

건설 공사장 간이 소음 예측 프로그램 개발

Development of Noise Prediction Program in Construction Sites

김하근†·주시웅*

Kim Ha-Geun, Joo Si-Woong

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 1.3 dB(A) and a coefficient of correlation is about 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, 기초공사시 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 달라지게 되며, 지면의 불규칙성 등으로 간섭, 회절, 굴절, 등의 현상을 해석적으로 예측하기란 많은 어려움이 따른다.

본 연구에서는 다양한 장비의 파워레벨을 데이터 베이스화하고, 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

(1) 점음원의 경우

자유공간중에 있는 음향출력 W 의 점음원에서, 거리 r 떨어진 점의 음의 강도 I 는 반경이 r 인 구면의 표면적 $4\pi r^2$ 의 단위면적당 단위시간에 통과하는 에너지이므로 음향출력 W 와 음의 강도 I 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = W / 4\pi r^2 \quad (1)$$

식 (1)의 양변을 I_0 로 나누고 대수를 취한 후 10을 곱하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SPL = PWL - 10 \log 4\pi - 10 \log r^2 \quad (2)$$

음원으로부터 r_1 (m) 떨어진 지점의 음압레벨을 SPL_1 (dB), r_2 ($r_1 > r_2$)지점의 음압레벨을 SPL_2 이라 하면 두 지점사이의 거리에 따른 거리감쇠치는 식 (1)로부터

† 대한주택공사 주택도시연구원 연구위원

E-mail : hgkim1@jugong.co.kr

Tel : (031) 738-4723, Fax : (031) 738-4700

* 대한주택공사 주택도시연구원 연구위원

다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$SPL_1 - SPL_2 = 10 \log \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 = 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

식 (3)은 점음원으로부터 거리가 2배 멀어질 때마다 음압 레벨이 6dB씩 감소되는 것을 나타내며, 이를 역2승 법칙이라 한다.

일반적으로 건설기계의 경우 수 m 이상 떨어지면 점음원으로 간주할 수 있으므로 식 (3)에 의해 거리감쇠량을 구할 수 있다고 판단된다.

(2) 선음원의 경우

자동차 도로처럼 음원이 다수 존재하는 경우에는 무한 길이 선음원으로 취급할 수 있다. 점음원이 무수히 연속된다고 가정하고 단위 길이당 음향출력을 W라고 하면, 음파는 그 선음원을 축으로 하는 원통형태로 확산하게 되며, 거리 r 인 점의 음의 강도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$I = W / 2\pi r \quad (4)$$

식 (4)의 양변을 I_0 로 나누고 대수를 취한 후 10을 곱하면 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SPL = PWL - 10 \log 2\pi - 10 \log r \quad (5)$$

점음원에서와 같이 음원으로부터 r_1 (m) 떨어진 지점의 음압레벨을 SPL_1 (dB), r_2 ($r_1 > r_2$)지점의 음압레벨을 SPL_2 라 하면 두 지점사이의 거리에 따른 거리감쇠치는 식 (5)로부터 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} SPL_1 - SPL_2 &= 10 \log (2\pi r_2 / 2\pi r_1) \\ &= 10 \log (r_2 / r_1) \text{ dB} \end{aligned} \quad (6)$$

즉, r_2 가 r_1 의 2배씩 되면 점음원에서는 6dB씩, 선음원에서는 3dB씩 감소된다.

2.2 방음벽에 의한 감음 효과

건설공사장 소음 등에 대한 방음벽의 감음효과(삽입손실, Insertion Loss)는 회절감쇠치, 투과손실치 및 방음벽 자체의 흡음 감쇠치의 합으로 이루어진다. 이 중 투과손실치에 의한 영향은 방음벽이 약 20dB 이상의 차음성능을 가지고 있는 경우 무시할 수 있다. 현장에서의 감음효과 평가는 방음벽 설치 전후에 동일한 위치에서 소음레벨을 측정하고 그 차이를 구한다.

(1) 회절감쇠치

방음벽에 의한 회절감쇠치의 계산방법은 음원의 종류, 방음벽의 구조 및 형태, 흡음재의 유무 등에 의하여 달라지게 되지만, 여기서는 점음원의 경우에 한하여 고찰한다.

음원과 수음점 사이의 거리가 무한대이고, 높이가 H_B [m]인 방음벽을 설치한 경우를 Fig. 1에 나타내었다. 음원을 S (X_s, Y_s, Z_s), 수음점을 O(X_o, Y_o, Z_o)라 하고, 방음벽이 없는 경우 음원(점음원)의 파워레벨을 PWL이라 하면, 수음점에서의 음압레벨 SPL은 식 (7)과 같이 된다.

$$SPL = PWL - 11 - 20 \log(d) \quad (7)$$

$$\text{단, } d^2 = (X_o - X_s)^2 + (Y_o - Y_s)^2 + (Z_o - Z_s)^2$$

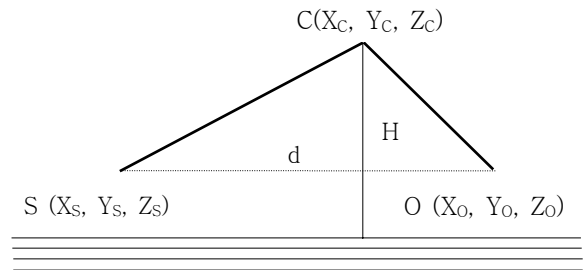


Fig. 1 점음원의 회절감쇠

방음벽에 의하여 음은 음원 S로부터 방음벽 상부의 점 C(X_c, Y_c, Z_c)에서 회절하여 수음점 O에 입사하게 되며, 경로차 δ 는 식 (8)과 같이 구하여진다.

$$\begin{aligned} \delta = CS + CO - d &= \{ (X_c - X_s)^2 + (Y_c - Y_s)^2 + (Z_c - Z_s)^2 \}^{1/2} \\ &+ \{ (X_o - X_c)^2 + (Y_o - Y_c)^2 + (Z_o - Z_c)^2 \}^{1/2} \\ &- \{ (X_o - X_s)^2 + (Y_o - Y_s)^2 + (Z_o - Z_s)^2 \}^{1/2} \end{aligned} \quad (8)$$

경로차 δ 로부터 Fresnel수 N은 식 (9)를 이용하여 구하며, Fig. 2를 이용하여 회절감쇠치를 구할 수 있다.¹⁾

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (9)$$

단, λ : 파장 [m]

방음벽에 두께가 있는 경우에는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 그 두께를 방음벽의 높이로 치환하여 근사적으로 계산한다. 이 경우에 실측치는 계산치보다도 약간 더 감쇠하게 된다. 또 컴퓨터를 이용하여 계산하는 경우에는 식 (10)에 의해 회절감쇠치를 구한다.²⁾

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

2) 日本機械工業聯合會, 日本自動車研究所 : 道路交通騒音の

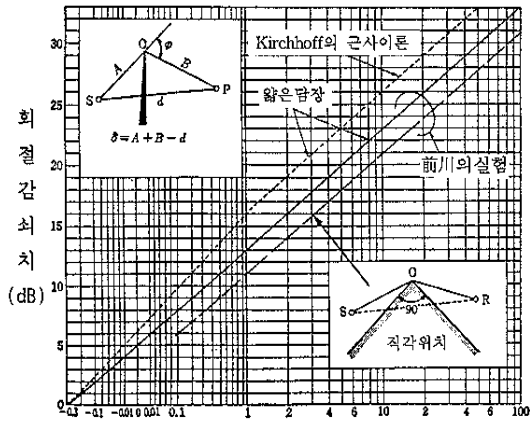


Fig. 2 반평면 방음벽에 의한 감쇠치

$$\text{회절감쇠치} = 5 \pm 20 \times \log \frac{\sqrt{2\pi M}}{\tanh \sqrt{2\pi M}} \quad [\text{dB}] \quad (10)$$

단, N은 Fresnel 수이며, (±)의 부호는 N > 0일 때에는 (+), N < 0일 때에는 (-), N=0일 때는 5 임.

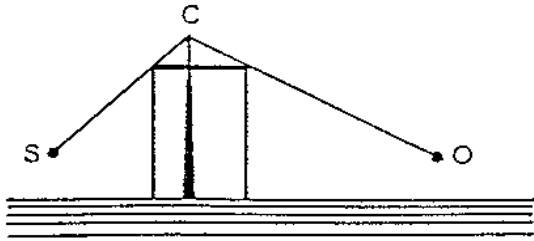


Fig. 3 두께가 있는 방음벽

방음벽의 길이가 유한한 경우는 방음벽의 단부로부터의 회절입사를 Fig. 4와 같이 고려하여야 한다. 이 경우에도 단부에 대하여서는 방음벽의 상부에서와 같이 경로차를 감안하여 N치에 의해 감쇠치를 구한다.

지표면이 흡음성이면 지표면에 의한 반사는 무시할 수 있으나, 콘크리트와 같이 반사성인 경우에는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 지표면을 반사의 축으로 하여 음원 및 수음점을 정반사의 위치로 이동시키고, 각각의 경로에 의한 방음벽의 효과를 고려할 필요가 있다. 즉 지면 반사가 있을 경우 방음벽에 의한 회절감쇠치 ΔL_d 는 직접음의 감쇠치 및 반사음의 감쇠치로부터 식(11)에 의해 구한다. 단, 반사음의 감쇠치는 지표면이 반사성일 경우 최대 3 dB의 영향을 미치며, 일반적인 재료의 경우로서 수음점의 높이가 10m 이상인 장소에서는 1~2 dB 정도의 작은 영향을 미치므로 간이 소음 예측프로그램에서는 고려치 않았다.

$$\Delta L_d = -10 \log [10^{(-\Delta D1/10)} + 10^{(-\Delta D2/10)}] \quad (11)$$

이 때 흡음형 방음벽은 흡음에 의해 초과 감쇠가 발생되는데 이를 흡음 감쇠치라 하며 Fig 2의 회절각 φ 와 방음벽의 흡음율 A에 따라 다음 식으로 산정된다.

$$\begin{aligned} \Delta L_a &= A^3 \cdot (\varphi/30) \quad \varphi \leq 120 \\ \Delta L_a &= 1.1 \cdot A^3 \cdot (\varphi/15) \quad \varphi \geq 120 \end{aligned} \quad (12)$$

흡음에 의한 초과 감쇠는 위 식에서 알 수 있듯이 수음점의 높이가 10m 이상 높은 경우에는 회절각 φ 가 대부분 120도 이하이므로 만약 흡음율이 0.5이고 회절각이 30도라고 하면 초과 감쇠량은 0.125 dB로 매우 작다. 따라서 본 간이 소음 예측 프로그램에서는 흡음형 방음벽의 초과 감쇠도 간이 계산에 포함하지 않았다.

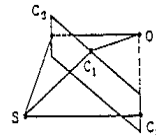


Fig. 4 단부를 통한 입사

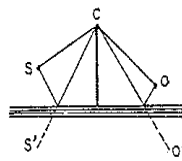


Fig. 5 반사

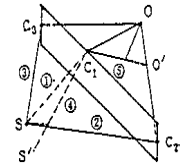


Fig. 6 단부 및 반사경로

방음벽에 의한 감음효과를 평가하는 경우에는 단부를 통한 입사, 반사 등을 고려하여 Fig. 6과 같이 5개의 경로를 고려하여야 한다. 그러나 본 지침서에서 제시한 간이 소음 예측 프로그램에서는 단부를 통한 입사음의 영향을 최소화하기 위해 적정 방음벽의 길이를 제시하는 등 5개의 경로에 대해 충분히 검토한 후, 계산을 단순화하기 위해 영향력이 작은 경로는 계산에서 제외하였다.

(2) 방음벽의 투과손실치

그림 1의 수음점 O에 대한 음압레벨은 방음벽의 상부를 넘어오는 회절음과 방음벽을 투과해 오는 음이 합성된 것이다. 음원의 파워레벨을 PWL이라 하고 방음벽에 의한 회절감쇠치를 ΔL_d 라고 하면 회절음에 의한 음압레벨 L_1 은 다음 식과 같다.

$$L_1 = PWL - 11 - 20 \log(d) - \Delta L_d \quad (13)$$

또한, 방음벽의 투과손실을 TL이라 하면 투과음에 의한 음압레벨 L_2 는 근사적으로 다음 식과 같다

$$L_2 \approx PWL - 11 - 20 \log(d) - TL \quad (14)$$

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

$$L = PWL - 11 - 20 \log(d) - 10 \log[10^{(-\Delta Ld/10)} + 10^{(-TL/10)}] \quad (15)$$

예를 들어 방음벽의 회절감쇠치가 10dB일 때 방음벽의 투과손실이 15 dB라면 투과음에 의해 약 1.2 dB의 음압 상승이 있으며, 이는 방음벽의 실제 감쇠치가 8.8 dB임을 의미한다. 또 투과음에 의한 음압 상승의 허용치를 1dB 이내로 하면 방음벽의 투과손실은 그에 의한 회절감쇠치보다 6 dB 큰 재료가 좋으나 허용치를 0.5 dB 이내로 하면 투과손실은 회절감쇠보다 10 dB 큰 재료를 사용하는 것이 필요하다.

3. 간이 소음 예측 프로그램

Fig. 8은 본 연구에서 개발한 프로그램의 개략적인 흐름도를 나타낸 것이다. 각종 건설 장비의 소음레벨을 데이터베이스에서 읽은 후 소음레벨을 계산하게 된다. 먼저 수음점(예측점)의 좌표와 음원(장비)의 좌표로부터 피타고라스 정리에 의해 음원과 수음점간의 거리를 구한다. 공정상 여러대의 음원이 있을 경우 합성 소음레벨을 구하기 위해 데시벨 합의 공식에 의해 합성 소음레벨을 구하였다. 음원의 최대 개수는 엑셀 시트상의 화면 한계로 인해 10개이며, 특히 한 현장에서 대부분 10대 이하로 운영하고 있음을 감안하여 10대로 한정하였다.

방음벽이 있을 경우 회절감쇠량을 구할 때는 방음벽의 상단을 통한 음의 경로에 대해 회절감쇠치를 계산하며, 방음벽의 측면 등을 비롯한 기타 다른 경로에 의해 소음 전달 영향이 없도록 적정 방음벽의 길이를 제시하였다. 단, 현장에서 방음벽은 무한대 길이의 방음벽이 아니므로 회절감쇠 이론계산치에서 약 3 dB을 뺀 값을 적용하였다. 아울러 이론상 방음벽의 감쇠치는 30 dB이상의 값도 계산될 수 있으나, 공사장의 현장 여건을 감안하여 실용적으로 20 dB로 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. 만약 음원이 여러 개일 경우는 위의 과정을 음원 수만큼 반복 수행한 후 각 음원에

대한 에너지를 합산하여 최종적인 소음레벨을 구하게 된다.

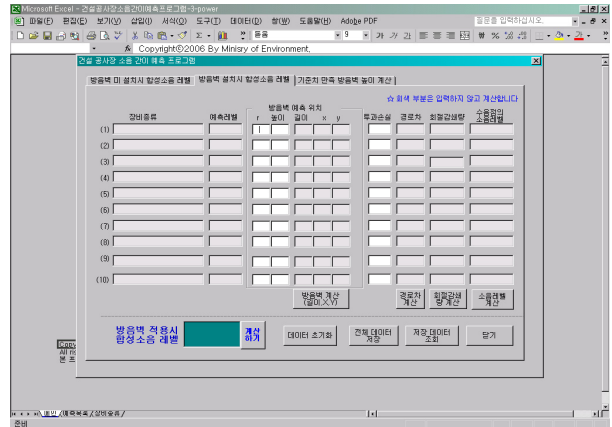


Fig. 7 프로그램 화면 예

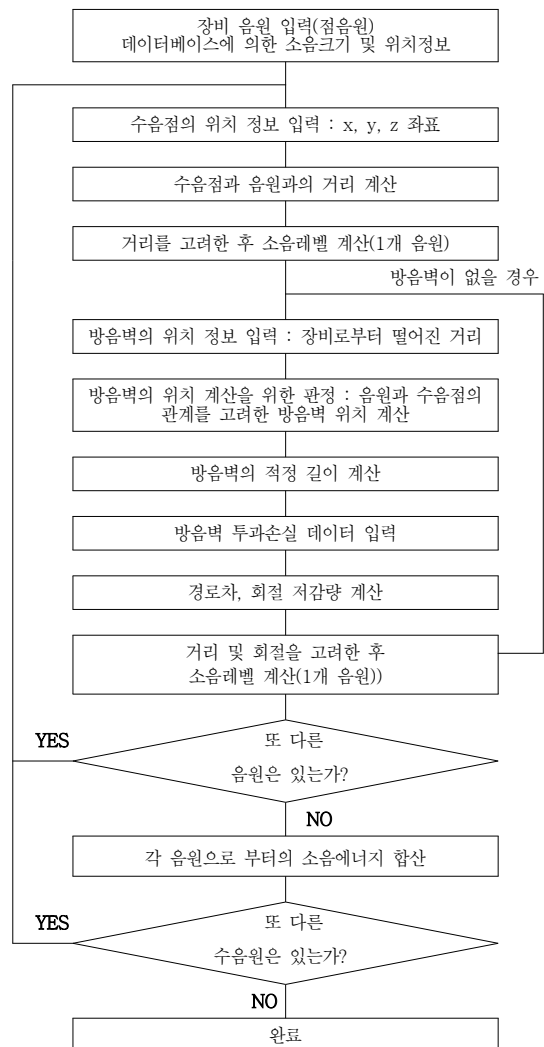


Fig. 8 소음 예측 프로그램 흐름도

- 입력 디자인 요소 : 음원좌표, 수음점 좌표, 방음벽과 음원의 떨어진 거리, 방음벽 중심점 좌표, 방음벽 투과손실

출력 디자인 요소 :

1. 방음벽 미설치시 각 장비에 의한 소음레벨
2. 방음벽 미설치시 모든 장비에 의한 합성 소음레벨
3. 방음벽의 적정 길이
4. 방음벽 적용시 각 장비에 의한 소음레벨
5. 방음벽 적용시 모든 장비에 의한 합성 소음 레벨

4. 간이 소음 예측 프로그램의 신뢰성 검증

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

실측값과 예측값의 상관성 분석결과 상관계수(r^2)는 0.95로 높게 나타났으며, 오차평균은 1.3 dB(A)로 예측 프로그램의 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

Table 1. 공사장 소음 실측치와 예측치 비교 [단위:Leq dB(A)]

현장명	측정거리								
	7.5m			15m			30m		
	실측	예측	오차	실측	예측	오차	실측	예측	오차
인천 논현	92	91.9	0.1	88	86	2	83	80	3
충주 용산	91	90.9	0.1	86	85	1	74	79	5
동해 이도	91	90.9	0.1	85	85	0	77	79	2
인천 삼산	96	95.9	0.1	91	90	1	83	84	1
오차 평균	0.1 dB(A)			1 dB(A)			2.8 dB(A)		

5. 결론

건설공사장 소음은 환경오염 분쟁중 가장 많은 민원을 야기하고 있으며, 본 연구에서는 건설현장의 소음을 보다 정확히 파악하고 대책을 합리적으로 세우고자 간이 소음 예측 프로그램을 개발하였다. 이를위해 다양한 장비의 파워레벨을 데이터 베이스화하고, 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 실측를 비교한 결과, 오차 평균은 1.3 dB(A)로 나타났으며, 상관계수는 약 0.95로 나타났다.

후 기

본 연구는 2006년도 환경부 생활소음저감대책 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) 대한주택공사, 1993. 7, 인천부개지구 택지개발사업 환경영향평가서.
- (2) 대한주택공사, 1994. 4, 청주분평지구 택지개발사업 환경영향평가서.
- (3) 대한주택공사, 1996. 5, 인천삼산(2)지구 택지개발사업 환경영향평가서.
- (4) 대한주택공사, 2005, 도심아파트 건설공사의 환경 관련 민원예방을 위한 공사관리방안.
- (5) 최동락 외, 1996. 10, "건설현장에서 발생하는 건설기계 소음의 영향에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 16권 제 2호.
- (6) 조창근, 김하근, 1997. 6, "건설공사장 소음진동 국내현황 및 문제점", 건설공사장 소음 진동 세미나, 한국소음진동공학회.
- (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.

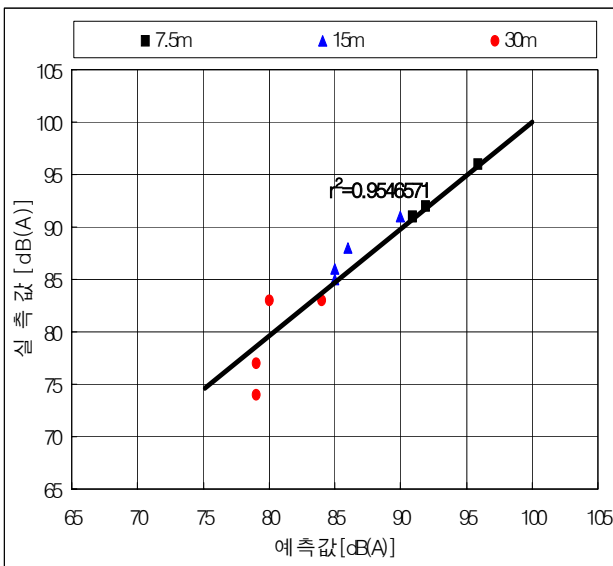


Fig. 9 실측값과 예측값의 상관성 분석 결과