

건설 공사장 간이 소음 예측 프로그램 개발

Development of Noise Prediction Program in Construction Sites

김 하 근† · 주 시 웅*

Ha-Geun Kim and Si-Woong Joo

(2007년 4월 20일 접수 ; 2007년 10월 5일 심사완료)

Key Words : Noise Prediction Program(소음 예측 프로그램), Noise Reduction by Distance(거리에 의한 소음감쇠), Noise Reduction by Diffraction(회절에 의한 소음감쇠), Barrier(방음벽)

ABSTRACT

A construction noise is the main reason for people's petition among the pollution. The purpose of this study is to develop the noise prediction program to see the level of the noise on the construction site more accurately. For this purpose, the database of the power level on the various equipments was made. The noise reduction by distance and the noise reduction by diffraction of barrier were mainly considered and calculated. The simple noise prediction program will provide the information about proper height and length of the portable barrier which satisfies noise criteria of the construction sites from a construction planning stage. To investigate the reliability of this program, the predicted data was compared with the measured data. An average of difference between measured data and predicted data is 0.1~2.8 dB(A) and a coefficient of correlation is about 0.85~0.95.

1. 서 론

건설공사장 소음 문제는 환경오염 문제 중 가장 많은 민원이 제기되는 분야로서 정부 부처인 환경부와 건교부에서 많은 관심을 가지고 관련 기준의 제정과 대책 마련에 고심하고 있는 사항이다. 건설 소음은 기초공사부터 마감까지 공정별로 다양한 소음이 발생되고 있으나, 기초공사 시 가장 많은 소음이 발생된다.

건설소음은 실외 공간의 다양한 장비로부터 여러 수음점에 중첩 또는 간섭하여 전달되므로 그 해석이 매우 복잡하다. 특히 건설기계의 소음 예측에 있어서는 여러 가지의 영향요인에 의해 발생소음도가 크게 달라지게되며, 지면의 불규칙성 등으로 간섭, 회

절, 굴절, 등의 현상을 해석적으로 예측하기란 많은 어려움이 따른다.

이 연구에서는 다양한 장비의 파워레벨을 데이터베이스화하고, 전달 경로상의 소음 저감량 계산 과정을 거리감쇠 및 방음벽의 회절감쇠 등을 중심으로 프로그램화하여 빠른 시간 내에 공사계획 단계에서 건설소음을 예측할 수 있도록 간이 소음예측 프로그램을 제공하고자 한다.

2. 예측이론 고찰

2.1 거리에 의한 소음 감쇠 효과

점음원으로부터 거리가 2배 멀어질 때마다 음압레벨이 6 dB씩 감쇠되는 것을 역2승 법칙이라 하며, 이는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SPL_1 - SPL_2 = 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 = 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

† 교신저자: 정희원, (주)에코빅스
E-mail : hgkim000@empal.com
Tel : (016)736-5565, Fax : (031)713-4451
* 대한주택공사 주택도시연구원

일반적으로 건설기계의 경우 수 m 이상 떨어지면 점음원으로 간주할 수 있으므로 식(1)에 의해 거리 감쇠량을 구할 수 있다고 판단된다.

2.2 방음벽에 의한 감음 효과

(1) 회절감쇠치

방음벽에 의하여 음은 음원 S로부터 방음벽 상부의 점 C(Xc, Yc, Zc)에서 회절하여 수음점 O에 입사하게 되며, 경로차 δ는 식(2)와 같다.

$$\delta = CS + CO - d = \sqrt{\{(Xc - Xs)^2 + (Yc - Ys)^2 + (Zc - Zs)^2\}^{1/2}} + \sqrt{\{(Xo - Xc)^2 + (Yo - Yc)^2 + (Zo - Zc)^2\}^{1/2}} - \{(Xo - Xs)^2 + (Yo - Ys)^2 + (Zo - Zs)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

경로차 δ로부터 Fresnel수 N은 식(3)을 이용하여 구하며, Fig. 2를 이용하여 회절감쇠치를 구할 수 있다.¹⁾

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (3)$$

단, λ : 파장 [m]

(2) 방음벽의 투과손실치

Fig. 1의 수음점 O에 대한 음압레벨은 방음벽의 상부를 넘어오는 회절음과 방음벽을 투과해 오는 음이 합성된 것이다. 방음벽에 의한 회절감쇠치를 ΔL_d 라고 하면 회절음에 의한 음압 레벨 L₁은 다음 식과 같다.

$$L_1 = PWL - 11 - 20 \log(d) - \Delta L_d \quad (4)$$

또한, 방음벽의 투과손실을 TL이라 하면 투과음에 의한 음압레벨 L₂는 근사적으로 다음 식과 같다.

$$L_2 \approx PWL - 11 - 20 \log(d) - TL \quad (5)$$

위의 두 식으로부터 수음점 O에서의 음압레벨은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$L = PWL - 11 - 20 \log(d) - 10 \log[10^{(-\Delta L_d/10)} + 10^{(-TL/10)}] \quad (6)$$

3. 간이 소음 예측 프로그램

3.1 프로그램 개요

이 연구에서 개발한 프로그램은 각종 건설 장비의 소음레벨을 데이터베이스에서 읽은 후 소음레벨을 계산하는 방식으로 이루어지며, 그 개략적인 흐름도는 Fig. 3과 같다.

이 프로그램의 구성은 Fig. 4와 같이 5개의 세부 화면으로 구성되어있으며, 하단의 메인, 예측목록, 장비종류 등으로 화면 전환 및 각 요소별 입력이 용이하게 되어있다.

Fig. 5의 예측목록화면에는 합성 소음 예측 값 및 방음벽의 위치 정보, 회절 감쇠량 등이 저장되며, 다음 계산을 위해 필요시 간단히 수정할 수 있으며, 커서의 위치가 어떤 곳에 있는지 해당 열(ROW)들을 선택하면 건설장비 종류, 기준소음, 수음점과 음원의 위치 좌표, 방음벽의 위치 좌표 등의 저장 데이터가 프로그램의 입력 데이터로 재입력되어 재계산 할 수 있다.

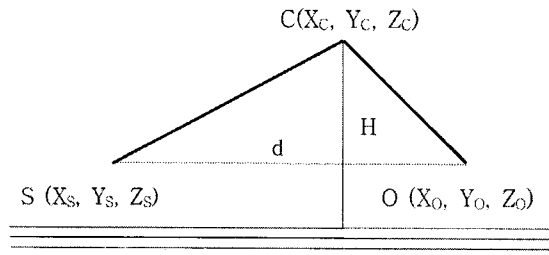


Fig. 1 Noise reduction by the diffraction of a point source

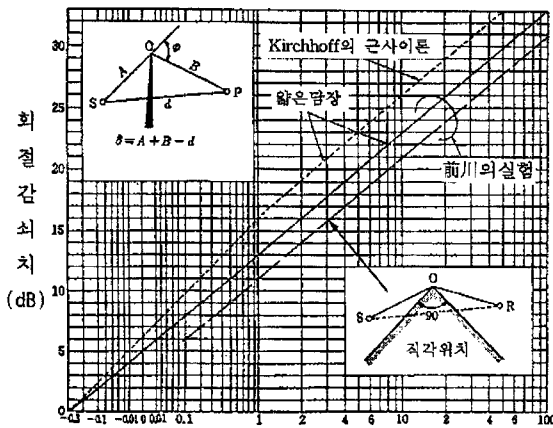


Fig. 2 Noise reduction by a barrier

1) 前川純一, 1962, 障壁の遮音設計に関する實驗的研究, 日本音響學會誌 Vol. 18, No. 4, pp. 187-196.

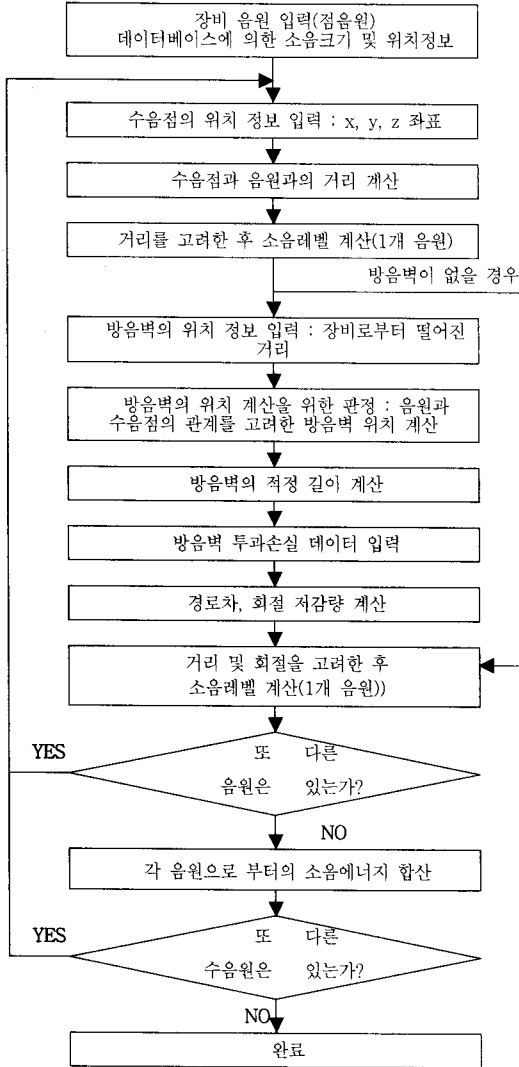


Fig. 3 Flow chart of the noise prediction program

Fig. 6의 장비 종류화면에는 개별 건설 기계의 파워레벨 및 7.5m 측정된 대수평균의 소음레벨이다. 7.5m 측정된 대수평균의 소음레벨은 국립환경연구원에서 2003년에 조사한 자료를 이용하였다. 화면에는 건설기계명과 파워레벨 및 7.5m에서 측정된 소음레벨이 기록되어 있고, 장비를 추가하고자 할 때는 맨 아래 열에 장비에 대한 관련 데이터를 입력한 후 “장비 추가” 버튼을 누르면 데이터가 추가 된다. “장비 추가” 단추는 이 프로그램에 없는 새로운 장비 또는 현장에서 측정된 장비를 추가하여 예측 할 때 사용할 수 있다. 기존 데이터의 수정도 관련 행 또는 열에서 간단히 수정한 후 “장비 추가” 버튼을

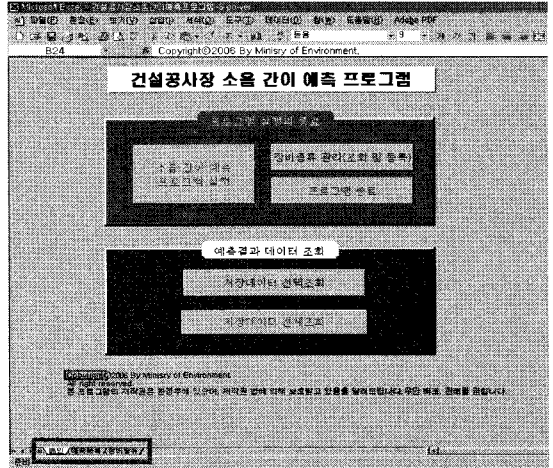


Fig. 4 Main display of the program

Fig. 5 Display of input and output results

Fig. 6 Display of power levels of construction machines

누르면 수정이 된다.

3.2 프로그램의 한계

이 프로그램은 방음벽의 상단을 통한 음의 경로에 대한 회절감쇠치를 식 (3)에 의해 계산한다. 이때 500 Hz에서의 회절감쇠량과 dB(A)에 대한 회절감쇠량이 동일하다고 가정하였다. 그러나 유한 길이의 방음벽의 측면 양 단부를 통한 입사음, 지면 반사음, 방음벽의 흡음 등의 영향은 고려하지 않았다. 일반적으로 유한 방음벽의 경우 방음벽 상단 방향으로 입사하는 음과 측면의 양 단부 방향으로 우회 전달되는 음의 파워가 동일하다면 무한 길이의 방음벽에 비해 약 3 dB 정도 소음이 증가될 것이다. 이 프로그램은 방음벽의 양 단부 방향으로 우회 전달되는 음을 최소화하기 위해 방음벽의 적정 길이를 제시하고 있다.

또한 현장에서의 방음벽은 무한대 길이의 방음벽이 아니므로 회절감쇠 이론계산치에서 약 3 dB을 뺀 값을 적용하였다. 아울러 이론상 방음벽의 감쇠치는 30 dB 이상의 값도 계산 될 수 있으나, 공사장의 현장 여건을 감안하여 실용적으로 20 dB 이하로 한정하였다.

방음벽을 투과하여 수음점에 전달되는 음에 대해서도 보정을 하여 최종 회절감쇠량을 구하게 된다. 또한 방음벽이 이중일 때는 2개의 방음벽중 회절감쇠량이 더 큰 것에 대해서만 구할 수 있으며, 회절감쇠량과 거리감쇠량을 구한 후 소음레벨을 구하도록 되어 있다.

3.3 프로그램 사용방법

이 프로그램의 사용방법을 자세히 살펴보기 위하여 실제 건설공사 현장의 사례를 활용하였다.

Fig. 7은 공사현장의 상황을 나타내는 사진으로 브레이커(500 kg 이상) 2대가 높이 3 m 가설이동 방음벽과 1 m 이격하여 작업하고 있으며, 브레이커와 아파트는 약 30 m 떨어져서 위치하고 있다. 수음점(예측지점)의 높이는 약 10층인 33 m이며, 방음벽의 투과손실은 500 Hz에서 약 20 dB이다.

먼저 Fig. 4의 “소음 간이 예측 프로그램 실행”을 선택하면 Fig. 8과 같은 데이터 입력 화면이 나타나게 된다.

Fig. 8에 나타난 화면은 방음벽 미설치시의 합성 소음 레벨을 구하는 단계로 우선 “장비의 종류”에서

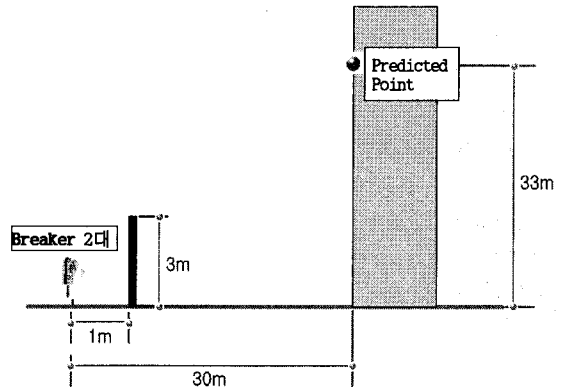


Fig. 7 Example of construction site

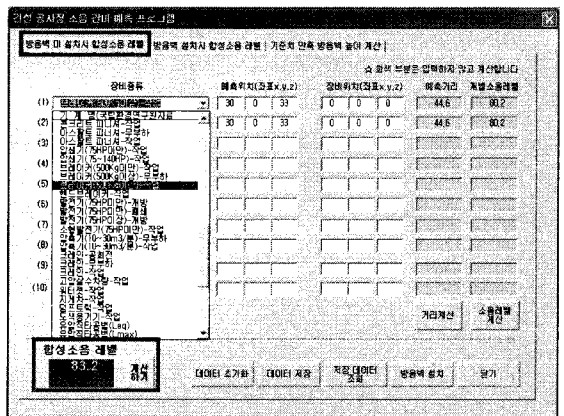


Fig. 8 Calculating noise levels when barrier is not installed

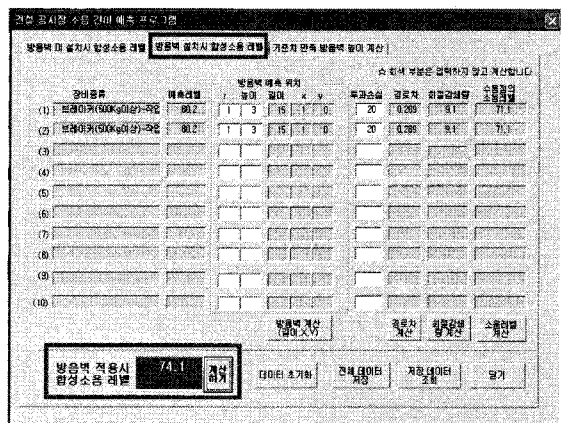


Fig. 9 Calculating noise levels when barrier is installed

건설 장비를 선택한 후 예측하고자하는 지점의 위치와 건설장비의 위치를 x, y, z좌표로 입력한다. 좌표

입력 후 “거리계산” 버튼을 누르면 예측거리가 계산되며, “소음레벨 계산” 버튼을 누르면 개별소음 레벨이 계산된다. 최종적으로 하단부의 “계산하기” 버튼을 누르면 브레이커 2대의 합성 소음 레벨을 구할 수 있다.

Fig. 9에 나타난 화면은 방음벽 설치시의 합성 소음 레벨을 구하는 단계로 방음벽 미설치시의 합성 소음 레벨 값에 방음벽의 높이, 이격거리, 투과손실 값 등의 데이터를 입력하여 방음벽 적용시의 합성 소음 레벨을 구한다. 여기서 r 은 방음벽과 건설장비와의 거리이며, 입력은 m 단위로 한다.

이 현장의 경우 방음벽과 건설장비의 이격거리(r)가 1m, 방음벽의 높이가 3m이므로 해당 값을 입력한 후 “방음벽 계산(길이, x, y)” 버튼을 누르면 방음벽의 위치 좌표 x, y 값이 계산되며, 방음벽 높이 방향의 회절감쇠가 충분히 되도록 하기 위한 적정 방음벽의 길이가 계산된다. 방음벽의 길이가 충분치 못할 경우 방음벽의 옆으로 우회전달 되는 양이 많아 방음벽의 효과를 기대하기 어렵다.

방음벽 계산(길이, x, y)” 버튼을 누른 후 방음벽의 투과손실 값을 입력하고 “경로차 계산” 버튼, “회절감쇠량 계산” 버튼, “소음레벨 계산” 버튼, “계산하기” 버튼을 차례로 누르면 방음벽 적용시의 합성 소음 레벨을 구할 수 있다. 계산 결과 및 입력 데이터를 추후에 불러오기 위해 반드시 “전체 데이터 저장” 버튼을 눌러 저장한다.

위와 같은 방법으로 방음벽 적용시의 합성 소음

레벨이 구해지면 그 결과를 건설공사장 규제 기준치와 비교한다. 이때 방음벽 적용시의 합성 소음 레벨이 건설공사장 규제 기준치인 70 dB(A)를 초과할 경우 기준치를 만족할 수 있도록 방음벽의 적정 높이를 계산하여야 한다.

방음벽의 적정 높이 산출은 Fig. 8의 “기준치 만족 방음벽 계산”을 통하여 구할 수 있다.

Fig. 10에 나타난 화면은 기준치를 만족할 수 있는 방음벽의 높이를 산출하는 단계로 “경로차 계산” 버튼과 “방음벽 높이 계산” 버튼을 차례로 누르면 적정 방음벽의 높이가 계산된다. 이 값을 토대로 “방음벽 설치 시 합성 소음 레벨” 화면에서 방음벽의 높이를 수정한 후 재계산하여 합성 소음 레벨이 기준치 이하로 내려가도록 하면 된다.

4. 간이 소음 예측 프로그램의 신뢰성 검토

간이 소음 예측 프로그램의 신뢰성 검증을 위해 실제 건설현장에서 환경부의 소음진동 공정시험법에 의거 측정된 실측값과 프로그램에 의한 예측값을 비교하였으며, 그 상관성을 분석하였다.

4.1 측정거리에 따른 실측값과 예측값 검토

각 현장 사례별로 측정거리에 따른 실측값과 예측값의 상관성을 분석한 결과 7.5m에서의 오차평균은 0.1dB, 15m에서의 오차평균은 1dB, 30m에서의 오차평균은 2.8dB로 측정거리가 멀어질수록 오차율이

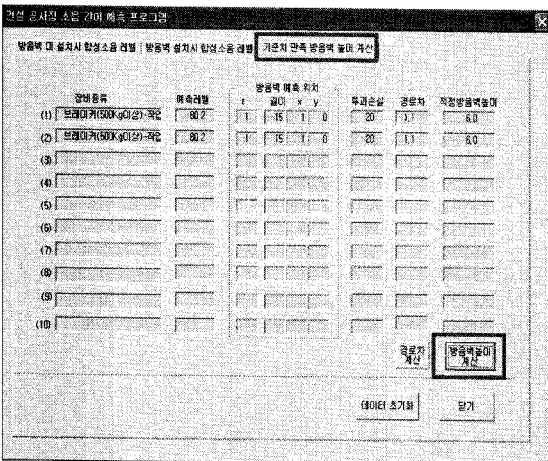


Fig. 10 Calculating the barrier height satisfying the noise criteria

Table 1 Noise levels according to the distance [Unit : Leq dB(A)]

Site (piling equipment)	Measured distance								
	7.5 m			15 m			30 m		
	Measured	Pre-dicted	Gap	Measured	Pre-dicted	Gap	Measured	Pre-dicted	Gap
A Site (NH-70)	92	91.9	0.1	88	86	2	83	80	3
B Site (HHK-5)	91	90.9	0.1	86	85	1	74	79	5
C Site (NH-70)	91	90.9	0.1	85	85	0	77	79	2
D Site (DHK-5)	96	95.9	0.1	91	90	1	83	84	1
Average of difference	0.1 dB(A)			1 dB(A)			2.8 dB(A)		

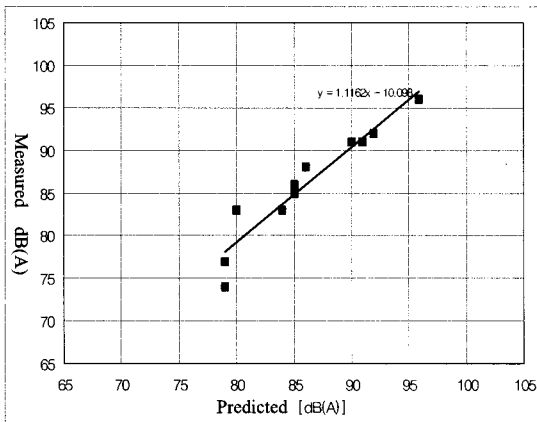


Fig. 11 Correlation between measured and predicted results

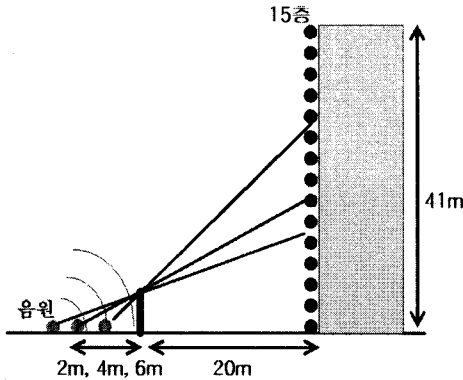


Fig. 12 Section of the construction site

조금씩 증가하였다. 하지만 상관성 분석결과 상관계수(R)는 0.95로 예측 프로그램의 신뢰성이 높은 것으로 나타났으며, 예측결과에는 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

4.2 측정높이에 따른 실측값과 예측값 검토

(1) 방음벽이 없을 경우

건설공사 현장의 측정높이에 따른 실측값과 예측

Table 2 Noise levels according to measurement heights(when barrier is not installed)

[Unit : Leq dB(A)]

Measurement height	Distance from source to barrier (2m)		
	Measured	Predicted	Gap
15F	72.4	71.4	1.0
14F	72.3	71.8	0.5
13F	72.2	72.3	0.1
12F	73.1	72.7	0.4
11F	73.7	73.2	0.5
10F	74.0	73.7	0.3
9F	74.4	74.2	0.2
8F	75.1	74.7	0.4
7F	75.4	75.2	0.2
6F	75.4	75.7	0.3
5F	76.3	76.2	0.1
4F	75.6	76.7	1.1
2F	76.7	77.5	0.8
1F	76.9	77.7	0.8
Average of difference	0.5 dB(A)		

Table 3 Noise levels according to measurement heights(when barrier is installed) [Unit : Leq dB(A)]

Measurement height	Distance from source to barrier								
	2 m			4 m			6 m		
	Measured	Predicted	Gap	Measured	Predicted	Gap	Measured	Predicted	Gap
15F	71.0	69.6	1.4	71.7	71.6	0.1	71.9	71.4	0.5
14F	69.6	69.8	0.2	72.5	72	0.5	72.4	71.8	0.6
13F	70.5	69.9	0.6	72.4	72.5	0.1	72.3	72.2	0.1
12F	69.7	69.6	0.1	72.8	72.9	0.1	72.7	72.6	0.1
11F	69.4	69.2	0.2	73.1	73.3	0.2	73.0	73.1	0.1
10F	70.8	68.7	2.1	73.4	73.8	0.4	73.8	73.5	0.3
9F	70.4	68.1	2.3	73.5	74.3	0.8	74.5	73.9	0.6
8F	70.2	67.5	2.7	73.7	72.6	1.1	75.1	74.4	0.7
7F	70.2	67.0	3.2	72.5	72.2	0.3	74.5	74.8	0.3
6F	71.8	66.6	5.2	71.8	71.0	0.8	73.7	73.1	0.6
5F	70.3	66.3	4.0	71.0	69.4	1.6	71.4	72.9	1.5
4F	70.0	66.2	3.8	70.3	68.1	2.2	70.3	71.0	0.7
2F	69.6	66.1	3.5	70.7	66.5	4.2	70.3	67.1	3.2
1F	68.7	66.0	2.7	70.3	66.0	4.3	70.4	66.1	4.3
Average of difference	2.3 dB(A)			1.2 dB(A)			1.0 dB(A)		

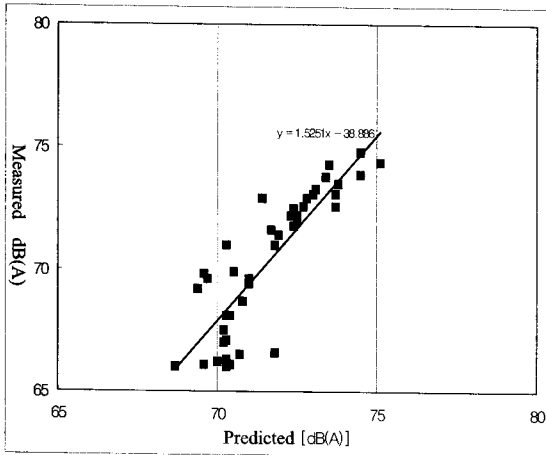


Fig. 13 Correlation between measured and predicted results

값의 상관성 분석을 위하여 방음벽으로부터 2m의 거리에 음원(스피커)을 위치한 상태에서 측정을 실시하였다. Fig. 12는 실제 현장의 측정조건을 나타내는 그림으로 동일한 조건하에 예측을 실시하였다.

그 결과 Table 2와 같이 0.1~1.1 dB의 범위로 오차가 발생하였으며, 오차평균은 약 0.5 dB로 나타났다.

(2) 방음벽이 있을 경우

방음벽이 있을 경우 또한 Fig. 12와 동일한 방법으로 예측을 실시하였다. 그 결과 Table 3과 같이 1.0~2.3 dB의 범위로 오차가 발생하였으며, 상관계수(R)는 0.85로 나타났다. 또한 음원과 방음벽의 거리가 작을수록 오차가 많이 발생하였으며, 이는 주로 예측 시 회절감쇠량이 과대 평가되었기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

건설공사장 소음은 환경오염 분쟁 중 가장 많은 민원을 야기하고 있으며, 이 연구에서는 건설현장의 소음을 보다 정확히 파악하고 대책을 합리적으로 세우고자 간이 소음예측 프로그램을 개발하였다. 이를 위해 다양한 장비의 파워레벨을 데이터베이스화하고, 전파경로상에서 거리감쇠 및 방음벽의 회절감쇠를 중심으로 소음 저감량 예측하였다. 또한 건설공사장의 소음 기준치를 만족하는 방음벽의 높이,

길이, 설치 위치를 공사계획 단계에서 파악할 수 있는 간이 소음예측 프로그램을 제공하였다. 프로그램의 신뢰성을 조사하기 위해 예측치와 현장 실측을 비교한 결과, 방음벽이 없는 경우 0.1~2.8 dB의 범위로 오차가 발생하였으며, 상관계수는 약 0.95로 나타났다. 방음벽이 있는 경우는 1.0~2.3 dB의 범위로 오차가 발생하였으며, 상관계수는 약 0.85로 나타났다.

후 기

이 연구는 2006년도 환경부 생활소음저감대책 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, W. S., Lee, J. W., Hong, J. G., Kang, D. J., 2005, "Characteristics of Construction Machinery Noise and Vibration", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 645~651.
- (2) Korea National Housing Corp., 1993, "Environment Effect Assessment of Land Development in Incheon Bugae".
- (3) Korea National Housing Corp., 2005, Construction Management Schemes to Prevent the Environment-related Claims in Constructions for Apartment Housings in the Downtown Area.
- (4) Choi, C. G. and Kim, H. G., 1997, "Problems and Actual Conditions of Noise and Vibration in Korea Construction Site", Journal of KSNVE, Vol. 7, No. 4, pp. 561~565.
- (5) National Institute of Environmental Research, 2003, "Noise Characteristic of Construction Machines".
- (6) Ministry of Environment, 1995, "Test Method of Noise and Vibration", Notice of Ministry of Environment 1995-10.
- (7) 日本建設機械化協會, 平成6年4月, 建設作業振動對策マニュアル.