

지표면상을 전파하는 소음의 초과감쇠

산정방법에 관한 연구

A study of estimation for excess
attenuation of Noise propagated
on the ground

*오 재 응(Oh, J. E)

*김 동 규(Kim, D. G)

**임 동 규(Yim, T. K.)

요 약

본 연구는 소음전파에 대한 옥외실험과 축적 음향모형실험에 의해서 지표면에 의한 초과감쇠 특징을 밝힌 것으로서, 옥외실험에 의한 소음전파감쇠는 음향출력이 큰 소형엔진을 사용하여, 거리감쇠로부터 산출한 실측의 초과감쇠와 $\text{Log}(D/(H_s+H_r))$ 의 관계를 확인했다. 그 결과 소음전파감쇠는 풍향, 주파수에 따라 다르며 직선화되 된다는 것을 알수 있었다. 그리고, 지표면상의 초과감쇠치는 통기저항을 이용해서 $\text{Log}(D/(H_s+H_r))$ 을 파라미터로써 구할 수 있었고, 가장 적당한 통기저항 σ 는 실측의 초과감쇠치와 임의의 σ 에 대한 $L = -20\text{Log}|1 + (r_1/r_2) Q \exp(ik, \Delta r)|$ 식의 평균자승 오차가 가장 적어질 때 결정된다. 모형의 지표로써, 축적 1/40의 모형실험으로, 큰 무향실내에서 거리감쇠의 측정을 한 결과, 실측치와의 대응이 충분하다는 것을 확인했다.

ABSTRACT

This study is to explain the characteristic of excess attenuation on the ground through the outdoors experiment about noise propagation and the reduced model experiment of acoustic. The outdoors experiment on the attenuation of noise propagation was tried with the small engine that had large acoustic

*한양대학교 정밀기계공학과 교수

**조선대학교 우주공학과 교수

output, and then it was conformed that there was relationship between the excess attenuation calculated by measurement from distance attenuation and $\text{Log}(D/(H_s+H_r))$.

As a result, it was found that the attenuation of noise propagation depended upon the direction of the wind and frequency and was regressed in a straight line. And the numerical values of excess attenuation on the ground could be calculated by regarding $\text{Log}(D/(H_s+H_r))$ as a parameter with an airing resistance σ . It was found that when the mean square error between the excess attenuation calculated by measurement and the value calculated by a formula $L = -20\text{Log}|1 + (r_1/r_2)Q\exp(ik, \Delta r)|$ about optional σ was least, the optimal decision of σ was made.

As the characteristic of model is the model experiment on a reduced scale of 1 to 40, It was conformed that it corresponds enough with the measurement value with measuring the distance attenuation in the large anechoic chamber.

I. 서 론

소음이 지표면상을 전파할 때 생기는 초과감쇠에 관한 연구는 1950년대에 해석이론이 보고 되었다^{(1), (2)}. 그후, 지표면의 음향 임피던스의 실측이 어렵게 되므로 얼마간 동안 보고된 예가 거의 없었다. 그러나, 최근, 산업의 발전에 따라 옥외의 소음전파 감쇠에 대해서 좀더 좋은 예측이 요구되어, 다시, 이 방면의 연구예가 많아지게 되었다. 필자들도 실용적인 산정방법을 목표로 해서 연구를 계속 해왔다.

본 보고는 소음전파에 대한 옥외실험과 측정·음향모형실험에 의해서 지표면에 의한 초과감쇠 특징을 분명히 하고 I. Rudnick의 해석이론을 기초로 유도된 산정 근사식에 대해서 서술한다.

II. 옥외실험에 의한 소음전파 감쇠

주위에 반사물이 없는 매우 넓은 공장건설 예정지를 불색한 곳에 측정축과 풍향을 거의 일치 시켜서 풍속 5m/sec 이내의 기상일 때 소음전파 감쇠의 옥외실험을 행했다. 지표는 가는 모래가 섞인 부드러운 땅이었다. 측정점을 수평거리(D), 최대 500

m에 8 점에서 10점을 설정, 음원, 수음점의 지표 높이(H_s, H_r)의 조합을 4m 이내로 8쌍에 대해서 동시측정을 했다. 음원은 음향출력이 큰 소형엔진을 사용했다. 그림 1에 거리감쇠로부터 산출한 실측의 초과감쇠와 $\text{Log}(D/(H_s+H_r))$ 의 관계를 주파수마다 나타낸다. 풍향, 주파수에 따라 다르지만 직선회귀 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 실험을 각 지표면에 대해서 행했지만 양쪽 다 직선회귀 된다는 것을 확인 했다.

III. 지표면에 의한 초과감쇠 근사식의 유도

I. Rudnick의 파동성을 고려한 경계면상의 음의 전파이론으로부터 지표면에 의한 초과감쇠는(1) 식에서 나타내고 있다.

여기서 $r_1/r_2 \rightarrow 1$ 이라고 했을때 $Q \approx R_p, \Delta r \rightarrow 0$ 로 변형하면 (3) 식이 된다. (1) 식과 (3) 식 모두 지표면의 음향임피던스 Z를 모르면 계산할 수 없으므로 C. I. Chessell⁽³⁾은 M. E. Delany⁽⁴⁾의 통기저항을 이용해서 Z를 비롯한 파장정수를 나타내는 실험식⁽⁴⁾,⁽⁵⁾를 응용해서 (1) 식의 계산을 행한다. 그 결과 아스팔트 포장과 초지의 지표는 σ 가 20,000과 300으

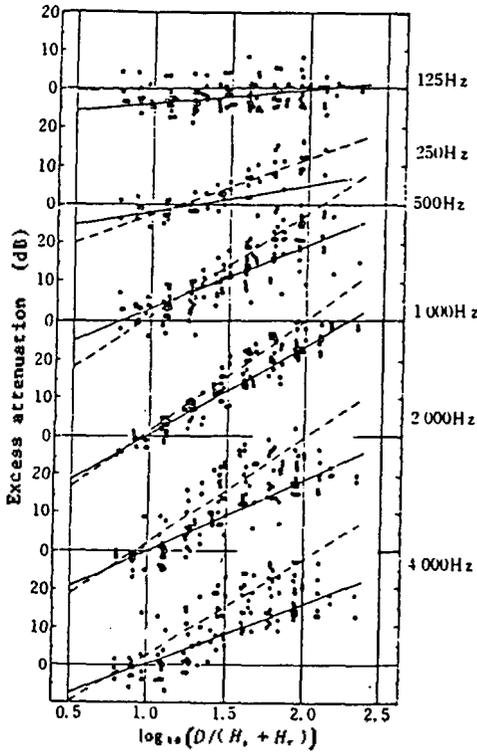
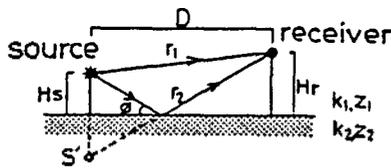


그림 1 Excess attenuation measured vs. $\text{Log}(D/(H_s + H_r))$ at each octave band frequency. Solid line is the regression line by considering only data taken upwind, also dashed line is by the data taken downwind.



$$L_{G1} = -20 \text{Log} | 1 + (r_1/r_2) \cdot Q \cdot \exp(1 k_1 \Delta r) | \quad (1)$$

$$R_p = \frac{Z_1 \sin \phi - Z_2}{Z_1 \sin \phi + Z_2} \quad (2)$$

$$L_{G2} = -20 \text{Log} | 1 + R_p | \quad (3)$$

$$Z_2/Z_1 = \{ 1 + 9.08 (f/\sigma)^{-0.75} \} + 111.9 (f/\sigma)^{-0.75} \quad (4)$$

$$k_2/k_1 = \{ 1 + 10.8 (f/\sigma)^{-0.75} \} + 10.3 (f/\sigma)^{-0.75} \quad (5)$$

그림 2 Where Δr is the length difference, Z_2/Z_1 is the characteristic impedance ratio, k_2/k_1 is the propagation coefficient ratio in the tow media and here Q is known as the image source strength. R_p is the plane wave coefficient.

로 나타내는 것을 표시했다. 필자들은 (3) 식을 항상 변형하고, (6) 식을 실험식으로써, 그림 1에서 표시하는 것처럼 직선회귀해에서 실측의 초과감쇠로부터 계수를 결정했지만, (1), (3) 식으로부터 계산에 의해 계수를 구하도록 해 보았다. 통기저항 σ 을 사용해서 (1), (3) 식을 계산하고 $\text{Log}(D(H_s + H_r))$ 을 파라미터로 해서 결과를 나타내면 그림 2 의 관계가 된다.

그 결과 σ 의 대소에 관계없이 표시상의 X점이 존재하는 것을 알았다. (이하 극소점 이라고 칭함) 여기서 지표면에 대한 최적의 통기저항 σ 가 구해졌다

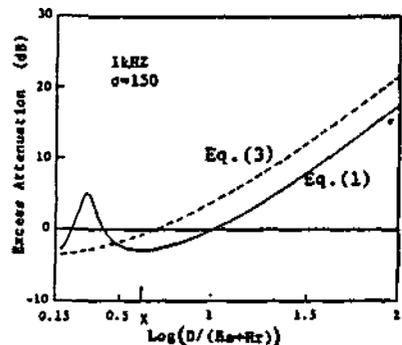


그림 3 Model excess attenuation vs. $\text{Log}(D/(H_s + H_r))$ at 1KHz (1/3oct).

고 했을때, X점에 착안하면, X점의 우측은 (1) 식과 (3) 식이 Hs, Hr의 조합에 의해 거의 평행이동 하는 영역이며, 경사는 변화하지 않으나 절편이 변화한다. 또, 극소점의 좌측은, Hs, Hr의 조합에 의해, 초과감쇠치의 변동이 큰 영역이다. 이것을 거시적으로 보면 마이너스의 경사, 또는 수평에 가까운 직선으로 회귀할 수 있는 영역으로 본다. 이상으로부터 (7)~(9) 식의 근사식을 유도할 수 있다.

$$Lex = K_{Lr} \text{Log}(D/(Hs+Hr)) + B) + B_r \quad (6)$$

(Right side of X)

$$Lex = K_{Lr} \text{Log}(D/(Hs+Hr)) + (B_{Lr} + \Delta Ae) \quad (7)$$

$$\Delta Ae = a_r \text{Log}(Hs, Hr/(Hs+Hr)) + b_r \quad (8)$$

(left side of X)

$$Lex = K_{Lr} \text{Log}(D/(Hs+Hr)) + B_{Lr} \quad (9)$$

여기서 K_{Lr} , B_{Lr} , a_r , b_r 와 K_{Lr} , B_{Lr} 는 (6) - (8) 식의 계수이다.

근사식의 계수는 그림 3의 순서에 의해 결정한다.

X점의 우측영역은 (7), (8) 식에서 표시되어 계수 K_{Lr} , B_{Lr} 는 (3)식에서 구한다. 그리고 (7)식의 계수 a_r , b_r 는 Hs, Hr의 조합때 마다 구한 (1)식과 (3)식과의 차와 $\text{Log}(Hs/(Hs+Hr))$ 을 직접 회귀하는 것에 의해 구한다. 이 파라미터는 각종 관수로부터 가장 간결하고 상관성이 좋은 것으로 결정했다. (1)식을 계산한 초과감쇠치로부터 구한다. 이경우, 실용성을 생각해서 $\text{Log}(D/Hs + Hr)$ 이 X점에서 0.5의 범위로 한정되었다. 이렇게해서 지표마다 최적한 σ 로 하는 방식을 채용하고 있다.

가장 좋은 σ 의 결정은, 현재, 실측의 초과 감쇠와 임의의 σ 에 대한 (1) 식의 계산치와의 평균자승오차가 가장 적어질 때의 σ 를 1/3 옥터밴드때 마다 구해서, 이들을 평균한 치를 그 지표의 가장 적당한 σ 로 하는 방식을 채용하고 있다.

IV. 축적 음향 모형실험에 대한 검증

모형의 지표로서 아크릴판(이후 아크릴상 이라고 칭함)과 아크릴 판에 네루포지를 밀착한 베르마를 채용해서, 축적 1/40의 모형실험으로 큰 무향실내에서 거리감쇠의 측정을 행했다. 음원, 수음점의

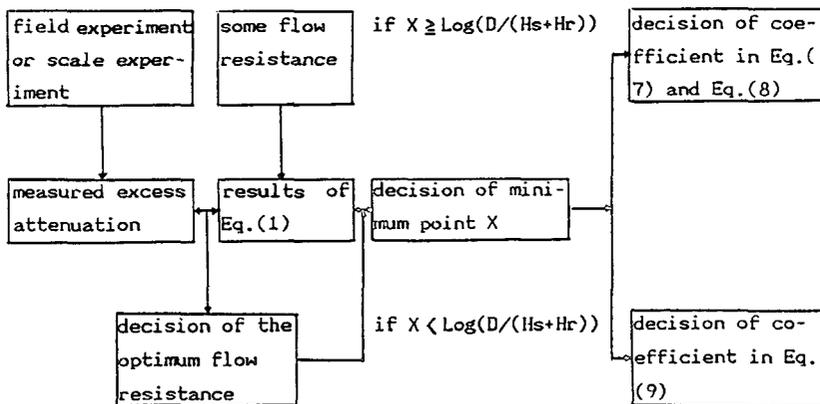


그림 3 relation between the flow resistance and the coefficient of the approximate Eq.(7)~Eq(9).

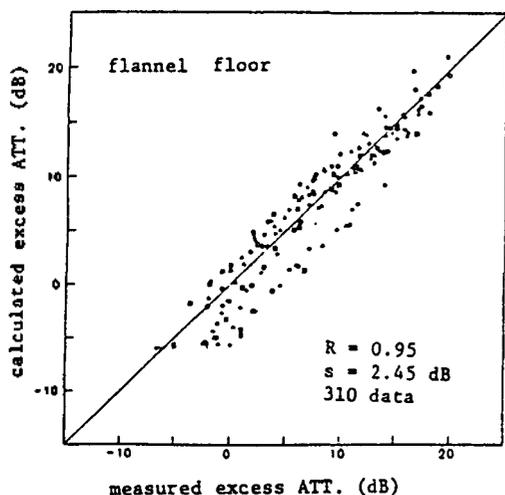


그림 4 Relation between the measured and the calculated excess attenuation in the flannel floor simulated as the ground surface.

위치 관계는 옥외실험에 준했다. 측정 결과로부터 아크릴상, 비루상에 대한 최적 통기저항은 380,000과 3,700 cgs rayl/cm, sec로 되었다. 이것을 실측치로 환산하면 각각 약 10,000과 100이 된다. 그림 4에 네르마에 대해서 실측의 초과감쇠치와 근사계산치와의 대응을 표시한다. 표 1에 아크릴상과 비루상의 결과를 종합해서 나타낸다.

V. 결 론

근사식 (7)~(9) 식은, 음원, 수음점이 극단에 가까운 경우를 제외하면 실측치와의 대응이 충분하다는 견해를 얻었다. 더욱, I. Rudnick의 (1) 식과 실측치와의 대응에 대해서는, 필자의 근사식과 큰 차가 없다는 것을 확인하고 있다.

표 1 Statistics values in the acryl floor and flannel floor simulated as the ground surface between the experimental and calculated data due to the approximate Eq. (7)~(9).

Type	acryl -380,000	flannel -3,700	remarks	
frequency				
2.5K	0.11 0.03	0.10 0.04	R S	31 data/ 1/3 oct. distance from the source
4 K	0.25 0.07	0.40 1.20	R S	
8 K	0.44 0.25	0.85 2.32	R S	0 0, 125, 160 200, 250, 315 cm Hs-Hr
20K	0.74 0.90	0.97 1.38	R S	
40K	0.66 1.04	0.92 1.57	R S	3 - 2.5 - 2.5 3 - 5 5 - 5 3 - 10 3 - 20 (cm)
2.5K - 63K	0.47 2.30	0.92 2.69	R S	All data 465
2.5K - 63K	0.82 1.10	0.95 2.43	R S	310data except 6.3K, 12.5K, 50K, 63KHz

REFERENCES

- 1. I. Rudnick: J. Acoust. Soc. Am, 19,348-356 (1947)
- 2. U. Ingard: J. Acoust. Soc. Am, 23,329-335(1951)
- 3. C.I. Chsrell: J.A.S.A. Vol.62 No.4 pp.825-834 (1977)
- 4. M.E. Delany and E.N. Bazley: Appl. Acoust. Vol.3 pp.105-116 (1970)

▲오 재 응(정회원) 6권 1호 참조

▲임 동 규(정회원) 5권 1호 참조

△김 동 규(정회원) 1947년 6월 3일생



1974년 2월 조선대학교 기계공학과 졸업

1973년 11월-1977년 2월 삼양타이어(주) 근무

1977년 2월-1983년 3월 조선대학교 병설 공업전문대학 조교수

1984년 5월-1986년 4월 미국 미시간대학 해외 단기연수

1983년 3월-현재 조선대학교 우주공학과 조교수