

〈논 문〉

고층 건물에 인접한 방음벽의 삽입손실에 관한 연구

A Study of Barrier Insertion Loss Near a High Rise Building

진 병 주* · 김 현 실** · 김 상 렬**

Byung-Joo Chin, Hyun-Sil Kim and Sang-Ryul Kim

(1999년 8월 5일 접수 : 2000년 1월 6일 심사완료)

Key Words : Noise Barrier (방음벽), Insertion Loss(삽입손실), BEM(경계요소법), Diffraction(회절)

ABSTRACT

In this paper performance of the noise barrier which is 53 m long and 6 m high, and is located between the high rise apartment and road, is studied by using experimental and analytic method. The insertion loss is measured by using the direct method in accordance with the ISO code, while theoretical prediction is based on Muradali and Fyfe's method (Applied Acoustics, Vol. 53, 49~75, 1998). In addition to the diffraction at the top of the barrier, the waves are reflected infinite times between the building and the barrier, which is equivalent to replacing the building by the infinite series of the image receiver points. In two-dimensional study, the prediction of the insertion loss results in significantly overestimated values compared with the measurement. However three-dimensional analysis shows reasonable agreements, where traffic noise is assumed as incoherent line source and the length of the source is larger than that of the barrier.

1. 서 론

생활 수준이 향상됨에 따라 사람들은 삶의 질적인 측면에 더욱 관심을 보이게 되는데 거주지역 및 근무환경에서 발생하는 각종 소음공해는 쾌적한 삶을 저해하는 큰 요인이 되고 있다. 도시생활에서 소음의 원인 중 큰 비중을 차지하는 것이 도로소음으로 차량에서 발생하는 소음을 차단하기 위한 방법으로 방음벽이 널리 사용되고 있다. 기존의 방음벽은 대부분 도로와 주택가 사이에 설치하지만 대도시의 도심에서는 도로 또는 전철선로에 인접한 고층 빌딩이나 고층 아파트의 소음을 줄이고자 설치하는 경우도 많으며 따라서 방음벽 위치도 주택가 경우보다 건물에 더 가깝고 고층 건물에 의한 반사음이 중

요한 역할을 한다.

방음벽의 설치로 인한 소음감소는 삽입손실로 나타내며 측정방법⁽¹⁾은 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 크게 구별될 수 있다. 직접적인 방법은 방음벽이 세워지기 전과 후에 같은 위치에서 도로소음을 직접 측정하여 차이를 구하는 것이고, 간접적인 방법은 이미 방음벽이 설치된 경우 설치전의 도로소음레벨은 현장상황과 유사한 다른 장소에서 측정하는 등 그와 동등한 조건의 상황을 구현하여 삽입손실을 얻는 방법이다. 보통 실제 상황에서는 이미 세워진 방음벽에 대해 그 성능을 측정하는 경우가 대부분으로 간접적인 방법을 많이 이용하는데, 방음벽이 세워지기 전과 유사한 환경을 찾는 것은 특히 도심에서는 매우 어려우며 따라서 직접적인 방법에 비해 정확성이 떨어지게 된다.

방음벽 상단에서는 음의 복잡한 회절현상이 발생하는데 방음벽을 반무한 강체 스크린 또는 삼각형 쐐기(wedge)로 가정하여 회절에 대한 이론적인 해를 구하는

* 한국과학기술원 기계공학과

** 정희원, 한국기계연구원 구조시스템연구부

연구가 많이 행해졌으며 이중에서도 Maekawa⁽²⁾의 식은 간단하면서도 실용적인 결과를 주므로 방음벽설계에 널리 이용되어 왔다. 그러나 Maekawa의 식은 회절경로의 위상차를 고려하지 못하는 단점이 있으며 실제 계측결과와 차이가 있음이 여러 사람에 의해 지적되었는데 Lam^(3,4)은 Maekawa⁽²⁾ 방법을 향상시켜 3차원 점 음원(point source)에 대해 방음벽 삽입손실을 구하는 간단하고도 정확한 식을 제시하였다. Lam^(3,4)은 삽입손실을 구할 때 각 회절경로의 에너지 합을 이용한 Maekawa 방법과는 달리 위상차에 의한 간섭효과를 고려하기 위해 각 회절 경로의 복소 음압의 합을 이용하였는데 그 결과 상당히 정확한 결과를 얻게 되었다. 최근에는 Muradali와 Fyfe⁽⁵⁾가 더욱 개선된 회절 이론에 근거한 Kurze와 Anderson⁽⁶⁾ 식과 Pierce⁽⁷⁾ 식을 Lam의 방법에 적용하여 3차원 점 음원뿐만 아니라 2차원 선 음원(line source)에도 적용할 수 있는 식을 제시하였다.

본 논문에서는 고층건물에 인접한 방음벽의 성능을 측정 및 이론적인 방법을 사용하여 해석하였다. 방음벽의 삽입손실을 계측할 때 대부분의 경우 간접적인 방법을 많이 사용하나 본 논문에서는 보다 정확한 직접적인 방법을 사용하여 계측하였고 이를 BEM과 음의 회절 이론에 근거를 둔 근사식을 적용하여 얻은 결과와 비교하였다. 기존의 이론적인 해석방법은 지면에 의한 반사만 고려하였지만 고층 건물이 인접한 경우 건물과 방음벽이 평행하게 있으므로 인해 무한히 많은 다중반사경로가 존재한다. 본 연구에서는 수음자가 고층건물과 방음벽 사이에 위치하여 소음원으로부터 무한개의 음의 전파경로가 존재하는 경우에 대해 방음벽의 성능을 이론적으로 계산하는 방법을 제시한 후, 이를 이용하여 고층 아파트에 가깝게 설치된 실제 방음벽의 성능해석에 응용한 사례를 다루었다. 본 연구에서는 Muradali와 Fyfe⁽⁵⁾가 제안한 식을 이용하여 회절에 의한 삽입손실을 계산하였는데 고층건물과 방음벽에 의한 반사효과를 무한개의 이미지 수음점(image receiving point)으로 대치하여 해석하였다.

2. 회절이론을 이용한 삽입손실

2.1 회절경로

본 논문에서 측정 대상이 된 방음벽은 Fig. 1(a)와 같이 22층 고층아파트와 4차선 왕복도로 사이에 위치한 길이 53 m, 높이 6 m의 투명방음벽으로 아파트에서 방음벽까지의 최단거리는 14.5 m이다. 방음벽의 하단부 2 m는 두께 10 cm의 흡음형으로 내부에는 폴리우레탄 흡음재를 사용하였으며 표면은 두께 1.6 mm의 강판으로 구

성되어 있다. 상단부 4 m는 아파트 주민의 시야를 가리지 않기 위해 두께 6 mm의 투명 아크릴판으로 되어 있는데 특히 상부 0.5 m는 Fig. 1(a)처럼 도로 방향으로 약 30도 꺾여 있다. 아파트는 베란다, 기둥 등 복잡한 형상을 하고 있으나 본 연구에서는 Fig. 1(b)처럼 직선으로 단순화하였다. 또한 방음벽도 상부의 꺾임을 무시하고 6 m 높이의 단순 스크린 형상의 방음벽으로 가정하

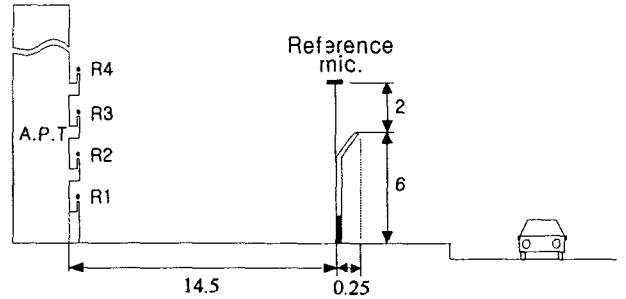


Fig. 1 (a) Side view of the barrier

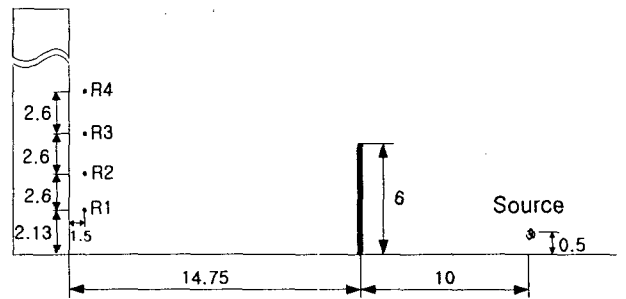


Fig. 1 (b) Simplified model of the barrier (all units are in meters)

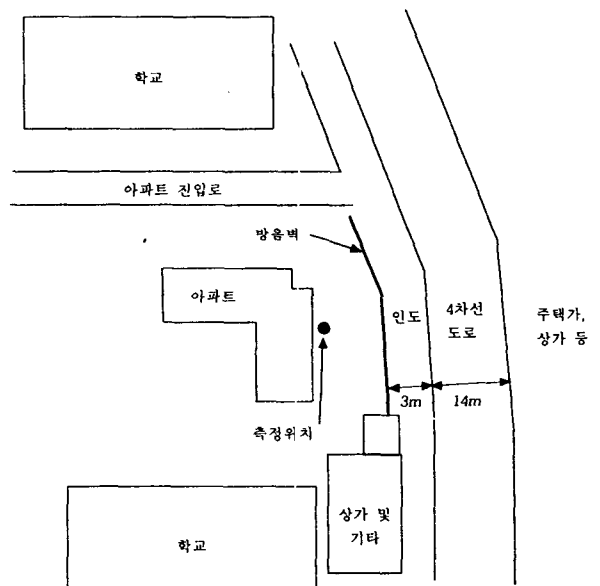


Fig. 1 (c) Plane view of the barrier and neighborhood

였으며 아스팔트로 된 지면과 건물, 방음벽 등을 모두 강체로 간주하여 음의 흡음은 없는 것으로 간주하였다. Fig. 1(c)는 방음벽 주변의 상황을 위에서 본 경우에 대해 간략히 표현한 그림이다. 방음벽은 도로를 따라 약 10°정도 꺾여있고 특히 방음벽 주변의 학교나 상가, 또한 Fig. 1(c)에 나타내지 않은 가건물, 공터, 도로 주변 설치물 등은 방음벽과 주위의 상황을 단순한 모델로 표현하기에 많은 어려움을 주고 있다.

Fig. 2에서와 같이 음원(source)과 수음점(receiver) 사이에 방음벽이 있는 경우 수음점에서의 음압은 소음원을 출발한 음파가 각 경로를 따라 회절되어 수음점에 도달한 음들의 음압의 합으로 결정되어 진다. 지면의 반사 등 여러 개의 전파 경로가 존재할 때 i 번째 경로에 대한 음압은 다음과 같이 표현된다⁽⁵⁾.

$$P_i = A_i \exp(j\psi_i) G(kd_i) \quad (1)$$

여기서,

- A_i : 회절에 의한 진폭(amplitude)의 변화
- ψ_i : 회절에 의한 위상 변화
- d_i : 파의 전파경로 길이

함수 $G(kd_i)$ 는 기하학적인 전파형상을 결정하는 함수로 2차원 및 3차원의 경우 아래와 같으며

$$G(kd_i) = \begin{cases} H_0^{(1)}(kd_i) & : 2-D \\ \exp(jkd_i)/d_i & : 3-D \end{cases}$$

단, $H_0^{(1)}(kd_i)$ 는 Hankel 함수를 나타며 k 는 파수(wave number)이다.

수음점의 음압은 소음원에서 각 회절 경로를 통하여 도달된 음압들의 합으로 주어진다.

$$P_R = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n A_i \exp(j\psi_i) G(kd_i) \quad (2)$$

여기서 P_R 은 수음점에서의 음압이고, n 은 음의 총 전파 경로 수이다.

Fig. 2는 2차원일 때 음의 서로 다른 회절 경로를 나타내는데 지면에서의 반사로 인해 4개의 경로가 존재한

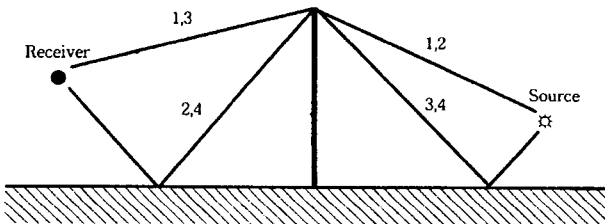
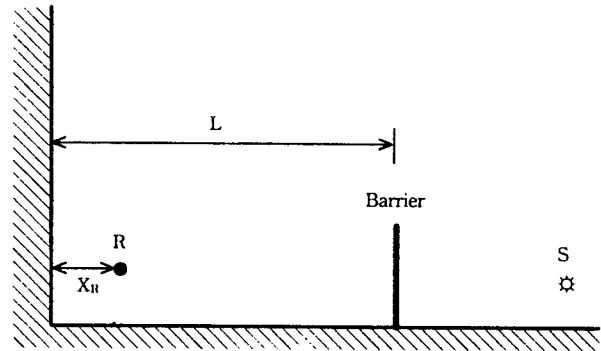
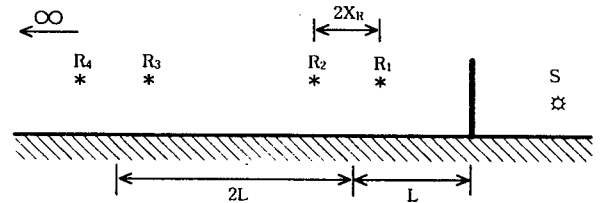


Fig. 2 Diffraction paths for a 2D barrier geometry



(a) Barrier near a high rise building



(b) Building is replaced by multiple receiver images (R_2, R_3, R_4, \dots).

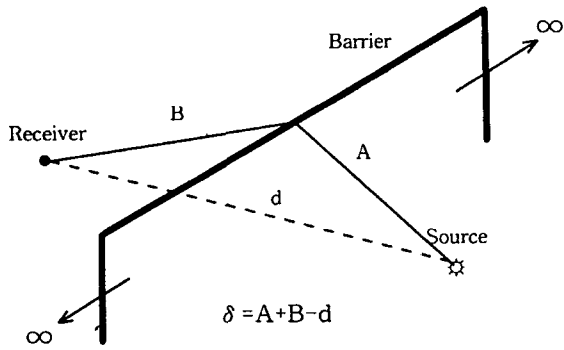
Fig. 3 Multiple receiver images used to model 2D barrier located near a high rise building

다. 그러나 Fig. 3(a)와 같이 고층건물이 있고 수음점의 높이가 방음벽보다 낮은 경우에는 건물과 방음벽에서의 반사로 인해 무수히 많은 반사경로가 생기는데, 이것은 Fig. 3(b)와 같이 이론적으로 무한 개의 수음점이 존재하는 것으로 대처할 수 있으며 각 수음점에서의 음압을 모두 더해서 최종 음압을 구하면 된다. 주파수와 소음원/수음점의 위치에 따라 수렴양상에 다소 차이가 있긴 하지만 본 논문에서 고려한 예제의 경우 최대 100개 이상의 수음점을 고려했을 때 음압이 수렴함을 알 수 있었는데, 실제 계산시 여유를 두어 150개의 수음점을 고려하였다.

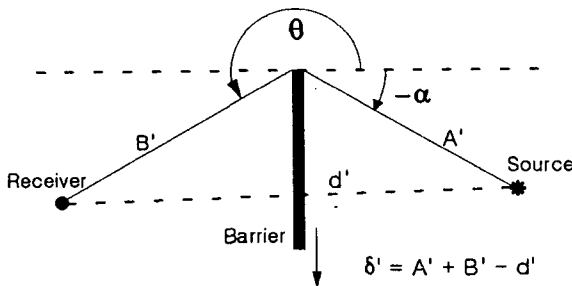
2.2 Kurze와 Anderson 식을 적용한 Lam의 방법

Kurze와 Anderson⁽⁶⁾은 반무한 스크린 형상 방음벽 (Fig. 4)에 대한 삽입손실을 구하는 식을 제시하였는데 3차원의 경우 수음점에서의 음압은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{R_n} = \sum_{i=1}^n d \left[\frac{1 - \cot \frac{1}{2}(\theta - \alpha)}{2\pi(A+B) \sqrt{\frac{\delta}{\lambda} \left(1 + \frac{d}{A+B}\right)}} \right] \exp\left(j\frac{\pi}{4}\right) \frac{\exp(-jkd_i)}{d_i} \quad (3)$$



(a) 3D model



(b) 2D model

Fig. 4 Definition of symbols used in Kurze and Anderson's 2D and 3D diffraction models

기호의 정의는 Fig. 4에 나와 있으며 λ 는 파장을 나타낸다. 또한 d 는 방음벽이 없을 경우 소음원과 수신점 사이의 거리이다. 회절경로수 n 은 방음벽의 길이가 무한하면 $n=4$, 유한하면 양 끝단의 회절을 고려하여 $n=8$ 이 된다. 식 (3)은 하나의 수신점에 대한 것이므로 Fig. 3(b)처럼 무한개의 수신점에 대해서는 각 성분을 모두 더해주면 방음벽 삽입손실은 다음과 같다.

$$IL = -20 \log_{10} \left(\sum_{n=1}^{\infty} P_{R_n} / P_0 \right) \quad (4)$$

이때 P_0 는 방음벽이 없을 때의 수신점에서의 음압으로 지면과 건물에서의 반사를 포함하여 다음과 같이 주어진다.

$$P_0 = \sum_{i=1}^4 \exp(jkd_i) / d_i$$

2차원일 때 음압은 다음과 같이 주어지며 각 기호 중 ()'는 Fig. 4(a)에 주어진 3차원 형상에서 정의된 길이를 Fig. 4(b)처럼 2차원 평면에 투영한 길이를 나타낸다.

$$P_{R_n} = \sum_{i=1}^4 \left[\frac{d' \left(1 - \cot \frac{1}{2} (\theta - \alpha) \right)}{2\pi(A' + B') \sqrt{\frac{\delta'}{\lambda} \left(1 + \frac{d'}{A' + B'} \right)}} \right] \times (-jH_0^{(1)}(kd'_i)) \quad (5)$$

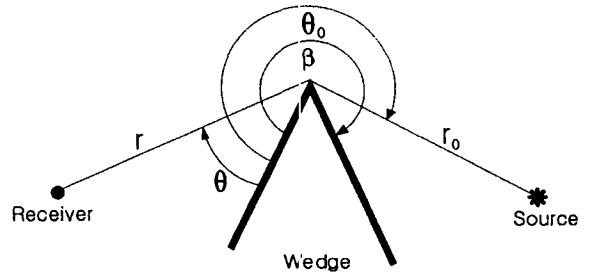


Fig. 5 Definition of symbols used in Pierce's diffraction model

식 (3)과 (5)에서 보면 분모에 δ/λ 와 δ'/λ 가 각각 포함되어 있는데 δ (또는 δ')가 아주 작거나 λ 가 아주 큰 경우에는 식이 발산하는 단점이 있다. 반면 다음에 언급할 Pierce 식⁽⁷⁾을 이용한 Lam의 방법은 그런 제한 사항이 없는 보다 정확한 방법이다.

2.3 Pierce 식을 적용한 Lam의 방법

Pierce⁽⁷⁾는 Fig. 5와 같이 반무한 쐐기(Wedge)형상을 한 단일 에지(single edge) 회절에 대한 음압을 계산하는 근사식을 제시하였는데 3-D 점음원의 경우 i 번째 경로에 대한 음압이 다음과 같이 표현된다.

$$P_i = [A_D(X_+) + A_D(X_-)] \left(\exp(j\pi/4) / \sqrt{2} \right) \left(\frac{\exp(jkd_i)}{d_i} \right) \quad (6)$$

여기서,

$$A_D(X) = \text{sign}(X) [f(|X|) - jg(|X|)]$$

$$X_+ = X(\theta + \theta_0), \quad X_- = X(\theta - \theta_0)$$

$$X(\theta) = \left[\frac{2r_0 r}{\lambda d_i} \right]^{1/2} \left[-2 \text{ccs} \left(\frac{\theta}{2} \right) \right], \quad d_i = r_0 + r$$

함수 $f(|X|)$, $g(|X|)$ 는 Fresnel 적분함수로 표현된다⁽⁷⁾. 2차원인 경우 식 (6)에서 $\exp(jkd_i)/d_i$ 는 $-jH_0^{(1)}(kd'_i)$ 으로 대체된다.

3. 삽입손실의 측정 및 이론치와의 비교

3.1 직접적인 방법에 의한 측정

방음벽의 삽입손실측정은 관련 기준인 ISO 10847⁽¹¹⁾에 근거하여 행하였으며 기준결과 음압측정 위치는 Fig. 1(b)와 같다. 측정은 베란다에서 하였는데 바닥에서는 1.2 m, 베란다 창과의 거리는 1.5 m이다. 방음벽 설치 전과 후 사이에는 약 2개월의 시차가 있었으며 같은 수신점에서 도로소음을 측정하였다. 일반적으로 도로소음

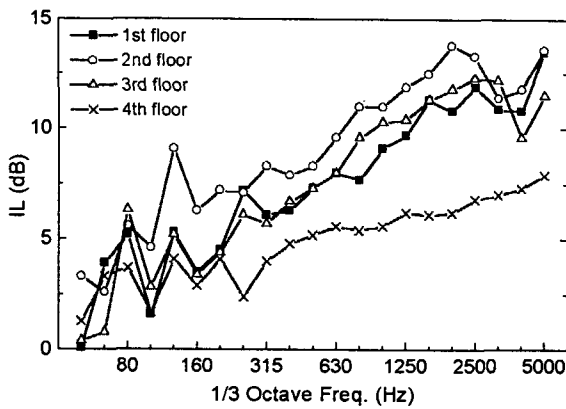


Fig. 6 Measured insertion loss of the barrier by the direct method

은 시간과 계절별로도 달라질 수 있으므로 ISO는 방음벽 설치에 영향을 받지 않는 기준점을 선택하여 기준점에 대한 상대적인 소음을 측정하도록 요구하고 있는데 기준점은 보통 방음벽 위 1.5m 이상 되는 지점을 택하도록 되어있다.

직접적인 측정 방법에 의한 방음벽 삽입손실은 다음과 같이 표현된다.

$$IL = (L_{ref,A} - L_{ref,B}) - (L_{r,A} - L_{r,B}) \quad (7)$$

여기서,

$L_{ref,B}$: 방음벽 세우기 전 기준점에서의 음압

$L_{r,B}$: 방음벽 세우기 전 수음점에서의 음압

$L_{ref,A}$: 방음벽 세운 후 기준점에서의 음압

$L_{r,A}$: 방음벽 세운 후 수음점에서의 음압

이때, 각 음압 레벨은 L_{eq} 를 나타내는데 ISO에 의하면 측정당시 도로소음레벨이 변화가 있으며(non-steady) 변화폭이 최대 10 dB 미만일 때 5분 동안 측정하도록 되어있다. 본 연구에서는 5분씩 3회 반복 측정하여 L_{eq} 를 구했다. 계측은 건물 1, 2, 3, 4 층의 베란다에서 한 층씩 따로따로 실시하였고 Fig. 6은 그 결과를 나타낸다.

3.2 해석모델 및 음원결정

일반적으로 방음벽 성능해석시 길이가 높이에 비해 충분히 길면 2차원으로 해석을 하여도 큰 무리가 없는데 본 연구에서는 모든 가능성을 검토하기 위해 2차원과 3차원으로 나누어서 이론 식을 적용하였다. 2차원의 경우 건물과 방음벽 모두 길이방향으로 무한대이며 음원은 선음원(line source)을 가정한다. 건물의 높이는 가장 높은 수음점보다 충분히 높기만 하면 결과에 영향을 주지 않으므로 해석 편의상 무한대로 가정하였다. 3차원 모델의

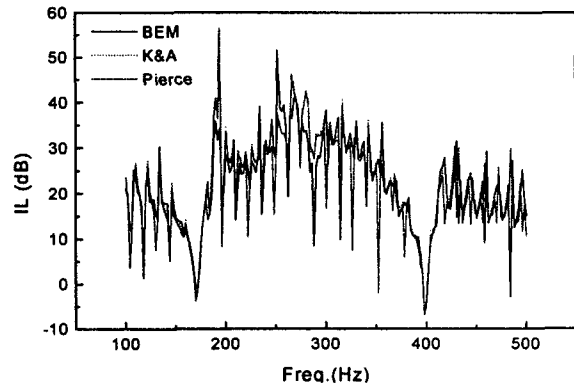


Fig. 7 Comparisons of the insertion losses of the 2D barrier at the 1st floor obtained by BEM and by predictions: Kurze and Anderson's method (K&A), and Pierce's method(Pierce)

경우 건물은 길이방향으로 무한대로 가정하였고 방음벽은 길이 53 m의 유한한 형상을 고려하여 양 끝단에서의 회절도 포함하였다. 소음원은 선음원을 고려하였다.

소음은 왕복 4차선 도로를 오가는 차량에서 발생하므로 소음원 위치를 일정하게 선택하는데 어려움이 있었는데 본 논문에서는 인도와 4차선 도로의 폭을 감안하여 방음벽으로부터 10 m 떨어졌으며, 타이어 소음을 주성분으로 보고 지면에서 0.5 m 높이에 소음원이 있다고 가정하였다. 이것은 환경부가 고시한 방음시설의 성능 및 설치기준⁽⁸⁾에서 언급하는 음원의 높이와도 일치한다.

(1) 2차원해석

음원은 선 음원을 가정하였으며 Fig. 7은 1층 베란다($x = 1.5$ m, $y = 2.13$ m)에 대해 BEM, Kurze와 Anderson, Pierce 법에 의한 3가지 예측치를 저주파수(100 Hz~500 Hz)에 대해 협대역으로 비교한 결과이다. 2-D BEM은 실제적인 복잡한 형상을 다루기에는 제한적이지만 3-D BEM에 비해 요구되는 메모리 용량이 크게 줄어들고 방음벽 길이가 긴 경우 2-D로 가정할 수 있기 때문에 방음벽 해석시 활용이 점점 늘고 있다. 본 논문에서는 참고문헌 (9)에 근거하여 2-D BEM 프로그램을 작성하였는데 Green 함수는 직접음 및 지면과 건물의 반사로 인한 4가지 경로를 나타내도록 해당되는 Hankel 함수를 조합하였다. Fig. 7의 BEM 해석시 방음벽의 두께는 8 cm, 절점의 간격은 2 cm를 사용하였는데 반면 이론적인 예측식에서 방음벽의 두께는 무시된다. Kurze와 Anderson (K&A) 및 Pierce 법은 거의 일치하고 있으며 BEM도 예측식과 전반적으로 일치함을 보인다.

실제 계측시에는 1/3 옥타브 밴드별로 계측하므로 계측과 예측의 비교를 위해서는 주파수에 대해 Fig. 7과 같이 복잡한 변화를 보이는 예측치를 밴드에 대해 평균

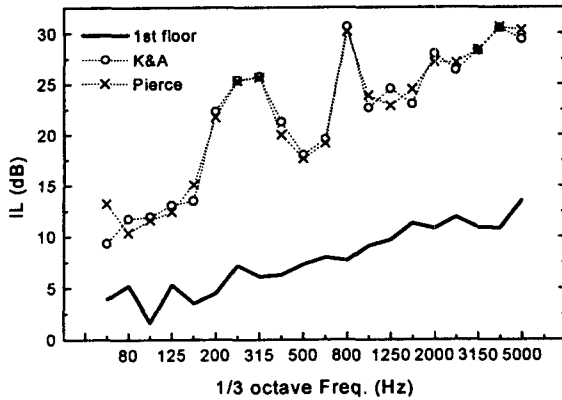


Fig. 8 Comparison of the insertion losses of the barrier in the 1st floor represented in 1/3 octave bend spectrum, and obtained by measurement, Kurze and Anderson's method(K&A), and Pierce's method(Pierce)

한 값을 사용해야 한다. Fig. 8에는 1/3 옥타브 밴드에 대해 평균한 예측치를 100 Hz~5000 Hz 주파수대역에 대해 계측치와 비교하였는데 K&A와 Pierce 식은 거의 같은 결과를 주나 계측된 삽입손실보다는 매우 큰 값을 주고 있다. 본 해석의 경우 방음벽의 길이는 53 m에 불과하나 도로의 길이는 이보다 길어서 방음벽과 무관하게 직접 전파해오는 소음이 있으므로 2차원 해석 모델은 적절치 않음을 확인할 수 있다. 한편 BEM 해석은 5000 Hz까지 해석하여 밴드별 평균을 취하기에는 필요한 계산량이 너무 많아 저주파수에서 예측치의 비교용으로만 사용하였다.

(2) 3차원해석

본 해석에서는 방음벽의 유한한 길이를 감안하여 3차원 모델을 고려하였다. 건물의 폭은 방음벽의 길이와 비슷하며 수음점은 대략 건물의 중앙에 위치하는데 건물의 폭이 수음점의 음압레벨에 미치는 영향으로는 방음벽 상단을 넘어온 도로소음이 건물 양 모서리에 부딪힌 후 회절되어 수음점에 도달하는 경우를 생각할 수 있다. 그러나 이 성분은 수음점에 직접 도달하는 성분 및 건물에 의한 일차적인 반사음에 비하면 매우 작으므로 무시할 수 있으며 따라서 본 해석에서는 건물의 폭을 무한대로 가정하였다.

도로소음을 선 음원으로 보는 경우 일정한 간격을 갖는 점음원으로 나타낼 수 있는데 각각의 점 음원은 위상이 서로 관련이 없는 음원(incoherent source)으로 가정할 수 있다. 이 경우 점 음원의 간격을 얼마로 하는 것이 적절한지에 대한 검토가 필요한데 Muradali 및 Fyfe⁽⁵⁾는 방음벽의 길이는 무한대이며 도로소음은 길이 400 m의 선 음원의 경우에 대해서 음원을 점 음원으로

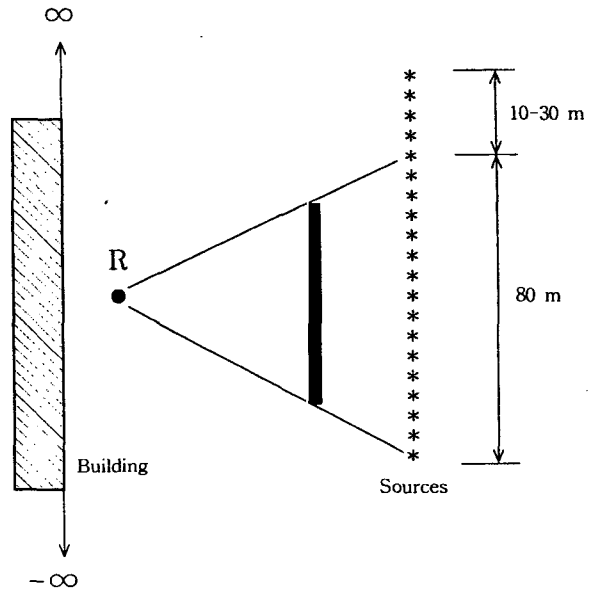


Fig. 9 Top view of the barrier with a series of 3D point sources to model a 3D line source

대치한 후 점 음원간의 간격을 0.05 m에서 20 m로 변화시켜가며 삽입손실을 계산한 결과 거의 차이가 없음을 보고하였다.

본 논문에서 고려한 계측상황의 경우 Fig. 1(c)에서처럼 도로가 굽어있고 방음벽도 도로를 따라 꺾여있다. 그러나 본 연구에서는 꺾인 각도가 크지 않기 때문에 Fig. 9와 같이 방음벽과 도로를 직선으로 단순화하였다. 방음벽의 한쪽 끝은 상가 건물에 연결되어 있으나 약간의 틈새가 있으므로 방음벽 끝단에서의 회절도 고려하였다. 또한 도로의 길이가 방음벽보다 길어서 방음벽에 방해받지 않고 수음점에 직접 도달하는 도로소음을 고려해야 한다. 소음은 4차선 도로에서 발생하므로 정확한 선 음원의 길이를 산정하다는 것은 불가능하므로 70 m, 80 m, 90 m 및 100 m 네가지를 고려하였으며, 그 이상의 도로소음은 주변 건물에 의해 완전히 차단되어 영향을 주지 않는 것으로 가정하였다. 점음원으로 대치시 간격을 0.5 m에서 10 m로 변화시켜가며 계산하였는데 삽입손실의 차이가 거의 없었다. Fig. 10 (a)에서 (d)까지 1층에서 4층 베란다에서의 삽입손실을 각각 비교하였는데 이론 식은 Pierce의 방법을 사용하였다. Fig. 10에서 굵은 실선은 계측치이며 P70, P80 등은 길이가 각각 70 m, 80 m인 선 음원을 나타낸다.

Fig. 10을 보면 선 음원의 길이가 90 m 및 100 m인 경우 거의 차이가 없지만 선 음원이 방음벽 뒤에 완전히 가려진 P70과, 길이가 같은 P80, 10 m 밖으로 나온 P90 등은 결과에 차이가 있다. 따라서 3차원 해석의 경우 선

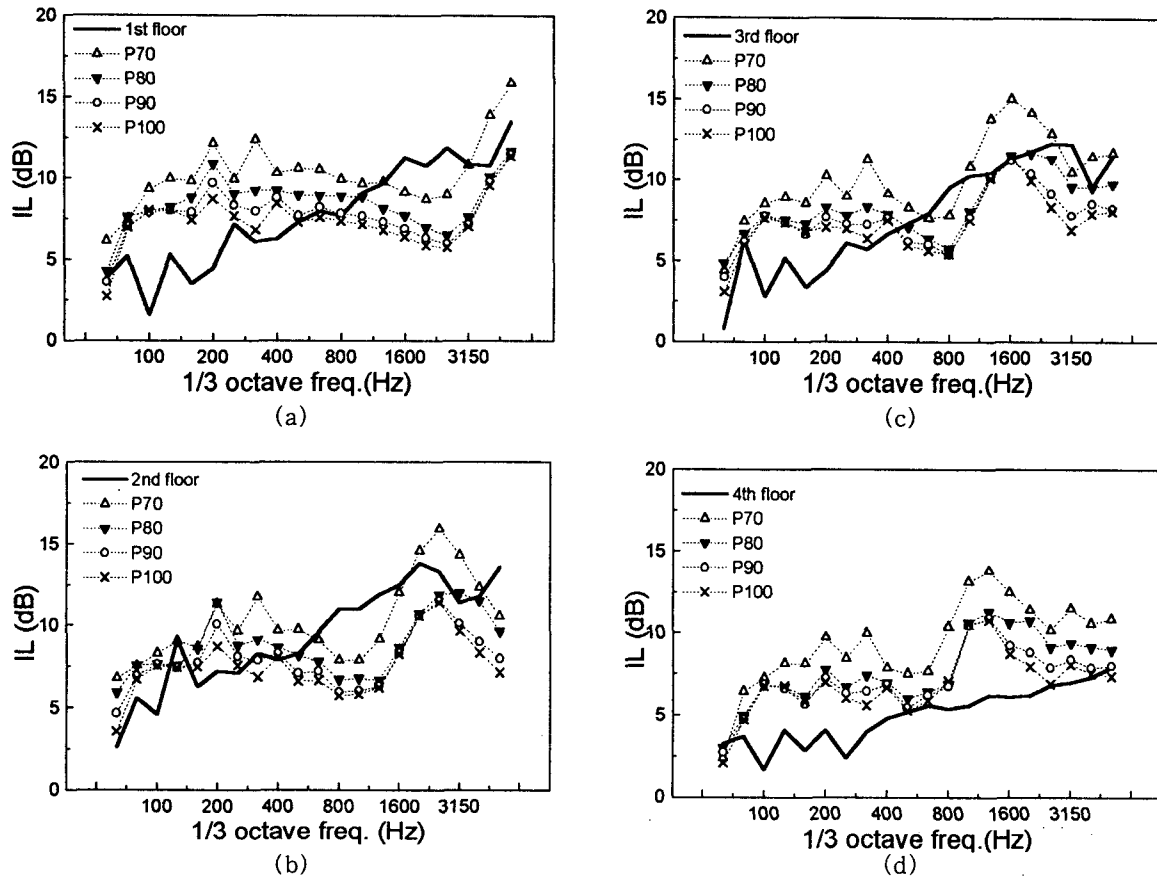


Fig. 10 Insertion loss for 3D incoherent line source averaged in 1/3 octave band at (a) 1st floor, (b) 2nd floor, (c) 3rd floor, and (d) 4th floor. Line by measurement; symbols by predictions.

음원의 길이를 얼마로 하느냐에 따라 차이가 있지만 1층 베란다의 경우 Fig. 10(a)를 2차원 해석결과인 Fig. 8과 비교하여 보면 3차원 해석 결과가 실제 예측값에 매우 근접했음을 알 수 있다. 그러나 세부적인 주파수 스펙트럼은 차이를 보인다.

4. 검토 및 결론

본 논문에서는 고층 건물에 인접한 방음벽의 삽입손실을 예측하는 방법을 제시하였으며 이를 실제 고층 아파트 근처에 설치된 방음벽 성능해석에 응용하였다. 방음벽 삽입손실을 측정하였으며 이를 근사식을 이용한 2차원 해석 및 3차원 해석 결과와 비교하였다. 2차원 해석 결과 예측한 값이 실제 측정한 삽입손실보다 매우 크게 나왔는데 이는 방음벽이 2차원으로 가정하기에는 길이가 높이에 비해 충분히 크지 않았으며 또한 도로가 방음벽보다 길어서 방음벽에 방해받지 않고 수음점에 직접 도달하는 소음이 존재하기 때문이다. 이러한 단점을 보완한 3차원 해석결과 예측치에 매우 근접하였으나 선 음원

의 길이를 얼마로 하느냐에 따라 예측치가 약간 달라지며 스펙트럼 양상도 전반적으로 예측값과 일치하지 않는 결과를 보였는데 그 이유로 크게 다음 사항들을 들 수 있다.

첫째는 도로소음 모델링의 근본적인 한계성으로 4차선 도로소음을 하나의 선 음원으로 단순화 하는 과정, 선 음원 길이에 대한 적정성 및 트럭 등 과도한 소음을 발생하는 대형차량과 소형차가 혼합된 상황에서 일률적인 0.5 m 소음원의 높이가 타당한지에 대한 의문점 등이다. 또한 이론 해석에서는 모든 소음원이 도로에서만 발생한다고 가정하나 실제 예측시 광범위한 영역에 걸쳐 지나가는 행인 및 행상, 주변 공사장소음, 연결된 다른 좁은 이면도로의 소음 등 통제가 불가능한 다양한 환경소음이 존재한다. 두 번째는 건물과 방음벽자체의 모델링에 대한 문제로 본 논문에서는 Fig. 1(b)처럼 건물과 방음벽의 모양도 단순화시켰으며 Fig. 9에서와 같이 방음벽과 도로를 직선으로 모델링하였다. 또한 모두 강체(rigid) 경계조건으로 보았다. 그러나 실제로는 아파트 베란다에서 천장과 바닥, 벽체에 의해 복잡한 음장이 형성될 것

으로 보이며 또한 건물과 지면의 임피던스 및 방음벽 흡음제도 영향을 줄 것으로 예상된다.

이론식과 BEM에 의한 결과는 방음벽을 강체로 간주하여 방음벽을 통한 음의 투과는 무시하였지만 Fig. 6에서 보면 삽입손실(4층 제외)이 고주파로 갈수록 증가하다가 약 4 kHz 부근에서 갑자기 감소하는 경향을 보이는데 이 부분은 6 mm 아크릴 판의 임계주파수(critical frequency)에 해당하는 곳이다. 또한 방음벽 상단의 꺾임을 고려하지 못한 해석도 4층의 경우에는 큰 영향을 줄 수 있다.

본 논문에서 고려한 방음벽 및 주변상황은 예측식으로 정확하게 설명하기에는 여러가지 어려운 점이 있었지만 실제 복잡한 상황을 단순화하고 기존 이론식을 고층건물에 의한 반사를 고려하도록 보완하여 해석을 시도한 점에 의의가 있으며 앞으로 유사한 상황의 방음벽해석에 도움이 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

(1) ISO 10847, In-Situ Determination of Insertion Loss of Outdoor Noise Barriers of All Types, 1997(E).
 (2) Maekawa, Z., 1968, "Noise Reduction by Screens", Applied Acoustics, Vol. 1, pp. 157~173.

(3) Lam, Y. W. and Roberts, S. C., 1993, "A Simple Method for Accurate Prediction of Finite Barrier Insertion Loss", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 93, pp. 1445~1452.

(4) Lam, Y. W., 1994, "Using Maekawa's Chart to Calculate Finite Length Barrier Insertion Loss", Applied Acoustics, Vol. 42, pp. 29~40.

(5) Muradali, A. and Fyfe, K. R., 1998, "A Study of 2D and 3D Barrier Insertion Loss using Improved Diffraction-Based Methods", Applied Acoustics, Vol. 53, pp. 49~75.

(6) Kurze, U. J. and Anderson, G. S., 1971, "Sound Attenuation By Barriers", Applied Acoustics, Vol. 4, pp. 35~53.

(7) Pierce, A. D., 1974, "Diffraction of Sound Around Corners and Over Wide Barriers", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 55, pp. 941~955.

(8) 환경부, 1996, 방음시설의 성능 및 설치기준 제 11조(음원결정), 환경부 고시 제 96-85호.

(9) Hothersall, D. C., Chandler-Wilde, S. N. and Hajmirzae, M. N., 1991, "Efficiency of Single Noise Barriers", Journal of Sound and Vibration, Vol. 146, pp. 303~322.