

〈논 문〉

지표면의 반사특성을 고려한 환경소음 예측

Prediction of Industrial Noise Propagation Subjected to Ground Effect

한 상 보

Sangbo Han

(2001년 1월 20일 접수 : 2001년 3월 16일 심사완료)

Key Words : Ground Wave(지표면파), Noise Source Parameter(소음원 매개변수), Ground Factor(지표면인자), Ground Coefficient(지표면계수), Upward Refraction(상향굴절), Downward Refraction(하향굴절)

ABSTRACT

The analytical model of the ground wave can be used for the prediction of the noise level from a source above a plain and homogeneous ground surface with no obstacles nearby. Sound propagation along the surface of the ground can be affected by the roughness of the ground surface and the direction of the wind. The effects of the ground surface and the wind can be formulated in terms of the ground coefficient and the noise source parameter. Upward and downward conditions can also be addressed by considering the direction of the wind. The ground coefficient and the noise source parameter are estimated using the measured noise levels of two points under particular environmental condition, and the noise levels of arbitrary points under the same environmental condition can be estimated. The proposed method can be utilized to estimate the noise level of specific noise environment and its validity was confirmed with the results of actual field measurement.

1. 서 론

생활 수준의 향상과 더불어 쾌적한 환경에 대한 평가 기준으로서 소음의 크기는 여러 가지 평가 척도의 하나로 사용되고 있다. 산업현장 또는 수송기관 등에서 발생하는 소음으로 인하여 주변에서 느끼게 되는 환경소음의 크기는 소음원의 세기, 소음원의 형상, 소음 발생 환경의 지리적 조건 등에 의해 결정된다.^(1,2)

산업 현장에서의 특정 소음원에 의한 환경소음의 크기를 파악하고자 할 경우 지표면의 특성, 바람의 방향과 같은 외부적인 조건의 변화로 인하여 이상적인 음장 하에서의 소음전달 현상과는 다른 평가방법이 제시되어야 한다.⁽³⁾ 주파수에 따라 각기 다른 값을 갖는 지표면 반사계수의 정량적인 산정이 가능할 경우 구면파와 평면파의 간섭현상을 고려하여 지표면에 근접한 소음원의 전달현상을 예측할 수 있는 음장의 모형을 확립할 수 있다. 이 모형에 의하면 지표면의 반사효과만을 고려하고 소음원의 크기와 지표면으

로부터의 거리가 유한할 경우, 근거리에서는 자유음장에서와 같이 거리의 배수에 따라 6 dB, 원거리에서는 거리의 배수에 따라 12 dB의 크기로 소음이 감소한다는 결과를 얻을 수 있다.⁽⁴⁾ 그러나 이 모형은 자유공간을 전파하는 구면파와 지표면을 전파하는 지면파의 두 극단적인 경우 외에는 실용적인 소음예측 모형으로 사용되기에 적절치 못하다.

Makarewicz⁽⁵⁾는 환경소음의 크기에 영향을 미치는 여러 인자 중 측정 환경과 관련된 인자로 바람의 영향과 지표면의 거칠기를 고려하였고, 소음의 전파 경로를 대기가 안정할 때와 바람의 영향으로 인하여 상향굴절 또는 하향굴절이 일어날 때로 구분하여 생각할 수 있다고 하였다. 바람의 영향과 지표면의 성질을 매개변수로 고려할 경우, 새로운 소음전달 식을 생각할 수 있는데, 두 매개변수의 영향을 고려한 소음전달 식을 정립한 후 소음원과 근접한 두 지점의 소음도를 측정하여 특정 계측 환경 하에서의 음원 매개변수(source parameter)와 지표면계수(ground coefficient)를 추정하고 그 결과를 바탕으로 임의의 위치에 대한 소음도를 예측할 수 있다.

환경소음의 평가에 대한 일반적인 식에서 음원매개변수

¹ 정회원, 경남대학교 기계자동차공학부

E-mail : sbhan@kyungnam.ac.kr

Tel : (055) 249-2623, Fax : (055) 243-8133

와 지표면계수는 포괄적인 의미의 과잉감쇠의 효과로 표현되고 있다. 그러나 바람의 방향에 따라 과잉감쇠가 반드시 양의 값이 되지 않을 수도 있으므로 대기가 안정된 상태의 소음전달식에서 일정량의 크기를 감하여 주는 방법은 실제 소음도의 예측에 보편적으로 사용될 수 없다. 음원매개변수와 지표면계수를 고려한 Makarewicz의 예측식은 주어진 계측 시간 동안 바람의 방향이나 지표면에서의 온도분포가 변하는 시간대의 영향을 고려하여 전체적인 평균의 개념으로 소음도를 예측하고자 하였다. 그러나 실제 계측 상황에서 풍향과 풍속이 변화하는 시간의 크기를 정확히 파악하는 것과 지표 온도의 변화에 대한 장시간에 걸친 측정은 평균 소음의 개념 외에는 별 용도가 없으므로 본 논문에서는 그의 이론적 기법을 원용하여 특정한 지표면 상태와 바람의 영향하에서 소음도를 예측하는 방법으로 변환하고 이 방법의 유용성을 실험적으로 검증하고자 하였다.

2. 지표면의 반사를 고려한 소음도

굴절현상을 배제할 경우 소음의 전달 경로는 Fig. 1과 같이 직접음과 반사음의 간섭효과를 고려하여 표현할 수 있으며 이 경우 주파수의 함수로 표시되는 음압은 다음과 같은 Weyl-Van der Pol 공식으로 주어진다.

$$p(t, f) = \text{Re} \left\{ \frac{A}{r} \exp[i2\pi f(t - \frac{r}{c})] + Q \frac{A}{r_1} \exp[i2\pi f(t - \frac{r_1}{c})] \right\} \quad (1)$$

여기서 A 는 음압의 최대진폭
 r 은 소음원으로부터의 거리
 r_1 은 반사 경로의 거리
 Q 는 구면파의 복소반사계수
 f 는 주파수
 c 는 음속을 나타낸다.

식 (1)로 주어지는 순간 음압의 제곱평균을 취하면 음압의 주파수밀도함수에 대한 다음의 표현식을 얻어낼 수 있다.

$$p^2(f) = \frac{W(f)\rho_0 c}{4\pi} \left\{ \frac{1}{r^2} + (Q_1^2 + Q_2^2) \frac{1}{r_1^2} + \frac{2}{rr_1} [Q_1 \cos(\frac{2\pi \Delta r}{c}) + Q_2 \sin(\frac{2\pi \Delta r}{c})] \right\} \quad (2)$$

여기서 $W(f)$ 는 음원의 음향출력
 Q_1 은 구면파의 복소반사계수의 실수부
 Q_2 는 구면파의 복소반사계수의 허수부
 Δr 은 $r_1 - r$ 을 나타낸다.

지표면인자 $G(f)$ 를 다음과 같이 정의하면

$$G(f) = 1 + \frac{r^2}{r_1^2} (Q_1^2 + Q_2^2) + \frac{2r}{r_1} [Q_1 \cos(\frac{2\pi \Delta r}{c}) + Q_2 \sin(\frac{2\pi \Delta r}{c})] \quad (3)$$

식 (2)를 아래와 같이 간략히 표시할 수 있다.

$$p^2(f) = \frac{W(f)\rho_0 c}{4\pi r^2} G(f) \quad (4)$$

식 (4)의 의미는 지표면의 반사효과를 고려한 소음의 음압평균은 자유음장에서의 크기에 소음원의 주파수의 함수로 주어지는 지표면인자를 곱해주는 것으로 단순히 처리할 수 있다는 것이다. 그러나, 주파수의 함수로 주어지는 지표면인자의 값은 단순히 주파수 별로 다른 값을 갖게되는 구면파의 반사계수와는 다른 물리적 의미를 가지며 비교적 넓은 주파수 대에 걸쳐 에너지가 분포되어 있는 소음원에 대해서는 음압의 주파수밀도함수를 식 (4)와 같이 표현할 경우 음장의 시술에 대하여 만족스러운 결과를 얻을 수 있다는 사실이 발표된 바 있다.⁽³⁾

Fig. 1은 음원이 지표면에 반사된 후 수음자로 전파해 가는 과정을 그리고 있는데 이때 음이 전파해갈 때 지표면을 따라서 전달되어 가는 파만을 고려할 경우 $z + H \ll d$ 의 조건을 만족한다고 가정할 수 있고 이와 같은 조건을 만족할 때 지표면인자 $G(f)$ 는 소음원과 수음점 간의 수평거리 d , 소음원과 수음점의 지면으로부터의 높이 H 와 z , 그리고 지표면 임피던스 Z_f 의 함수로 생각할 수 있다.⁽⁶⁾

식 (4)를 수음점에서의 소음레벨의 크기로 표시하면

$$L_A = L_{WA} - 10 \log(2\pi d^2 / d_0^2) + 10 \log(G_A) \quad (5)$$

$$G_A = \frac{1}{2} \sum_n 10^{(L_{wn} - L_{WA} + \Delta L_n)/10} G(f) \quad (6)$$

로 나타낼 수 있는데, 여기서

L_{WA} 는 소음원의 음향출력을 A 가중 레벨로 나타낸 것이며, G_A 는 A 가중 지표면인자^(7,8) L_{wn} 은 소음원의 n 번째

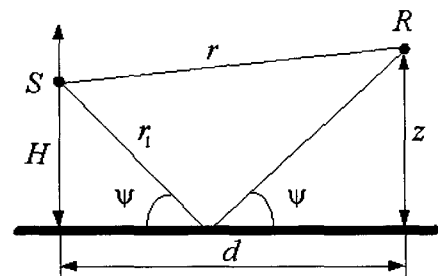


Fig. 1 Geometric relationship between the noise source and the receiver

옥타브밴드에 해당하는 음향출력, ΔL_n 은 n번째 옥타브밴드의 A가중 수정치, d_0 는 단위면적을 1 m²로 할 때의 단의 반지름 1 m를 나타낸다.

지표면인자 $G(A)$ 가 지표면에 대한 입사각 ψ 의 함수이므로⁽⁹⁾ A가중 지표면인자 G_A 또한 입사각 ψ 의 함수로 간주할 수 있다. 즉,

$$G_A = G_A(\psi) = G_A\left(-\frac{z+H}{d}\right) \quad (7)$$

그런데, 이 A-weight 지표면인자는 지표면 위 반자유공간에서

$$\lim_{d \rightarrow 0} G_A = G_A(0) = 2 \quad (8)$$

$$\lim_{d \rightarrow \infty} G_A \propto 1/d^2 \quad (9)$$

라는 조건을 만족시켜야 한다. 지표면의 반사 특성을 지표면계수 γ_0 의 향으로 반영하고 식 (8)과 식 (9)의 조건을 만족하는 가장 간단한 형태의 A가중 지표면인자를 다음과 같이 정의하자.

$$G_A = \frac{2}{[1 + \gamma_0[d^2/(z+H)^2]]}, \quad 0 \leq d \leq \infty \quad (10)$$

따라서, 식 (10)을 식 (5)에 대입하여 등가 소음도로 표현하면 최종적으로 다음과 같은 지표면의 반사효과를 고려한 소음도 식을 얻을 수 있다.

$$L_A = 10 \log\{Q_0\} - 10 \log\{(2\pi d^2/d_0^2)[1 + \gamma_0 d^2/(z+H)^2]\} \quad (11)$$

여의 식 (11)을 Fig. 2와 같은 음원에 근접한 두 지점 $O_1(d_1, z_1)$ 와 $O_2(d_2, z_2)$ 에 대한 두 개의 식으로 표현한 두 실제 계측된 등가 소음도 결과를 이용하면 특정 소음 환경에 적용되는 다음과 같은 지표면계수 (γ_0)와 소음원 매개변수 (Q_0)식을 유도할 수 있다

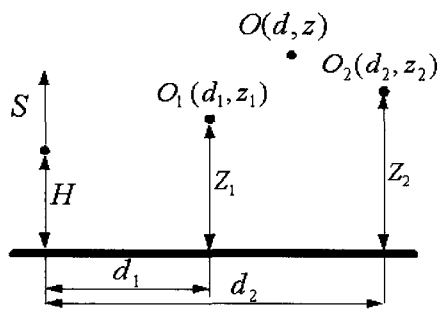


Fig. 2 Locations of the noise measurements to evaluate the noise source parameter and ground coefficients

$$\gamma_0 = \frac{(m-1)(z_1+H)^2(z_2+H)^2}{[(z_1+H)^2 d_2^2 - m(z_2+H)^2 d_1^2]} \quad (12)$$

$$Q_0 = 10^{(L_1^{(z)} + 10 \log\{2\pi d_1^2/d_0^2[1 + \gamma_0 d_1^2/(z_1+H)^2]\})/10} \quad (13)$$

$$m = (d_1/d_2)^2 10^{(L_1^{(z)} - L_2^{(z)})/10} \quad (14)$$

식 (12), (13) 및 (14)의 의미는 주어진 소음 환경에서의 등가 소음도 측정 결과를 이용하여 그 지역의 음원매개변수 Q_0 와 지표면계수 γ_0 를 산정할 수 있고 이렇게 파악된 소음원 매개변수와 지표면계수의 값을 이용하여 특정 지역의 등가 소음도를 예측할 수 있다는 것이다.

3. 상향 및 하향굴절시 소음도

Makarewicz⁽⁵⁾는 소음의 전파 시간동안 바람의 영향에 의한 상향굴절(upward refraction) 및 하향굴절(downward refraction)이 발생할 경우에는 지표면인자를 시간에 따라 변하는 확률변수로 간주하여 시간 평균을 취해야 한다고 하였다. 그러나 바람의 방향이 시간에 따라 수시로 변하게 되는 경우 장시간에 걸쳐 평균치를 구한 소음도는 실제 등가소음 측정 자료로 사용하기에는 특정한 세기와 방향을 가진 바람의 영향에 의한 소음도 파악에 불합리한 점이 있게 된다. 일반적으로 소음원으로부터 수음점으로 바람이 불게되는 상향굴절의 경우 등가 소음도는 바람의 영향을 무시한 지표면인자 보다 작은 값을 가지게 되며 반대로 수음점으로부터 소음원의 방향으로 바람이 불게되는 하향굴절의 경우에는 바람의 영향을 무시한 지표면인자보다 큰 값을 갖게 될 것이다. 지표면인자의 영향을 소음원 매개변수와 지표면계수의 향으로 분리한 식 (11)의 의미를 살펴보면 상향굴절 및 하향굴절시의 지표면계수를 다음과 같이 정의하는 것이 보다 합리적이며 식 (11)의 유용성을 활용하는 방법이 될 것이다.

$$\gamma_1 = \gamma_0 - \gamma_w : \text{상향굴절} \quad (15)$$

$$\gamma_2 = \gamma_0 + \gamma_w : \text{하향굴절} \quad (16)$$

그러므로 바람의 영향이 존재할 경우의 등가소음도 식은 다음과 같이 다시 쓸 수 있으며

$$L_A = 10 \log\{Q_0\} - 10 \log\{(2\pi d^2/d_0^2)[1 + \gamma_1 d^2/(z+H)^2]\} \quad (17)$$

$$L_A = 10 \log\{Q_0\} - 10 \log\{(2\pi d^2/d_0^2)[1 + \gamma_2 d^2/(z+H)^2]\} \quad (18)$$

이 방법의 장점은 일단 바람의 영향이 무시되었을 경우에 산정된 소음원 매개변수 Q_0 와 지표면계수 γ_0 의 값을

그대로 바람이 부는 경우에도 활용할 수 있다는 것이다.

4. 소음도 측정 장치 및 방법

소음도 측정은 2000년 4월초 경남 창원시 북면의 논에서 실시하였으며 측정시각은 오후 1시부터 7시 30분까지로 바람의 영향을 고려하기 위하여 약 20일간의 기간에 걸쳐서 행하였다.

소음도 측정에 사용된 소음원은 출력 8 마력 짜리의 경운기가 최대 출력으로 작동할 때의 소음을 사용하였으며 소음원은 지표면에서 약 0.8 m 위에 설치하였다.

소음이 측정된 주위 환경은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 소음원으로부터 남쪽 200 m에는 국도 1차선이 동서로 나 있고, 서쪽 300 m에는 생활주거지역과 도로가 남북으로 뻗어있으며, 또한 소음원이 있는 위치의 길옆으로 나란히 폭 10 m의 농수로가 흐르고 있고, 서쪽 200 m에는 덕과 산이 있다. 그리고 소음원과 이들 외부환경 사이에는 모두 논으로 된 평야이다. 논은 소음원으로부터 남쪽 방향으로 는 수확을 마치고 겨울을 넘긴 상태 그대로 보존되어 있고 소음원으로부터 북쪽으로는 깊이 30 cm 가량 쟁기로 간 상태였다. 따라서 소음원으로부터 남쪽 방향의 논바닥은 딱딱한 지표면으로 간주할 수 있고 비교적 다공질의 북쪽 방향의 논바닥은 부드러운 지표면으로 간주하였다.

소음 계측시 풍향과 풍속은 평균치를 이용하였고 측정점의 위치는 바람과 나란한 방향으로 배치하였다. 측정 도중 불필요한 자동차소음이나 단발성소음이 발생할 때에는 측정을 피하였으며 암소음의 크기가 40 dB(A)이하 일 때의 소음 측정 결과를 분석 자료로 활용하였다.

원거리 소음도의 측정을 위해 높이 1 m의 삼각대 위에 B&K 2236A 정밀 적분형 소음계를 설치하고 대기가 안정하다고 여겨질 때 소음원을 작동하지 않은 상태에서 남북으로 거리 10 m, 20 m, 30 m, 50 m에서 약 30초간 각각 6회 암소음도를 측정한 뒤 같은 방법으로 소음원을 작동시킨 후 A가중 등가소음도를 측정하였다. 또한 바람이 평균 2 m/s로 남쪽에서 북쪽으로 일정하게 같은 방향으로 불 때를 택하여 대기가 안정할 때와 같은 측정 방법으로 지표면에서 높이 2 m와 4 m에서 남과 북의 암소음도와 측정소음도를 얻었으며, 반대로 바람이 북쪽에서 남쪽으로 평균 3.4 m/s로 일정하게 한 방향으로 불 때를 선택하여 동일한 측정을 행하였다.

소음원의 음향출력과 주파수성분을 파악하기 위해서 Fig. 4와 같이 B&K 2035 신호분석기에 B&K 마이크론을 연결하여 반구면 표면에 해당하는 지점에서의 소음원 신호에 대하여 측정하였다.

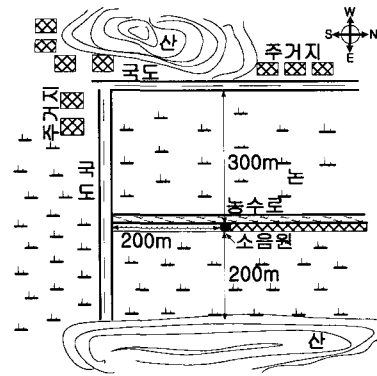


Fig. 3 The site map of the noise measurement

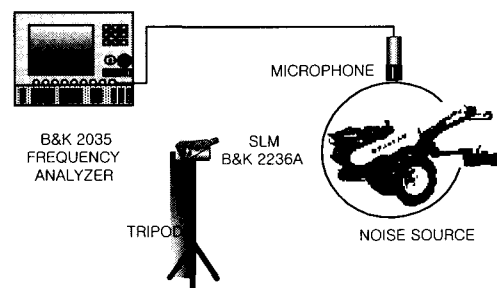


Fig. 4 Instruments for analyzing the frequency characteristics of the noise source

5. 측정 결과 및 고찰

5.1 음원의 주파수 특성

Fig. 5는 소음원으로부터 동쪽으로 1 m 떨어진 점에서 마이크로폰으로 측정된 소음 신호의 주파수밀도함수(PSD)이다. 주파수 범위는 0 Hz에서 25.6 kHz까지이며, 주파수 분해능은 32 Hz이다. 736 Hz와 1472 Hz부근에서 특정주파수가 나타날 뿐이며 대부분의 에너지가 5 kHz 이하의 저주파수 대에 집중되어 있다는 것을 알 수 있다.

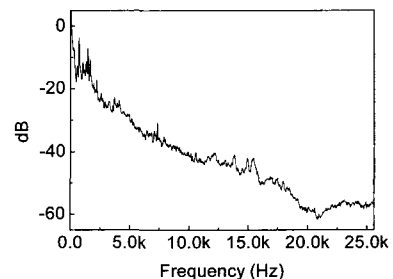


Fig. 5 PSD of noise source with frequency band of 25.6 kHz

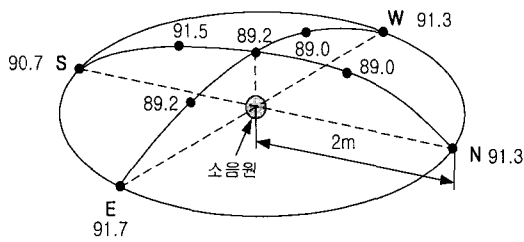


Fig. 6 Sound pressure level around the noise source

5.2 음원의 지향성

Fig. 6은 소음원을 중심으로 2 m 반경의 반구면 표면에 서 측정된 소음도에 대한 결과이다. 음향파위는 111 dB(A)로 추정되었고 남북 방향으로 약간의 방향성이 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나 본 소음 측정 실험은 소음원의 방향성에 나란한 남북 방향의 측정 결과만을 이용하고 소음원으로부터 10 m 이상의 원거리 수음점을 고려하므로 방향성의 효과가 실험 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다.

5.3 소음도 측정 결과

Table 1과 Table 2는 근거리 10 m, 20 m에서의 소음도 측정 결과를 이용하여 계산된 음원매개변수와 지표면계수를 추정하였고 이를 바탕으로 소음원으로부터 비교적 멀리 떨어진 측정점의 실측 소음도와 식 (11), (17), (18)을 이용하여 추정된 소음도의 이론치를 비교한 표이다. Table 1의 결과는 딱딱한 지표면에서의 측정 결과를 바탕으로 한 것으로 소음원에 대하여 측정점의 위치가 남쪽 방향이며 바람이 잔잔할 경우 $Q_0=2.63 \times 10^{10}$, $\gamma_0=3.73 \times 10^{-3}$, 바람의 방향이 남풍(측정점 쪽에서 소음원 쪽으로)일 때 $Q_0=3.09 \times 10^{10}$, $\gamma_2=7.11 \times 10^{-3}$, 북풍일 때 $Q_0=3.09 \times 10^{10}$, $\gamma_1=3.34 \times 10^{-3}$ 로 추정된 값을 사용한 결과이다.

Table 2의 결과는 측정점의 위치가 소음원에 대하여 북쪽일 경우이며 지표면이 남쪽지역에 비하여 상대적으로 부드러운 지역으로 볼 수 있는 경우이다. 바람이 잔잔할 경우 $Q_0=4.37 \times 10^{10}$, $\gamma_0=6.02 \times 10^{-3}$, 남풍일 때 $Q_0=4.79 \times 10^{10}$, $\gamma_1=2.31 \times 10^{-3}$, 북풍일 때 $Q_0=3.89 \times 10^{10}$, $\gamma_2=6.93 \times 10^{-3}$ 로 추정되었다.

소음도 측정시에 측정값의 변동폭을 감안한다면 Table 1과 2의 결과는 특정 소음 환경에 해당하는 소음원 매개변수와 지표면계수를 사용할 경우 그 지역 일대에 대하여 비교적 만족스러운 소음예측 결과를 얻을 수 있다는 것을 보여 주고 있다.

식 (11), (17) 및 (18)의 의미는 임의의 두 위치에서 측정된 등가소음도의 결과를 바탕으로 그 측정 지역의 환경

Table 1. Comparison of measured and predicted noise level on the hard ground.(M: measured P: predicted)

unit : dB(A)

d	Calm Atmosphere		downward refraction		upward refraction	
	M	P	M	P	M	P
	10 m	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1
20 m	71.3	71.3	70.4	70.4	72.1	72.1
30 m	65.5	66.7	64.3	65.0	63.7	63.7
50 m	58.0	60.0	58.9	57.3	55.9	55.9
75 m	-	-	-	-	47.5	49.3

Table 2. Comparison of measured and predicted noise level on the soft ground. (M: measured P: predicted)

unit : dB(A)

d	Calm Atmosphere		downward refraction		upward refraction	
	M	P	M	P	M	P
	10 m	75.8	75.8	76.1	76.1	76.5
20 m	68.6	68.6	68.2	68.2	69.4	69.4
30 m	61.9	63.6	63.1	62.6	63.4	64.5
50 m	55.3	56.4	58.2	54.8	59.9	57.3

에 해당하는 소음원 매개변수와 지표면계수의 값을 산정해 낼 수 있고 그 산정된 소음원 매개변수와 지표면계수의 값을 이용하여 동일한 환경에서의 제 3의 측정점에서의 소음도를 예측할 수 있다는 것이다. 바꾸어 말하면 식 (11), (17) 및 (18)이 주어진 소음 환경의 소음도 예측식으로 사용되기 위해서는 그 지역의 지표면의 특성과 바람의 영향이 측정시간 동안 일정하게 유지된다고 할 때 임의의 두 지점에 대한 소음도 측정 결과를 바탕으로 산정된 소음원 매개변수와 지표면계수의 값은 어떤 지점의 소음도 예측 결과를 이용하여도 동일한 값이 나와야 한다는 것을 의미한다. 물론 여러 지점의 소음도 예측 결과를 바탕으로 각각 산정되어진 소음원 매개변수와 지표면계수의 값들에 대한 평균값을 대표치로 사용할 수도 있으나 이러한 방법의 적용은 소음도의 크기를 예측하기 위한 본래의 목적에 걸맞지 않게 될 것이다. 동일한 측정 환경에서 측정된 것으로 간주할 수 있는 여러 개의 소음 측정 지점의 소음도 중에서 임의의 두 측정점의 소음도를 이용하여 계산된 소음

원 매개변수와 지표면계수의 값들이 모든 경우에 동일하게 나온다면 이것은 주어진 특정 소음 측정 환경에 대한 소음원 매개변수와 지표면계수의 값이 유일하게 결정된다는 아주 이상적인 결과를 뒷받침해 줄 것이다.

Fig. 7부터 Fig. 11까지는 소음도 측정 결과를 바탕으로 산정된 주어진 소음 환경에서의 소음원 매개변수와 지표면 계수를 사용하여 예측된 소음도의 크기를 소음원과 측정점 사이의 거리의 함수로 나타낸 것이다. 이들 그림에서 위의 곡선은 자유음장에서의 소음도의 거리에 따른 6 dB 감쇠 곡선을, 아래의 곡선은 지표면과의 거리에 따른 12 dB 감쇠곡선을 나타내고 있으며 각각 지표면의 반사 효과가 0인 경우와 100 %인 경우에 대한 극한치를 나타낸다. 지표면의 반사효과와 바람의 영향을 고려할 경우 소음도의 거리에 따른 감소량은 이 두 극한치들의 사이에 존재해야 한다는 것을 쉽게 이해할 수 있다. 또한 소음도 예측 곡선이

하나의 곡선으로 일치할 경우 주어진 소음 측정 환경에서의 소음원 매개변수와 지표면계수의 값이 유일하게 주어진

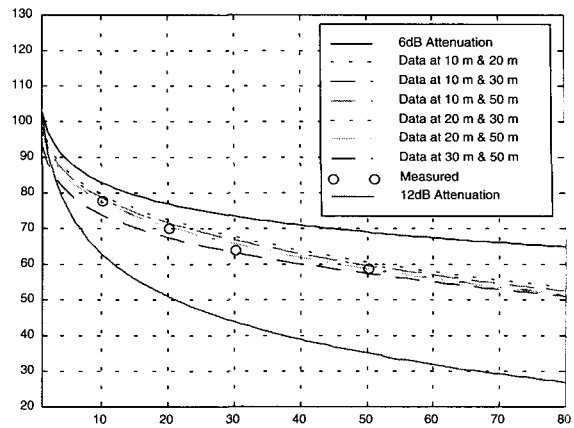


Fig. 9 Predicted noise level curves on the hard ground with downward refraction

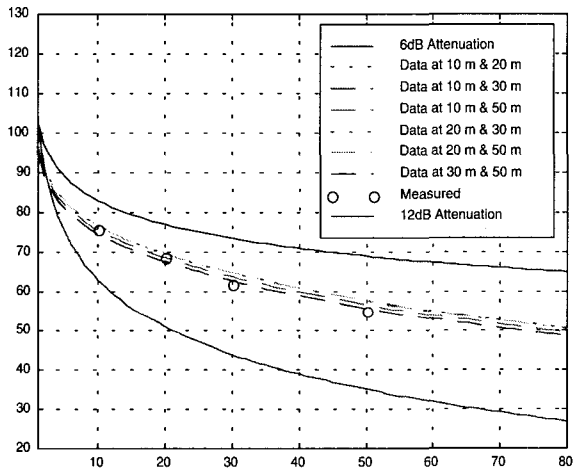


Fig. 7 Predicted noise level curves on the hard ground in a calm atmosphere

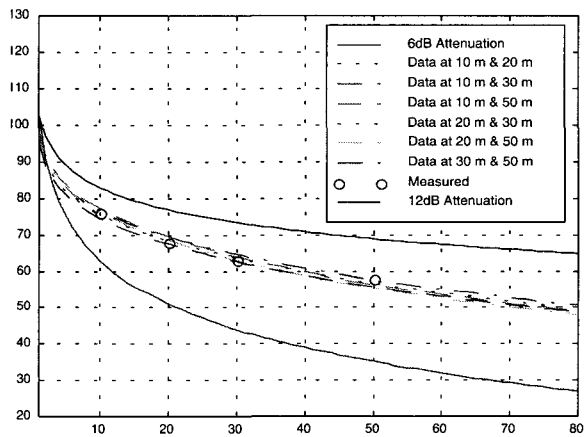


Fig. 10 Predicted noise level curves on the soft ground with downward refraction

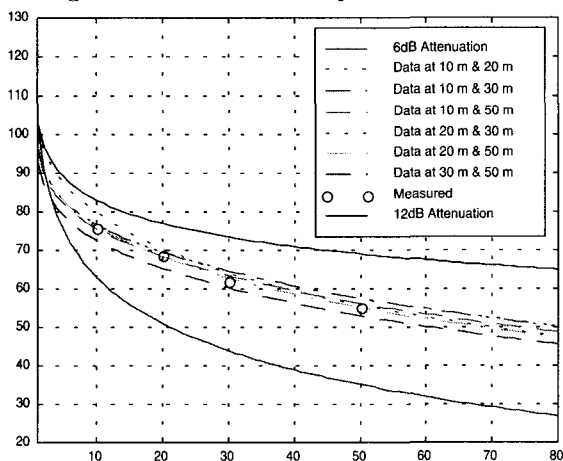


Fig. 8 Predicted noise level curves on the soft ground in a calm atmosphere

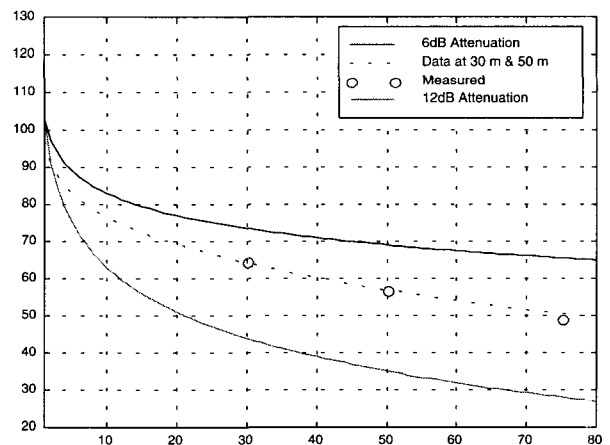


Fig. 11 Predicted noise level curves on the hard ground with upward refraction

다는 의미가 될 것이며 본 그림에서 나타나듯이 각각의 예측 곡선들 사이의 소음도 폭은 이 예측식들이 가지고 있는 오차의 크기에 대한 정량적인 척도가 될 것이다. 이 그림들은 본 논문에서 제시된 예측식이 원거리로 갈수록 오차의 폭이 조금씩 커지는 경향이 있지만 50 m 내외의 근거리에서는 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

6. 결 론

본 연구는 두 지점의 소음도 측정 결과를 바탕으로 지표면 효과와 바람의 영향을 고려한 특정 소음 환경 하에서의 소음도를 예측하는 이론식을 제시하였으며 그 유용성을 실험적으로 파악하였다. 파동이론에 근거한 구면파의 반사계수는 소음원의 주파수 성분에 따라 각기 다른 값을 적용시켜야 한다는 불편함이 있으나 본 연구에서 제시한 소음 예측식은 주파수 성분과 무관하게 사용될 수 있다는 장점이 있다. 넓은 평지에서 측정된 실제 소음도 측정 데이터를 분석한 결과 본 논문은 50 m 내외의 근거리에서는 비교적 정확한 범위 내에서 특정 소음원에 의한 소음도를 예측할 수 있는 방법을 제시했다고 볼 수 있다. 원거리로 갈수록 오차의 폭이 커지는 이유는 첫째, 지표면계수와 소음원매개변수 추정을 위한 실측 데이터를 50 m 이내의 근거리에서의 값만을 사용하였기 때문이며 둘째는, 모든 모형식이 그러하듯 이 예측식도 소음도의 크기에 영향을 미치는 인자들 중 지표면계수와 소음원매개변수 외의 사항은 고려하지 못한 점일 것이다. 제시된 예측식은 80 m 거리에서 4-5 dB의 오차를 나타내는 것으로 실제 환경 소음 측정 오차를 고려할 때 비교적 만족스러운 예측식으로 사용할 수 있다고 판단된다. 이 예측식은 동일 조건의 지표면 상태에 대하여 풍속의 크기 변화에 따른 지표면계수와 소음원매개변수의 값들을 확보한 뒤 특정 소음환경에서의 지표면계수와 소음원매개변수의 값을 선택적으로 사용함으로써 그 응용범위를 확대시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Attenborough, K. et. al., 1995, "Benchmark Cases for Outdoor Sound Propagation Models," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 97, pp. 173~191.
- (2) 나희승, Clairbois, J. P., 1999, "고속열차 (TGV) 주행시 연변에서의 소음예측 및 방음시설설계," *한국소음진동공학회지*, 제 9 권 제 6 호, pp. 1106~1115.
- (3) Makarewicz, R., 1987, "Near Grazing Propagation above a Soft Ground," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 82, pp. 1706~1711.
- (4) Attenborough, K., 1988, "Review of Ground Effects on Outdoor Sound Propagation from Continuous Broadband Noise," *Applied Acoustics*, Vol. 24, pp. 289~319.
- (5) Makarewicz, R., 1999, "Industrial Noise from a Point Source," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 220(2), pp. 193~201.
- (6) Reynolds, D. D., 1981, "Engineering Principles of Acoustics : Noise and Vibration Control", Allyn and Bacon, Inc., pp. 542~547.
- (7) Anderson, G. S. and Kurze, U. J., 1992, "Outdoor Sound Propagation : Noise and Vibration Control Engineering", LEO. L. Berank and I. L. Ver, editors Wiley, New York, pp. 113~141.
- (8) Embleton, T. F. W., 1996, "Tutorial on Sound Propagation Outdoor," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 100, pp. 31~48.
- (9) Li, K. M., Attenborough, K. and Heap, N. W., 1991, "Source Height Determination by Ground Effect Inversion in the Presence of a Sound Velocity Gradient," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 145, pp. 111~128.