

상단부가 꺾인 방음벽의 삽입손실해석

진병주(KAIST), 김현실(한국기계연구원)

An Insertion Loss Analysis of Partially Inclined Noise barrier

Byung-Joo Chin (KAIST), Hyun-Sil Kim (KIMM)

chinbj@cais.kaist.ac.kr hskim@mailgw.kimm.re.kr

ABSTRACT

Insertion loss of partially inclined noise barrier is studied by using multiple diffraction theory. The diffractions occurred at the top as well as partially folded point are included based on Kouyoumjian and Pathak's method (Proc. IEEE, Vol. 62, 1974). Scaled-down model of noise barrier is studied in anechoic room. It is shown that the theoretical results generally represents the average values of experimental results, while there are many oscillations in experimental results.

에 관계없이 도로 면으로 꺾은 방음벽 상단부 형상(각도 및 꺾은 길이)이 거의 같으며 과연 최대한의 효과를 얻고자 설계되었는지 의심스러운 실정이다.

지금까지의 이론적인 방음벽 연구는 단순한 스크린형상이나 두께가 큰 경우 이중회절에 대한 것이며 상단부가 음원방향으로 꺾인 얇은 형상의 방음벽에 대해서는 제시된 방법이 없다. 모델실험이나 BEM을 이용한 수치해석도 가능하나 비용이나 시간적인 측면에서 여러가지 제한을 받게 된다.

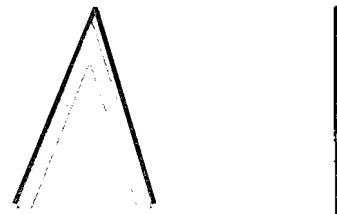
본 연구에서는 Kouyoumjian와 Pathak[1]의 방법을 이용하여 상단부가 꺾인 방음벽에 대해 삽입손실을 해석할 수 있는 이론적인 방법을 다루었다.

I. 서론

자동차 수가 급격히 많아짐에 따라 교통소음에 의한 공해는 점점 더 심각해지고 있으며 이에 대한 해결책으로 방음벽이 널리 쓰이고 있다. 현재 우리나라에 설치되고 있는 대부분의 방음벽 형상은 스크린 형상이거나 상단부가 도로방향으로 꺾인 형상이다. 방음벽 상단부를 도로방향으로 꺾어서 설치하는 것은 방음벽 뒷면에 음이 직접 도달하지 못하는 그림자영역(shadow region)을 보다 더 넓게 형성시키고자 하는 목적으로, 방음벽 높이를 낮추면서도 대동한 소음감소 효과를 얻고자 하는 데 있다.

그러나 설치된 방음벽을 보면 대부분의 경우 방음벽 높이나 방음벽 뒷편의 건물구조나 높이

II. 등가 높이를 갖는 방음벽



(a) 쉐기형상 (b) 스크린 형상

그림 1. 기본적인 방음벽형상

그림 1(a)와 같은 썰기 형상의 방음벽에 대해 Kouyoumjian와 Pathak[1] 및 Pierce[2]는 회절효과를 구할 수 있는 이론 식을 제시하였다. 그림 1(b)처럼 썰기의 열린 각도가 제로가 되는 스크린 형상에 대해서는 두 방법은 같은 결과를 주게된다. 스크린 형상에 대한 이론 식은 실험 결과와도 잘 맞으며 참고문헌 [1]과 [2]보다 더욱 간단한 Maekawa[3]의 식은 방음벽 설계시 유용한 수단으로 널리 쓰이고 있다.

방음벽 높이를 크게 하지 않으면서 소음감소 효과를 높이기 위해 방음벽 상단을 그림 2처럼 여러가지 형상으로 변형을 주는 경우가 많은데 이는 기본적으로 회절효과를 더 크게 하려는 목적이다.

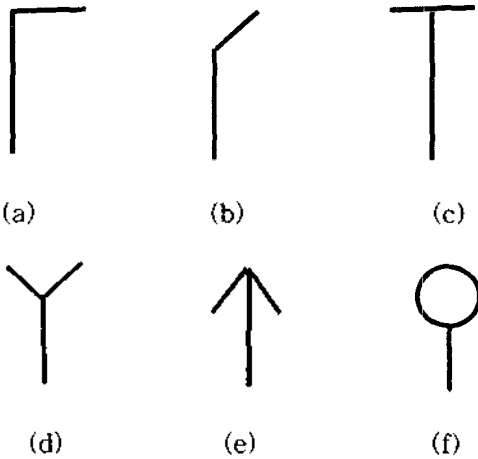


그림 2. 다양한 상단 형상을 갖는 방음벽

그러나 그림 2와 같은 다양한 형태는 이론적으로 삽입손실을 구하는 것이 사실상 불가능하며 대부분 BEM과 같은 수치해석방법을 사용하거나 또는 무향실에서 모델실험을 통해 해석하고 있다. 그림 2와 같은 방음벽의 경우 유효 높이를 갖는 단순한 스크린 형상의 방음벽으로 치환하는 방법이 공학적으로는 유용한 방법인데 그림 3에 등가 높이를 산출하는 개념을 나타냈다.

그러나 이 방법은 상단의 변화가 전체 높이에 비해 지나치게 크지 않을 경우 가능하며 Pierce[2]가 지적한 것처럼 소음원과 수음점이 벽에 가까이 갈 때는 터무니 없이 큰 높이의 방음벽으로 치환되므로 근본적인 한계가 있다.

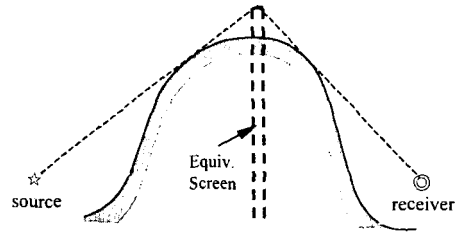
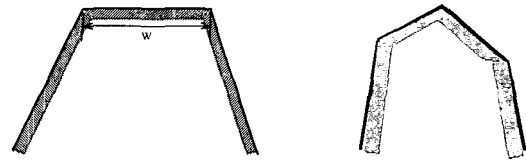


그림 3. 복잡한 단면의 방음벽 및 유효높이를 갖는 스크린 형상의 방음벽

또한 Pierce[2]는 그림 4(a)와 같이 두께가 파장에 비해 충분히 큰 방음벽에 대해 이중 회절을 고려하여 방음벽의 삽입손실을 계산할 수 있는 방법을 제시하였다.



(a) 두께가 있는 방음벽 (b) 다면체 방음벽
그림 4. 다면체 방음벽 형상

Kawai[4]는 Pierce의 방법을 그림 4(b)와 같이 다면체 방음벽에 대해 응용하였으며 또한 Kouyoumjian와 Pathak[1]의 방법을 그림 4에 대해서도 적용할 수 있음을 보였다.

III. 다중 회절

본 논문에서는 Kouyoumjian와 Pathak[1]의 방법을 응용하였는데 이들의 방법은 썰기의 열린 각이 180도보다 클 때도 적용이 가능하다. 그림 1(a)와 같은 일반적인 썰기에 대해 회절성분은 소음원과 수음원이 각각 양면에 반사되는 성분을 고려하여 모두 4개의 항으로 이루어진다. 이제 그림 5와 같이 상단이 꺾인 방음벽을 고려하면 회절 성분은 다음과 같이 주어진다.

$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$

여기서 ϕ_1, ϕ_2 는 point 1과 2를 먼저 지나는 성분으로 각각 다음과 같이 주어진다

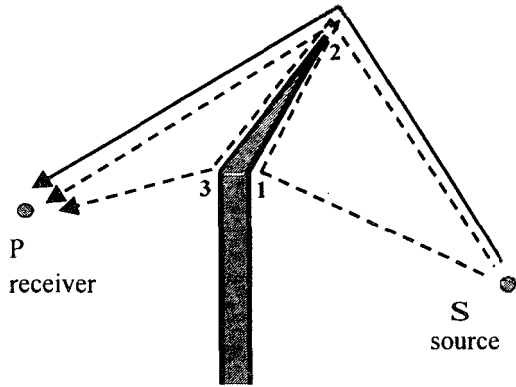


그림 5. 상단이 꺾인 방음벽 단면

$$\phi_1 = \phi_{12} + \phi_{1212} + \phi_{12123} + \phi_{123} + \phi_{1232} + \dots$$

$$\phi_2 = \phi_2 + \phi_{212} + \phi_{2123} + \phi_{23} + \phi_{232} + \dots$$

예를 들어 ϕ_{12} 은 point 1에서 회절되어 상단 끝인 2로 가서 수음점 P로 가는 이중회절 성분을 나타내며 ϕ_{12123} 은 point 1과 2를 거친 후 다시 1로 되돌아와 같은 경로를 반복한 후 수음점 P로 가는 성분을 나타낸다. Kawai[4]에 의하면 한번 지난 점을 다시 거치는 성분은 처음 성분에 비하면 매우 작아 무시할 수 있으며 따라서 3중 회절까지만 고려하면 회절성분은 다음과 같이 4개의 항으로 주어진다.

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

ϕ_2 , ϕ_{12} 등에 대한 자세한 표현은 참고문헌 [4]에 나와있다.

그림 6에는 본 연구에서 예제로 고려한 방음벽의 크기를 보였는데 소음원과 수음점은 방음벽에서 각각 10m 떨어졌으며 바닥에서의 높이는 각각 0.5m, 2.5m이다. 그림 6의 모델에 대해 이중회절음과 단일 회절음의 크기의 비를 그림 7에 보였는데 대부분 5%-10%의 비를 갖는다. 따라서 회절수가 많아질수록 영향은 작아짐을 알 수 있다.

그림 8에는 그림 6의 기본 모델에 대해 변형된 형상을 나타냈다. Type B, C, D는 각각 두 위치에 대해 단순 스크린형태를 세운 경우와 속이 찬 췌기 모양의 방음벽을 가정했을 때의 모습이다. 4가지 경우에 대해 삽입손실을 그림 9에 비교하였는데 이로부터 상단이 꺾인 type A

가 가장 효율이 좋음을 알 수 있다.

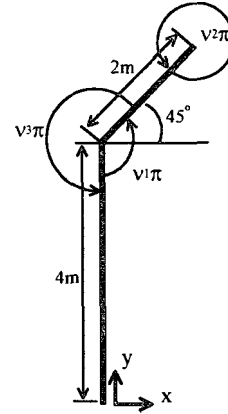


그림 6. 예제로 고려한 방음벽 모델

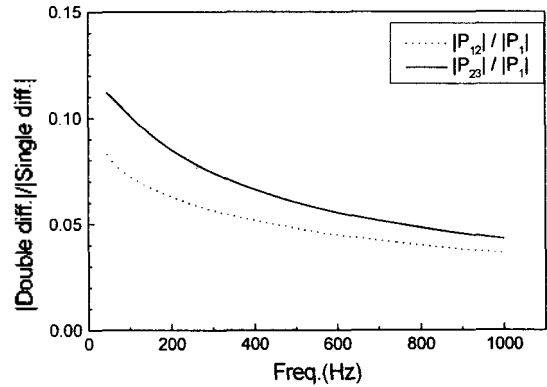


그림 7. 단일 회절음과 이중회절음의 비

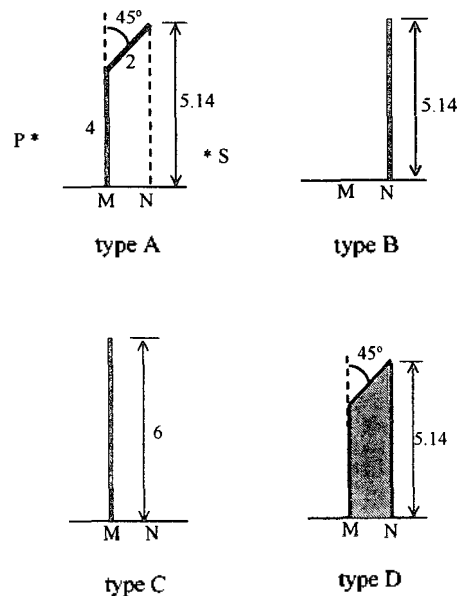


그림 8. 기본 모델과 변형된 형태의 방음벽

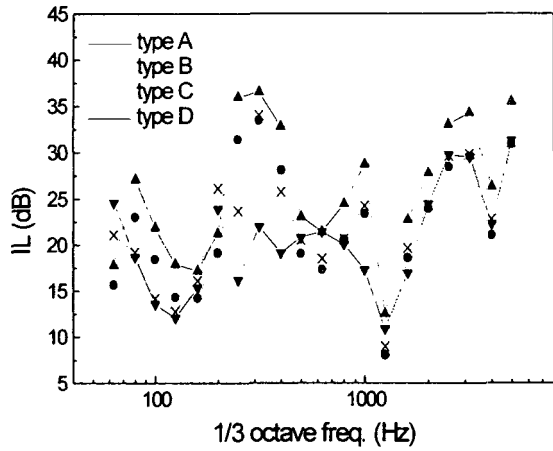


그림 9. 4가지 모델에 대한 삽입손실의 비교

IV. 모델실험

그림 6의 방음벽에 대해 1/10의 축소모델을 제작하여 무향실에서 삽입손실을 측정하였다. 방음벽 모델은 두께 9mm의 합판으로 제작하였고 바닥에도 합판을 깔아 반사표면을 구현하였다. 수음점과 소음원은 방음벽에서 각각 1m 떨어져 있으며 소음원의 높이는 5cm이다. 그림 10에 단면을 보였다.

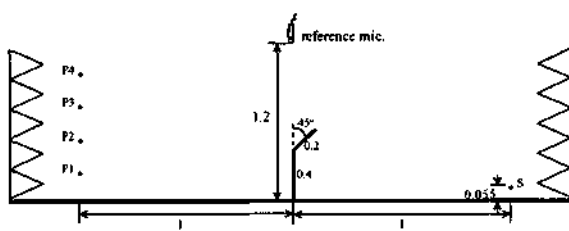


그림 10. 모델 및 실험 단면

그림 11에는 수음점의 높이가 75cm인 경우에 대해 이론값과 실험으로 얻은 삽입손실을 비교하였다. 이론과 실험치는 일부 국부적인 변화를 제외하고는 전반적으로 일치함을 알 수 있다.

V. 결론 및 검토

본 논문에서는 상단부가 꺾인 방음벽의 성능을 다중회절이론을 이용하여 예측할 수 있는 방법을 제시하였으며 무향실에서 모델실험을 통해 이를 검증하였다. 본 논문에서 제시된 방법은 고층건물과 같이 높은 층의 소음저감이 중요한 경우 방음벽 설계에 도움을 줄 것으로 기대된다.

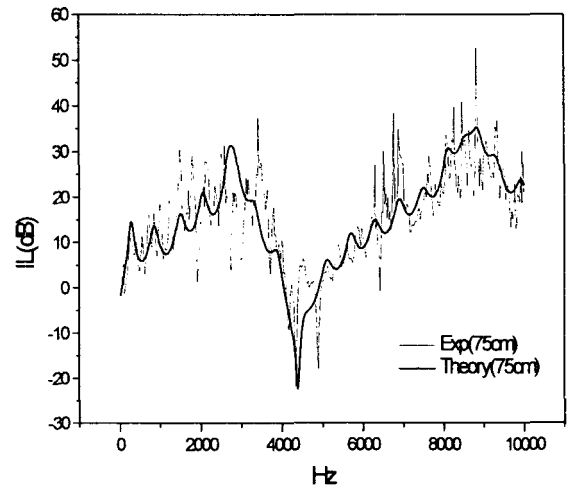


그림 11. 삽입손실의 이론 값과 실험치의 비교

참 고 문 헌

1. 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.
2. A. D. Pierce, "Diffraction of Sound around Corners and over Wide barriers", JASA, Vol. 55, 941-955, 1974.
3. Z. Maekawa, "Noise Reduction by Screens", Applied Acoustics, Vol. 1, 157-173, 1968.
4. T. Kawai, "Sound Diffraction by a Many-sided Barrier or Pillar", J. Sound and vib, Vol. 79, 229-242, 1981.