

<논 문>

스파크 음원을 이용한 장벽의 회절음장에 관한 실험 연구

Experimental Study on Sound Diffraction over Barrier Using a Spark Discharge Sound Source

주 진 수*

Jin-Soo Joo

(1998년 11월 3일 접수 ; 1999년 3월 29일 심사완료)

Key Words : Spark Discharge Sound Source(스파크 음원), Infinite Barrier(무한장 장벽), Semi-Infinite Barrier(반무한장 장벽), Finite Barrier(유한장 장벽), Scale Model Experiment(축척모형실험)

ABSTRACT

The prediction methods of diffraction field in barrier has been reported much about the infinite length barrier and it is very few work that reasonable sound source was used in experiment. This study, however, has worked about the several model barrier with acoustic scale model experiment. In the case of scale model experiment, it is difficult to use the kind of source with sufficiently characteristics. A spark discharge sound source with the high repeatability, broad band spectra, small size and omnidirectivity has been used for the prediction of diffraction field. Several model barriers with different length on the ground were considered for the experiment and compared with the results calculated by the approximation.

1. 서 론

우리 주위에는 소음을 발생하는 다양한 소음원이 존재하고 있으며, 이들 소음원으로부터 발생한 소리는 공기중을 전파하기 때문에 기상이나 지표면에 의한 감쇠와 더불어 벽이나 건물 등의 장애물에 의한 영향을 받는다. 이 중에서 벽이나 건물 등이 소음의 전파 경로에 위치하게 되는 경우 그 후방의 음장을 추정하는 방법에 관해서는 예로부터 incoherent source 와 무한장 길게 이어지는 장벽을 가정한 연구가 행하여지고 있다.

그러나 장벽에 의한 회절음장을 예측하는 데에는 음원과 수음점의 정확한 위치관계와 음원의 넓은 주파수 대역이 필요하며, 장벽의 형상도 매우 다양하기 때문에 이에 대한 고려가 충분히 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 건축음향이나 소음분야에서도 널리 쓰여지고 있는 디지털 신호처리 기술과 축척모형 실험기법을 이용하여 장벽에 의한 회절음장을 실험적으로 예측하였다. 모형실험⁽¹⁾에는 음원의 크기와 지향성, 재생주파수 대역과 재현성 등을 고려하여 모형실험에 적합한 스파크 음원을 사용하였다. 또한 모형실험의 정확성을 검토하기 위하여 회절 근사이론을 이용한 예측계산을 실시하여 실험결과와 계산결과를 비교하였다. 본 연구에서는 지표면 위에 설치길이가 무한히 계속되는 무한장 장벽과 길

* 정회원, 한일장신대학교 건축학부

이가 정해진 반무한장 장벽 및 유한장 장벽 등을 검토 대상으로 하였다.

2. 모형실험

모형실험은 1/20 축척을 가정하고, 실험실 바닥에 는 수평을 유지하기 위하여 목재틀을 제작하고 지표 면으로서 그 위에 두께 10 mm의 합성 수지판을 설치하였다. 장벽은 두께 2 mm의 알루미늄 판을 사용하여 길이가 서로 다른 3 종류의 높이 150 mm (실물환산 3 m)의 모형장벽을 제작하였다.

모형실험의 측정계통을 Fig. 1에 나타내며 음원의 음향특성을 측정하기 위해 무향실에 설치된 스파크 음원을 Fig. 2에 나타낸다. 모형실험 음원으로는 재생 주파수 대역, 지향특성 및 크기 등을 고려하여 방전 스파크 음원을 이용하였다. 수음에는 B&K 4135 1/4 inch 콘덴서 마이크로폰을 이용하였으며, S/N비를 좋게 하기 위하여 동기가산을 하였다. 실험시에는 장벽을 설치한 상태와 설치하지 않은 상태

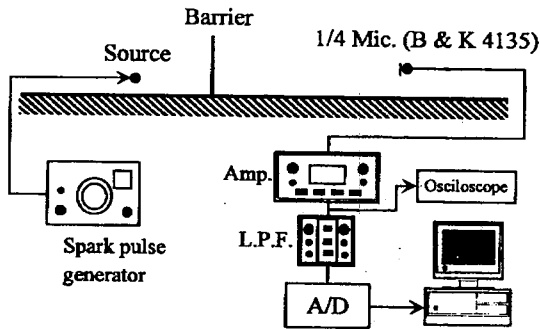


Fig. 1 The scale model configuration and experimental set-up

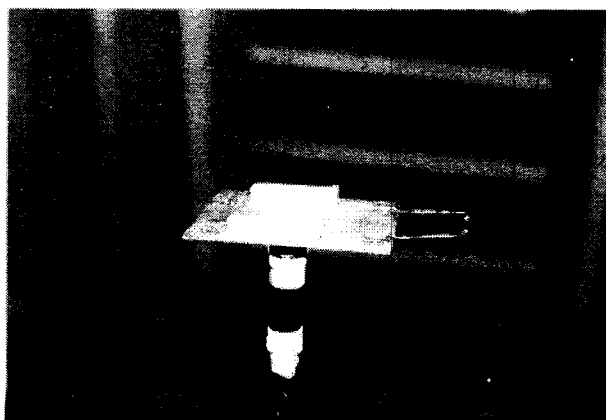


Fig. 2 Electrodes of the spark discharge sound source

를 번갈아 가면서 측정을 하였다. 각 장벽에 대한 모형실험에서의 음원점과 측정점의 위치관계를 Fig. 3에 나타낸다.

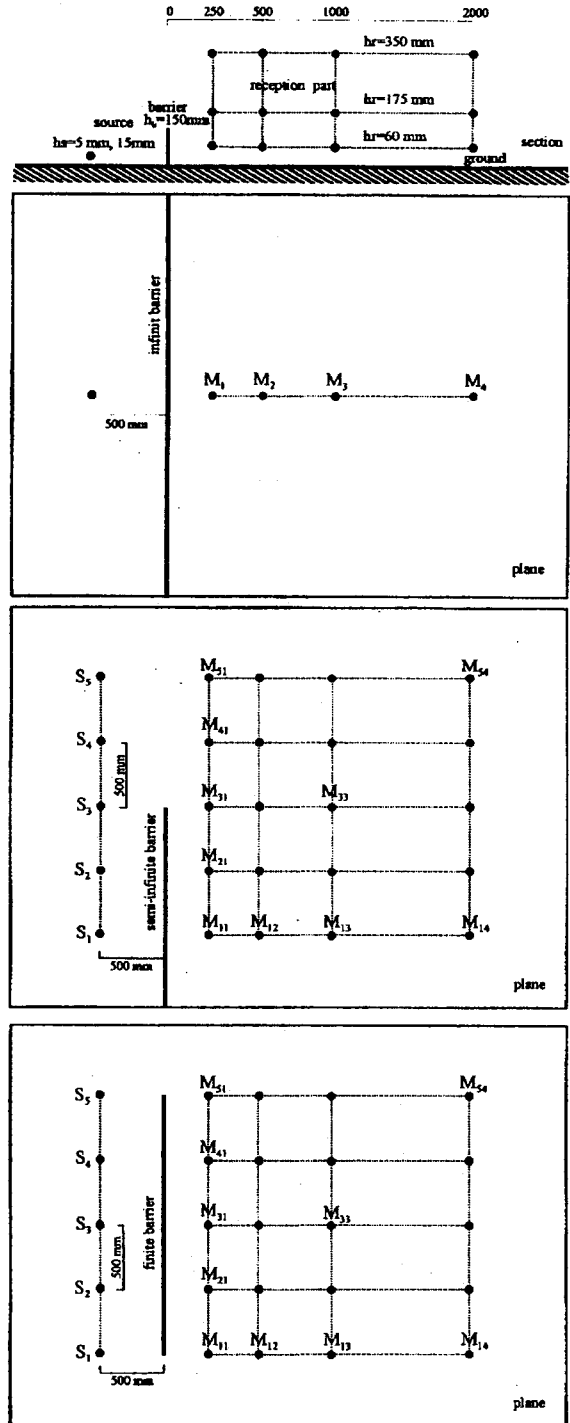


Fig. 3 Geometry of the sound source and receiver for each barrier(Scale : 1/20)

분석방법은 수집한 신호에 대하여 퍼스널 컴퓨터에 의한 FFT 분석을 하여 1/12 옥타브 밴드로 합성하였다.

3. 스파크 음원의 특성

본 연구에서는 모형실험 및 수치계산에 점음원을 가정하고 있으므로 모형실험에 사용하는 음원은 점음원의 음향방사특성을 만족하여야 한다. 따라서 무향실에서 스파크 음원을 바닥으로부터 높이 1.5 m 위치에 설치하여 거리감쇠 특성과 지향특성을 측정하였으며 측정결과를 Fig. 4과 Fig. 5에 나타낸다.

Fig. 4에 나타낸 스파크음원의 거리감쇠 특성은

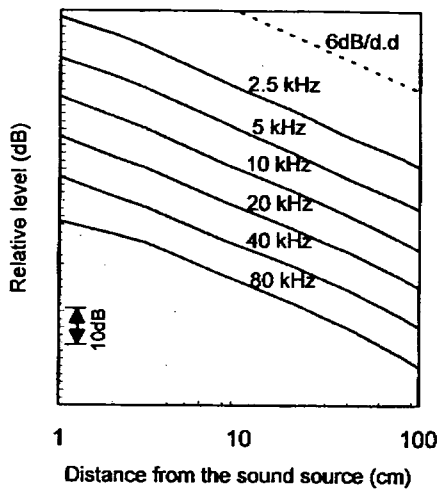


Fig. 4 Sound pressure level attenuation with distance for the spark discharge sound source

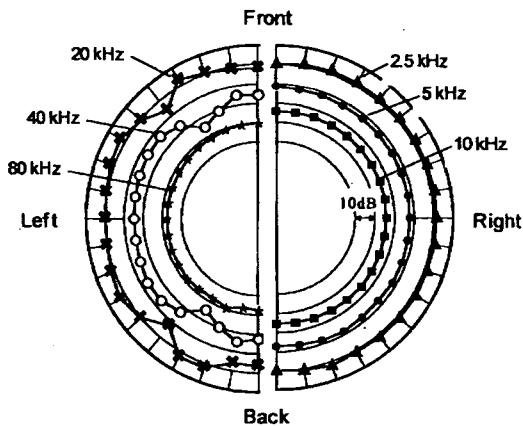


Fig. 5 Directional characteristic of the spark discharge sound source

점음원이 자유음장에 있을 때의 음원으로부터의 거리에 대한 역2승법칙을 만족하고 있으며, Fig. 5의 지향특성에 있어서도 40 kHz, 80 kHz 주파수 대역의 일부를 제외하면 점음원의 무지향성 방사특성을 나타냈다.

4. 계산방법

두께를 무시할 수 있는 음향적으로 단단한 장벽에 구면파가 입사하는 경우, Macdonald⁽²⁾에 의하면 구면파에 의한 전영역 안의 임의의 측정점에서 속도 포텐셜은 실음원과 장벽에 의한 허상음원에 의한 속도 포텐셜의 합으로 표시된다. 또한 각 속도 포텐셜은 기하광학적 음파와 회절파의 합으로 표현되며, 본 연구에서는 회절파에 대하여 복소 프레넬적분을 이용하여 Macdonald의 엄밀해를 간단히 표현한 Bowman & Senior⁽³⁾의 회절근사식을 이용하였다.

그러나 지표면 위에서 장벽에 의한 회절음장을 예측계산하는 경우에는 음원과 수음점에 대하여 지표면과 장벽에 대한 허상을 고려할 필요가 있기 때문에 전파경로가 매우 복잡하게 되지만, 본 연구에서는 음원과 수음점의 장벽에 대한 반사는 고려하지 않고 지표면 반사만을 고려하는 예측계산을 하였다. 그러나 무한장 장벽의 회절음장 계산에서는 식 (1)과 같이 장벽 표면에서 완전반사에 의한 허음원을 동시에 고려하는 계산(Fig. 6)과 Maekawa 차트를 식으로 표현한 山本⁽⁴⁾ 등의 계산식을 이용한 검토를 병행하였다. 한편 지표면에 의한 반사영향의 계산에는 경계면에서 음향 임피던스가 거의 일정하다고 가정하는 locally reacting의 경계조건에 대한 川井⁽⁵⁾의 근사식을 이용하였으며, 지표면의 어드미턴스는 Delany & Bazley⁽⁶⁾의 계산모델을 이용하였다.

$$\phi = U_{11} + Q_S U_{21} + Q_P U_{12} + Q_S Q_P U_{22} + U_{11} + Q_P' U_{12} + Q_S' U_{21} + Q_S' Q_P' U_{22} \quad (1)$$

여기서 U_{ij} 는 음원 S_i 로부터 수음점 P_j 로의

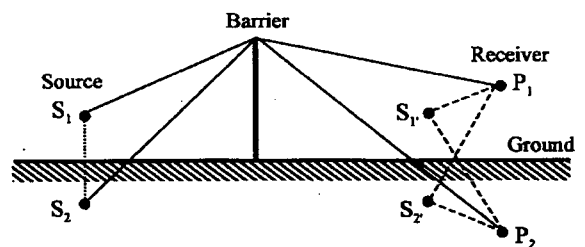


Fig. 6 Geometry of barrier on the ground

전달음^(1,2)

$Q_S, Q_{S'}, Q_{S''}, Q_{S'''}$ 는 음원측 지표면에서의 반사계수^(4,5)

$Q_P, Q_{P'}, Q_{P''}, Q_{P'''}$ 는 수음측 지표면에서의 반사계수^(4,5)

한편 장벽이 비교적 길게 설치되어 있는 경우에는 장벽 상부를 넘어 오는 음만을 고려하면 좋으나 Fig. 7 과 같이 장벽의 설치 길이가 제한되는 곳에서는 상부를 넘어오는 음만이 아니라 장벽 측방을 돌아오는 음을 함께 고려할 필요가 있다. 이와 같은 상부와 양측 개방면의 3개의 개방면을 생각하는 계산방법으로는 각 개방면에 대하여 반무한 장벽과 1/4 장벽의 회절을 생각하는 방법^(7,8), 3개의 경로에 반무한 장벽의 회절효과를 적용하는 방법⁽⁹⁾, 상부 개방면의 반무한 장벽의 회절효과만을 적용하는 방법⁽¹⁰⁾ 그리고 Fresnel-Kirchhoff 의 근사이론과 Babinet 원리를 응용하는 방법⁽¹¹⁾ 등이 검토되고 있다. 본 연

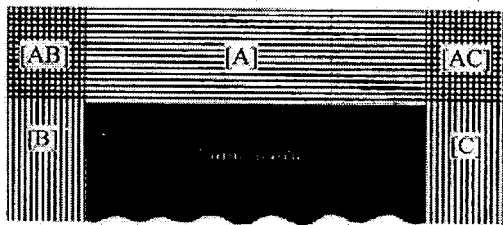


Fig. 7 The simplified model for a finite barrier. Semi-infinite open space, [A], [B], [C]; 1/4 infinite open space, [AB], [AC]

구에서는 참고문헌 (7)의 반무한 장벽과 1/4 장벽의 회절을 생각하는 계산방법 식 (2)와 이에 대한 계산적 응용으로 식 (3)을 설정하여 검토하였다. 각 개방면에 대한 속도포텐셜은 지표면 반사를 고려하는 반무한장 장벽에 대한 계산방법을 이용하여 계산하고, 계산결과와 실험결과는 지표면 위의 장벽 유무에 따른 삽입손실(Insertion loss)로 나타낸다.

$$\phi = |\phi_A|^2 + |\phi_B|^2 + |\phi_C|^2 - \left(\frac{|\phi_A|^2 \cdot |\phi_B|^2}{|\phi_g|^2} + \frac{|\phi_A|^2 \cdot |\phi_C|^2}{|\phi_g|^2} \right) \quad (2)$$

$$\phi = |\phi_A + \phi_B + \phi_C|^2 - \left(\frac{|\phi_A|^2 \cdot |\phi_B|^2}{|\phi_f|^2} + \frac{|\phi_A|^2 \cdot |\phi_C|^2}{|\phi_f|^2} + \frac{|\phi_A|^2 \cdot |\phi_B|^2}{|\phi_g|^2} + \frac{|\phi_A|^2 \cdot |\phi_C|^2}{|\phi_g|^2} \right) \quad (3)$$

여기서 ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C 는 반무한 개방면 A, B, C로부터의 음압^(1,2,4,5)

ϕ_f 는 자유음장에서의 거리 r 떨어진 수음점의 음압⁽⁴⁾

ϕ_g 는 장벽이 없는 지표면상의 수음점에서의 음압⁽⁴⁾

5. 계산결과 및 실험결과

본 연구의 검토대상 장벽에 대한 실험결과 및 계산결과를 Fig. 8~Fig. 10 에 나타낸다. 음원 높이는 실물 축척 환산으로 0.1 m 와 0.3 m, 지표면의 흐름저항은 아스팔트와 콘크리트(모형실험에서 합성수

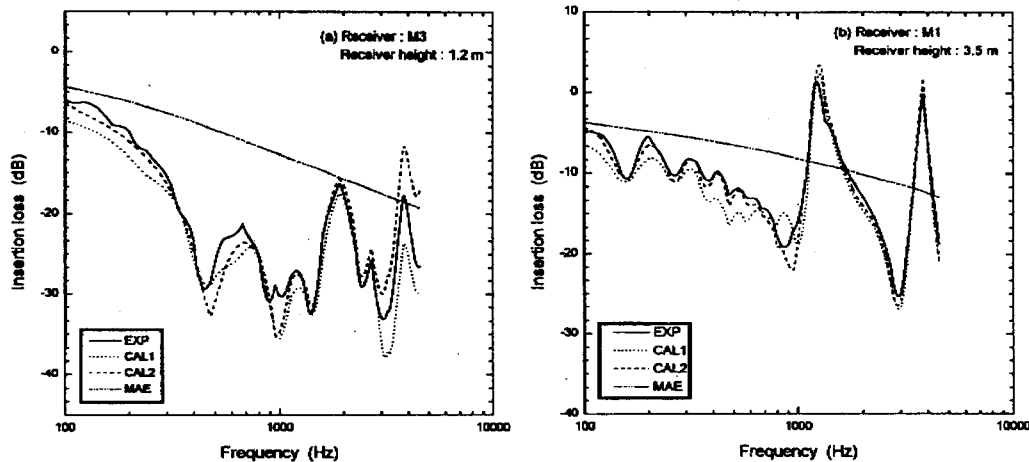


Fig. 8 Comparison of measured and calculated results. Source height 0.3 m. The receiver point and receiver height is indicated. MAE, approximate equation of Maekawa's chart; CAL1, eqn.(1) without image source to barrier; CAL2, eqn.(1)

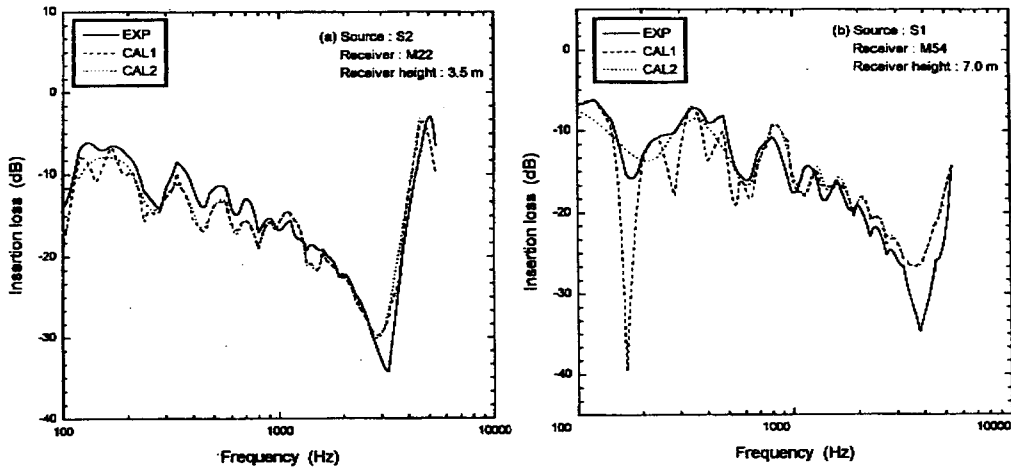


Fig. 9 Comparison of experimental measurements (——) with the results of the calculation by eqn.(2) (.....) and eqn.(3) (----). Source height 0.1 m. The sound source, receiver and receiver height is indicated

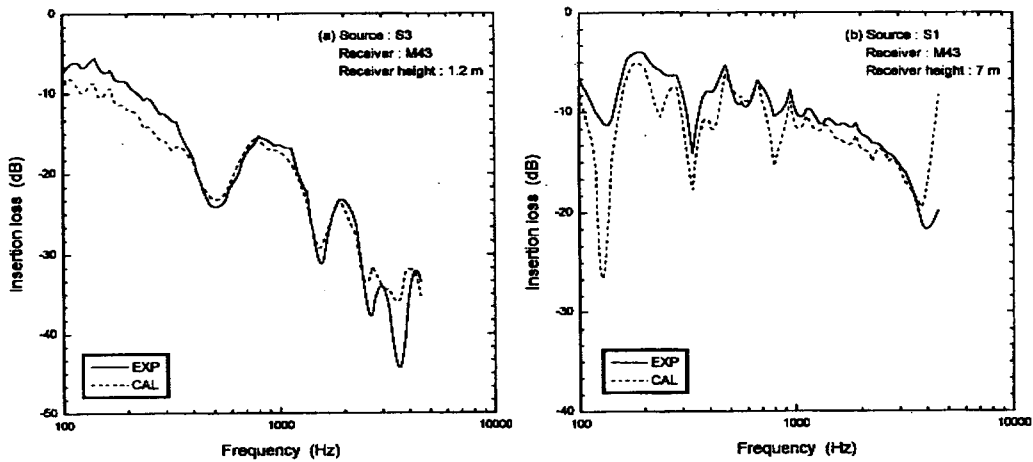


Fig. 10 Comparison of experimental measurements (——) with the results of the calculation (----). Source height 0.1 m. The sound source, receiver and receiver height is indicated

지 사용)에 대한 20000 cgs unit 로 가정하였으며, 장벽의 유무의 차이에 의한 음압레벨의 삽입 손실에 대한 실험결과와 계산결과를 비교하여 나타냈다.

Fig. 8은 무한장 장벽에 대한 결과로, CAL1은 식 (1)에서 음원의 장벽에 대한 허상을 고려하지 않은 경우, CAL2는 허상을 고려한 경우, MAE 는 참고 문헌 (4)에 의한 계산결과이며 이들 결과를 모형 실험 결과와 비교하여 나타냈다. 이 결과를 보면, CAL2에 의한 계산결과가 장벽반사를 고려하지 않은 CAL1에 비하여 실험결과에 잘 일치하고 있으며, Maekawa 차트에 의한 계산결과는 다른 계산결

과에 비하여 안전한 값을 취하는 결과를 나타냈다.

Fig. 9는 반무한장 장벽에 대한 결과로, 식 (2)와 식 (3)에서 $\phi_B=0$ 로 가정하여 계산한 결과 CAL2 및 CAL1를 실험결과와 비교하여 나타냈다. 각 개방면에 대한 속도 포텐셜은 지표면의 반사를 고려한 계산으로 결과를 비교해 보면 실험결과와 계산결과는 약간의 차이는 보이지만 모든 주파수 대역에서 거의 비슷한 주파수 특성을 나타냈다. 그러나 CAL2의 계산결과는 각 개방면으로부터의 기여를 에너지 합으로 계산하고 있어 저주파수 대역에서 주파수 특성이 나타나지 않는 결과를 나타냈다.

Fig. 10은 식 (3)을 이용한 계산결과와 실험결과

를 비교하여 나타낸 유한장 장벽에 대한 검토결과로 두 결과간에 약간의 차이는 보이나 모든 주파수 대역에서 거의 비슷한 주파수 특성을 나타냈다.

6. 결 론

본 연구는 소음의 전파경로에 존재하는 장벽이나 건물 등의 후방에서의 회절음장을 예측하는 기초연구로, 장애물의 기본형태인 두께를 무시할 수 있는 평면 장벽이 평탄한 지표면 위에 있는 경우를 가정하고, 스파크 음원을 이용한 모형실험과 회절이론에 입각한 근사계산에 의하여 지표면의 음향반사를 고려한 장벽의 회절음장에 대하여 검토하였다.

먼저 모형실험에 이용한 스파크 음원은 점음원의 거리감쇠 특성과 지향특성을 충분히 만족하는 검토결과를 나타냈으며, 무한장 장벽에 대한 검토결과에서는 장벽에 대한 음원의 허상을 고려한 계산결과가 모형실험결과에 거의 일치하는 결과를 나타냈다. 그러나 지표면의 영향을 고려한 Maekawa 차트의 근사식을 이용한 계산결과는 다른 계산결과 및 모형실험 결과와는 서로 다른 결과를 나타냈다. 또한 반무한장 장벽과 유한장 장벽에서는 무한장 장벽에서 모형실험 결과에 좋은 대응을 나타낸 Bowman & Senior의 근사식을 Fresnel-Kirchhoff 회절근사이론에 응용하고 개방공간을 반무한 장벽과 1/4 무한 장벽으로 가정하여 계산한 결과는 모형실험 결과에 거의 일치하는 결과를 나타냈다. 그러나 이러한 장벽에 대한 계산방법에 대해서는 아직 검토의 여지가 많이 남아있다.

후 기

본 논문의 작성에는 日本 東京大學 生産技術研究所 橋 秀樹(H. Tachibana)교수로부터 많은 도움이 있었음을 첨언한다.

참 고 문 헌

- (1) Y. Hidaka, H. Yano, H. Tachibana, 1989, Scale Model Experiment on Room Acoustics by Hybrid Simulation Technique, J. Acoust. Soc. Jpn.(E)10, 2, pp. 111~117.
- (2) H. M. Macdonald, 1915, "A Class of Diffraction Problems," Proc. London Math. Soc. 14, pp. 410~427.
- (3) J. J. Bowman, T. B. A. Senior and P. L. E. Uslenghi, 1969, Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes, North-holland, Amsterdam, pp. 308~345.
- (4) 山本貢平, 高木興一, 1991, "前川チャートの數式表示について," 騒音制御, 15, pp. 202~205.
- (5) 川井孝雄, 1983, "Locally Reactingな境界面上の音の傳播に關する考察," 日本音響學會誌, 39, pp. 374~379.
- (6) M. E. Delany and E. N. Bazley, 1970, "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials," Applied Acoustics, Vol. 3, pp. 105~116.
- (7) Z. Maekawa, 1968, "Noise Reduction by Screen," Applied Acoustics, Vol. 1, pp. 157~173.
- (8) 湯澤陸茂, 1976, "ナイフ又はエッジをもつ種種の形の有限建造物による騒音減衰," 日本音響學會誌, 32, pp. 139~146.
- (9) Selma Kura, 1980, "A Computed Model for Predicting Sound Attenuation by Barrier Building," Applied Acoustics, Vol. 13, pp. 331~355.
- (10) HWA-RD-77-108, 1978, "FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model," U. S. DOT.
- (11) 堀田龍太, 山本貢平, 高木興一, 1992, "有限長障壁に對する回折効果の計算方法について," 日本音響學會騒音研究會資料, N-92-62.