

복잡한 끝단 형상을 갖는 방음벽의 성능해석

⁰김현실*, 김재승*, 강현주*, 김봉기*, 김상렬*

Performance Analysis of Noise Barriers of Complicated End Shapes

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Joo Kang, Bong-Ki Kim, and Sang-Rul Kim

Key Words: Noise Barrier, Diffraction, Insertion Loss

ABSTRACT

A new analytic method is presented for predicting the performance of noise barriers having complicated end shapes like "Y", "T", inverted L, and other shapes. The insertion loss of the barrier is predicted by summation of multiple diffractions occurring at the corner points. Although previous studies treated diffractions occurring only at the convex points, the method presented in this paper considers diffractions at the concave point. As numerical examples, a partially inclined noise barrier and "T" shape noise barrier are studied. It is shown that the diffraction at the concave point may be neglected if the shortest path does not include the concave corner point.

1. 서 론

자동차 수가 급격히 많아짐에 따라 교통소음에 의한 공해는 점점 더 심각해지고 있으며 이에 대한 해결책으로 방음벽이 널리 쓰이고 있다. 특히 도로변에 노출된 고층아파트가 점점 증가함에 따라 고층에 사는 주민의 소음피해가 중요한 문제로 대두되고 있다. 일반적으로 방음벽에 의한 효과는 저층(3-4층)에 국한되며 고층까지 소음저감효과를 얻기 위해서는 방음벽의 높이를 올려야 하는데 이는 여러 가지 문제점을 야기한다. 높은 방음벽을 설치하려면 구조적인 안정성문제가 중요하며 필연적으로 제작 및 설치경비가 크게 증가한다.

또한 높은 방음벽은 거주민에게 일조권침해 및 전망저해의 피해를 야기하며 아파트 주민이나 도로 쪽의 운전자 모두에게 심리적으로 매우 답답함을 초래한다.

방음벽높이를 올리는 대신 상단부 형상을 복잡하게 만들어 끝단에서의 회절효과를 더 크게 하는 방법이 널리 사용되고 있다. Fig. 1에 여러 가지 모양의 상단부형상 예를 보였는데 가장 단순한 방법으로 Fig. 1(b)처럼 상단부 일부를 도로방향으로 꺾는 것이 현재 도로변 방음벽에서 널리 사용되고 있다.

복잡한 형상의 방음벽을 사용하는 경우 가장 근본적인 문제는 방음벽의 성능을 어떻게 예측하는가 하는 점이다. 지금까지의 이론적인 방음벽 성

* 한국기계연구원 음향연구그룹

능예측은 Fig. 2와 같이 썬기나 스크린 형상[1]이 주 대상이었으며 썬기형상에서 더 나아가 Fig. 3처럼 다면체 형상을 갖는 단면에 대해 다중회절[2]을 고려하는 연구결과가 발표되었다. Fig. 1의 방음벽 형상에 대해서는 대부분 BEM이나 모델실험[3]에 의한 해석이 수행되었다.

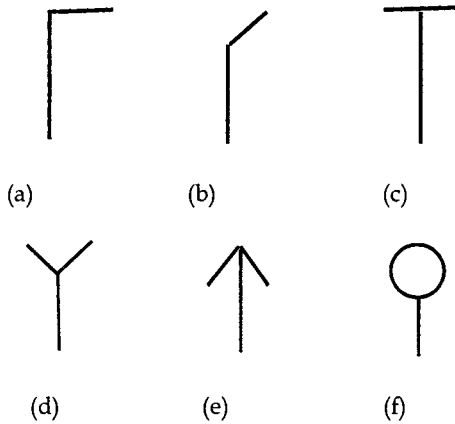


Fig. 1 다양한 상단 형상을 갖는 방음벽



Fig. 2 기본적인 방음벽형상

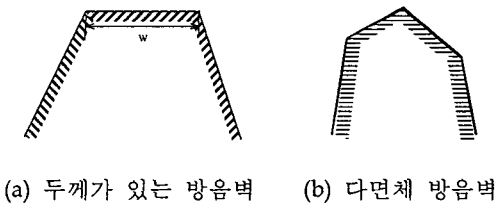


Fig. 3 다면체 방음벽 형상

본 연구에서는 참고문헌 [4]의 회절이론을 사용하여 Fig. 1(a)-(e)의 볼록(convex) 및 오목(concave)한 형상이 조합된 다양한 상단부 형상을 갖는 방음벽의 성능해석을 다루었다.

2. 방음벽 회절해석

방음벽의 성능예측은 상단부에서 발생하는 음파의 회절을 해석하는 것으로 반무한 스크린형상에 대해서는 Sommerfeld가 1896년 이론적인 해를 유도하였으나 매우 복잡한 형태로 이후 사용하기 편한 근사해의 개발이 연구되었다. 그중 가장 널리 알려진 방법은 Maekawa[5]의 방법으로 방음벽 성능(Attenuation)은 Fresnel Number N

$$N = 2\delta/\lambda$$

만 사용하여 해석하는데 여기서 δ 는 경로차, λ 는 파장이다. Maekawa의 방법은 매우 단순하므로 방음벽 성능예측의 실용적인 방법으로 설계회사에서 널리 사용되나 여러 가지 제한조건을 갖고 있다. Maekawa의 방법은 회절이론을 지나치게 단순화함으로써 인해 근본적인 오차를 포함하고 있으며 특히 소음원과 수음점이 방음벽에 가까울 경우 매우 큰 오차를 발생한다.

Fig. 2와 같은 기본 방음벽형태에 대해서는 보다 더 정밀한 근사식이 Pierce[1]와 Kouyoumjian 및 Pathak[4]에 의해 제시되었는데 여기서 근사식이라 함은 파장이 방음벽 크기 또는 경로에 비해 작은 경우를 말한다. 두 근사식은 Keller의 기하학적 음향회절이론(geometrical theory of diffraction)을 이용한 것으로 Fig. 2(b)의 스크린형태에는 동일한 결과를 준다. 반면, Fig. 2(a)의 썬기형태에는 약간의 차이를 보이나 이는 매우 사소한 수준으로 공학적인 설계용으로 보면 같다고 할 수 있다.

Pierce[1]와 Kouyoumjian 및 Pathak[4]의 근사식은 Maekawa[5]의 식에 비하면 엄밀해라고 해도 좋을 정도로 정밀성이 향상되었는데 반면 계산과정은 다소 복잡한 단점을 갖고 있다.

Pierce[1]는 Fig. 3(a)의 두께가 있는 방음벽에 대해서는 자신이 제안한 단일회절이론을 연속하여 적용한 이중회절 해석방법을 제시하였다. Kawai[2]는 Pierce 방법을 Fig. 3(b)과 같은 볼록 다면체 방음벽에 적용하였다.

Fig. 1(a)-(e)와 같은 복잡한 형상의 방음벽에 대해서는 뚜렷한 이론적인 해석방법이 아직 없는 실정으로 성능예측은 BEM을 이용하거나 또는 모델 실험을 통해서만 가능하였다[3]. BEM은 매우 다양한 단면형상을 해석할 수 있지만 계산량이 방대하며 특히 고주파수대역은 아직도 어려운 점이 있다. 모델실험은 매우 유용하나 시편제작/설치 및 측정 과정에 많은 시간과 비용이 들며 모든 가능성을 탐색하기는 불가능하다.

Maekawa[5]는 복잡한 단면을 갖는 방음벽을 해석하는 수단으로 Fig. 4처럼 소음원과 수음점에서 방음벽 상단으로 향하는 두 선이 만나는 점을 찾아 이에 해당하는 등가높이를 갖는 단순 스크린형 방음벽으로 치환하는 방법을 제시하였다.

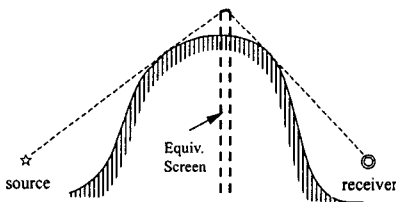


Fig. 4. 복잡한 단면의 방음벽 및 유효높이를 갖는 스크린형 방음벽

위 방법은 Fig. 1의 형상에 대해서도 적용할 수 있는데 상단부 형상의 크기가 방음벽 높이에 비해 작을 때에는 실용적인 측면에서 적용이 가능하나 일반적인 상황에는 큰 오차를 발생한다.

현재 국내 도로에 설치되고 있는 대부분의 방음벽 형상은 단면이 일자형인 스크린형상이거나 상단부가 도로방향으로 꺾인 형상이다. 그러나 방음

벽 높이나 방음벽 뒷편의 건물구조나 형상에 관계 없이 도로 면으로 꺾은 방음벽 상단부의 형상(각도 및 꺾은 길이)이 거의 같으며 이는 최대한의 효과를 얻기 위한 설계결과라기 보다는 비용을 줄이기 위해 표준화된 모델의 단순시공에 기인한다고 보아야 한다.

3. 다중회절 해석

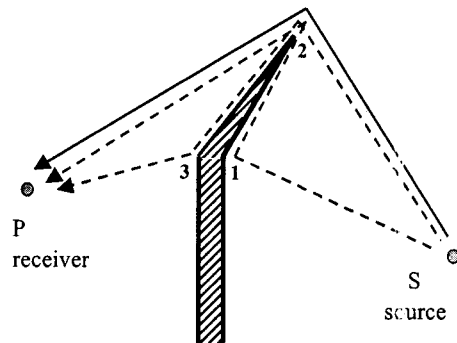


Fig. 5 상단이 꺾인 방음벽 단면

Fig. 5와 같은 방음벽의 성능예측을 위해서는 다음과 같은 경로를 갖는 음파의 회절을 고려해야 한다.

- (1) Single Diffraction ϕ_2 : S-2-R
- (2) Double Diffraction ϕ_{12} : S-1-2-P
- (3) Double Diffraction ϕ_{23} : S-2-3-P
- (3) Triple Diffraction ϕ_{123} : S-1-2-3-P

이 중에서 Point 1을 지나는 경로는 오목 (concave)한 점에서의 회절을 고려해야 한다. Pierce[1]의 회절이론은 Point 2와 같은 볼록 (convex)한 점에서는 적용이 가능하나 Point 1에 대해서는 사용할 수 없다. 본 연구에서는 오목한 점에서의 회절도 해석이 가능한 Koryoumjian와 Pathak[4]의 방법을 이용하여 다중회절을 계산하였으며 계산 절차 및 자세한 과정은 참고문헌 [6]에 나와있다.

Fig. 6에 수치해석에 고려한 방음벽 형상과 소음원 및 수음점 위치를 보였다.

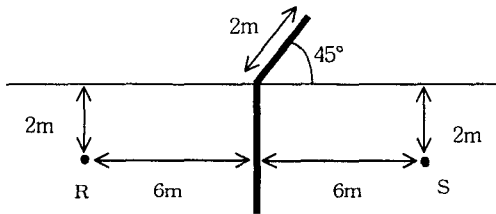
수음점의 음압은 다음과 같이 모든 경로의 음압을 더해주어야 한다.

$$\phi = \phi_2 + \phi_{12} + \phi_{23} + \phi_{123}$$

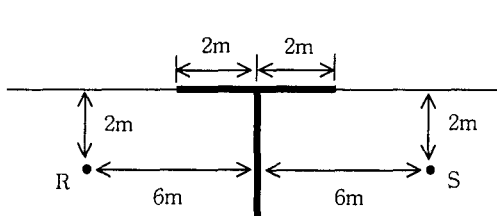
방음벽의 삽입손실(IL: Insertion Loss)은 다음과 같이 된다.

$$IL = 20 \log(\phi_0/\phi)$$

여기서 ϕ_0 는 방음벽이 없을 때 직접 전파하는 성분을 나타낸다.



(a) 꺾인 형상의 방음벽



(b) T자형 방음벽

Fig. 6 해석모델 방음벽

Fig. 7에는 Fig. 6(a)에 대해서 Point 2(Point 위치는 Fig. 5 참조)만 지나는 단일 회절음 ϕ_2 , Point 2, 3 및 Point 1, 2를 지나는 이중 회절음 ϕ_{23} , ϕ_{12} , Point 1, 2, 3을 지나는 삼중 회절음 ϕ_{123} 의 크기의 비를 보였다. 삼중회절음은 매우 작아 무시하여도

관계가 없으나 이중회절음은 반드시 포함하여야 한다.

Fig. 8에는 각각의 성분이 전체 삽입손실에 미치는 영향을 나타냈는데 특이한 점은 오목한 점을 포함하는 경로(point S-1-2-R)에서 발생하는 이중회절음은 주파수에 따라 진동하는 양상을 보이고 있는데 그 크기는 매우 작다.

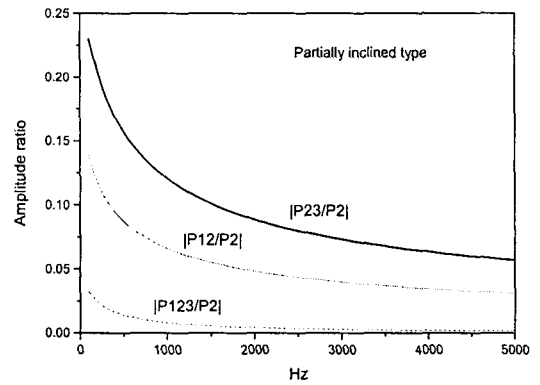


Fig. 7 다중회절음의 크기의 비(Fig. 6(a)의 방음벽)

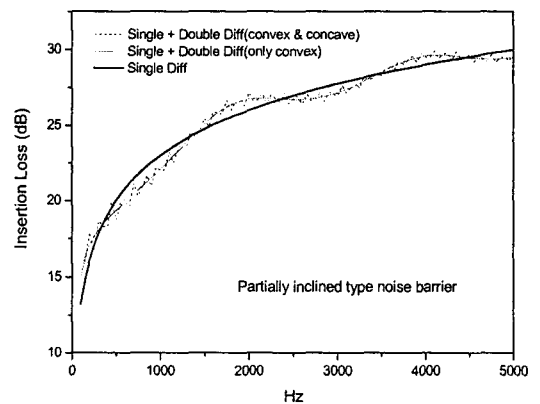


Fig. 8 다중회절음의 영향(Fig. 6(a)의 방음벽)

Fig. 9에는 Fig. 6(b)에 대해서 이중 회절음과 오목한 점을 지나는 삼중회절음의 크기의 비를, Fig. 10에는 각각의 성분이 삽입손실에 미치는 영향을 보였는데 여기에서는 삼중회절음의 크기는 매우 작아 무시하여도 좋음을 알 수 있다.

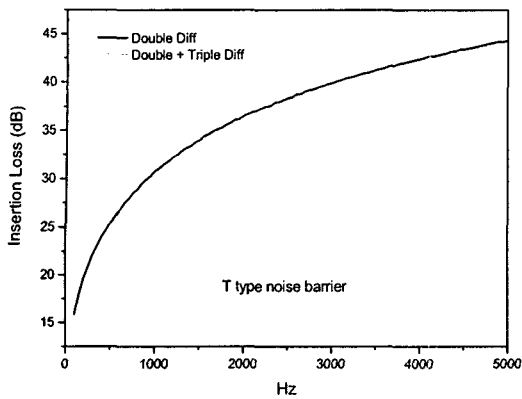


Fig. 9 다중회절음의 크기의 비(Fig. 6(b)의 방음벽)

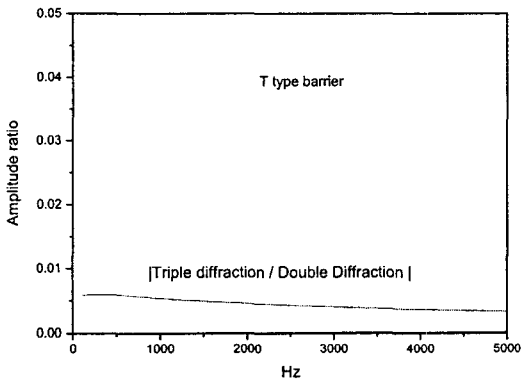


Fig. 10 다중회절음의 영향(Fig. 6(b)의 방음벽)

4. 결론

본 논문에서 고려한 방법은 단면형상이 다각형 구조로 되어있으면 적용할 수 있으며 기존 다중회절방법이 볼록한 다각형에만 적용이 가능한 반면 본 방법은 오목한 점도 고려할 수 있다. 따라서 적용대상이 대단히 많으며 이전에는 BEM으로만 해석이 가능한 구조도 본 논문의 방법을 적용하면 용이하게 방음벽의 삽입손실을 계산할 수 있다.

그러나 방음벽 삽입손실 계산시 확률적으로 가능한 모든 전파경로를 포함할 필요가 없다. 예제에서 보였듯이 전파경로가 중간에 오목한 점을 거처도 되고 안 거처도 되는 경우라면 생략하여도 전체 삽입손실에 미치는 영향은 매우 작다.

본 연구에서는 두가지 예만 고려하였으나 향후 다양한 단면형상에 대한 해석이 필요하며 BEM이나 모델 테스트와 같이 다른 해석결과와의 비교도 수행되어야 한다.

참고 문헌

1. A. D. Pierce, "Diffraction of Sound around Corners and over Wide barriers," JASA, Vol. 55, 941-955, 1974.
2. T. Kawai, "Sound Diffraction by a Many-sided Barrier or Pillar," J. Sound and Vib, Vol. 79, 229-242, 1981.
3. D. C. Hothersall, D. H. Crombi & S. N. Chandker-Wilde, "The Performance of T-Profile and Associated Noise Barriers," Applied Acoustics, Vol. 32, 269-287, 1991.
4. R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A Unified Geometrical Theory of Diffraction for an Edge in a perfectly Conducting Surface," Proc. IEEE, Vol. 62, 1448-1461, 1974.
5. Z. Maekawa, "Noise Reduction by Screens," Applied Acoustics, Vol. 1, 157-173, 1968.
6. 진병주, 상단부가 꺾인 방음벽의 음의 회절에 관한 연구, KASIT 기계공학과 석사학위 논문, 2000.