

방음벽해석 프로그램의 개발

⁰김현실*, 김재승, 강현주, 김봉기, 김상렬

Development of Noise Barrier Analysis Program

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Ju Kang, Bong-Ki Kim, and Sang-Ryul Kim

Key Words: Noise barrier, diffraction, insertion loss

ABSTRACT

In this paper, development of the noise barrier analysis program is described. The upper part of barriers may have complicated shapes like "Y", "T", inverted L, and other shapes. The insertion loss of the barrier is predicted by summation of multiple diffractions occurring at top edge points. In addition, the program considers diffractions occurring at both vertical sides, while reflections from ground due to mirror images are also included. In case of two barriers at both sides of the road, reflections from the other side of barriers are considered, in which magnitudes are decreased by the ratio of absorption coefficient.

1. 서 론

방음벽의 성능은 소음전파를 감소시키는 삽입손실 (Insertion Loss)로 표현되는데 일반적으로 높이가 높을수록 삽입손실이 증가한다. 그러나 고층아파트와 같은 밀집된 주거단지에서는 높은 방음벽은 시야를 제한하며 심리적으로 답답한 상태를 초래할 뿐 아니라 제작 및 유지/보수 측면에서도 많은 문제점을 포함하고 있다. 최근에는 방음벽 끝단이 "T", "Y" 등 복잡한 형상을 갖는 방음벽이나 다면체 형상을 갖는 방음벽, 회절장치를 이용한 상단저감장치의 부착 등 높이를 올리는 대신 상단부 형상을 복잡하게 만들어 끝단에서의 회절효과를 더 크게 하는 방법이 널리 사용되고 있다.

복잡한 형상의 방음벽을 사용하는 경우 가장 근본적인 문제는 방음벽의 성능을 어떻게 예측하는가 하는 점이다. 지금까지의 이론적인 방음벽 성능 예측은 썩기나 스크린 형상, 두꺼운 방음벽이 주 대상이었으며 썩기형상에서 더 나아가 다면체 형상을 갖는 단면에 대해 다중회절[1]을 고려한 연구 결과가 발표되었다. 일반적으로는 BEM이나 모델 실험에 의한 해석이 가능하나 실용적인 면에서 방음벽 설계자가 사전에 형상만 가지고 성능을 예측하기에는 마땅한 해석수단이 없는 실정이다.

본 연구에서는 다양한 방음벽에 대해 소음감소 성능(삽입손실)을 예측하는 프로그램 개발내용을 소개하였다. 지면에 의한 반사 및 측면에 의한 회절과 도로단면 양쪽으로 흡음형 방음벽이 설치된 경우 반사에 의한 회절도 고려하였으며 흡음률에 의한 음향파위감소도 고려하였다.

* 한국기계연구원 음향.소음팀

2. 다중회절 및 반사고려

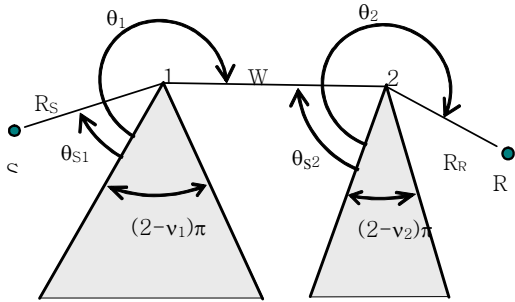


Fig. 1 Double diffraction by two wedges.

다중회절에 관한 자세한 식은 참고문헌 [2]에 나와 있으며 Fig. 1과 같은 이중 wedge 방음벽에서 회절은 모서리(edge) 1과 2에서 발생하는데 회절식은 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{e^{-ikL}}{L} H_1 H_2 \quad (1)$$

여기서 H_1 , H_2 는 회절계수이며 음파가 이동한 총거리 L 은 다음과 같이 주어진다.

$$L = R_S + W + R_R$$

Fig. 2와 같이 두꺼운 방음벽, 또는 Fig. 3(b), 3(c), 3(e)와 같이 상단이 꺾인 방음벽에 대해서는 상단에서 mirror image가 발생하기 때문에 (1/2)을 곱해야 하며 식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{1}{2} \frac{e^{-ikL}}{L} H_1 H_2 \quad (2)$$

식 (1)은 임의의 수의 edge를 갖는 다중 방음벽이나 wedge의 경우에도 응용할 수 있는데 만일 M 이 공통면의 갯수, N 이 edge의 개수이면 다중 회절음파는 다음과 같이 된다.

$$\phi = \left(\frac{1}{2}\right)^M \frac{e^{-ikL}}{L} \prod_{Q=1}^N H_Q \quad (3)$$

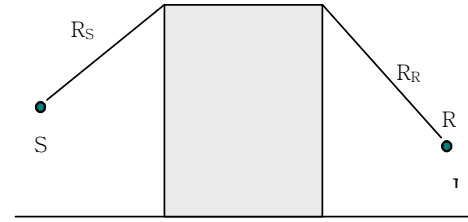
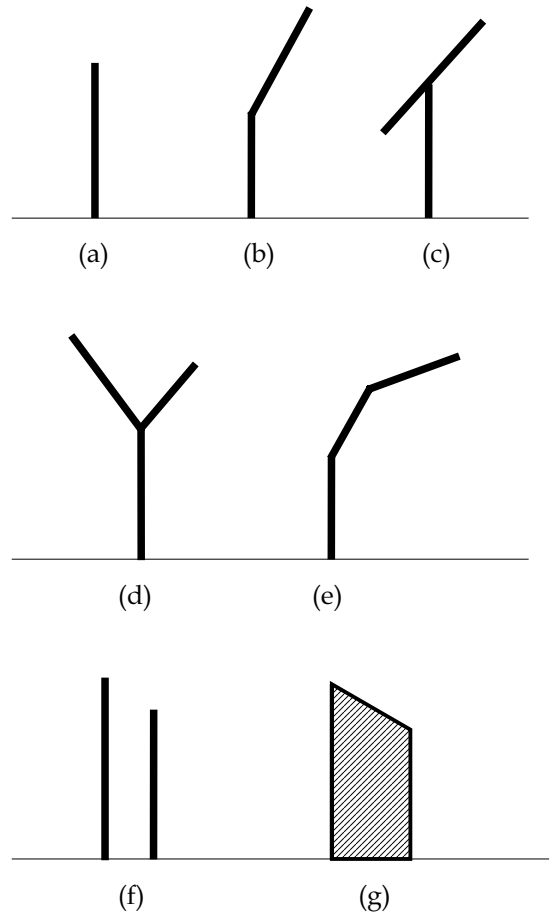


Fig. 2 Thick barrier

식 (3)은 볼록한 점 뿐만 아니라 오목한 점에서 발생하는 회절도 고려 할 수 있는데 회절은 전파 경로가 가장 짧은 것이 가장 영향이 크며 전파경로가 길어지며 회절수가 많아지는 것은 영향이 작아 공학적인 측면에서는 무시하여도 좋다[1].

본 연구에서는 방음벽의 회절을 해석하는 프로그램을 개발하였는데 고려할 수 있는 방음벽 종류는 Fig. 3과 같다.



- (a) 단순 screen 방음벽
- (b) 단일 꺾임 방음벽
- (c) T-type 방음벽
- (d) Y-type 방음벽
- (e) 이중 꺾임 방음벽
- (f) 이중 screen 방음벽
- (g) 사각형 형태의 두꺼운 방음벽

Fig. 3 프로그램에서 다룰 수 있는 방음벽종류

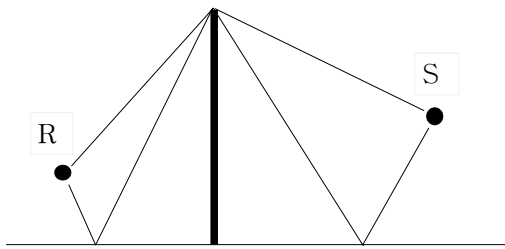


Fig. 4 바닥반사에 의한 회절경로

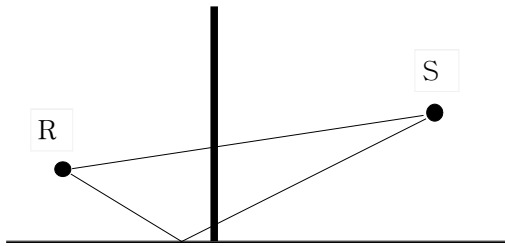


Fig. 5 측면 edge에 의한 회절경로

Fig. 3에 주어진 방음벽에 대해 직접전파와 Fig. 4처럼 바닥에 의한 반사경로를 합하여 4가지 전파 경로를 고려하였고 이외에 Fig. 5처럼 양쪽 edge에 의한 전파경로 2가지씩 4가지를 고려하였다. 따라서 주어진 Source와 Receiver point에 대해 일반적으로 모두 8가지의 회절경로를 고려하였다.

$$\phi = \sum_{n=1}^8 \phi_n \quad (4)$$

본 연구에서는 바닥은 단단하여 모든 음향에너지가 반사하는 것으로 간주하였는데 흙이나 잔디

처럼 바닥의 유연함이 큰 영향을 주는 경우 admittance를 포함하는 복잡한 식을 사용해야 하는데 일반적으로 아스팔트나 콘크리트 바닥은 완전 반사체로 보아도 큰 오차는 없다.

대도시와 같은 인구밀집지역에서는 도로 양쪽에 흡음형 방음벽이 설치되는 경우가 대부분인데 Fig. 6처럼 음파는 반대쪽 방음벽에 반사한 후 Receiver 쪽으로 향하게 된다. 반대쪽 방음벽에 의해 생기는 mirror image S'와 S''를 새로운 소음원으로 보고 추가로 회절을 고려하였는데 일반적으로 양쪽 방음벽은 흡음형 방음벽을 사용하므로 반사되는 음파는 흡음률만큼 에너지를 잃는다. 방음벽의 흡음률을 α 라고 하면 전체 음향에너지는 다음과 같이 된다.

$$|p|^2 = |p_s|^2 + \sum_n (1 - \alpha) |p_n|^2 \quad (5)$$

여기서 p_s 는 반대쪽 방음벽이 없는 경우 식 (4)의 8개 경로를 합한 성분이고 p_n 은 Fig. 6의 mirror image S'와 S''에 기인한 성분으로 Receiver 쪽의 반사를 고려하면 모두 4개의 경로를 포함한다.

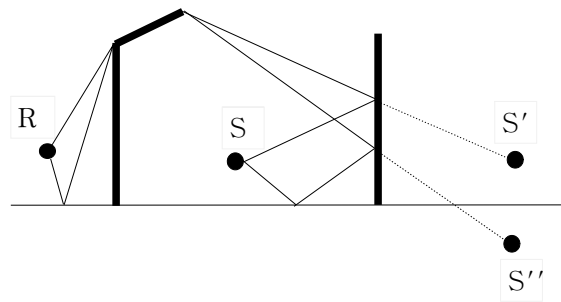


Fig. 6 반대쪽 흡음형 방음벽에 의한 회절경로

3. 도로교통소음 모델

도로교통소음 모델은 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 일본음향학회에서 발표한 모델[3]을 이용하였다. 1대의 차량이 주행할 때 2가지 차종 분류에 따르면 A-특성 음향파위레벨은 속도 V

(km/h)로 정상주행시($40\text{km/h} \leq V \leq 140\text{km/h}$) 다음과 같이 주어진다.

소형차(승용차+소형화물차) :

$$L_{WA} = 46.7 + 30\log V$$

대형차(중형 및 대형차) :

$$L_{WA} = 53.2 + 30\log V$$

중심주파수 i 에 대한 A 특성 밴드 파워레벨은 다음과 같다.

$$L_{WA,i} = L_{WA} + \Delta L_{WA,i}$$

$$\Delta L_{WA,i} = \Delta L_{W,i} + \Delta L_{A-weight,i} + \Delta L_{adj}$$

여기서 $\Delta L_{A-weight,i}$ 는 A 특성보정치이고 다른 변수는 다음과 같다.

$$\Delta L_{W,i} = -10\log\{(1 + (f_{c,i}/2000)^2)\}$$

$$\Delta L_{adj} = -10\log\sum_i 10^{(\Delta L_{W,i} + \Delta L_{A-weight,i})/10}$$

도로소음은 차가 연속해서 지나가는 line source의 성질을 나타내나 3차원 해석시 매우 복잡한 문제가 되므로 본 연구에서는 길이 Δl 에 해당하는 도로교통소음을 점음원으로 대치하고 각각의 점음원은 서로 상관관계가 없는(incoherent) 소음원으로 간주하였다. 시간당 통과하는 차량갯수를 N 이라고 하면 Δl 을 통과하는데 걸리는 시간은 $3.6\Delta l/V$, 초당 통과하는 차량수는 $N/3600$ 이므로 Δl 사이에 존재하는 차량수는 $\Delta l N/1000V$ 이며 1개의 등가 점음원이 갖는 음향파워레벨은 다음과 같이 주어진다.

$$L_{WAT,i} = L_{WA,i} + 10\log\left(\frac{\Delta l N}{1000V}\right)$$

도로가 편도 3차선이라면 소음원은 레인 중앙에 존재하는 점음원으로 가정하였으며 왕복 6차선의 경우 두개의 점음원으로 가정하였다.

도로교통소음의 주 원인은 타이어 및 엔진소음이므로 소음원의 높이는 지면에서 0.5 m로 하였다.

Fig. 5(e)의 이중꺾인 방음벽에 대해 본 연구에서 개발된 프로그램과 BEM을 이용한 결과를 비교

하였는데 잘 일치함을 알 수 있다.

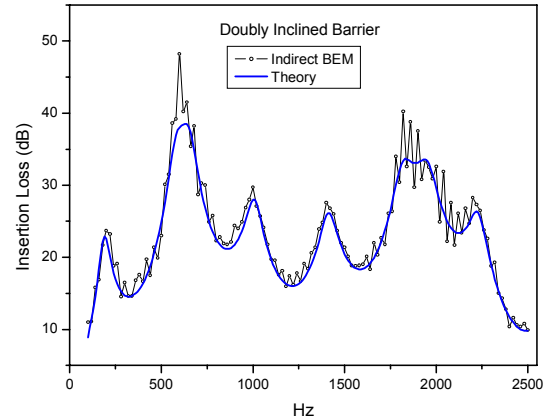


Fig. 7 Insertion loss of doubly inclined barrier

4. 검토 및 결론

본 연구에서 개발된 프로그램은 도로교통소음에 의해 발생하는 소음에 대해 여러 가지 다양한 방음벽을 설치하는 경우 예상되는 소음레벨 감소량을 간편한 방법으로 정확하게 예측할 수 있어 실제 방음벽설계에 큰 도움이 될 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] H. S. Kim, J. S. Kim, H. J. Kang, B. K. Kim, and S. R. Kim, "Sound diffraction by multiple wedges and thin screens," *Applied Acoustics*, Vol. 66, 1102-1119, 2005.
- [2] 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.
- [3] 도로교통소음 예측모델 "ASJ RTN-Model 2003", 일본음향학회지 60권 제 4호, pp. 192-241, 2004.