

# 다중 wedge 및 방음벽에 의한 음파회절

김현실, 김재승, 강현주, 김봉기, 김상렬

한국기계연구원 음향연구그룹

## Sound diffraction by multiple wedges and noise barriers

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

Acoustics Lab., Korea Institute of Machinery and Materials, hskim@kimm.re.kr

### 요약

본 논문에서는 다중 wedge와 방음벽에 의한 음파의 회절을 예측하는 공식을 다루었으며 BEM이나 다른 측정결과와 비교하여 정확성을 확인하였다. 여러 가지 경우의 회절경로가 있을 때 가장 적은 수의 회절경로를 따라 전파하는 음파가 가장 중요한 성분이며 회절수가 커질수록 크기는 줄어든다.

### 1. 서론

방음벽이나 wedge 등에 의한 음파의 회절은 실용적으로 많은 응용분야를 갖고있다. 빌딩 등 도시 공간에서의 음파의 전달, 끝단이 “T”, “Y” 등 복잡한 형상을 갖는 방음벽이나 다면체 형상을 갖는 방음벽의 성능해석, 스피커 후방의 음장해석이 그 예인데 본 논문은 2003 년도 음향학회 추계학술대회에 발표한 논문[1]의 후속 편으로 음파의 다중회절에 대한 이론식의 유도과 BEM, 실험 등과의 비교를 다루고 있다.

음파의 회절 중 가장 간단한 문제는 단일 스크린이나 wedge 에 의한 회절로 여러 가지 회절이론이 알려져 있는데 그 중 널리 사용되는 것은 기하학적인 회절이론(GTD: Geometrical Theory of Dffraction [2-3])이다. Salomon[4]은 GTD 를 BEM, parabolic equation method, 실험치 등 다른 해석방법과 비교하였는데 GTD 는 공학적으로 적용하기에 충분히 정밀성을 갖고 있으며 방음벽문제에 용이하게 적용할 수 있는 장점을

갖고있다고 보고하였다. 방음벽의 두께가 증가하거나 다중 방음벽이 존재하면 음파는 다중회절을 경험하게 되는데 이중회절에 관한 이론은 참고문헌 [3]에서 다루고 있다. Kawai[5]는 이를 응용하여 볼록 다면체 형상에 적용하였다.

본 연구에서는 참고문헌 [2]의 회절이론을 사용하여 볼록(convex) 및 오목(concave)한 형상이 조합된 다중 방음벽 및 wedge 위로 음파가 전파할 때 적용할 수 있는 간편한 이론식을 제시하였다.

### 2. 이론해석

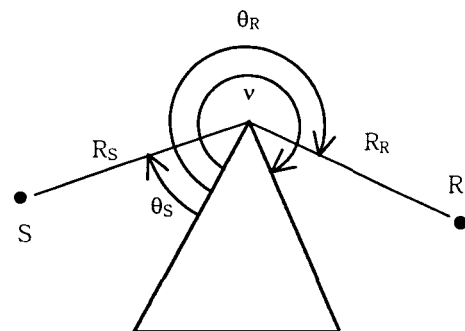


Fig. 1 Single diffraction by a wedge

Fig. 1과 같은 단일 wedge 위로 음파가 전파할 때 수신점(Receiving Point) R에서의 음파는 다음과 같이 주어진다.

$$\phi = \phi_i(Q) D_Q M e^{-ikR_R} \quad (1)$$

여기서  $D_Q$  는 회절계수이며 incident wave와 scale factor는 구면파전파의 경우 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_i(Q) = \frac{e^{-ikR_S}}{R_S}, \quad M = \sqrt{\frac{R_S}{R_R(R_S + F_R)}} \quad (2)$$

회절계수에 관한 자세한 식은 참고문헌 [2]에 나와 있으며 식 (1)과 (2)를 정리하면 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{e^{-ikL}}{L} H_Q \quad (3)$$

여기서  $L = R_S + R_R$ . Fig. 2와 같은 이중 wedge를 고려하면 식 (1)과 (2)의 단일회절을 두 번 고려하여 다음과 같이 유도된다.

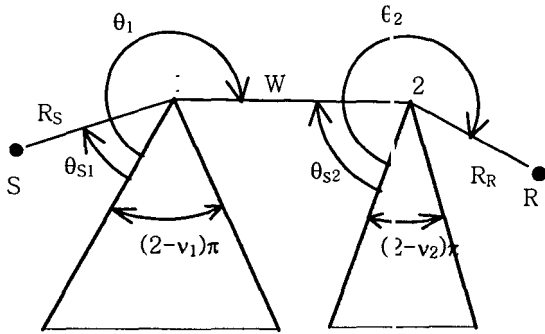


Fig. 2 Double wedges

$$\phi(R) = \phi_i(Q_2) D_2 \sqrt{\frac{R_S + W}{R_R L}} e^{-ikR_R} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{e^{-ikL}}{L} H_1 H_2 \quad (5)$$

여기서  $L = R_S + W + R_R$ .

Fig. 3과 같이 두꺼운 방음벽에 대해서는 상단에서 mirror image가 발생하기 때문에 (1/2)를 곱해야 하며 식 (5)는 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{1}{2} \frac{e^{-ikL}}{L} H_1 H_2 \quad (6)$$

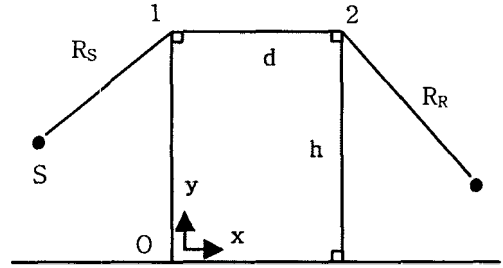


Fig. 3 Thick barrier

식 (5)는 임의의 수의 edge를 갖는 다중 방음벽이나 wedge의 경우에도 응용할 수 있는데 단일 M이 공통면의 갯수, N이 edge의 개수이면 다중 회절음파는 다음과 같이 된다.

$$\phi = \left(\frac{1}{2}\right)^M \frac{e^{-ikL}}{L} \prod_{Q=1}^N H_Q \quad (7)$$

### 3. 수치해석 예

식 (5)와 BEM을 비교한 결과는 참고문헌[1]에 나와있으며 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 4에는 세가지 경우에 대해 삽입손실을 비교하였는데 이중 방음벽(case (a))이나 이중 wedge(case (c))는 거의 유사하나 두꺼운 방음벽(case (b))의 경우만 다소 차이를 보인다.

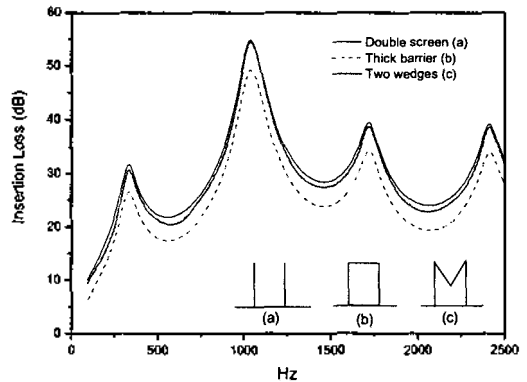


Fig. 4 Insertion loss for double wedges

Fig. 5에는 이중방음벽의 삽입손실을 식 (5)를 사용하여 계산하였으며 참고문헌[6]에 제시된 계측결과와 비교하였는데 잘 일치함을 알 수 있다.

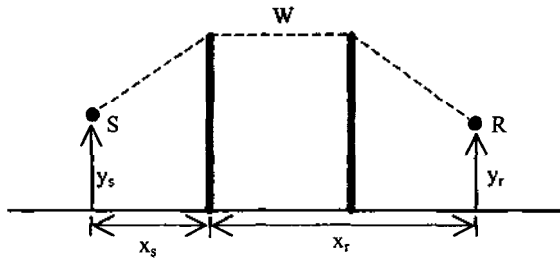


Fig. 5 Double screen-type barriers

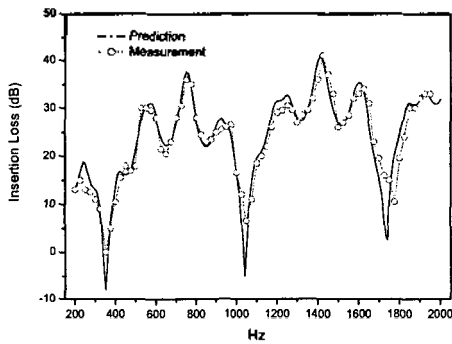


Fig. 6 Insertion loss for double barriers in Fig. [5].  $W = 1.89$  m,  $x_s = 5$  m,  $y_s = 1.5$  m,  $x_r = 7$  m,  $y_r = 2$  m, and  $h = 3.17$  m (taken from Fig. 8 in Ref. [6]).

Fig. 7에는 삼중방음벽의 삽입손실을 식 (7)을 사용하여 계산하였으며 참고문헌[7]에 제시된 계측결과와 비교하였다. 수음점의 마이크높이를 증가시키며 측정하였는데 높이에 따라 음파는 삼중, 이중, 단일회절 및 직접전파(direct path)의 경로를 갖는다.

Fig. 8에는 고정된 주파수에 대해 마이크 높이 변화에 따른 삽입손실을 비교하였는데 대체로 잘 일치하나  $R_y=30$ 에서는 예측은 삼중에서 이중회절로 바뀌므로 불연속성을 보이는데 측정결과는 연속적으로 변한다. 측정은 바닥에서의 반사를 고려하지 않았는데 실제로는 반사파의 영향이 있었던 것으로 보이며 불

일치의 원인으로 작용한 것으로 보인다.

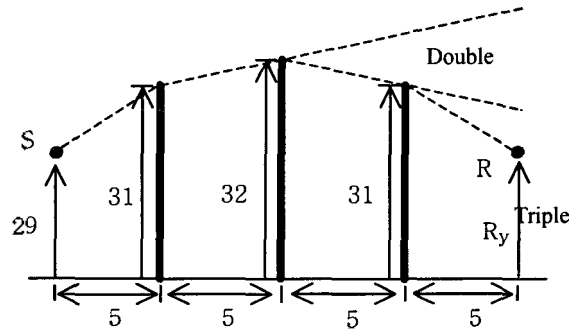
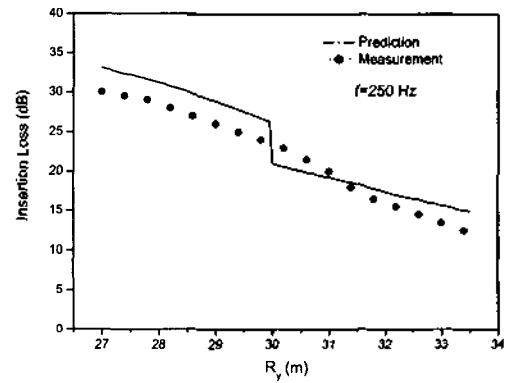
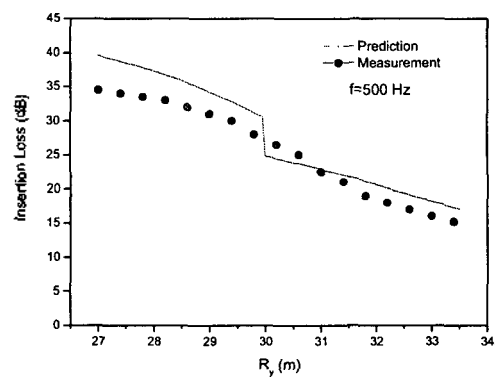


Fig. 7 Triple barriers



(a)



(b)

Fig. 8 Comparisons of insertion loss for triple barriers in Fig. 7 (measurement data are from Ref.[7]).

(a): 250Hz, (b): 500Hz

여러 가지 경우의 회절경로가 있을 때 가장 적은 수의 회절경로를 따라 전파하는 음파가 가장 중요한 성분이며 회절수가 커질수록 크기는 줄어든다.

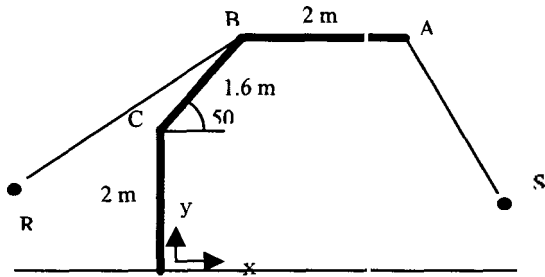


Fig. 9 Doubly inclined barrier

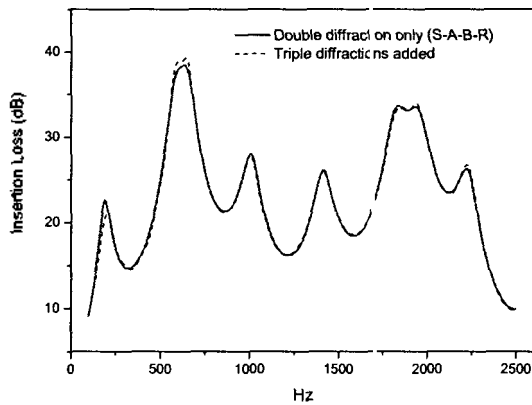


Fig. 10 Insertion loss of the doubly inclined barrier when  $S=(15m, 0.5m)$ , and  $R=(-10m, 1.5m)$

Fig. 10에는 이중으로 굽어진 방음벽의 삽입손실을 계산하였는데 이중회절과 삼중회절을 비교하였으며 삼중회절 성분은 무시해도 좋을 정도로 영향이 작음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서 제안한 식은 볼록 및 오목한 edge를 갖는 임의의 다중 wedge 및 방음벽의 회절된 음파계산에 적용할 수 있다. Edge가 붙어 있는 경우는 공통면에서의 mirror image 때문에 1/2를 곱해야 한다.

#### 참고문헌

1. 김현실외, 다중회절에 의한 음파전달에 관한 연구, 한국음향학회 추계학술대회논문집, 317-318, 2003.
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. A. D. Pierce, Diffraction of Sound around Corners and over Wide barriers,"JASA, Vol. 55, 941-955, 1974.
4. E. M. Salomons, Sound propagation in complex outdoor situations with a non-refracting atmosphere: model based on analytical solutions for diffraction and reflection, Acustica, Vol. 83, 436-454, 1997
5. T. Kawai, "Sound Diffraction by a Many-sided Barrier or Pillar," J. Sound and Vib, Vol. 79, 229-242, 1981.
6. G. J. Wadsworth and J. P. Chambers, Scale model experiments on the insertion loss of wide and double barriers, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 107, 2344-2350, 2000.
7. K. Higashi, Y. M. Park, K. Takagi, R. Hotta, and K. Yamamoto, Noise attenuation by triple barriers, Proceeding of Technical Presentation of Noise Control in Japan (in Japanese), 297-300, 1995.