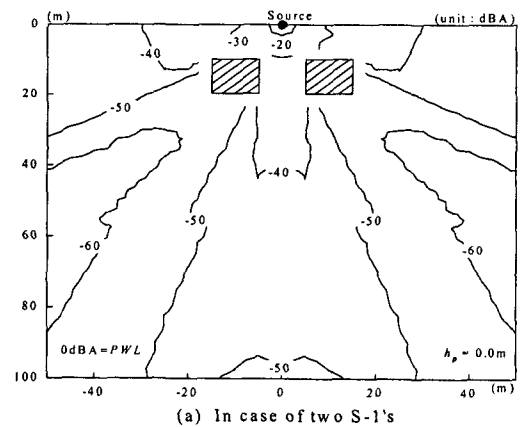


Fig. 6. Contour of Noise level (source S_1).

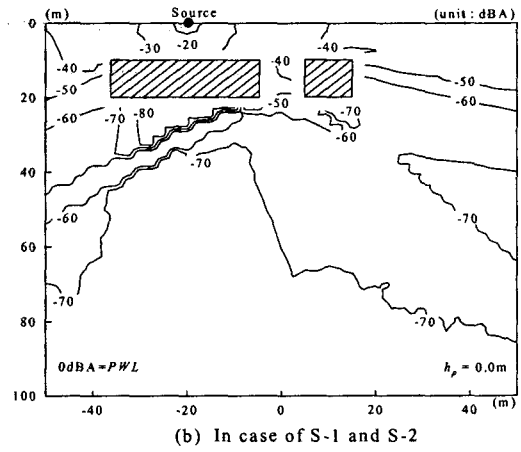
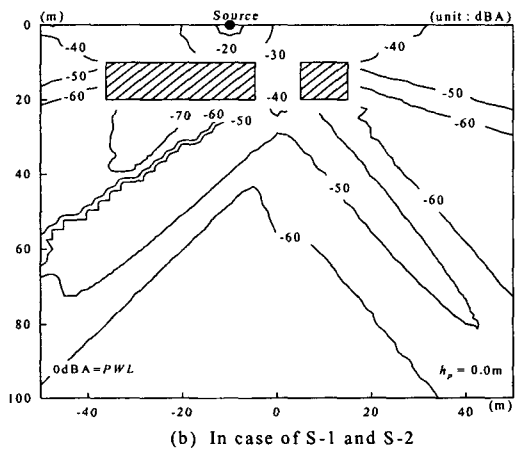
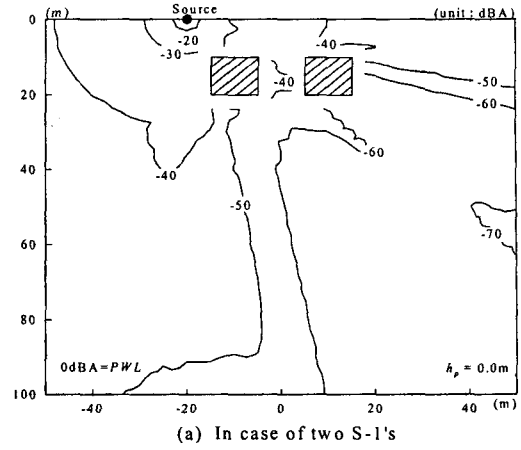
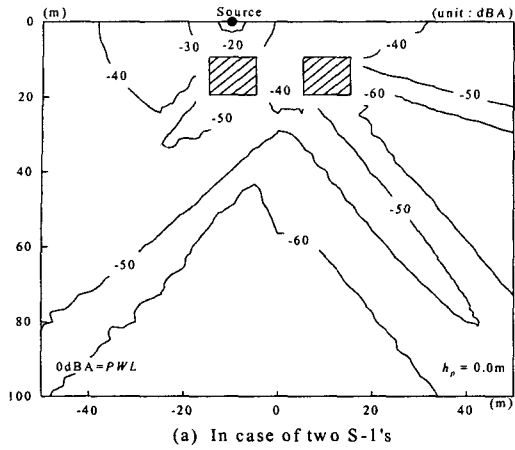


Fig. 7. Contour of Noise level(source S₂).

Fig. 8. Contour of Noise level(source S₃).

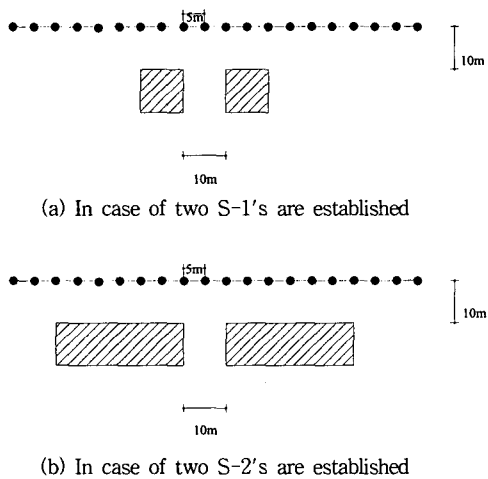


Fig. 9. Model of calculation(two buildings, line source).

(1) 음원

음원은 선음원이지만, 시뮬레이션에는 충분히 작은 간격(5m)의 점음원이 21개 있다고 계산하였다. 도로교통소음의 주파수특성은 ASJ Model 1993에 따른 것이고, 주파수 62.5Hz에서 4.0kHz까지(1/10옥타브계열)의 61개의 순음에 대해서 각각의 A특성음압레벨을 구하고 이것을 합성해서 소음레벨 L_A(dBA)로 하였다. 음원의 높이는 지상 0m로 하였다.

(2) 건물

건물은 4장과 동일하며, S-1을 두 개, S-2를 두 개씩 배치하였다.

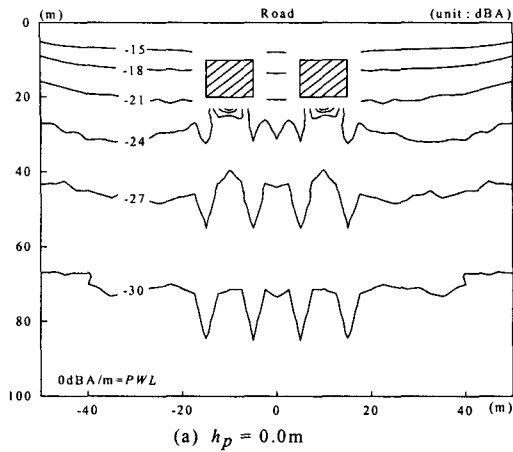
(3) 수음점

수음점의 높이는 0.0m, 10m의 2종류로 하였다.

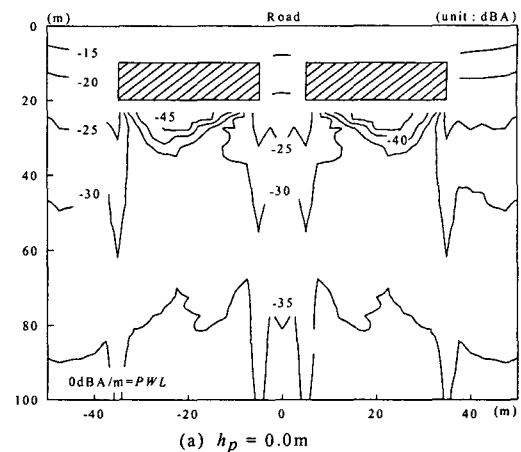
5.2. 결과와 고찰

시뮬레이션에서 구한 소음레벨의 분포를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 선음원의 단위길이(1m)당

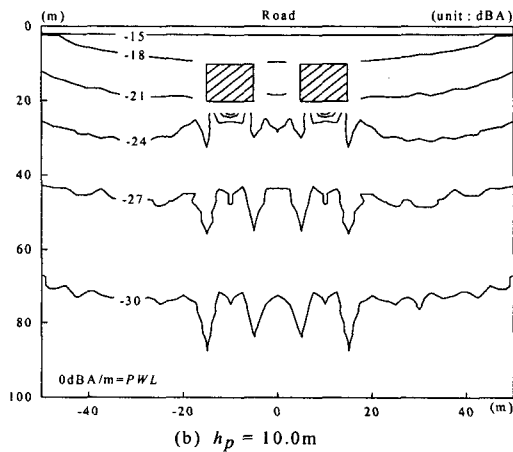
두 개의 각주형 건물에 의한 도로교통소음의 감쇠에 관한 연구



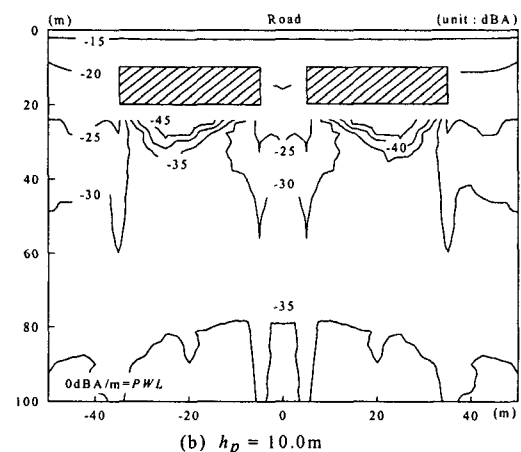
(a) $h_p = 0.0m$



(a) $h_p = 0.0m$



(b) $h_p = 10.0m$



(b) $h_p = 10.0m$

Fig. 10. Contour of Noise level(two S-1 buildings).

Fig. 11. Contour of Noise level(two S-2 buildings).

의 파워레벨을 0dB(A)로 하였을 때의 상당레벨로서 나타내고 있다.

건물 사이의 영역은 예측오차가 크다고 생각되기 때문에 어디까지나 참고하기 바란다. 그림에서 건물 배후에서의 소음레벨의 감쇠상태를 잘 알 수 있다. 건물에서 조금 떨어진 지점에서도 소음레벨의 분포에 큰 기복이 나타나는 것은 선음원모델을 이산적 점음원으로 치환해서 계산할 때의 음원간격과 계산하는 수음점의 mesh의 크기에 기인하는 것으로서 양자를 더욱 세밀하게 설정하면 보다 부드러운 분포를 얻을 수 있다(큰 간섭모양은 생기지 않는다)고 생각한다.

도로에서의 거리가 먼 경우에는 수음점의 높이가 높아도 소음레벨의 분포에는 큰 차이가 보이지 않는다. 이것은 음원을 선음원으로 상정하고 있으며 건물높이도 무한하다고 가정하기 때문이다.

6. 결 론

도로주변에 두 개의 각주형 건물이 서 있는 경우에 대하여 두 개의 각주형 건물의 주변 특히, 건물 배후(도로와 반대측)에서의 소음레벨을 계산하는 방법에 관해서 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 두 개 건물 사이의 영역 이외에서는, 반사음이 존재하지만 전달경로가 길기 때문에 2차 이상의 반사음은 무시할 수 있다.
- 2) 반사음과 1차 회절음이 다른 건물의 edge에 입사하고 생기는 회절음도 무시할 수 있다.

이러한 결과에서, 도로주변의 두 개의 각주형 건물에 의한 도로교통소음은 2.2절의 방법으로 계산 가능하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2000년도 부산가톨릭대학교 교내연구

김 화 일

비에 의하여 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 김화일, 1998, 도로주변의 건물에 의한 도로교통 소음의 감쇠, 한국환경과학회, 28-32.
- 2) 前川純一, 1962, 障壁(塀)の遮音設計に関する實驗的研究, 日本音響學會誌, 18.
- 3) 川井孝雄, 1979, 建物等の形態を考慮した屋外伝搬騒音分布豫測 (その 5), 竹中技術研究報告, 22, 16-26.
- 4) 川井孝雄, 1978, 厚みのある障壁及び角柱による回折音場, 日本音響學會誌, 34, 369-375.
- 5) 曾根敏夫, 香野俊一, 岩瀬昭雄, 1994, 自動車走行騒音のパワーレベルとスペクトル, 日本音響學會誌, 50, 233-239.